

# **Grundlagen der medizinischen Biophysik**

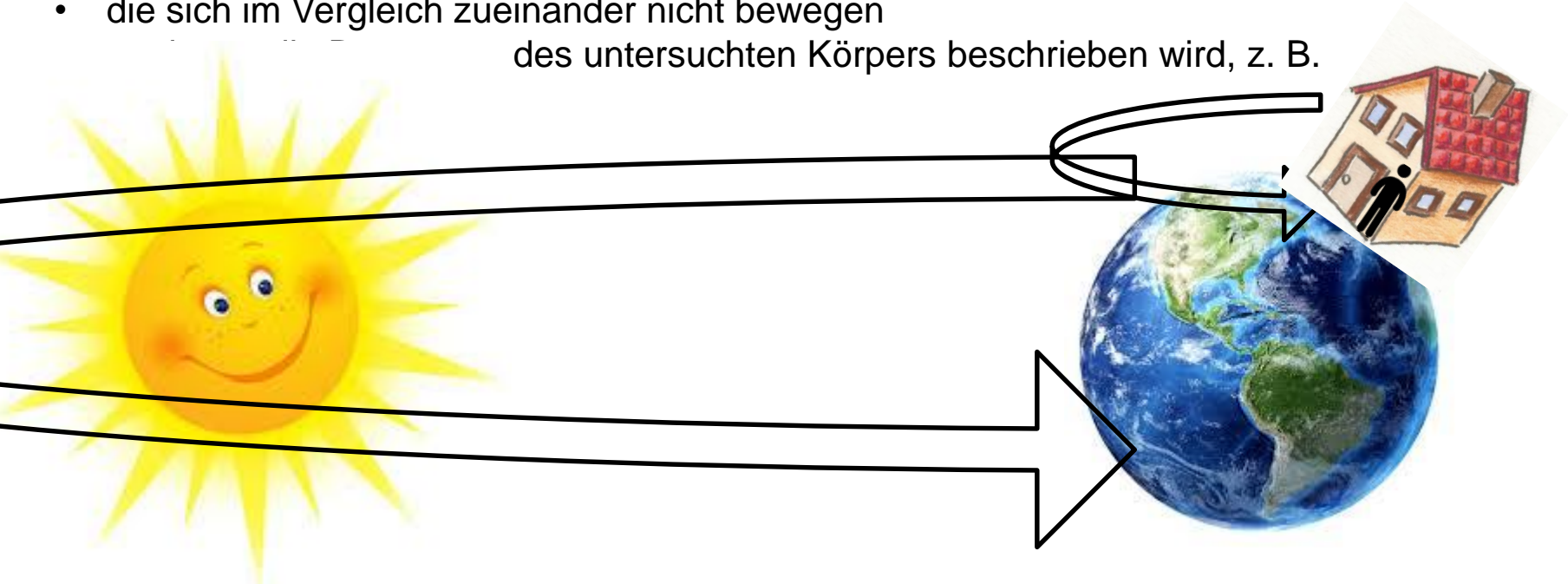
**2. Vorlesung 07. 09. 2023**

**Wiederholung: Kinematik (Bewegungslehre),  
Dynamik**

# Wiederholung: Bezugssystem

**Bezugssystem:** Gesamtheit von willkürlich ausgewählten Körpern

- die sich im Vergleich zueinander nicht bewegen  
des untersuchten Körpers beschrieben wird, z. B.



*Bezugssystem 2 = Sonne*

Der untersuchte Körper (der Mann)  
bewegt sich auf einer komplizierten  
Bahn

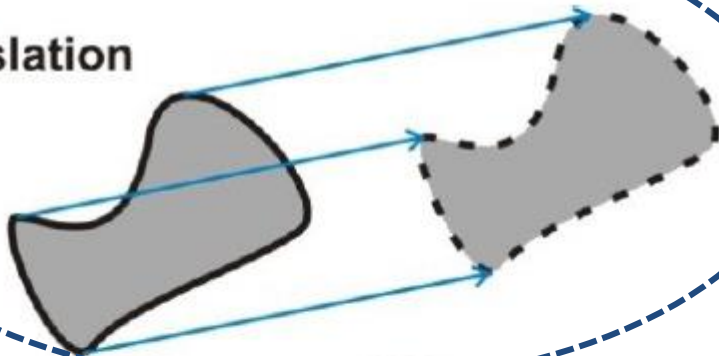
*Bezugssystem 1 = Erde und Haus*

Der untersuchte Körper (der Mann)  
ist in Ruhe

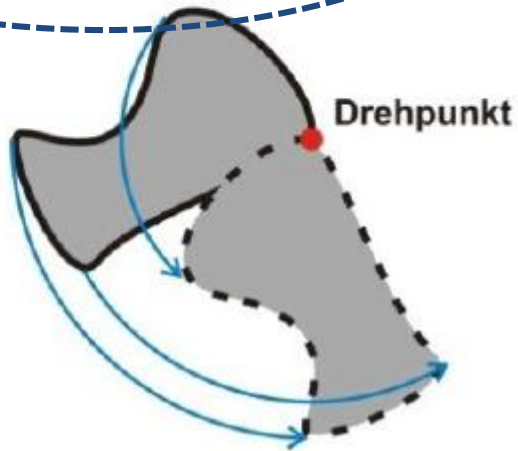
Bewegungen sind immer relativ!

