Physik für Infotronik (6)

Gerald Kupris

21.10.2015

Vorlesungen Physik WS 2015/16

07.10.2015	Vorlesung 1	Messung und Maßeinheiten
07.10.2015	Vorlesung 2	Eindimensionale Bewegung
14.10.2015	Vorlesung 3	Bewegung in zwei und drei Dimensionen
14.10.2015	Vorlesung 4	Die Newtonschen Axiome
21.10.2015	Vorlesung 5	Anwendung der Newtonschen Axiome
21.10.2015	Vorlesung 6	Arbeit, Leistung und Energie
28.10.2015	Vorlesung 7	Der Impuls
28.10.2015	Vorlesung 8	Elastischer und inelastischer Stoß
04.11.2015	Vorlesung 9	Drehbewegungen
04.11.2015	Vorlesung 10	Drehimpuls
11.11.2015	Vorlesung 11	Harmonische Schwingungen und Resonanz
11.11.2015	Vorlesung 12	Wellenausbreitung und Doppler-Effekt
18.11.2015	**erweitertes Tutorium**	

Arbeit einer konstanten Kraft

Arbeit ist die Übertragung von Energie durch Kraft.

In der Physik ist Arbeit **Kraft mal Weg**: Wenn auf einen Körper auf der geraden Strecke vom Punkt A zum Punkt B eine konstante Kraft wirkt, dann verrichtet die Kraft am Körper die Arbeit W (von engl. „Work“).

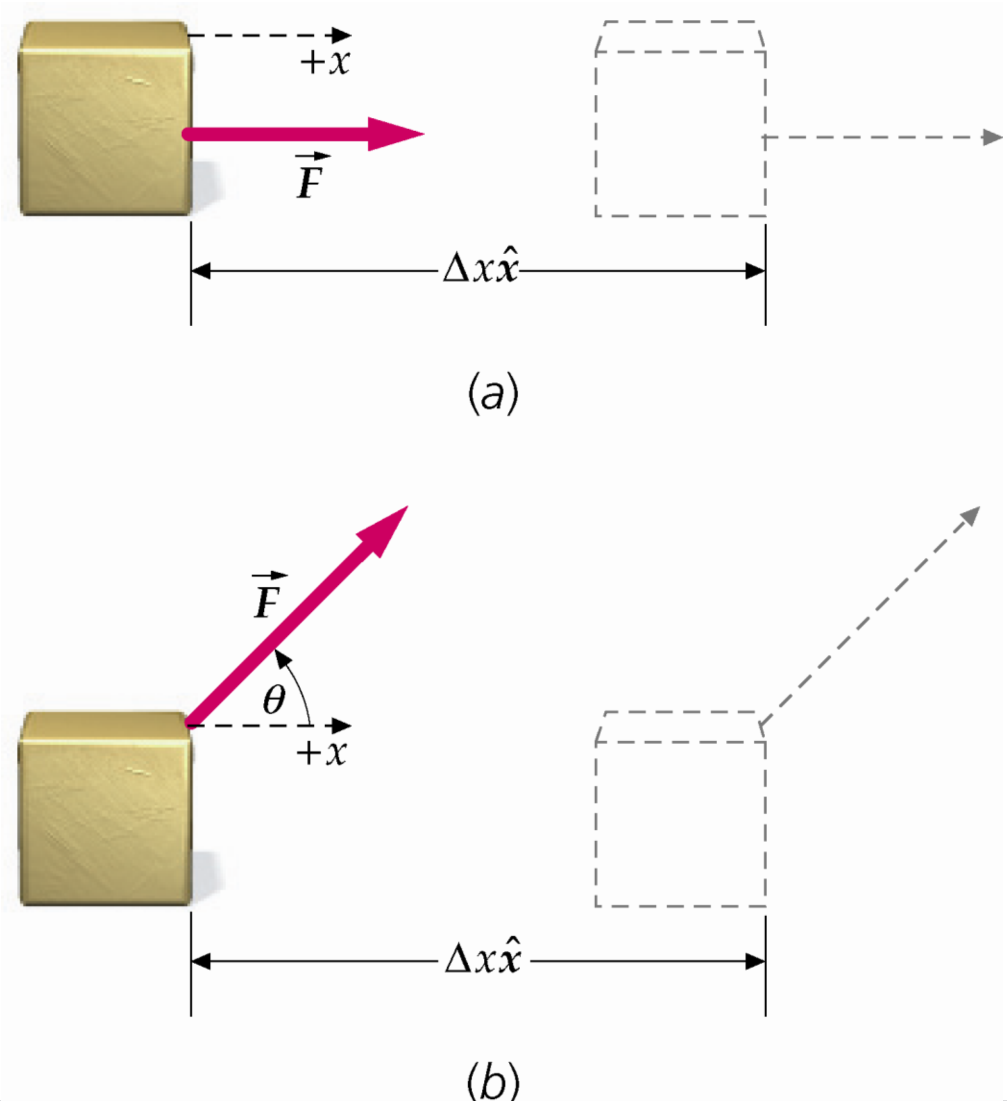
Die Bedeutung des physikalischen Begriffs Arbeit beruht auf folgendem Sachverhalt: Bewirkt die betrachtete Kraft die Bewegung des Körpers, so erhöht sich seine potentielle Energie auf dem Weg von A nach B um die an ihm verrichtete Arbeit W.

Auf dem Rückweg wird bei unveränderter Kraft die negative Arbeit verrichtet.

$$\mathbf{W = F_x \cdot \Delta x = |F| \cdot \cos\theta \cdot |\Delta x|}$$

Einheit der Arbeit: **Joule** $1\ \mathrm{J} = 1\ \mathrm{N} \cdot \mathrm{m} = 1\ \mathrm{kg\ m^2 / s^2}$

Arbeit durch Verschiebung



Wenn die Kraft in die selbe Richtung wirkt wie die Verschiebung:

W = |F| | Δx |

$$W = |\mathbf{F}|\,|\mathbf{s}|\,.$$

Wenn die Kraft in eine andere Richtung wirkt wie die Verschiebung:

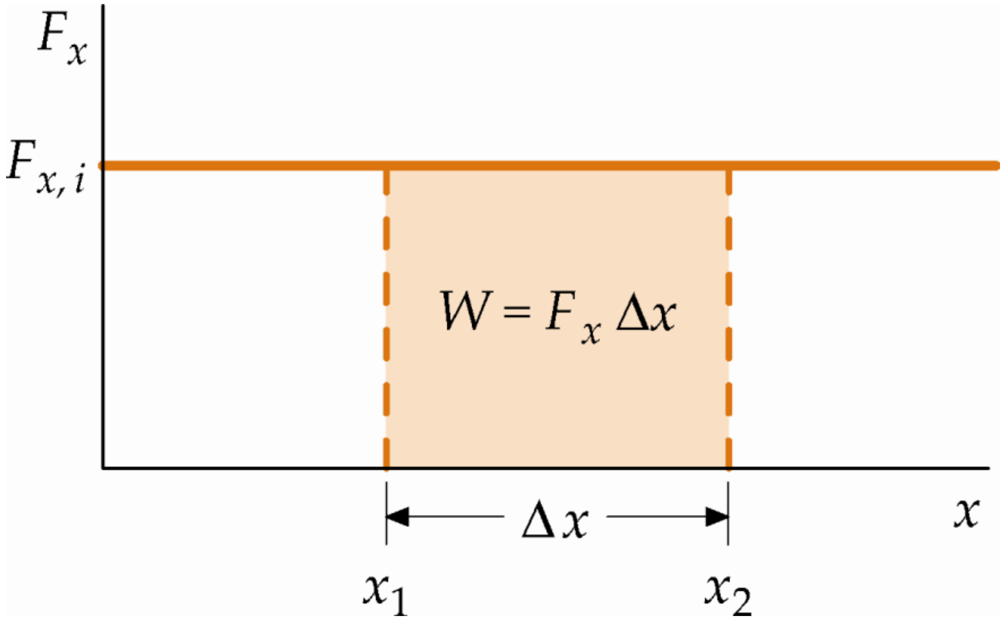
W = F_x Δx = |F| cos θ | Δx |

$$W = \mathbf{F}\cdot\mathbf{s} = |\mathbf{F}|\,|\mathbf{s}|\,\cos\alpha\,.$$

Einheit der Arbeit: **Joule**

1 J = 1 N · m = 1 kg m² / s²

Arbeit einer konstanten Kraft



Die Arbeit, die eine konstante Kraft verrichtet, kann grafisch als die Fläche unter der Kurve $F_x(x)$ dargestellt werden.

