

Klassische Physik 1

WS 2012/13

Johannes Blümer

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



Zusammenfassung v22

- **4-Vektoren** Zeit-Ort $\tilde{x} = (ct, \vec{x}) = (ct, x_1, x_2, x_3)$
Energie-Impuls $\tilde{p} = (E, \vec{p}c) = (E, p_1c, p_2c, p_3c)$

Beträge von 4-Vektoren sind Lorentz-invariant (gleich in allen Bezugssystemen)

$$|\tilde{x}| = (c^2 t^2 - |\vec{x}|^2)^{1/2} \qquad |\tilde{p}| = (E^2 - |\vec{p}|^2 c^2)^{1/2} = m c^2$$

- **Lorentz-Transformation in Matrixschreibweise**

$$\begin{pmatrix} ct' \\ x'_1 \\ x'_2 \\ x'_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma & -\gamma\beta & 0 & 0 \\ -\gamma\beta & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(ct - \beta x_1) \\ \gamma(x_1 - \beta ct) \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \quad \text{analog für Energie-Impuls}$$

- **Einführung in Allgemeine Relativitätstheorie**

- Lichtablenkung im Schwerfeld
- Gravitative Rotverschiebung
- Schwarze Löcher:

$$m_{\text{schwer}} = m_{\text{träge}} \quad \text{Äquivalenzprinzip}$$

Schwarzschild-Radius $R_c = \frac{2GM}{c^2}$

5. Mechanik deformierbarer Körper

- 5.1 Feste deformierbare Körper
- 5.2 Hydrostatik
- 5.3 Hydrodynamik

} für Gase und
Flüssigkeiten,
auch "Fluide"

Vorbemerkung

Festkörper

Flüssigkeit

Gas

Volumen
definiert
definiert
beliebig

Gestalt
definiert
beliebig
beliebig

Elastizität (v. Volumen oder Gestalt)

Rückbildung nach hinreichend kleinen Änderungen

Spannung: $\sigma = \frac{F}{A}$ [Zug- / Druckspannung]

Druck: $p = \frac{F}{A}$ $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Dichte: $\rho = \frac{m}{V}$ $\rho(\vec{r}) = \frac{dm(\vec{r})}{dV}$

Dichte von Gasen bezieht sich stets auf definierte
Druck- und Temperatureinstellungen!

kleinere Auswirkungen in allen Stoffen

Dichten in kg m^{-3}

Wasserstoff

0,09

Luft

1,3

Benzin

$0,7 \cdot 10^3$

Wasser

$1 \cdot 10^3$

Erde

$5,5 \cdot 10^3$

Gold

$19,3 \cdot 10^3$

} $T = 0^\circ\text{C}$ und $P = 1 \text{ atm}$
 $= 101 \text{ kPa}$

Kompression von Körpern:

Kompressionsmodul

Kompressibilität

$$K = - \frac{P}{\Delta V/V}$$

$$\kappa = \frac{1}{K}$$

$$- \frac{\Delta V}{V} = \kappa \cdot P$$

↙ Druck von allen Seiten
(Fluiden!)

