

**Schriftliche Abiturprüfung 2007**  
**Physik 13 k**  
**(Leistungskursniveau)**

**Thema G2: Thermische Vorgänge**

**1 Betrachtungsweisen der Thermodynamik**

Die Beschreibung thermodynamischer Vorgänge kann anhand der phänomenologischen und der kinetisch-statistischen Betrachtungsweise erfolgen. Charakterisieren Sie diese beiden Betrachtungsweisen.

Erklären Sie den Vorgang der Temperaturmessung mithilfe eines Flüssigkeitsthermometers mit diesen beiden Betrachtungsweisen.

**2 Kinetisch-statistische Betrachtungsweise**

Das Modell des idealen Gases dient häufig zur Erklärung von Vorgängen in der Thermodynamik. Um 1860 stellte der britische Physiker J. C. Maxwell unter Nutzung der Wahrscheinlichkeitstheorie das nach ihm benannte Geschwindigkeitsverteilungsgesetz idealer Gase auf.

2.1 Skizzieren Sie die Geschwindigkeitsverteilung von Wasserstoffmolekülen einer vorgegebenen Gasmenge in einem geeigneten Diagramm für die Temperatur  $T_1$ . Dabei kann das Gas als ideal betrachtet werden.

Geben Sie an, was man unter den Begriffen wahrscheinlichste und mittlere Geschwindigkeit der Teilchen versteht, und kennzeichnen Sie diese im Diagramm für die Temperatur  $T_1$ .

Skizzieren Sie in dieses Diagramm den Graphen für die Geschwindigkeitsverteilung der Teilchen dieses Wasserstoffgases bei einer Temperatur  $T_2$  mit  $T_1 < T_2$ . Vergleichen und begründen Sie den Verlauf der Graphen  $T_1$  und  $T_2$ .

Beschreiben Sie den prinzipiellen Verlauf des Graphen, wenn bei der Temperatur  $T_1$  für die gleiche Stoffmenge die Wasserstoffmoleküle durch Sauerstoffmoleküle ersetzt werden.

2.2 Die Versuchsanordnung (Bild 1) befindet sich bereits längere Zeit in einem Raum mit der Temperatur von  $15^\circ\text{C}$ .

Beschreiben und erklären Sie, was geschieht, wenn entsprechend der Versuchsskizze Wasserstoff gleicher Temperatur unter Normaldruck eingeleitet wird.

2.3 Zur Zeit der Entstehung der Erdatmosphäre war der Anteil des Wasserstoffs wesentlich größer als in der Gegenwart. Sie besteht heute zum größten Teil aus Stickstoff und Sauerstoff. Eine hypothetische Erklärung für diese Veränderung wird mit den damaligen hohen Temperaturen in der Atmosphäre gegeben.

Berechnen Sie die jeweilige Temperatur, die die Erdatmosphäre gehabt haben müsste, damit die mittlere Geschwindigkeit der Wasserstoff- bzw. Sauerstoffmoleküle halb so groß wie die zweite kosmische Geschwindigkeit gewesen wäre.

Erklären Sie mit diesen Ergebnissen die oben aufgeführte Hypothese.

2.4 Weitaus höhere Geschwindigkeiten treten bei Kernfusionsprozessen auf. In einem Forschungsreaktor treten bei Kernfusionsversuchen mit Deuteriumkernen

( $m_D = 3,34 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ) mittlere Geschwindigkeiten von  $\bar{v} = 8,0 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  auf. Durch ein Magnetfeld werden die Teilchen von den Reaktorwänden fern gehalten.

Berechnen Sie die magnetische Flussdichte, die erforderlich ist, damit sich die Teilchen mit dieser Geschwindigkeit auf einem Kreis mit dem Radius  $r = 60 \text{ cm}$  bewegen.

**3. Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität einer Flüssigkeit (Schülerexperiment)**

In dieser Aufgabe ist ein Experiment durchzuführen. Bearbeiten Sie dazu die Aufträge in der Vorbetrachtung und führen Sie das Experiment durch. Fertigen Sie ein vollständiges Protokoll an.

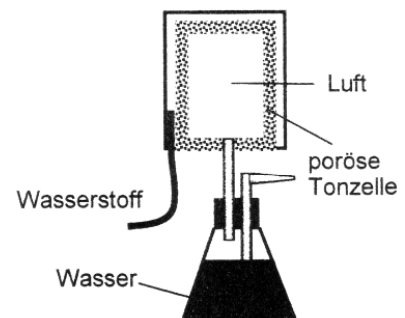


Bild 1

**Auftrag:**

Bestimmen Sie die spezifische Wärmekapazität einer unbekanntes Flüssigkeit durch kalorische Messungen (Mischungsexperiment).

