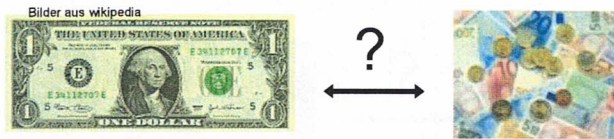


Energie tritt in ganz unterschiedlichen Formen auf. Wie lässt sich sagen, ob nun in dem heißen Nudelwasser mehr oder weniger Energie steckt als im Handyakku? Stelle Dir vor, Du bist im Urlaub in den USA. Wie kannst Du herausfinden, wie viel ein Dollar-Schein wert ist? (im Vergleich zu €)

2. Mechanische Energieformen

2.1 Goldene Regel und Höhenenergie

Grundkonzept: Wie können wir verschiedene Energien vergleichen?



Idee: Man tauscht Dollar gegen Euro (oder umgekehrt) und kann dann vergleichen.

Problem: Wegen Wechselgebühren fällt der Vergleich nicht exakt aus.

Übertragung auf Vergleich von Energien:

Wenn wir wissen möchten, wie viel heißes Wasser man für 1 MJ bekommt, dann könnten wir z.B.

1 MJ chem. Energie (Gas) in thermische E. wandeln

Dabei sollte der Verlust nach außen gering sein



Übertrage diese Überlegung auf den Vergleich von unterschiedlichen Energieformen! Wovon hängt die Qualität dieses Vergleiches ab?



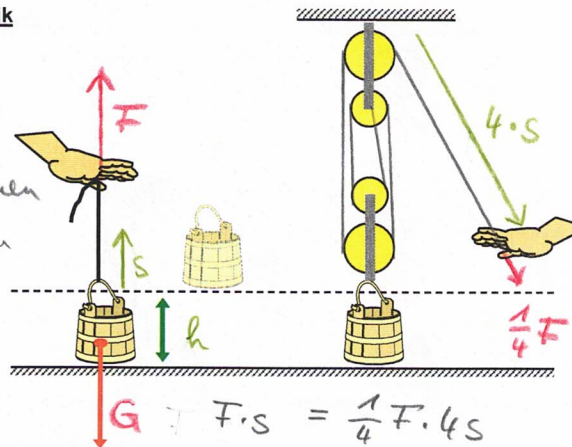
Um diese Vergleiche beginnen zu können, benötigen wir erst mal für eine Energieform eine Festlegung, wie viel 1 J oder 1 MJ ist. Hier hilft uns eine Erkenntnis aus der Technik, die tausende Jahre alt ist. Eine Last soll nach oben gehoben werden. Weil das direkte Ziehen mit einem Seil bei großen Lasten schwer ist, haben findige Leute eine Rollenkombination entwickelt, den Flaschenzug.

Vergleiche Kräfte und Wege.

Die Goldene Regel der Mechanik

Beobachtung:

Mit dem Flaschenzug braucht man nur $\frac{1}{4}$ der ursprünglichen Kraft, muss aber am Seil viermal so weit ziehen



Goldene Regel:

Reduziert eine Maschine (Kraftwandler) die aufzuwendende Kraft z. B. auf

ein Viertel, so wird der Weg dafür viermal so lang

Das Produkt aus Kraft und Weg ist dabei konstant

Festlegung der Größe Arbeit:

$$W = F \cdot s$$

Arbeit = Kraft · Weg
(work)

Achtung: Das W ist hier der Name der Größe „Arbeit“ und sollte nicht mit der Einheit W („Watt“) für die Leistung verwechselt werden.