↘ relative Volumenänderung

IV Feste deformierbare Körper

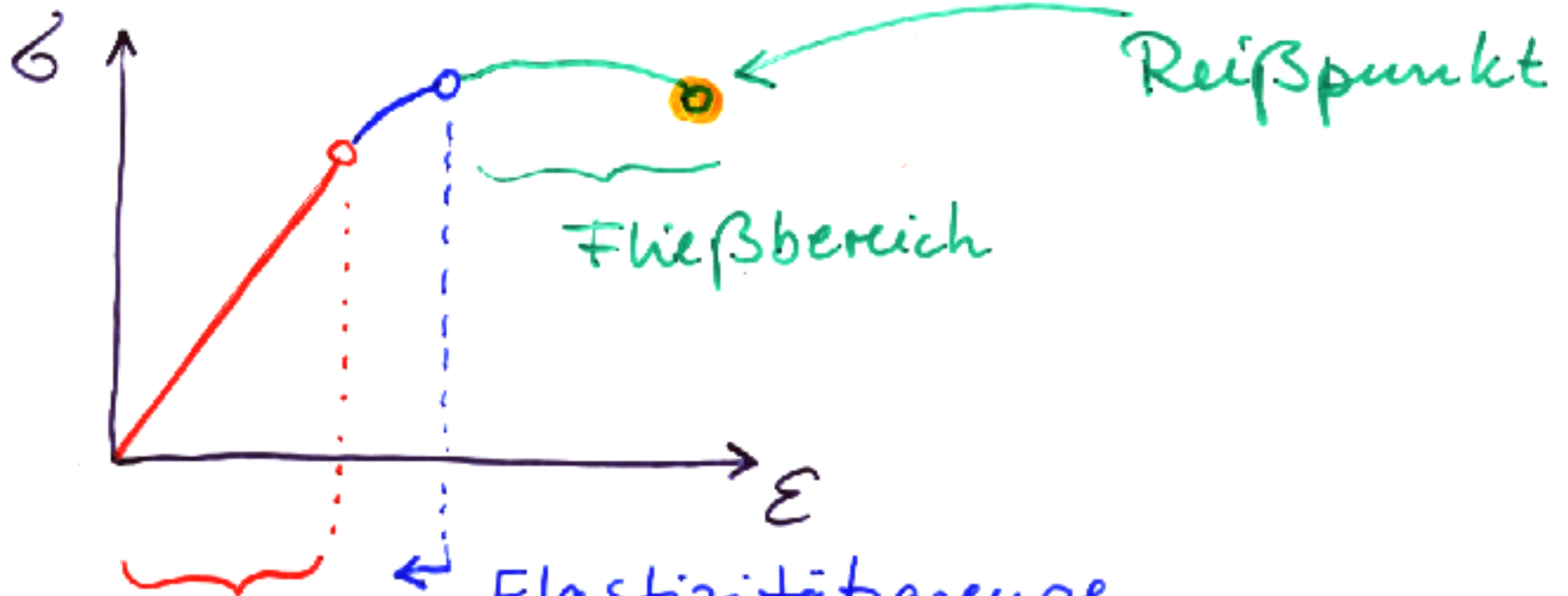
"Dehnung" = relative Längenänderung
 $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$

Elastizitätsmodul = $\frac{\text{Spannung}}{\text{Dehnung}}$

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

typisches Verhalten eines Metalls:

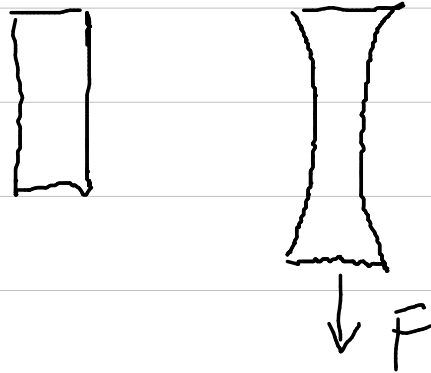
typ. Verhalten f. Metall:



Proportionalitätsbereich, $\sigma \propto \epsilon$
Hooke'sches Gesetz,
ideale Federn

Elastizitätsgrenze
Dauerhafte Verformung
auch nach Wegnahme
der Belastung

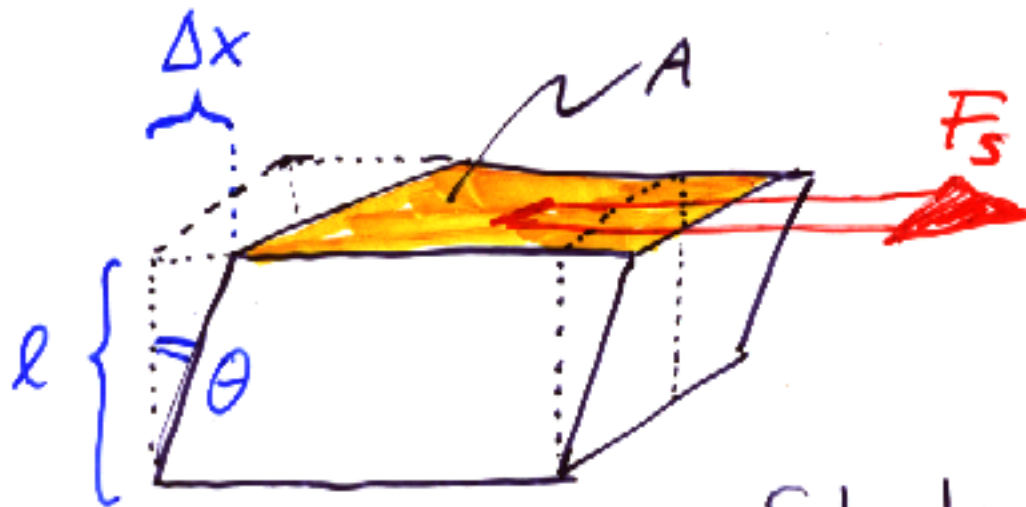
Zugspannung: Dehnung in Kraftrichtung und
eine Kontraktion quer dazu
wg. der Konstanz des Volumens



