Engaging Physics Tutoring

Physik I

Lektion 6

Kraftfelder,
Scheinkräfte,
Arbeit und Energieerhaltung

Themen der Lektion

Kraftfelder

Konservative Felder

Potentiale

Rotierende Systeme

Zentrifugalbeschleunigung

Coriolisbeschleunigung

Energieerhaltung

Übersicht

Von der Arbeit zur Energie

"Energie ist das Vermögen, Arbeit zu verrichten"

$\Rightarrow$ Energie beschreibt den Zustand einer Masse.

verrichte Arbeit W an Masse: $\Delta E = W$

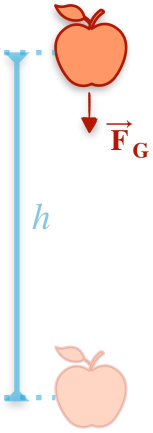
$$\Delta E = W = \int F_s \, ds$$

Kinetische Energie

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m}$$

Kraft, um m zu beschleunigen:

$$|\vec{F}| = m \cdot a \quad \left[= m \frac{dv}{dt} = m v \frac{dv}{ds} \right]$$



Potentielle Energie

A) im Schwerefeld

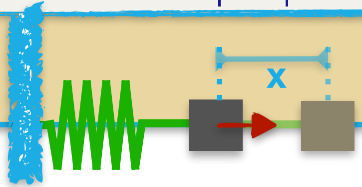
$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Gewichtskraft $|\vec{F}_G| = m \cdot g$

B) gespannte Feder

$$E_{pot} = \frac{1}{2} D x^2$$

Federkraft $|\vec{F}_D| = D \cdot x$



weitere Energieformen:

Wärmeenergie

Rotationsenergie

elektrische Energie

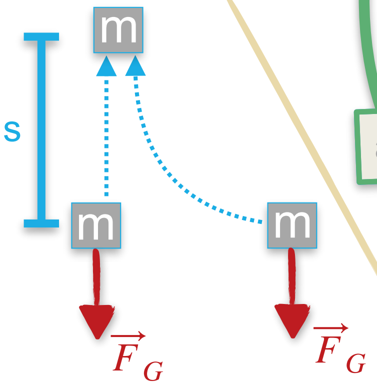
...

Arbeit

"Arbeit ist Kraft mal Weg"

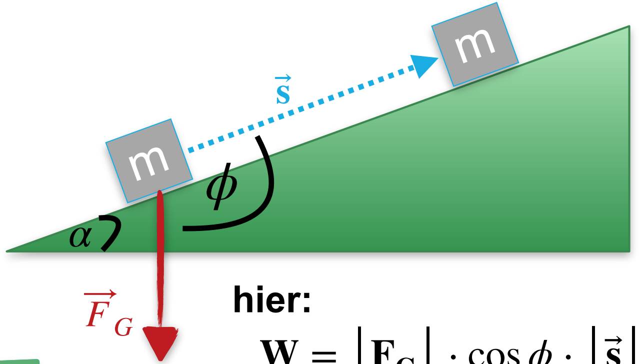
$$\mathbf{W} = \mathbf{F_s} \cdot \mathbf{s}$$

$$[W] = Nm = J$$



Verrichtete Arbeit ist hier gleich!

allgemeiner



hier:

$$\mathbf{W} = \left|\mathbf{F_G}\right| \cdot \underbrace{\cos\phi}_{= \sin\alpha} \cdot \left|\vec{\mathbf{s}}\right|$$

<u>Achtung:</u> nur Kraftkomponente parallel zum Weg zählt!

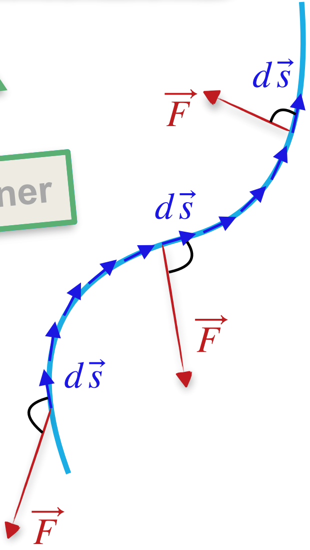
$$\mathbf{W} = \vec{\mathbf{F}} \cdot \vec{\mathbf{s}} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s} \cdot \cos\phi$$

ϕ : Winkel zwischen $\vec{F}$ und $\vec{s}$

allgemeiner

Allgemeine Formulierung: Wegintegral

$$\mathbf{W} = \int \vec{\mathbf{F}} \cdot d\vec{\mathbf{s}}$$



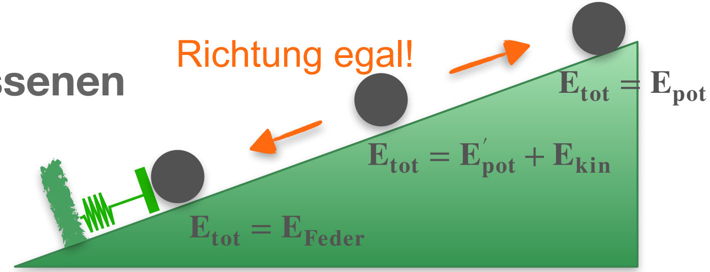
Erhaltungssätze

Energieerhaltung

Gesamtenergie im abgeschlossenen System bleibt erhalten.

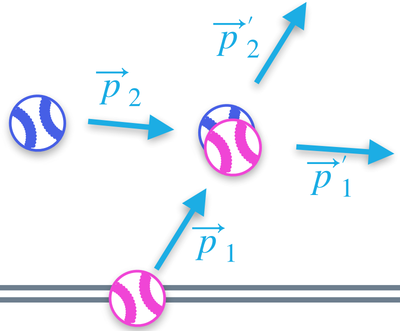
$$E_{tot} = E_{kin} + E_{pot} + \ldots = \text{const}\,.$$

"abgeschlossen": Kein Energieaustausch von/nach aussen



Impulserhaltung

Summe aller Impulse ist konstant, wenn keine äussere Kraft wirkt



$$\sum_i \vec{\mathbf{p}}_i = \text{const}\,.$$

inkl. Richtung!

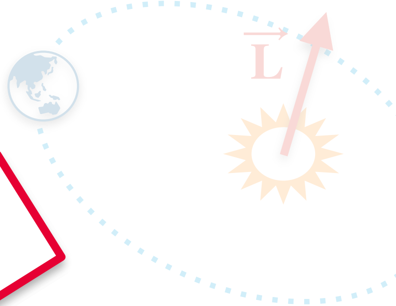
Drehimpulserhaltung

demnächst

$$\sum_i \vec{L}_i = \text{const}$$

...achse bleibt erhalten!

Gesamtdrehimp... im System bleibt konstant, wenn kein externes Drehmoment wirkt

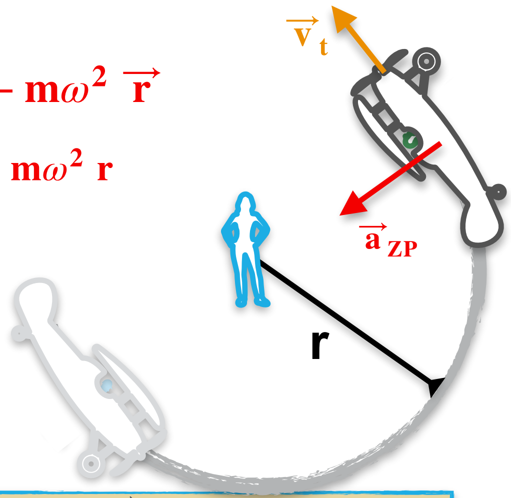


Kreisbewegungen und Bezugssysteme

Rotation im Inertialsystem

$$\vec{F}_{ZP} = -m\omega^2\,\vec{r}$$

$$\left|\vec{F}_{ZP}\right| = m\omega^2\, r$$



Zentripetalkraft $\vec{F}_{ZP}$

Wirkt auf jedes Objekt, das kreist!

orthogonal zur Bewegungsrichtung

Im rotierenden System (des Fliegers)

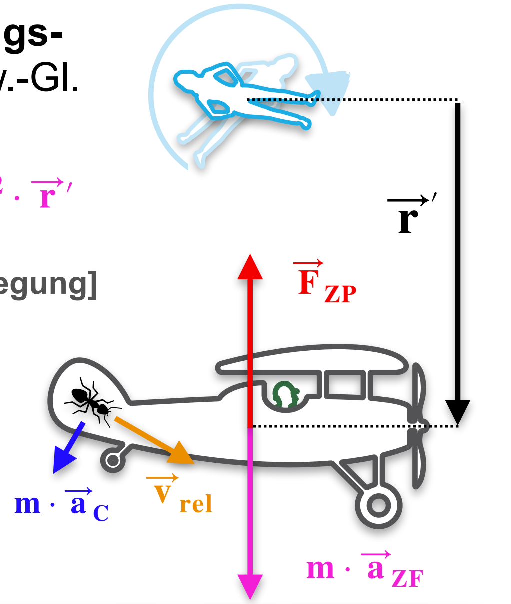
Zusätzliche Beschleunigungs-terme müssen in lokaler Bew.-Gl. bedacht werden:

Zentrifugalterm $\vec{a}_{ZF} = \omega^2 \cdot \vec{r}\,'$

Coriolisterm [bei Relativbewegung]

$$\vec{a}_C = -2\,(\vec{\omega} \times \vec{v}_{rel})$$

Diese Terme sind rein mathematisch bedingt !

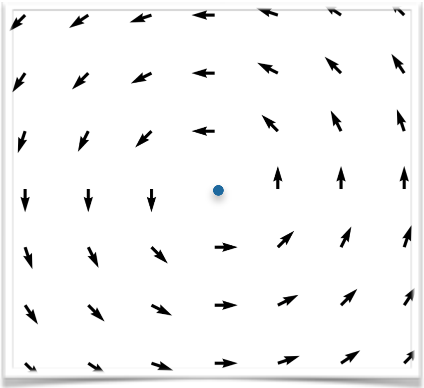


Felder und Potentiale

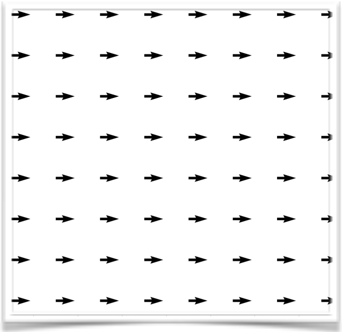
Potentiallinien

Wie sehen die Potentiallinien für die Vektorfelder aus (falls vorhanden)?

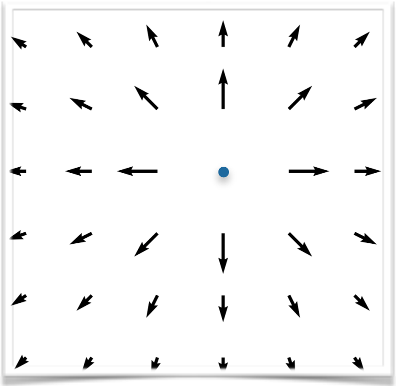
Welche der Felder sind konservativ?



$$\vec{V}_2 = \kappa \begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ \cos\varphi \\ 0 \end{pmatrix} = \kappa \hat{e}_\varphi$$



$$\vec{V}_3 = \kappa \cdot \hat{e}_x$$

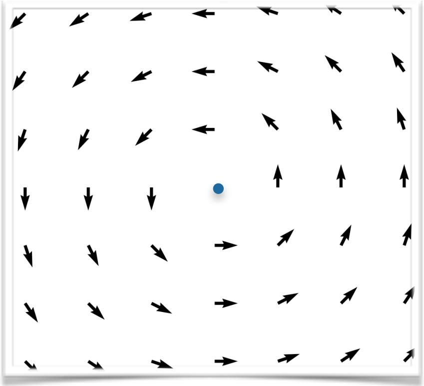


$$\vec{V}_1 = \frac{\kappa}{r^2} \hat{e}_r$$

Potentiallinien

Wie sehen die Potentiallinien für die Vektorfelder aus (falls vorhanden)?

