

## Physik 1 – Hydrodynamik und Wärmelehre

*Olaf Magnussen*

*Institut für Experimentelle und Angewandte Physik*

Vorlesungsfolien:

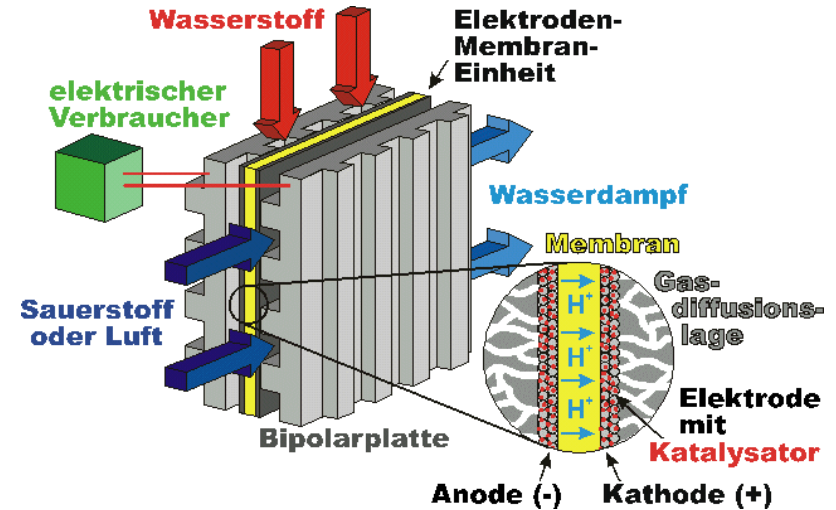
<http://www.ieap.uni-kiel.de/solid/ag-magnussen/de/lehre.html>

Begleitende Lehrbücher:

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

Relevanz:

- Klima- und Ozeanphysik
- Energieumwandlung und -speicherung
- Luft- und Raumfahrt
- Biophysik



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 H<sub>2</sub>):

$N_A \equiv 6,02214 \cdot 10^{23}$  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:**

**Festkörper**

**Flüssigkeit**

**Gas**

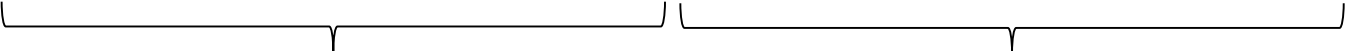
**Plasma**



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:

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

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  $\alpha$

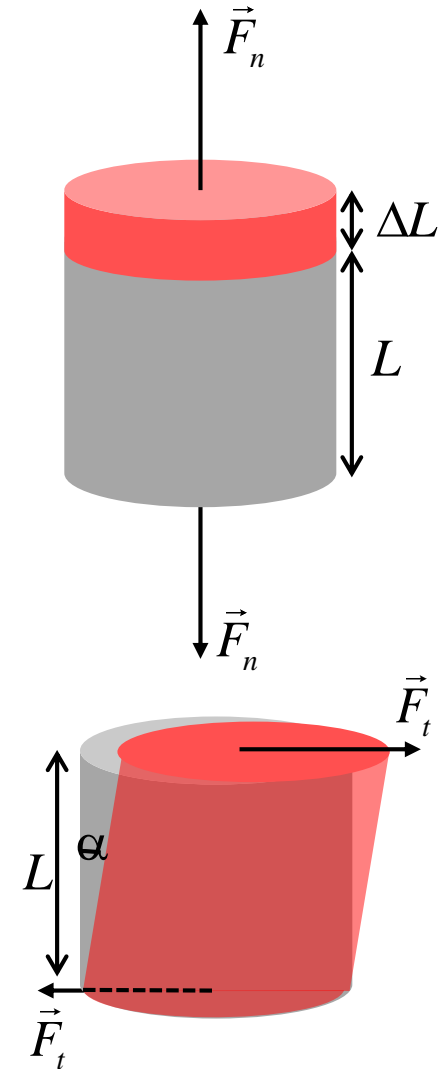
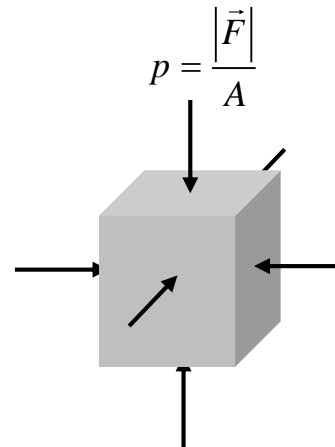
$$\tau \equiv G \cdot \alpha; \quad G \equiv \text{Scher- bzw. Schubmodul}$$

