

Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

(PFMF-V); 09410100

Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

Mechanik Teil 5 am 21.04.2021

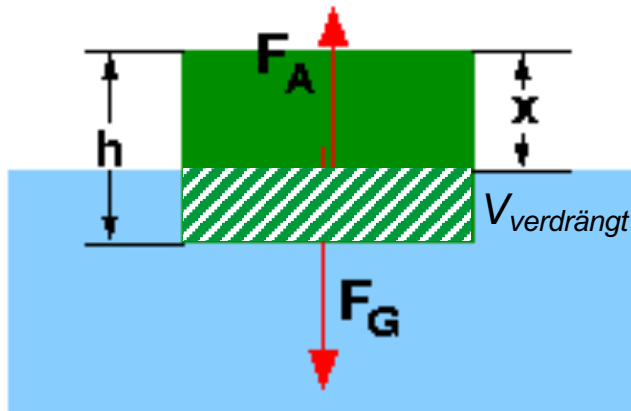


Dr. Simon Moser
Lehrstuhl für Exp. Physik IV
Universität Würzburg
simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de



Wiederholung: Auftriebskraft

Ein Körper taucht so lange in das Wasser ein, bis der Auftrieb gleich der Gewichtskraft ist:



$$\rho_K \cdot V_K \cdot g = \rho_{Fl} \cdot g \cdot V_{\text{verdrängt}}$$

Gewichtskraft

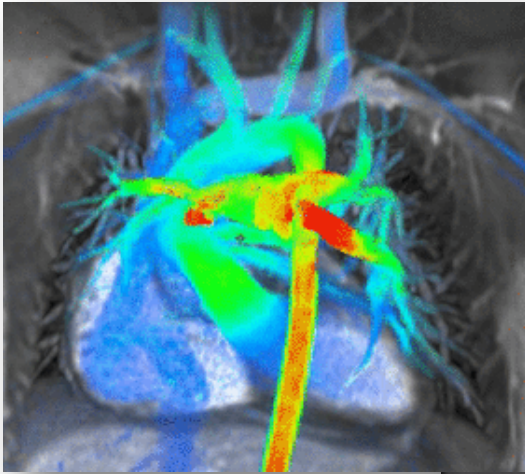
Auftriebskraft

$V_K > V_{\text{verdrängt}}$ $\rho_K < \rho_{Fl}$ Der Körper schwimmt

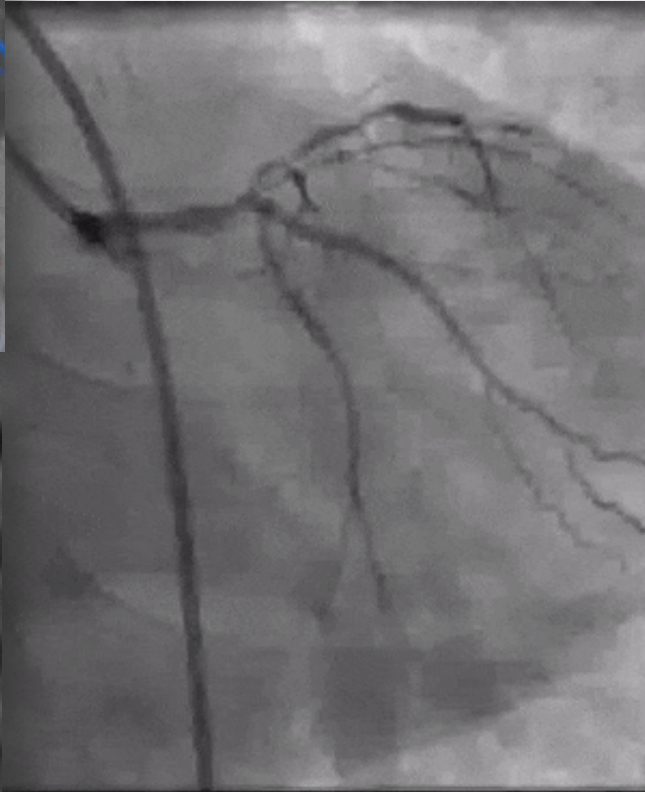


Bewegte Flüssigkeiten: Motivation

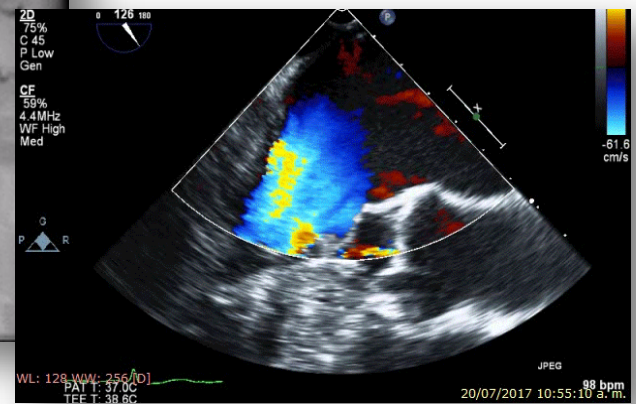
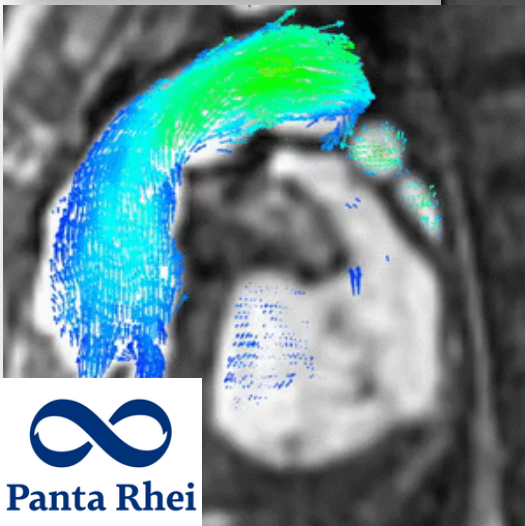
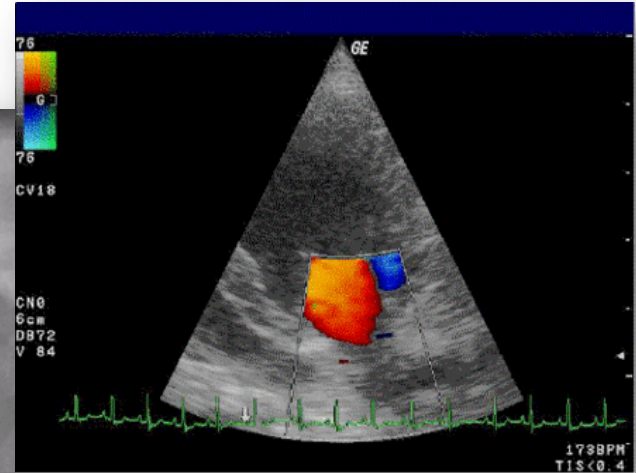
MRT



Röntgen



Doppler-US



MG: Ideale Flüssigkeit

Kontinuitätsgleichung

The image shows a software interface for simulating fluid flow in a pipe. The interface includes several control panels and a central visualization area.