**Vorbetrachtung:**

- 1 Flüssigkeiten haben sehr unterschiedlich große spezifische Wärmekapazitäten. Erläutern Sie je an einem Beispiel, wo der Einsatz einer Flüssigkeit mit hoher bzw. mit niedriger Wärmekapazität sinnvoll ist.
- 2 Für den nachfolgenden Versuch ist die Kenntnis der Wärmekapazität des Kalorimeters wichtig. Beschreiben Sie ein mögliches Vorgehen zur experimentellen Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters und stellen Sie dafür die Wärmebilanz auf. Begründen Sie, weshalb die Kenntnis der Wärmekapazität eines Kalorimeters von Bedeutung ist und welchen Einfluss der Füllstand des Kalorimeters auf die Wärmekapazität des Kalorimeters hat.
- 3 Leiten Sie die zur Ermittlung der spezifischen Wärmekapazität einer Flüssigkeit notwendige Gleichung unter Berücksichtigung der Wärmekapazität des Kalorimeters her. Nennen Sie die zu messenden Größen.

**Ablauf des Experiments:**

- 1 Erwärmen Sie einen Teil der unbekanntes Flüssigkeit und mischen Sie diesen im Kalorimeter mit dem nicht erwärmten Teil.
- 2 Nehmen Sie die notwendigen Messwerte für die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität dieser Flüssigkeit auf. Die Wärmekapazität und den Füllstand des von Ihnen benutzten Kalorimeters teilt Ihnen Ihre Lehrkraft mit.

**Auswertung:**

- 1 Berechnen Sie die spezifische Wärmekapazität der Flüssigkeit.
- 2 Nennen Sie jeweils zwei zufällige und systematische Fehler, die die Messung beeinträchtigt haben könnten.

Geben Sie für zwei dieser Fehler je eine Möglichkeit an, wie sie verringert werden können.

Lösung:

1.

Charakterisierung der Betrachtungsweisen:

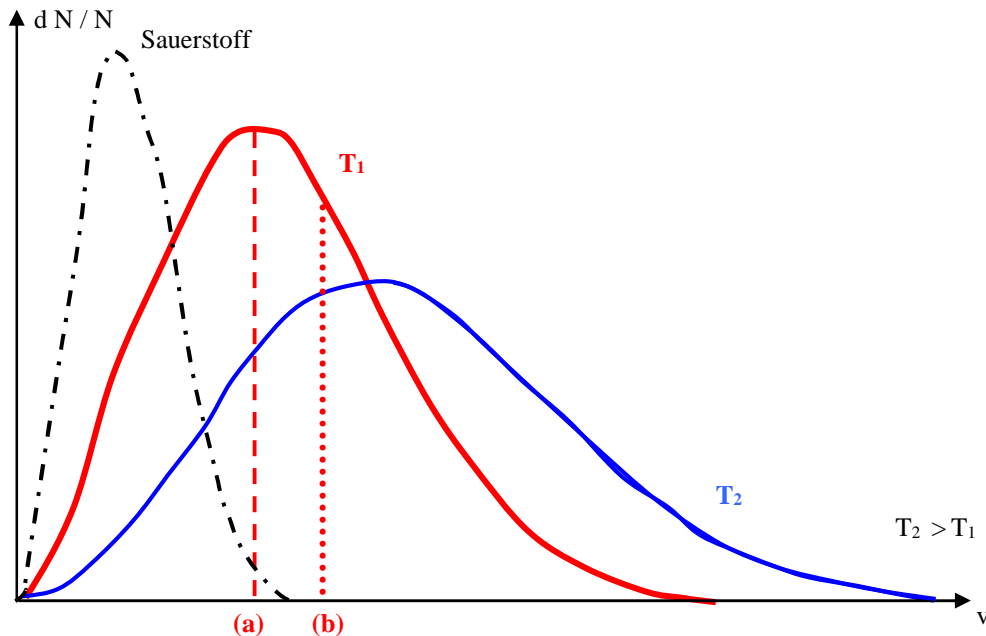
- kinetisch-statistische Betrachtungsweise
  - Grundlage ist der Aufbau der Stoffe aus Molekülen und Atomen.
  - Alle Prozesse sowie Eigenschaften werden auf Basis der Teilchenbewegung beschrieben.
  - Ein einzelnes Teilchen kann nicht betrachtet werden, sondern es lassen sich nur statistische Aussagen (Wahrscheinlichkeitsaussagen) über eine große Anzahl von Teilchen vornehmen.
  - Größen z. B.: Teilchenzahl, Teilchengröße, mittlere Geschwindigkeit, mittlere kinetische Energie
  - Da sich diese Betrachtungsweise der unmittelbaren direkten entzieht, dient sie vorrangig zur theoretischen Erklärung makroskopischer Abläufe.
- phänomenologische Betrachtungsweise:
  - Orientierung an Erscheinungen, die auf makroskopisch messbaren Größen beruhen.
  - Größen z. B.: Volumen, Druck, Temperatur, innere Energie, Wärme
  - Das betrachtete Objekt wird als Gesamtheit betrachtet ohne Berücksichtigung der inneren Struktur.