### Volumenkompression:

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

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

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





## Typisches elastisches Verhalten

Einheit Druck bzw. mechanische Spannung:

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

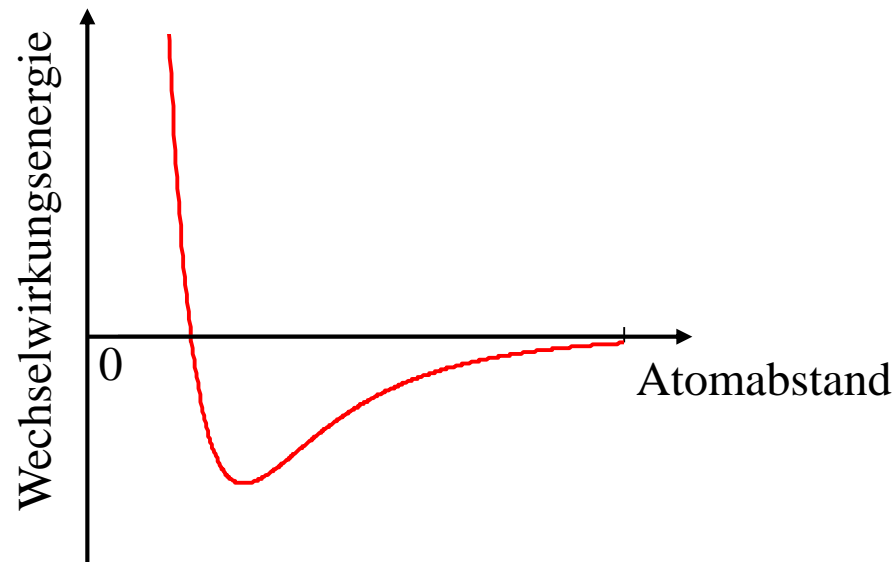
**Festkörper:**  $E \approx 3G \approx K \approx 10^9 \dots 10^{11} \text{ N/m}^2 = 1 \dots 100 \text{ GPa}$

**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:

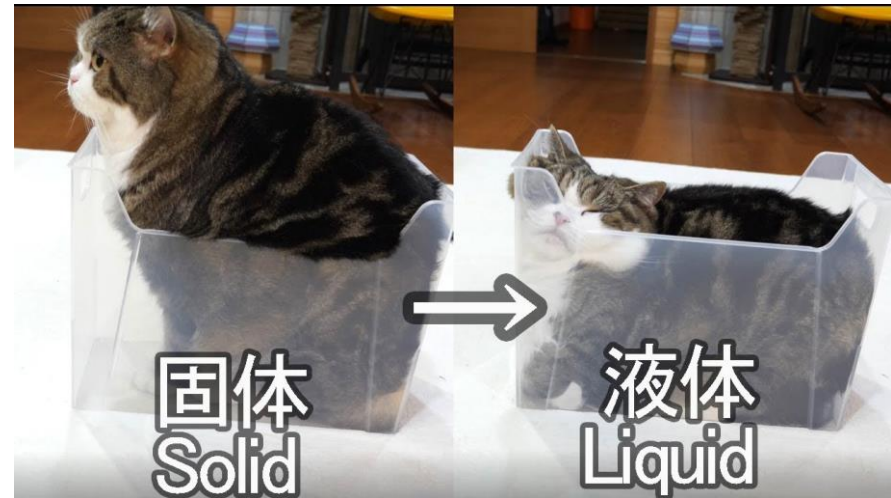
- Glas
- Flüssigkristalle

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 räumlich konstantem physikalischem Zustand 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<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, ...)
- Ferro-/Paramagnet

Keine Phasen:

- Nebel
- Dispersionen

Bs.: Phasendiagramm H<sub>2</sub>O

17 kristalline, 5 amorphe/fluide Phasen

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