- Flow Rate Control:** A yellow panel at the top left shows "Durchflussmenge: 5000 l/s (Liter pro Sekunde)" with a slider below it.
- Speed and Pressure Readings:** A central yellow panel contains a "Speed" display showing a dash "-" and a "Druck" (Pressure) gauge showing "101,302 kPa".
- Settings Panel:** A yellow panel on the right contains:
 - Lineal
 - Druck-Maßeinheit:**
 - kPa
 - psi
 - Reibung am Rohr
 - Strömungsgeschwindigkeit messen

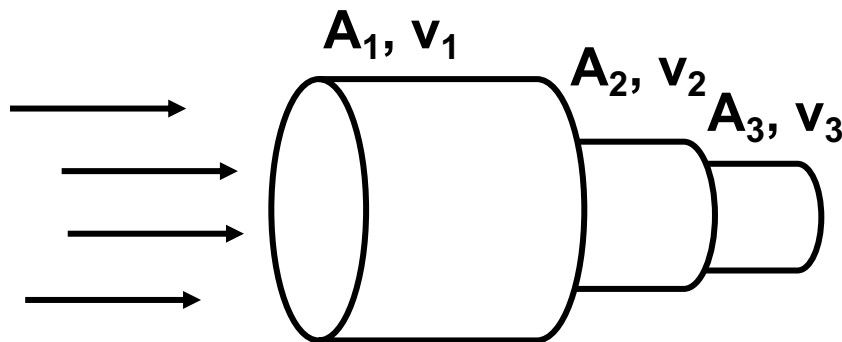
Below the settings panel is a button labeled "Alles zurücksetzen".

- Visualization:** A red circular button on the left is labeled "Flüssigkeitsteilchen anzeigen" (Show fluid particles), which is currently checked. The central visualization shows a blue pipe with red dots representing fluid particles moving from left to right.

MG: Ideale Flüssigkeit

Kontinuitätsgleichung ideale Flüssigkeit

- 1) Die **Kompressibilität** der Flüssigkeit wird vernachlässigt; d.h. sie wird als *inkompressibel* angesehen
- 2) Die Wechselwirkung zwischen den strömenden Flüssigkeitsmolekülen, d.h. die **innere Reibung** wird vernachlässigt
- 3) Für eine **ideale Flüssigkeit** gilt die **Kontinuitätsgleichung**:



$$A \cdot v = \text{konstant}$$

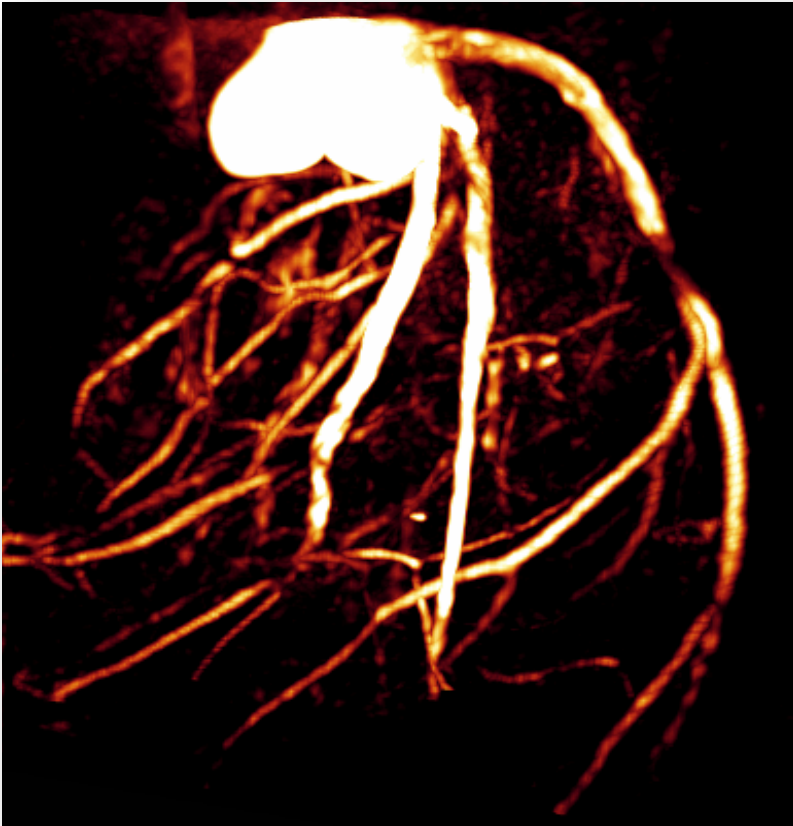
oder

$$V/t = \text{konstant}$$

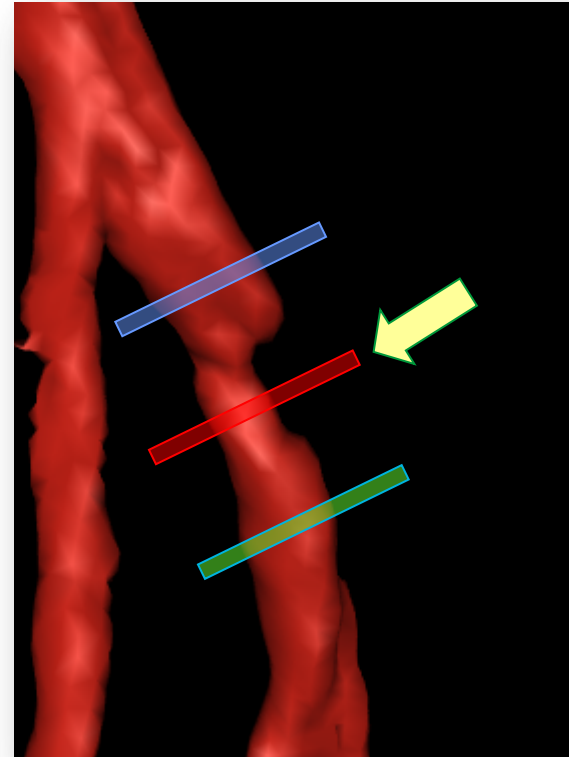
A = Querschnitt
v = Flussgeschwindigkeit
V = Flüssigkeitsvolumen
t = Zeit

Massenerhaltung!

