

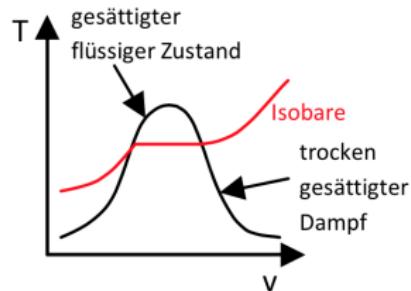
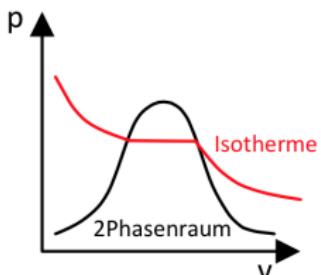


Thermodynamik I - Übung 2

Nicolas Lanzetti

Zusammenfassung letzter Woche

- Systemen und Systemeigenschaften;
- Zustand und Zustandsgrößen;
- $p - v - T$ Beziehung und Tabellen;



- Lineare Interpolation:

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1). \quad (1)$$

Bemerkungen zu den Tabellen

- Nicht nur für Wasser: Es gibt Tabellen auch für Ammoniak, R134a, ...
- Auch wenn nicht Werte (natürlich) nicht gleich sind, gibt es immer den “Dom” (mit seinen Eigenschaften).
- An der Zwischenprüfung und an der Prüfung:
 - Tabellen, die man benutzt hat, **immer** klar schreiben (neben den Tabellenwerten)!
 - Richtiges Hilfsmittel nehmen!
 - Einheiten nicht vergessen!

Aufgabe

Man berechne das spezifische Volumen ν vom Wasser bei $p = 12 \text{ bar}$ und $T = 220^\circ\text{C}$.

Aufgabe

Man berechne das spezifische Volumen v vom Wasser bei $p = 12 \text{ bar}$ und $T = 220^\circ\text{C}$.

Lösung

Aus Tabelle A-4 mit linearer Interpolation:

- $p = 10 \text{ bar}, T = 220^\circ\text{C} : v = 0.21675 \text{ m}^3/\text{kg};$
- $p = 15 \text{ bar}, T = 220^\circ\text{C} : v = 0.14004 \text{ m}^3/\text{kg}.$

Zweite Interpolation zwischen 10 bar und 15 bar liefert

$$v = 0.18621 \text{ m}^3/\text{kg}.$$

Heutige Themen

- Prozesse;
- Energieformen der Thermodynamik;
- Arbeit;
- Wärme;
- Der erste Hauptsatz für **geschlossene** Systeme;
- Ideale Gase;
- Kreisprozesse.

Prozesse

- Ein System durchläuft einen Prozess, wenn es sich von einem Zustand zu einem anderen Zustand bewegt.
- Typen von Prozessen:
 - Isothermer Prozess: $T = \text{const.}$;
 - Isochorer Prozess: $v = \text{const.}$;
 - Isobarer Prozess: $p = \text{const.}$;
 - Adiabater Prozess: $Q = 0$ (kein Wärmefluss);
 - Weitere kommen später.

Energieformen der Thermodynamik

- Kinetische Energie:

$$KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot w^2, \quad \Delta KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (w_2^2 - w_1^2). \quad (2)$$

- Potentielle Energie:

$$PE = m \cdot g \cdot z, \quad \Delta PE = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1). \quad (3)$$

- Innere Energie: Innere Energie, sie enthält alle übrigen Energieformen, hauptsächlich Wärme und chemische Bindungsenergien.

Die gesamte Energie ist also

$$E = KE + PE + U, \quad \Delta E = \Delta KE + \Delta PE + \Delta U. \quad (4)$$

E, KE, PE, U sind Zustandsgrößen.

Arbeit

- Ein System leistet Arbeit an seiner Umgebung, wenn der Effekt dieser Wechselwirkung die Hebung eines Gewichtes sein könnte.
- In der Mechanik:

$$W_{12} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{s}. \quad (5)$$

- Allgemeiner:

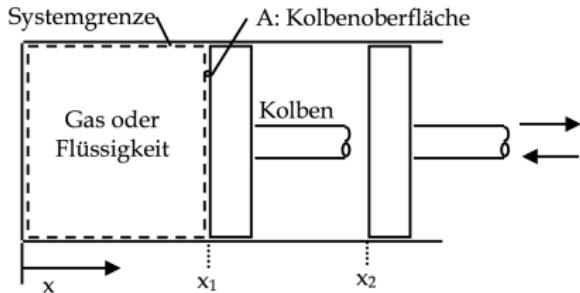
$$W_{12} = \int_1^2 \delta W, \quad (6)$$

wobei δW ein unvollständiges Differential ist, d.h.

$$W_{12} = \int_1^2 \delta W \neq W_2 - W_1, \quad (7)$$

wie z.B. bei $\int_1^2 dV = V_2 - V_1$ (W ist keine Zustandsgrösse).

Expansionsarbeit



Es gilt:

$$\delta W = F \cdot dx = p \cdot A \cdot dx = p \cdot dV, \quad (8)$$

also

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV. \quad (9)$$

Expansionsarbeit

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV \quad (10)$$

Es gilt:

- Expansion: $W > 0$;
- Kompression: $W < 0$.

