

- VL Mi 12⁰⁵ - 13⁰⁵ EW 203
Fr 10⁰⁵ - 11⁰⁵ "

- Skript: www.itp.tu-berlin.de/schaller/lectures.html
- Sprechst. Di 13⁰⁰ - 14⁰⁰ EW 744
- gemot.schaller@tu-berlin.de

4

Kap. 1 Planologie, TD

- Lehre von der Umwandlung verschiedener Formen von Energie
- Verzicht auf mikroskop. Details
- Beschreibung eines Zustandes durch nur wenige wichtige Zustandsgrößen

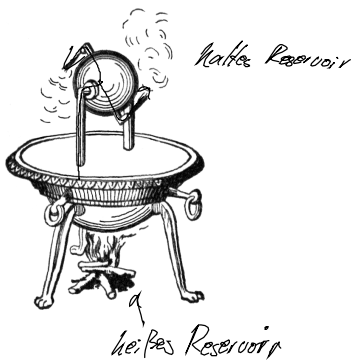
The law that entropy always increases – the Second Law of Thermodynamics – holds, I think, the supreme position among the laws of Nature. If someone points out to you that your pet theory of the universe is in disagreement with Maxwell's equations – then so much the worse for Maxwell's equations. If it is found to be contradicted by observation – well these experimentalists do bungle things sometimes. But if your theory is found to be against the second law of thermodynamics I can give you no hope; there is nothing for it but to collapse in deepest humiliation.

Eddington

1.1. Anerkennung Geschichte

- Altehen Heron von Alexandria

Von 2000 Jahren



- 17. Jhd. Boyle & Mariotte (unabh.)

$$p \cdot V \Big|_{T=\text{const.}} = \text{const.} \quad \text{Boyle-Mariotte}$$

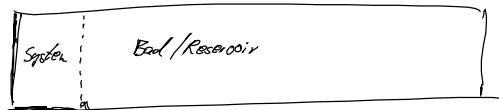
Altehen: Stoffe ändern Volumen mit Temperatur

- im 18. Jhd. abgeschl. Flüssigkeitsthermometer \rightarrow quantitative Wissenschaft

- $V|_{p_{\text{const}}} \propto T$
- $p|_{V_{\text{const}}} \propto T$
- Dampfmaschine: 1712 Newcomen Effizienz 0.5%
1776 7. Watt 3%
- Theorie: Sadi Carnot 2. Hauptsatz
- Kältschrank ab 1834
Kälte "Wärmepumpe"
- Verbrennungsmotoren heute $\eta \approx 40\%$ seit 1867 Diesel 1893
- TD gilt überall
- Quanten thermodynamik: Wärmekraftmaschinen / Kältschranke als Nanomaschinen

1.2. Definitionen

1.2.1. System & Bad



- nur über das System sollen Aussagen gemacht werden
- Reservoir ändert sich nicht
- $V_{\text{res}} \gg V_{\text{sys}}$

"Wand" Wechselwirkung

System = Bierflasche Bad = Bierflasche
Bierflasche See
See Planet

Wand: wie sind System & Res. gekoppelt

+ isoliertes System: Wand ist undurchlässig für Energie & Teilchen
abgeschlossen

+ geschlossenes System: Wand lässt Energie durch

+ offenes System: durchlässig für Energie & Teilchen

Zustand: Menge aller Eigenschaften, die zur Abgrenzung nötig sind

z. B. Q, M : kann durch eine WT für isol. System
oder durch einen stat. Operator für ein offenes / geschl. System

oder klassisch $Q(U)$ koordinaten \rightarrow mikroskopische Festlegung

makroskopisch nur durch wenige Zustandsgrößen

gut für $U \gg T$

Gleichgewichts Zustände ändern sich zeitlich nicht.

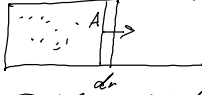
1.2.2. Zustandsgrößen

ZG hängen nicht davon ab, wie ein System in einem Zust. gelagert ist

- Volumen V (extensiv)
- Druck p (intensiv)

Unterscheidung extensiv ist prop. zur Systemgr.
intensiv sind unabh. von "

$$dU = - \underbrace{F}_{\substack{\uparrow \\ \text{variablen System}}} \cdot dr = - \frac{F}{A} \cdot A \cdot dr = - p \cdot dV$$



- Teilchenzahl N (extensiv)

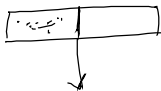
Molzahl $n = \frac{N}{N_A}$ $N_A = 6.02214129 \cdot 10^{23} \frac{\text{Teilchen}}{\text{mol}}$
 Chemiker Avogadro-Konstante

- Temperatur (intensiv)

1.2.3. Zustandsänderungen und Prozessgrößen

Prozesse sind (weitestgehend) unabhängig von zwei Zuständen

- adiabatische Prozesse: kein Wärmeaustausch
- konstanthalten einer ZG
 - + isotherme P. $T \rightarrow \text{const}$
 - + isobare " Druck ist konst
 - + isochore Proz. Volumen "
- reversible Prozesse: umkehrbar, fast konvergen z.B. in $p-V$ -Diagramm
- irreversible Prozesse



- Prozessgrößen unterscheiden sich von ZG dadurch, dass sie von Prozess abhängen, auf welchen das System in den Zust. gelangt
 z.B. Arbeit & Wärme

1.3. Das ideale Gasgesetz

- Boyle/Charles 1662/1676
 $p \propto \frac{1}{V}$ bei $T = \text{const}$ $n = \text{const}$
- Gay-Lussac 1787
 $V \propto T$ bei $p = \text{const}$ $n = \text{const}$

heute $p \cdot V = n \cdot R \cdot T = n \cdot R \cdot T$ ideales Gas

Druck Volumen Teilchenzahl Temperatur

Boltzmann-Konstante: $k_B = 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
 univers. Gaskonstante: $R = k_B \cdot N_A = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$

- + konst. Temp.: Kopplung an ein Wärme res.
- konst. Druck: Gewicht auf Kolben
 + Volumen: feste Kellkapazität
- + reale Gase sind also näher, je tiefer ihr (Kondensat.)

+ Abweichungen

$$p \cdot V = N \cdot k_B T \left[C_1 + \frac{N}{V} C_2 + \left(\frac{N}{V}\right)^2 C_3 + \dots \right]$$

id. Gas $C_1 = 1$ $C_2 = 0$

C_i : "virial Koeffizienten"

Bsp. Van-der-Waals Gas

$$\left[p + a \cdot \left(\frac{N}{V}\right)^2 \right] \left[V - N \cdot b \right] = N \cdot k_B T$$

1910 Nobelpreis

↑
Parameter

+ gilt wie besch. nur für Kellier-Skala