HOCHSCHULE DEGGENDORF
University of Applied Sciences



Physik für Infotronik (6)

Gerald Kupris

25.10.2012

Bewegung in zwei und drei Dimensionen

Flugdatenschreiber

Die Flugdatenschreiber der Unglücksmaschine des Rio-Paris-Fluges AF447 sind nach mehreren aufwendigen Such-Aktionen im Mai 2011 im Atlantik in 3000-4000 Metern Tiefe gefunden worden. Trotz zwei Jahren Aufenthalt auf dem Meeresboden unter widrigsten Bedingungen sind die aufgezeichneten Daten nutzbar.

Flugdatenschreiber

Flugdatenschreiber sind geradezu unglaubliche Überlebenskünstler. Es handelt sich um eine extrem ausgereifte Technologie: Sogar die Flugzeug-Erfinder Gebrüder Wright hatten bei ihren frühen Flügen bereits einfache Aufzeichnungsgeräte etwa für Geschwindigkeit und Höhe dabei.

Lange Zeit wurden die Daten auf Magnetband aufgezeichnet. Seit Ende der 80er-Jahre haben sich digitale Datenspeicher immer mehr ausgebreitet, die zum Teil mehr als 100 Flugparameter wie Höhe, Geschwindigkeit, Kurs, Neigungswinkel der Maschine, Ruder- und Klappenstellungen sowie Triebwerksparameter aufzeichnen.

Die Belastungen, die ein Flugschreiber nach der Richtlinie TSO C124a aushalten muss, ohne seine Daten zu verlieren, sind fast unglaublich:

- 1100 Grad Celsius für bis zu 60 Minuten
- 260 Grad Celsius für 10 Stunden
- Eine Beschleunigung von 3400 G für 6,5 Millisekunden
- Eine Druckfestigkeit entsprechend 20.000 Fuß (6096 m) Wassertiefe

Zu den bekanntesten Herstellern von Flugdatenschreibern zählen Honeywell, Hamilton Sundstrand und L-3 Communications Corporation.

Flugdatenschreiber

"Pinger"
Der Underwater Locator Beacon sendet bei Wasserkontakt bis zu 90 Tage sekündlich ein 37,5-KHz-Signal. Reichweite: 1 Meile.

Power Supply
Die Stromversorgung arbeitet mit 115 VAC oder 28 VDC. Integrierte Akkus können darüber hinaus bis zu 30 Tage überbrücken.

Datenspeicher
Die Crash Survivable Memory Unit (CSMU) enthält Speicherchips für bis zu 25 Stunden unkomprimierte Datenaufzeichung.

Harte Schale
Flugschreiber müssen 20.000 Fuß Wassertiefe, 3400 G für 6,5 ms, 1100 Grad Hitze für 60 Minuten und 260 Grad für 10 Stunden aushalten.

Schutzmantel
Um die Boards mit den Speicherchips zu schützen, sind diese eingebettet in einen isolierten Stahlzylinder, gefüllt mit Paraffin.

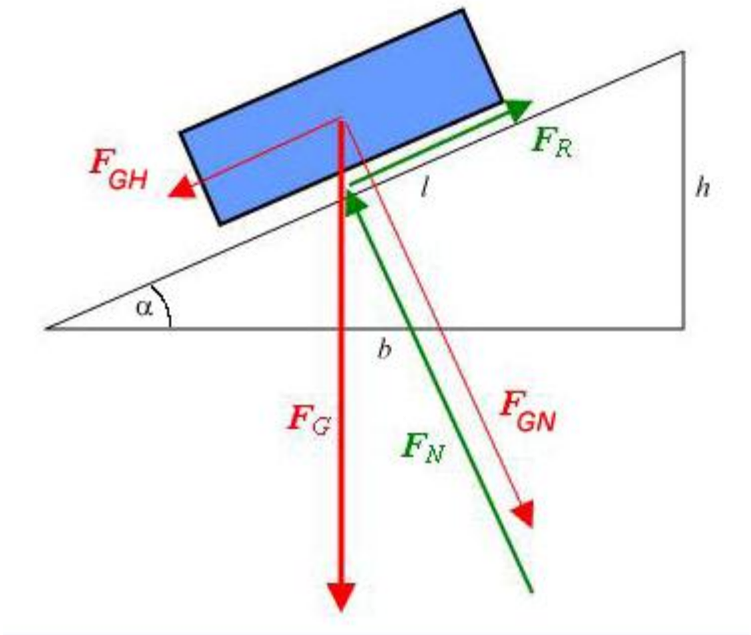
Interface
Das Interface and Control Circuit Board steuert die Kommunikation zwischen Datenlieferanten und der Speichereinheit.