Beispiel: Verladung mit einem Kran

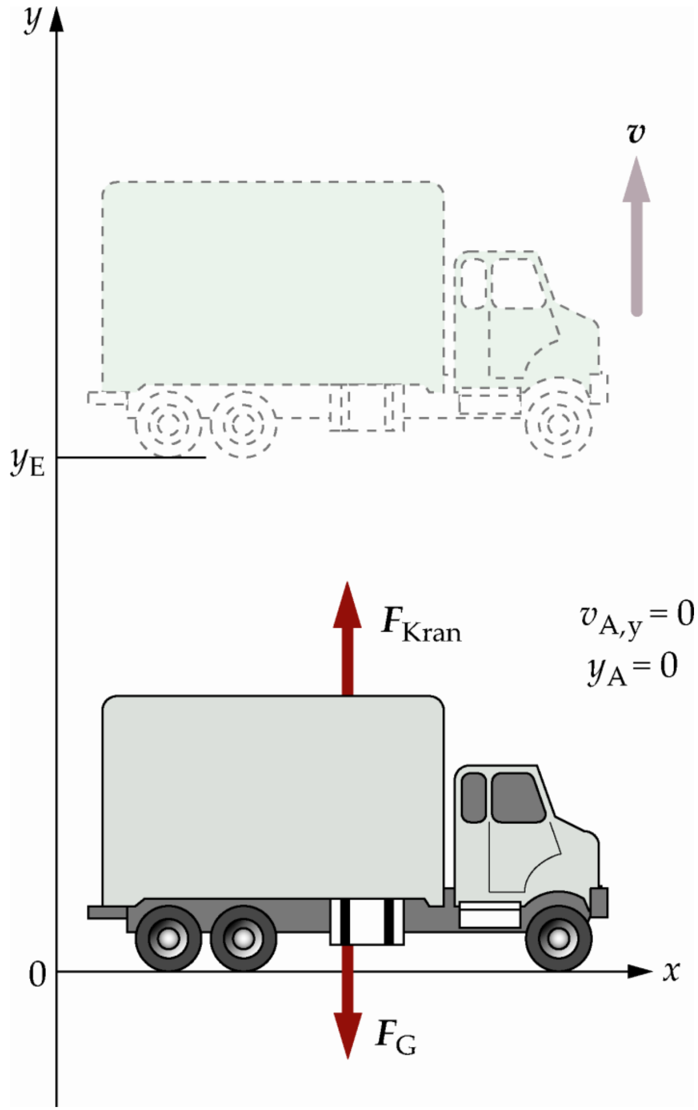
Ein LKW mit einer Masse von 3000 kg soll mit einem Kran, der auf ihn eine Kraft von 31 kN nach oben ausübt, auf ein Schiff verladen werden.

Diese Kraft, die stark genug ist, um die auf den LKW wirkende Gravitationskraft zu überwinden und den LKW nach oben zu ziehen, wird über eine Strecke von 2,0 m angewendet.

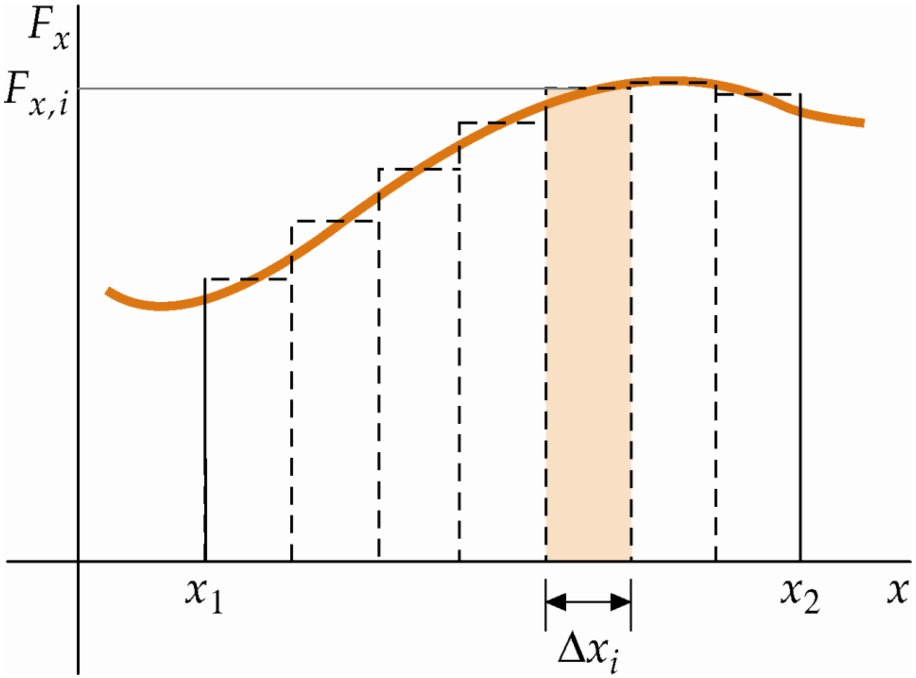
Ermitteln Sie:

a) die Arbeit, die der Kran an dem LKW verrichtet,
b) die Arbeit, die die Gravitationskraft an dem LKW verrichtet,
c) die an dem LKW verrichtete Gesamtarbeit.

Die auf den LKW wirkende Kraft ist konstant.
Die Verschiebung erfolgt auf einer Geraden.



Arbeit einer ortsabhängigen Kraft

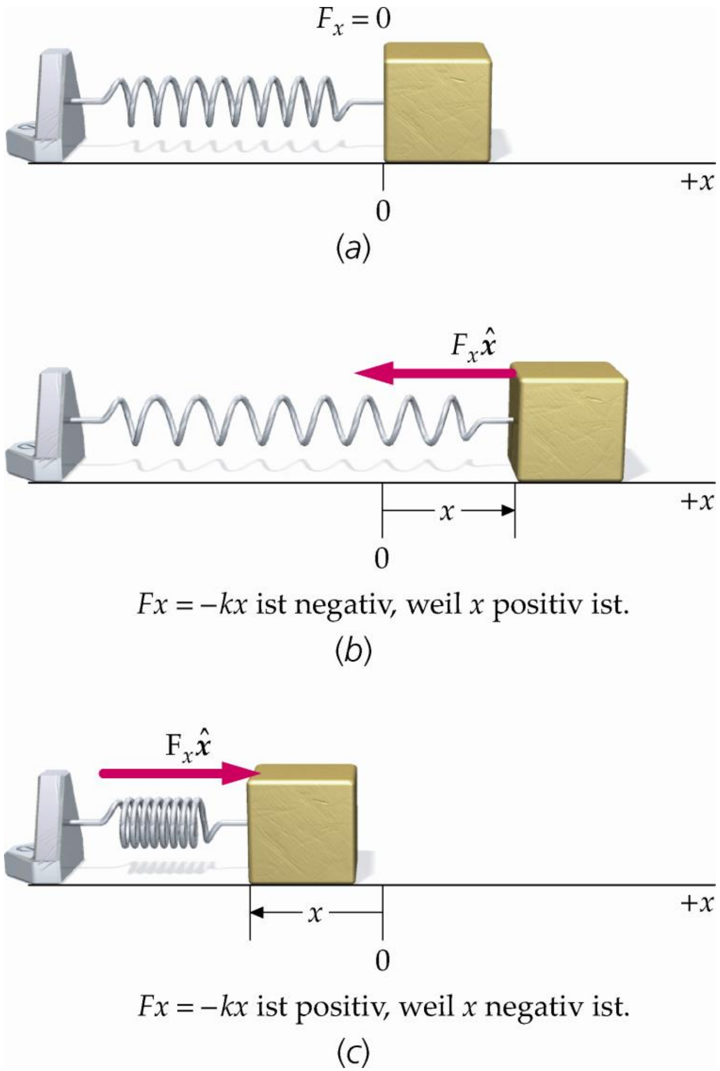


$$W \approx \sum_{i=1}^{N} W_i = \sum_{i=1}^{N} \mathbf{F}(\mathbf{s}_i)\Delta\mathbf{s}_i \,.$$

$$W = \int_{\mathbf{s}_1}^{\mathbf{s}_2} \mathbf{F}(\mathbf{s})\,\mathrm{d}\mathbf{s}\,,$$

Die Arbeit, die eine ortsabhängige Kraft verrichtet, kann grafisch als die Fläche unter der Kurve $F_x(x)$ dargestellt werden.

Beispiel: Kraft einer Federspannung



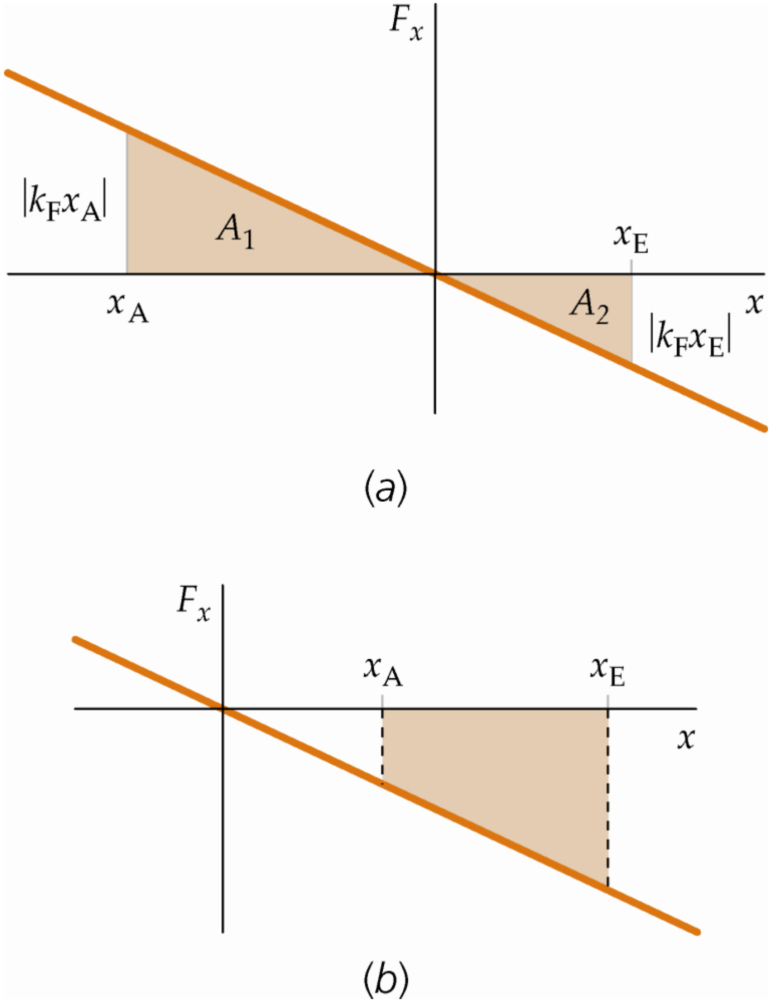
$$F_x = -k_F\, x \quad \text{(das Hooke'sche Gesetz)}$$

k_F ist eine positive Konstante (Federkonstante) und x ist die Dehnung der Feder

Wird die Feder gedehnt, ist x positiv und die Kraftkomponente F_x daher negativ.