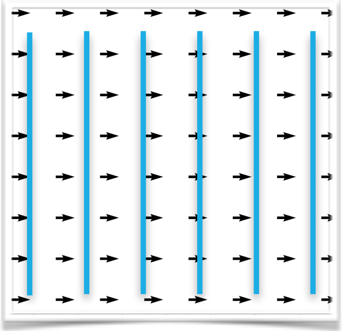
Welche der Felder sind konservativ?



$$\vec{V}_2 = \kappa \begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ \cos\varphi \\ 0 \end{pmatrix} = \kappa \hat{e}_\varphi$$

Es gibt kein Potential:
Es lässt sich durch im Kreis gehen Energie gewinnen.

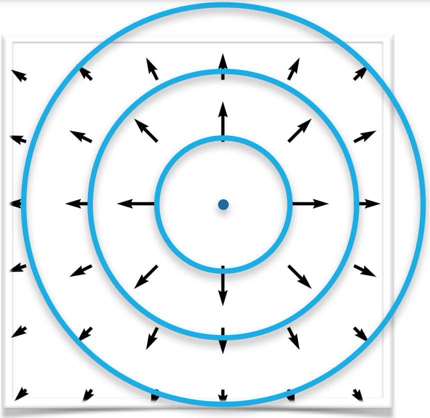
nicht-konservativ!



$$\vec{V}_3 = \kappa \cdot \hat{e}_x$$

Potentiallinien sind Geraden / Ebenen

konservatives Feld



$$\vec{V}_1 = \frac{\kappa}{r^2}\hat{e}_r$$

Potentiallinien sind Kreise / Kugeloberflächen

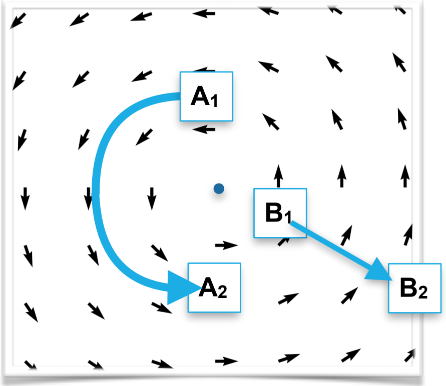
konservatives Feld

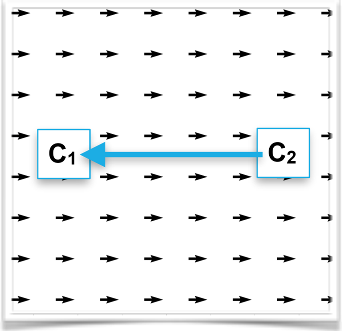
Puzzle zu Wegintegralen

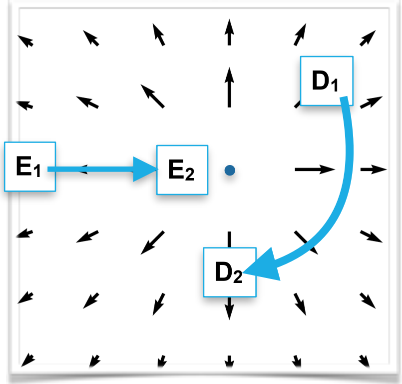
Welches Vektorfeld passt zu welchem Bild?

Welches Integral passt zu welchem Weg?

$$I = -\int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{V} \cdot \, \mathrm{d}\vec{r}$$







$$\vec{V}_1 = \frac{\kappa}{r^2}\hat{e}_r$$

$$\vec{V}_2 = \kappa \begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ \cos\varphi \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{V}_3 = \kappa \cdot \hat{e}_x$$

$$I = -\int_{\phi_1}^{\phi_2} \vec{V} \cdot \hat{e}_\varphi \; r \; \mathrm{d}\varphi = -\kappa \pi r$$

$$I = -\int_a^b \vec{V} \cdot \hat{e}_r \; \mathrm{d}r = 0$$

$$I = -\int_{\phi_1}^{\phi_2} \vec{V} \cdot \hat{e}_\varphi \; r \; \mathrm{d}\varphi = 0$$

$$I = -\int_a^b \vec{V} \cdot \hat{e}_r \; \mathrm{d}r = \frac{\kappa}{a} - \frac{\kappa}{b}$$

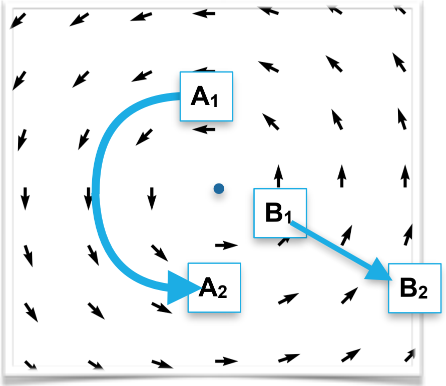
$$I = -\int_b^a \vec{V} \cdot \hat{e}_x \; \mathrm{d}x = \kappa b - \kappa a$$

Puzzle zu Wegintegralen

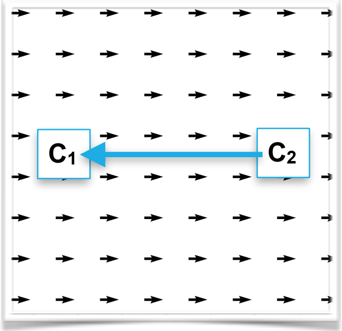
Welches Vektorfeld passt zu welchem Bild?

Welches Integral passt zu welchem Weg?

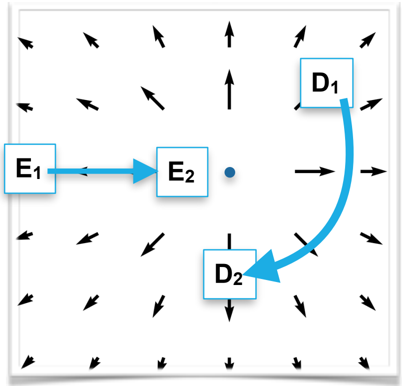
$$I = -\int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{V} \cdot \, \mathrm{d}\vec{r}$$



$$\vec{V}_2 = \kappa \begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ \cos\varphi \\ 0 \end{pmatrix} = \kappa \hat{e}_\varphi$$



$$\vec{V}_3 = \kappa \cdot \hat{e}_x$$



$$\vec{V}_1 = \frac{\kappa}{r^2} \hat{e}_r$$

A $$I = -\int_{\phi_1}^{\phi_2} \vec{V} \cdot \hat{e}_\varphi \; r \; \mathrm{d}\varphi = -\kappa \pi r$$

B $$I = -\int_a^b \vec{V} \cdot \hat{e}_r \; \mathrm{d}r = 0$$

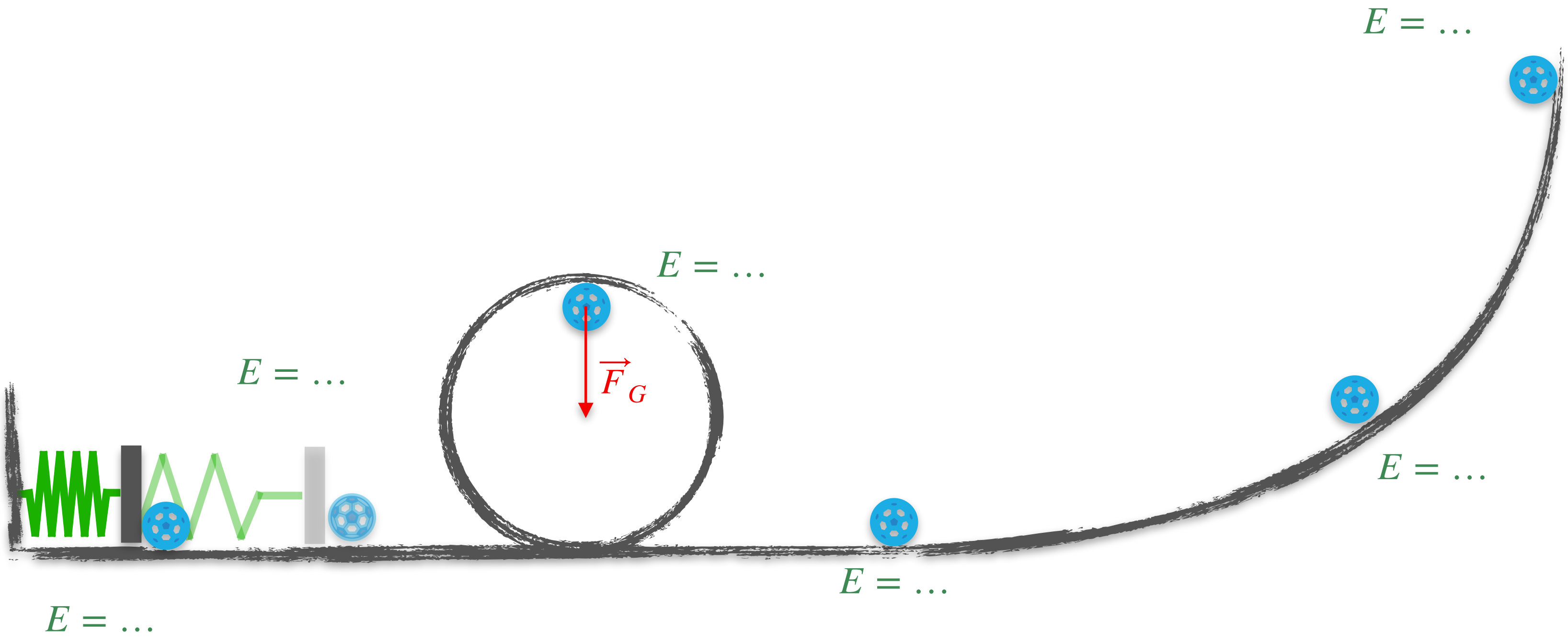
C $$I = -\int_b^a \vec{V} \cdot \hat{e}_x \; \mathrm{d}x = \kappa b - \kappa a$$

D $$I = -\int_{\phi_1}^{\phi_2} \vec{V} \cdot \hat{e}_\varphi \; r \; \mathrm{d}\varphi = 0$$