MR Fluss-Messung: chronische Stenose

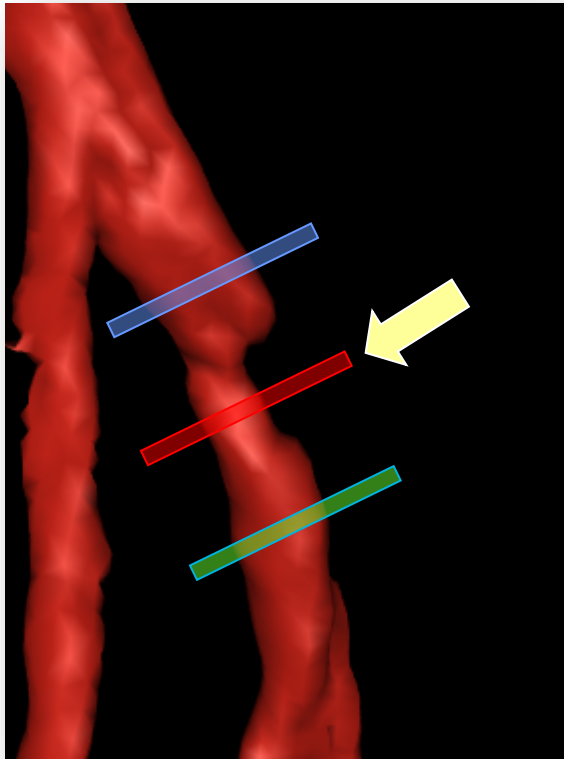


**3D-
Angiographie**

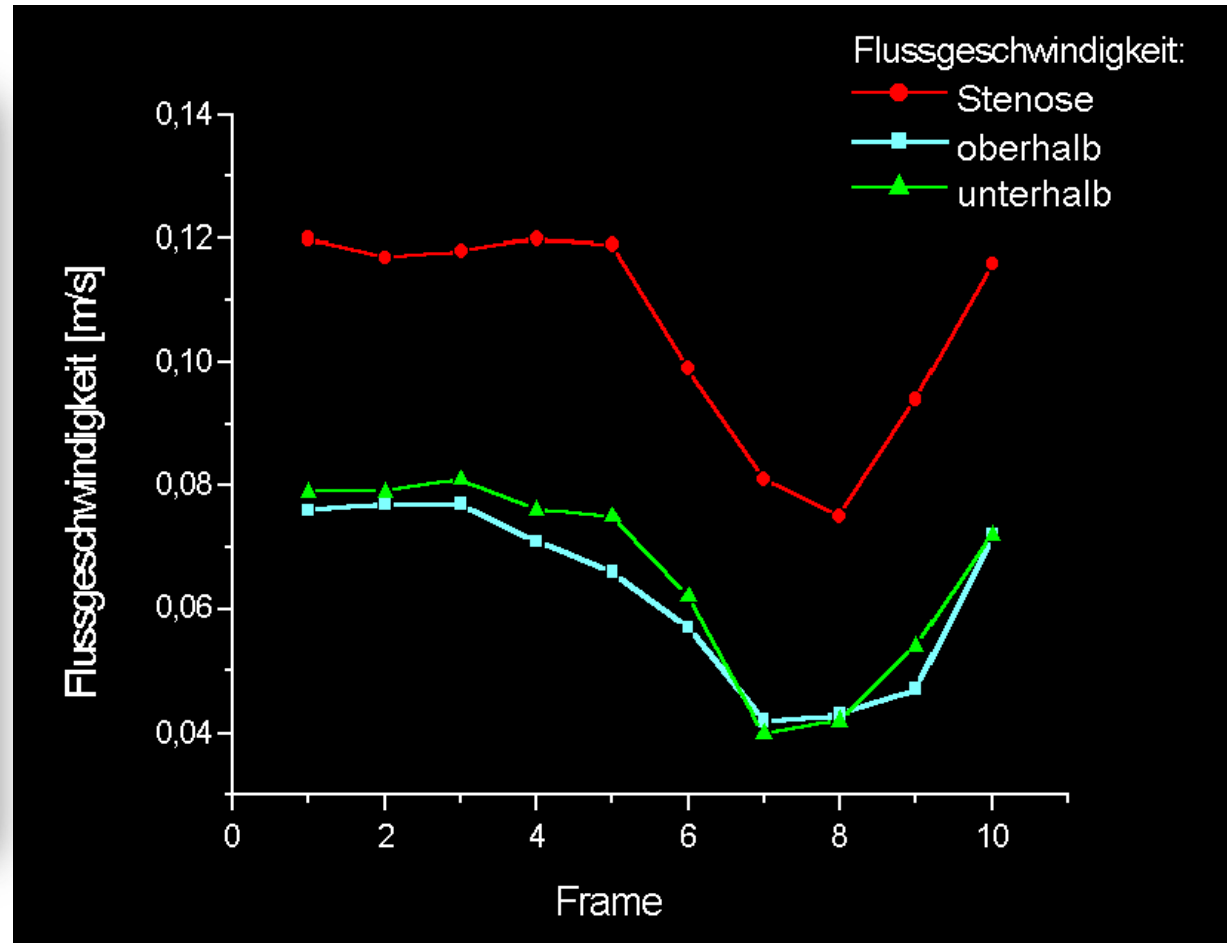


**Flussmessungen
an verschiedenen
Stellen**

MR Fluss-Messung: chronische Stenose



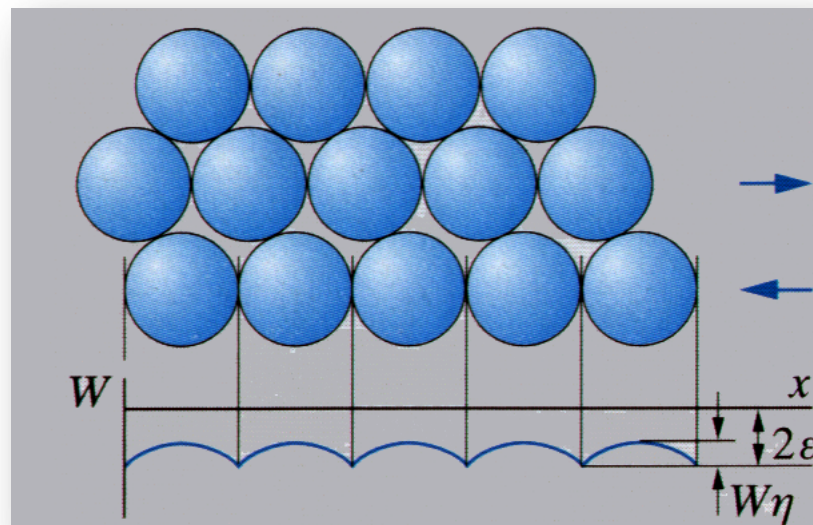
Flussmessungen
an verschiedenen Stellen



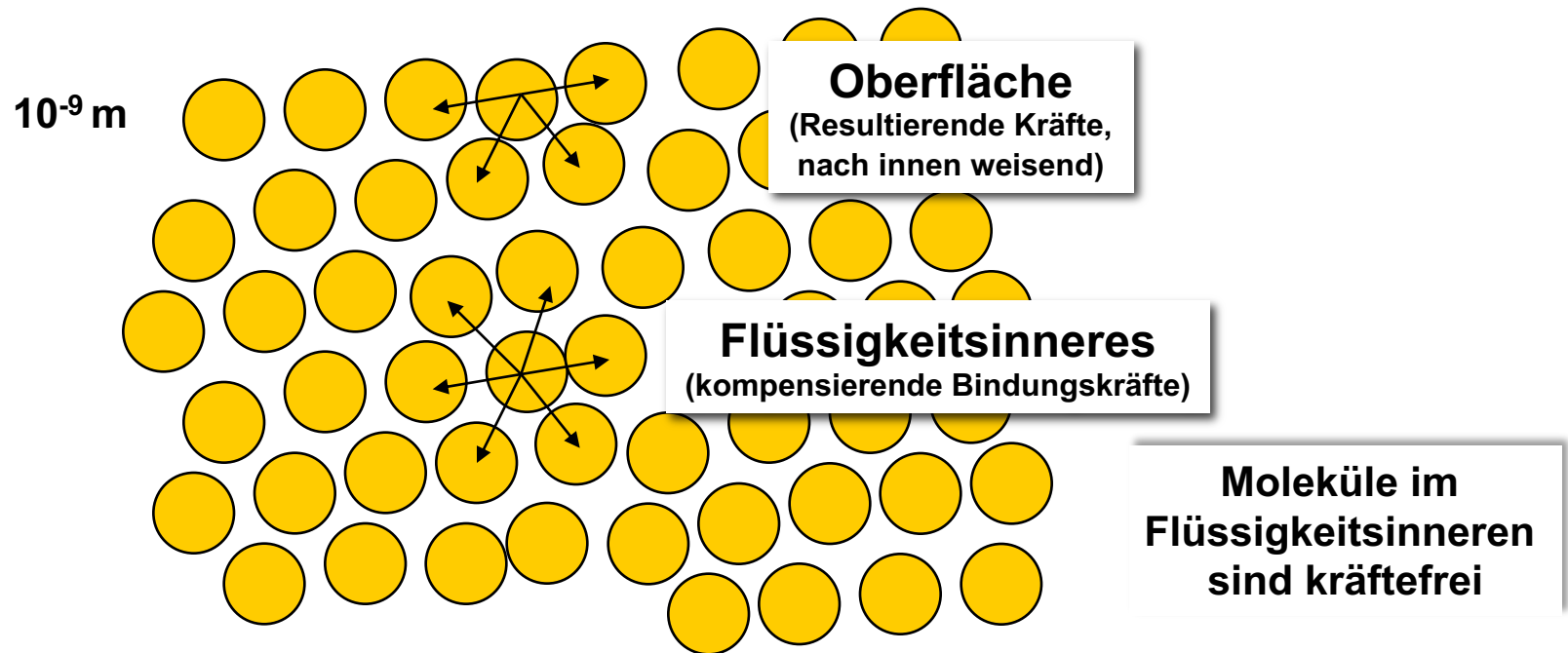
MG: Reale Flüssigkeit

Modell der realen Flüssigkeit:

- 1) Es wirken **Kohäsionskräfte** zwischen den Flüssigkeitsteilchen, die eine Bewegung zu verhindern suchen
- 2) **Aneinander grenzende Flüssigkeitsschichten** können sich daher nur **reibend gegeneinander verschieben**
- 3) Die **Viskosität (Zähigkeit)** η hängt von der Stärke der Kohäsionskräfte ab und ist *temperaturabhängig*. Stichwort Motoröl!



