

*Physik I für Medis 2021*



# Thema heute

Energieformen

Energieerhaltung

Arbeit

Arbeitsintegral

(Leistung)

# Von der Arbeit zur Energie

“Energie ist das Vermögen, Arbeit zu verrichten”

⇒ Energie beschreibt den Zustand einer Masse.

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

$$\Delta E = W = \int \vec{F}_s \cdot d\vec{s}$$



## Kinetische Energie

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

Kraft, um  $m$  zu beschleunigen:

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

## Potentielle Energie

A) im Schwerfeld

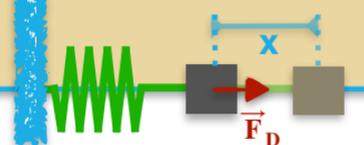
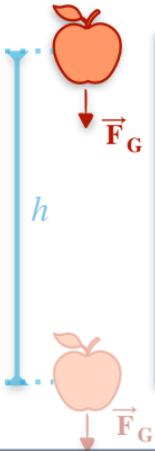
$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

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

B) gespannte Feder

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2}Dx^2$$

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



weitere  
Energieformen:

Wärmeenergie

Rotationsenergie

elektrische Energie

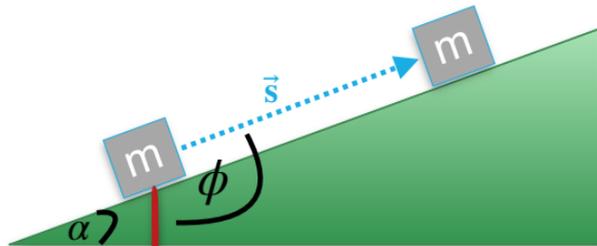
...

# Arbeit

“Arbeit ist Kraft mal Weg”

$$W = F_s \cdot s$$

$$[W] = Nm = J$$



hier:

$$W = |\mathbf{F}_G| \cdot \cos \phi \cdot |\vec{s}|$$
$$= \sin \alpha$$

allgemeiner

**Achtung:** nur Kraftkomponente parallel zum Weg zählt!

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

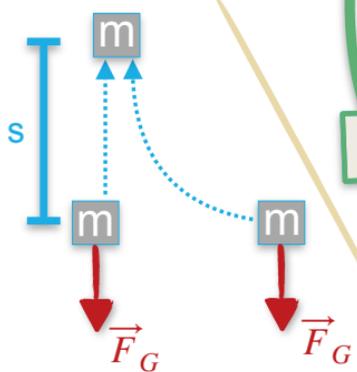
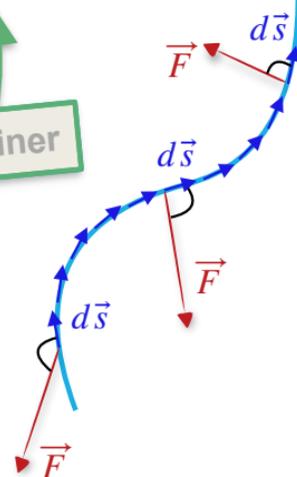
$\phi$  : Winkel zwischen  $\vec{F}$  und  $\vec{s}$

Allgemeine Formulierung:  
“Wegintegral”

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

[für Spezialisten]

allgemeiner

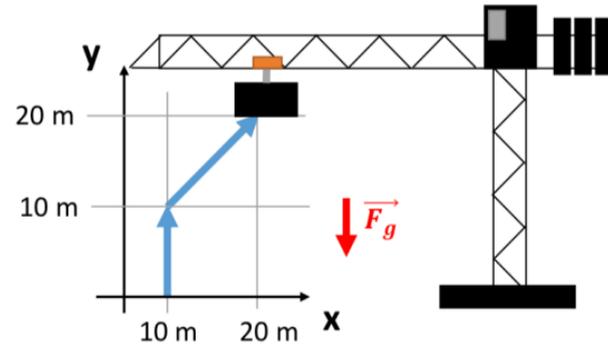


Verrichtete Arbeit  
ist hier gleich!

## Frage 4

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

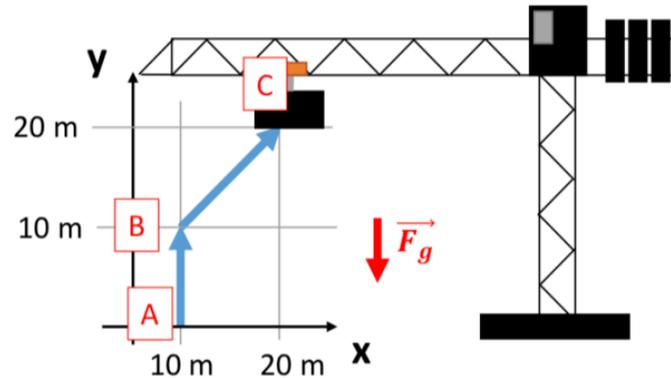
- a) 10'000 J
- b) 14'142 J
- c) 20'000 J
- d) 24'142 J



# Frage 4

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



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

## Frage 2



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 2



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.