Quelle: ElektronikPraxis

Wiederholung: die schiefe Ebene

α : Neigungswinkel der schiefen Ebene
l : Länge der schiefen Ebene
h : Höhe der schiefen Ebene
b : Basis der schiefen Ebene

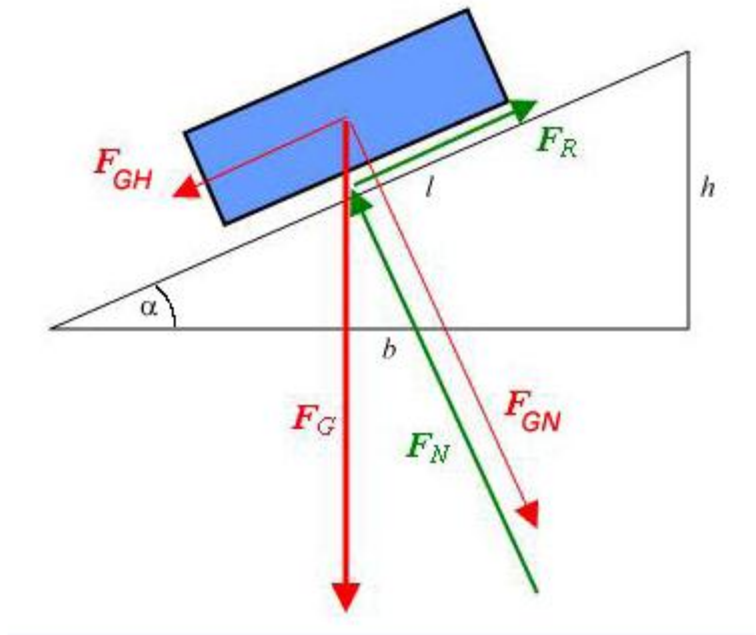
m : Masse des Körpers
F_G : Gewichtskraft der Masse
F_{GN} : Normalkomponente der Gewichtskraft F_G
F_N : Normalkraft
F_{GH} : Hangabtriebskomponente der Gewichtskraft F_G
F_R : Haftreibungskraft
μ_H : Haftreibungskoeffizient
μ : Gleitreibungskoeffizient



Wiederholung: die schiefe Ebene

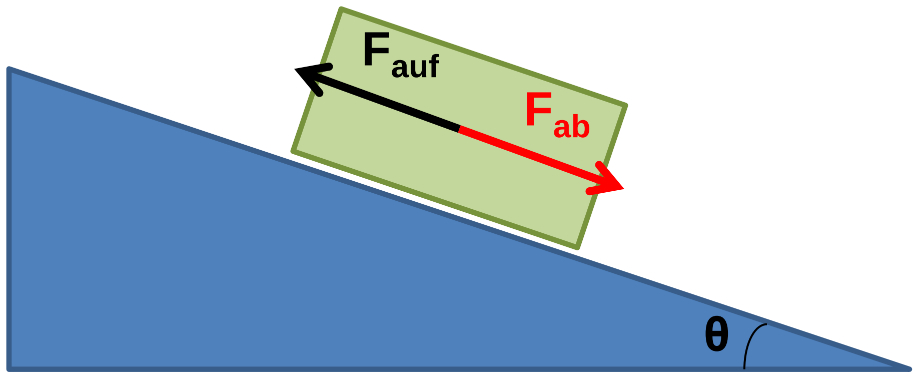
α : Neigungswinkel der schiefen Ebene
l : Länge der schiefen Ebene
h : $h = l \cdot \sin\alpha$
b : $b = l \cdot \cos\alpha$

m : Masse des Körpers
F_G : $F_G = m \cdot g$
F_{GN} : $F_{GN} = m \cdot g \cdot \cos\alpha$
F_N : $F_N = - F_{GN}$
F_{GH} : $F_{GH} = m \cdot g \cdot \sin\alpha$
F_R : $F_R = \mu_H \cdot F_N$
μ_H : Haftreibungskoeffizient
μ : Gleitreibungskoeffizient



Beispiel zur Schiefen Ebene

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?



Gleichgewicht: $F_{auf} = F_{ab}$

Gleichgewicht: $F_{auf} = F_{ab}$

$F_{ab} = m\,g \cdot \sin\theta$
$F_{auf} = (m\,v^2 / r) \cdot \cos\theta$

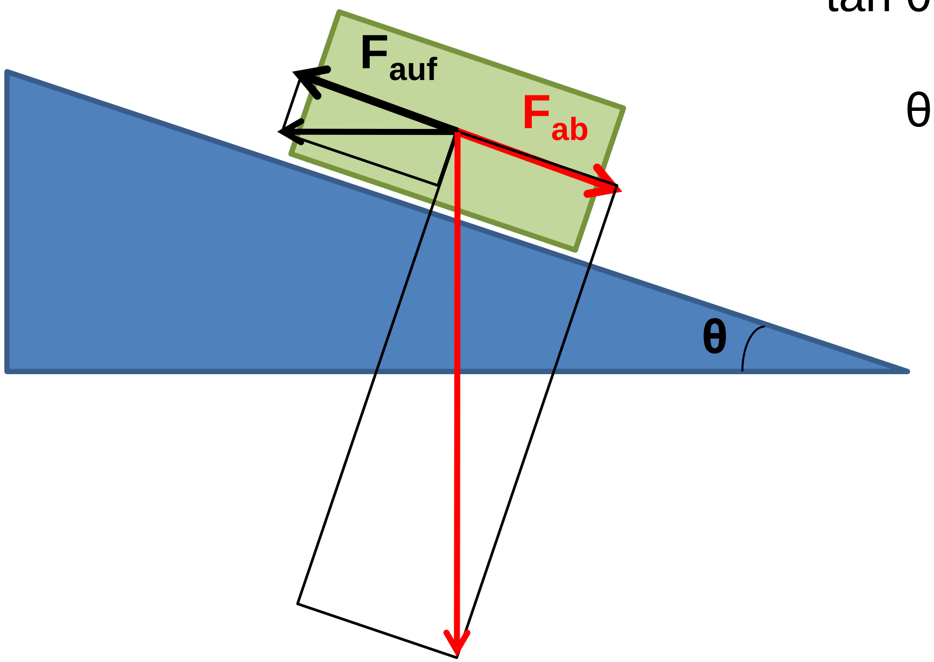
$$m\,g \cdot \sin\theta = (m\,v^2 / r) \cdot \cos\theta$$