MG: Kräfte in Flüssigkeiten



Kohäsionskräfte (cohaerere = lat. Zusammenhalt):

Der Zusammenhalt oder auch die innere Eigenfestigkeit (=Kohäsion) eines Stoffes wird durch die **gegenseitige Anziehungskraft zwischen Molekülen** eines Stoffes verursacht, diese Kraft nennt man **Kohäsionskraft**.

MG: Kräfte in Flüssigkeiten

In Flüssigkeiten bestehen Anziehungskräfte zwischen den Molekülen

Kohäsion = Anziehung zwischen den Molekülen einer Flüssigkeit

d.h. Es ist eine Kraft notwendig, um ein Molekül aus der Oberfläche zu entfernen

Folge der Kohäsion: Oberflächenspannung

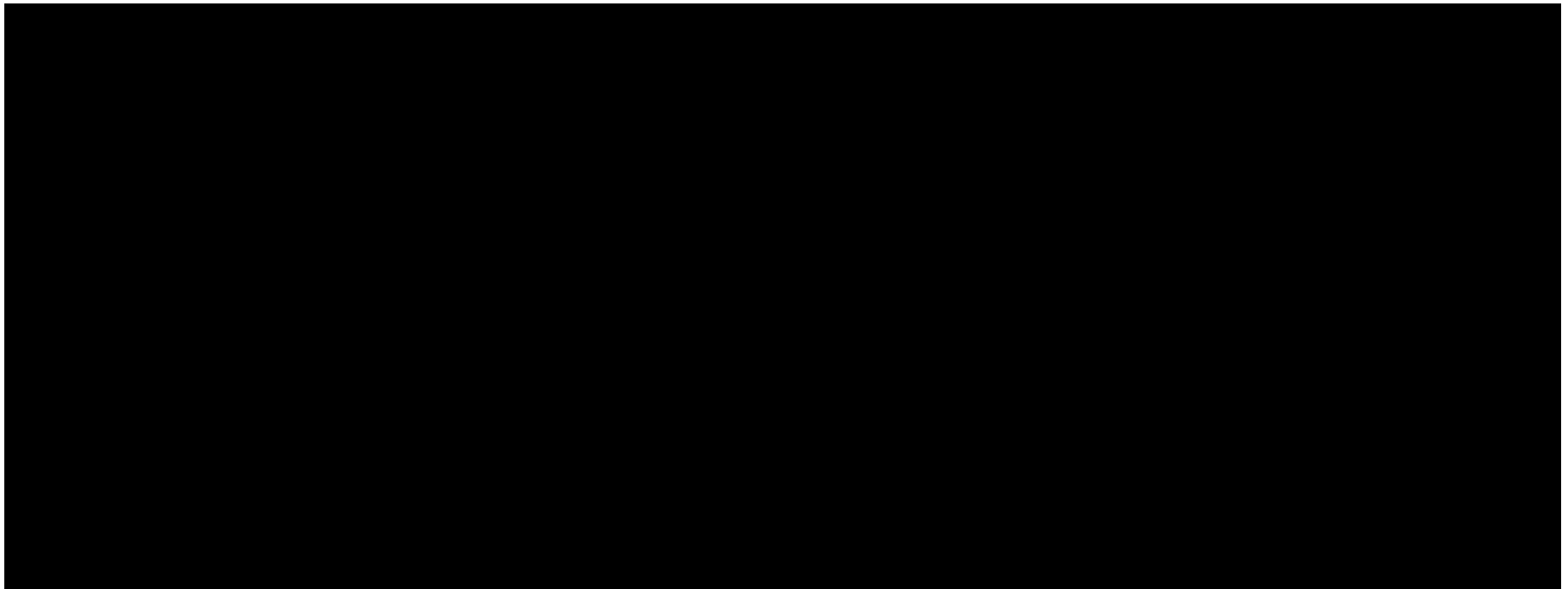


Objekte sinken soweit ein, bis die dadurch bewirkte Vergrößerung der Oberfläche die Gewichtskraft kompensiert



