TECHNISCHE HOCHSCHULE DEGGENDORF

Physik für Infotronik (7)

Gerald Kupris

28.10.2015

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**	

Wiederholung: Energie

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

Die potenzielle Energie (auch Höhen- oder Lageenergie) ist diejenige Energie, welche ein Körper durch seine Position oder Lage in einem **konservativen** Kraftfeld (etwa einem Gravitationsfeld oder elektrischen Feld) enthält.

Potenzielle Energie der Gravitationskraft: $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$

Potenzielle Energie einer Federkraft: $E_{pot} = \frac{1}{2} k_F x^2$

Die kinetische Energie oder auch Bewegungsenergie ist die Energie, die ein Objekt aufgrund seiner Bewegung enthält.

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

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:

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

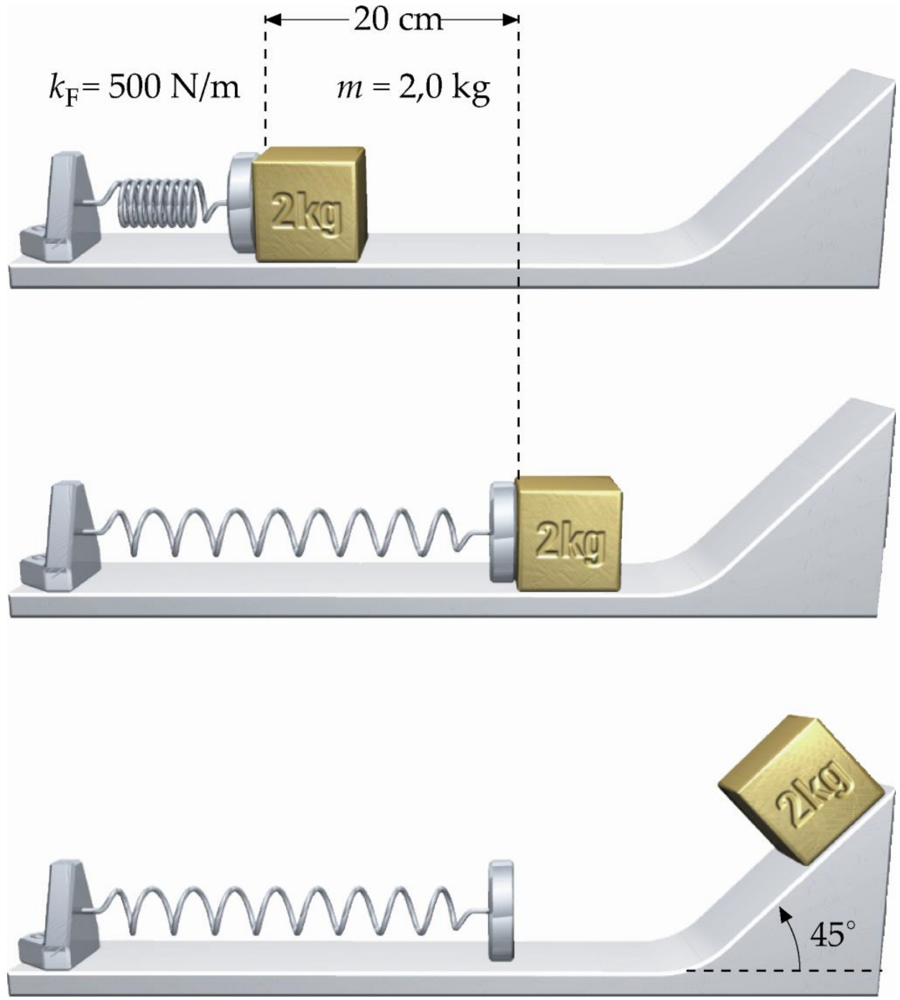
Energieerhaltungssatz der klassischen Mechanik:

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

Beispiel: ein Block zwischen Feder und geneigter Ebene

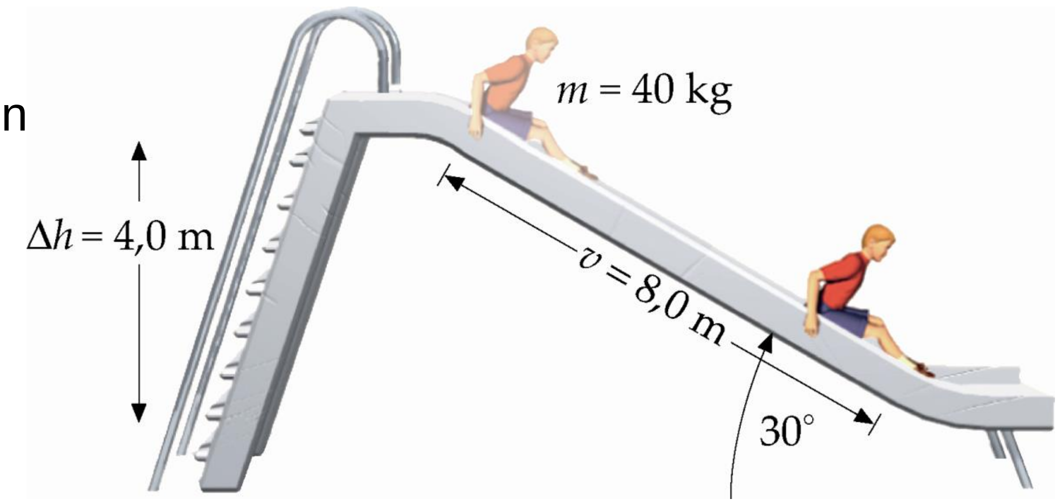
Ein Block mit einer Masse von 2,0 kg liegt auf einer reibungsfreien horizontalen Oberfläche. Anfangs wird er gegen eine Feder mit einer Federkonstante von 500 N/m gedrückt, sodass die Feder 20 cm zusammengedrückt ist. Nun wird der Block losgelassen. Während sich die Feder entspannt, beschleunigt die 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?



