

# Klassische Physik 1

WS 2012/13

Johannes Blümer

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



# Zusammenfassung v08, Di 13.11.

- (Gesamt-)Impulserhaltung, falls **keine äußere Kraft auf System wirkt**

$$\sum_i \vec{p}_i = \text{konst.}$$

- (Gesamt-)Energieerhaltung, falls **keine äußere Arbeit am System verrichtet wird**

$$\sum_i E_i = \text{konst.}$$

- Raketengleichung: Beschleunigung eines Körpers durch Massenausstoß

$$v = v_G \ln \frac{m_0}{m_1}$$

$v$  Endgeschwindigkeit der Rakete  
 $v_G$  Ausströmgeschwindigkeit

$m_0$  Anfangsmasse  
 $m_1$  Endmasse

- Stoßgesetze (Nutzung von Impuls und Energieerhaltung)

- **Elastischer Stoß**: kinetische Energie bleibt erhalten

$$\sum_i \vec{p}_i = \sum_i \vec{p}_i'$$

$$\sum_i E_{\text{kin},i} = \sum_i E'_{\text{kin},i}$$

Bei zwei Körpern

$$v_1 - v_2 = -(v_1' - v_2')$$

- **(Völlig) Inelastischer Stoß**: kinetische Energie wird umgewandelt

$$\sum_i \vec{p}_i = \sum_i \vec{p}_i'$$

$$v_i' = v'$$

Bei zwei Körpern und  $v_2 = 0$

$$v' = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1$$

$$W_{\text{stoss}} = E_{\text{kin}}^{(1)} \left( 1 - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)$$

# 2. Klassische Mechanik

## 2.2 Dynamik der Massenpunkte

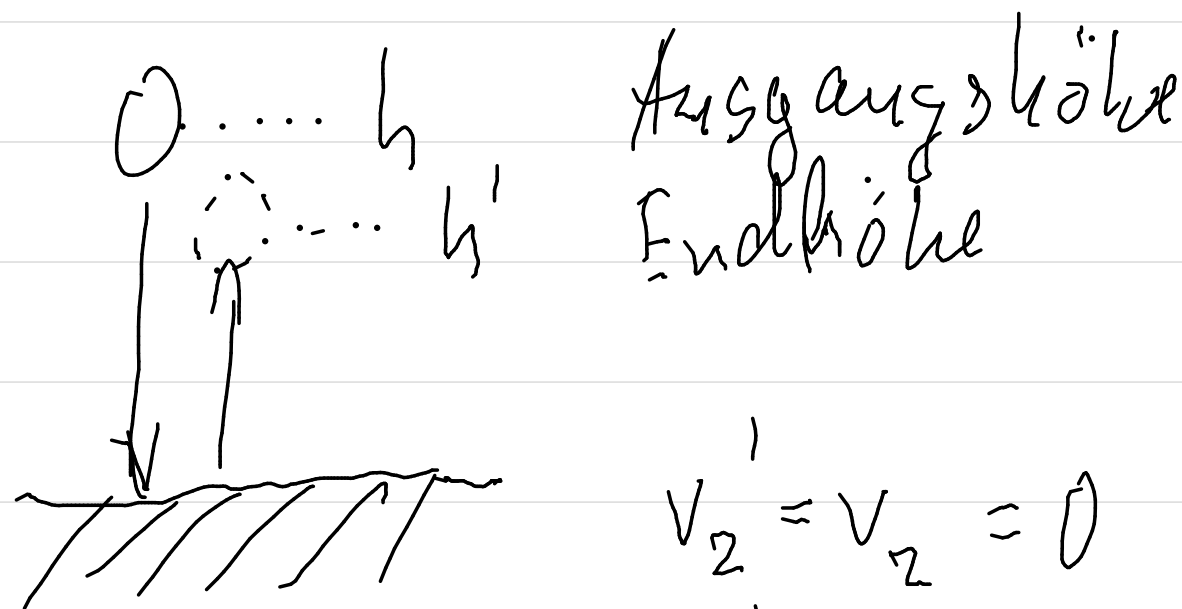
- Newton'sche Axiome
- Impuls
- Energie
- Stoßgesetze
- Reibung
- Schwingungen (1)
- Drehbewegungen (2)
- Rotierende Bezugssysteme

## □ Elastizität eines Stoßes

$$e = \frac{\text{rel. Rückschlaggeschwindigkeit}}{\text{rel. Annäherungsgeschw.}} = \frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1}$$

(völlig) inelastisch  $0 \leq e \leq 1$  (völlig) elastisch

Beispiel



$$v_1 = \sqrt{2gh} \quad v_1' = \sqrt{2gh'} \quad v_2' = v_2 = 0$$

$$\Rightarrow e = \frac{0 - \sqrt{2gh'}}{0 - \sqrt{2gh}} = \frac{\sqrt{h'}}{\sqrt{h}}$$