Wird die Feder zusammengedrückt, ist x negativ und die Kraftkomponente F_x ist positiv.

Arbeit der Federkraft an dem Block



$$W_{\text{Feder}} = \int_{x_A}^{x_E} F_x \, \mathrm{d}x = \int_{x_A}^{x_E} (-k_F \, x) \, \mathrm{d}x$$

$$= -k_F \int_{x_A}^{x_E} x \, \mathrm{d}x = -k_F \left(\frac{x_E^2}{2} - \frac{x_A^2}{2} \right)$$

$$W_{\text{Feder}} = \tfrac{1}{2} k_F \, x_A^2 - \tfrac{1}{2} k_F \, x_E^2$$

$$W_{\text{Feder}} = A_1 + A_2 = |A_1| - |A_2| = \tfrac{1}{2} k_F \, x_1^2 - \tfrac{1}{2} k_F \, x_2^2$$

$$W = \tfrac{1}{2} k_F \, x_E^2$$

Arbeit als Skalarprodukt?

Die Arbeit beruht auf der Stärke der Kraft in Richtung der Verschiebung eines Körpers. Man bedient sich der mathematischen Operation des Skalarprodukts, um zu bestimmen, wie groß die in Verschiebungsrichtung wirkende Kraftkomponente ist.

Beim Skalarprodukt wird ein Vektor so mit einem anderen Vektor multipliziert, dass ein Skalar entsteht.

$$W = F_x \cdot \Delta x = \left|F\right| \cdot \left|\Delta x\right| \cdot \cos\Theta$$

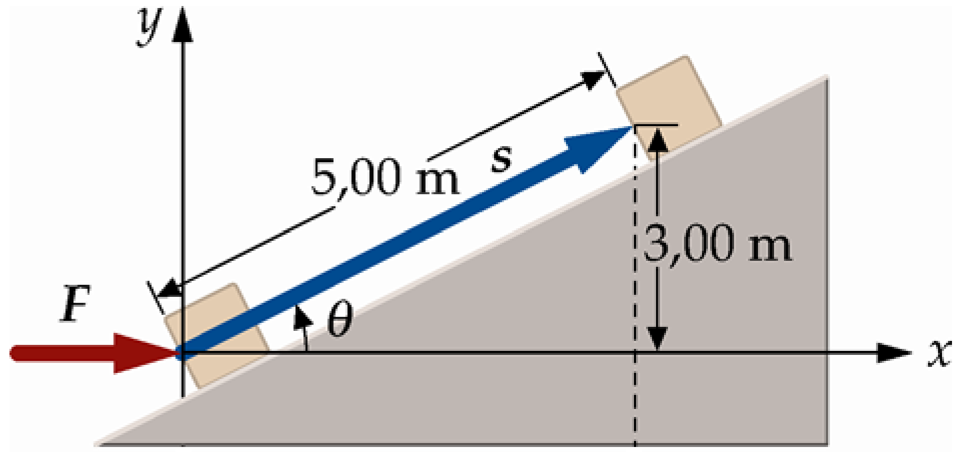
$$W = F_x \cdot \Delta x + F_y \cdot \Delta y + F_z \cdot \Delta z$$

Ist die Arbeit ein Skalar oder ein Vektor? Ist die Arbeit gerichtet?

Die Arbeit ist richtungsabhängig, denn sie ist ja das Produkt von Kraft und Weg.
Die Arbeit als Ergebnis der Multiplikation ist aber **nicht gerichtet**.
Außerdem: falls sie ein Vektor wäre, dann wäre sie ein Vektorprodukt (Richtung?)

Beispiel: Verschieben einer Kiste

Ein Spediteur schiebt mit einer horizontal wirkenden konstanten Kraft ***F*** von 100 N eine Kiste eine Rampe hinauf. Auf jeweils 5 m entlang der Rampe gewinnt die Kiste 3 m an Höhe. Berechnen Sie die Arbeit, die von der Kraft F verrichtet wird, wenn die Kiste 5 m weit die Rampe hinauf geschoben wird.



Wählen Sie die folgenden vier Lösungswege:

a) Berechnen Sie direkt das Skalarprodukt von Kraft und Verschiebung.

b) Multiplizieren Sie das Produkt der Beträge von ***F*** und ***s*** mit ***cos θ***.

c) Ermitteln Sie die Komponente der Kraft in Richtung s und multiplizieren Sie sie mit ***s***.

d) Ermitteln Sie die Komponente von ***s*** in Richtung der Kraft und multiplizieren Sie sie.

Die Leistung P

Die Definition der Arbeit macht keine Aussage darüber, wie lange es dauert, diese Arbeit zu verrichten. Die Rate, mit der eine Kraft Arbeit verrichtet wird Leistung P genannt (von engl. „Power“).

Die Leistung P ist der Quotient aus verrichteter Arbeit ΔW oder dafür aufgewendeter Energie ΔE und der dazu benötigten Zeit Δt

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta W}{\Delta t} \ .$$

Die Einheit für die Leistung ist das **Watt**.

$$1\,\mathrm{W} = 1\,\frac{\mathrm{Nm}}{\mathrm{s}} \qquad 1\,\mathrm{W} = 1\,\frac{\mathrm{kg\,m^2}}{\mathrm{s^3}}$$

Mechanische Leistung

Bei zeitlich veränderlicher Leistung gibt es eine Augenblicksleistung beziehungsweise Momentanleistung P(t), die sich aus dem Grenzwert ergibt, wenn der Zeitabschnitt Δt gegen null geht:

$$P(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta W}{\Delta t}\ , \quad P(t) = \frac{\mathrm{d}W(t)}{\mathrm{d}t}\ .$$

Um in einer Zeit dt eine Strecke ds mit der Geschwindigkeit v gegen eine Kraft F zurück-zulegen, ist also eine Leistung P nötig.

$$v = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$$

$$P = \frac{F\,\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = F \cdot v \qquad\qquad P = \frac{\vec{F}\,\mathrm{d}\vec{s}}{\mathrm{d}t} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

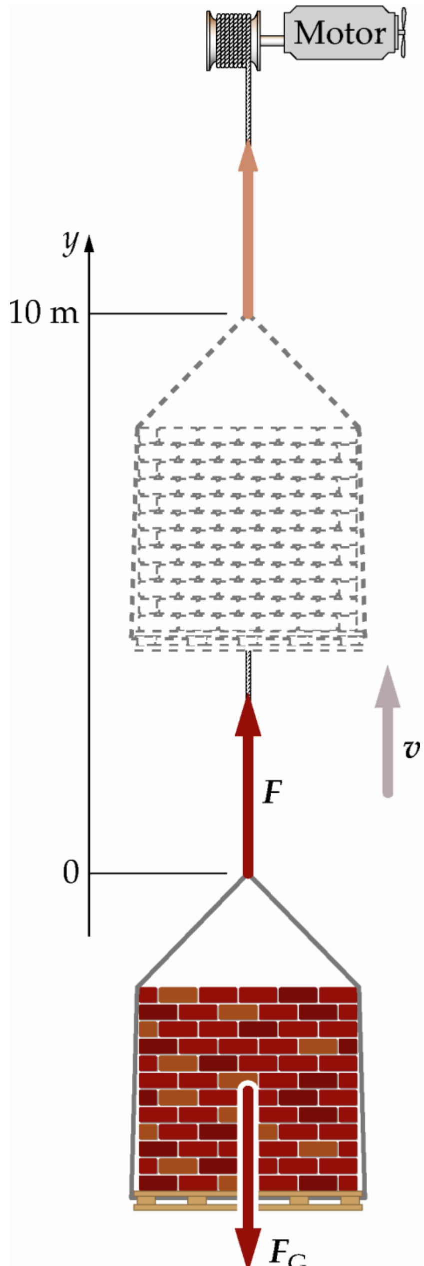
Beispiel: die Leistung eines Motors

Für den Antrieb eines Seilzugs, der eine Ladung Steine mit einem Gewicht von 500 kg mit konstanter Geschwindigkeit anhebt, wird ein kleiner Motor eingesetzt.

Dieser kann die Steine in 20 s um 10 m heben.

Der Seilzug wiegt 300 kg.

Wie hoch ist die Leistungsabgabe des Motors?



Ein Pferd leistet ungefähr ein PS

Die Pferdestärke als Maß für die Leistung einer Maschine geht auf James Watt (1736-1819) zurück, dem man seine Dampfmaschinen natürlich nur abkaufen wollte, wenn sie dem Pferd eindeutig überlegen sind.

Angeblich bestimmte James Watt die Leistung eines Pferdes in einem Kohlebergwerk, wo die Tiere in einem fort über eine Umlenkrolle Kohle aus der Tiefe an die Oberfläche zogen. Dabei fand Watt, dass die Pferde im Mittel während einer zehnstündigen Schicht pro Minute 330 britische Pfund (pounds) Kohle 100 Fuß (ft) in die Höhe zu heben vermochten. Sie setzten somit pro Minute eine Energie von 33 000 foot-pounds (ft.lbs.) um, was 44 741 Joule entspricht.

