

2.0 Dynamik – Kraft & Bewegung

- **Kraft**
 - Alltag: Muskelkater
 - Physik
 - Formänderung / statische Wirkung (Gebäudestabilität)
 - Beschleunigung / dynamische Wirkung (Impulsänderung)

- **Masse**
 - Schwere Masse: Eigenschaft eines Körpers, von der Erde angezogen zu werden
 - träge Masse: Eigenschaft, seinen Bewegungszustand beizubehalten

2.0 Dynamik – Kraft & Bewegung

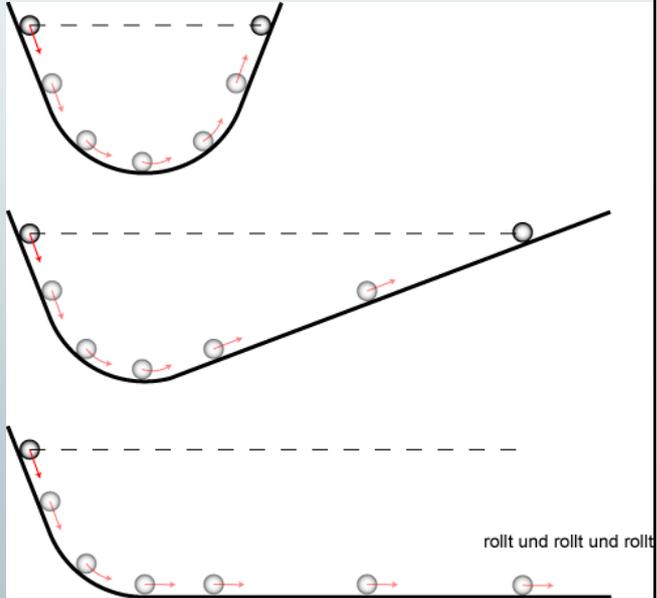
- **Kraft**
 - Alltag: Muskelkater
 - Physik
 - Formänderung / statische Wirkung (Gebäudestabilität)
 - Beschleunigung / dynamische Wirkung (Impulsänderung)

 - Beispiele für verschiedene Arten:
 - Federkraft
 - Schwerkraft (Gravitation)
 - Coulombkraft
 - Reibungskräfte

 - (Trägheitskräfte)

2 Dynamik

2.1 Newtons Axiom 1



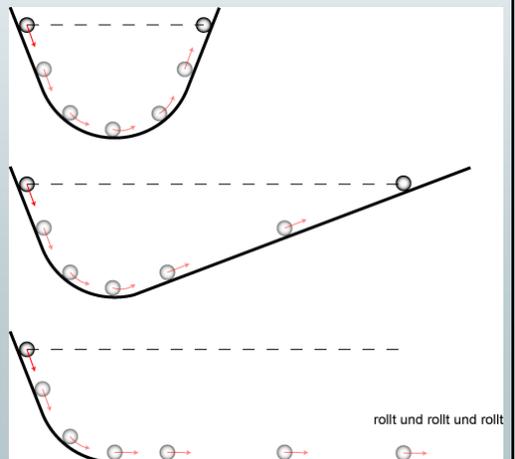
R. Girwidz

3

2 Dynamik

2.1 Newtons Axiom 1

- **Erstes Newtonsches Axiom:**
Ein kräftefreier Körper bewegt sich geradlinig gleichförmig
(bzw. bleibt in Ruhe).



R. Girwidz

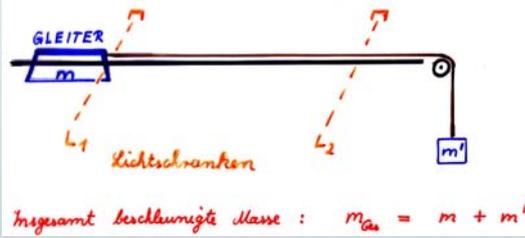
4

2 Dynamik

2.2 Newtons Axiom 2

- **Fahrbahnversuche:**

VERSUCHSAUFBAU (schematisch)



* $a \propto F$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{a_1}{a_2}$$

* $a \propto \frac{1}{m}$

R. Girwidz

5

2 Dynamik

2.2 Newtons Axiom 2

- **Gedankenversuch:**



* $F \propto m$
für best. a

R. Girwidz

6

2.2 Newtons Axiom 2

- **Zweites Newtonsches Axiom:**

Wirkt auf einen Körper eine Kraft, so erfährt er eine Beschleunigung, die proportional zur Größe der Kraft und indirekt proportional zu seiner Masse ist:

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

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

2.2 Newtons Axiom 2

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

- Die "Grundgleichung der Mechanik" definiert die Krafteinheit:

1 N ist

$$[F] = 1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2};$$

2 Dynamik

2.3 Newtons Axiom 3

Versuche

> Gewicht im Wasserbecken

> Magnete auf Wagen

> Kugel auf schiefer Ebene

> Federpistole auf Wagen

R. Girwidz

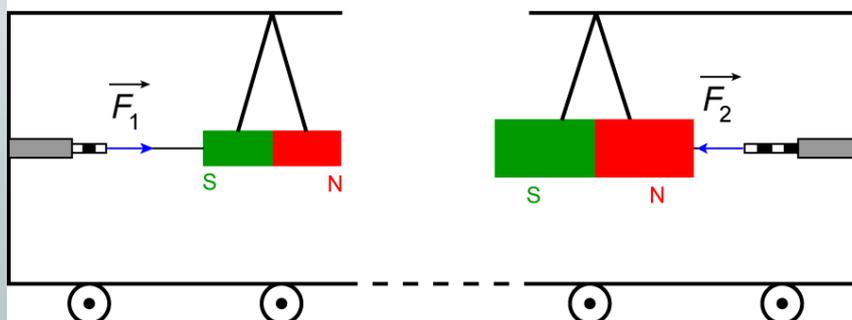
9

2 Dynamik

2.3 Newtons Axiom 3

Gedankenversuch

Annahme: $|\vec{F}_1| \neq |\vec{F}_2|$



Perpetuum mobile ?

R. Girwidz

10

2.3 Newtons Axiom 3

- **Drittes Newtonsches Axiom:**

Wenn Körper A auf Körper B eine Kraft ausübt, so wirkt gleichzeitig auf Körper A die gleich große, entgegengesetzt gerichtete Kraft ("actio gegen gleich reactio").

$$\vec{F}_{BA} = -\vec{F}_{AB}$$

2.3 Newtons Axiom 3

- **Drittes Newtonsches Axiom:**

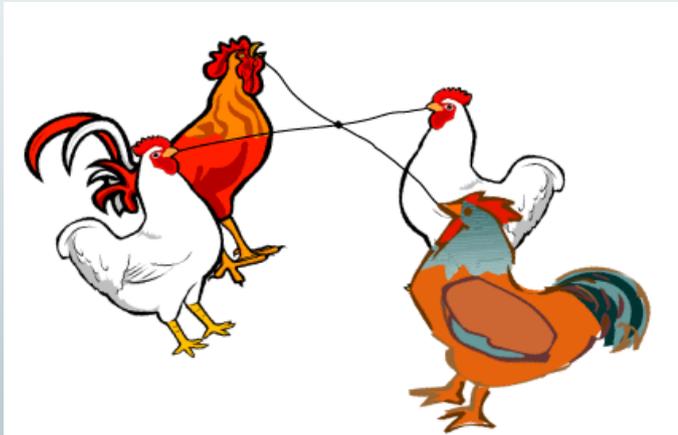
$$\vec{F}_{BA} = -\vec{F}_{AB}$$

- **Beispiele:**

- Münchhausen
- Auto und Reaktionskraft auf Straße
- Rakete
- "Newtons Apfel"

2 Dynamik

2.3 Newtons Axiom 3



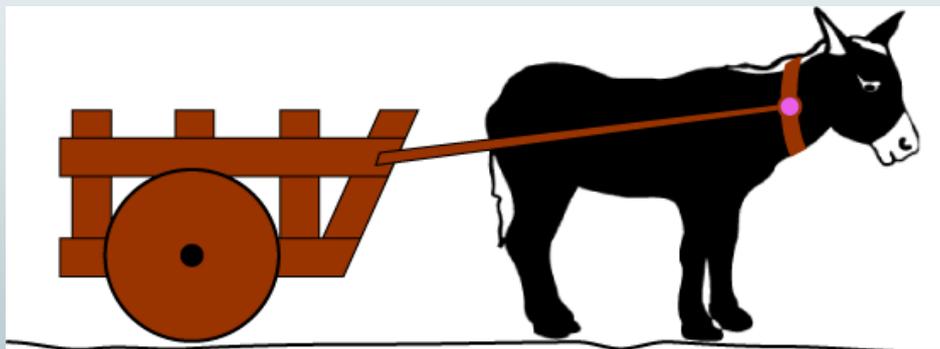
Aber als sie sich besinnen,
konnte keines recht von hinnen.