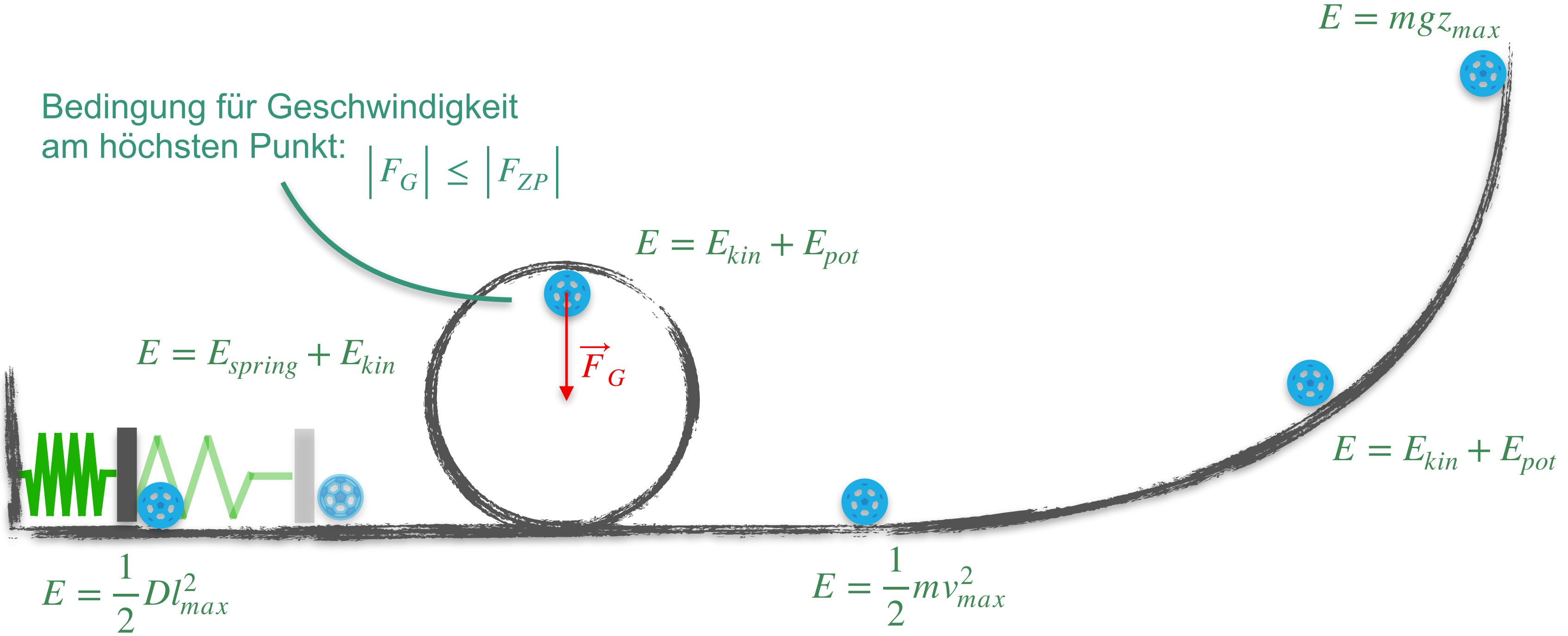
E $$I = -\int_a^b \vec{V} \cdot \hat{e}_r \; \mathrm{d}r = \frac{\kappa}{a} - \frac{\kappa}{b}$$

Murmelbahn und Energieerhaltung

Energieerhaltung in der Murmelbahn



Energieerhaltung in der Murmelbahn

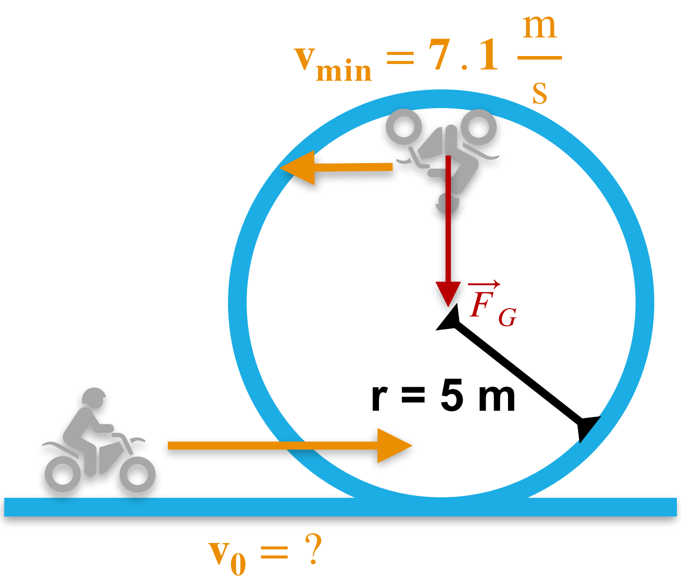


Anfangsgeschwindigkeit im Looping

Motorrad im Looping - minimale Anfangsgeschwindigkeit

Um durch einen Looping mit Radius r = 5 m zu kommen, braucht ein Motorrad am höchsten Punkt noch eine Geschwindigkeit von mindestens

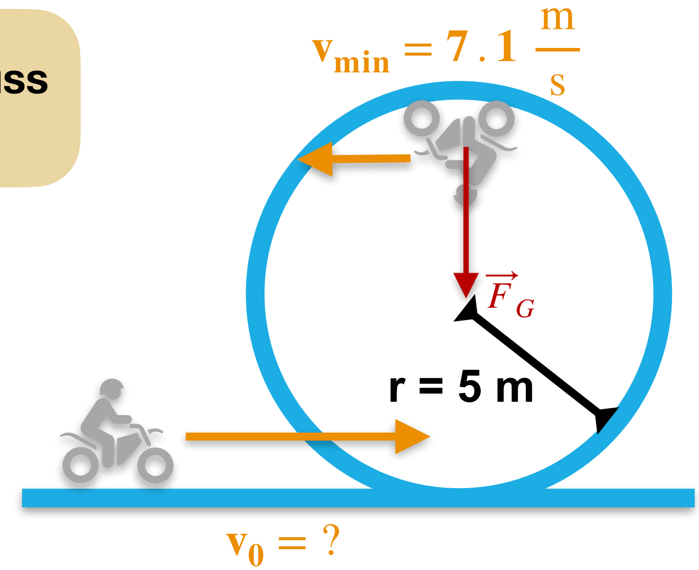
$$v_{min} = 7.1\ \frac{m}{s}$$



Frage: **Mit welcher Anfangsgeschwindigkeit muss das Motorrad in den Looping einfahren?**

Motorrad im Looping - minimale Anfangsgeschwindigkeit

<u>Frage:</u> **Mit welcher Anfangsgeschwindigkeit muss das Motorrad in den Looping einfahren?**



Energieerhaltung:

$$E_{kin,0} + E_{pot,0} = E'_{kin} + E'_{pot}$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + 0 = \frac{1}{2}mv_{min}^2 + mgh$$

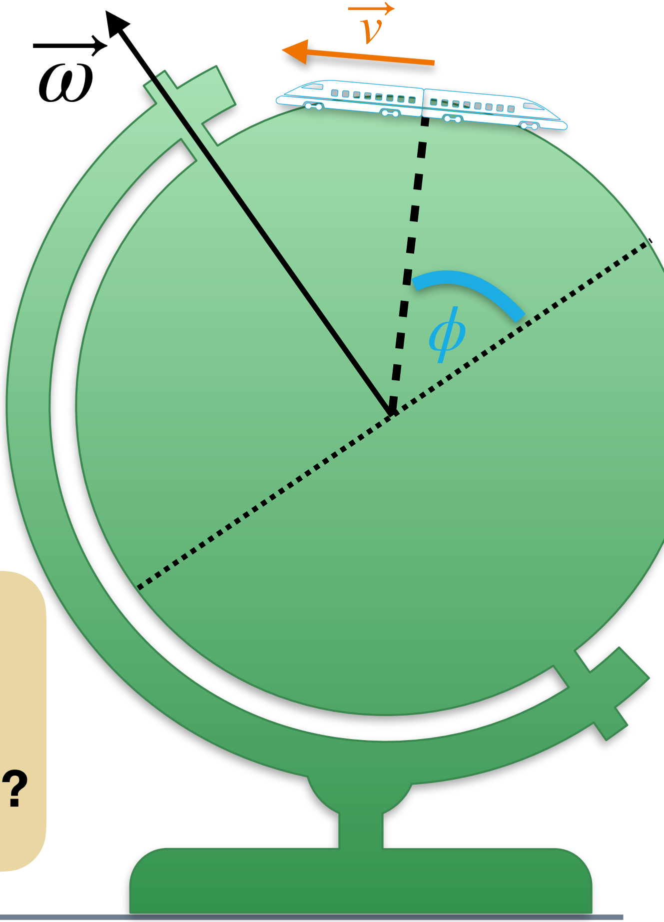
$$v_0 = \sqrt{v_{min}^2 + 2gh} = 15.8\ \frac{m}{s}$$

Coriolisbeschleunigung von Zug

Zug und Coriolisterm

Ein Zug der Gesamtmasse $m = 200\ \mathrm{t}$ **ist auf dem Weg Richtung Norden zwischen Zürich und Schaffhausen. Er fährt mit der Geschwindigkeit**

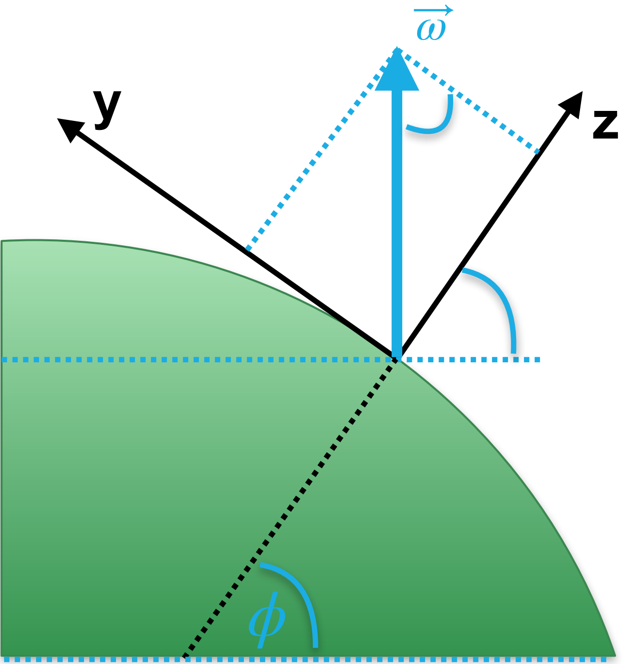
$v = 216\ \mathrm{km/h} = 60\ \mathrm{m/s}$



Frage:

Was ist die Coriolisbeschleunigung auf den Zug, wenn er bei 47.5° nördlicher Breite unterwegs ist?

Zug und Coriolisterm - lokale Koordinaten



Coriolisbeschleunigung: $\vec{a}_C = -2\left(\vec{\omega} \times \vec{v}_{rel}\right)$

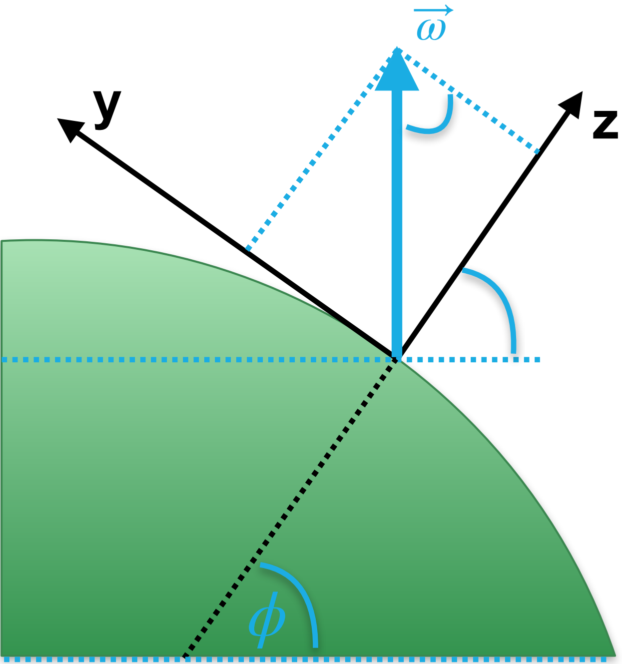
Die Winkelgeschwindigkeit ist durch die tägliche Rotation der Erde gegeben:

$$\omega = \frac{2\pi}{d} =$$

Drücke ω und v im lokalen Koordinatensystem (links) aus:

$$\vec{\omega} = \qquad\qquad \vec{v} =$$

Zug und Coriolisterm - lokale Koordinaten



Coriolisbeschleunigung: $\vec{a}_C = -2\left(\vec{\omega} \times \vec{v}_{rel}\right)$

