
Physik 1

(PH1-B-REE1)

Michael Erhard

Themen heute

6. Bewegung im Raum – Kinematik (Fortsetzung)

6.3 Kinematik in 2d/3d (Fortsetzung) - Beispiel: schräger Wurf

6.4 Kreisbewegung

7. Newtonsche Axiome

7.1 Masse und Kraft

7.2 Newtonsche Axiome

7.3 D'Alembertsches Prinzip

7.4 Erdbeschleunigung

7.5 Beispiel: Atwoodsche Fallmaschine

7.6 Kinetische Energie

7.7 Zentripetalkraft bei Bewegung auf Kreisbahn

2

Wiederholung: Kinematik

Geschwindigkeit ist Änderung der Position pro Zeit,
oder die (Zeit-)ableitung der Position

$$\underline{v}(t) = \frac{d\underline{x}(t)}{dt} = \dot{\underline{x}}(t)$$

Beschleunigung ist Änderung der Geschwindigkeit pro Zeit,
oder die (Zeit-)ableitung der Geschwindigkeit

$$\underline{a}(t) = \frac{d\underline{v}(t)}{dt} = \dot{\underline{v}}(t)$$

Ist die Beschleunigung gegeben, können wir die Position durch Integration berechnen

$$\underline{x}(t) = \underline{x}_0 + \underline{v}_0 t + \int_0^t \int_0^{\tilde{t}_1} \underline{a}(\tilde{t}_2) d\tilde{t}_2 d\tilde{t}_1$$

mit Anfangsbedingungen $\underline{x}(0) = \underline{x}_0$ $\underline{v}(0) = \underline{v}_0$

Wiederholung: Kinematik

Bei **konstanter Beschleunigung** gilt

$$\begin{aligned}\underline{x}(t) &= \underline{x}_0 + \underline{v}_0 t + \frac{1}{2} \underline{a} t^2 & \underline{x}(0) &= \underline{x}_0, & \underline{v}(0) &= \underline{v}_0, & \underline{a} &= \text{const.} \\ \underline{v}(t) &= \underline{v}_0 + \underline{a} t\end{aligned}$$

Beispiele hierfür sind der **freie Fall**, hier gilt $\underline{a} = -g_0 \underline{e}_{\text{senkrecht}}$

Wenn y die senkrechte Koordinate (positive Werte nach oben) ist, dann gilt

$$\begin{aligned}y(t) &= y_0 + v_{y,0} t - \frac{g_0}{2} t^2 & y(0) &= y_0, & \dot{y}(0) &= v_{y,0} \\ v_y(t) &= v_{y,0} - g_0 t\end{aligned}$$

Wiederholung: Kinematik

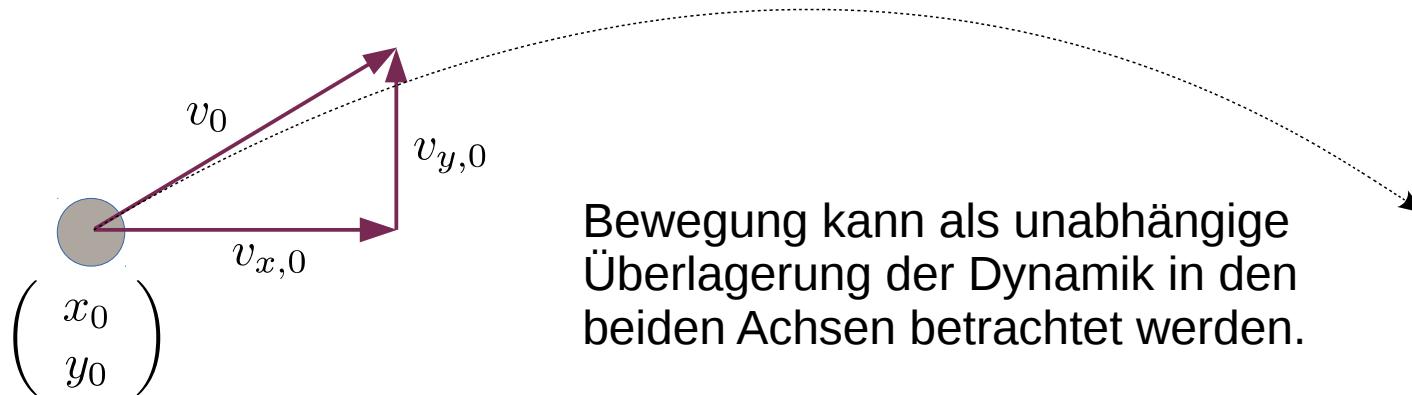
Beim **Wurf** gilt ebenfalls $\underline{a} = -g_0 \underline{e}_{\text{senkrecht}}$ (konstante Beschleunigung)