R. Girwidz

13

2 Dynamik

2.3 Newtons Axiom 3 - ??? -



R. Girwidz

14

2 Dynamik

2.3 Newtons Axiom 1

Auch in Alltag:



Ein Körper,
auf den keine Kraft wirkt,

bleibt in Ruhe

oder in

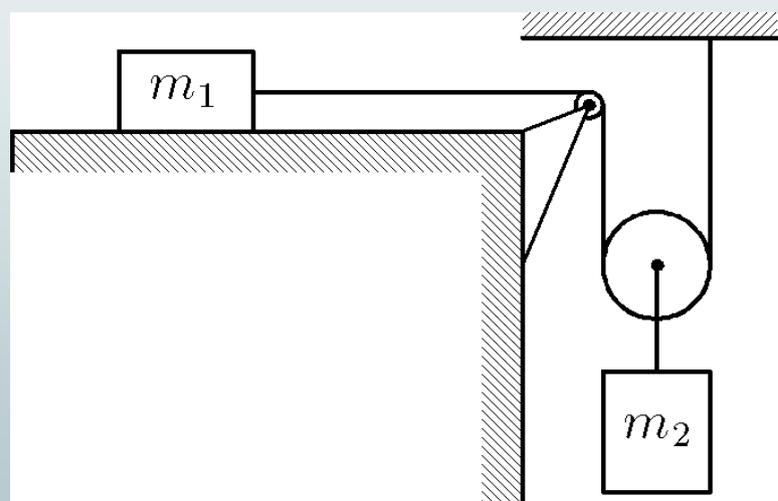
gleichförmiger
Bewegung

R. Girwidz

15

2 Dynamik

- Beschleunigungen?



R. Girwidz

16

2 Dynamik

■ Aufgabe:

In einer Aufzugskabine hängt an einer Federwaage ein Körper mit der Masse $m = 10 \text{ kg}$. Die Federwaage zeigt eine Kraft von $F = 115 \text{ N}$ an. Welche der aufgeführten Bewegungsformen sind möglich?

- a) Gleichförmige Bewegung nach oben.
- b) Gleichförmige Bewegung nach unten.
- c) Gleichförmig beschleunigte, schneller werdende Bewegung nach oben.
- d) Gleichförmig beschleunigte, schneller werdende Bewegung nach unten.
- e) Gleichförmig beschleunigte, langsamer werdende Bewegung nach oben.
- f) Gleichförmig beschleunigte, langsamer werdende Bewegung nach unten.

2 Dynamik

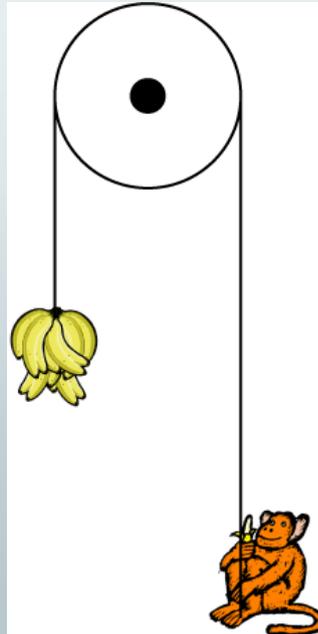
■ Aufgabe:

Ein Stein wird mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0 senkrecht nach oben geworfen. Angenommen werde eine Reibungskraft, deren Betrag proportional zur Momentangeschwindigkeit des Stein ist. Alle richtigen Antworten angeben!

- a) Die Beschleunigung des Steins ist stets \vec{g} .
- b) Die Beschleunigung des Steins ist nur im höchsten Punkt gleich \vec{g} .
- c) Die Beschleunigung des Steins ist stets kleiner als \vec{g} .
- d) Der Stein kehrt mit der Geschwindigkeit v_0 an den Abwurfpoint zurück.
- e) Der Stein erreicht die Geschwindigkeit v_0 bereits wieder bevor er zum Ausgangspunkt zurückkehrt.