Weitere Geräte, für die die Goldene Regel zutrifft, findest Du auf Leifiphysik unter Teilgebiet **Mechanik - Arbeit, Energie und Leistung - Goldene Regel der Mechanik Grundwissen.**

Der Eimer hat durch das Hochheben Energie erhalten, das merkst Du spätestens, wenn er Dir auf die Füße fällt. Die Arbeit an einem Körper steht also in direktem Zusammenhang mit seinem Energieinhalt. **Überlege, was die Gleichheit von Arbeit und Energieänderung für die Einheiten der beiden Größen bedeutet!**

Arbeit und Energie

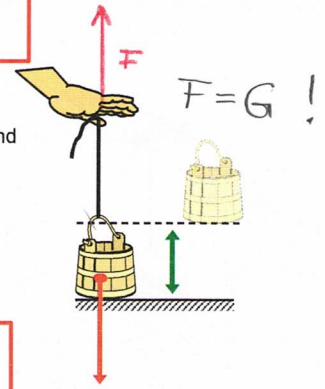
Durch Arbeit wird einem Körper Energie zugeführt (bzw. vom Körper Energie abgeführt).

In unserem Fall wird Hubarbeit verrichtet und dadurch Höhenenergie zugeführt.

Es ist naheliegend, die Menge der verrichteten Arbeit (die können wir schon berechnen) als Maß für die zugeführte Energie zu verwenden:

Konsequenz:

$$W = \Delta E$$



Arbeit und Energie haben dieselbe Einheit J.

Berechnung von Hubarbeit bzw. Höhenenergie (potenzielle Energie)

allgemein: $W = F \cdot s$

Einheiten:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

hier: $W_h = G \cdot h$

$$W_h = \underbrace{m \cdot g}_{\downarrow} \cdot h$$

Höhenenergie:

$$\Delta E_h = m \cdot g \cdot h$$

beachte:

Man kann E_h nicht absolut angeben, sondern nur bezogen auf das Startniveau, von dem aus man anhebt.

Die Sache mit der Energieübertragung ist auf Leifiphysik bildlich dargestellt unter Teilgebiet Mechanik - Arbeit, Energie und Leistung - Die physikalische Arbeit Grundwissen.

Karl (45 kg) steigt von Garmisch (708 m) auf die Zugspitze (2962 m). Zur Wahl stehen ein kürzerer, steilerer Weg durch das Höllental sowie ein längerer, flacherer Weg durch das Reintal.

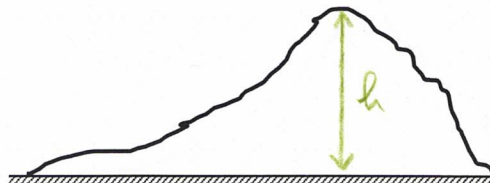
a) Welche Auswirkungen haben die unterschiedlichen Weglängen, auf die erreichte Höhenenergie am Gipfel?

b) Berechne die erreichte Höhenenergie!

c) Er schafft den Aufstieg in 10 h, berechne die Leistung.

Training: Eine Tour auf Deutschlands höchsten Berg

Bild hier



a) Man erreicht auf beiden Wegen dieselbe Höhe und damit dieselbe Energie.

$$\begin{aligned} b) E_h &= m \cdot g \cdot h = 45 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (2962 \text{ m} - 708 \text{ m}) \\ &= 44 \text{ kg} \cdot \underbrace{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}_{\text{N}} \cdot 2254 \text{ m} = 995.028 \text{ J} \\ &= \underline{\underline{1,0 \text{ MJ}}} \end{aligned}$$

$$c) P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{995.028 \text{ J}}{10 \cdot 3600 \text{ s}} = \underline{\underline{28 \text{ W}}}$$

Selbst-Check:

- Goldene Regel der Mechanik
- Arbeit und Energieänderung
- Hubarbeit und Höhenenergie

Übungsmöglichkeiten:

Man kann auch mit der Zahnradbahn auf die Zugspitze, eine Aufgabe gibt's auf Leifiphysik unter Teilgebiet Mechanik - Arbeit, Energie und Leistung - Wirkungsgrad Aufgaben - Zugspitzbahn (Teilaufgabe d noch nicht).