James Watt definierte diese Leistung als Pferdestärke (horse power), eine Einheit mit der es sich bis heute viel besser protzen lässt als mit der Angabe von Kilowatt
(ein PS entspricht eben nur 0,74 Kilowatt).

Die Energie

Definition: **Die Energie eines Systems ist seine Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.**

Energie ist nötig, um einen Körper zu beschleunigen oder um ihn entgegen einer Kraft zu bewegen, um eine Substanz zu erwärmen, um ein Gas zusammenzudrücken, um elektrischen Strom fließen zu lassen oder um elektromagnetische Wellen abzustrahlen.

Pflanzen, Tiere und Menschen benötigen Energie, um leben zu können. Energie benötigt man auch für den Betrieb von Computersystemen, für Telekommunikation und für jegliche wirtschaftliche Produktion.

Energie kann in verschiedenen Energieformen vorkommen. Hierzu gehören beispielsweise potentielle Energie, kinetische Energie, chemische Energie oder thermische Energie. Die Arbeit wandelt Energie zwischen verschiedenen Energieformen um.

Potenzielle Energie

Die potenzielle Energie (auch Höhen- oder Lageenergie) ist eine der Formen von Energie in der Physik.

Es handelt sich dabei um diejenige Energie, welche ein Körper durch seine Position oder Lage in einem **konservativen** Kraftfeld (etwa einem Gravitationsfeld oder elektrischen Feld) enthält. Man spricht daher auch von Lageenergie.

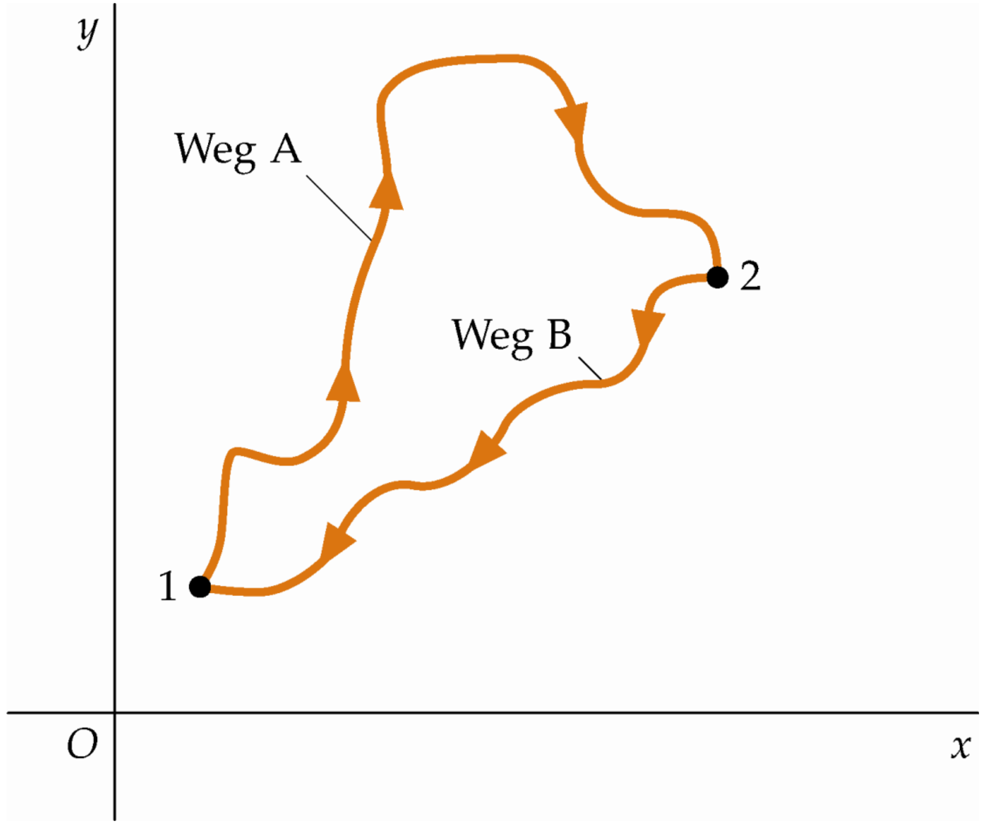
Ein bestimmter Ort in diesem Feld dient dabei als Bezugspunkt; beim Gravitationsfeld der Erde kann dies beispielsweise die Erdoberfläche sein. Die Begriffe Potenzial und potenzielle Energie sind eng verwandt und unterscheiden sich nur um einen konstanten Faktor (in der Mechanik die Masse, in der Elektrostatik die elektrische Ladung). Als Formelzeichen für die potenzielle Energie wird üblicherweise **V** oder $\mathbf{E_{pot}}$ verwendet.

$$E_{pot}(r) = -\int_{r1}^{r2} F(r)\,dr$$

Konservative Kräfte

Eine Kraft ist konservativ, wenn die Arbeit, die sie an einem Teilchen verrichtet, das sich von einem Punkt 1 zu einem anderen Punkt 2 bewegt, unabhängig von dem Weg des Teilchens zwischen diesen beiden Punkten ist.

Eine Kraft ist konservativ, wenn die Gesamtarbeit die sie an einem Teilchen verrichtet, das sich auf einer beliebigen geschlossenen Bahn bewegt, null ist.



Beispiele

Konservative Kraft
Konservative Arbeit

Wenn ein Skiläufer mit einem Skilift auf einen Hügel der Höhe h fährt, beträgt die Arbeit, die die Gravitationskraft an dem Skiläufer verrichtet. $-m \cdot g \cdot h$, wobei m die Masse des Skiläufers ist.
Dagegen ist die Arbeit, die die Gravitationskraft beim Abfahren an ihm verrichtet, unabhängig von der Form des Hügels immer $+m \cdot g \cdot h$.
Somit ist die Gesamtarbeit, die die Gravitationskraft während einer vollen Runde hinauf und hinab verrichtet unabhängig vom Weg gleich null.

Nichtkonservative Kraft
Nichtkonservative Arbeit

Ein Block, wird geradlinig auf dem Tisch erst von einem Punkt A zu einem Punkt B und anschließend wieder zurück verschoben, sodass er zum Schluss wieder bei A ist. Während er sich bewegt, wirkt auf ihn die Reibungskraft, die seiner Bewegung entgegengesetzt ist. Damit wirkt die Kraft, mit der der Block geschoben wird, in Bewegungsrichtung. Demzufolge ist die beim Schieben verrichtete Arbeit sowohl auf der Hinrichtung als auch auf der Rückrichtung positiv.

Potenzielle Energie

Wir definieren die potenzielle Energie so, dass die von einer **konservativen** Kraft verrichtete Arbeit gleich der Abnahme der potenziellen Energie ist:

$$W = \int_1^2 \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s} = -\Delta E_{\mathrm{pot}}$$

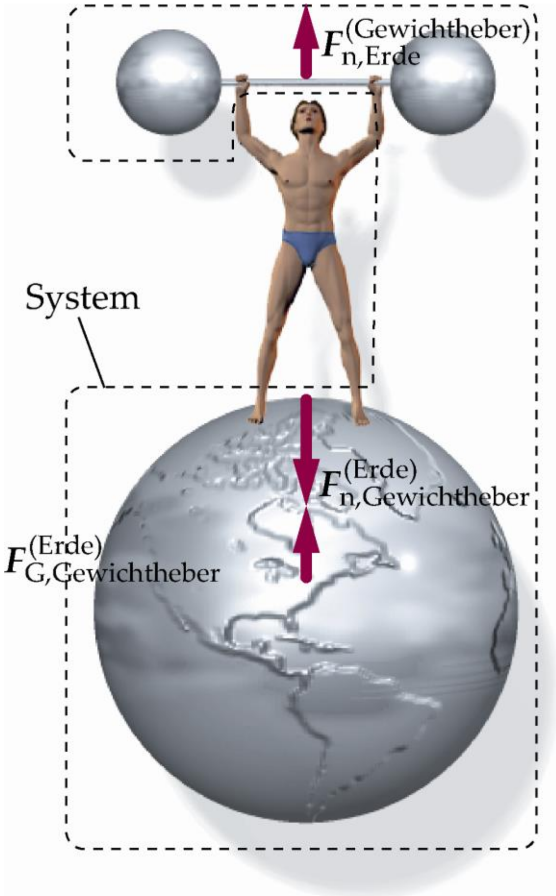
$$\Delta E_{\mathrm{pot}} = E_{\mathrm{pot},2} - E_{\mathrm{pot},1} = -\int_1^2 \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s}$$

Potenzielle Energie der Gravitationskraft:

$$\begin{aligned} \mathrm{d}E_{\mathrm{pot}} &= -\boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{s} = -(-m\,g\,\hat{\boldsymbol{y}}) \cdot (\mathrm{d}x\,\hat{\boldsymbol{x}} + \mathrm{d}y\,\hat{\boldsymbol{y}} + \mathrm{d}z\,\hat{\boldsymbol{z}}) \\ &= +m\,g\,\mathrm{d}y \end{aligned}$$

$$\hat{\boldsymbol{y}} \cdot \hat{\boldsymbol{x}} = \hat{\boldsymbol{y}} \cdot \hat{\boldsymbol{z}} = 0 \qquad \hat{\boldsymbol{y}} \cdot \hat{\boldsymbol{y}} = 1$$

Potenzielle Energie der Gravitationskraft



In der Nähe der Erdoberfläche:

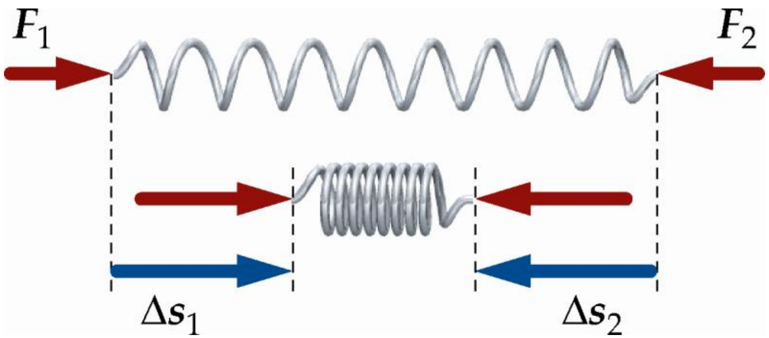
$$\boldsymbol{F} = -m\, g\, \hat{\boldsymbol{y}}$$

$$E_{pot} = \int m\, g\, \mathrm{d}y = m\, g\, y + E_{pot,0}$$

$$E_{pot} = E_{pot,0} + m\, g\, y$$

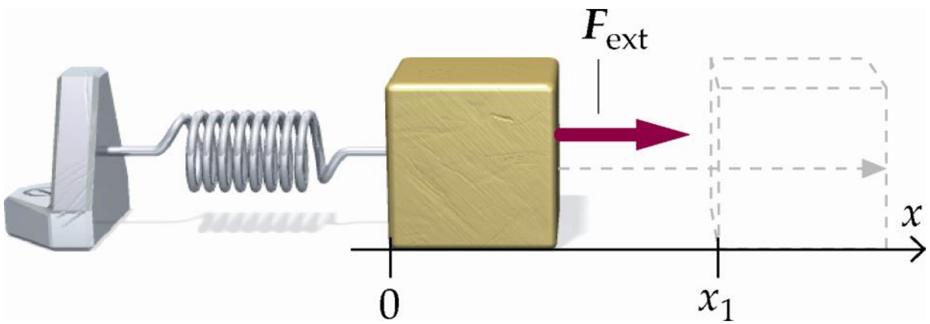
$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Potenzielle Energie einer Federkraft



$$dE_{pot} = -F \cdot ds = -F_x \cdot dx = -(k_F x)dx = k_F x \cdot dx$$

$$E_{pot} = \int k_F x \cdot dx \; = \frac{1}{2} k_F x^2 + E_{pot,0}$$



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

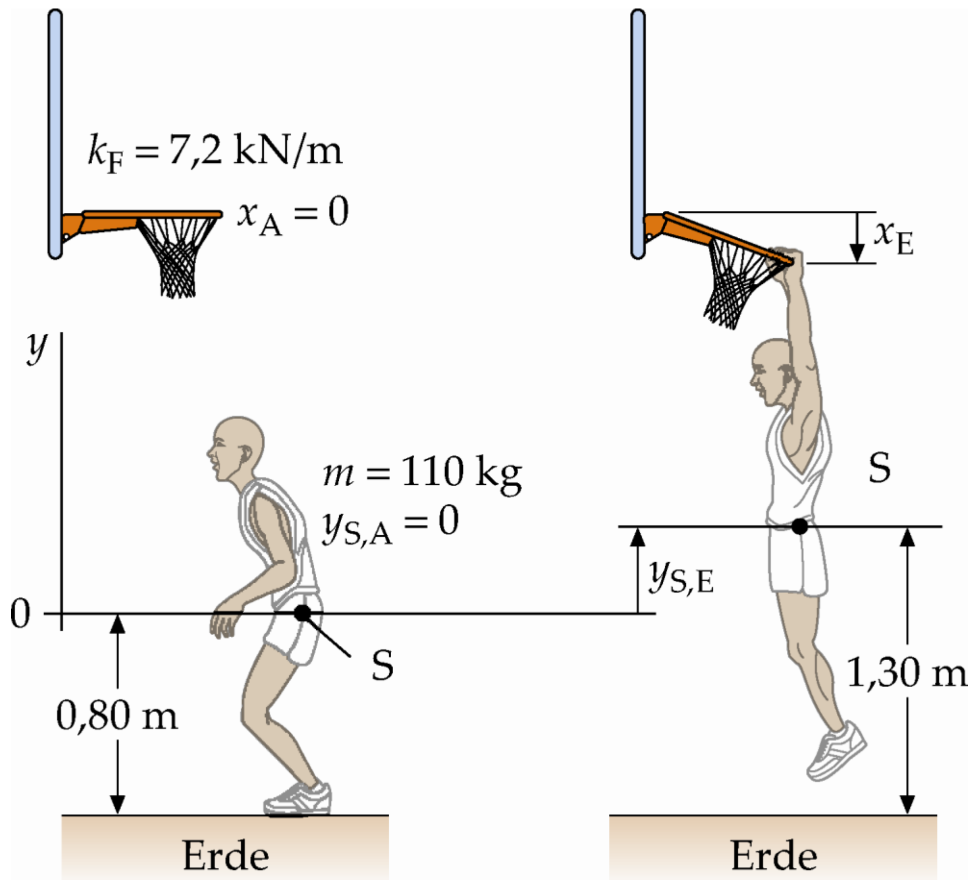
Beispiel: die potenzielle Energie eines Basketballspielers

Das System besteht aus einem Basketball-spieler mit einer Masse von 110 kg, aus dem Ring des Basketballkorbs und der Erde.

Wie groß ist die potentielle Energie des Systems, wenn der Basketballspieler vorn am Korb hängt?

Der Massemittelpunkt des Spielers hat eine Höhe von 0,8 m wenn der Spieler steht und 1,3 m, wenn der Spieler am Korb hängt.

Die Federkonstante des Korbrings beträgt 7,2 kN/m und das vordere Ende des Korb-rings wird s = 15 cm nach unten gezogen.



Kinetische Energie

Die kinetische Energie (von griechisch kinesis = Bewegung) oder auch Bewegungs-energie ist die Energie, die ein Objekt aufgrund seiner Bewegung enthält.

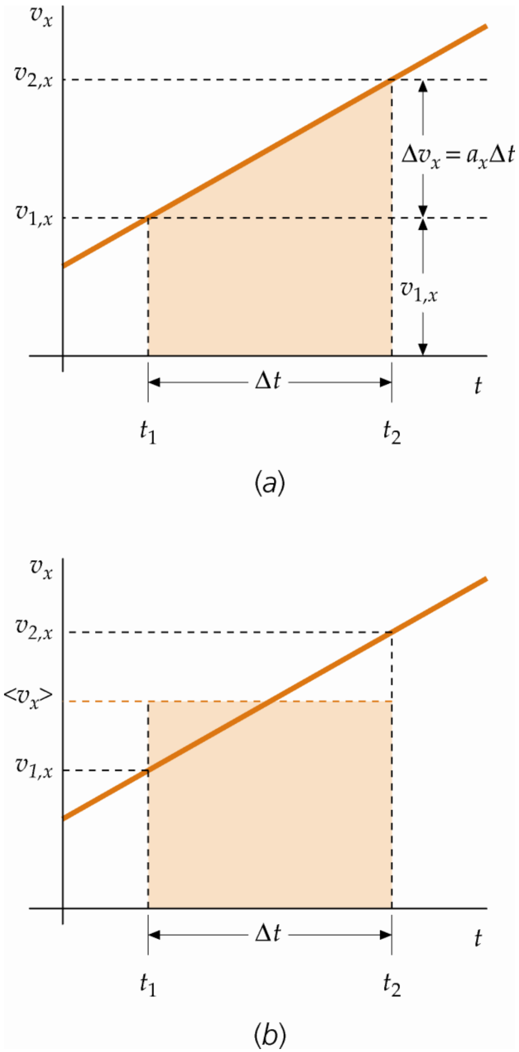
Sie entspricht der Arbeit, die aufgewendet werden muss, um das Objekt aus der Ruhe in die momentane Bewegung zu versetzen. Sie hängt von der Masse m und von der Geschwindigkeit v des bewegten Körpers ab.

Als Formelzeichen für die kinetische Energie wird in der theoretischen Physik üblicher-weise **T** verwendet, seltener auch $\mathbf{E_{kin}}$.

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

$$E_{kin} = \frac{m}{2} ({v_x}^2 + {v_y}^2 + {v_z}^2)$$

Gleichförmig beschleunigte Bewegung



$v_x = v_{0,x} + a_x t$ (bei a_x konstant)

Dies ist die Gleichung einer Gerade in einem v_x- t - Diagramm. Die Verschiebung Δx entspricht dem Flächeninhalt unter der Kurve.

$$\Delta x = v_{1,x} \Delta t + \tfrac{1}{2} a_x (\Delta t)^2$$

Mit $t_1 = 0$ und $t_2 = t$ ergibt sich:

$$x - x_0 = v_{0,x}\, t + \tfrac{1}{2} a_x\, t^2$$

Bei einer gleichförmig beschleunigten Bewegung ist die mittlere Geschwindigkeit der Mittelwert zwischen Anfangs- und Endgeschwindigkeit.