Ungestörte Oberflächen nehmen immer die kleinste mögliche Gesamtfläche ein

MG: Kräfte an Flüssigkeiten

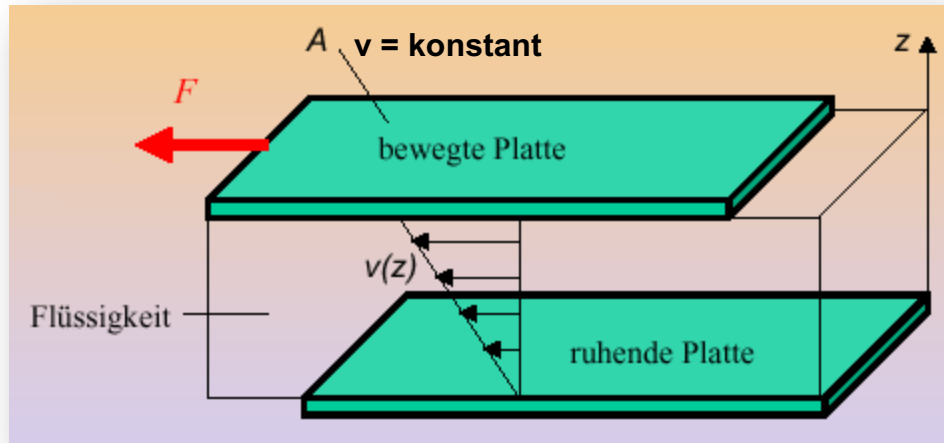


kleine Oberflächenspannung γ

große Oberflächenspannung γ

MG: Innere Reibung bei Flüssigkeiten

Reale Flüssigkeiten besitzen eine innere Reibung



$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{v}{z} = \eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dz}$$

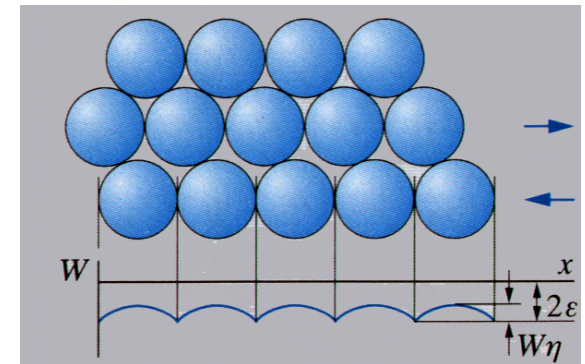
Newton'sche Flüssigkeit

$\eta = \text{konstant}$; [Nsm^{-2}]

unabhängig von v , F

Annahme: Flüssigkeitsteilchen haften sowohl an der bewegten und der ruhenden Platte

Jede Flüssigkeitsschicht übt bei der Bewegung eine Schubspannung auf die benachbarten Schichten aus. Molekülschichten müssen übereinander hinweggleiten und dabei Potentialwälle übersteigen.



η nennt man **Zähigkeit** oder **dynamische Viskosität**

MG: Innere Reibung bei Flüssigkeiten

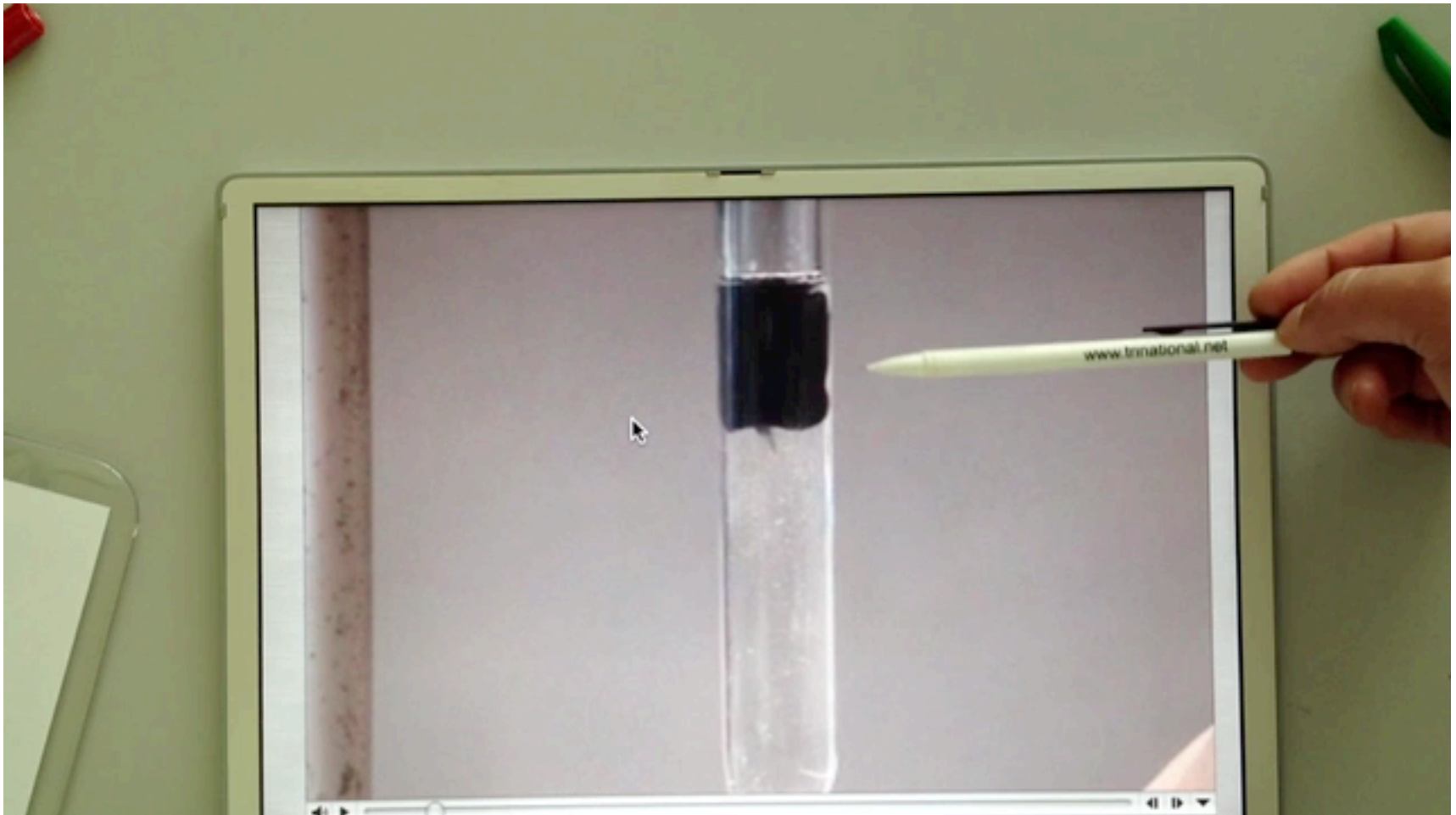
The image shows a simulation interface for fluid flow in a pipe. The top section contains several control elements:

- Flow Rate:** A slider set to 5000 l/s (Liter pro Sekunde).
- Speed:** A display showing a dash (-).
- Pressure:** A gauge labeled "Druck" showing 101,302 kPa.
- Pressure Unit:** A dropdown menu set to "kPa".
- Options:** Checkboxes for "Lineal", "Reibung am Rohr", and "Strömungsgeschwindigkeitsmesser".
- Reset:** A button labeled "Alles zurücksetzen".
- Visualization:** A checkbox labeled "Flüssigkeitsteilchen anzeigen" is checked.

The bottom section shows a cross-section of a pipe with a blue fluid and red particles. The pipe is surrounded by a brown ground layer with several small white structures.

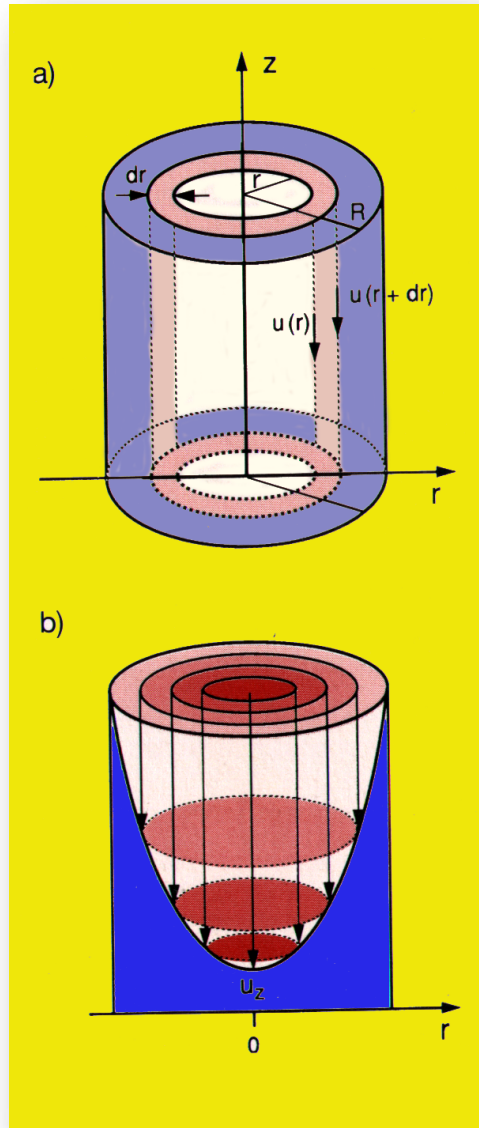
MG: Innere Reibung bei Flüssigkeiten

Hagen-Poiseuille-Gesetz



MG: Innere Reibung bei Flüssigkeiten

In einem Rohr treten infolge der inneren Reibung Verluste an **kinetischer Energie** auf



- 1) Strömt eine Flüssigkeit durch ein Rohr (Wasserleitungen, Pipelines oder Blutgefäße), bildet sich ein **parabolischer Geschwindigkeitsverlauf** aus
- 2) Der **Volumenstrom V/t** eines homogenen Fluids in einer zylindrischen Röhre ist:
 - ① direkt proportional zur Druckdifferenz $\Delta p = p_1 - p_2$
 - ② indirekt proportional zur Zähigkeit η
 - ③ indirekt proportional zu Länge L des Gefäßes
 - ④ direkt proportional zur vierten Potenz des Radius R

$$\frac{V}{t} = I = \frac{\pi (p_1 - p_2) R^4}{8 \eta L}$$

Hagen-Poiseuille-Gesetz

Strömungsmechanik/Hydromechanik

In einem Rohr treten infolge der inneren Reibung Verluste an kinetischer Energie auf

Zur Aufrechterhaltung einer konstanten Geschwindigkeit müssen diese Verluste kompensiert werden, wozu eine Kraft erforderlich ist, die durch die Druckdifferenz Δp aufgebracht wird

- Strömung von Flüssigkeiten durch Rohre (dazu gehören auch Blutgefäße)
- Flüssigkeitsvolumen dV , das durch einen Rohrquerschnitt pro Zeit dt , fließt:

$$I_H = \frac{dV}{dt} = \dot{V} = \frac{\Delta p}{R_S}$$

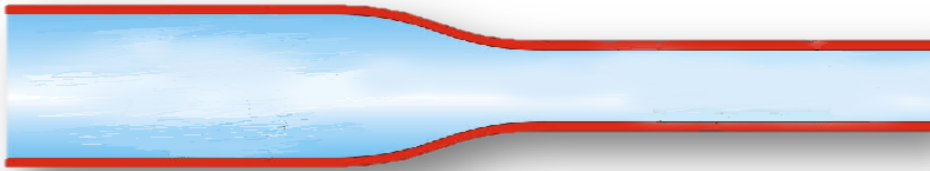


$$R_s = \frac{\Delta p}{I}$$

**Ohmsche Gesetz
der Hydrodynamik**

- I_H = hydrodynamische Strom
- Δp = Druckdifferenz zwischen den Rohrenden
- R_S = Strömungswiderstand (Reibung der Flüssigkeitsteilchen)
= Verhältnis zwischen Druckdifferenz und Volumenstrom

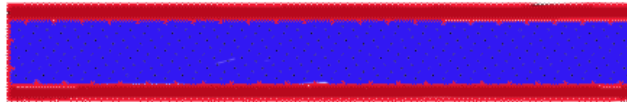
MG: Blutströmung bei Verengungen



$$R_s = \frac{\Delta p}{I}$$

Reduktion
des Radius

0 %



20 %



50 %



80 %



Volumenstrom

$I_0 = 100 \text{ cm}^3/\text{min}$

41 cm^3/min

6.3 cm^3/min

0.16 cm^3/min

Nebenbemerkung: Blut hat eine 4-mal höheres η als Wasser.
Blut ist keine Newton'sche Flüssigkeit; je größer p desto geringer η