Fritz verbringt den Nachmittag auf dem Skaterpark an der Halfpipe. **Erstelle ein Energieflussdiagramm. Unterscheide bei der Halfpipe Bergauf- und Bergabstrecke.** Dieser Vorgang ist animiert auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik – Arbeit, Energie und Leistung – Energieerhaltung Grundwissen.**

2.2 Bewegungsenergie

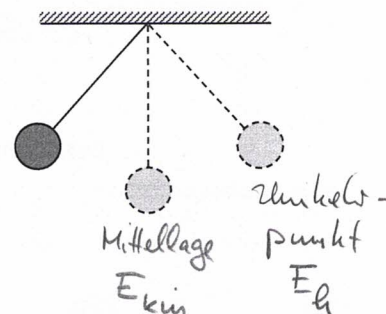
Einführung: Ein typisches Beispiel für eine Energieumwandlung



Experiment: Die Pendelschwingung, ein vergleichbarer Vorgang

Ein Vorgang, der sich einfach und genau messen lässt, ist die Pendelschwingung. **Beschreibe die Bewegung des Pendelkörpers. Was lässt sich aus der Kontinuität des Vorgangs über die auftretenden Energien folgern?**

Vom Umkehrpunkt beschleunigt der Körper, erhält in der Mittellage maximale Geschwindigkeit und wird bis zum nächsten Umkehrpunkt wieder abgebremst. Dabei wandelt die Höhenenergie fast vollständig in kinetische Energie und wieder zurück.



Überlege: Von welchen Größen wird die Bewegungsenergie abhängen? Wie könnten wir diese messen?

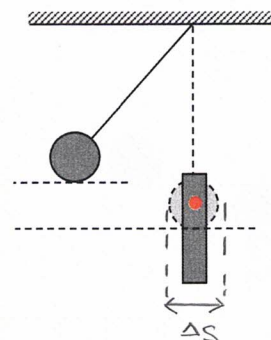
Konzeption der Messung:

Messgrößen für Bewegungsenergie:

Masse (wiegen)
Geschwindigkeit (Durchgangszeit mit Lichtschranke messen, $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$)

Messgrößen für Höhenenergie:

Masse
Höhe (Lineal)



Berechne die Geschwindigkeit v aus der Breite Δs des Pendelkörpers und der Durchgangszeit Δt.

Vergleiche die Werte für die Höhe h und die erreichte Geschwindigkeit v. Sind die beiden Größen proportional? Welcher Zusammenhang ist erkennbar?

Variation der Höhe:

(Breite des Pendelkörpers:

)

h in m	0,02	0,04	0,06	0,08
Δt in s				
v in m/s				

v und h sind nicht proportional
Die vierfache Höhe führt zu doppelter Geschwindigkeit.

Wie findet sich das Ergebnis aus unseren Messungen in der Formel wieder?
Berechne zur Kontrolle für eine Messung die Höhenenergie und die Bewegungsenergie und vergleiche.

Vollständige Formel:

Die Bewegungsenergie eines Körpers wird berechnet mit der Formel:

Dabei ist m seine Masse und v seine Geschwindigkeit.

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

$v^2 \rightarrow$ doppelte Geschw. ergibt vierfache Energie

$$E_h = \dots$$

$$E_{kin} = \dots$$

Einheitenbetrachtung:

$$1 \text{ kg } \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \underbrace{1 \text{ kg } \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}_N \cdot \text{m} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = \underline{\underline{1 \text{ J}}}$$

Wie ändert sich die Geschwindigkeit v, wenn man die Masse des Pendelkörpers verdoppelt?
Vergleiche die Formeln! Wir prüfen das im Experiment.

Variation der Masse:

$$E_{kin} = E_h$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g h \quad | : \frac{1}{2} m$$

$$v^2 = 2 g h$$

Folgerung: Körper mit verschiedener Masse, die aus der gleichen Höhe starten,

erreichen die gleiche Geschwindigkeit.