## □ Fallisches Pendel

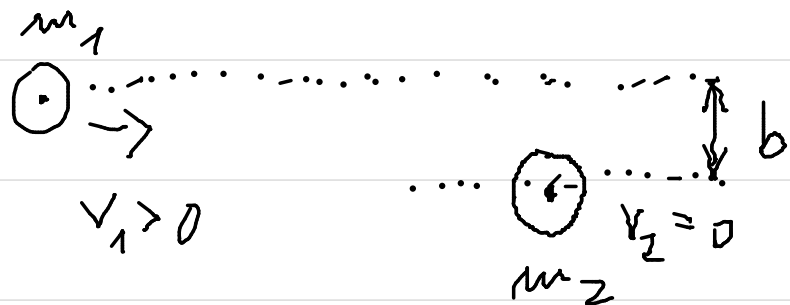


$$E_{\text{kin}}^{(1+2)} = E_{\text{pot}} = (m_1 + m_2) g h$$

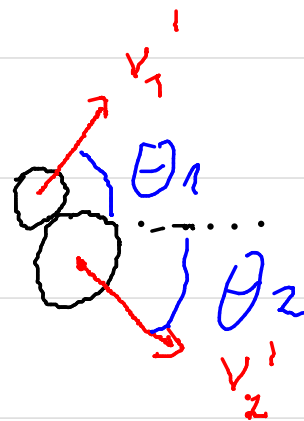
$$v' = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_1^2$$

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \sqrt{2gh} //$$

## □ Nichtzentrale Stöße



Stoßparameter



immer in einer Ebene! → 2-dim. Betrachtung ok!

Impulsatz:  $m_1 \vec{v}_1 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$

x-Komp:  $m_1 v_1 = m_1 v_1' \cos \theta_1 + m_2 v_2' \cos \theta_2$

y-Komp:  $0 = m_1 v_1' \sin \theta_1 - m_2 v_2' \sin \theta_2$

elastischer Fall:  $\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$

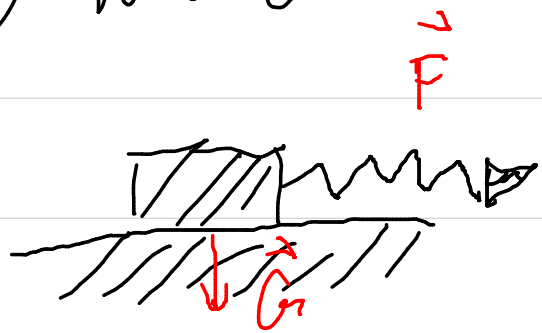
3 Gl. aber 4 Unbekannte?!

→ Stoßparameter und Form der Objekte liefert  
4. Gl.

Anwendungsbeispiel: Rutherford-Streuexperimente  
im Allg. Streuexperimente mit  
kleineren Teilchen