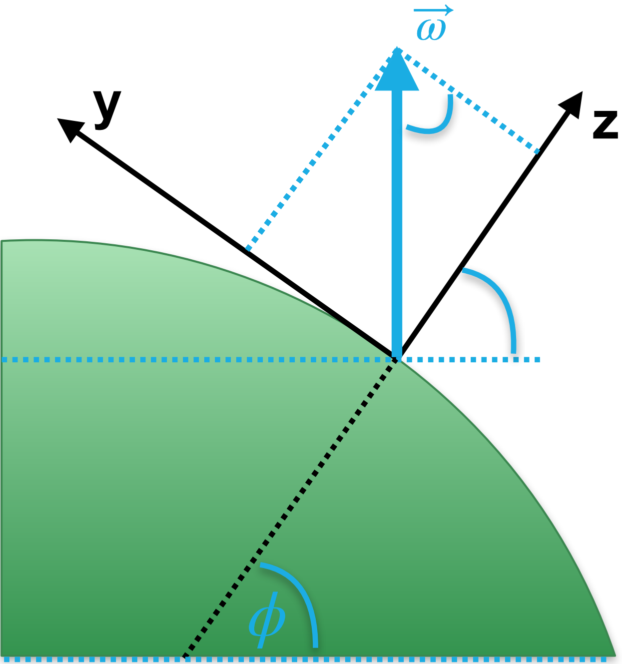
Die Winkelgeschwindigkeit ist durch die tägliche Rotation der Erde gegeben:

$$\omega = \frac{2\pi}{d} = \frac{2\pi}{3600 \cdot 24 \ \mathrm{s}} = 7.3 \cdot 10^{-5}\frac{1}{s}$$

Drücke ω und v im lokalen Koordinatensystem (links) aus:

$$\vec{\omega} = \omega \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \cos\phi \\ \sin\phi \end{pmatrix} \qquad \vec{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ v \\ 0 \end{pmatrix}$$

Zug und Coriolisterm - Rechnung



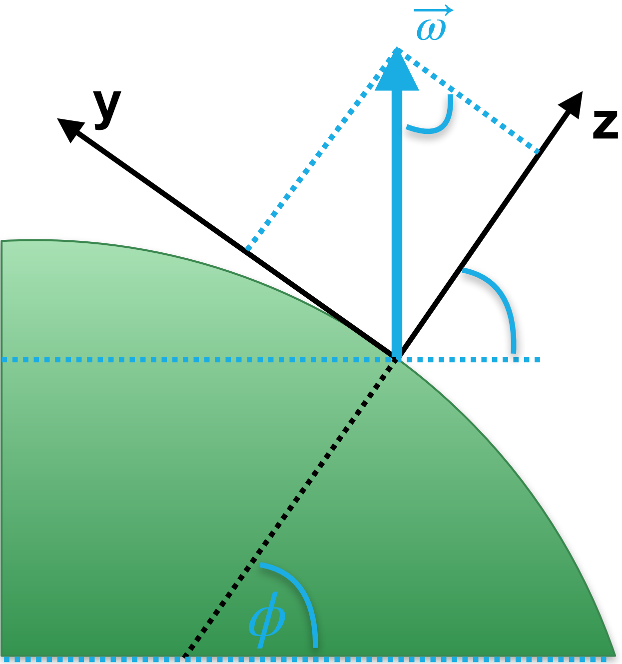
$$\omega = \frac{2\pi}{d} = \frac{2\pi}{3600 \cdot 24 \text{ s}} = 7.3 \cdot 10^{-5} \frac{1}{s}$$

$$\vec{\omega} = \omega \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \cos\phi \\ \sin\phi \end{pmatrix}$$

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ v \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \phi = 47.5^o = 0.83 \text{ rad} \qquad m = 200\ 000 \text{ kg}$$

$$\vec{a}_C = -2\left(\vec{\omega} \times \vec{v}_{rel}\right) \qquad \Rightarrow \vec{a}_C =$$

Zug und Coriolisterm - Rechnung



$$\omega = \frac{2\pi}{d} = \frac{2\pi}{3600 \cdot 24 \text{ s}} = 7.3 \cdot 10^{-5} \frac{1}{s} \qquad \vec{\omega} = \omega \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \cos\phi \\ \sin\phi \end{pmatrix}$$

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} 0 \\ v \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \phi = 47.5^o = 0.83 \text{ rad} \qquad m = 200\ 000 \text{ kg}$$

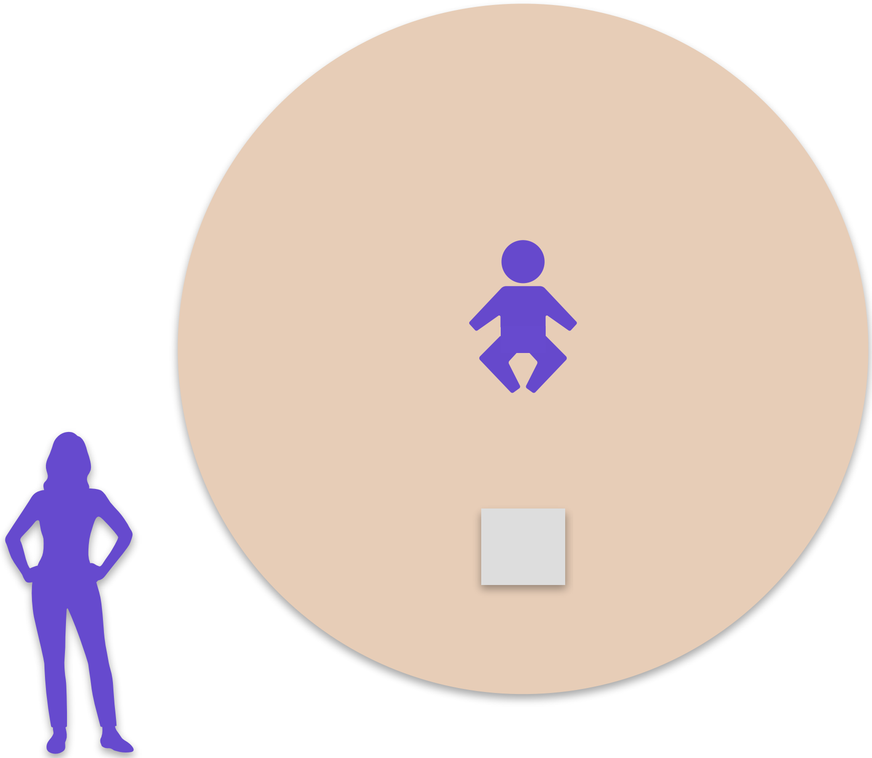
$$\vec{a}_C = -2\left(\vec{\omega} \times \vec{v}_{rel}\right) \qquad \Rightarrow \vec{a}_C = 2\omega v \cdot \begin{pmatrix} \sin\phi \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = 2\omega v \sin\phi \cdot \hat{e}_x$$

$\Rightarrow \left|a_C\right| = 6.5 \, \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$ in Richtung Osten (in Fahrtrichtung rechts)

Daraus resultierende erhöhte Gleisabnutzung rechts ist nicht messbar (z.B. ist Erdbeschleunigung etwa 1500 mal grösser).

Drehscheibe

Drehscheiben - Experimente



Eine Physikerin möchte ihrem Sohn die Beschleunigungen in rotierenden Bezugsystemen näher bringen.

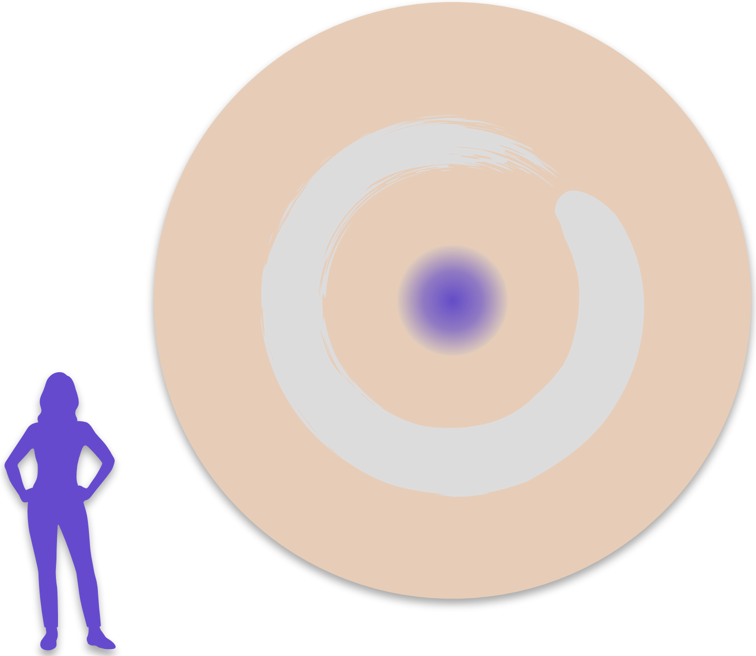
Das Kind setzt sich in die Mitte einer Drehscheibe. In etwas Entfernung platzieren die beiden ein Stück Karton.

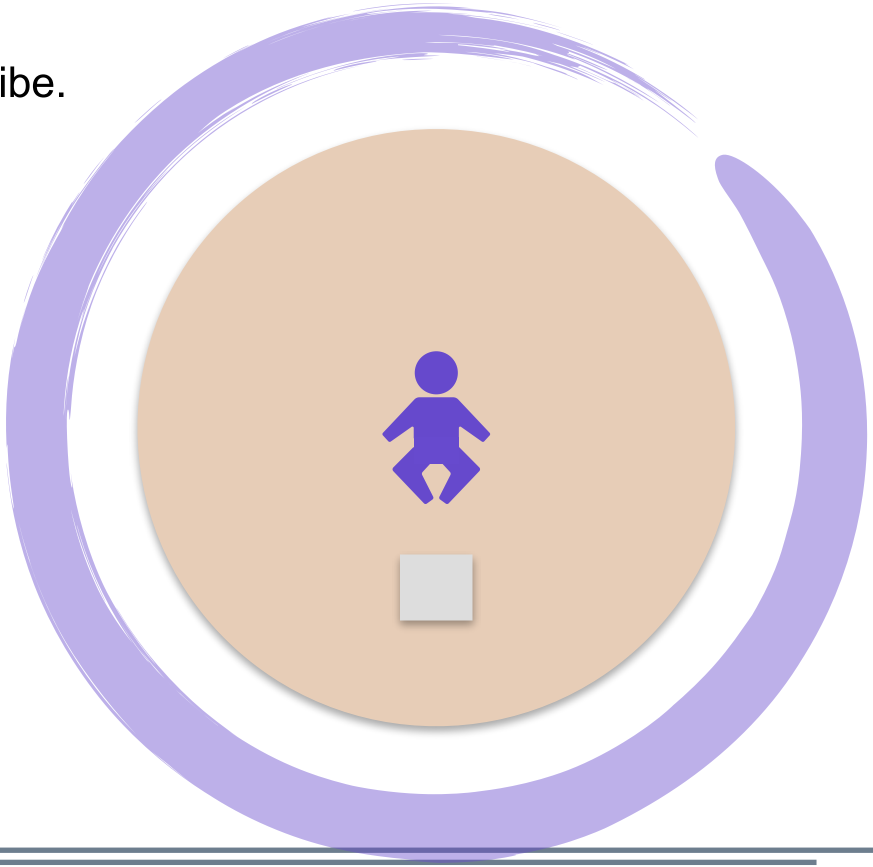
Nun beginn die Mutter, die Scheibe zu drehen.

Wie sieht die Drehung aus Sicht der Mutter und aus Sicht des Kindes aus?

Welche Beschleunigungen erfährt der Karton in den Systemen?