Ein VW Golf hat mit Insassen eine Masse von ca. 1,5 t.

- Welche Bewegungsenergie besitzt er bei Autobahngeschwindigkeit 130 km/h?
- Nach dem Tankstopp beschleunigt Herr Schnell auf die angegebene Geschwindigkeit. Wieviel Energie muss der Motor dem Auto zuführen?
- Wieviel Energie verformt das Auto, wenn es gegen einen Brückenpfeiler prallt? Vergleiche mit früheren Werten.

Training: Wieviel Energie steckt in einem fahrenden Auto?

$$\begin{aligned} \text{a) } E_{kin} &= \frac{1}{2} m v^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1500 \text{ kg} \cdot \left(\frac{130}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \\ &= 978.009 \text{ J} = \underline{\underline{1,0 \text{ MJ}}} \end{aligned}$$

b) Die berechnete Energie muss beim Beschleunigen zugeführt werden.

c) Die berechnete Energie wird bei der Kollision für die Verformung verwendet.

Selbst-Check:

- Energieumwandlung bei Halfpipe und Pendel
- Experiment am Pendel
- Berechnung der kinetischen Energie
- Einheitenumrechnung

Übungsmöglichkeiten:

Einen passenden Test zu diesem Thema findest Du auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik – Arbeit, Energie und Leistung – kinetische Energie Aufgaben – Quiz zur kinetischen Energie** (nicht alle, aber die meisten Fragen passen sehr gut zu dieser Stunde).

Seifenkistenrennen in der Bergstraße! In ihren selbstgebastelten Wagen sausen die Kids die Strecke runter. Der Höhenunterschied von Start und Ziel beträgt 45 m. Welche Geschwindigkeit könnten sie bis zum Ziel maximal erreichen? Wird der stämmige Fritz schneller als die zierliche Veronika?

Tipp: Zum Auflösen der Quadratgleichung am Ende kannst Du die "Wurzelaste" am Taschenrechner verwenden.



2.3 Energieumwandlungen

Einführung: Seifenkistenrennen

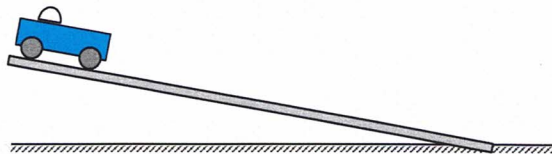


Abb. von planet-wissen.de

$$E_{kin} = E_p \quad \text{Energieansatz!}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = m \cdot g \cdot h \quad \text{im Formeln verwenden}$$

$$\frac{1}{2}v^2 = g \cdot h \quad | \cdot 2 \quad \text{Umformen}$$

$$v^2 = 2gh$$

$$v^2 = 2 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 45m \quad \text{Einsetzen}$$

$$v^2 = 900 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\rightarrow v = \underline{\underline{30 \frac{m}{s}}}$$

Ergebnis suchen
(Wurzel ziehen)

Um die Folgen einer Autokollision gegen ein festes Hindernis eindrucksvoll zu demonstrieren, plant ein Kfz-Ingenieur folgendes Demoexperiment: Ein Auto wird mit dem Kran bis zum Dach der Schule (ca. 10 m) hochgezogen, dann klinkt man den Kranhaken aus und das Auto kracht mit der Front voraus auf den Parkplatz.

Mit welcher Geschwindigkeit erfolgt der Aufprall? Wie hoch müsste man den Wagen heben, um damit eine Kollision bei Landstraßentempo (100 km/h) zu simulieren?