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.

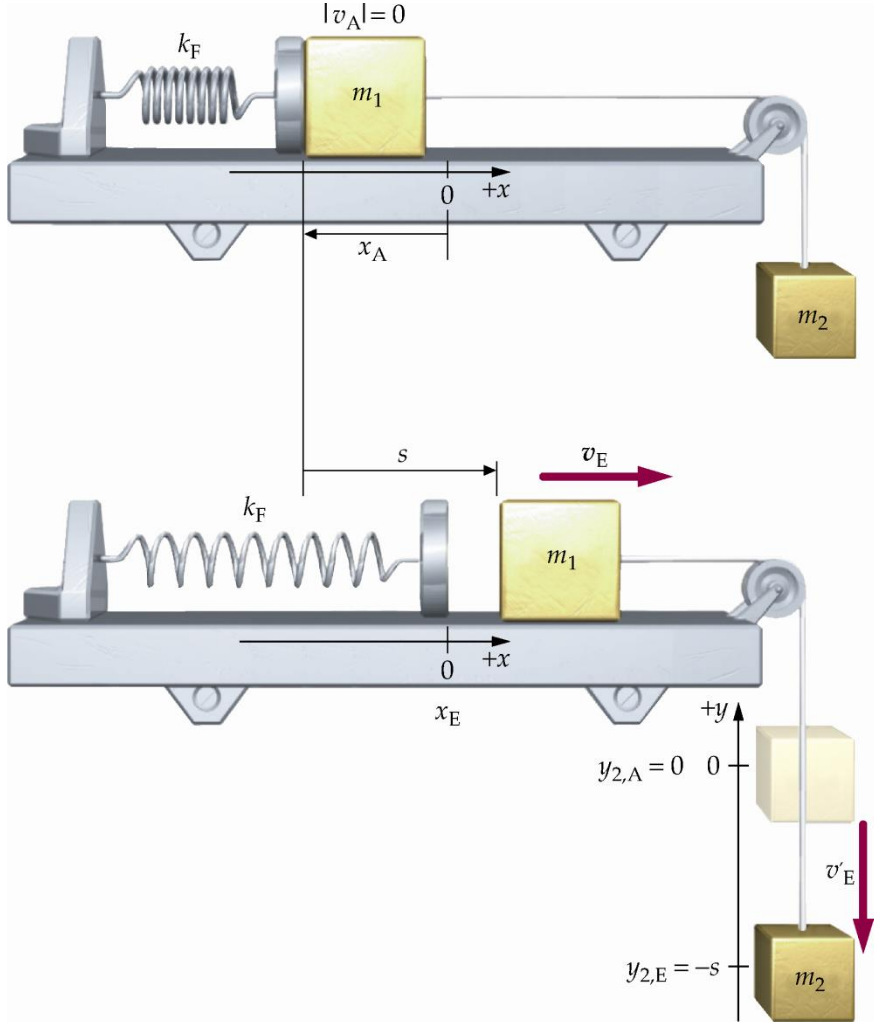


Welche Geschwindigkeit hat das Kind am Ende der Rutsche?

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?

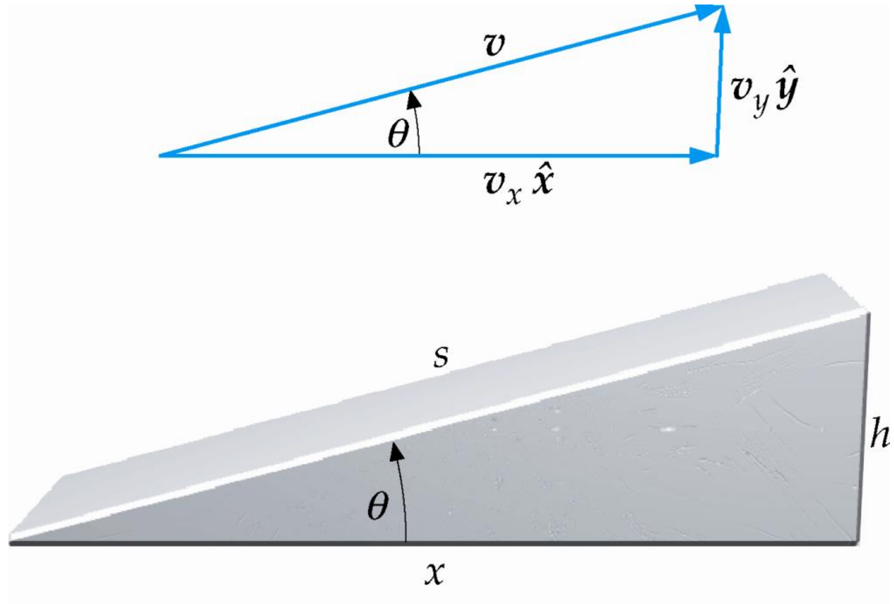


Beispiel: Ein Auto am Berg

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?