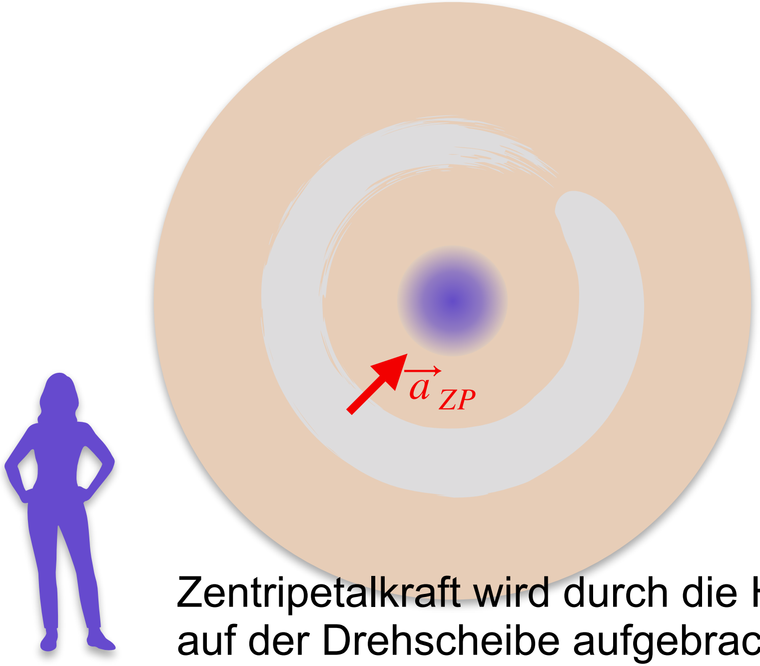
Annahme: Der Karton hafte auf der Scheibe.





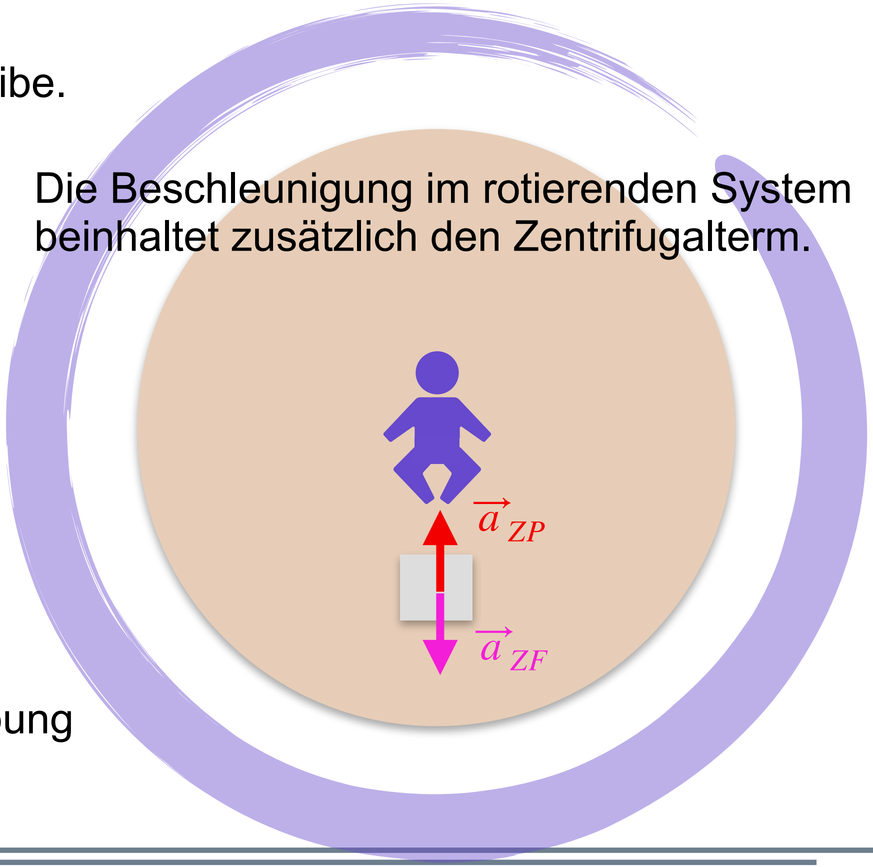
Welche Beschleunigungen erfährt der Karton in den Systemen?

Annahme: Der Karton hafte auf der Scheibe.

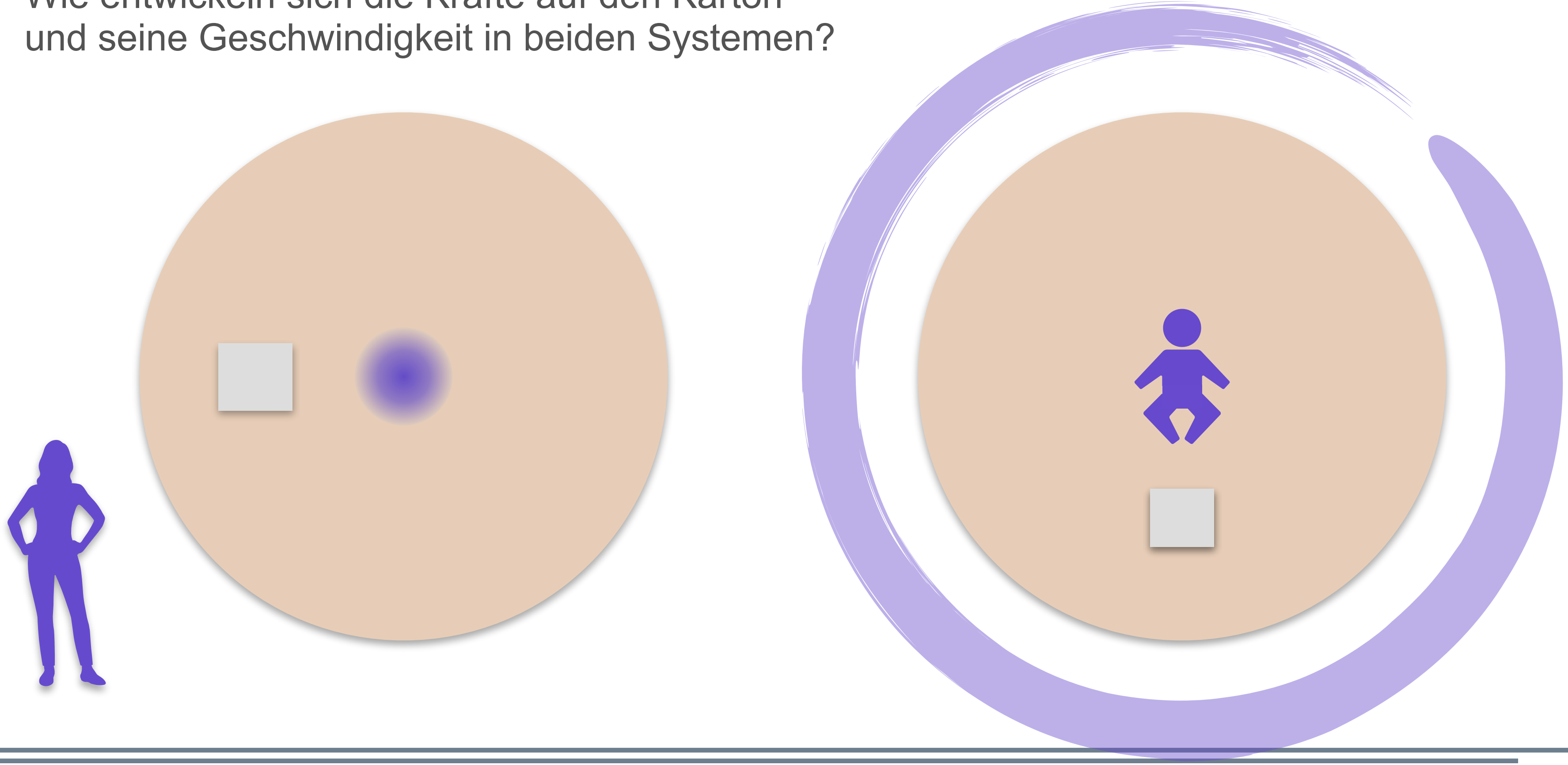


Zentripetalkraft wird durch die Haftreibung auf der Drehscheibe aufgebracht.

Die Beschleunigung im rotierenden System beinhaltet zusätzlich den Zentrifugalterm.

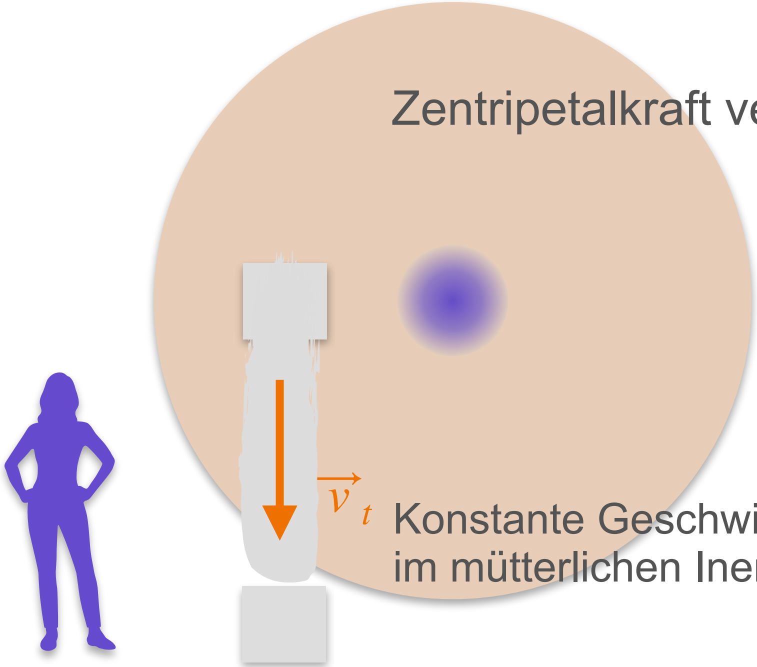


Nun löst sich der Karton von der Scheibe und fliegt weg.
Wie entwickeln sich die Kräfte auf den Karton
und seine Geschwindigkeit in beiden Systemen?

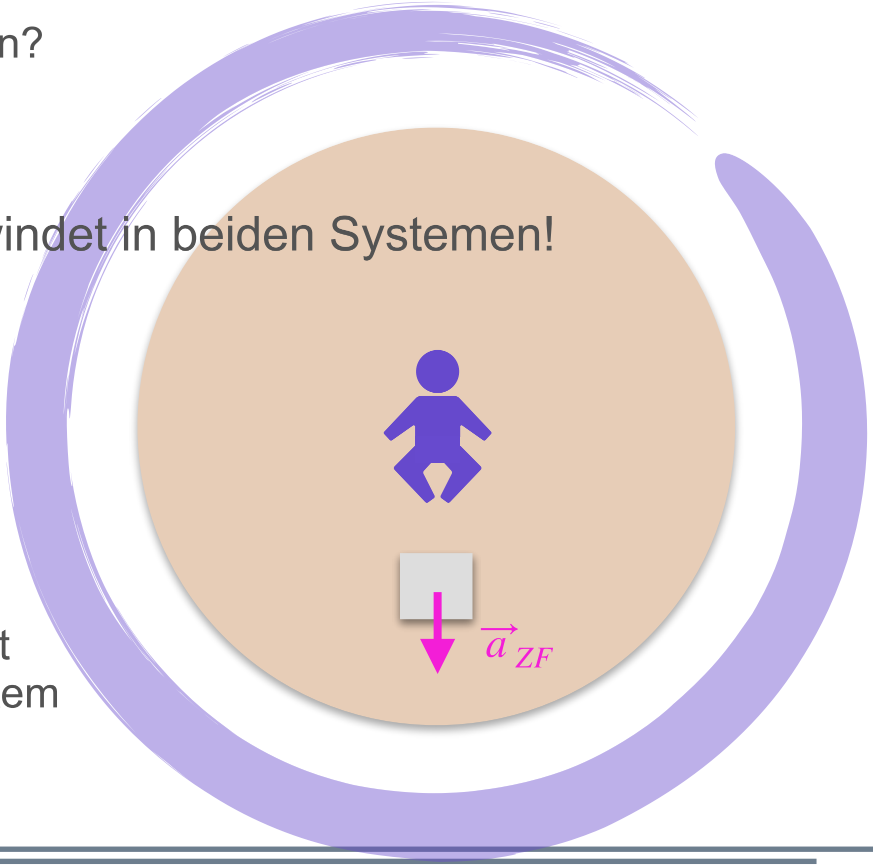


Nun löst sich der Karton von der Scheibe und fliegt weg.
Wie entwickeln sich die Kräfte auf den Karton
und seine Geschwindigkeit in beiden Systemen?