$$\langle v_x \rangle = \tfrac{1}{2}\left(v_{1,x} + v_{2,x}\right)$$

Gleichförmig beschleunigte Bewegung

$$v_x = v_{0,x} + a_x \cdot \Delta t \qquad (a_x = const.)$$

$$\Delta t = \frac{v_x - v_{0,x}}{a_x}$$

$$\Delta x = v_{0,x} \cdot \frac{v_x - v_{0,x}}{a_x} + \tfrac{1}{2} a_x \left(\frac{v_x - v_{0,x}}{a_x} \right)^2$$

$$\Delta x = v_{0,x} \cdot \Delta t + \tfrac{1}{2} a_x (\Delta t)^2$$

$$2a_x \Delta x = 2v_{0,x}(v_x - v_{0,x}) + (v_x - v_{0,x})^2$$

$$t_1 = 0 \qquad t_2 = t$$

$$v_x{}^2 = v^2{}_{0,x} + 2a_x \Delta x$$

$$x - x_0 = v_{0,x} \cdot t + \tfrac{1}{2} a_x t^2$$

Kinetische Energie

Ein Teilchen der Masse m bewegt sich unter Wirkung der Kraft F entlang der x-Achse:

$$F_x = m\,a_x$$

Bei konstanter Kraft ist auch die Beschleunigung konstant:

$$v_{\mathrm{E},x}^2 = v_{\mathrm{A},x}^2 + 2\,a_x\,\Delta x$$

$$F_x = m\,a_x$$

$$a_x = \frac{1}{2\,\Delta x}\left(v_{\mathrm{E},x}^2 - v_{\mathrm{A},x}^2\right)$$

$$F_x\,\Delta x = \tfrac{1}{2}\,m\,v_{\mathrm{E},x}^2 - \tfrac{1}{2}\,m\,v_{\mathrm{A},x}^2$$

$$W = \tfrac{1}{2}\,m\,v_{\mathrm{E},x}^2 - \tfrac{1}{2}\,m\,v_{\mathrm{A},x}^2$$

$$E_{\mathrm{kin}} = \tfrac{1}{2}\,m\,v^2$$

$$W = \Delta E_{\mathrm{kin}}$$

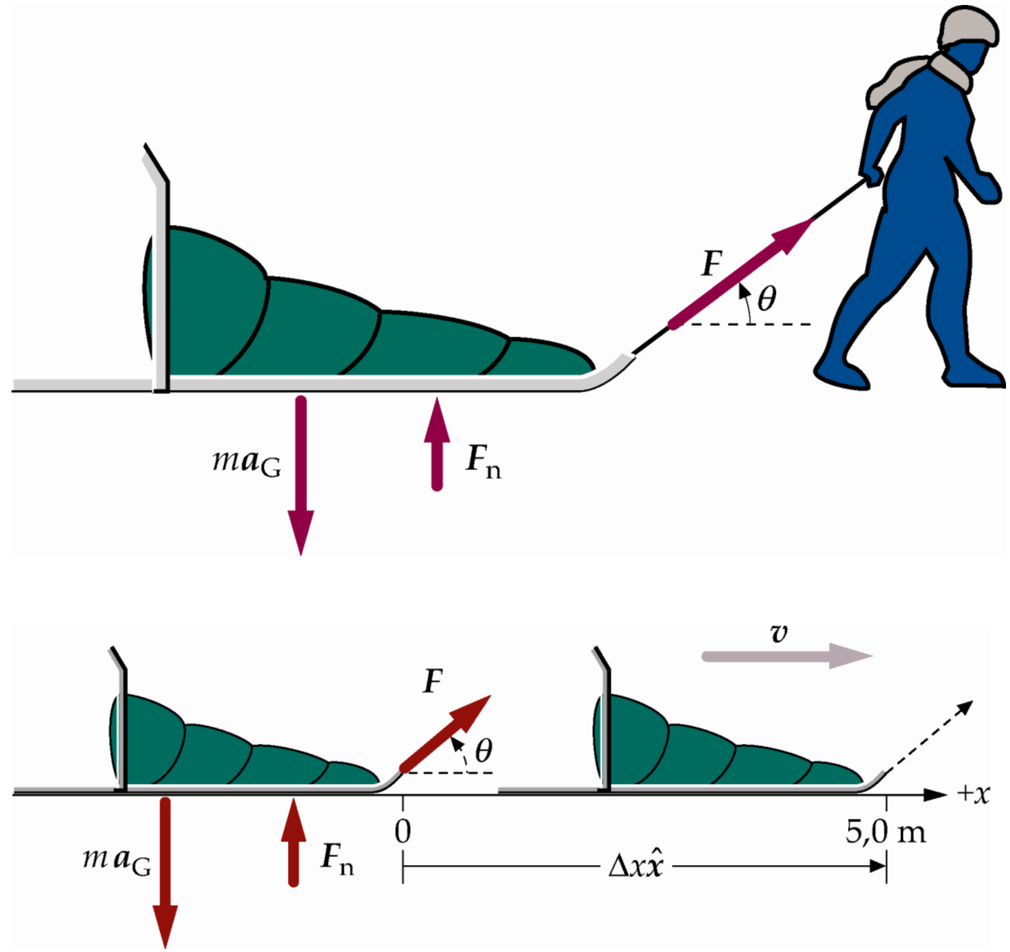
Die kinetische Energie hängt vom *Betrag* der Geschwindigkeit eines Teilchens und nicht von seiner Geschwindigkeit selbst ab. Ändert sich die Richtung der Geschwindigkeit, während ihr Betrag gleich bleibt, bleibt auch die kinetische Energie dieselbe.

Beispiel: Schlittenrennen

Ein Student nimmt in den Winterferien an einem Schlittenrennen auf einem zugefrorenen See teil. Beim Start zieht er den reibungsfrei gleitenden Schlitten, der eine Gesamtmasse von 80 kg hat, aus dem Stand mit einer Kraft von 180 N unter einem Winkel von 40° gegen die Horizontale. Gesucht sind für die ersten 5,0 m des Rennens

a) die Arbeit, die der Student verrichtet,

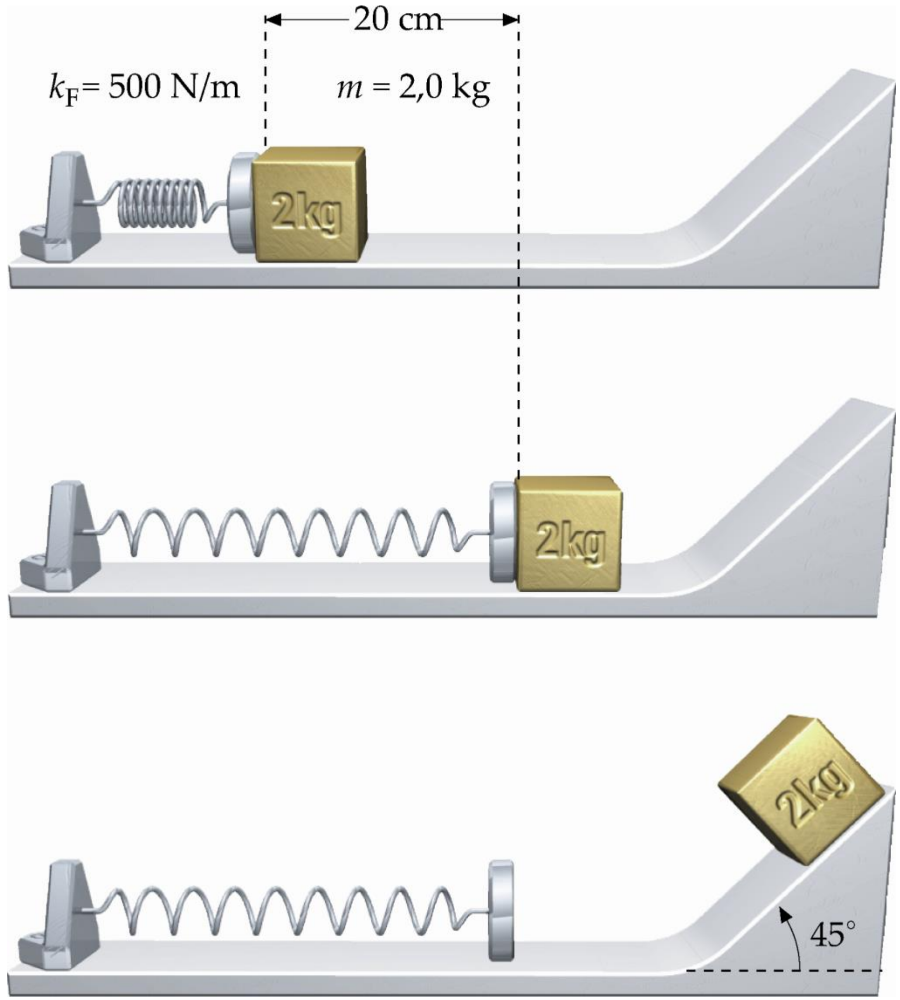
b) die Endgeschwindigkeit des Schlittens.



Beispiel: ein Block zwischen Feder und geneigter Ebene

Ein Block mit einer Masse von 2,0 kg liegt auf einer reibungsfreien horizontalen Oberfläche. Anfangs wird er gegen eine Feder mit einer Federkonstante von 500 N/m gedrückt, sodass die Feder 20 cm zusammengedrückt ist. Nun wird der Block losgelassen. Während sich die Feder entspannt, beschleunigt die Federkraft den Block auf der Oberfläche und anschließend eine reibungsfreie, um 45° geneigte Rampe hinauf.

a) Wie weit bewegt sich der Block auf der Rampe, bis er kurz zur Ruhe kommt?
b) Wie groß ist die Geschwindigkeit des Blockes wenn er sich von der Feder löst?
c) Welche Arbeit verrichtet die Normalkraft an dem Block?



Energieerhaltungssatz

Der Energieerhaltungssatz sagt aus, dass die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems sich nicht mit der Zeit ändert. Zwar kann Energie zwischen verschiedenen Energieformen umgewandelt werden, beispielsweise von Bewegungsenergie in Wärme. Es ist jedoch nicht möglich, innerhalb eines abgeschlossenen Systems Energie zu erzeugen oder zu vernichten: Die Energie ist eine Erhaltungsgröße.

Die Gesamtenergie in einem abgeschlossenen System bleibt konstant.