Für die senkrechte Koordinate y gilt weiterhin

$$y(t) = y_0 + v_{y,0}t - \frac{g_0}{2}t^2 \quad y(0) = y_0, \quad \dot{y}(0) = v_{y,0}$$

Für die waagrechte Koordinate gilt

$$x(t) = x_0 + v_{x,0}t \quad x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = v_{x,0}$$



7. Newtonsche Axiome

7.1 Masse und Kraft

Masse

Eigenschaft eines Körpers („leicht“ oder „schwer“), die Masse hängt von Zusammensetzung und Größe ab.

- Skalar
- Formelbuchstabe m SI-Einheit: Kilogramm $[m] = \text{kg}$

Kraft

Einwirkung auf einen Körper: zum Anheben oder Beschleunigen eines leichten Körpers ist eine geringe Kraft, zum Beschleunigen eines schweren Körpers eine hohe Kraft notwendig.

- Ist ein Vektor (Größe und Richtung)
- Formelbuchstabe \underline{F} SI-Einheit: Newton $[F] = \text{N}$

7.2 Newtonsche Axiome (1687)

1. Newtonsches Axiom: Trägheitsgesetz

Ein Körper behält seinen Zustand der Ruhe oder seine Geschwindigkeit in Betrag und Richtung bei, solange keine äußeren Kräfte auf ihn wirken.

- geht auf Galilei zurück
- sich gleichförmig bewegende Referenzsysteme werden Inertialsysteme genannt von Inertia=Trägheit (Details später)

7.2 Newtonsche Axiome (1687)

2. Newtonsches Axiom: Aktionsgesetz, Grundgesetz der Mechanik

Die zeitliche Änderung der Bewegungsgröße, des Impulses $\underline{p} = m\underline{v}$, ist gleich der einwirkenden Kraft \underline{F} . Für konstante Masse gilt

$$\underline{F} = m \underline{a}$$

- Für konstante Masse ist die benötigte Kraft proportional zur Masse und zur Beschleunigung.
- Es wird keine Proportionalitätskonstante (Naturkonstante) benötigt; es wird vielmehr die Kraft hierdurch definiert

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

Eine Kraft von $F = 1 \text{ N}$ beschleunigt eine ruhende Masse von $m = 1 \text{ kg}$ in einer Sekunde auf eine Geschwindigkeit von $v = 1 \text{ m/s}$.

7.2 Newtonsche Axiome (1687)

3. Newtonsches Axiom: Actio=Reactio (Wechselwirkungsgesetz)

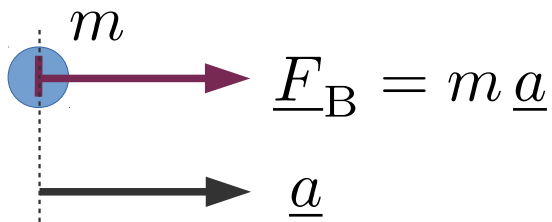
Wirkt ein Körper 1 auf einen Körper 2 mit der Kraft \underline{F}_{12} , so wirkt der Körper 2 auf den Körper 1 mit der Kraft \underline{F}_{21} , beide Kräfte haben den gleichen Betrag, aber entgegengesetzte Richtungen.

$$\underline{F}_{21} = -\underline{F}_{12}$$



7.3 D'Alembertsches Prinzip

Das 2. Newtonsche Axiom kann man wie folgt skizzieren



„Die Beschleunigungskraft \underline{F}_B bewirkt eine Beschleunigung \underline{a} “

Ist das sauber mit dem 3. Axiom (Actio=Reactio) vereinbar?