Zentripetalkraft verschwindet in beiden Systemen!

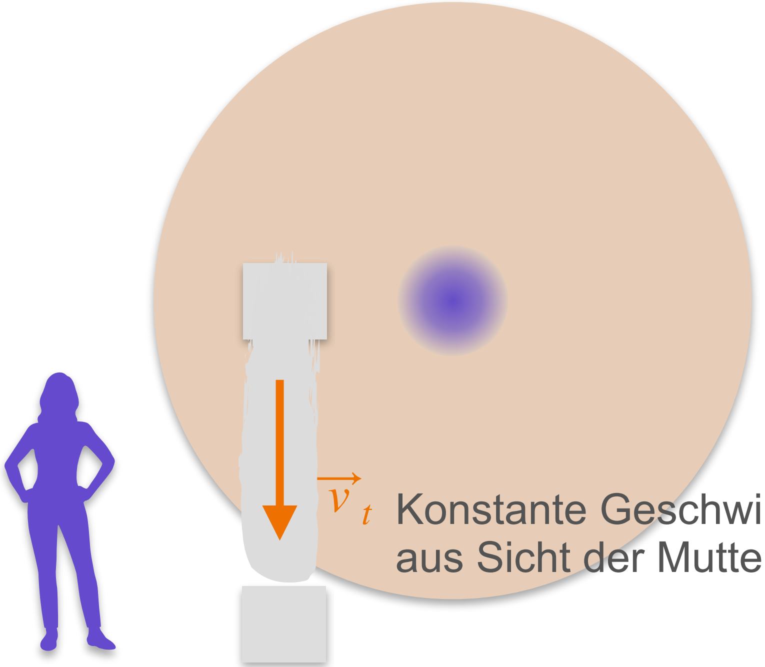


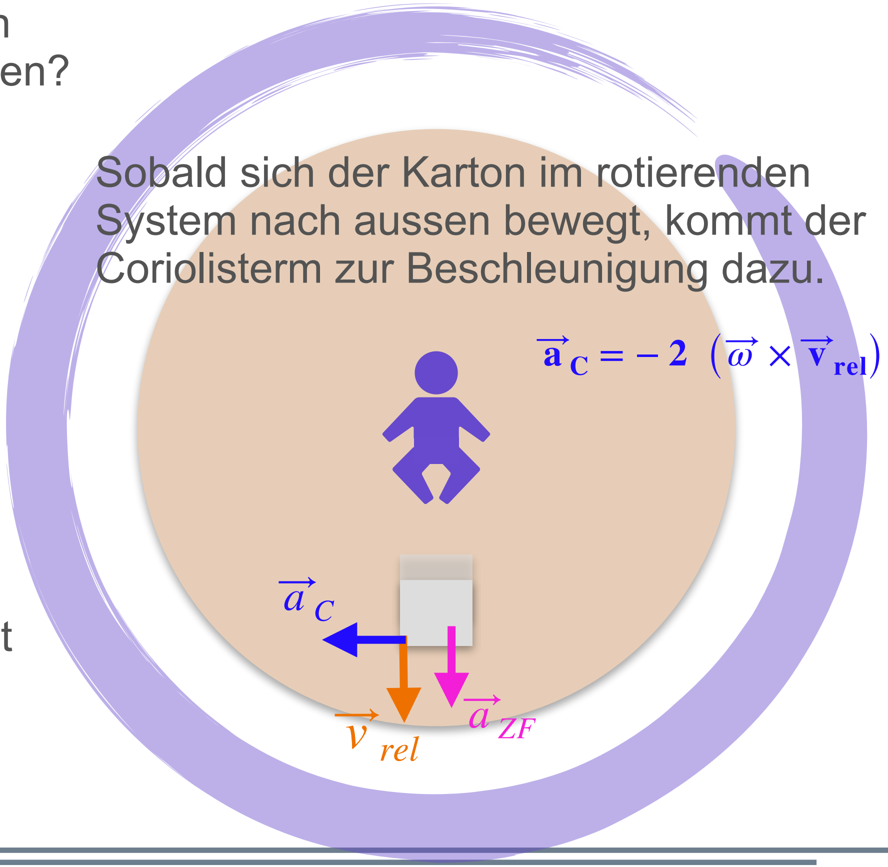
Konstante Geschwindigkeit
im mütterlichen Inertialsystem



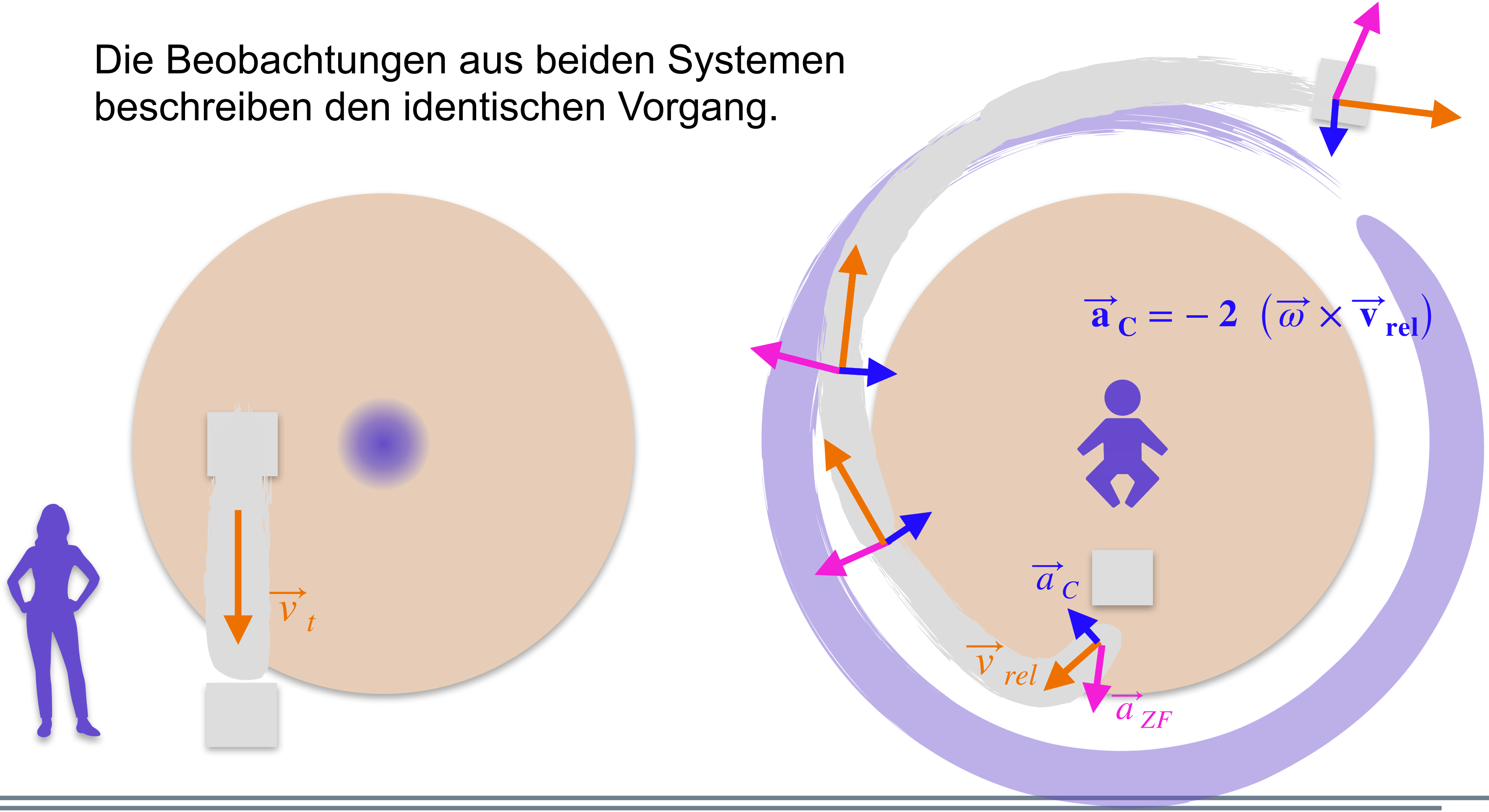
Im Eingezeichneten Moment löst sich der Karton von der Scheibe und fliegt weg.

Wie entwickeln sich die Kräfte auf den Karton und seine Geschwindigkeit in beiden Systemen?





Die Beobachtungen aus beiden Systemen beschreiben den identischen Vorgang.



Clicker-Fragen

Frage 1

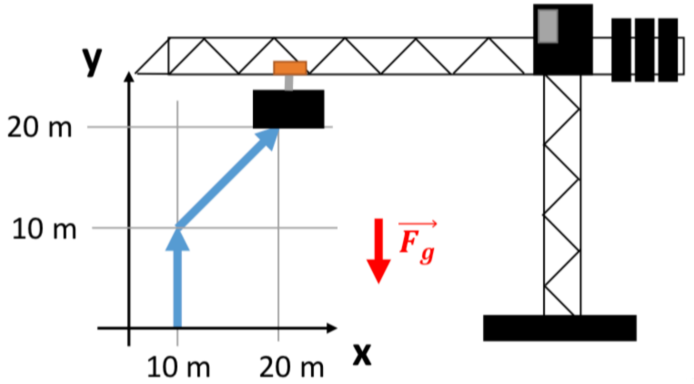
Ein Betonblock wird vom Kran hochgehoben mit der Kraft 1’000 N Wie viel Arbeit wird verrichtet? Es wirkt nur die Gravitationskraft.

a) 10’000 J

b) 14’142 J

c) 20’000 J

d) 24’142 J



Frage 1

c) Ist richtig. $W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{x} + \int_B^C \vec{F} \cdot d\vec{x} = \int_0^{10\,m} F dx + \int_{10\,m}^{20\,m} \overrightarrow{F_x} + \overrightarrow{F_y} \cdot d\vec{x}$.
Der Weg A→B trägt $1000\ N \cdot 10\ m = 10'000\ J$ bei, der Weg B→C trägt ebenso 10'000 J bei, da für die Horizontalkomponente der Kran-Kraft gilt $\overrightarrow{F_\perp} \cdot d\vec{x} = 0$

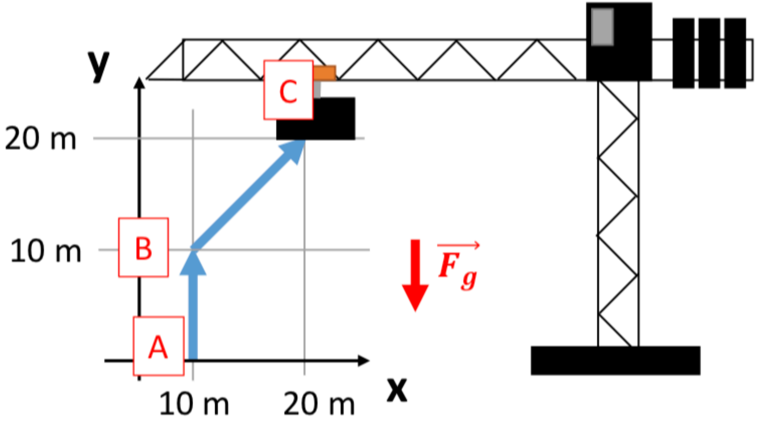
Ein Betonblock wird vom Kran hochgehoben mit der Kraft 1'000 N Wie viel Arbeit wird verrichtet? Es wirkt nur die Gravitationskraft.

