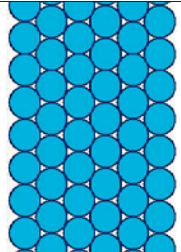
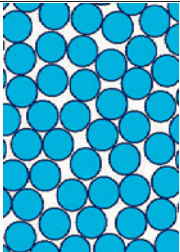
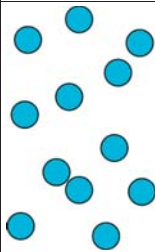


2. Feste, flüssige und gasförmige Materie

2.1 Aufbau der Materie und Wechselwirkung

Materie existiert in drei **Aggregatzuständen** fest, flüssig und gasförmig:

	Festkörper	Flüssigkeit	Gase
Anordnung	regelmäßig	Nahordnung	weit
Abstand	fest	fest	frei
Winkel	fest	frei	frei
			

2.2 Deformation fester Körper

Dehnung eines Festkörpers (Drahtes):

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{A}$$

mit der Längenänderung Δl bei der Länge l , dem Querschnitt A , der Kraft F und dem

Elastizitätsmodul E als Materialkonstante:

$$E = \frac{F/A}{\Delta l/l}$$

Die Größe F/A nennt man „mechanische Spannung“

Bei der **Kompression** wird **Druck** $p = F/A$ von allen Seiten ausgeübt und es folgt eine

Volumenänderung:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{K} \cdot \Delta p$$

mit der Volumenänderung ΔV , der Druckänderung Δp und dem **Kompressionsmodul** K als Materialkonstante.

Bei der **Scherung** wird **Kraft** F parallel zur Fläche A ausgeübt:

$$\frac{\Delta x}{y} = \frac{1}{G} \cdot \frac{F}{A}$$

mit der Verschiebung Δx , bei einer Höhe y und dem Schubmodul G als Materialkonstante.

2.3 Hydrostatik und Aerostatik

Druck ist als **Kraft** F durch **Fläche** A definiert:

$$p = \frac{F}{A}$$

Maßeinheit $N/m^2 = Pa$ (Pascal)

andere Einheiten sind: 1 bar = 10^5 Pa, at = 98100 Pa (Luftdruck)

2.3.1 Flüssigkeiten:

Anwendung bei der hydraulischen Presse:

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} \cdot F_1$$

Das Gewicht der Flüssigkeit bewirkt den **hydrostatischen Druck**:

$$p_h = \rho \cdot g \cdot h$$

mit der Dichte ρ , der Erdbeschleunigung g und der Tiefe h (bzw. Höhe h der Wassersäule).

Die Dichte ρ ist gegeben durch den Quotienten aus Masse und Volumen der Flüssigkeit:

$$\rho = m/V$$

Die Druckmessung kann auch über die Höhe einer Quecksilbersäule in einem U-Rohr-Manometer in Torr = 1mm Quecksilbersäule = 1,3 mbar = 130 Pa erfolgen.

Auf einen schwimmenden bzw. untergetauchten Körper wirkt die **Auftriebskraft** als Differenz des hydrostatischen Drucks auf der Unter- bzw. Oberseite des Körpers:

$$F_a = g \cdot \underbrace{\rho \cdot v}_{\text{Masse der verdrängten Flüssigkeit}}$$

$$F_a = \text{Gewicht der verdrängten Flüssigkeit}$$

Insgesamt gilt für:

$$\rho_{\text{Körper}} < \rho_{\text{Flüssigkeit}} : F_a > F_g \quad \Rightarrow \text{Körper schwimmt}$$

$$\rho_{\text{Körper}} = \rho_{\text{Flüssigkeit}} : F_a = F_g \quad \Rightarrow \text{Körper schwebt}$$

$$\rho_{\text{Körper}} > \rho_{\text{Flüssigkeit}} : F_a < F_g \quad \Rightarrow \text{Körper sinkt}$$

2.3.2 Gase:

Für die komprimierbaren Gase gilt für den Schweredruck die „**Barometrische Höhenformel**“:

$$p(h) = p_0 \cdot \exp(-h/h_0), \quad h_0 = \frac{p_0}{\rho_0 g}$$

mit dem Normaldruck p_0 auf Meeresspiegelhöhe, der Skalenhöhe h_0 und der Dichte von Luft bei Normaldruck $\rho_0 = 1,21 \text{ kg/m}^3$ und 20°C .

Auch in Gasen beobachtet man Auftrieb. Beispiel: Luftballon mit He gefüllt.

Die Vergrößerung von Oberflächen ΔA (z.B. Seifenblase oder Lungenbläschen) kostet Arbeit:

$$\Delta W = \Delta E = \varepsilon \cdot \Delta A$$

mit der **Oberflächenspannung** ε und der Maßeinheit N/m und der Dimension Energie/Fläche.

Flüssigkeit nimmt von selbst kleinste Oberfläche ein (Tropfen)

2.4 Hydrodynamik und Aerodynamik

Der Flüssigkeitsdurchsatz $\Delta V/\Delta t$ einer strömenden Flüssigkeit ist gegeben durch

$$\Delta V/\Delta t = A \cdot v$$

mit dem Volumen ΔV in der Zeiteinheit Δt , dem Querschnitt der Strömung A und der Strömungsgeschwindigkeit v .

An einer Verengung der Strömung hat die **Kontinuitätsgleichung** zu gelten (Flüssigkeit geht nicht verloren!):

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

In der Verengung wird die Flüssigkeit beschleunigt. Das führt zu einer Erhöhung der kinetischen Energie der strömenden Flüssigkeit. Dies wird kompensiert durch eine Abnahme des Drucks im Bereich hoher Geschwindigkeit (Energieerhaltungssatz):

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 = \text{konst.}, \quad \text{Gesetz von Bernoulli}$$

Im Bereich hoher Strömungsgeschwindigkeit ist der Druck geringer. Dies ist der Grund für den **dynamischen Auftrieb** beim Fliegen oder das Abdecken von Dächern bei Sturm.

Flüssigkeit strömt nicht reibungsfrei, sondern klebt durch Adhäsionskräfte aneinander und durch Kohäsionskräfte an der Wand. Diese innere Reibung wird durch die Kraft F_z beschrieben, die auf eine Platte der Oberfläche A wirkt, die durch die Flüssigkeit gezogen wird:

$$F_z = \eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dz}$$

Dabei ist die **Viskosität** bzw. Zähigkeit der Flüssigkeit. Maßeinheit ist $\text{Ns} / \text{m}^2 = \text{Pa} \cdot \text{s}$.

In zäher Flüssigkeit ist η groß. η sinkt mit steigender Temperatur. Bei idealer reibungsfreier Flüssigkeit ist $\eta = 0$. Die Viskosität wird mit dem Kugelfallviskosimeter gemessen.

Beim laminaren Durchströmen eines Rohres entsteht ein parabolisches Geschwindigkeitsprofil was zu folgendem Flüssigkeitsdurchsatz führt.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi \cdot (p_1 - p_2)}{8 \eta \cdot l} \cdot R^4 \quad \text{Gesetz von Hagen-Poiseulle}$$

Beachte die R -Abhängigkeit mit der vierten Potenz!