2 Dynamik

- Bald wieder hungrig?



R. Girwidz

19

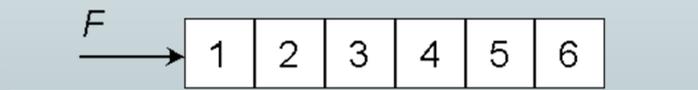
2 Dynamik

- Aufgabe:

Sechs gleiche Würfel mit der Masse 1 kg liegen auf einem ebenen glatten Tisch. Eine konstante Kraft $F = 1 \text{ N}$ wirkt auf den ersten Würfel in Richtung des eingezeichneten Vektors.

Geben sie die Größe der resultierenden Kraft F_1 an, die jeweils auf einen Würfel wirkt.

Welche Kraft F^* übt außerdem der Würfel 4 auf Würfel 5 aus?



R. Girwidz

20

2 Dynamik

■ Aufgabe:

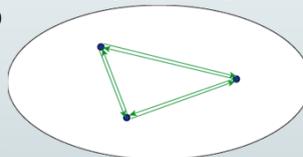
Zwei gleiche Körper sind mit einem Faden verbunden und liegen auf einem ebenen glatten Tisch. Der Faden kann eine Kraft von maximal 20 N halten. Welche Kraft F ist mindestens auf den Körper 2 auszuüben, damit der Faden reißt?



2 Dynamik

2.4 Abgeschlossene Systeme

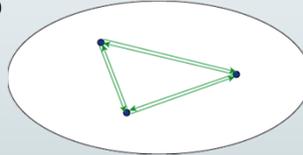
- Es existieren nur Kräfte zwischen den Körpern des Systems und keine Kräfte von außerhalb



- Für abgeschlossene Systeme gilt: $\sum \vec{F}_i = 0;$

2.4 Abgeschlossene Systeme

- Es existieren nur Kräfte zwischen den Körpern des Systems und keine Kräfte von außerhalb



- Für abgeschlossene Systeme gilt:

$$\sum \vec{F}_i = 0;$$

- Wirken keine äußeren Kräfte, bleibt der Schwerpunkt des Systems in Ruhe, bzw. bewegt sich gleichförmig

2.5 Ergänzungen

- 2.5.1 Kräfte
- 2.5.2 Newtons Apfel
- 2.5.3 Reibung
- 2.5.4 Beschleunigung an schiefer Ebene
- 2.5.5 Schwere und träge Masse
- 2.5.6 Atwoodsche Fallmaschine
- 2.5.7 Konisches Pendel
- 2.5.8 Vertikale Kreisbewegung