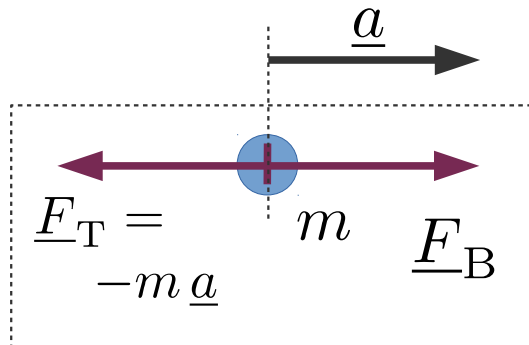
7.3 D'Alembertsches Prinzip

Interpretation mit dem **D'Alembertschen Prinzip**

$$\underline{F}_B = m \underline{a} \quad \Rightarrow \quad \underline{F}_B - m \underline{a} = 0$$

$$\underline{F}_B + \underline{F}_T = 0 \quad \text{mit} \quad \underline{F}_T = -m \underline{a}$$

D'Alembert setzt der Beschleunigungskraft
die **Trägheitskraft** $\underline{F}_T = -m \underline{a}$ entgegen.



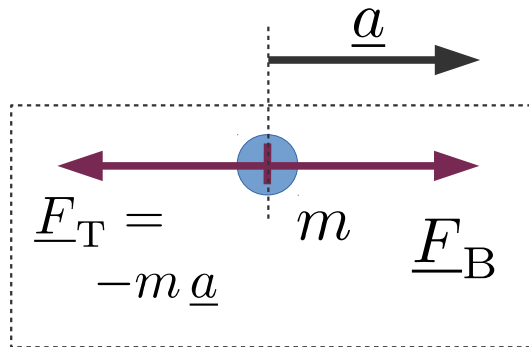
7.3 D'Alembertsches Prinzip

Interpretation mit dem **D'Alembertschen Prinzip**

$$\underline{F}_B = m \underline{a} \quad \Rightarrow \quad \underline{F}_B - m \underline{a} = 0$$

$$\underline{F}_B + \underline{F}_T = 0 \quad \text{mit} \quad \underline{F}_T = -m \underline{a}$$

D'Alembert setzt der Beschleunigungskraft die **Trägheitskraft** $\underline{F}_T = -m \underline{a}$ entgegen.



Allgemein gilt:

$$\underline{F}_T + \sum \underline{F}_B = 0$$

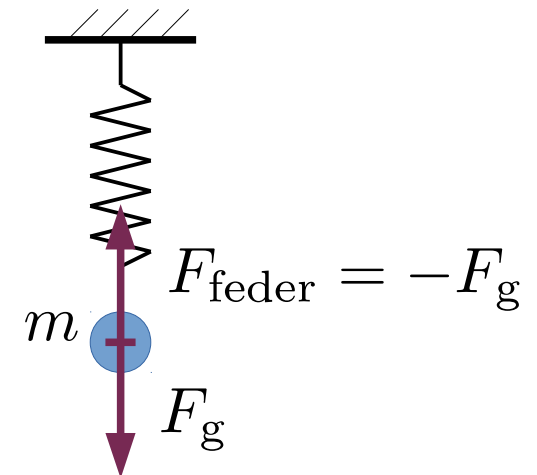
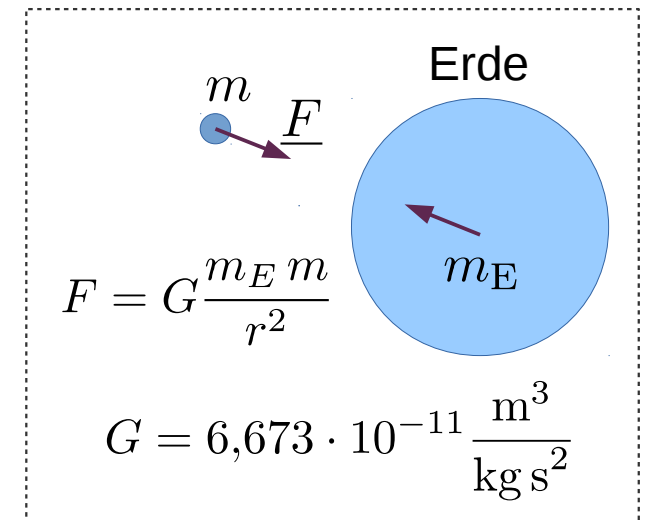
Summe aus Kräften und Trägheitskraft ist 0.

