

Physik 1 – Hydrodynamik und Wärmelehre

Olaf Magnussen

Institut für Experimentelle und Angewandte Physik

stud - phys 1

Hyd + Ther

Vorlesungsfolien:

<http://www.ieap.uni-kiel.de/solid/ag-magnussen/de/lehre.html>

Begleitende Lehrbücher:

- Wolfgang Demtröder, Experimentalphysik 1 (Springer Verlag)
- Wolfgang Pfeiler, Experimentalphysik, Band 1 und 2 (De Gruyter)

Bisher:

Physikalisches Verhalten von Objekten ohne Ausdehnung („Massenpunkte“) oder ideale (starre) makroskopische Objekte

Beschreibung des Zustands durch Ort, Impuls, Drehimpuls

Reale Materie besteht aus sehr vielen einzelnen Teilchen (Atome, Ionen, Elektronen, Moleküle), die miteinander wechselwirken.

Typische Anzahl einer makroskopischen Stoffmenge (z.B. 2 g H₂):

$N_A \equiv 6,02214 \cdot 10^{23}$ Teilchen / Mol (Avogadro Konstante)

Beschreibung durch Angabe der Teilchenpositionen schwierig und unsinnig.

Ziele:

- 1. Quantitative Beschreibung des beobachtbaren Verhaltens durch makroskopische Zustandsgrößen:**
 - extrinsische Zustandsgrößen (abhängig von Stoffmenge, z.B. Vol., Wärme)
 - intrinsische Zustandsgrößen (nicht abhängig von Stoffmenge, z.B. Temp.)
- 2. Ermittlung von Beziehungen zwischen diesen Zustandsgrößen → (phänomenologische) Parameter, die Stoffeigenschaften beschreiben.**
Bs.: Aufgenommene Wärme bei Temperaturänderung → Wärmekapazität
- 3. Erklärung der Zustandsgrößen und Stoffeigenschaften aus dem Verhalten der mikroskopischen Bestandteile des Stoffes.**
 - Hier nur für sehr einfache Systeme (mehr z.B. in Festkörperphysik)
 - Viele Teilchen → Statistik ist relevant

Makroskopische Stoffeigenschaften beschreiben Verhalten von Stoffen unter Einfluss äußerer Kräfte oder Felder.

Beispiele:

- Mechanische Eigenschaften (z.B. Verformbarkeit, Zähigkeit)
- Thermische Eigenschaften (z.B. Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit)
- Elektrische und magnetische Eigenschaften (z.B. Leitfähigkeit)
- Optische Eigenschaften (Absorption, Reflektivität)

Stoffeigenschaften hängen ab von:

- Zusammensetzung
- Mikroskopischer Struktur
- Umgebungsbedingungen (Temperatur, Druck, ...)

Materie des gleichen Stoffs kann in verschiedenen Typen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften vorkommen, den vier Aggregatzuständen:

Bs.:

Na Metall

Festkörper

Schmelze

Flüssigkeit

Na Dampf

Gas

Na Flamme

Plasma

Temperatur →

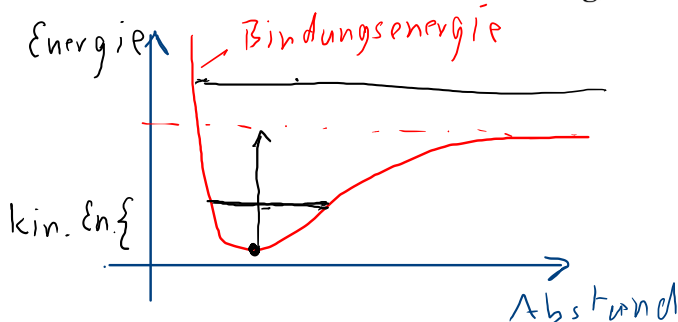
Wodurch unterscheiden sich die verschiedenen Aggregatzustände?

Unterschiede im makroskopischen Verhalten:

| Eigenschaft | Festkörper | Flüssigkeit | Gas | Plasma |
|-------------|-------------|-------------|--------|--------|
| Form | Ja | Nein | Nein | Nein |
| Volumen | Ja | Ja | Nein | Nein |
| Dichte | Hoch | Hoch | Gering | Gering |
| Isotrop | Nicht immer | Ja | Ja | Ja |