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

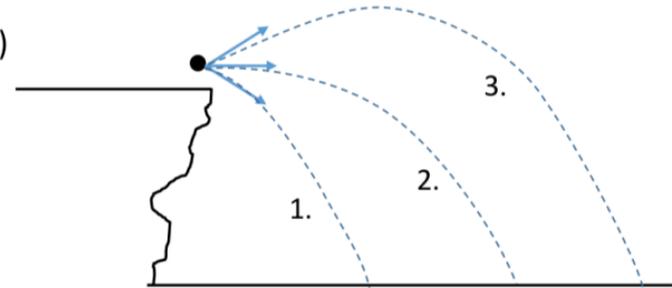
$\rightarrow 8 \frac{m^2}{s^2} \gtrsim 10 \frac{m^2}{s^2} \rightarrow$  Nein!

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

# Frage 3

Drei Bergsteiger stehen an der Klippe und überlegen sich, wie sie 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 3

$$E_{pot} \text{ \& } E_{kin} \text{ sind fix (gleicher Startpunkt, gleiches } v_{start}) \rightarrow E_{1,tot}(t_{start}) = mgh + \frac{mv_{start}^2}{2} = E_{2,tot}(t_{start}) = E_{3,tot}(t_{start}).$$

Am Ende gilt  $E_{pot} = 0$  und  $E_{tot}(t_{Ende}) = E_{tot}(t_{start}) =$  wegen Energieerhaltung  $\rightarrow$

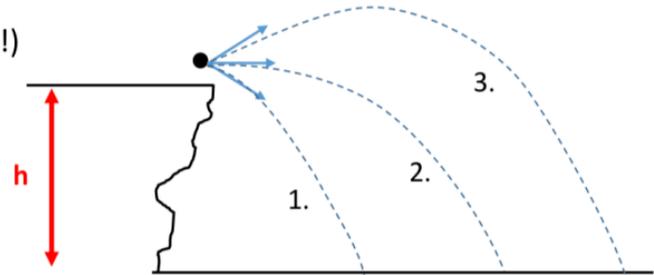
$$E_{1,tot}(t_{Ende}) = \frac{mv_{Ende}^2}{2} \text{ völlig unabhängig von der Flugbahn!}$$

Drei Bergsteiger stehen an der Klippe und überlegen sich, wie sie 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:

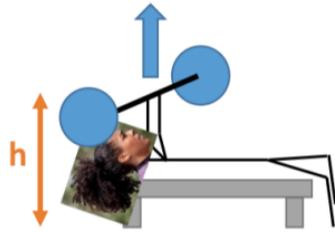
1. Stimmt nicht, weil der Stein zwar mehr  $v_{vertikal}$  hat, aber weniger  $v_{horizontal}$ .
3. stimmt nicht, weil der Stein zwar am Scheitelpunkt mehr  $E_{pot}$  hat, dafür aber weniger  $E_{kin}$  ( $v_{vertikal}$  ist da ja 0).



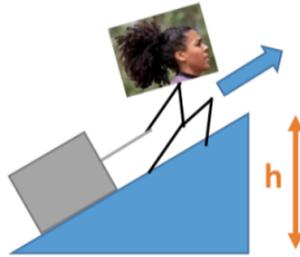
- a) 1.
- b) 2.
- c) 3.
- d) Alle Steine haben die gleiche Geschwindigkeit beim Aufprall.

# Frage 3

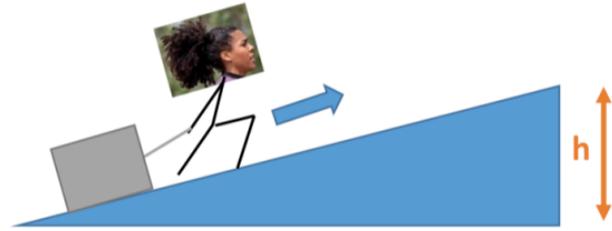
Mujinga Kambundji beim Training. Sortiere die Tätigkeiten nach geleisteter Arbeit (im physikalischen Sinne)! Tipp: Es herrscht Reibung.