Training: Eine Crash-Demonstration

$$E_{kin} = E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$v^2 = 2gh$$

$$v^2 = 2 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 10m$$

$$v^2 = 200 \frac{m^2}{s^2} \quad | \sqrt{\quad}$$

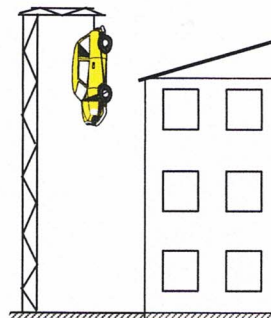
$$v = \underline{\underline{14 \frac{m}{s}}} = \underline{\underline{51 \frac{km}{h}}}$$

$$E_p = E_{kin}$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$h = \frac{\frac{1}{2}v^2}{g} = \frac{v^2}{2g}$$

$$h = \frac{(100 : 3,6 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 10 \frac{m}{s^2}} = \underline{\underline{39m}}$$

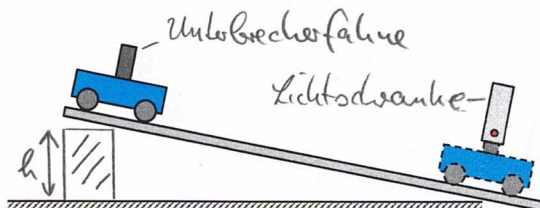


Überlege: Worauf ist bei der Messung bzw. Einstellung der Höhe zu achten?

Ein Messexperiment:

Der Wagen soll vom Startpunkt bis zur Messstelle genau diesen Höhenunterschied durchfahren.

→ Fahrbahn an diesen Punkten auflegen



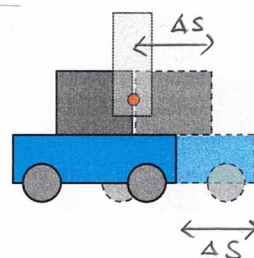
Mit der Lichtschranke und einer geeigneten Stoppuhr kann man die Zeit Δt messen, für die die Lichtschranke durch die am Wagen montierte Fahne (Breite Δs) unterbrochen wird. Wie lässt sich daraus die Geschwindigkeit des Wagens ermitteln?

Geschwindigkeitsmessung:

(Breite der Unterbrecherfahne: $\Delta s =$ cm)

Der zurückgelegte Weg vom Eintritt in den Lichtstrahl bis zum Austritt entspricht genau der Breite der Unterbrecherfahne.

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



a) Welche Geschwindigkeit erreicht der Wagen, wenn er einen Höhenunterschied von 8,0 cm durchfahren hat? Vergleiche mit dem Experiment!

b) Aus welcher Höhe muss er starten, um eine Geschwindigkeit von gerade 1,0 m/s zu erreichen. Experiment!

c) Wie beeinflusst die Masse des Wagens die Ergebnisse?

Vergleich: Rechnung und experimentelle Daten

$$\begin{aligned} a) E_{kin} &= E_p \\ v^2 &= 2gh = 2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,08 m = 1,57 \frac{m^2}{s^2} \end{aligned}$$

$$\rightarrow v = \underline{1,25 \frac{m}{s}} \quad \text{exp: } \dots$$

$$b) E_p = E_{kin} \\ h = \frac{v^2}{2g} = \frac{(1,0 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,051 m = \underline{5,1 cm}$$

c) Masse spielt keine Rolle!

Selbst-Check:

- Umwandlung von Höhenenergie in kinetische Energie
- Berechnung von Höhe bzw. Geschwindigkeit
- Messung der Geschwindigkeit

Übungsmöglichkeiten:

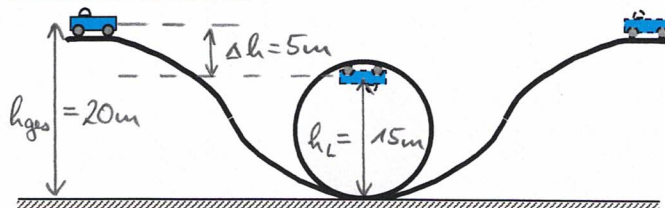
Eine ganze Menge Aufgaben zu diesem Themenbereich findest Du auf Leifiphysik unter Teilgebiet **Mechanik - Arbeit, Energie und Leistung - Energieerhaltung Aufgaben**. Sehr gut passen "Halbe-Halbe" und „Vulkanausbruch“. Du kannst Dich aber auch schon an das Quiz im Kapitel Energieumwandlung wagen.