# Wiederholung: Bewegungsformen

Translation



Rotation



Translation + Rotation:

## Übung:

Nervenleitung im peripheren Nervensystem:

Fasertyp/-klasse	Leitungsgeschwindigkeit	Durchmesser
A $\alpha$	60–120 m/s	10–20 $\mu\text{m}$
A $\beta$	40–90 m/s	7–15 $\mu\text{m}$
A $\gamma$	20–50 m/s	4–8 $\mu\text{m}$
A $\delta$	10–30 m/s	2–5 $\mu\text{m}$
B	5–20 m/s	1–3 $\mu\text{m}$
C (ohne Myelinscheide)	0,5–2 m/s	0,5–1,5 $\mu\text{m}$

Wie groß ist die Zeitdifferenz zwischen Fasertyp/-klasse A $\alpha$  und C der gleichen Länge von 10 cm?



## Übung:

Ein Schlitten hat vom Start an die gleichbleibende Beschleunigung von  $a = 2 \text{ m/s}^2$ .  
Berechnen Sie:

- Seine Geschwindigkeit 5 Sekunden nach dem Start
- Den bis zu diesem Zeitpunkt zurückgelegten Weg
- Den zurückgelegten Weg bis zum Zeitpunkt, wenn seine Geschwindigkeit auf 20 m/s angewachsen ist



## Übung:



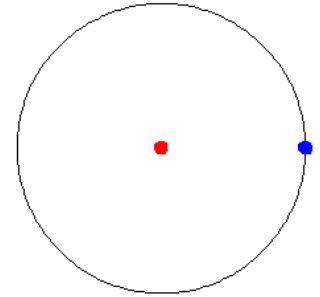
Ein Körper fällt aus einer Höhe von 130 m frei herab.

- Berechnen Sie die Fallstrecke nach 2 Sekunden.
- Bestimmen Sie, nach welcher Zeit und mit welcher Geschwindigkeit er auf den Boden trifft.

# Gleichförmige Kreisbewegung

Ein Körper (Massepunkt), das sich auf einem Kreis oder einem Kreisbogen bewegt, führt eine Kreisbewegung aus.

- Die Bewegung ist eine Translationsbewegung und keine Drehung.
- Gleichförmig ist die Kreisbewegung, wenn sich der Betrag der Geschwindigkeit des Körpers nicht ändert.



Periodenzeit ( $T$ ): Die Zeit, die der Massepunkt bei einer gleichförmigen Kreisbewegung für einen vollen Umlauf benötigt.

Frequenz ( $f$ ): Die Anzahl der Umläufe pro Zeiteinheit. Es gilt:

$$f = \frac{1}{T} \quad \left( \frac{1}{s} = \text{Hz} \right)$$

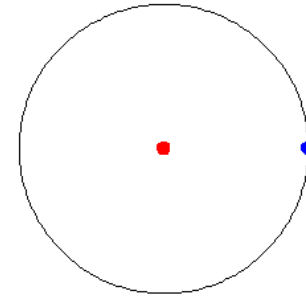
Hertz

Bemerkung:

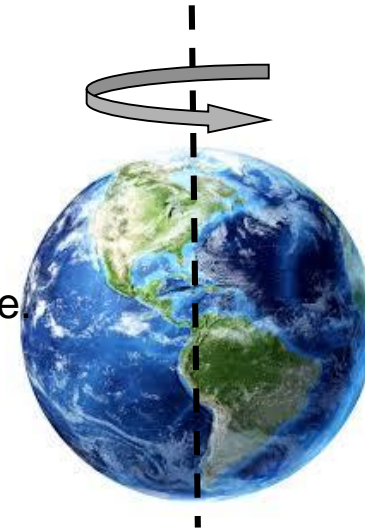
Die zwei Größen sind allgemein verwendbar bei periodischen Bewegungen und periodischen Vorgängen (Drehungen, Schwingungen, Wellen, ...).

## Übungen:

Bestimmen Sie Periodenzeit und Frequenz der Kreisbewegung in der Animation.



Bestimmen Sie Periodenzeit und Frequenz der Drehung der Erde.



Bestimmen Sie Periodenzeit und Frequenz der Schwingung in der Animation.

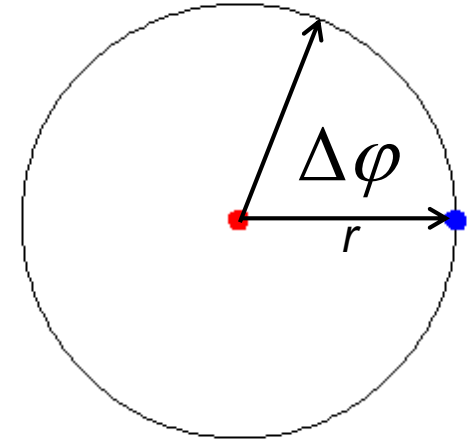




# Winkelgeschwindigkeit

 $\Delta t$ 

$$\text{Winkelgeschwindigkeit } (\omega): \omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad \left(\frac{1}{s}\right)$$



- Quotient aus dem vom Radiusvektor  $r$  überstrichenen Winkel  $\Delta\varphi$  und der dafür benötigten Zeit  $\Delta t$
- Der Winkel  $\Delta\varphi$  wird nicht in Grad, sondern in **Bogenmaß** gemessen!