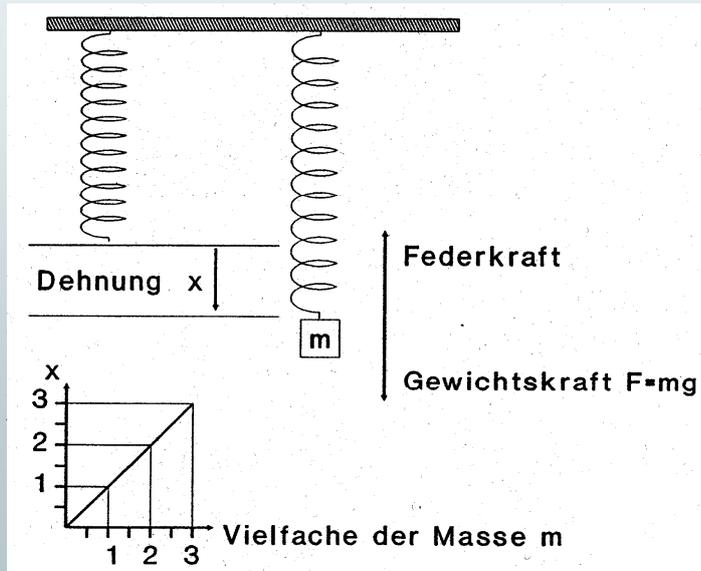
2 Dynamik

2.5.1 Kräfte



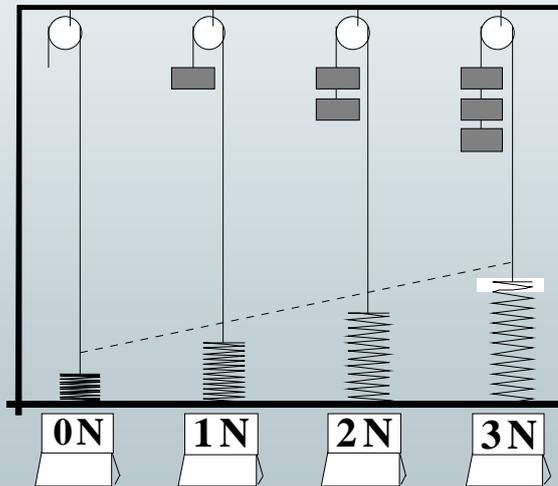
2 Dynamik

■ Hookesches Gesetz:



2 Dynamik

- Hookesches Gesetz:

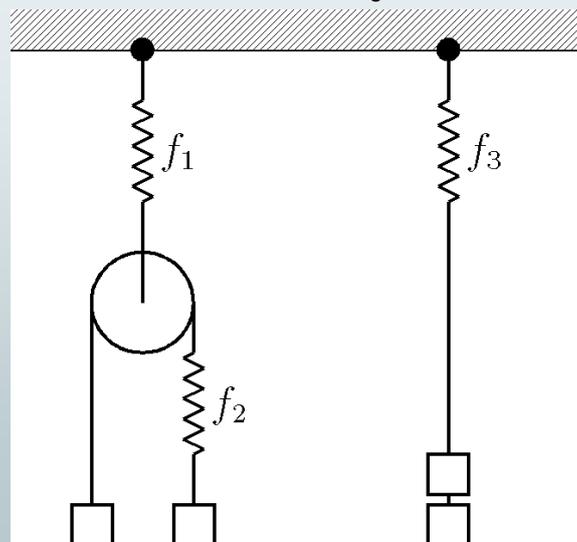


R. Girwidz

27

2 Dynamik

- In welchem Verhältnis werden die Federn gedehnt?

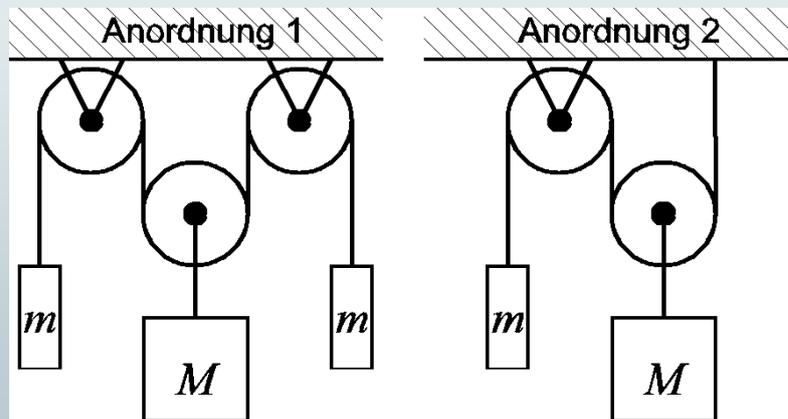


R. Girwidz

28

2 Dynamik

- Seilspannende Kräfte?



R. Girwidz

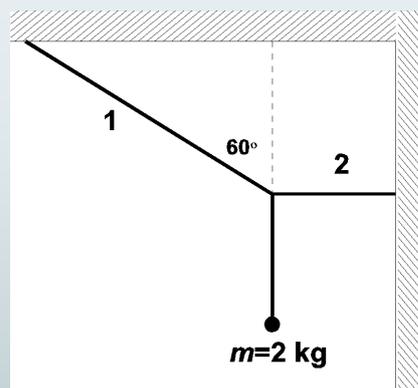
29

2 Dynamik

- Aufgabe:

Die nebenstehende Skizze zeigt eine Masse, die durch 3 Seilstücke (1, 2, 3) gehalten wird.

Wie groß ist die Spannung im Seilstück 2?