$\tan\theta = h/x \approx \sin\theta = h/s$

Der Impuls

Die physikalische Größe Impuls ***p*** beschreibt die Bewegung der Masse, die ein Körper enthält. So wie die Geschwindigkeit dieser Bewegung ist der Impuls eine Vektorgröße, hat also neben einem Betrag auch eine Richtung (die der Bewegung selbst). Newton bezeichnete den Impuls auch als „Bewegungsgröße“.

Jeder bewegliche Körper kann einen Impuls beispielsweise bei Stößen ganz oder teilweise auf andere Körper übertragen oder von anderen Körpern übernehmen.

Der Impuls ist eine additive Erhaltungsgröße. Wenn die (Vektor-) Summe der äußeren Kräfte verschwindet, bleibt der Gesamtimpuls erhalten.

In Newtons Mechanik ist der Impuls eines Teilchens das Produkt aus seiner Masse *m* und seiner Geschwindigkeit:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Impuls und Geschwindigkeit sind dabei Vektoren mit gleicher Richtung.

Der Impuls

Die physikalische Größe, die im Deutschen traditionell mit Impuls bezeichnet wird (in anderen Sprachen mit Bewegungsmenge oder Momentum), beschreibt die Bewegung der Masse, die ein Körper enthält.

Der Impuls entspricht dem, was umgangssprachlich unter der Wucht verstanden wird, die jemanden zur Seite stößt, oder unter dem Schwung, der ein Auto aus der Kurve trägt. Anders als der Fachbegriff Impuls ist die Umgangssprache aber mehrdeutig: Je nach Zusammenhang ist mit Wucht manchmal auch kinetische Energie gemeint, Schwung kann auch für Drehimpuls stehen. Zudem wird unter Wucht oder Schwung oft nur deren Betrag unabhängig von der Richtung verstanden, obwohl sich auch die Anwendung dieser Begriffe immer eindeutig einer Bewegungsrichtung zuordnen lässt.

Die im Deutschen als Impuls bezeichnete Größe sollte nicht mit der (eigentlich namensgebenden) in anderen Sprachen (z.B. romanische Sprachen und Englisch) ebenso bezeichneten Größe verwechselt werden, bei der es sich um die Änderung der Bewegungsmenge (innerhalb einer bestimmten Zeit) handelt.

Jeder bewegliche Körper kann Impuls beispielsweise bei Stößen ganz oder teilweise auf andere Körper übertragen oder von anderen Körpern übernehmen

Der Impuls

Man kann sich den Impuls als ein Maß für die Schwierigkeit vorstellen, ein Teilchen, das eine bestimmte Masse und eine bestimmte Geschwindigkeit hat, innerhalb einer bestimmten Zeit zum Stillstand zu bringen.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d\left(m \cdot \vec{v}\right)}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = m \cdot \vec{a} = \vec{F}$$

Die auf ein Teilchen einwirkende Kraft ist gleich der zeitlichen Änderung des Teilchen-impulses.

Satz der Erhaltung des Impulses: Wenn die Summe aller äußeren Kräfte auf ein System null ist, dann bleibt der Gesamtimpuls des Systems konstant.

Dieser Satz ist weiter anwendbar als der Satz von der Erhaltung der mechanischen Energie, weil die inneren Kräfte, die von einem Teilchen des Systems auf ein anderes ausgeübt werden, oft nicht konservativ sind.

Der Impuls

Die Maßeinheit des Impulses ist:

$$\mathbf{1\ N \cdot s = 1\ kg \cdot m \cdot s^{-1}}$$

Der Impulserhaltungssatz spricht aus, dass Teilchen träge sind. Um ihre Geschwindigkeit zu ändern, muss ein Impuls übertragen werden. Der pro Zeit übertragene Impuls ist die Kraft:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

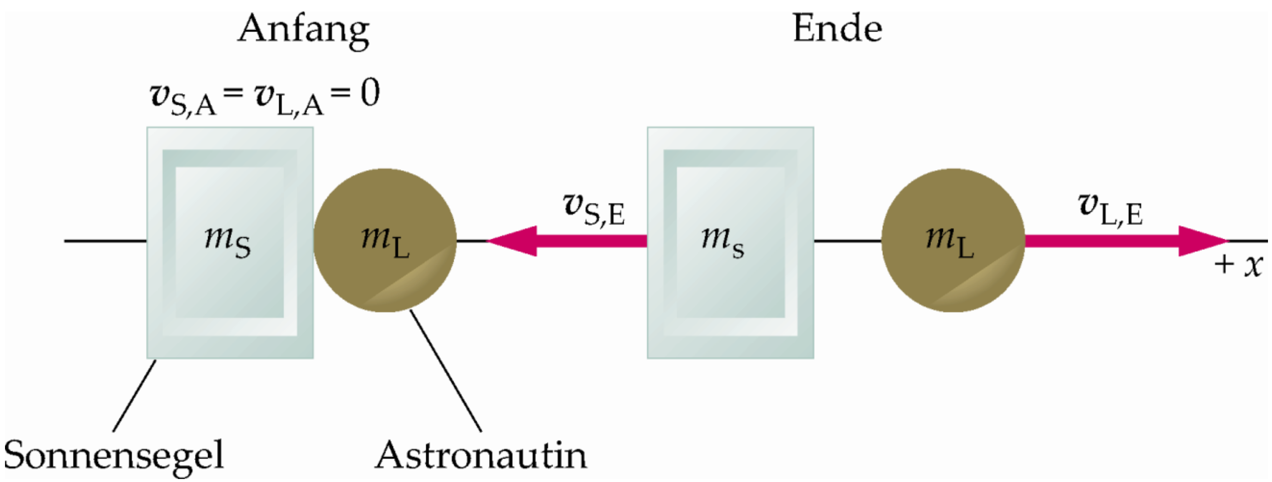
Der Impuls erfüllt zusammen mit der Masse und der kinetischen Energie die Beziehung:

$$E_{kin} = \frac{m}{2}\vec{v}^2 = \frac{m}{2}\left(\frac{\vec{p}}{m}\right)^2 = \frac{\vec{p}^2}{2m}$$