Familienausflug im Vergnügungspark! Die Achterbahn ($m = 400 \text{ kg}$) startet aus 20 m Höhe, durchläuft einen 15 m hohen Looping und kommt dann fast auf der ursprünglichen Höhe zum Stehen.

- Wie groß ist die Geschwindigkeit am höchsten Punkt des Loopings?
- Berechne Höhenenergie und kinetische Energie an diesem Punkt.
- Berechne die Höhenenergie am Anfang und Ende der Bewegung.
- Vergleiche die Ergebnisse in b) und c).

2.4 Gesamtenergie

Einführung: Achterbahn



$$a) E_{kin} = E_L$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g \Delta h \quad | : m \cdot 2$$

$$v^2 = 2 g \Delta h = 2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \text{ m} = 100 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \quad | \sqrt{}$$

$$v = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$b) E_L = m \cdot g \cdot h_L = 400 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 15 \text{ m} = \underline{60 \text{ kJ}}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 400 \text{ kg} \cdot (10 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = \underline{20 \text{ kJ}}$$

$$c) E_{h, ges} = m g h_{ges} = 400 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 20 \text{ m} = \underline{80 \text{ kJ}}$$

Höhenenergie zu Beginn =
Summe von Höhenenergie und Bewegungsenergie im Looping

Dieses Konzept der Energieerhaltung haben wir bisher schon verwendet. Neu ist, dass wir Situationen betrachten, in denen verschiedene Energieformen gleichzeitig nebeneinander existieren.

Eine tolle Attraktion im Skyline-Park ist der Skyshot. Dabei wird man in einer Kugel durch vorgespannte Federn bis in 80 m Höhe geschleudert und schwingt einige Male auf und ab. Das Diagramm zeigt den Verlauf von Spannenergie, Höhenenergie, kinetischer Energie und der Summe aus diesen.

Begriff: Gesamtenergie

Die Gesamtenergie eines Systems ist die E_{ges}

Summe aller vorhandenen Energien

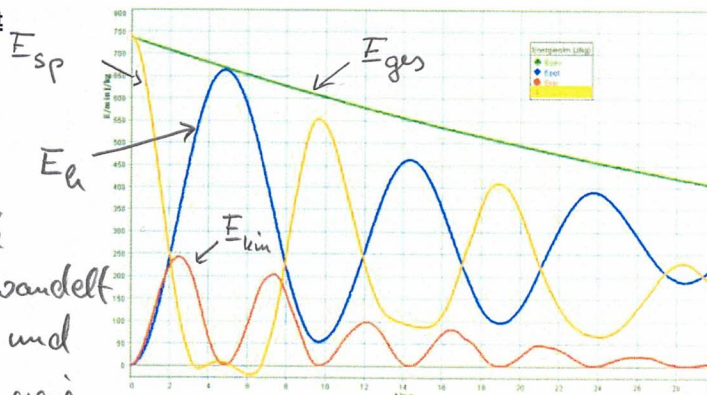
Sofern weder Zufuhr noch Verluste (z.B. durch Reibung) auftreten, ist sie

konstant

, auch wenn sich einzelne Energieformen umwandeln

Wir sprechen dann von der Energieerhaltung

Beispiel: Skyshot



Spannenergie wird umgewandelt in Höhen- und Bewegungsenergie.

Dann wird auch noch die Bewegungsenergie in Höhenenergie umgewandelt.