$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} =$$

Kreisfrequenz

Übung:

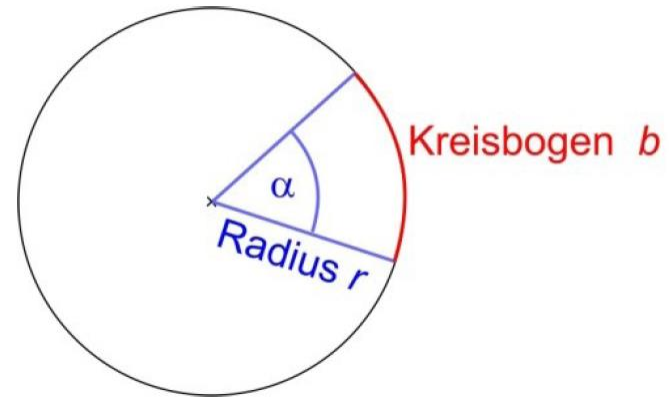


Bestimmen Sie die Winkelgeschwindigkeit der Kreisbewegung in der Animation.

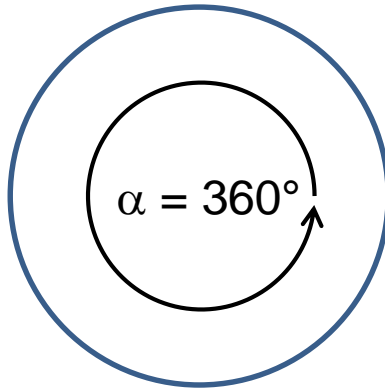
# Exkurs: Bogenmaß

$$\alpha = \frac{b}{r} \quad \left( \frac{\text{m}}{\text{m}} = 1 \right)$$

rad  
(wird oft nicht  
ausgeschrieben)



Zum Beispiel:



$$\alpha = \frac{b}{r} = \frac{2 \cdot r \cdot \pi}{r} = 2\pi (= 6,28 = 6,28 \text{ rad})$$

Übung:



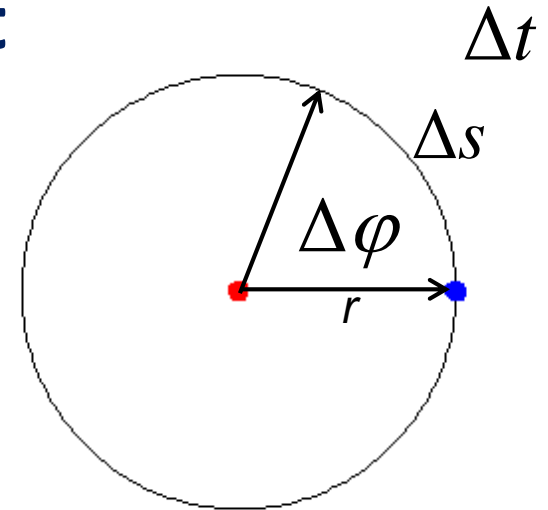
Ein Winkel beträgt  $30^\circ$ . Wandeln Sie den Wert in die Radiant-Einheit um.

# Bahngeschwindigkeit

Sie ist die Geschwindigkeit des Körpers, also:



$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} =$$



Übungen:



Bestimmen Sie die Bahngeschwindigkeit der Kreisbewegung in der Animation.

# Dynamik

# Dynamik

Die Dynamik stellt eine neue Frage: **Was ist die Ursache der Bewegungsänderungen?**

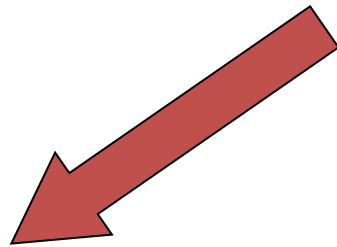


Die Antwort:  
Die **Wechselwirkung**  
des untersuchten  
Körpers **mit anderen**  
**Körpern!**

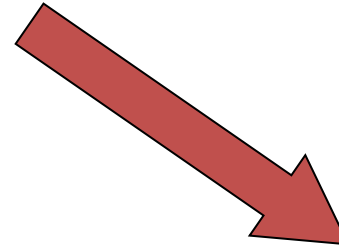
# Folgerungen einer Wechselwirkung



Wechselwirkung!!



Bewegungs-  
änderung



Formänderung  
(Deformation)



Zur Charakterisierung der Stärke einer Wechselwirkung führt man die Größe „Kraft“ aufgrund der Bewegungsänderung ein.

# 1. newtonsches Gesetz/Trägheitsprinzip

Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, solange der Körper keine Wechselwirkungen mit anderen Körpern hat.



Der Puck wird solange im Zustand der Ruhe bleiben, bis ihn eine Kraft zwingt, seinen Bewegungszustand zu ändern.



Der Puck ändert seinen Bewegungszustand, da auf ihn eine Kraft wirkt, die ihn beschleunigt.



Der Puck wird solange weiter gleiten, bis ihn eine Kraft abbremst.

(Zur Erinnerung: Ruhe und gleichförmige geradlinige Bewegung können voneinander nicht unterschieden werden!)

Die Wechselwirkungen können unterschiedlich stark sein. Man braucht eine neue Größe zur Beschreibung der Stärke der Wechselwirkung → „Kraft“.