1



2



3

a)  $W_1 < W_2 < W_3$

b)  $W_2 = W_3 < W_1$

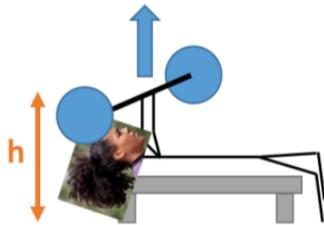
c)  $W_3 < W_2 < W_1$

d)  $W_1 = W_2 = W_3$

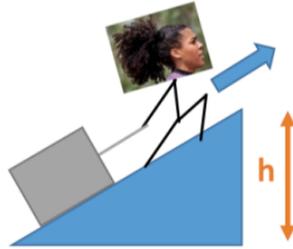
# Frage 3

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.

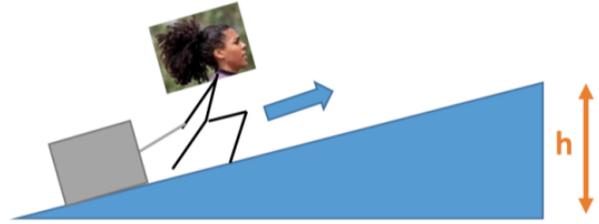
Mujinga Kambundji beim Training. Sortiere die Tätigkeiten nach geleisteter Arbeit (physikalischem Sinne)! Tipp: Es herrscht Reibung.



1



2



3

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 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

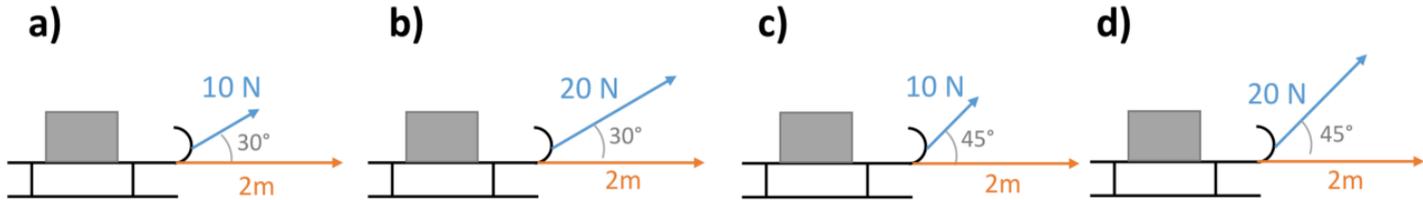
Grob geschätzt ist Stucki ca. doppelt so schwer wie Kambundji (ca. 60 kg vs. ca 120 kg). Kambundji läuft aber wahrscheinlich deutlich schneller. Da  $E_{kin} \propto v^2$  hat die Geschwindigkeit also einen viel grösseren Effekt auf  $E_{kin}$  als die Masse. Kambundji muss nur 50% schneller sein als 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!



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

# Frage 6

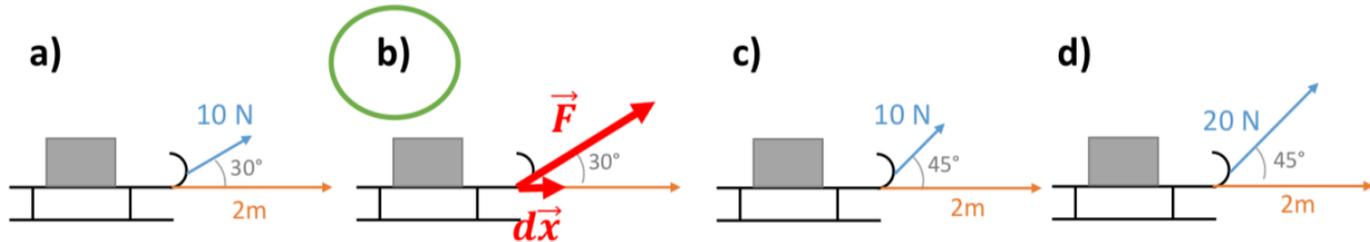
Ein Schlitten wird mit der angezeigten Kraft über 2 m hinweg gezogen (reibungsfrei). In welcher Situation hat er die grösste Endgeschwindigkeit?