Erklärung der Temperaturmessung:

- phänomenologische Betrachtungsweise
  - Bei z. B. einem Temperaturunterschied zwischen Thermometer und Umgebung (Annahme: höhere Temperatur) wird Wärme  $Q$  von der Umgebung auf das Thermometer übertragen.
  - Thermometer nimmt Wärme auf
  - Nach  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$  tritt im Thermometer eine Temperaturerhöhung auf.
  - Nach  $V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$  bewirkt dies eine Ausdehnung, sowohl der Thermometerflüssigkeit (Meist Quecksilber oder Alkohol) als auch des Kapillargefäßes (Glas).
  - Da  $\gamma_{\text{Flüssigkeit}} \gg \gamma_{\text{Glas}}$   
( $\gamma_{\text{Glas}} \approx 3 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ;  $\gamma_{\text{Hg}} = 0,18 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ;  $\gamma_{\text{Alkohol}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ) kann die Volumenänderung des Kapillargefäßes vernachlässigt werden.
  - Die Volumenzunahme der Thermometerflüssigkeit lässt sich wegen der Bauart nur durch einen Anstieg der Flüssigkeitssäule realisieren.
- kinetisch-statistische Betrachtungsweise
  - Temperaturunterschied zwischen Thermometer und Umgebung (Annahme: höhere Temperatur)
  - Wegen  $\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{f}{2} \cdot k \cdot T$  haben Teilchen der Luft eine mittlere kinetische Energie.
  - Nach  $\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{m_T}{2} \cdot \overline{v}^2$  besitzen Teilchen eine mittlere Geschwindigkeit.
  - Bei Wechselwirkungen mit der Glaswand des Thermometergefäßes sind die Stöße nicht vollkommen elastisch, so dass ein Teil des Impulses der Luftteilchen auf die Glasteilchen übertragen wird.
  - Diese Teilchen schwingen nun stärker um ihre Gleichgewichtslage, wodurch Energie auf die angrenzenden Teilchen der Thermometerflüssigkeit übertragen wird.
  - Mittlere Geschwindigkeit der Flüssigkeitsteilchen steigt und somit auch ihre mittlere kinetische Energie.

- Damit steigt die Temperatur der Flüssigkeitsteilchen.
- Wechselwirkungen der Flüssigkeitsteilchen untereinander nehmen zu, so dass der mittlere Abstand der Teilchen ebenfalls zunimmt
- Das äußert sich in einer Volumenzunahme der Thermometerflüssigkeit.
- Die Volumenzunahme der Thermometerflüssigkeit lässt sich wegen der Bauart nur durch einen Anstieg der Flüssigkeitssäule realisieren.

2.1



(a) wahrscheinlichste Geschwindigkeit

Begriffe (b) mittlere Geschwindigkeit (Durchschnittsgeschwindigkeit)

wahrscheinlichste Geschwindigkeit (a)

○ Geschwindigkeit, die die größte Anzahl der N Teilchen besitzen  
mittlere Geschwindigkeit (b)

○ Durchschnitt aller Geschwindigkeiten aller Teilchen des Gases

Kennzeichnung:

siehe Diagramm

2. Graph:

siehe Diagramm (blau)

Beschreibung – Sauerstoff:

- Der Graph weist eine kleinere mittlere Geschwindigkeit auf.