M1 Dichte und Hydrodynamik:

Bestimmung der Zähigkeit η von Wasser

Durchfluss einer Flüssigkeit durch eine Röhre:

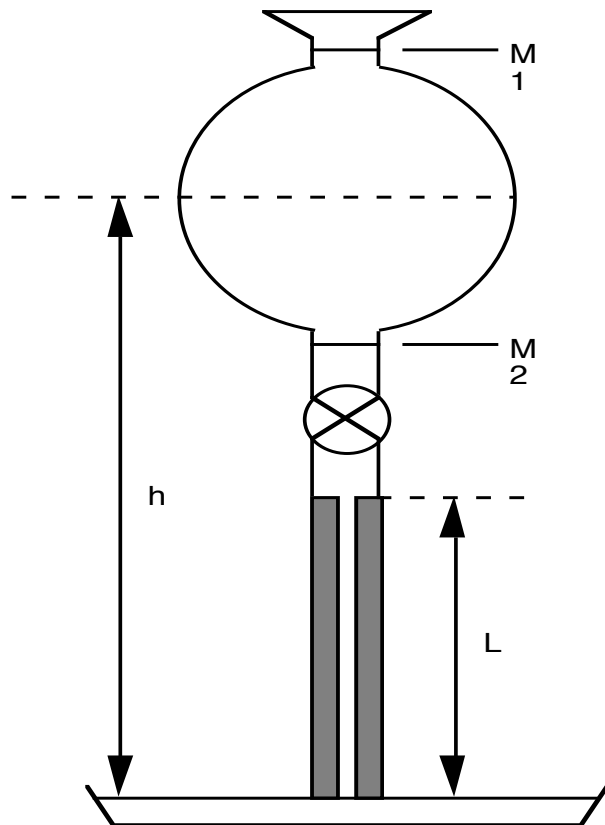
$$\frac{V}{t} = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot L} \cdot \Delta p$$

Volumen V
Zeit t
Radius r
Länge L
Druck p
Höhe h
Dichte ρ
Erdbeschl. g

(mittlere) Druckdifferenz:

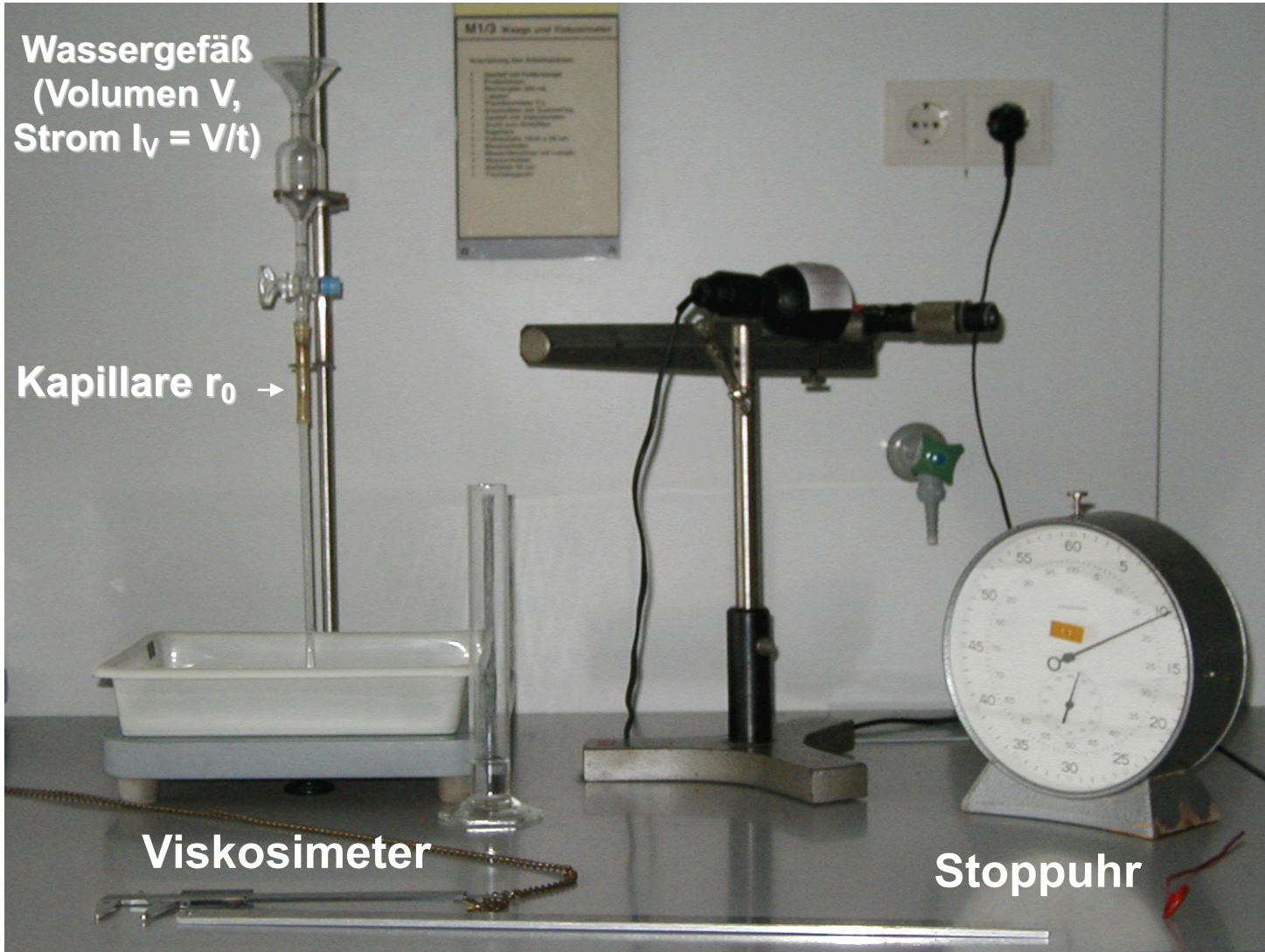
$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h$$

Mittlere Höhe h , da zwischen Druckdifferenz und Höhe ein linearer Zusammenhang besteht und damit der mittlere Druck gleich dem Druck bei der mittleren Höhe entspricht!



Viskosimeter

M1 Dichte und Hydrodynamik: Bestimmung der Zähigkeit η von Wasser



Volumen V
Zeit t
Länge L
Druck p
Höhe h
Dichte ρ
Erdbeschl. g

Was ist Energie ?