## Reibung

1) Trockene Reibung

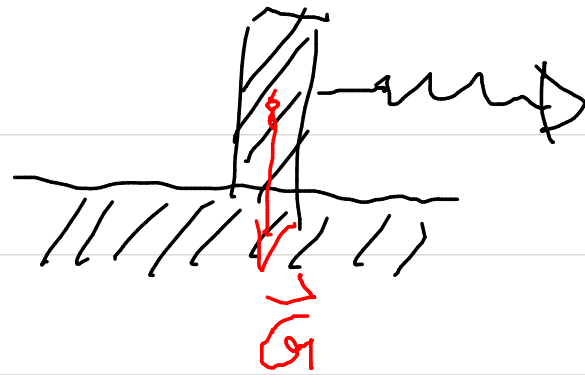


Federkraft erhöhen bis sich Klotz  
in Bewegung setzt





gleiches Verhalten  
wenn die Auflagefläche  
kleiner ist

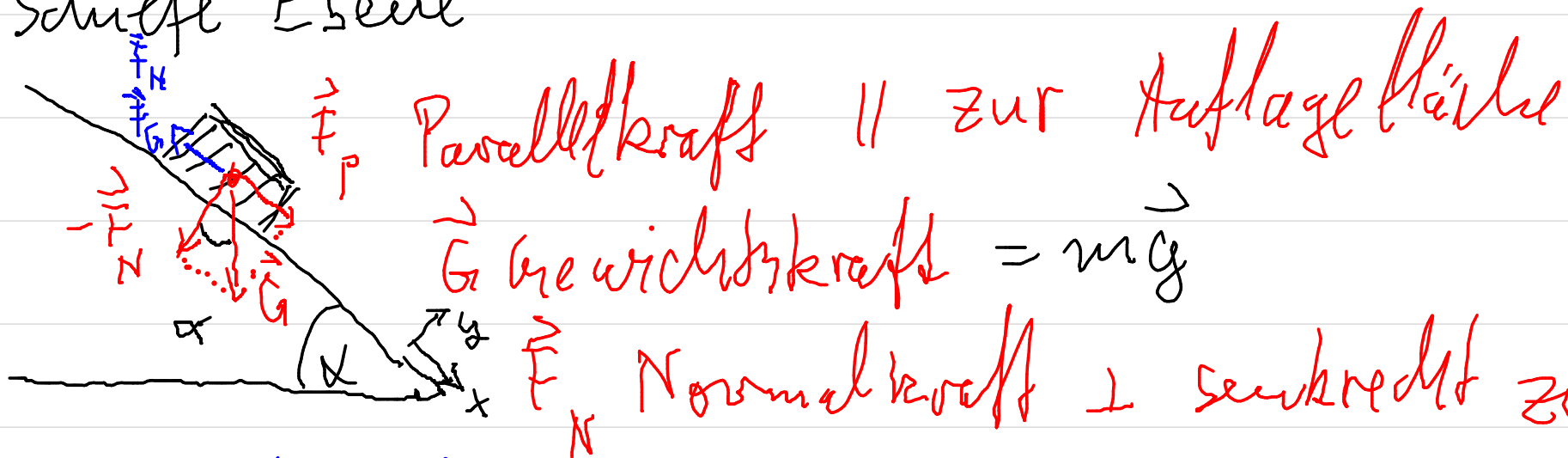


gleiches  
Ergebnis für  
 $F_H$  und  $F_G$

$$\begin{aligned} F_G &= \mu_G F_N \\ F_H &= \mu_H F_N \end{aligned}$$

Normalkraft ist Kraft  
senkrecht zur Unterlage

Schiefe Ebene



$\vec{F}_P$  Parallelkraft  $\parallel$  zur Auflagefläche

$\vec{G}$  Gewichtskraft  $= m\vec{g}$

$\vec{F}_N$  Normalkraft  $\perp$  senkrecht zur Auflagefläche

$$\vec{G} = \begin{pmatrix} mg \sin \alpha \\ -mg \cos \alpha \end{pmatrix}$$

$$\vec{F}_N = \begin{pmatrix} 0 \\ F_N \end{pmatrix}$$

$$\vec{F}_H = \begin{pmatrix} -F_H \\ 0 \end{pmatrix}$$

Im Stillstand:

$$\vec{F}_N + \vec{G} + \vec{F}_H = 0$$

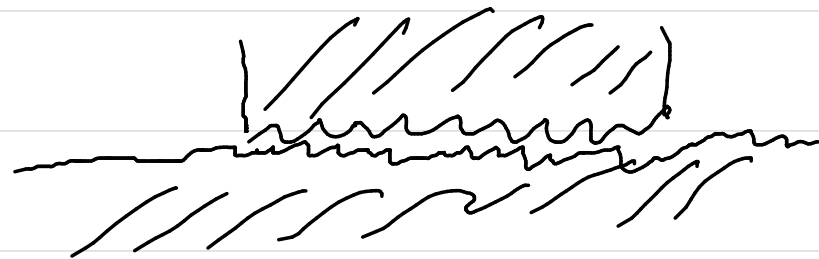
$$\Rightarrow \sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} x: mg \sin \alpha - F_H = 0 \\ y: F_N - mg \cos \alpha = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{F_H}{F_N} = \tan \alpha = \underline{\underline{\mu_H}}$$

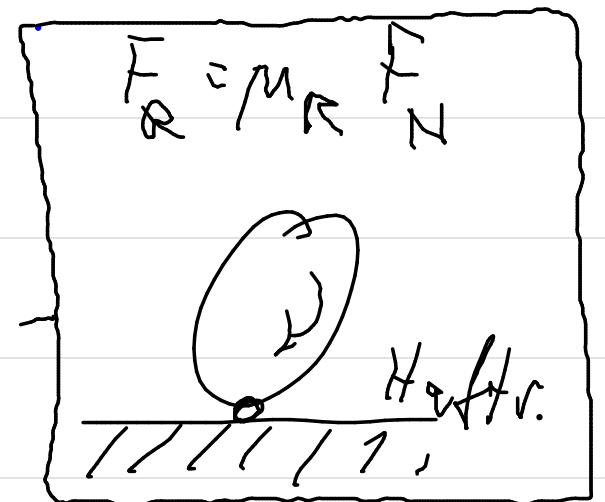
Aufbau um  $\mu_H$  zu messen!