- $\frac{M_{\text{O}_2}}{M_{\text{H}_2}} = \frac{16}{1}$

- mit  $\frac{N}{N_A} = \frac{m}{M_r} \Rightarrow m = \frac{N \cdot M_r}{N_A}$

- mit  $n = \frac{N}{N_A} = \text{konstant} \Rightarrow m \sim M_r$

- $\Rightarrow \frac{m_{\text{O}_2}}{m_{\text{H}_2}} = \frac{16}{1}$

- aus  $\bar{v}^2 = \frac{f \cdot R \cdot T}{M_r}$  (Tafelwerk) folgt mit f, R, T = konstant:  $\bar{v}^2 \sim \frac{1}{m}$

- $\frac{\bar{v}_{\text{O}_2}}{\bar{v}_{\text{H}_2}} = \sqrt{\frac{1}{16}} = \frac{1}{4}$

- Somit ist die mittlere Geschwindigkeit der Wasserstoffmoleküle nach dem Denkmodell des idealen Gases viermal so groß wie die von Sauerstoffmolekülen bei gleicher Temperatur.

## 2.2

- Bei Einleitung von Wasserstoff in den Zwischenraum nimmt der Druck in der Tonzelle zunächst zu, da die Wasserstoffteilchen schneller in den Tonzylinder hinein diffundieren, als die Luftteilchen heraus.

- Wegen des Dichtunterschiedes (unter Normbedingungen:

$$\rho_{\text{H}_2} 0,09 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}; \rho_{\text{Luft}} = 1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}) \text{ besitzen die Wasserstoffteilchen nach } \bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot p}{\rho}}$$

bei konstantem Druck eine größere Geschwindigkeit als die Luftteilchen.

- Die Druckzunahme wirkt auch auf die Luft oberhalb des Wassers.
- Ist die Druckzunahme groß genug, steigt Wasser aus dem Vorratsgefäß im Rohr aufwärts und könnte sogar auslaufen.
- Nach hinreichend langer Zeit erfolgt ein Konzentrationsausgleich, so dass sich ein Druckausgleich einstellt.

## 2.3

### Berechnung der Temperaturen:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{f \cdot R \cdot T}{M_r}} \quad \text{mit } f = 5$$

$$T = \frac{\bar{v}^2 \cdot M_r}{5 \cdot R} \quad \text{mit } \bar{v} = \frac{1}{2} \cdot v_k$$

$$T = \frac{v_k^2 \cdot M_r}{4 \cdot 5 \cdot R}$$

oder mit  $f = 3$ :

#### Wasserstoff:

$$T = \frac{11,2^2 \cdot (10^3)^2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{4 \cdot 5 \cdot 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$T = \underline{1508,8 \text{ K}}$$

$$T = \frac{11,2^2 \cdot (10^3)^2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{4 \cdot 3 \cdot 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$T = \underline{2514,6 \text{ K}}$$

#### Sauerstoff:

$$T = \frac{11,2^2 \cdot (10^3)^2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{4 \cdot 5 \cdot 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$T = \underline{24140 \text{ K}}$$

$$T = \frac{11,2^2 \cdot (10^3)^2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{4 \cdot 3 \cdot 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$T = \underline{40234 \text{ K}}$$

### Erklärung:

- Hypothese nicht haltbar
- Bei diesen Temperaturen wären die heute bekannten natürlichen Stoffe verdampft, so dass die Erde eine glühende Gaskugel gewesen wäre.

2.4

$$F_Z = F_L$$
$$\frac{m \cdot v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$$
$$B = \frac{m \cdot v}{e \cdot r}$$
$$B = \frac{3,34 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 8,0 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s} \cdot 0,60 \text{ m}} = 0,02779 \text{ T} = \underline{28,0 \text{ mT}}$$
$$[B] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{m}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = \text{T}$$

3.

### Vorbetrachtungen:

#### 1 Erläuterungen:

- Flüssigkeit mit hoher spezifischer Wärmekapazität
  - Wasser zum Wärmetransport in Heizungsanlagen
  - Wegen der großen spezifischen Wärmekapazität von Wasser kann eine große Energiemenge durch relativ kleine Massen bei nicht zu hohen Temperaturdifferenzen transportiert werden.
  - $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$  mit  $m \Delta T = \text{konst.} \Rightarrow Q \sim c$
- Flüssigkeit mit niedriger spezifischer Wärmekapazität
  - Quecksilber als Thermometerflüssigkeit
  - Bei Erwärmung steigt die Temperatur des Quecksilbers sehr schnell an, da eine geringe Wärme eine hohne Temperaturänderung bewirkt.