Beispiel: Reparatur im Weltraum

Während der Reparatur des Hubble-Weltraumteleskops ersetzt die Astronautin Lucy ein Sonnensegel , dessen Rahmen verbogen ist. Während sie das beschädigte Sonnensegel in den Raum stößt, wird sie in die entgegengesetzte Richtung beschleunigt. Die Masse der Astronautin beträgt 60 kg, die Masse des Sonnensegels 80 kg. Lucy und das Segel befinden sich bezüglich des Raumschiffs in Ruhe. Lucy stößt dann das Segel mit einer Geschwindigkeit von 0,3 m/s weg.

Wie schnell bewegt sich Lucy daraufhin bezüglich des Raumschiffs?



Beispiel: Reparatur im Weltraum

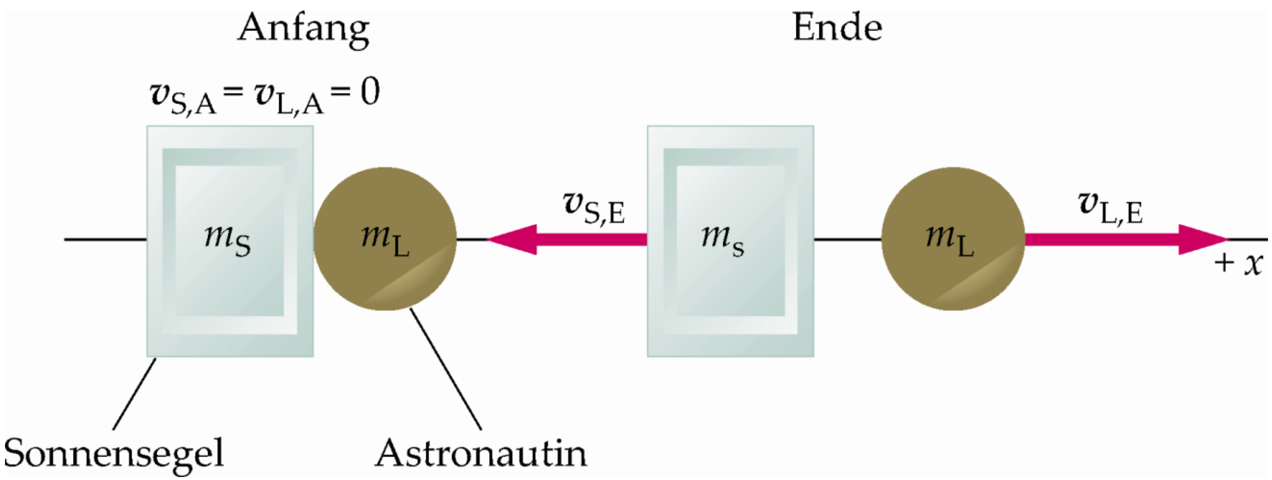
$$p_A = p_E$$

$$m_S\, v_{S,A} + m_L\, v_{L,A} = m_S\, v_{S,E} + m_L\, v_{L,E}$$

$$0 + 0 = m_S\, v_{S,E} + m_L\, v_{L,E}$$

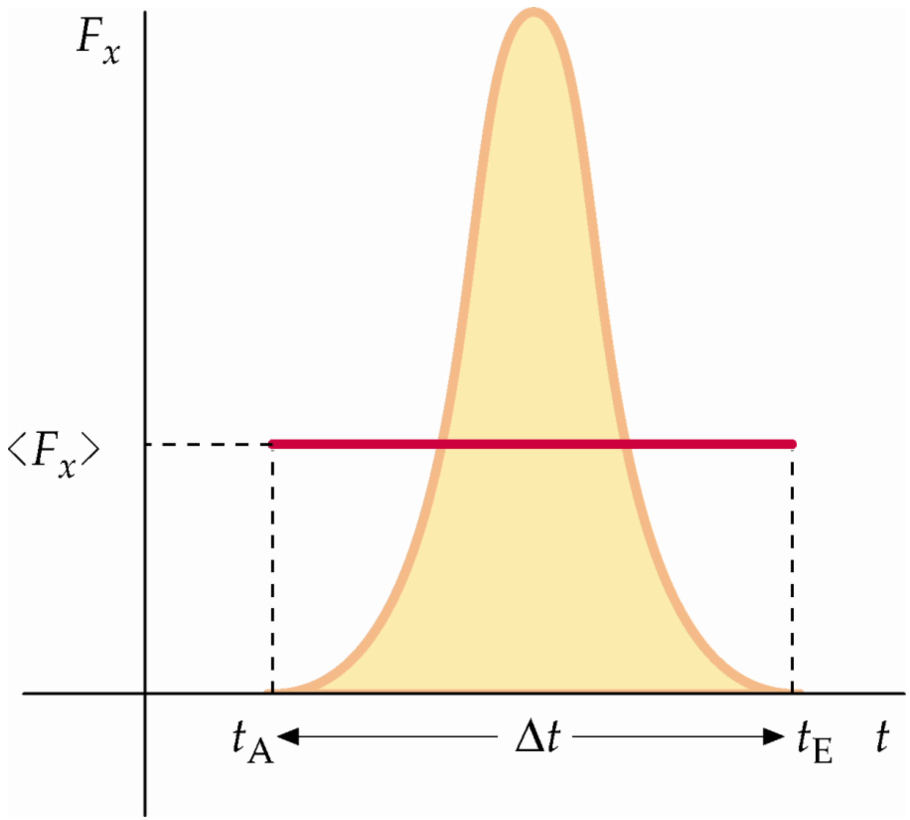
$$v_{L,E} = -\frac{m_S}{m_L}\, v_{S,E} = -\frac{80\ \text{kg}}{60\ \text{kg}}\,(-0{,}30\ \text{m/s}) = 0{,}40\ \text{m/s}$$

