

# Fragen zu Wärmelehre

## Verständnisfragen

1. Formulieren Sie die Ihnen bekannten Hauptsätze der Wärmelehre in Ihren eigenen Worten und erklären Sie jeden von Ihnen an einem Beispiel.
2. Warum nimmt das Volumen von Körpern bei Erwärmung zu und ihre Dichte ab?
3. Charakterisieren Sie den Begriff „innere Energie“. Geben Sie ein Beispiel, in dem die innere Energie eines Objekts erhöht wird.
4. Welche Formen des Wärmetransports kennen sie? Beschreiben Sie jede kurz und nennen Sie eine Möglichkeit, diesen Wärmetransport einzuschränken.
5. Was beschreibt die Größe der Entropie?
6. Was unterscheidet ideale und reale Gase?

## Rechenaufgaben

1. Für die Abmessung größerer Flüssigkeitsmengen werden im Labor häufig gläserne Messpipetten genutzt. Laborglas hat einen Längenausdehnungskoeffizienten von  $3,25 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$ .
  - a) Sie nutzen eine Pipette, die bei  $0^\circ\text{C}$  eine Länge von 60cm hat. Wie lang ist diese Pipette bei  $32^\circ\text{C}$ ?
  - b) Die Pipette hat außerdem einen Durchmesser von 0,5cm. Wie groß ist die Volumenzunahme, wenn die Pipette von  $0^\circ\text{C}$  auf  $32^\circ\text{C}$  erwärmt wird? Nehmen Sie hierzu an, die Pipette sei ein Zylinder.
  - c) Einfaches Fensterglas hat einen Längenausdehnungskoeffizienten von  $7,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$ . Warum werden Laborinstrumente nicht aus solchem Glas hergestellt?
2. Die Siedetemperatur von Wasser nimmt mit abnehmender Dichte ab. Der Zusammenhang wird näherungsweise von der Magnus-Formel

$$p(T) = 6,112 \text{ hPa} \cdot \exp\left(\frac{17,62 \cdot T}{243,12^\circ\text{C} + T}\right).$$

Da der menschliche Körper zu einem großen Teil aus Wasser besteht wird dies bei geringen Drücken zum Problem. Berechnen Sie, bei welcher Höhe der Luftdruck so gering wird, dass Wasser bei Körpertemperatur ( $37^\circ\text{C}$ ) zu sieden beginnt.

3. Das Volumen eines Gases ist druck- und temperaturabhängig. Ein Taucher in 20m Tiefe füllt seine Lungen zusätzlich zu dem Residualvolumen von 1,5l mit 1l Luft aus seiner Druckluftflasche. Leider hat er nicht auf die Anzeige seiner Druckluftflasche geachtet und stellt fest, dass die Flasche nun leer ist. Er versucht darum den Atem anzuhalten und mit diesem einen Atemzug die Oberfläche zu erreichen. Berechnen Sie die Ausdehnung der in der Lunge enthaltenen Luft. Bemerke: Die Lunge eines durchschnittlichen erwachsenen Menschen hat ein Volumen von 3,5l.
  
4. Bei der Hämodialyse wird das Blut eines Patienten unter anderem durch Osmose von Abfallprodukten wie beispielsweise Harnstoff befreit. Die hierfür eingesetzte semipermeable Membran ist jedoch auch durchlässig für Kalium- und Calciumionen, deren Vorhandensein im Blut lebensnotwendig ist. Die Dialysierflüssigkeit wird darum zusätzlich mit diesen Ionen angereichert. Menschliches Blut besitzt im Normalfall eine Kaliumionenkonzentration von etwa 2,4mmol/l und eine Calciumionenkonzentration von etwa 1,3mmol/l.
  - a) Berechnen Sie den von diesen beiden Stoffen ausgelösten osmotischen Druck, würde der Dialysierflüssigkeit keine Ionen zugesetzt. Nehmen Sie hierzu an, dass der Osmosevorgang bei Körpertemperatur geschieht.
  - b) Einer ihrer Patienten hat einen erhöhten Calciumgehalt von 2,4mmol/l im Blut. Wie lässt sich dieser während der Dialyse senken?
  
5. Ein durchschnittlicher Mensch von 75kg Gewicht hat einer Körperoberfläche von etwa  $2\text{m}^2$  und eine Wärmeleistung von 120W bei  $20^\circ\text{C}$  Umgebungstemperatur. Die Hauttemperatur beträgt im Mittel  $32^\circ\text{C}$ . Nehmen Sie zunächst an, die Wärme würde nur über Wärmeleitung abgegeben.
  - a) Die Wärmeleitfähigkeit von Luft beträgt  $0,0261 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$ . In welcher Entfernung von der Haut entspricht die Temperatur wieder der Umgebungstemperatur?
  - b) Die Wärmestromdichte lässt sich auch mittels dem Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  beschreiben. Dieser berechnet sich aus  $\lambda$  über  $k = \frac{\lambda}{\Delta l}$  und hat die Einheit  $[k] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ . Ein nackter Mensch hat einen Wärmedurchgangskoeffizienten von etwa  $10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ . Bei welchem Temperaturunterschied zur Hautoberfläche werden nun die 120W Wärmeleistung erbracht? Durch normale Kleidung wird der Wert von  $k$  halbiert, durch warme Kleidung um  $2/3$  gesenkt. Welche Temperaturunterschiede ergeben sich dann?

- c) In Wasser beträgt die Wärmeleitung  $0,5562 \frac{W}{mK}$ . Wenn ein Mensch sich in einem natürlichen Gewässer befindet, so kann er aufgrund von Strömungen immer nur einen kleinen Bereich von maximal 4cm um sich herum mit seiner Körperwärme erwärmen, bevor die Temperatur wieder auf die Umgebungstemperatur abgefallen ist. Der durchschnittliche menschliche Körper ist in der Lage eine Wärmeleistung von maximal 340W über einen längeren Zeitraum von einigen Minuten bereitzustellen. Wird eine höhere Wärmeleistung eingefordert sinkt die Körperkerntemperatur. Bestimmen Sie, bei welcher Wassertemperatur der Körper nicht mehr in der Lage ist, seine Körperkerntemperatur stabil zu halten.
- d) Bestimmen Sie die theoretische Wärmeleistung über Wärmestrahlung bei einer Hauttemperatur von  $32^{\circ}\text{C}$  und einer Umgebungstemperatur von  $20^{\circ}\text{C}$ .
- e) Bei Temperaturen, die oberhalb der Körpertemperatur liegen, kann der Körper seine Wärme nicht mehr über Konvektion oder Wärmestrahlung abgeben. Warum können Menschen dennoch in extrem heißen Gebieten überleben? Nennen Sie den hierfür verantwortlichen Vorgang und erklären Sie das zugrunde liegende physikalische Prinzip.