# Frage 6

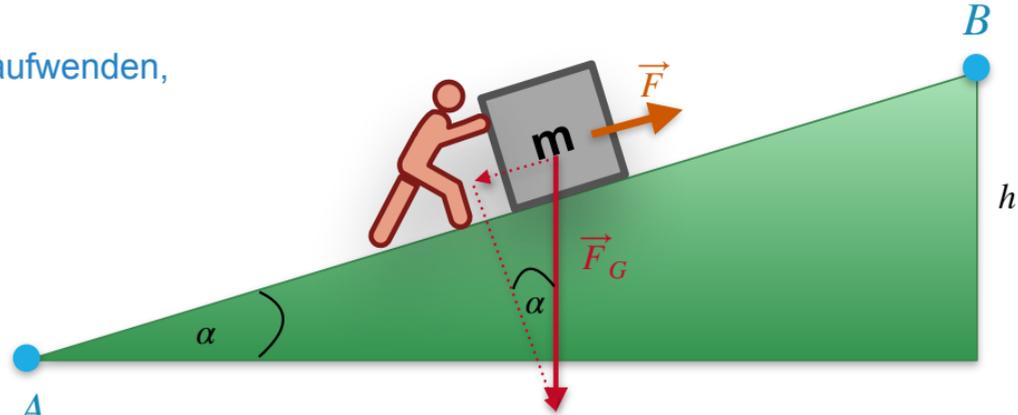
$\Delta E_{kin} = \Delta W = \int_0^{2m} \vec{F} \cdot d\vec{x}$  Das Skalarprodukt zwischen  $\vec{F}$  und  $d\vec{x}$  ist bei a) und b) am Grössten und bei b) ist die Kraft am grössten  $\rightarrow$  es wird am meisten Arbeit geleistet  $\rightarrow \Delta E_{kin}$  ist am grössten bei b)  $\rightarrow$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

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



# Arbeit an der Rampe

Welche Kraft muss die Person mindestens aufwenden, um den Block nach oben zu schieben?



Welche Arbeit wird in Abhängigkeit von  $h$  zwischen Punkt A und B verrichtet?

Was ist die Leistung, wenn der Klotz mit konstanter Geschwindigkeit bewegt wird?

# Arbeit an der Rampe

Welche Kraft muss die Person mindestens aufwenden, um den Block nach oben zu schieben?

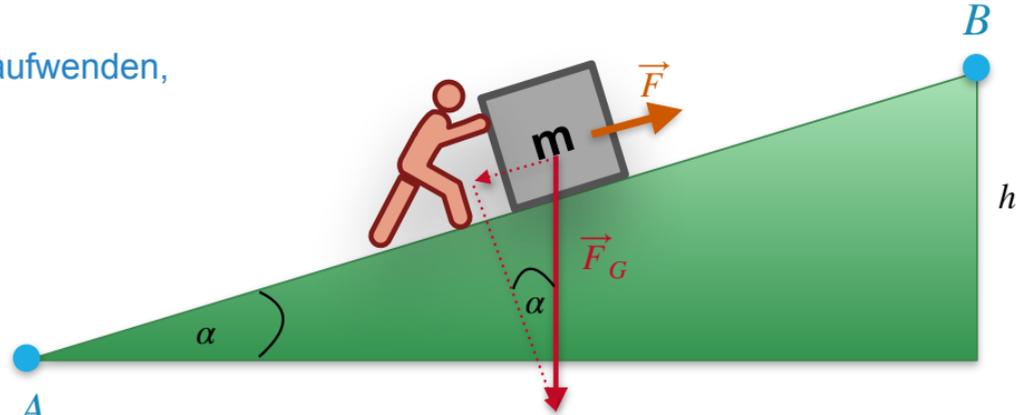
Ohne Reibung mindestens:

$$F \geq F_G \sin \alpha = mg \sin \alpha$$

Welche Arbeit wird in Abhängigkeit von  $h$  zwischen Punkt A und B verrichtet?