Obwohl der Impuls erhalten bleibt, steigt die mechanische Energie des Systems, weil die Energie in den Muskeln der Astronautin in kinetische Energie umgesetzt wurde.



Kraftstoß

Wenn zwei Körper zusammenstoßen, üben sie normalerweise sehr große Kräfte aufeinander aus, jedoch nur für eine sehr kurze Zeit. Eine solche Kraft wird manchmal stoßartig genannt. Während der Stoßzeit $\boldsymbol{\Delta t}$ ist die Kraft groß, für alle anderen Zeiten ist sie vernachlässigbar klein.
Die durch das zeitliche Einwirken einer Kraft auf einen Körper hervorgerufene Impulsänderung wird auch **Kraftstoß** genannt.



Der Kraftstoß $\boldsymbol{\Delta p}$ ist definiert als:

$$\begin{aligned} \Delta p &= F\,\Delta t \\ &= m\,a\,\Delta t = m\,(\Delta v/\,\Delta t)\,\Delta t \\ &= m\,\Delta v \end{aligned}$$

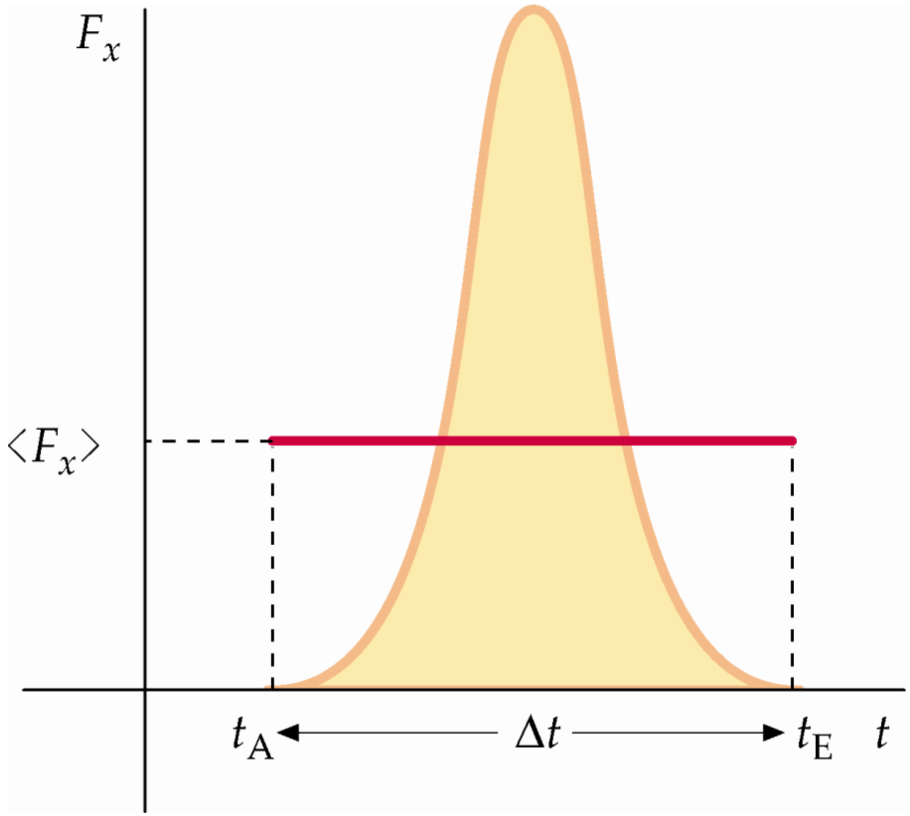
Kraftstoß und zeitliches Mittel der Kraft

Die mittlere Kraft ist diejenige konstante Kraft, die den gleichen Kraftstoß liefert, wie die tatsächlich im Intervall Δt wirkende Kraft.

$$\Delta p_S = \langle F \rangle \cdot \Delta t$$

Das ist ein Rechteck in der nebenstehenden Abbildung.

Die mittlere Kraft lässt sich aus der Impulsänderung bestimmen, wenn die Stoßzeit bekannt ist. Diese kann man oft aus der Strecke abschätzen, die einer der beiden Stoßpartner während des Stoßes zurücklegt.