#### 2 experimentelles Vorgehen – Bestimmung der Wärmekapazität:

- 2 z. B. Wassermengen bekannter Massen (möglichst gleich) und Anfangstemperaturen im Kalorimeter mischen
- Mischungstemperatur bestimmen
- Wärmekapazität berechnen

#### Energiebilanz:

kaltes Wasser im Kalorimeter:

$$-Q_{\text{abH}_2\text{O}} = Q_{\text{zuH}_2\text{O}} + Q_K \quad \text{mit } T_1 > T_2$$
$$-m_1 \cdot c_1 \cdot (T_M - T_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_M - T_2) + K \cdot (T_M - T_2)$$

wrmes Wasser im Kalorimeter:

$$-Q_{\text{abH}_2\text{O}} - Q_K = Q_{\text{zuH}_2\text{O}} \quad \text{mit } T_1 > T_2$$
$$-m_1 \cdot c_1 \cdot (T_M - T_1) - K \cdot (T_M - T_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_M - T_2)$$

#### Begründung für Kenntnis von K:

- Kalorimeter nimmt Wärme auf oder gibt Wärme ab bei kalorimetrischen Messung
- Mischungstemperatur wird beeinflusst

#### Einfluss des Füllstandes auf Wärmekapazität:

- Flüssigkeiten im Kalorimeter stehen im direkten Kontrakt zu der Innenwand.
- Je größer die Kontaktfläche, umso besser ist der Wärmeaustausch und damit der Einfluss des Kalorimeters.
- Je höher der Füllstand im Kalorimeter, umso größer ist die Wärmekapazität

3 Herleitung der Gleichung:

Im Kalorimeter befindet sich die kältere Flüssigkeit der Temperatur  $T_2$ :

$$-Q_W = Q_{\text{Wasser}} + Q_K$$

$$-m_1 \cdot c_1 \cdot (T_M - T_1) = m_2 \cdot c_2 \cdot (T_M - T_2) + K \cdot (T_M - T_2)$$

$$c_1 = -\frac{(m_2 \cdot c_2 + K) \cdot (T_M - T_2)}{m_1 \cdot (T_M - T_1)}$$

$$[c] = \frac{(\text{kg} \cdot \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} + \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1}) \cdot \text{K}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = \frac{\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{K}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Wenn beide Flüssigkeiten gleicher Stoff:

$$-Q_W = Q_{\text{Wasser}} + Q_K$$

$$-m_1 \cdot c_1 \cdot (T_M - T_1) = m_2 \cdot c_1 \cdot (T_M - T_2) + K \cdot (T_M - T_2)$$

$$-m_1 \cdot c_1 \cdot (T_M - T_1) - m_2 \cdot c_1 \cdot (T_M - T_2) = +K \cdot (T_M - T_2)$$

$$c_1 \cdot (m_1 \cdot (T_M - T_1) + m_2 \cdot (T_M - T_2)) = -K \cdot (T_M - T_2)$$

$$c_1 = -\frac{K \cdot (T_M - T_2)}{m_1 \cdot (T_M - T_1) + m_2 \cdot (T_M - T_2)}$$

$$[c] = \frac{\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{K}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

zu messende Größen:

Masse der warmen Flüssigkeit	Anfangstemperatur der warmen Flüssigkeit	Masse der kalten Flüssigkeit	Anfangstemperatur der kalten Flüssigkeit	Mischungstemperatur
$m_1$ in kg	$\vartheta_1$ in °C	$m_2$ in kg	$\vartheta_2$ in °C	$\vartheta_M$ in °C

Auswertung:

- 1 Berechnung entsprechend hergeleiteter Gleichung
2. Nennen – Fehler:
  - zwei zufällige Fehler:
    - Wärmeabgabe beim Umfüllen der Flüssigkeit und der Temperaturmessung
    - Volumenbestimmung im Messzylinder, Ablesung nur auf z. B. 1 Skalenteil genau
  - zwei systematische Fehler:
    - Ungenauigkeit der Skalen beim Thermometern
    - vollkommene Wärmeisolierung auch im Kalorimeter nicht gegeben

Verringerung des Einflusses:

- Wärmeabgabe an die Umgebung kann vermindert werden, wenn ein Deckel mit Durchführung für Rührer und Thermometer benutzt wird.
- Verwendung eines hochwertigen elektronischen Thermometers erhöht die Genauigkeit der Temperaturmessungen.