# Kraft



Je stärker die Wechselwirkung, desto stärker wird der Puck beschleunigt  $\Rightarrow$  die neue Größe Kraft ( $F$ ) muss zur Beschleunigung proportional sein:

$$F \sim a$$



Beim Werfen von Bowlingkugeln unterschiedlicher Masse fällt auf, dass, wenn der Wurf immer gleich stark ausgeführt wird, leichte Kugeln stärker beschleunigt werden als schwere Kugeln. Damit die schwere Kugel gleich stark beschleunigt wird, muss man einen stärkeren Wurf ausführen  $\Rightarrow$  die neue Größe Kraft ( $F$ ) muss zur Masse auch proportional sein:

$$F \sim m$$

$$\text{Kraft (F): } F = m \cdot a \quad \left( \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N} \right)$$

Vektor

Newton

- Die Richtung der Kraft ist immer gleich der Richtung der Beschleunigung.

Körper, auf den die Kraft wirkt



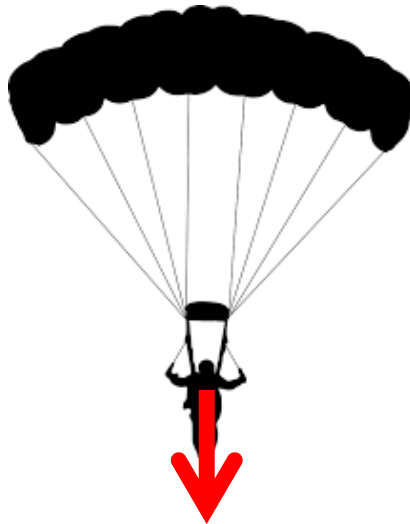
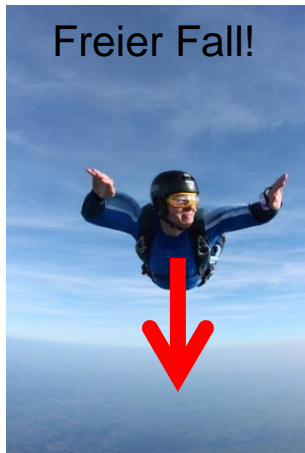


# Anwendung: Schwerkraft

Beim freien Fall ist  $a = g \Rightarrow$  Eine Kraft von  $F = m \cdot a = m \cdot g$  muss auf den Körper wirken!

$$\text{Schwerkraft } (F_S): F_S = m \cdot g$$

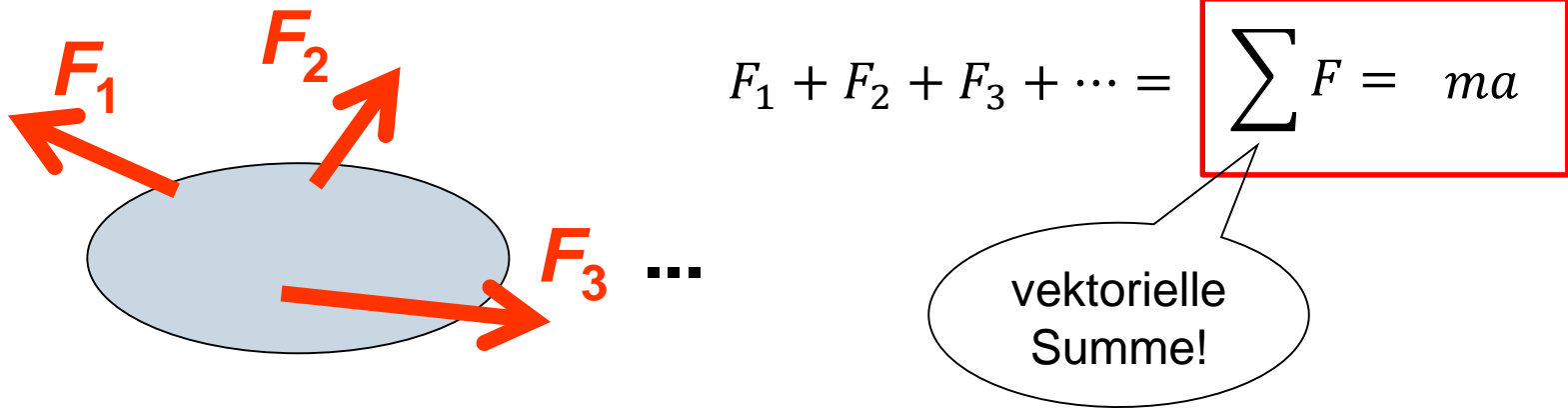
- Die Schwerkraft wirkt im Gravitationsfeld der Erde auf jeden Körper unabhängig davon ob der Körper frei fällt oder nicht ganz frei fällt oder schwebt oder irgendwo ruht.



Die gleiche Schwerkraft wirkt jedes mal, doch sind die Bewegungsänderungen unterschiedlich!  
Es gibt nämlich weitere Kräfte, die auf den Körper wirken!

## 2. newtonsches Gesetz/Dynamisches Grundgesetz

Falls mehrere Kräfte auf den untersuchten Körper wirken, kann man die Kräfte (vektoriell) addieren:



Bemerkung:

In den Rechenaufgaben werden nur Situationen behandelt, in welchen die Kräfte in einer Gerade liegen. Dann wird die vektorielle Addierung auf  $+/-$  vereinfacht.