Wie bekommt man $p(V)$?

- Isobar: $p = \text{const.}$;
- Polytropenkonstante n : $p \cdot V^n = \text{const.}$

Leistung

Die Leistung ist definiert als

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Energie}}{\text{Zeit}},$$

oder

$$\dot{W} = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{s}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{w}. \quad (11)$$

Umgekehrt gilt:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} \dot{W} dt = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \cdot \underbrace{\vec{w} dt}_{d\vec{s}}. \quad (12)$$

Die Einheit der Leistung ist Watt:

$$[W] = [\text{J/s}].$$

Wärmemenge

- Energie die im Form von Wärme durch die Systemgrenze fliesst:
- Q (wie W) ist nicht eine Zustandsgrösse:

$$Q = \int_1^2 \delta Q \neq Q_2 - Q_1. \quad (13)$$

- Der Wärmestrom (mehr in den nächsten Wochen) ist:

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}. \quad (14)$$

Der erste Hauptsatz für geschlossene Systeme

Erster Hauptsatz = Energieerhaltung

Energiebilanz lautet:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE = Q - W, \quad (15)$$

mit Vernachlässigung von KE und PE (meistens so)

$$\Delta U = Q - W. \quad (16)$$

Vorzeichen:

- $W > 0$: Vom System geleistete Arbeit;
- $W < 0$: Am System geleistete Arbeit;
- $Q > 0$: Zum System zugeführte Wärme;
- $Q < 0$: Vom System abgegebene Wärme.

Ideale Gase

Die Idealgasgleichung verknüpft die Zustandsgrößen miteinander, ähnlich wie die $p - v - T$ Beziehung für Wasser.

Die Formel lautet:

$$p \cdot v = R \cdot T \quad (17)$$

oder (extensiv)

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (18)$$

oder (extensiv per Mol)

$$p \cdot V = n \cdot R_0 \cdot T. \quad (19)$$

Es gilt:

$$R_0 = 8.314 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}, \quad R = \frac{R_0}{M}. \quad (20)$$

M : Molare Masse (siehe Tabelle A1)

Bemerkungen zu den idealen Gasen

- Für idealen Gase arbeiten wir bei p, v, T **nicht** mit den Tabellen, da wir eine Gleichung haben.
- Bei idealen Gasen gibt es den “Dom” in den $p - V$ und $T - V$ Diagrammen nicht, da ein ideales Gas sich nie verflüssigt oder verfestigt.
- Die Innere Energie eines idealen Gases ist **nur** eine Funktion der Temperatur:

$$u = u(T). \quad (21)$$

- Innere Energie und weitere Angaben zu den idealen Gasen: Tabelle A-20, A-21, ...
- Wasser ist kein ideales Gas: Tabellen!

Kreisprozesse

- Führen wir mit einem System eine Reihe von Prozessen durch, die wieder auf den Anfangspunkt zurückführen, nennen wir diesen Gesamtprozess einen Kreisprozess.
- Der erste Hauptsatz angewendet auf den Kreisprozesse:

$$\Delta E_{\text{KP}} = Q_{\text{KP}} - W_{\text{KP}} = 0, \quad (22)$$

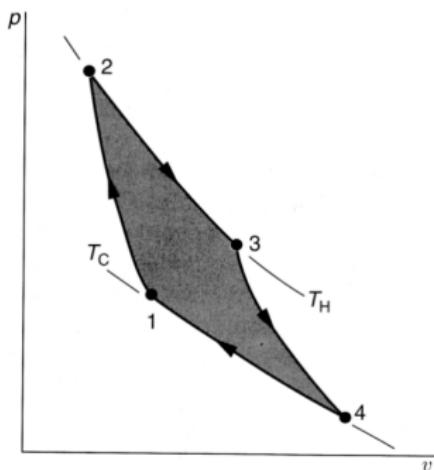
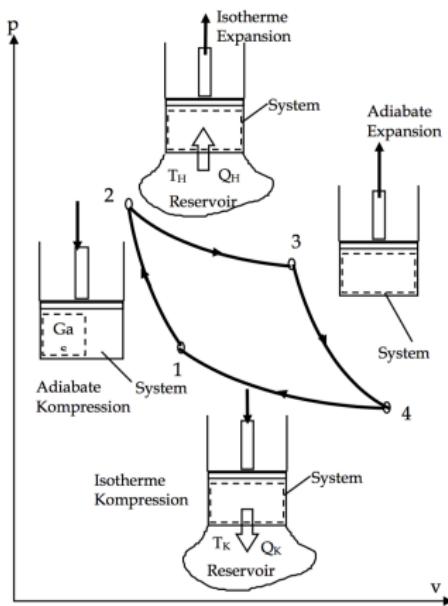
da E_{KP} eine Zustandsgrösse ist, oder, anders gesagt:

$$E_1 = E_2 \quad \Rightarrow \quad \Delta E = 0. \quad (23)$$

- Für einen Kreisprozess gilt also

$$\sum_i Q_i = Q_{\text{KP}} = W_{\text{KP}} = \sum_i W_i. \quad (24)$$

Beispiele von Kreisprozesse



Fragen?