Training: Pfeil und Bogen

Robin Hood liegt im Geäst vor seinem Baumhaus (12 m über dem Waldboden von Sherwood Forrest) und zielt mit Pfeil und Bogen in den englischen Himmel, der durch die Bäume schimmert.

a) Berechne die Abschussgeschwindigkeit des Pfeils ($m = 40 \text{ g}$), wenn der Bogen mit 16 J gespannt wurde.

b) Bestimme die Gesamtenergie des Pfeils bezogen auf den Waldboden.

c) Welche maximale Höhe erreicht der Pfeil?

d) Der Pfeil trifft schließlich die Gans von Bruder Tuck. Warum erfolgt der Treffer mit größerer Geschwindigkeit als der Abschuss?

$$a) E_{kin} = E_{sp}$$

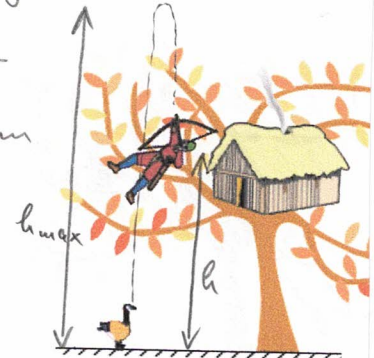
$$\frac{1}{2} m v^2 = E_{sp} \quad | : m | \cdot 2$$

$$v^2 = \frac{2 \cdot E_{sp}}{m} = \frac{2 \cdot 16 \text{ J}}{0,04 \text{ kg}} = 800 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \quad | \sqrt{\quad}$$

$$v = 28,28 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{28 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

$$b) E_h = m \cdot g \cdot h = 0,04 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 12 \text{ m} = 4,8 \text{ J}$$

$$E_{ges} = E_{sp} + E_h = 16 \text{ J} + 4,8 \text{ J} = 20,8 \text{ J} = \underline{\underline{21 \text{ J}}}$$



$$c) E_{kin} = E_{ges}$$

$$m \cdot g \cdot h_{max} = E_{ges}$$

$$h_{max} = \frac{E_{ges}}{m \cdot g} = \frac{20,8 \text{ J}}{0,04 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \underline{\underline{52 \text{ m}}}$$

d) ...

Der Taschenrechner liefert "krumme" Ergebnisse mit einer zeilenfüllenden Zahl von Dezimalstellen. Es ist weder hilfreich noch sinnvoll, alle diese Nachkommastellen in die Rechnung zu übernehmen. Hier erfährst Du, wie man sinnvoll rundet. Eine ausführliche Erklärung findest Du auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Übergreifend – Allgemeines und Hilfsmittel – Genauigkeitsangaben**.

Rechentchnik: Genauigkeit von Angaben

Misst man mit einem Lineal die Breite eines DIN A 4 - Blattes, so ermittelt man auf den Millimeter genau 21 cm. Dieses Ergebnis gibt man in der Form 21,0 cm an, um deutlich zu machen, dass man auf mm genau gemessen hat. In der Darstellungsform von Ergebnissen steckt also Information über deren Genauigkeit.

Bsp.: Die Angabe 12 m in der vorherigen Aufgabe bedeutet, dass nur auf m genau gemessen wurde, es könnten also auch 12,3 m oder 11,8 m sein.

Wenn wir mit solchen Werten rechnen, geben wir das Rechenergebnis mit derselben Genauigkeit an wie die Angaben (geltende Ziffern).

$$\text{Bsp.: } s = 80 \text{ m} \quad t = 3,0 \text{ s}$$

2 geltende Ziffern 2 geltende Ziffern

$$v = \frac{s}{t} = \frac{80 \text{ m}}{3,0 \text{ s}} = 26,666... \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{27 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

2 geltende Ziffern

Selbst-Check:

- Gesamtenergie
- Energieerhaltung
- Berechnungen
- Genauigkeit von Angaben und Ergebnissen

Übungsmöglichkeiten:

Auch hier gibt's wieder eine Menge Übungsmaterial auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik - Arbeit, Energie und Leistung - Energieerhaltung Aufgaben**. Gut passend ist z.B. die Springfrosch-Aufgabe.