Was passiert wenn Kraft parallel zur Oberfläche angreift?
⇒ Scherung

Buch, Schwamm





Scherung: $\gamma = \frac{\Delta x}{l} = \tan \theta$

Scherzpannung $\tau = \frac{F_s}{A}$

Schubmodul (Torsions~):

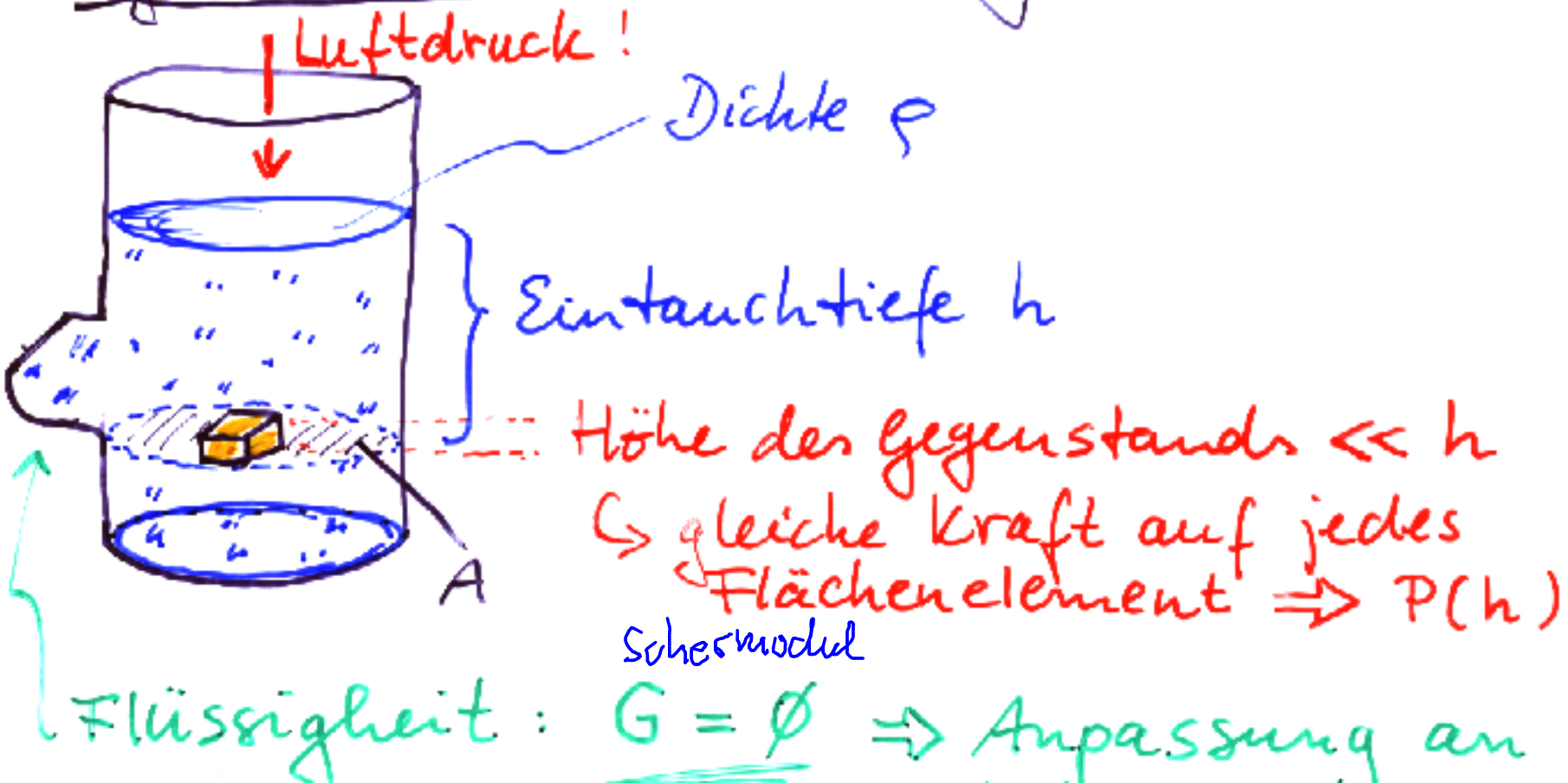
$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{F_s / A}{\Delta x / l} = \frac{F_s / A}{\tan \theta}$$

	<u>$E [\text{GNm}^{-2}]$</u>	<u>$G [\text{GNm}^{-2}]$</u>	<u>$K [\text{GNm}^{-2}]$</u>
Aluminium	70	30	70
Beton	23	-	-
Blei	16	6	7.7
Stahl	200	84	160

Hydrostatik

Hydrostatischer Druck, Barometerformel
Dichte von Gasen, Auftrieb,
Oberflächenspannung, Kapillarität

Hydrostat. Druck in Flüssigkeiten



beliebige Form

Druck wird erzeugt durch Flüssigkeitssäule, die über der Fläche A steht:

$$F_G = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot A \cdot h \cdot g$$

$$p = \frac{F_G}{A} = \rho h g$$

Druck in Eintauchtiefe h

$$p(h) = p_0 + \rho h g$$

Luftdruck (oder andere zusätzliche Drücke an der oberen Fläche)

Druck ist ein Skalar!