### Spezialfall: Gleichgewicht

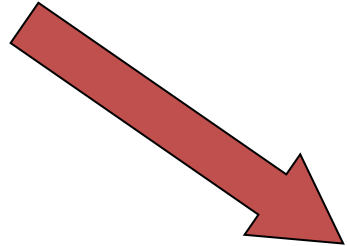
$$\sum F = 0 \quad \Rightarrow \quad a = 0, \text{ d. h. der Körper befindet sich in Ruhe oder führt eine gleichförmige Bewegung durch}$$

# Gleichgewicht

$$\sum F_i = 0 \quad \Rightarrow \quad a = 0 \quad \Rightarrow \quad v = \text{konstant}$$

„Ein Körper verharrt im  
Zustand der Ruhe oder  
der gleichförmigen  
geradlinigen  
Bewegung, ...”


$$v \neq 0$$


$$v = 0$$

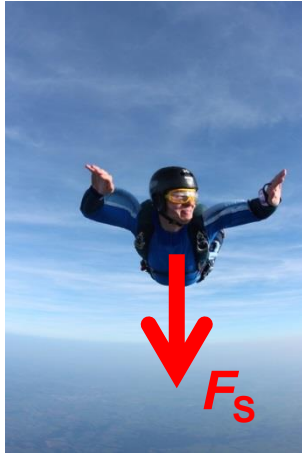
Statik

# Übung

Analysieren wir die Kräfte auf der Folie 16:

+ Willkürlich festgelegte positive Richtung  
↓

Freier Fall



Voraussetzung:  
freier Fall

$$a = g$$

$$\sum F = F_S$$

Kein freier Fall!

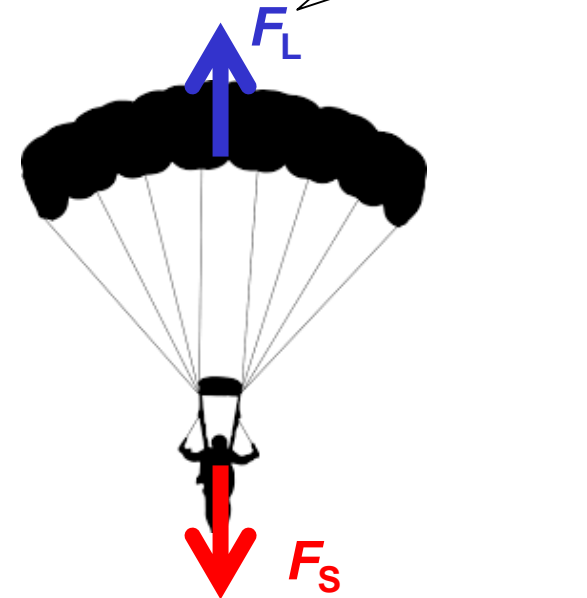


Der Mann hat eine  
Beschleunigung,  
nur kleiner als  $g$ .

$$a < g$$

$$\sum F = F_S - F_L = ma$$

$$F_L < F_S$$



Voraussetzung:  
gleichförmige Bewegung  
( $v = \text{konst.}$ )

$$a = 0$$

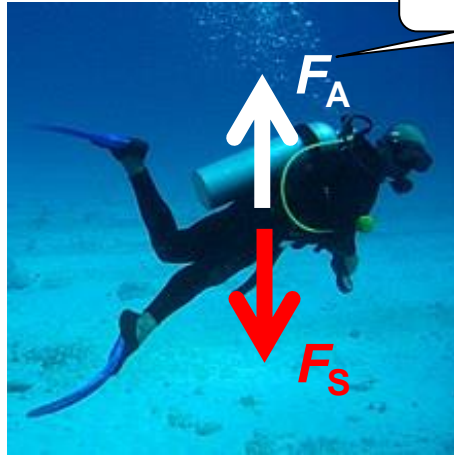
$$\sum F = F_S - F_L = 0$$

$$F_S = F_L$$

# Übung

Analysieren wir die Kräfte auf der Folie 16:

+ Willkürlich festgelegte positive Richtung



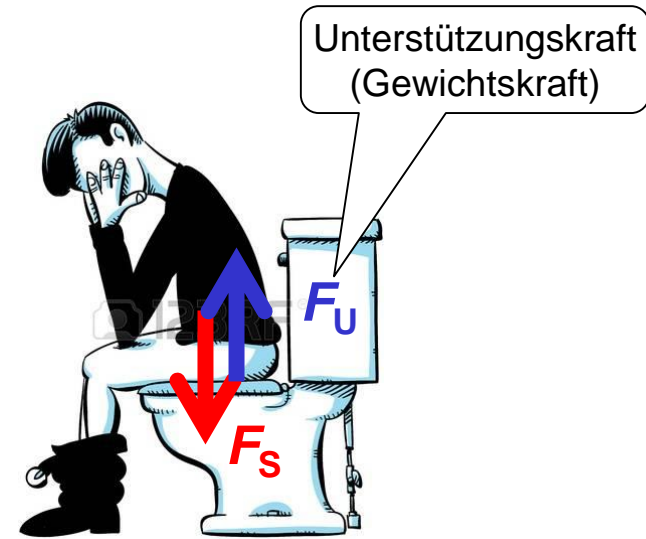
Auftriebskraft

Voraussetzung:  
Schweben  
( $v = 0$ )

$$a = 0$$

$$\sum F = F_S - F_A = 0$$

$$F_S = F_A$$



Unterstützungskraft  
(Gewichtskraft)

$$v = 0$$

$$a = 0$$

$$\sum F = F_S - F_U = 0$$

$$F_S = F_U = mg$$



# Übung

Aufgabe 1: Wie groß ist die Beschleunigung des Mannes, wenn  $m = 80 \text{ kg}$  und  $F_L = 720 \text{ N}$  sind?