7.4 Erdbeschleunigung

Gravitationskraft: zwei Massen ziehen sich an, auf der Erdoberfläche erfährt ein Körper mit Masse m in Richtung Erdmittelpunkt die folgende Erdanziehungskraft

$$F_g = m g_0 \quad \text{mit} \quad g_0 = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

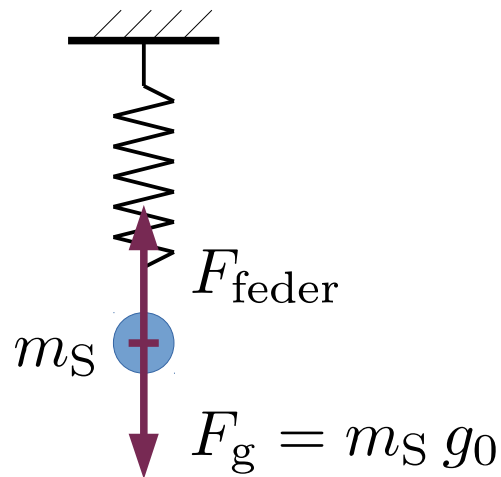
- Federwaagen zeigen nur auf der Erdoberfläche den exakten Wert an, auf hohem Berg etwas weniger, auf dem Mond komplett falsch



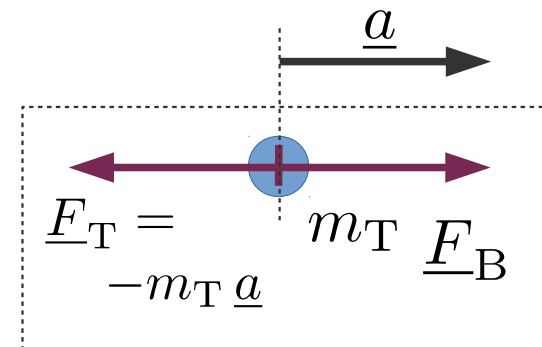
7.4 Schwere Masse und träge Masse

Wir müssen zwei physikalische Phänomene unterscheiden

1. Gravitationskraft (Erdbanziehung),
hier wirkt die **schwere Masse**



2. Beschleunigung (Newton),
hier wirkt die **träge Masse**

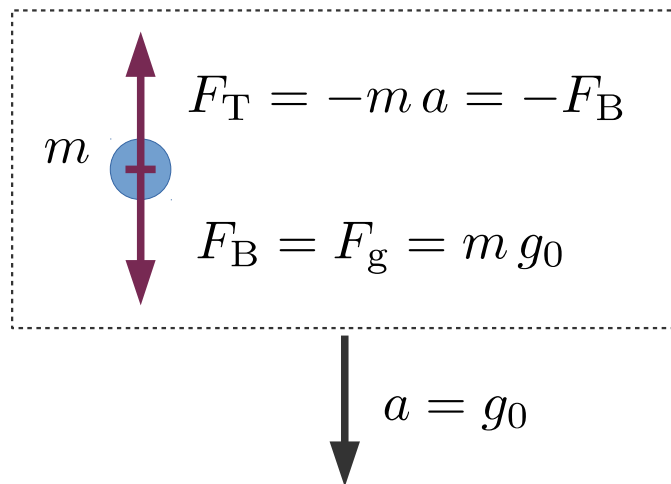


Es gibt keinen Unterschied zwischen träger und schwerer Masse,

es gilt $m_S = m_T$.