Vorgehensweise: Abschätzung der mittleren Kraft

Um die mittlere Kraft abzuschätzen, schätzen wir zunächst den Kraftstoß $\boldsymbol{\Delta p_s}$. Dabei betrachten wir alle Kräfte außer der Stoßkraft als vernachlässigbar. Der Kraftstoß ergibt sich als Änderung des Impulses, die man als Produkt aus der Masse m und der Geschwindigkeitsänderung $\boldsymbol{v_E - v_A}$ berechnen kann. Eine Abschätzung für die Geschwindigkeitsänderung erhält man aus den (geschätzten) Werten für die Stoßzeit $\boldsymbol{\Delta t}$ und die während des Stoßes zurückgelegte Strecke $\boldsymbol{\Delta r}$.

1) Berechnen oder schätzen Sie den Kraftstoß $\boldsymbol{\Delta p_s}$ und die Stoßzeit $\boldsymbol{\Delta t}$. Für diese Schätzung müssen die Stoßkräfte auf den Körper wesentlich größer sein als alle anderen auf den Körper wirkenden Kräfte. Dieser Weg ist nur gangbar, wenn man die während des Stoßes zurückgelegte Strecke bestimmen kann.
2) Zeichnen Sie eine Skizze mit der Lage des Körpers vor und nach dem Stoß. Kennzeichnen Sie die Geschwindigkeiten $\boldsymbol{v_E}$ und $\boldsymbol{v_A}$ sowie die Strecke $\boldsymbol{\Delta r}$.
3) Berechnen Sie die Impulsänderung des Körpers durch den Stoß $\boldsymbol{\Delta p_s = m \cdot \Delta v}$.
4) Durch kinematische Überlegungen können Sie die Stoßzeit abschätzen.
5) Berechnen Sie die mittlere Kraft: $\langle F \rangle = \Delta p_S / \Delta t = m \cdot \Delta v / \Delta t$

Beispiel: Karateschlag

Mit einem gut geführten Karateschlag können Sie einen Betonblock zerschlagen. Nehmen wir an, Ihre Hand hat eine Masse von 0,70 kg, Sie schlagen mit einer Geschwindigkeit von 5,0 m/s auf den Block und stoppen Ihre Hand innerhalb von 6,0 mm nach dem Kontakt.

a) Welchen Kraftstoß übt Ihre Hand aus?

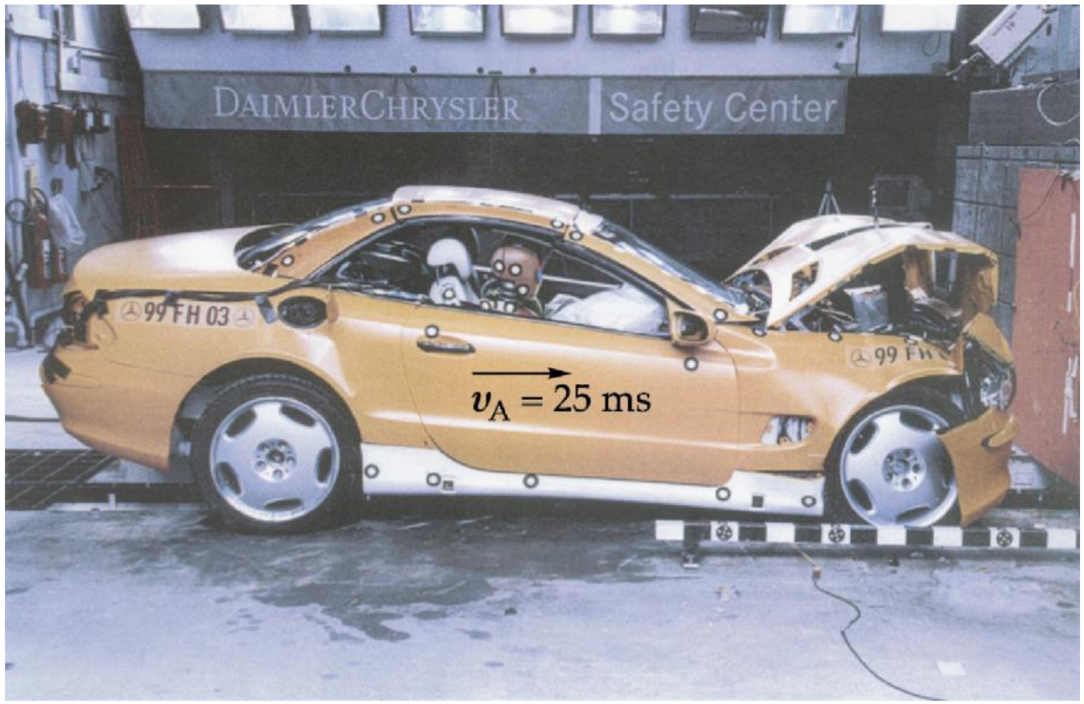
b) Wie groß sind näherungsweise die Stoßzeit und die mittlere Kraft, die der Block auf Ihre Hand ausübt?