Kein freier Fall!

Luftwiderstand



Willkürlich festgelegte positive Richtung  
+

Der Mann hat eine Beschleunigung, nur kleiner als  $g$ .

Aufgabe 2: Der Mann ( $m = 80 \text{ kg}$ ) fällt mit einer Beschleunigung von  $2,5 \text{ m/s}^2$ . Wie groß ist der Luftwiderstand?

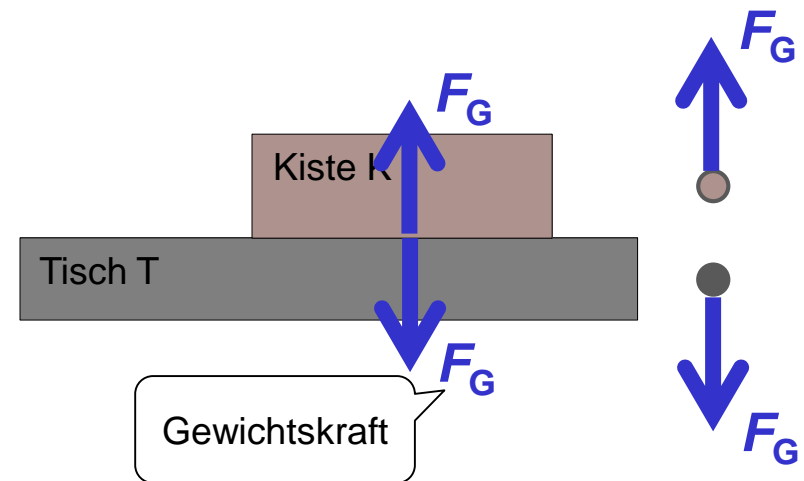
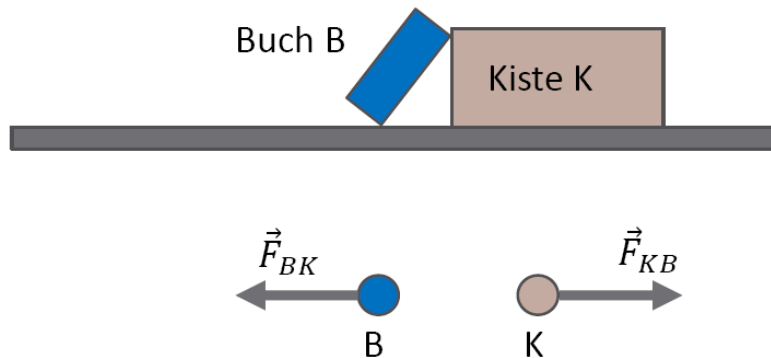
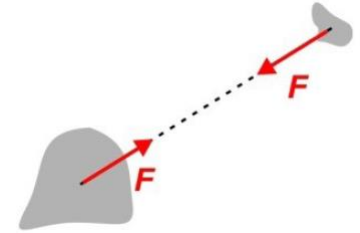
$$a < g$$

$$\sum F = F_S - F_L = ma$$

$$F_L < F_S$$

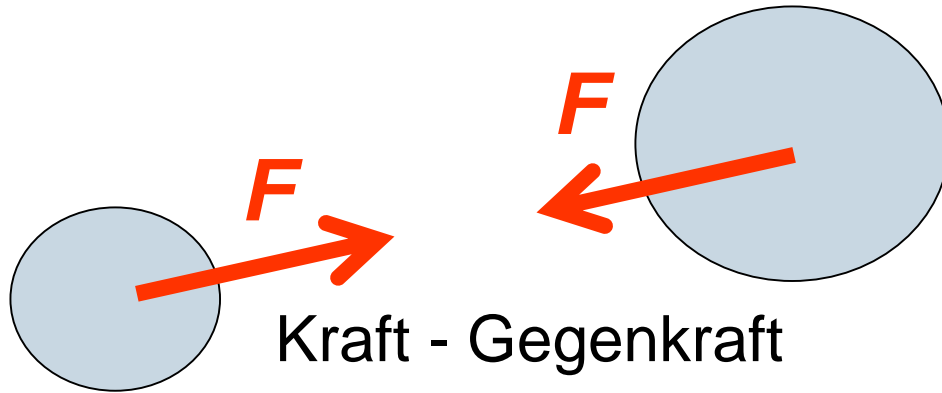
# 3. newtonsches Gesetz/Wechselwirkungsgesetz

- Wenn zwei Körper miteinander wechselwirken, dann üben beide je eine Kraft auf den anderen aus.
- Die Kräfte, die die Körper aufeinander ausüben, besitzen denselben Betrag, aber die entgegengesetzte Richtung.
- Die Kräfte treten also immer paarweise auf und werden als Kraft-Gegenkraft-Paar (Aktions-Reaktions-Paar) bezeichnet



Im Gleichgewicht:  $F_G = mg$

### 3. newtonsches Gesetz/Wechselwirkungsgesetz



Beispiel:





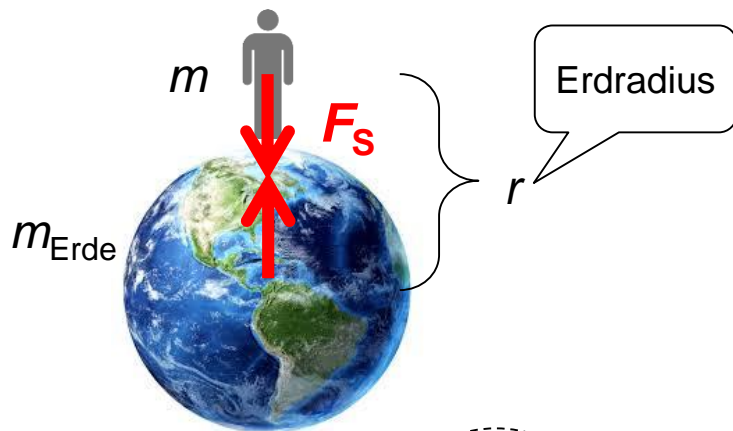
# Besondere Kräfte und ihre Kraftgesetze – Gravitationskraft und Gravitationsgesetz

$$F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

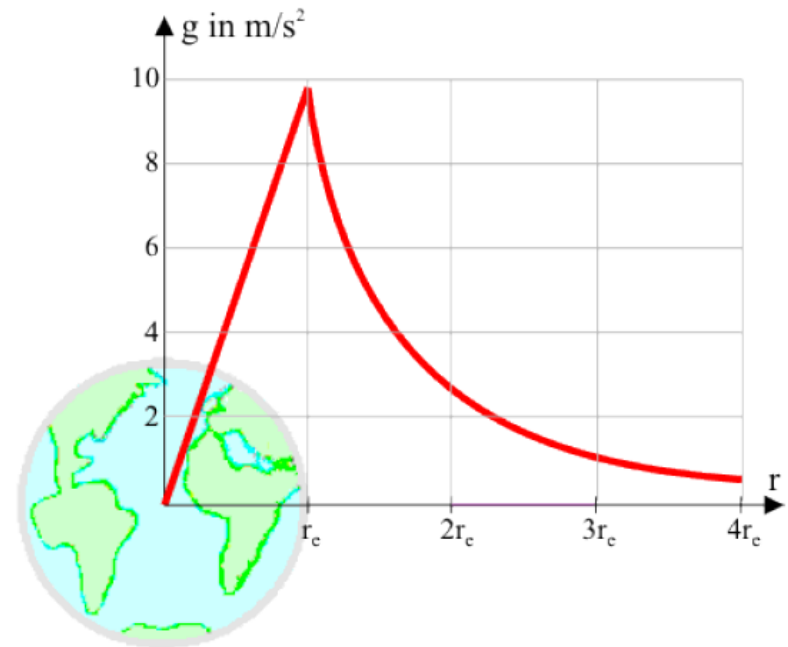
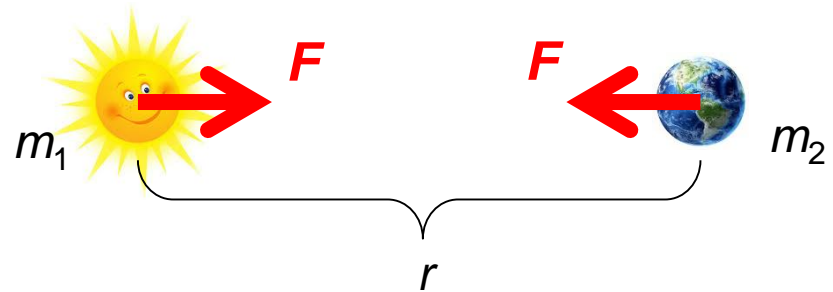
Gravitationskonstante