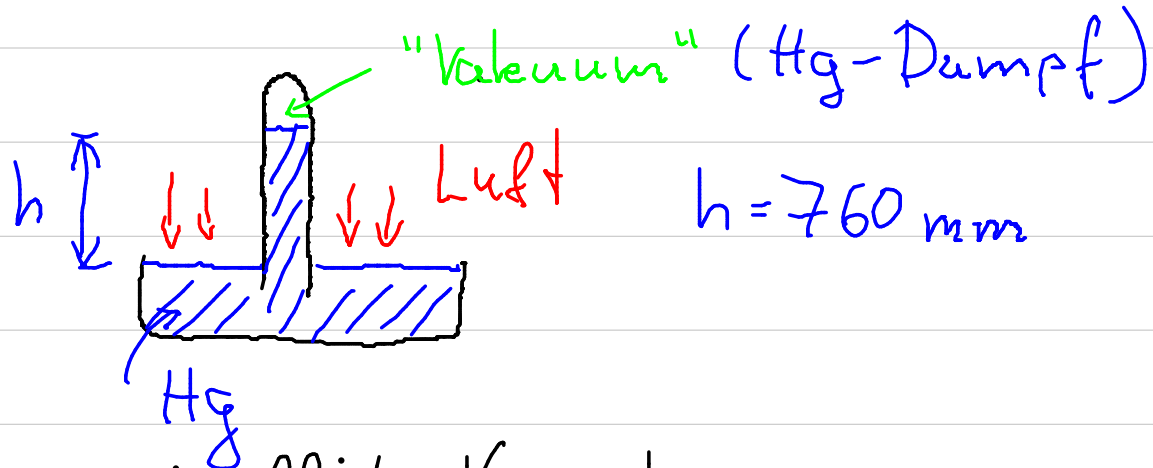
$$\vec{F} = p \cdot \vec{A}$$



↳ wirkt in gleicher Stärke in alle Richtungen!

„Hydrostatisches Paradoxon“ als Konsequenz von *

Druckmessungen...



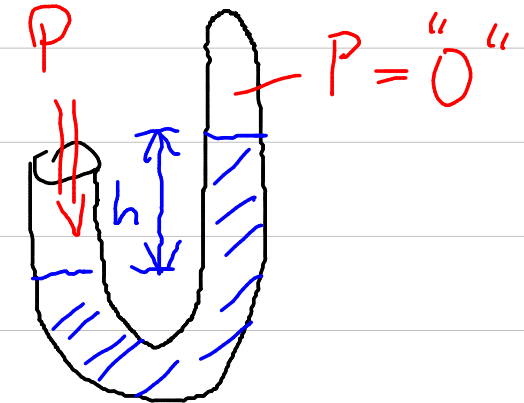
Torricelli's Versuch

~~1 Torr = 1 mm Hg~~
~~1 atm = 760 mm Hg~~

alt
nur Mediziner nutzen das noch! :C

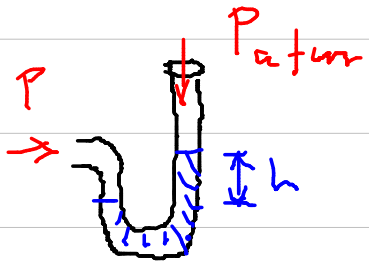
$\Rightarrow$

geschlossenes
Manometer

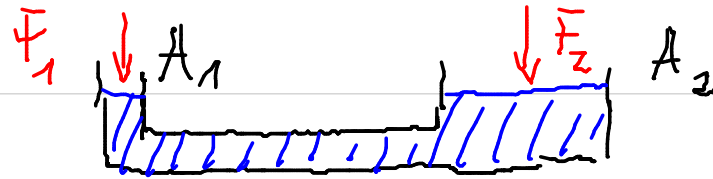


$P = \rho g h$ Absolut-
druck

offenes Manometer für Überdruckmessungen



Hydraulik aller Art:



$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

wg. gleichen Druck $\Rightarrow$ $\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$

Kraftverstärkung