Unter einem abgeschlossenen System versteht man ein System ohne Energie-, Informations- oder Stoffaustausch und ohne Wechselwirkung mit der Umgebung.

Allgemeiner Energieerhaltungssatz:

$$E_{ges} = E_{kin} + E_{pot} + E_{wärm} + E_{chem} + \ldots\ldots = \text{const.}$$

Energieerhaltungssatz der klassischen Mechanik:

$$E_{mech} = E_{kin} + E_{pot} = T + V = \text{const.}$$

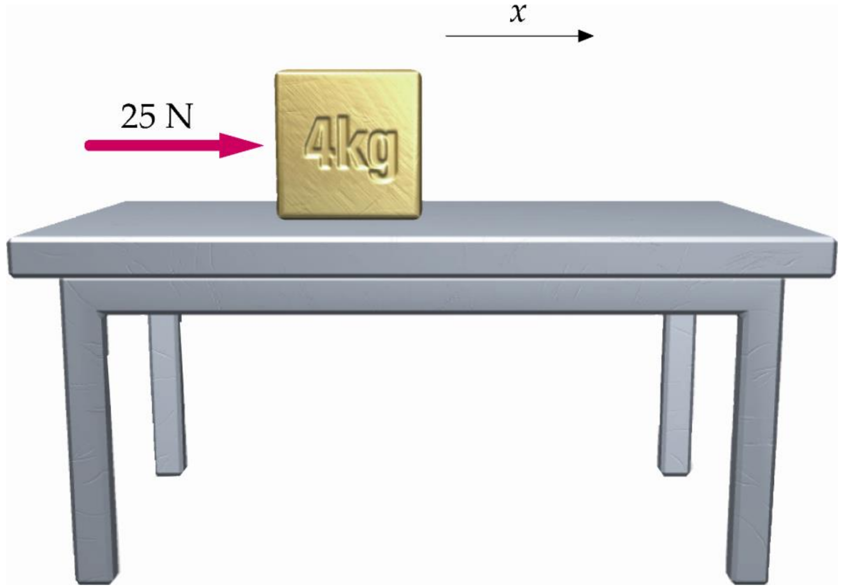
Aufgaben mit Gleitreibung

Eine 4,0 kg Kiste wird mit einer Kraft von 25 N aus dem Stand 3,0 m weit auf einem horizontalen Tisch geschoben. Der Gleitreibungskoeffizient zwischen Tisch und Kiste beträgt 0,35. Berechnen Sie:

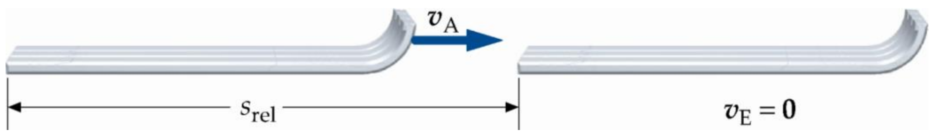
a) die äußere Arbeit, die an dem System aus Kiste und Tisch verrichtet wird.

b) die Energie, die durch die Reibung umgewandelt wird,

c) die kinetische Energie und die Geschwindigkeit der Kiste nach den 3 m.

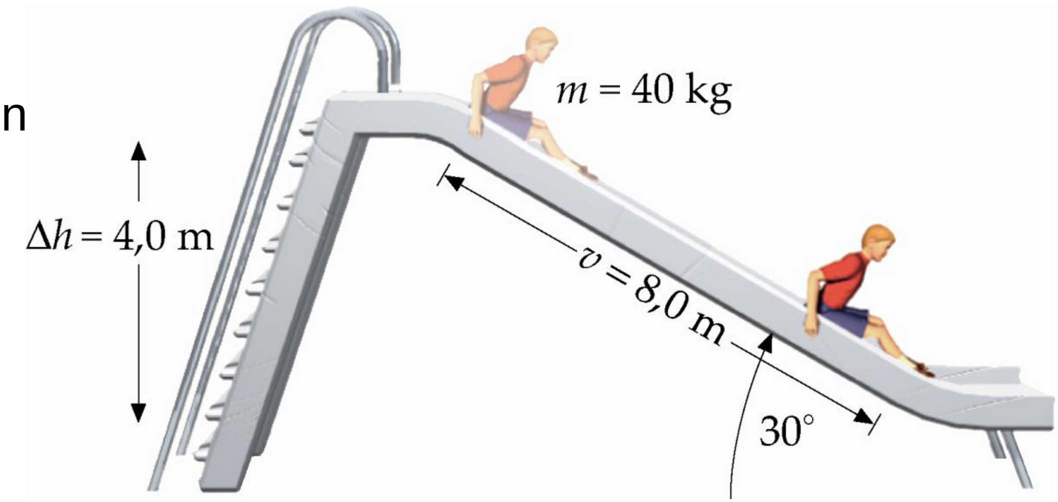


Ein Schlitten gleitet, ohne gezogen zu werden mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 4,0 m/s auf einer horizontalen, schneebedeckten Fläche. Der Gleitreibungskoeffizient beträgt 0,14. Wie weit gleitet der Schlitten, ehe er zum Stillstand kommt?



Beispiel: die Rutsche auf dem Spielplatz

Ein Kind mit einer Masse von 40 kg rutscht aus der Ruhe heraus eine 8,0 m lange Rutsche hinunter, die einen Winkel von 30° zur Horizontalen bildet. Der Gleitreibungskoeffizient zwischen Kind und Rutsche beträgt 0,35.

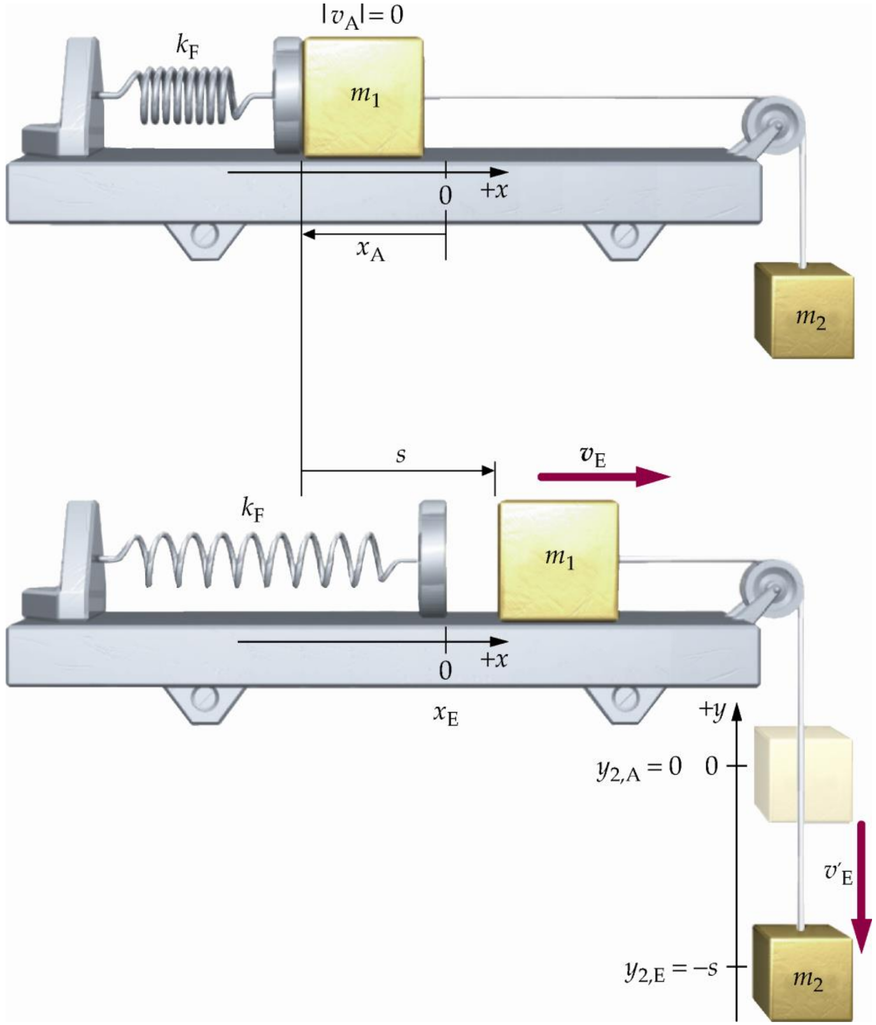


Welche Geschwindigkeit hat das Kind am Ende der Rutsche?