**Schwerkraft auf der Erde:**



$$F_s = \gamma \frac{m_{\text{Erde}} \cdot m}{r^2} = mg$$



# Besondere Kräfte und ihre Kraftgesetze – Federkraft und hookeches Gesetz

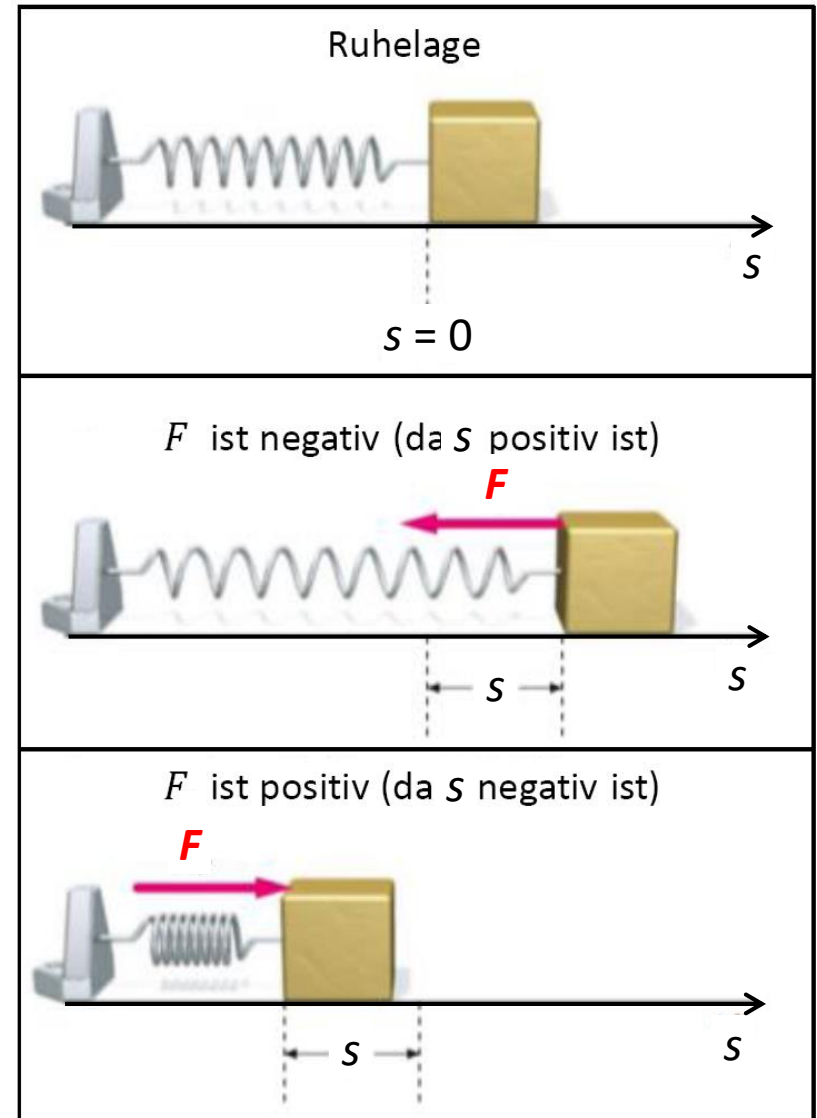
Das Ergebnis einer Kraftwirkung (Wechselwirkung ) kann neben der Bewegungsänderung auch eine Formänderung (Deformation) sein!

$$F = -D \cdot s$$

**Federkonstante**  
(N/m)

Sie hängt von den Eigenschaften der Feder (Material, Geometrie) ab.

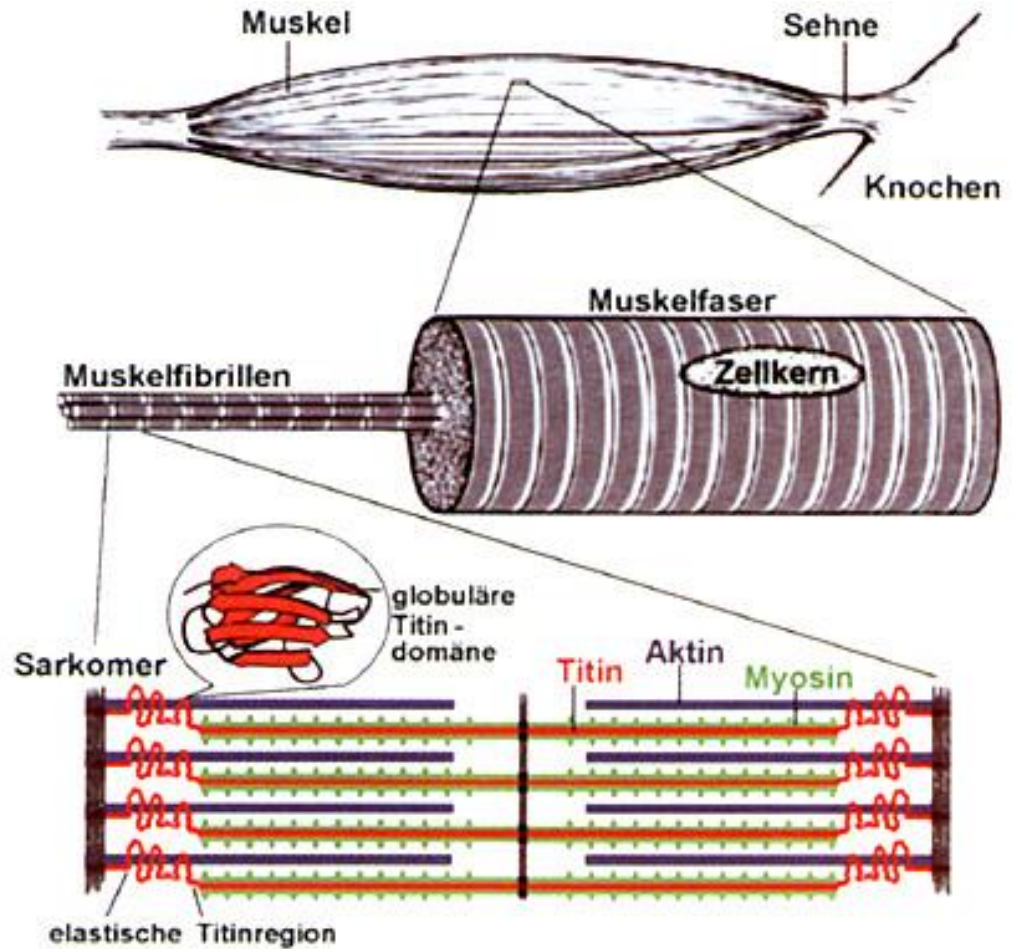
- Diese Kraft wird auch Rückstellkraft genannt.



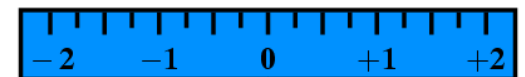
# Achilles Tendon



©MMG 2001



Displacement ( $x$ )



s. später Rückstellkraft bei Schwingungen!