

## Übungen zur Vorlesung "Physikalische Chemie 1" Thema Arbeit, Wärme, Wärmekapazität

### Grundlagen

Der Zusammenhang zwischen verrichteter Arbeit  $w$  entlang einer Strecke  $s$  wird allgemein durch die Gleichung  $dw = -Fds$  beschrieben. Ein typisches Beispiel hierbei ist die Hubarbeit, bei welcher als wirkende Kraft die Gewichtskraft  $F = -mg$  anzusetzen ist. Arbeit ist wegabhängig und daher eine Prozessgröße. Für die Vorlesung von zentraler Bedeutung ist die Volumenarbeit:

$$dw = -p dV. \quad (1)$$

Je nach Form der Zustandsänderung kann der Druck  $p$  entweder konstant bleiben, oder vom Volumen abhängen. Im Falle des idealen Gases gilt:  $p = \frac{nRT}{V}$ .

Die Wärme  $q$  ist die Energie, die während einer Zustandsänderung als Folge einer Temperaturdifferenz übertragen wird. Sie ist – wie die Arbeit – eine Prozessgröße. Die Wärme  $q$  berechnet sich über die Temperaturänderung  $dT$  und Wärmekapazitäten  $c_v$  bzw.  $c_p$  bei konstantem Volumen bzw. Druck.

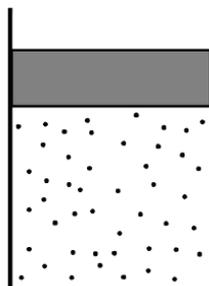
$$dq = c_v dT \quad \text{bzw.} \quad dq = c_p dT. \quad (2)$$

Die spezifischen Wärmekapazitäten  $c_{v,s} = \frac{c_v}{m}$  bzw.  $c_{p,s} = \frac{c_p}{m}$  und molaren Wärmekapazitäten  $c_{v,m} = \frac{c_v}{n}$  bzw.  $c_{p,m} = \frac{c_p}{n}$  hängen jeweils von Masse  $m$  oder Stoffmenge  $n$  der Substanz ab.

### Aufgaben

#### 14. Zustandsänderung und Arbeit

- Gegeben ist ein aufrecht stehender Zylinder, der durch einen beweglichen Kolben abgeschlossen ist. Welche experimentellen Maßnahmen sind erforderlich, um den Zustand des eingeschlossenen Gases isochor, isobar, isotherm und adiabatisch zu ändern? Beachten Sie bei der Antwort sowohl die Maßnahmen zur Erfüllung der Nebenbedingungen als auch die Eingriffe zur Veränderung des Zustandes. Treffen Sie außerdem eine Aussage zur verrichteten Arbeit.
- Stellen Sie die isochore, isobare und isotherme Zustandsänderung in einem  $p(V)$ -Diagramm dar.



#### 15. Volumenarbeit

In einem Behälter mit der Grundfläche  $A = 100 \text{ cm}^2$ , dessen obere Begrenzung ein lose aufgesetzter Kolben bildet, läuft eine chemische Reaktion ab, in deren Verlauf der Kolben um  $10 \text{ cm}$  gegen den äußeren Druck  $p = 1 \text{ atm}$  angehoben wird. Welche Arbeit wird dabei vom System verrichtet?

## 16. Erster Hauptsatz

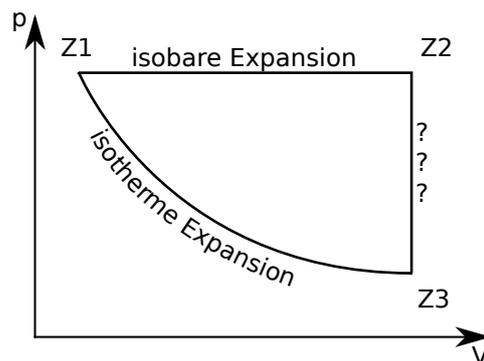
Stellen Sie den ersten Hauptsatz in differentieller Form dar. Wie lautet er vereinfacht für den

- isochoren Prozess
- isothermen Prozess
- adiabatischen Prozess

## 17. Arbeit und Wärme

1 mol Argongas expandiert reversibel bei 0 °C isotherm von 22.4 auf 44.8 L. Berechnen Sie die Änderung der Wärme, die verrichtete Arbeit und die innere Energie.

## 18. Wegabhängigkeit der Arbeit



- Gehen Sie von einem Zustand Z1 in einem p-V-Diagramm aus, an dem ein Mol ideales Gas bei einer Temperatur von 300 K und einem Druck von 10 bar in einem Kolben vorliegt. Der Kolben wird isobar auf das dreifache Volumen expandiert und erreicht den Zustand Z2. Wie viel Arbeit wird verrichtet?
- Der gleiche Kolben wird erneut vom Zustand Z1 aus expandiert, diesmal entlang einer Isotherme zum Z3 mit ebenfalls dem dreifachen Ausgangsvolumen. Was bleibt hierbei konstant und was ändert sich? Wie viel Arbeit wird verrichtet?
- Was passiert bei der Zustandsänderung von Z2 zu Z3? Wie viel Arbeit wird verrichtet?
- Vergleichen Sie die Summe der Arbeit auf dem Weg Z1 → Z2 → Z3 mit der Arbeit auf dem direkten Weg Z1 → Z3 entlang der Isotherme.
- Unterscheidet sich der Zustand Z3, der auf dem ersten Weg erreicht wurde, vom Zustand Z3, der auf dem direkten Weg erreicht wurde?

## 19. Wasserdampf

Die Temperaturabhängigkeit der molaren Wärmekapazität bei konstantem Druck von Gasen kann mit der empirischen Formel

$$c_{p,m} = a + b \cdot T + c \cdot T^2$$

angenähert werden. Für gasförmigen Wasserdampf gilt:

$$a = 30,38 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad b = 9,621 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}^2} \quad c = 1,185 \cdot 10^{-6} \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}^3}$$

- Wie viel Wärmeenergie wird abgegeben, wenn 252 g Wasserdampf von 600 K auf eine Temperatur von 400 K abgekühlt wird?
- Worauf müssen Sie achten, wenn Sie H<sub>2</sub>O weiter auf 300 K abkühlen? (keine Rechnung)