a) 10'000 J

b) 14'142 J

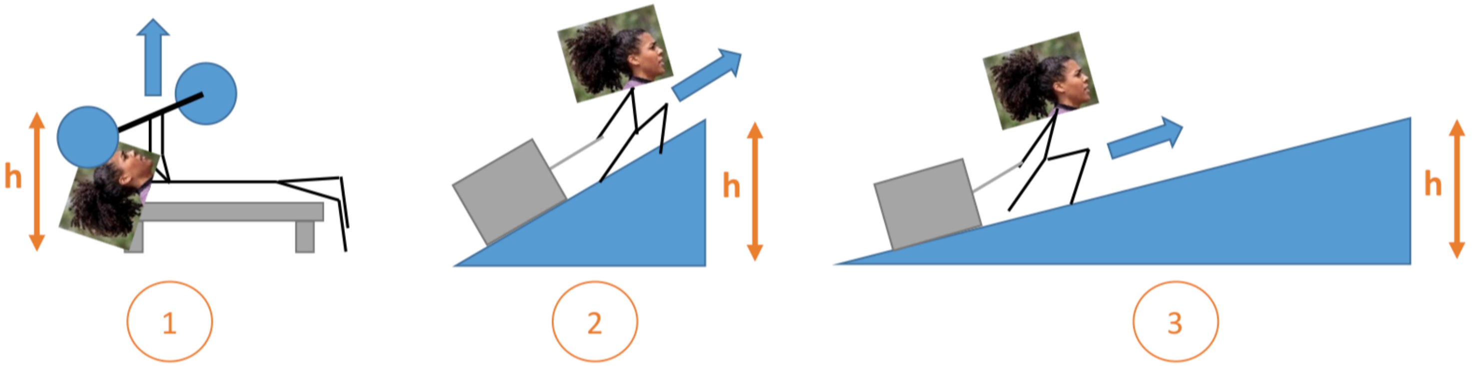
c) 20'000 J

d) 24'142 J



Frage 2

Mujinga Kambundji beim Training. Sortiere die Tätigkeiten nach geleisteter Arbeit (im physikalischen Sinne)! Tipp: Es herrscht Reibung.



a) $W_1 < W_2 < W_3$

b) $W_2 = W_3 < W_1$

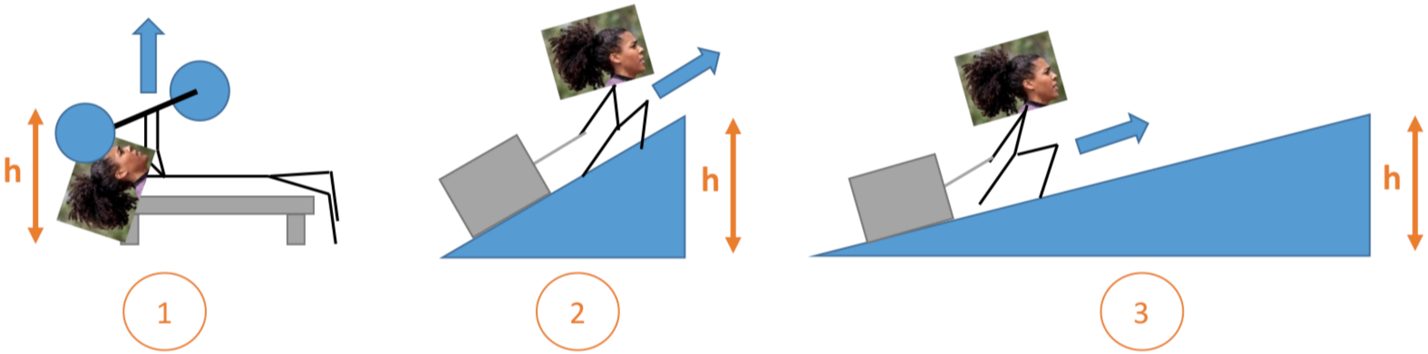
c) $W_3 < W_2 < W_1$

d) $W_1 = W_2 = W_3$

Frage 2

a) Ist richtig. Die Arbeit gegen das Gravitationsfeld der Erde ist bei allen gleich, aber sie muss zusätzlich auch gegen die Reibung arbeiten. Je länger ihr Weg, desto mehr Reibungsarbeit muss sie zusätzlich leisten.

Mujinga Kambundji beim Training. Sortiere die Tätigkeiten nach geleisteter Arbeit (physikalischem Sinne)! Tipp: Es herrscht Reibung.



a) $W_1 < W_2 < W_3$

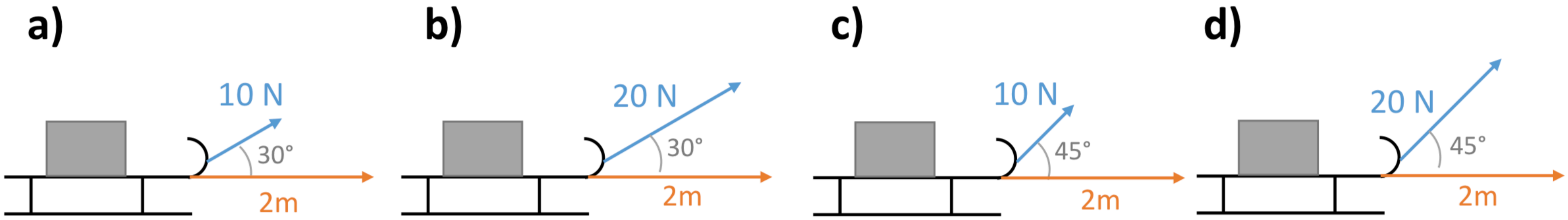
b) $W_2 = W_3 < W_1$

c) $W_3 < W_2 < W_1$

d) $W_1 = W_2 = W_3$

Frage 3

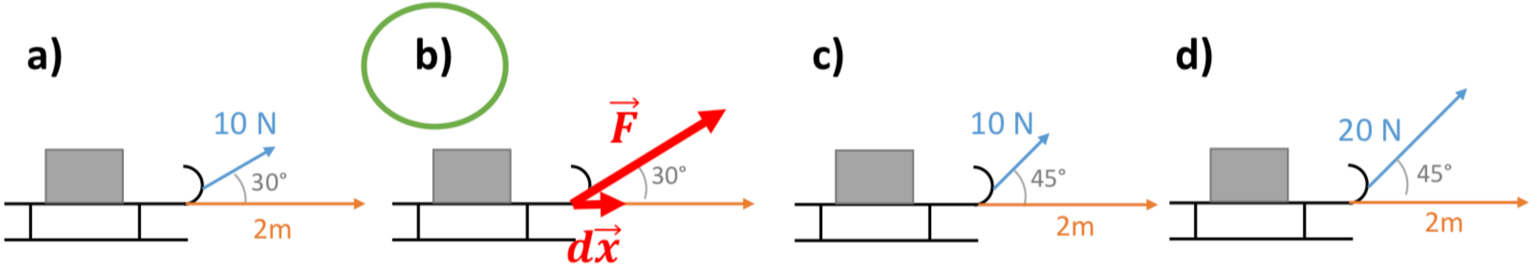
Ein Schlitten wird mit der angezeigten Kraft über 2 m hinweg gezogen (reibungsfrei). In welcher Situation hat er die grösste Endgeschwindigkeit?



Frage 3

$\Delta E_{kin} = \Delta W = \int_0^{2m} \vec{F} \cdot d\vec{x}$ Das Skalarprodukt zwischen $\vec{F}$ und $d\vec{x}$ ist bei a) und b) am Grössten und bei b) ist die Kraft am grössten → es wird am meisten Arbeit geleistet → ΔE_{kin} ist am grössten bei b) → grösste Endgeschwindigkeit.

Ein Schlitten wird mit der angezeigten Kraft über 2 m hinweg gezogen (reibungsfrei). In welcher Situation hat er die grösste Endgeschwindigkeit?



Frage 4

Ein Hockey-Puck rutscht reibungsfrei auf einer Eisfläche und trifft auf einen Eis-Hügel. Der Puck ist 4 m/s schnell und der Hügel 1 m hoch. Schafft der Puck es auf den Hügel?

a) Ja.

b) Nein.

c) Kann man nicht sagen ohne die Masse des Pucks zu kennen.

d) Kann man nicht sagen ohne den Winkel des Hügels zu kennen.

Frage 4

Ein Hockey-Puck rutscht reibungsfrei auf einer Eisfläche und trifft auf einen Eis-Hügel. Der Puck ist 4 m/s schnell und der Hügel 1 m hoch. Schafft der Puck es auf den Hügel?

Die Frage ist, ob $E_{kin} \geq E_{pot} \leftrightarrow \frac{mv^2}{2} \geq mgh \leftrightarrow \frac{v^2}{2} \geq gh$?

→ $8\frac{m^2}{s^2} \gtrsim 10\frac{m^2}{s^2}$ → Nein!

Merke: Masse des Pucks und Winkel des Hügels sind egal (so lange keine Reibung im Spiel ist)

a) Ja.

b) Nein.

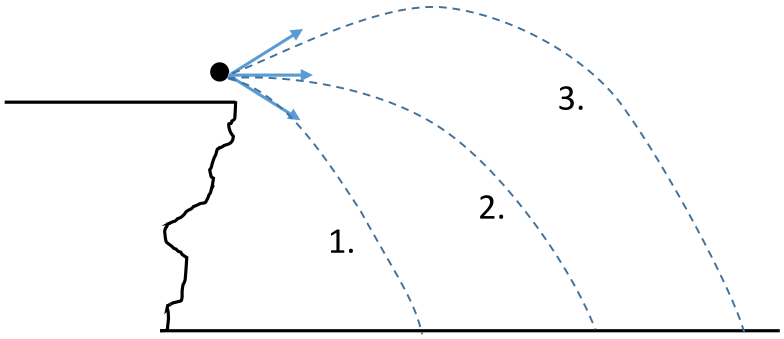
c) Kann man nicht sagen ohne die Masse des Pucks zu kennen.

d) Kann man nicht sagen ohne den Winkel des Hügels zu kennen.

Frage 5

Drei Bergsteiger stehen an der Klippe und überlegen sich, wie sei einen Stein werfen müssten, damit er die höchste Gesamt-Geschwindigkeit beim Aufprall erreicht. Welche Flugkurve sollte der Stein ungefähr haben? Beim Abwurf hat der Stein immer Geschwindigkeit v_0.

(Tipp: Steine werfen ist gefährlich, bitte nicht nachmachen!)



a) 1.

b) 2.

c) 3.

d) Alle Steine haben die gleiche Geschwindigkeit beim Aufprall.