$$W_{AB} = \frac{h}{\sin \alpha} \cdot mg \sin \alpha = mgh$$

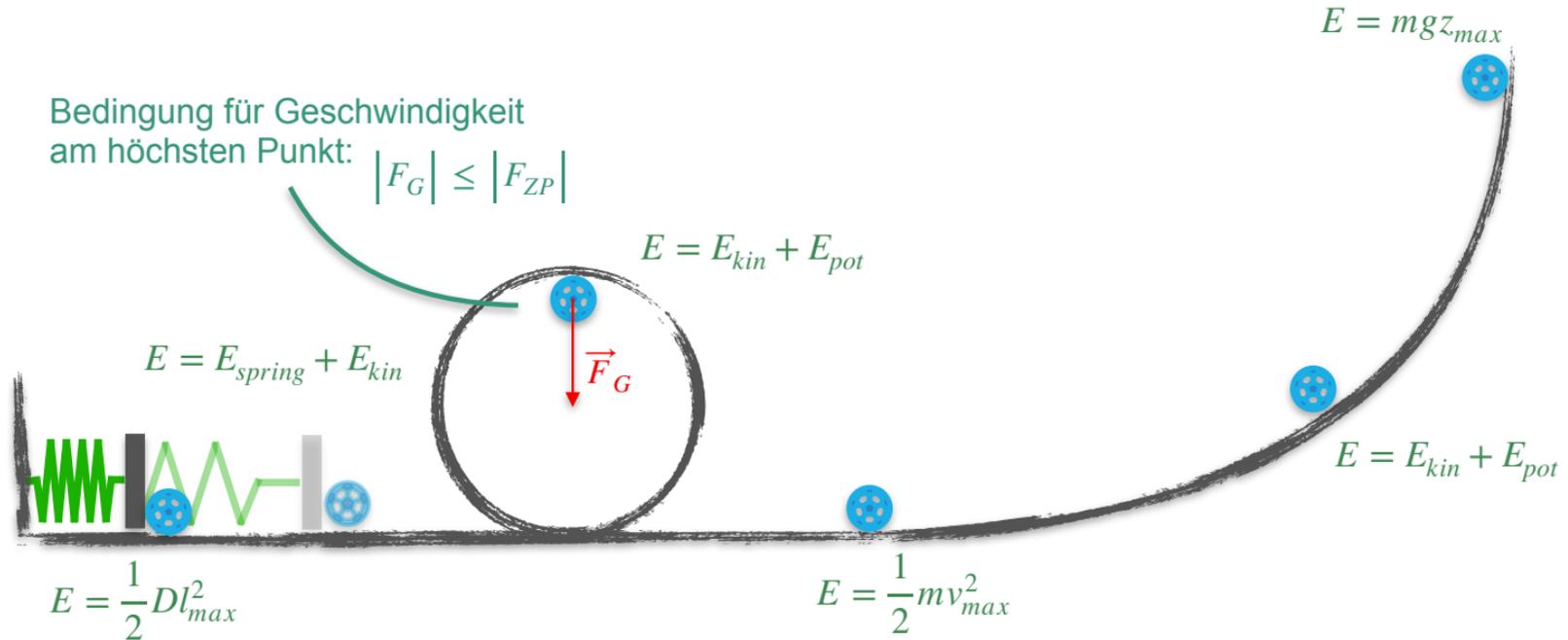
Direkt Energieerhaltung wäre einfacher!



Was ist die Leistung, wenn der Klotz mit konstanter Geschwindigkeit bewegt wird?

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} \int_0^s F ds' = \frac{d}{dt} (F \cdot s) = F \cdot v$$

# Energieerhaltung in der Murmelbahn



# Warm - up Clicker



Ein Baseball mit Masse  $m$  wird in hohem Bogen vom Boden aus geworfen.  
Wir betrachten den Ball, nachdem er den höchsten Punkt der Bahn erreicht hat.  
Welche Aussagen stimmen?

- A) Ohne Luftwiderstand verliert der Ball bei Höhenverlust  $\Delta h$  die Energie  $\Delta E = mg\Delta h$
- B) Nur bei Betrachtung des Luftwiderstands verrichtet der Ball Arbeit.
- C) Ohne Luftwiderstand ist sein Geschwindigkeitszuwachs nach Höhenverlust  $\Delta h$  abhängig von seiner Masse  $m$ .
- D) Mit und ohne Luftwiderstand kommt der Ball jeweils mit der gleichen Geschwindigkeit auf dem Boden an, mit der er ursprünglich geworfen wurde.

# Warm - up Clicker



Ein Baseball mit Masse  $m$  wird in hohem Bogen vom Boden aus geworfen.  
Wir betrachten den Ball, nachdem er den höchsten Punkt der Bahn erreicht hat.  
Welche Aussagen stimmen?

**X** A) Ohne Luftwiderstand verliert der Ball bei Höhenverlust  $\Delta h$  die Energie  $\Delta E = mg\Delta h$

Die Energie geht nicht verloren, sondern wird in kinetische Energie umgewandelt.

**✓** B) Nur bei Betrachtung des Luftwiderstands verrichtet der Ball Arbeit.

**X** C) Ohne Luftwiderstand ist sein Geschwindigkeitszuwachs nach Höhenverlust  $\Delta h$  abhängig von seiner Masse  $m$ .

nein,  $m$  kürzt sich raus

**X** D) Mit und ohne Luftwiderstand kommt der Ball jeweils mit der gleichen Geschwindigkeit auf dem Boden an, mit der er ursprünglich geworfen wurde.

Ohne Luftwiderstand ja, mit Luftwiderstand nein, weil Arbeit verrichtet wurde.