Beispiel: Knautschzone

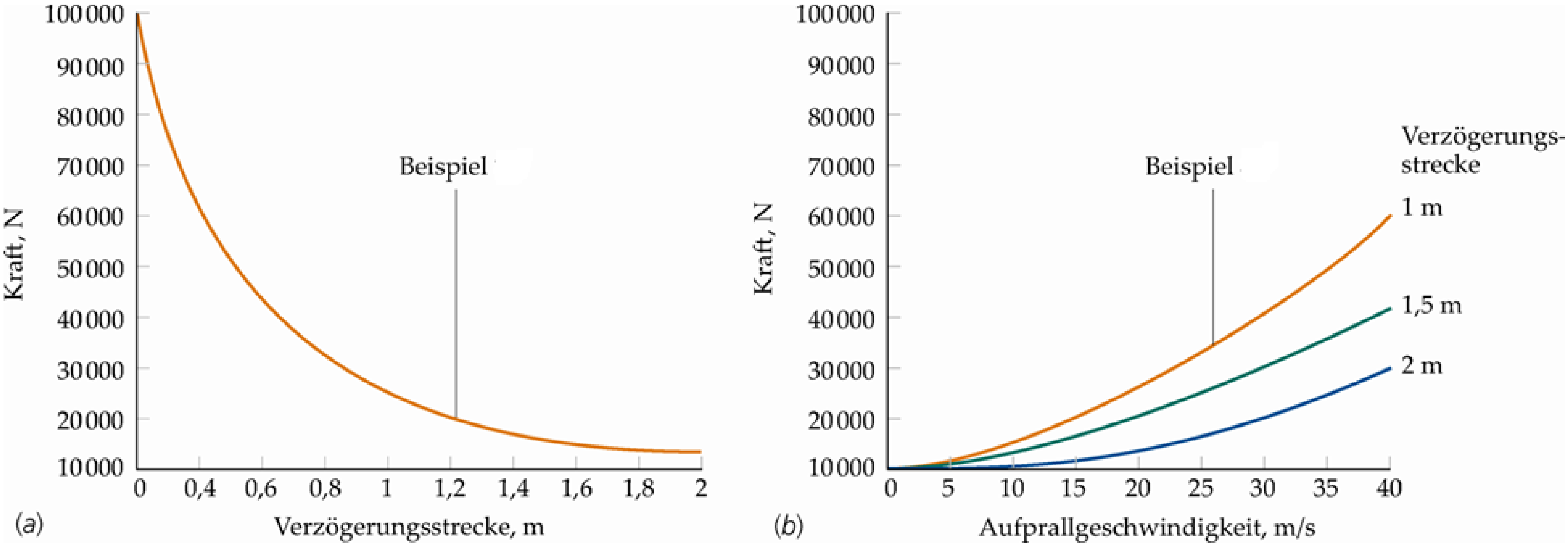
Ein Auto mit einem Dummy von 80 kg fährt mit 25 m/s gegen eine Wand.

a) Schätzen Sie ab, wie weit der Dummy während des Crashs nach vorne geschleudert wird.

b) Schätzen Sie die mittlere Kraft ab, die der Sicherheitsgurt auf den Dummy ausübt.



Kraft in Abhängigkeit von Verzögerungsstrecke und Aufprallgeschwindigkeit



Beispiel: Golf

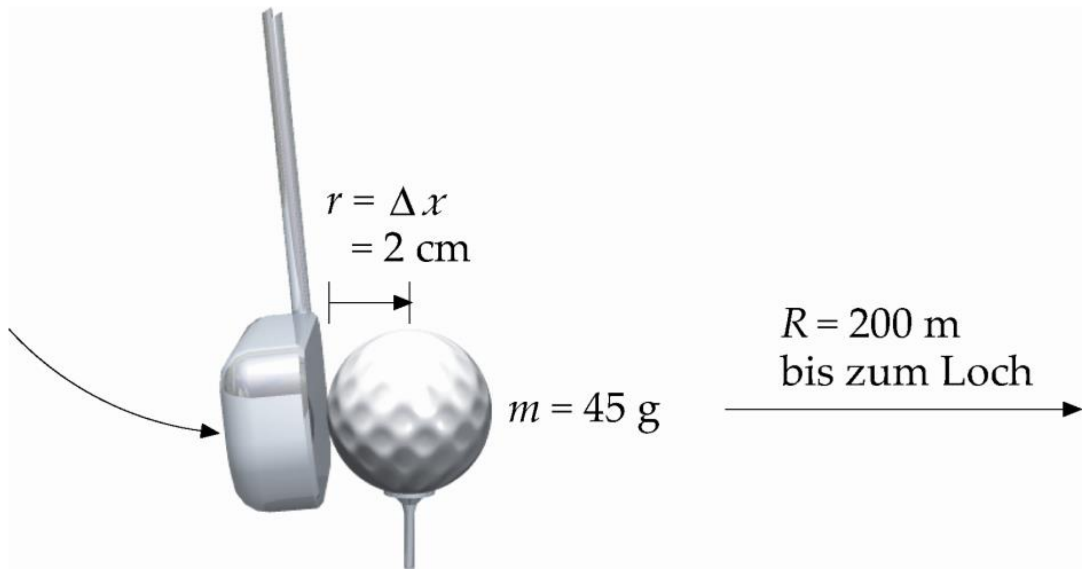
Sie schlagen einen Golfball mit Ihrem Schläger an. Der Ball fliegt unter einem Winkel von $\Theta = 13°$ gegen die Horizontale davon.
Die Reichweite des Schlages beträgt 200 m. Ein typischer Golfball hat eine Masse von m = 45 g und einen Radius von r = 2,0 cm.