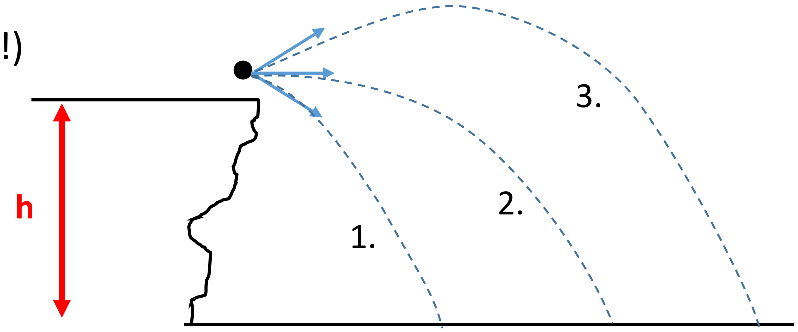
Frage 5

E_{pot} & E_{kin} sind fix (gleicher Startpunkt, gleiches v_{Start}) → $E_{1,tot}(t_{Start}) = mgh + \frac{mv_{Start}^2}{2} = E_{2,tot}(t_{Start}) = E_{3,tot}(t_{Start})$.
Em Ende gilt $E_{pot} = 0$ und $E_{tot}(t_{Ende}) = E_{tot}(t_{Start})$ = wegen Energieerhaltung → $E_{1,tot}(t_{Ende}) = \frac{mv_{Ende}^2}{2}$ völlig unabhängig von der Flugbahn!

Drei Bergsteiger stehen an der Klippe und überlegen sich, wie sei einen Stein werfen müssten, damit er die höchste Gesamt-Geschwindigkeit beim Aufprall erreicht. Welche Flugkurve sollte der Stein ungefähr haben? Beim Abwurf hat der Stein immer Geschwindigkeit v_0.

(Tipp: Steine werfen ist gefährlich, bitte nicht nachmachen!)

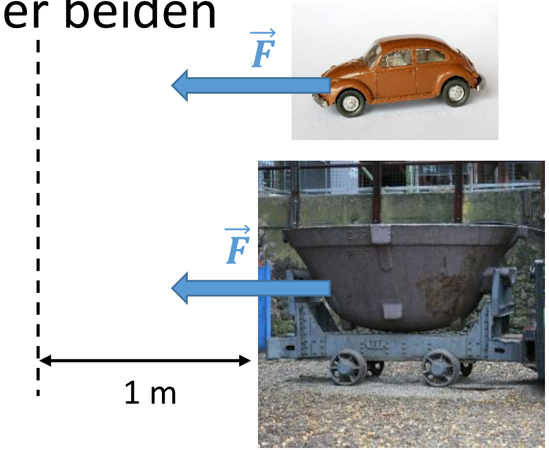
Intuitiv:
1. Stimmt nicht, weil der Stein zwar mehr $v_{vertikal}$ hat, aber weniger $v_{horizontal}$.
3. stimmt nicht, weil der Stein zwar am Scheitelpunkt mehr E_{pot} hat, dafür aber weniger E_{kin} ($v_{vertikal}$ ist da ja 0).



a) 1.
b) 2.
c) 3.
d) Alle Steine haben die gleiche Geschwindigkeit beim Aufprall.

Frage 6

Ein kleines Plastikauto und ein schwerer Eisenwagen werden beide mit derselben Kraft F über 1 m beschleunigt. Nachdem die Kraft aufhört zu wirken, vergleicht man die kinetische Energie E_{kin} der beiden Fahrzeuge. Welche Aussage gilt?



a) E_{kin} des Plastikautos ist grösser.

b) E_{kin} des Eisenwagens ist grösser.

c) E_{kin} der beiden Fahrzeuge ist gleich.

d) Über E_{kin} kann man nichts sagen, sie hängt von der Kraft ab.

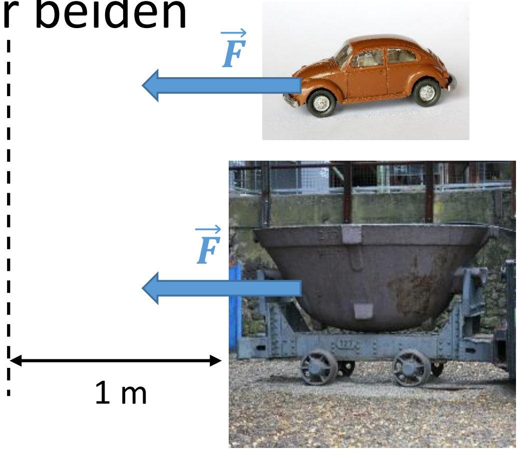
Frage 7

Der Zuwachs an Energie ist gegeben durch die Arbeit, welche an den Fahrzeugen geleistet wird

$$\Delta E = \Delta W = \int \vec{F} \cdot \mathrm{d}\vec{x} = F\Delta x$$

In diesem Fall sind F und Δx für beide gleich → gleicher Zuwachs an E_{kin}

Ein kleines Plastikauto und ein schwerer Eisenwagen werden beide mit derselben Kraft F über 1 m beschleunigt. Nachdem die Kraft aufhört zu wirken, vergleicht man die kinetische Energie E_{kin} der beiden Fahrzeuge. Welche Aussage gilt?



a) E_{kin} des Plastikautos ist grösser.

b) E_{kin} des Eisenwagens ist grösser.

c) E_{kin} der beiden Fahrzeuge ist gleich.

d) Über E_{kin} kann man nichts sagen, sie hängt von der Kraft ab.

Frage 8

Christian Stucki und Mujinga Kambundji rennen beide so schnell wie sie können. Wer hat wahrscheinlich die grössere kinetische Energie?

a) Mujinga
b) Christian

https://www.srf.ch/sport/mehr-sport/sports-awards/berner-sportler-ausgezeichnet-kambundji-und-stucki-sind-die-sportler-des-jahres

Frage 8

Christian Stucki und Mujinga Kambundji rennen beide so schnell wie sie können. Wer hat wahrscheinlich die grössere kinetische Energie?

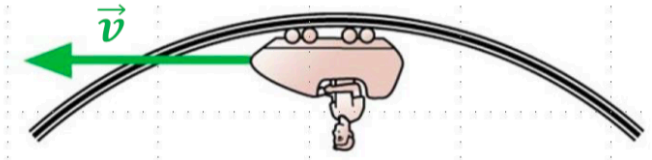
a) Mujinga

b) Christian

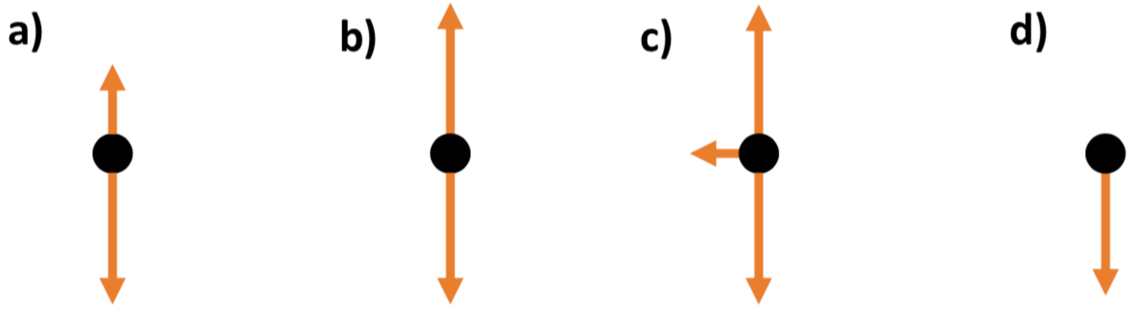
ards/berner-sportler-
ortler-des-jahres

Grob geschätzt ist Stucki ca. doppelt so schwer wie Kambundji (ca. 60 kg vs. ca 120 kg). Kambundji läuft aber wahrscheinlich deutlich schneller. Da $E_{kin} \propto v^2$ hat die Geschwindigkeit also einen viel grösseren Effekt auf E_{kin} als die Masse. Kambundji muss nur 50% schneller sein als Stucki (d.h. Stucki müsste die 100 m in 16,5 s laufen, was schon nicht schlecht ist), dann hat sie immernoch eine höhere E_{kin}! Notabene: Beim Impuls ist das nicht so!

Frage 9



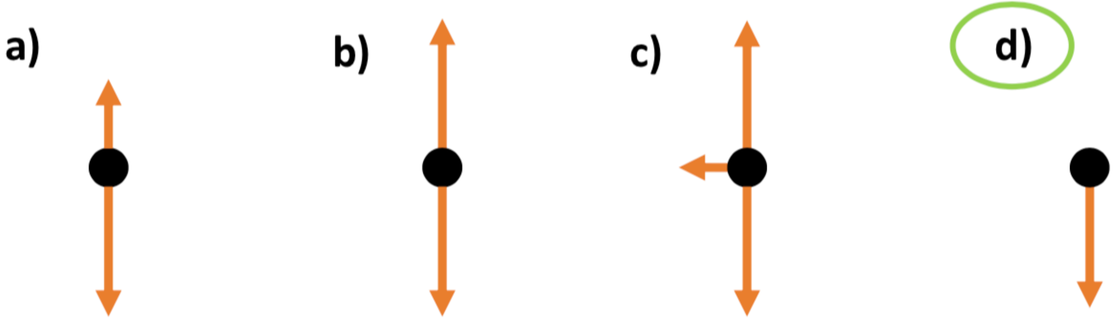
Eine Achterbahn fährt im Looping. Der Looping is kreisförmig gebaut. Der Wagen fährt so schnell, dass er es gerade so durch den Looping schafft. Welche Skizze zeigt die Kräfte, welche auf den Wagen im Scheitelpunkt des Loopings wirken? Reibung kann vernachlässigt werden.



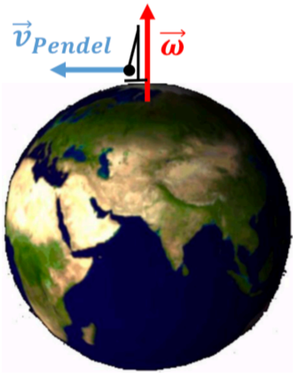
Frage 9

a) nicht, da im Scheitelpunkt der Kreisbahn keine Normalkraft wirkt.
b) nicht, da der Wagen seine Kreisbahn so nicht fortsetzen könnte. Es muss eine Nettokraft nach innen zeigen, damit der Wagen auf einer Kreisbahn bleibt.
c) nicht, da es keine Kraft in Richtung der Bewegung gibt (ein Achterbahnwagen hat ja keinen Antrieb)
d) Ja, weil im Scheitelpunkt die Zentripetalkraft vollständig von der Gravitationskraft geliefert wird. In allen anderen Punkten zeigt die Normalkraft genau so, dass $\overrightarrow{F_{ZP}} = \overrightarrow{F_g} + \overrightarrow{F_N}$.

Eine Achterbahn fährt im Looping. Der Looping is kreisförmig gebaut. Der Wagen fährt so schnell, dass er es gerade so durch den Looping schafft. Welche Skizze zeigt die Kräfte, welche auf den Wagen im Scheitelpunkt des Loopings wirken? Reibung kann vernachlässigt werden.



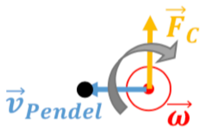
Frage 10



Was passiert mit einem Foucault'schen Pendel am Nordpol (von oben betrachtet)?

a. Seine Pendelebene dreht sich in 24h entgegen dem Uhrzeigersinn.
b. Es steht komplett still, da die Corioliskraft die Pendelbewegung genau kompensiert.
c. Seine Pendelebene dreht sich in 24h im Uhrzeigersinn.
d. Seine Pendelebene dreht sich in weniger als 24h entgegen dem Uhrzeigersinn.

Frage 10



Von oben betrachtet

Was passiert mit einem Foucault'schen Pendel am Nordpol (von oben betrachtet)?

a. Seine Pendelebene dreht sich in 24h entgegen dem Uhrzeigersinn.
b. Es steht komplett still, da die Corioliskraft die Pendelbewegung genau kompensiert.
c. Seine Pendelebene dreht sich in 24h im Uhrzeigersinn.
d. Seine Pendelebene dreht sich in weniger als 24h entgegen dem Uhrzeigersinn.