R. Girwidz

30

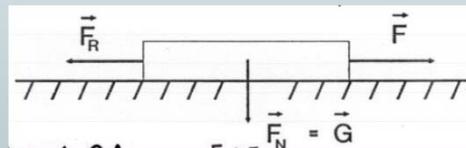
2 Dynamik

2.5.3 Reibung

Bewegungsabläufe werden durch Reibungskräfte beeinflusst

A) Äußere Reibung

tritt an Grenzflächen verschiedener Körper auf.



2 Dynamik

2.5.3 Reibung

a) Haftreibungskraft F_{RH}

unabhängig von der Größe der Berührungsfläche und
proportional zur Normalkraft F_N

Start aus der Ruhe wenn $F > F_{RH}$

Beobachtung: $F_{RH} = \mu_H \cdot F_N$

μ_H = Haftreibungszahl

2 Dynamik

2.5.3 Reibung

b) Gleitreibung

nach Überwinden der Haftreibungskraft wirkt die kleinere Gleitreibungskraft

Beobachtung: $F_{RG} = \mu_G \cdot F_N$

μ_G = Gleitreibungszahl

2 Dynamik

2.5.3 Reibung

c) Rollreibung

$$F_{RR} = \mu_R \cdot F_N$$

noch kleinere Reibungszahlen:

Stahl auf Stahl	$\mu_H = 0,6..0,8$ $\mu_G = 0,2..0,4$	$\mu_H = 0,1$ mit Schmierstoff $\mu_G = 0,01$ mit Schmierstoff
Stahl auf Eis	$\mu_G = 0,02$	
Eisenbahn	$\mu_R = 0,008$	
Personenwagen	$\mu_R = 0,015..0,02$	
auf Asphaltstraße	$\mu_H = 0,1$ $\mu_H = 0,2..0,9$ $\mu_H = 0,8..1,0$	vereist nass trocken

Reibungsarbeit

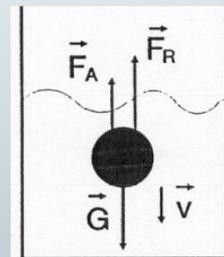
liefert

keine mechanische Energieform

B) Innere Reibung F_{Ri}

In Flüssigkeiten und Gasen F_{Ri} oft proportional zur Geschwindigkeit.

Beispiel: Fallende Kugeln in Öl
(konstante Geschwindigkeit,
sobald $F_R = G - F_A$)



Stokessche Formel

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

η = Zähigkeit der Flüssigkeit

R = Kugelradius

\vec{v} = Geschwindigkeit Kugel

2 Dynamik

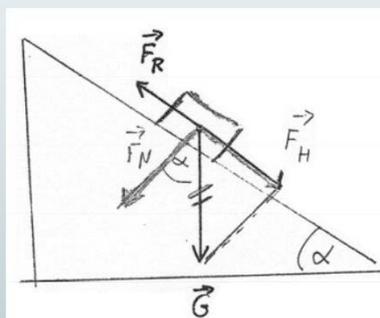
2.5.3 Reibung

"Sinkgeschwindigkeit kleiner Körper hängt ab von ihrer Größe und Form, sowie von der Zähigkeit der umgebenden Flüssigkeit (Blutkörperchen im Blutplasma bei Blutsenkung, Sedimentation)."

"Bei Schwingungen führen Reibungskräfte zur Dämpfung: Abnahme der Amplitude."

2 Dynamik

2.5.4 Beschleunigung an schiefer Ebene



$$F_{\text{result}} = m \cdot a$$

Ann.: Körper gleitet:

$$F_R = \mu_G \cdot F_N$$

$$F_N = G \cdot \cos \alpha$$

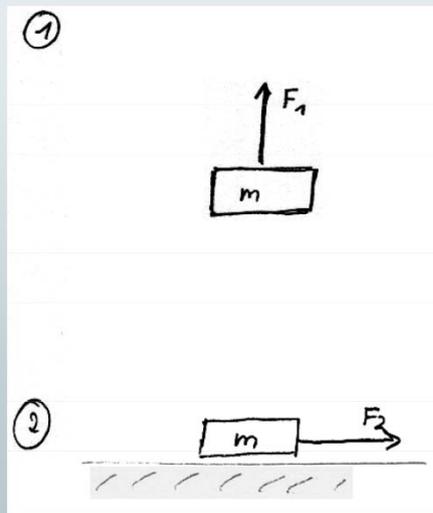
$$F_H = G \cdot \sin \alpha$$

$$\begin{aligned} F_{\text{res}} &= F_H - F_R = G \cdot \sin \alpha - \mu \cdot G \cdot \cos \alpha \\ &= m \cdot g \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha) = m \cdot a \end{aligned}$$

