

Physik / Nanostrukturtechnik, 1. Semester

Thermodynamik

— ZUSAMMENFASSUNG —

Leonard Burtscher

8. Februar 2002

1 Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik

Befinden sich zwei Körper mit einem dritten im thermodynamischen Gleichgewicht, so befinden sie sich auch untereinander im thermodynamischen Gleichgewicht. Nullter Hauptsatz der Thermodynamik

2 Temperatur

$$E = \frac{1}{2}m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2}k_B T$$

Thermodynamische Definition der Temperatur

$$pV = Nk_B T$$

Zustandsgleichung idealer Gase (N = Anzahl der Teilchen)

bzw. mit $R = N_A \cdot k_B T$:

$$pV = nRT$$

Bei fester Teilchenzahl gelten folgende Proportionalitäten:

- **Gesetz von Boyle-Mariotte:** $p \propto \frac{1}{V}$ (T konstant)
- **Gesetz von Gay-Lussac:** $p \propto T$ (V konstant)
- **Gesetz von Charles:** $V \propto T$ (p konstant)

2.1 Temperaturmessung

- Quecksilberthermometer
- Gasthermometer

2.2 Temperaturskalen

- Celsius-Skala (0 °C: Gefrierpunkt, 100 °C: Siedepunkt des Wassers)
- Kelvin-Skala: 0 K = −273,15 °C, Definition über den Tripelpunkt des Wassers ($\theta = 0,01$ °C, $p = 6,105$ mbar), das ist der Punkt im Phasendiagramm des Wassers, an dem Wasserdampf, Eis und flüssiges Wasser miteinander im Gleichgewicht stehen.
- Fahrenheit-Skala
- Réaumur-Skala

3 Wärmeübertragung

$$I = \frac{dQ}{dt} = \lambda A \frac{dT}{dx}$$

Wärmestrom I in Abhängigkeit vom Temperaturgradienten dT/dx .

$$\Delta T = IR$$

mit

$$R = \frac{\Delta x}{\lambda A}$$

4 Wärmestrahlung

$$P_e = \sigma AT^4$$

Stefan-Boltzmann-Gesetz. Darin ist σ die Stefan-Boltzmann-Konstante, A die Fläche des Strahlers und T die absolute Temperatur.

$$\lambda_{max} = \frac{2,898 \text{ mm K}}{T}$$

Wiensches Verschiebungsgesetz

5 Erster Hauptsatz

$$dQ = dU - dW$$

Erster Hauptsatz der Thermodynamik

6 Volumenarbeit

6.1 Isobare Expansion

$$dW = -p_0 dV$$

$$W_{isobar} = - \int_{p_0}^p p dV$$

$$\delta Q = C_p dT$$

6.2 Isotherme Expansion

$$dW = -PdV = -\frac{nRT}{V}dV$$

$$W_{isotherm} = - \int_{V_1}^{V_2} PdV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

6.3 Adiabatische Expansion

$$W_{adiabatisch} = C_V \Delta T$$

6.4 Isochore Erwärmung

Es wird keine mechanische Arbeit geleistet. Die zugeführte Wärme geht vollständig in innere Energie über

$$dU = \delta Q = C_V dT$$

Da bei isobarer Erwärmung zusätzlich noch Volumenarbeit geleistet wird, muss C_V größer sein als C_p :

$$\begin{aligned} dU &= C_V dT = C_p dT - p dV \\ \Rightarrow C_p - C_V &= p \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \end{aligned}$$

Mit der Zustandsgleichung idealer Gase ergibt sich:

$$C_p - C_V = R$$

$$C_p = C_V + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$$

bei 1-atomigen Gasen

$$C_p = C_V + R = \frac{7}{2}R$$

bei 2-atomigen Gasen

7 Adiabatische Zustandsänderung

Kennzeichen einer adiabatischen Zustandsänderung ist, dass weder Wärme aufgenommen noch abgegeben wird: $\Delta Q_{adiabatisch} = 0$. Daraus folgt nach dem 1. Hauptsatz:

$$\Delta U = \Delta W$$

$$PV^\kappa = \text{constans.}$$

8 Wärmekapazitäten

$$\langle E \rangle = \frac{f}{2} k_B T$$

Mittlere Energie eines Teilchens. Darin ist f die Anzahl der Freiheitsgrade (1-atomiges Gas: 3; 2-atomiges Gas: 5)

$$dQ_V = C_V dT = mc_V dT$$

Die Wärmemenge berechnet sich aus der Temperaturdifferenz und der Wärmekapazität (bzw. der spezifischen Wärmekapazität und der Masse) eines Körpers.

Bei konstantem Volumen wird beim Erwärmen keine Volumenarbeit verrichtet und es gilt damit:

$$\begin{aligned} dQ_V &= dU - dW = d \\ \Rightarrow dU &= C_V dT \\ \Leftrightarrow C_V &= \frac{dU}{dT} \end{aligned}$$

Nach kurzer Rechnung ergibt sich für die Wärmekapazität bei konstantem Druck:

$$C_P = C_V + nR$$

9 Quellen

- **Tipler, Paul A.:** Physik, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 2000
- H. Vogel: Gerthsen Physik, Springer
- Hammer

Inhaltsverzeichnis

1	Der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik	1
2	Temperatur	1
2.1	Temperaturmessung	2
2.2	Temperaturskalen	2
3	Wärmeübertragung	2
4	Wärmestrahlung	2
5	Erster Hauptsatz	3
6	Volumenarbeit	3
6.1	Isobare Expansion	3
6.2	Isotherme Expansion	3
6.3	Adiabatische Expansion	3
6.4	Isochore Erwärmung	4
7	Adiabatische Zustandsänderung	4
8	Wärmekapazitäten	4
9	Quellen	5