Mikroskopisches Modell für Reibung: kleine Verzahnungen!



$$\rightarrow \mu_H > \mu_G$$

Rollreibung



□ Technische Materialpaarungen

Stahl - Stahl

$$\mu_H = 0,7$$

$$\mu_G = 0,6$$

$$\mu_R = 0,001$$

Gummi - Beton trocken

$$1,0$$

$$0,8$$

$$\mu_R = 0,01$$

Gummi - Beton naß

$$0,3$$

$$0,25$$

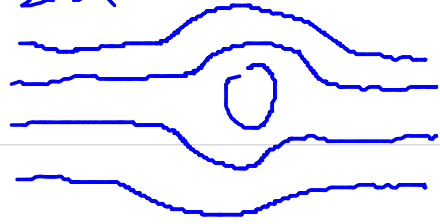
□ Viskose Reibung

"Nicht zu große Körper, die sich nicht zu schnell"  
durch ein Fluid bewegen

$$F_{\text{fluid}} = \begin{cases} \text{Gras} \\ \text{Flüssigkeit} \end{cases}$$



Skizze



Laminare  
Strömung

$$\vec{F}_R = -6\pi\eta r \vec{v}$$

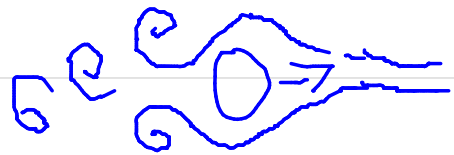
$\eta$  "Viskosität"  
des Fluids

$r$  Radius der Kugel  
 $v$  Geschw. der Kugel

Reibungskraft  $\propto v$  !

□ Newton'sche Reibung

Skizze



"Schnelle" Bewegung größerer Körper "durch Fluid"

↙ Querschnitt des Körpers

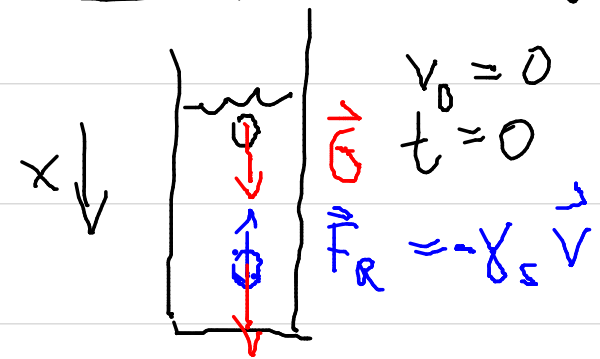
$$\vec{F}_R = -\frac{1}{2} c_w \rho A v \vec{v}$$

Reibungskraft  $\propto v^2$  !

└ Dichte des Fluids  
└ Widerstandskoeff. des Körpers

Reale Situationen können dazwischen  
liegen !

Beispiel Fall ins Schwerfeld der Erde mit viskoser Reibung



$$\gamma_s = 6\pi\eta r^{\text{Kugel}} \quad \text{Stokes-Zahl}$$

↳ Viskosität

Bewegungsgl.

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{G} + \vec{F}_R$$

1dim Betrachtung!

$$\frac{dp}{dt} = mg - \gamma_s v$$

$$m \frac{dv}{dt} = mg - \gamma_s v$$

$$\times \frac{1}{m}$$

$$\dot{v} = g - \frac{\gamma_s}{m} v \quad (\Rightarrow)$$

$$\dot{v} + \frac{\gamma_s}{m} v = g$$

inhom. lineare Dgl. für  $v$

$$\dot{v} + \frac{\gamma_s}{m} v = 0 \quad \text{hom. lineare Dgl. für } v$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{\gamma_s}{m} v = 0 \quad (\Rightarrow) \quad \frac{dv}{v} = -\frac{\gamma_s}{m} dt \Rightarrow \int \frac{dv}{v} = \ln v = -\frac{\gamma_s}{m} t + C$$

$$v = C' e^{-\frac{\gamma_s}{m} t}$$

"  $e^C$  ①

spez. Lösung der inh. Dgl,  $v = v_g = \text{konst.}$

$$\underset{\substack{\uparrow \\ 0}}{v_g} + \frac{\gamma_s}{m} v_g = g \Rightarrow v_g = \frac{mg}{\gamma_s} \quad (2)$$

allgem. Lösung der inh. Dgl. : (1) + (2) und dann C  
aus Anfangsbed. bestimmen

$$v(t) = C' e^{-\frac{\gamma_s}{m} t} + \frac{mg}{\gamma_s}$$

$$t=0: 0 = C' + \frac{mg}{\gamma_s} \Rightarrow C' = -\frac{mg}{\gamma_s}$$

$$v(t) = \frac{mg}{\gamma_s} \left( 1 - e^{-\frac{\gamma_s}{m} t} \right)$$

$v_g = \frac{mg}{\gamma_s}$  "quasi-stationäre"  
Geschwindigkeit