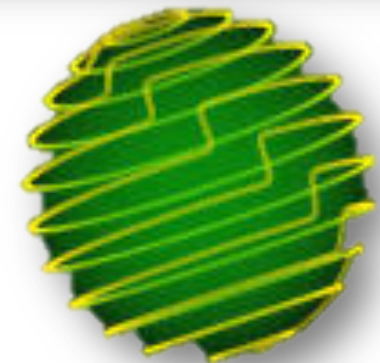
- (1) **Energie** ist eine fundamentale physikalische Größe, die in allen Teilgebieten der Physik & in unserer Welt eine zentrale Rolle spielt!
- (2) **Energie** gibt es in verschiedenen *Energieformen*, die ineinander umgewandelt werden können
- (3) Beispiele von **Energieformen** sind potentielle, kinetische, elektrische, chemische und Wärmeenergie (thermische Energie)
- (4) Ihre SI-Einheit ist das Nm oder Joule
- (5) Energie: Energie ist die **Fähigkeit, mechanische Arbeit zu verrichten, Wärme abzugeben oder Licht auszustrahlen!**

- Energie ist das, **was notwendig ist**, um **Bewegung**, Verformung, Wärme, elektrischen Strom, elektromagnetische Strahlung oder bestimmte chemische Reaktionen zu erzeugen.
- Jedes System, das das bewirken kann, besitzt **Energie**
- Fahrende Autos, Winde, Wasser im Stausee, gespannte Federn, Gewitterwolken, geladene Batterien, warme Heizkörper, Erdöl, Uraniumkerne ..., enthalten Energie, wenn auch in **verschiedensten Formen**

Arbeit & Energie

Definition: Arbeit = Wirkung einer Kraft längs eines Weges

Arbeit = Produkt aus „Kraft mal Weg“



Einheit der Arbeit

Definition: Arbeit = Kraft * Weg

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

$$[W] = [F] * [s] = 1 \text{ Newton} * \text{Meter}$$

$$1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J}$$

Zusatzbemerkung 1: Arbeit & Energie

Über **Arbeit** führt man einem Körper **Energie** zu. Diese verbleibt bei diesem Körper, bis er selbst mit ihr wieder Arbeit verrichtet.

oder

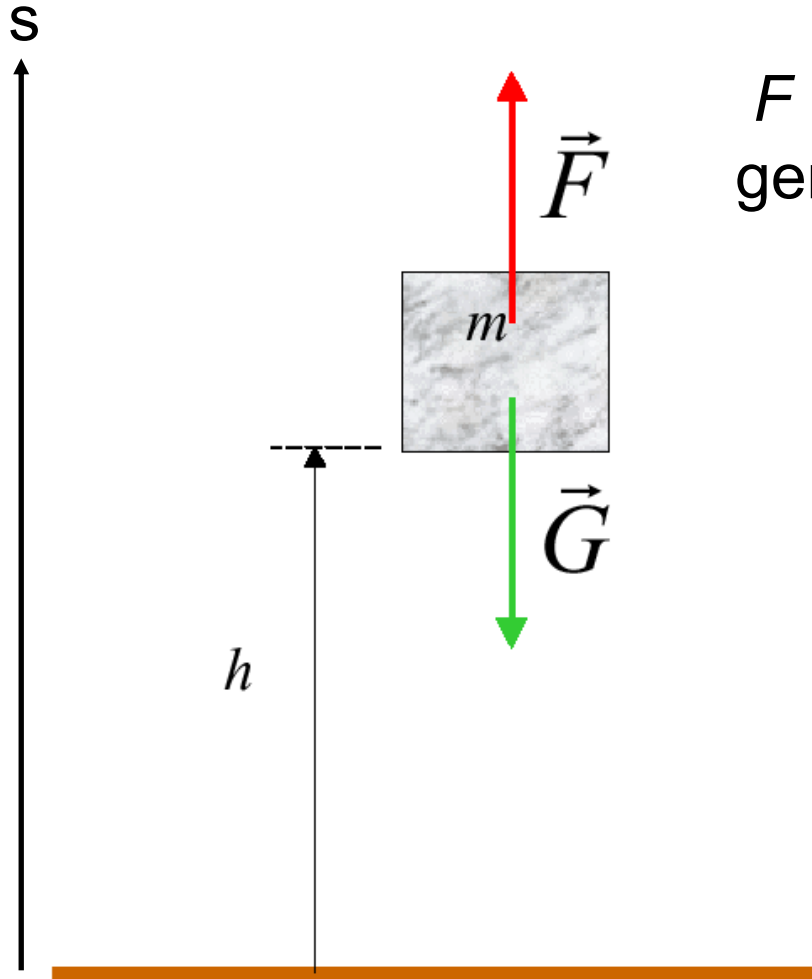
Energie = Fähigkeit „Arbeit zu verrichten“

Beispiel:

Damit eine Kraft längs eines Weges eine Arbeit verrichten kann, muss eine entsprechende Energiemenge in irgendeiner Form (chem. Energie in den Muskeln) schon vorher bereitstehen.

→ **Umwandlung von Energie**

Hubarbeit – Potenzielle Energie



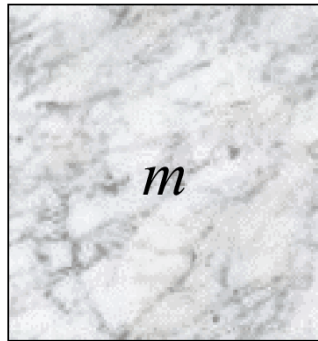
F ist eine der Schwerkraft G entgegen gerichtete äußere Kraft

Arbeit = Kraft x Weg:

$$W = mgh$$

Die von der äußeren Kraft verrichtete Arbeit vermittelt dem Körper eine potenzielle Energie E_{Pot} !

Beschleunigungsarbeit – kinetische Energie



$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

- ① Kraft F erteilt dem Körper eine gleichmäßige Beschleunigung a
- ① Nach der Zeit t hat der Körper die Geschwindigkeit $v = a \cdot t$
- ① Dabei wurde der Weg $s = 1/2 \cdot a \cdot t^2$ zurückgelegt
- ② Beschleunigungsarbeit liefert Bewegungsenergie E_{kin}

$$W = m \cdot a \cdot 1/2 \cdot a \cdot t^2 = 1/2 \cdot m \cdot a^2 t^2 = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

Energieerhaltungssatz

- Neben der kinetischen, potenziellen oder elastischen Energie gibt es weitere Energieformen:
Wärmeenergie, elektrische Energie, Strahlungsenergie
- Energie kann in verschiedene Formen umgewandelt werden, jedoch weder aus dem Nichts entstehen, noch verschwinden.
- Die Summe aller Energien in einem **abgeschlossenen System** ist konstant!



Energieerhaltungssatz