Kondensierte Materie

Gasartige Materie



Quantitativere Beschreibung über elastisches Verhalten

Dehnung:

$$\epsilon \equiv \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

$$|\vec{F}_n| = E \cdot A \cdot \frac{\Delta L}{L} \quad \text{bzw.} \quad \sigma \equiv E \cdot \varepsilon; \quad E \equiv \text{Elastizitätsmodul}$$

mit Zugspannung $\sigma \equiv \frac{|\vec{F}_n|}{A}$ und Dehnung $\varepsilon \equiv \frac{\Delta L}{L}$

Scherung:

Bei tangential anliegender Scherspannung $\tau \equiv \frac{|\vec{F}_t|}{A}$
Verkippung um Winkel α

$\tau \equiv G \cdot \alpha$; $G \equiv$ Scher- bzw. Schubmodul

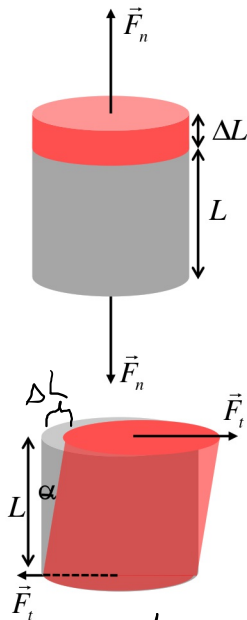
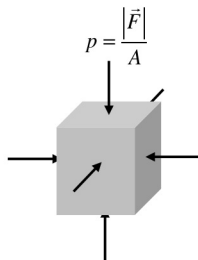
$$G \equiv \frac{d\tau}{d\alpha}$$

Volumenkompression:

Isotroper Druck p von allen Seiten führt zur Verringerung des Volumens V über:

$$p = -K \cdot \frac{\Delta V}{V}; \quad K \equiv \text{Kompressionsmodul}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = -\kappa \cdot p; \quad \kappa \equiv \text{Kompressibilität}$$



$$K \equiv -V \frac{dp}{dV}$$

$$\kappa \equiv -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp}$$

Typisches elastisches Verhalten

Einheit Druck bzw. mechanische Spannung:

$[p] = 1 \text{ N/m}^2 \equiv 1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa}$; $10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$; $101\,325 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$

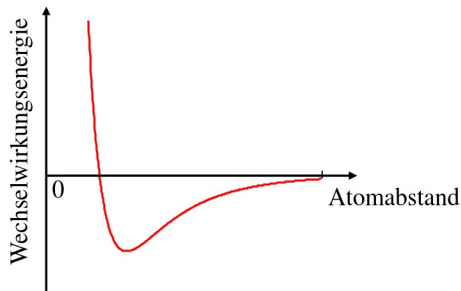
Festkörper: $E \approx 3G \approx K \approx 10^9 \dots 10^{11} \text{ N/m}^2 = 1 \dots 100 \text{ GPa}$

Flüssigkeit: $K \approx 1 \dots 100 \text{ GPa}$; $G \approx 0$

Gas/Plasma: $K \approx 10^{-4} \text{ GPa}$; $G \approx 0$

Unterschiede auf atomarem Maßstab:

| Eigenschaft | Festkörper | Flüssigkeit | Gas | Plasma |
|-----------------------|-------------------------|------------------------------|---------------|---------------------------|
| Bestandteile | gebunden | gebunden | frei | frei, teilweise ionisiert |
| Teilchenbeweglichkeit | gering, Schwingung | mittel | hoch | sehr hoch |
| Wechselwirkungen | stark, häufig gerichtet | stark, im Mittel ungerichtet | keine, gering | gering |



Es gibt Materie, die nicht eindeutig einem Aggregatzustand zugeordnet werden kann.

Beispiele:

- Glas
- Flüssigkristalle

Bestimmte makroskopisch homogen erscheinende Stoffe, setzen sich mikroskopisch aus Stoffen verschiedener Aggregatzustände zusammen.

Beispiele:

- Nebel, Rauch
- Dispersionen
- Aerogele

Fest oder flüssig?



<https://www.youtube.com/watch?v=TcXBnBXlebM>

Materie mit homogener chemischer Zusammensetzung und gleichen makroskopischen physikalischen Eigenschaften nennt man eine **Phase** des betreffenden Stoffs.

Verschiedene Phasen existieren unter verschiedenen Umgebungsbedingungen und können sich über **Phasenübergänge** ineinander umwandeln.

Beispiele für Phasen:

- Graphit / Diamant
- Kochsalzlösung
- Luft (N_2 , O_2 , CO_2 , ...)
- Ferro-/Paramagnet

Keine Phasen:

- Nebel
- Dispersionen

Bs.: Phasendiagramm H_2O

17 kristalline, 5 amorphe/fluide Phasen

From: Chris A. Tulk, et al., Nature 569, 542 (2019)