$$\Rightarrow a = g(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)$$

2 Dynamik

2.5.5 Schwere und träge Masse



m wird aufgehängt

$$\Rightarrow \text{Haltekraft: } F_1 = m_s \cdot g = G$$

m wird reibungsfrei beschleunigt

$$\Rightarrow \text{Beschleunigende Kraft: } F_2 = m_T \cdot a$$

2 Dynamik

2.5.5 Schwere und träge Masse

Spezielles Experiment:

wähle: $F_2 = F_1 = G$ dann gilt $a = g$

$$\Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = 1 = \frac{m_s \cdot g}{m_T \cdot g} = \frac{m_s}{m_T}$$

$$m_T = m_s$$

Träge Masse = schwere Masse

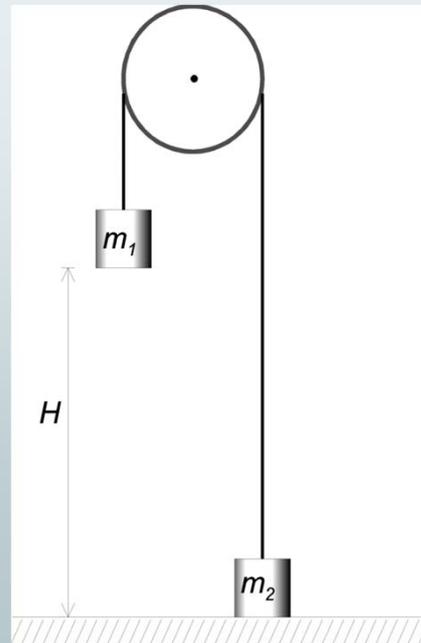
2 Dynamik

■ Aufgabe: Atwoodsche Fallmaschine

Über eine reibungsfrei drehbare Rolle ist ein Seil gelegt. An den Enden befinden sich die Massen $m_1 = 7,2 \text{ kg}$ und $m_2 = 6,5 \text{ kg}$.

- Bestimmen Sie die Beschleunigung der Massen, die Seilkraft F_S und die Kraft F_A auf das Rollenlager.
- Mit welcher Geschwindigkeit und nach welcher Zeit erreicht die Masse m_2 die Höhe $H = 125 \text{ cm}$, wenn sich m_1 zur Zeit $t = 0$ in der Höhe H in Ruhe befindet?

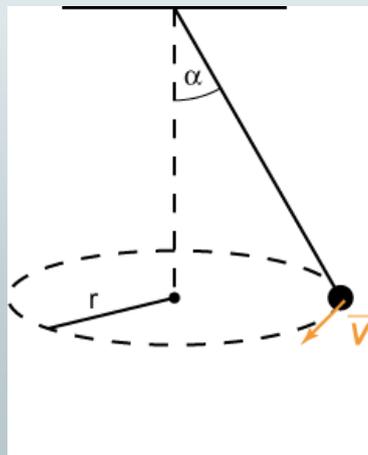
(Die Massen von Seil und Rolle seien vernachlässigbar.)



2 Dynamik

2.5.7 Konisches Pendel

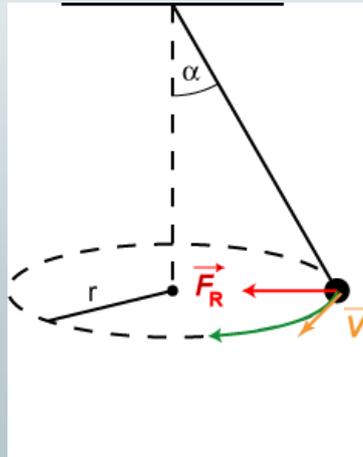
- Welche resultierende Kraft muss wirken?



2 Dynamik

2.5.7 Konisches Pendel

- Welche resultierende Kraft muss wirken?