Beispiel: Block, Gewicht und Feder

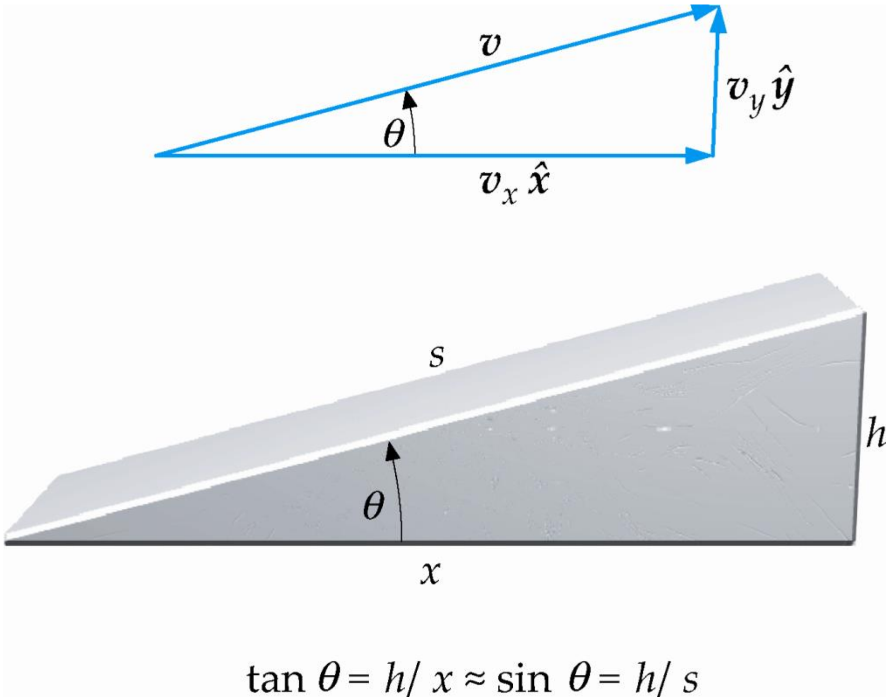
Ein Gewicht mit der Masse m_2 = 4 kg hängt an einem leichten Seil, das über eine masselose, reibungsfreie Rolle mit einem Block von m_1 = 6 kg verbunden ist, der auf einer horizontalen Fläche liegt. Der Gleitreibungskoeffizient ist 0,2. Zunächst wird der 6 kg Block gegen eine Feder mit einer Federkonstanten von 180 N/m gedrückt, wodurch diese 30 cm zusammengedrückt wird.

Wie schnell bewegen sich der Block und das Gewicht, nachdem der Block losgelassen wurde und das Gewicht 40 cm gesunken ist?



Beispiel: Ein Auto am Berg

Ein Benzinauto mit einer Masse von 1000 kg fährt mit konstant 100 km/h eine 10%-ige Steigung hinauf.



a) Der Wirkungsgrad des Autos sei 15%.
Er gibt an, welcher Anteil der verbrauchten chemischen Energie der Motor tatsächlich als mechanische Energie wieder abgibt. Mit welcher Rate ändert sich die chemische Energie des Systems aus Auto, Erde und Atmosphäre?

b) Mit welcher Rate wird Wärmeenergie erzeugt?

Aufgaben (1)

1. Ein Geschoss von 20 g Masse wird in einem Gewehrlauf von 65 cm Länge auf eine Mündungsgeschwindigkeit von 800 m/s beschleunigt. Berechnen Sie die (mittlere) Kraft der Verbrennungsgase.

2. Ein PKW mit der Masse m = 1,32 t beschleunigt gleichmäßig von 60 km/h auf 85 km/h innerhalb von 9 s. Berechnen Sie die Kraft, die für den Beschleunigungsvorgang erforderlich ist.

3. Ein Truck mit der Masse m = 20 t und einer Geschwindigkeit von 54 km/h wird mit einer Verzögerung von 0.3 m/s² gleichmäßig bis zum Stillstand abgebremst.
   a) Welche Bremskraft wird dafür benötigt?
   b) Nach welcher Zeit bleibt der Truck stehen?
   c) Welchen Weg legt er bis zum Stillstand zurück?

Aufgaben (2)

4. In welcher Entfernung von der Erdoberfläche wird zwischen Erde und Mond ein Raumschiff schwerelos?
   (mittlerer Abstand Erde/Mond = mittlerer Radius der Umlaufbahn des Mondes = 384400 km, Erdmasse = $5{,}974 \cdot 10^{24}$ kg, Mondmasse = $7{,}349 \cdot 10^{22}$ kg, mittlerer Erdradius = 6371 km)

5. Eine Steilkurve mit einem Radius von 30 m besitzt einen Überhöhungswinkel θ. Das heißt, die Normale auf der Straße bildet mit der Senkrechten einen Winkel θ. Wie groß muss θ sein, damit ein Auto mit 40,0 km/h durch die Kurve fahren kann, selbst wenn darauf Glatteis herrscht und die Straße daher im Wesentlichen reibungsfrei ist?

6. Welche Anfangsgeschwindigkeit v_0 (in km/h) hat ein Güterwagen, der auf einer horizontalen Strecke s = 220 m bei einer Rollreibungszahl $\mu_R = 0{,}002$ mit frei rollenden Rädern ausrollt?

Aufgaben (3)

7. Welche Kraft ist bei einem Auto von der Gewichtskraft 24 kN zur Überwindung der Reibung auf horizontaler Straße erforderlich
   a) beim Fahren mit gelöster Bremse (μ_R = 0,025),
   b) wenn die Hinterräder, auf denen die halbe Gewichtskraft lastet, durch die angezogene Handbremse blockiert sind (μ_0 = 0,9)?

8. Ein Kraftfahrzeug (m = 1,25 t) soll auf horizontaler Strecke von einer Geschwindigkeit von 54 km/h zum Stillstand abgebremst werden in maximal 3 Sekunden.
   a) Wie groß ist die entsprechende Mindestverzögerung und die dafür erforderliche Kraft?
   b) Kann durch einen Bremsvorgang mit blockierten Bremsen diese Kraft erreicht werden (μ_0 = 0,7)?
   c) Wie groß ist für b) die Bremszeit?

Aufgaben (4)

9. Ein zunächst horizontal liegendes Brett, auf dem sich ein Körper befindet, wird einseitig angehoben. Bei einem Neigungswinkel von 30 ° beginnt der Körper zu rutschen.
   a) Wie groß ist die Haftreibungszahl μ_0?
   b) Der Körper rutscht weiter auf dem Brett herab mit einer Beschleunigung von 1,5 m/s². Wie groß ist die Gleitreibungszahl μ?

10. Ein beladener Supertanker mit 100000 t Gesamtmasse hat bei voller Fahrt eine Geschwindigkeit von 36 km/h. Wenn beim Bremsen die Maschinen volle Fahrt rückwärts laufen, fährt das Schiff noch 4 km bis zum Stillstand. Wie groß ist die nötige verzögernde Kraft für dieses Bremsmanöver?

Lösungen der Aufgaben

1. 9,846 kN

2. 1,0185 kN

3. a) - 6 kN
   b) 50 s
   c) 375 m

4. $3{,}397 \cdot 10^5$ km

5. 22,8°

6. 10,577 km/h

7. a) 600 N
   b) 11,1 kN

8. a) - 5 m/s^2
   b) 6,25 kN
   c) 2,18 s

9. a) 0,577
   b) 0,4

10. 1,25 MN

Aufgaben (1)

1. Welche Arbeit ist notwendig, um eine Kiste von 1 t Masse auf ein Podest in 2 m Höhe zu bringen

   a) durch senkrechtes Anheben,

   b) durch Schieben auf einer um 20° geneigten Ebene unter Berücksichtigung von Gleitreibungskräften ($\mu = 0{,}3$)?

a) nur Hebearbeit:

$$W_H = F \cdot \Delta x$$

b) Hebearbeit und Gleitarbeit:

$$W_{ges} = W_H + W_G$$

Aufgaben (2)

2. Welche Arbeit müssen Pferde verrichten, um einen Wagen (Masse: 700 kg) eine Strecke von 5 km zu ziehen

   a) auf einer guten horizontalen Straße (Rollreibungszahl 0,04),

   b) auf einem schlechten horizontalen Feldweg (Rollreibungszahl 0,1)?

3. Ein Aufzug mit der Masse von 2 t soll aus der Ruhe nach oben gleichmäßig auf eine Geschwindigkeit von 10 m/s beschleunigt werden. Die hierbei erreichte Höhe beträgt 50 m.
   Wie groß ist die dabei aufzuwendende Gesamtarbeit?
   (Alle Reibungskräfte werden vernachlässigt!)

Aufgaben (3)

4. Welche Anfangsgeschwindigkeit (in km/h) hat ein senkrecht nach oben abgefeuertes Geschoss (unter Vernachlässigung der Luftreibung), wenn in der Höhe h = 2 km kinetische und potentielle Energie gleich groß sind?

   1. Ansatz: Satz der Erhaltung der Energie:

   $$E_{mech} = E_{kin} + E_{pot} = \text{const.}$$

   Im Moment des Abfeuerns besteht die gesamte Energie aus kinetischer Energie:

   $$E_{mech} = ½\, m\, v^2_S$$

   2. Ansatz: Das Geschoss fliegt insgesamt 4 km hoch, die Anfangsgeschwindigkeit entspricht der Endgeschwindigkeit eines Falls aus 4 km:

   $$v = g \cdot t \qquad t^2 = 2 \cdot h\ g$$

Aufgaben (4)

5. Die Internationale Raumstation ISS (Masse m = 450 t) umkreiste anfangs die Erde in einer Flughöhe von 400 km.

   a) Wie groß war die exakte Bahngeschwindigkeit (in km/h) der Raumstation bei Annahme einer exakten Kreisbahn, bei der Zentrifugalkraft und Gravitationskraft genau gleich sind?

   b) Zwischenzeitlich wurde dann die Flughöhe um 18 Meilen erhöht. Wieviel Prozent der anfänglichen Bewegungsenergie waren für dieses Manöver erforderlich? (Erdradius: $6{,}371\ 10^6$ m, 1 Meile = 1,61 km).

Lösungen der Aufgaben

1. a) 19,62 kJ
   b) 35,79 kJ

2. a) 1,37 MJ
   b) 3,43 MJ

3. 1,08 MJ

4. 1008,5 km/h

5. a) 27607 km/h
   b) 0,85%

Literatur und Quellen

Paul A. Tipler, Gene Mosca: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, Spektrum Akademischer Verlag, August 2009

http://de.wikipedia.org/

TECHNISCHE
HOCHSCHULE
DEGGENDORF

Technische Hochschule Deggendorf – Edlmairstr. 6 und 8 – 94469 Deggendorf