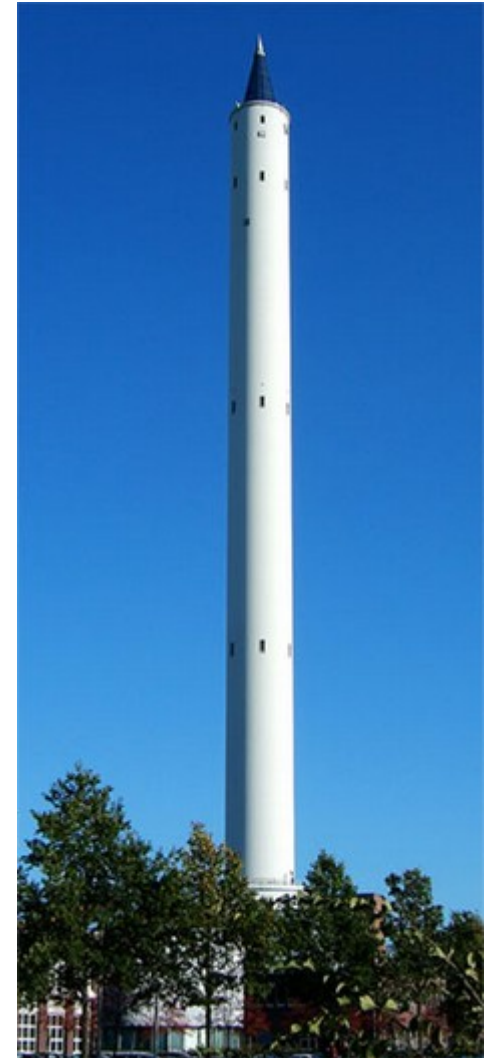
7.4 Beispiel: Freier Fall

Ein „freier“ Körper wird mit der Erdbeschleunigung $a = g_0$ in Richtung Erdmittelpunkt beschleunigt. dabei „spürt“ er nach d'Alembert keine Gravitationskraft mehr („schwerelos“ im freien Fall).



Beschleunigtes
Referenzsystem
(kein Inertialsystem!)

Fallturm in Bremen,
Bildquelle: Wikipedia



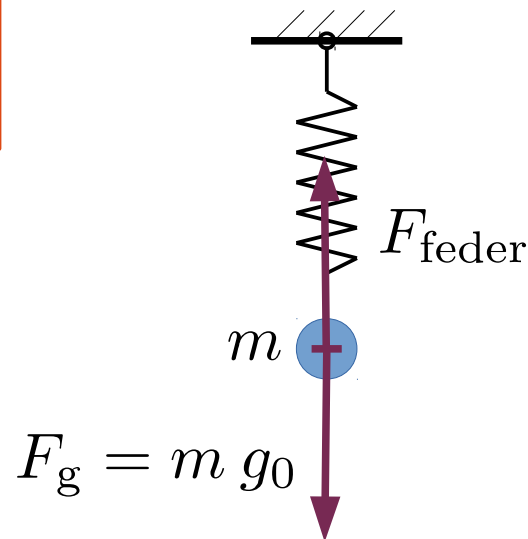
7.4 Beispiel Beschleunigung mit Gravitation

Allgemein gilt:

$$\underline{F}_T + \sum \underline{F}_{\text{ext}} = 0$$

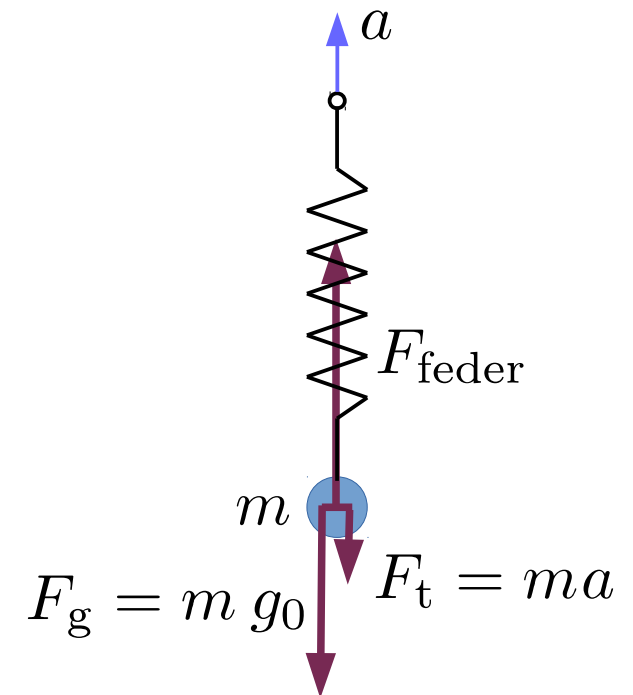
Summe aus Kräften und Trägheitskraft ist 0.

statisch



$$F_{\text{feder}} = F_g$$

nach oben **beschleunigt**



$$F_{\text{feder}} = F_g + F_t$$