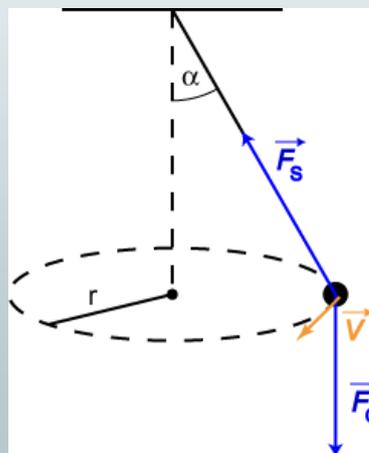
R. Girwidz

43

2 Dynamik

2.5.7 Konisches Pendel

- Welche resultierende Kraft muss wirken?



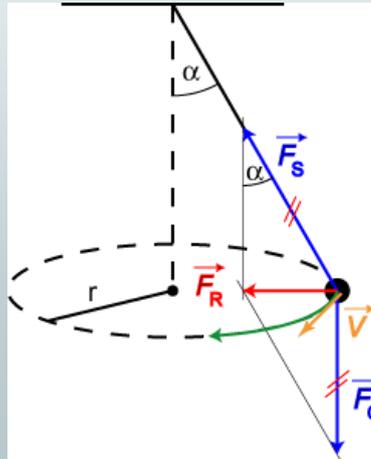
R. Girwidz

44

2 Dynamik

2.5.7 Konisches Pendel

- Welche resultierende Kraft muss wirken?



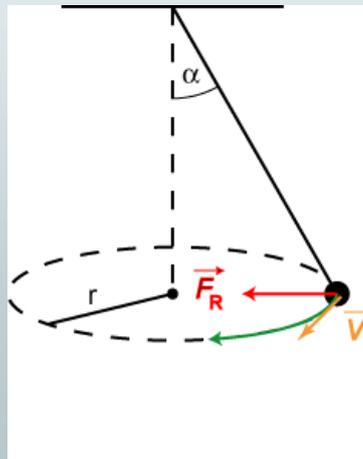
R. Girwidz

45

2 Dynamik

2.5.7 Konisches Pendel

- Welche resultierende Kraft muss wirken?



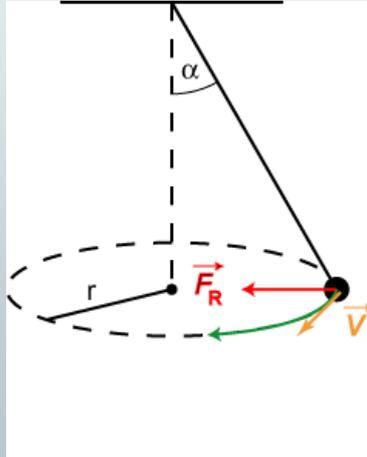
R. Girwidz

46

2 Dynamik

2.5.7 Konisches Pendel

- Welche Winkel?



$$\begin{aligned}F_R &= G \cdot \tan \alpha \\ \tan \alpha &= \frac{F_R}{G} \\ &= \frac{m \frac{v^2}{r}}{m \cdot g} \\ \tan \alpha &= \frac{v^2}{r \cdot g} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}\end{aligned}$$

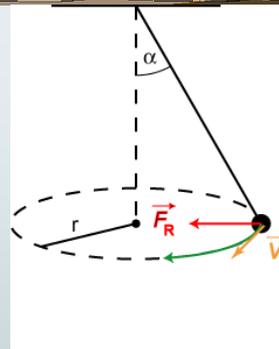
R. Girwidz

47

2 Dynamik

2.5.7 Konisches Pendel

- Bahngeschwindigkeit,
- Seilspannung (in Abh. von ω und r)



a) Bahngeschwindigkeit:

$$v = \sqrt{r \cdot g \cdot \tan \alpha}$$

b) Seilspannung:

$$\begin{aligned}(F_s = \frac{G}{\cos \alpha} \text{ bringt nichts}) \\ \text{aber: } F_s^2 &= F_R^2 + G^2 \\ &= m^2 \cdot \omega^4 \cdot r^2 + m^2 \cdot g^2 \\ \Rightarrow F_s &= m \sqrt{\omega^4 \cdot r^2 + g^2}\end{aligned}$$

R. Girwidz

48

2 Dynamik

2.5.8 Vertikale Kreisbewegung

Überschlagbewegung:

$$F_{Rad} \geq F_G$$

$$\frac{m \cdot v^2}{R} \geq m \cdot g$$

$$v^2 \geq R \cdot g$$