

Bachelor-Theoriekurs IV:

Thermodynamik & Statistische Physik

- Dozent: Holger Stark EW709, Tel. 23623
email: Holger.Stark@tu-berlin.de
http://www.itp.tu-berlin.de/stark
- Zeit: Mi 12⁰⁰-14⁰⁰ } EW203
Fr. 8²⁰-10⁰⁰ }
- Webseite: /stark → Lehre → SS16
[Infos zu Vorl./Übungen & Materialien / E. Kreide]
- Übungen: WMs: Johannes Blaschke, Jakob Löber,
Torben Winzer, Maria Zitz
Details: s. Webseite

Vorbemerkungen

• Inhalt:

Teil I (Phänomenologische) Thermodynamik (TD)

- Vorgehensweise: Beschreibung von Vielteilchensystemen
durch „Minimalsatz“ von makroskopischen Variablen

Bsp: Energie, Volumen, Entropie, ...
ideales Gas: $PV = nRT$

- Ziel: allg., modellunabh. Aussagen / Prinzipien

Bsp: spez. Wärme: $c_p \leftrightarrow c_v$

Einstein: „TD universellgültige Theorie“

→ Grundlagemethode mit breitem Anwendungsbereich
in Physik, Chemie, Biol., Ingenieurwissenschaft

Gase
 Magnetisierung, Supraleitung
 chem. Reakt.
 Schwarze Strahlung
 Neutronenstrome, schwarze Löcher
 soziolog. Systeme
 Ottomotor

→ Basis für Weiterentwicklung
 Nichtgleichgewichts-Thermodynamik
 krit. Phänomene von Phasenübergängen

Teil II: Statistische Physik (SP)
 Vielteilchensysteme → {mikroskop. Bewegl. / Statistik} → makroskop. Größe durch Mittelung

Bsp.: 1. Werte für C_p, C_v !
 2. Grundlegung der TD

• Literatur:

I. Thermodynamik

1. Grundlagen und Postulate

1.1 Zugang zur TD

• Überblick: induktiv

Erfahrungstatsachen

Wärme, Temp., thermo-
 dynam. Maschinen
 (Carnot-Zyklus)

Induktion →

Konzepte/Gesetze

Energieerhaltung
 Entropie S
 etc

vgl. Vorl. Exphys. I!

hier: axiomatisch, postulativ

Postulate zu Energie/Entropie \longrightarrow Konsequenzen $\xleftrightarrow[\text{prüfung}]{\text{Überprüfung}}$ Erfahrungstatsache

\longrightarrow Struktur der TD wird sichtbar

vgl.: andere Gebiete:
Newt. Mechanik \longleftrightarrow Lagrange-/Hamiltonsche Mechanik

ED: Coulomb/Impäre/
Faraday Ind. \longleftrightarrow Maxwell'sche Gl.
induktiv $\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{"Postulate"}}$

1.2 Was ist Thermodynamik?

• statt mikroskop. Beschreibung \longrightarrow wenige makrosk. Thermodyn. Variable
 10^{24} Koord!

• Grund: Mittelung bei Messung

(i) zeitlich:

mikroskop. Bew.: $10^{-15} - 10^{-12}$ s (Molek. Schw./Phenom)

makroskop. Messung: $> 10^{-7}$ s

\longrightarrow Messung "zeitunab." Kombination der 10^{24} Koord.

Bsp: Erhaltungsgrößen Energie, Impuls etc.

(ii) räumlich:

mikroskop. Abmessung: 0.1 nm

makroskop. Messung: > 100 nm (Licht)

\longrightarrow Mittelung über 10^{23} Atome/Moleküle!

• verbleibende Kenngrößen:

(i) mechanisch: Volumen V , Druck P ,
Oberfläche F , Oberflächenspannung
hydrodynam. Flussfelder

(ii) ED: Ladg Q , Strom I ,
Magnetisierung M , Magnetfeld H ,
Polarisation P , elektr. Feld E

neu! (iii) TD: behandelt makroskop. Folgen derjenigen
Koord., die sich herausmitteln!
 \longleftrightarrow Wärme

(H₂O)

• Energie-/Arbeitsdifferential:

Mechanik: $dW = F \cdot dr$

hier: Verallgemeinerung:

$$dE = \underbrace{\text{verallg. Kraft}}_{\text{intensiv}} \cdot d \underbrace{(\text{verallg. Weg } X)}_{\text{extensiv}}$$

$(X, J) \dots$ zueinander konjugierte Variable

(i) Mechanik: Druckarbeit: $-P dV$
 Oberflächenarbeit: $G dF$

(ii) ED: Magnetisierungsarbeit: $\mu_0 H \cdot dM$
 Polarisierungsarbeit: $E \cdot dP$

neu (iii) TD: $T dS = \text{Wärmeübertrag} = \text{Energiefluss auf verborgene}$
 ↑ Temp. ↑ Entropie atome Freiheitsgrade/Mol

• Grenze: TD beschreibt Systeme mit vielen Freiheitsgraden!

1.3 Modellsystem, Parameter & Begriffe

• um Bild Konzept zu entwickeln:

einfaches idealisiertes System
 makroskopisch homogen & isotrop
 elektr. neutral, keine chem. Reakt.
 keine elektr./magnet./Grav. Felder
 keine Oberfläche (∞ große Systeme)



Parameter
 (i) mechanisch:
 Volumen V
 (ii) Molzahl N_k der
 beteiligten chem.
 Substanzen

(1.1)

NB: andere Parameter → Übung

• Erinnerung: Mol einer Substanz

(i) Avogadro - / Loschmidt Zahl $L = 6,022 \cdot 10^{23}$

= Zahl der Moleküle in einem Mol

= " " Atome in 12g eines Isotops ^{12}C

= Zahl der Moleküle eines idealen Gases unter
 Normalbed. (0°C , 1013mbar) in $V = 22,413\text{l}$

(ii) $N_k = \frac{\text{Molekülzahl der Sorte } k}{L} = \frac{\text{Masse der Sorte } k}{\text{Molmasse}}$ (1.2)

• Molbruch: $x_k = \frac{N_k}{\sum_{i=1}^n N_i}$... Anteil am Gesamtsystem

Molvolumen: $v = \frac{V}{\sum_{i=1}^n N_i}$ (1.3)

- wichtige Unterscheidung:
 - (i) extensive Parameter: V, N_1, \dots, N_r ... additiv beim Zusammenfügen mehrerer Teilsysteme "wachsen mit V "
 Bsp: $2 \times (V, N_1, \dots, N_r) \rightarrow (2V, 2N_1, \dots, 2N_r)$
 - (ii) intensive Parameter: x_1, \dots, x_r, μ ... "keine Anleihe mit wachsender V "
 auch T, P (s. später)
- Zustandsgrößen: V, N_1, \dots, N_r, T, P unabh. von Ausgangszustand des Systems, "beschreiben Zustand"!

1.4 Postulat zur inneren Energie & 1. Hauptsatz

a) Innere Energie

- Geschichte des Energiebegriffes: s. Folien

→ $U =$ Zustandsgröße & extensive Größe

makroskopische Systeme besitzen eine genau definierte innere Energie U (bezogen auf willkürliche Grundzustand), die erhalten bleibt... Energieerhaltungssatz