Geben Sie plausible Abschätzungen ab für:

a) den Kraftstoß Δp

b) die Stoßzeit Δt

c) die mittlere Kraft <F>



Beispiel: Auffangen im Weltall

Die Astronautin Lucy mit einer Masse von 60 kg unternimmt einen Weltraum-spaziergang, um einen Kommunikationssatteliten zu reparieren. Plötzlich will sie etwas in ihrem Handbuch nachschlagen. Sie haben das Buch zufällig dabei und werfen ihr das Buch mit einer Geschwindigkeit von 4,0 m/s relativ zum Raumschiff zu. Bevor sie das 3 kg schwere Buch auffängt, ist Lucy bezüglich des Raumschiffs in Ruhe.

Berechnen Sie:

a) die Geschwindigkeit von Lucy, unmittelbar nachdem sie das Buch aufge-fangen hat,

b) die kinetische Energie des Systems Buch - Astronautin am Anfang und am Ende des Vorgangs,

c) den Kraftstoß, den das Buch auf Lucy ausgeübt hat.

Beispiel: Auffangen im Weltall

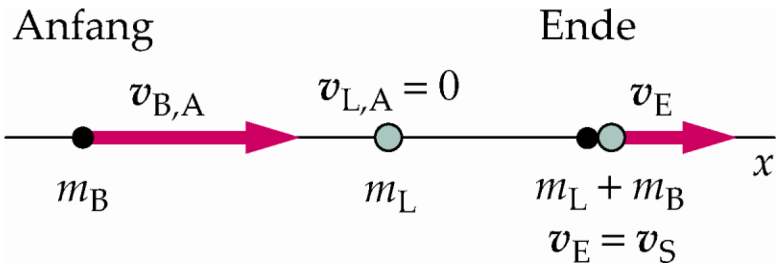
Teilaufgabe a):

Anwenden des Impulserhaltungssatzes:

$$m_B\, v_{B,A} + m_L\, v_{LA} = (m_B + m_L)v_E$$

$$v_E = \frac{m_B\, v_{B,A} + m_L\, v_{LA}}{m_B + m_L}$$

$$= \frac{3.0\text{ kg } 4.0\text{ m/s} + 60\text{ kg } 0\text{ m/s}}{3.0\text{ kg} + 60\text{ kg}} = 0.19\text{ m/s}$$



Beispiel: Auffangen im Weltall

Teilaufgabe b):

1. Da sich die Astronautin anfangs in Ruhe befindet, ist die kinetische Anfangs-energie des Systems die kinetische Anfangsenergie des Buches:

   $E_{kin,B,A} = ½\ m_B v^2_{BA} = ½\ 3{,}0\ kg\ (4\ m/s)^2 = 24\ J$

2. Die kinetische Endenergie des Systems ist die kinetische Energie von Buch und Astronautin, die sich zusammen mit der Geschwindigkeit v_E bewegen:

   $E_{kin,E} = ½\ (m_B + m_L)\ v^2_E = ½\ 63\ kg\ (0{,}19\ m/s)^2 = 1{,}1\ J$

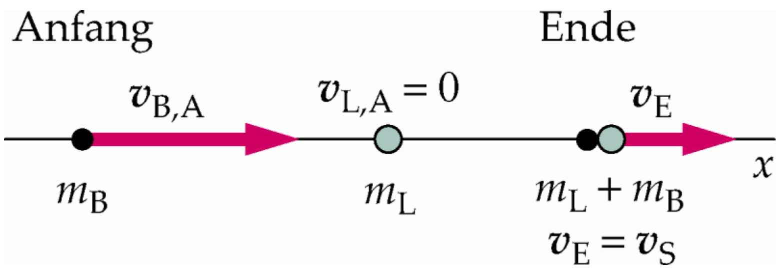
Der größte Teil der kinetischen Energie in diesem Stoß geht durch Umwandlung in Wärme verloren!

Beispiel: Auffangen im Weltall

Teilaufgabe c):

Gleichsetzen des Kraftstoßes auf die Astronautin mit ihrer Impulsänderung:

$$\Delta p_L = m_L \Delta v_L$$
$$= 60\ \text{kg}\ (0{,}19\ \text{m/s} - 0)$$
$$= 11{,}4\ \text{kg}\cdot\text{m/s} = 11{,}4\ \text{N}\cdot\text{s}$$



Erhaltung des Impulses vs. Erhaltung der Energie

Wann benutzt man den Satz der Erhaltung der (mechanischen) Energie und wann benutzt man den Satz der Erhaltung des Impulses?

Der Satz der Erhaltung des Impulses gilt immer und unabhängig von der Energie.

Der Satz der Erhaltung der mechanischen Energie gilt nur in einem konservativen System (d. h. die die Gesamtarbeit an einem Teilchen auf einer beliebigen geschlossenen Bahn ist gleich null).

Bei den meisten Stößen wird mechanische Energie (zumindest teilweise) in eine andere Energieform umgewandelt, das System ist dann **nicht** konservativ.

Wenn die kinetische Gesamtenergie nach dem Stoß dieselbe ist wie davor, dann spricht man von einem **elastischen** Stoß, andernfalls von einem **inelastischen** Stoß.

Ein Extremfall ist der **vollständig inelastische Stoß**, in dem die gesamte kinetische Energie in thermische oder innere Energie des Systems umgewandelt wird und die beiden Körper eine gemeinsame Geschwindigkeit haben (meist, weil sie aneinander haften).

Elastischer oder inelastischer Stoß?

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:

   $$E_{mech} = \frac{1}{2}\, m\, v^2_S$$

   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