$$\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{m\,v^2}{r\,m\,g}$$

$$\tan\theta = \frac{v^2}{r\,g}$$

$$\theta = \operatorname{atan}\frac{v^2}{r\,g}$$

$$= 24{,}8°$$



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“).

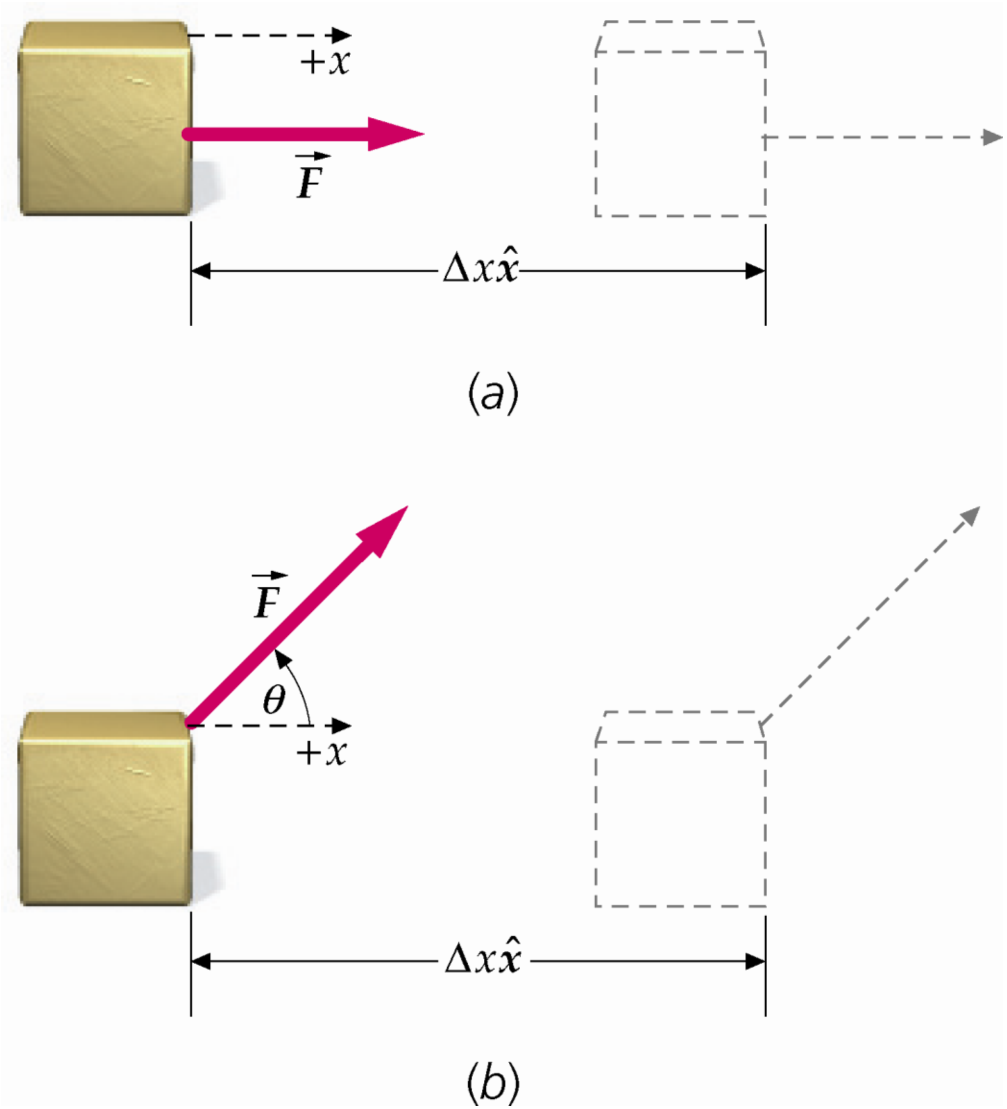
Die Bedeutung des physikalischen Begriffs Arbeit beruht auf folgendem Sachverhalt: Bewirkt die betrachtete Kraft die Bewegung des Körpers, so erhöht sich seine potentielle Energie auf dem Weg von A nach B um die an ihm verrichtete Arbeit W.

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:

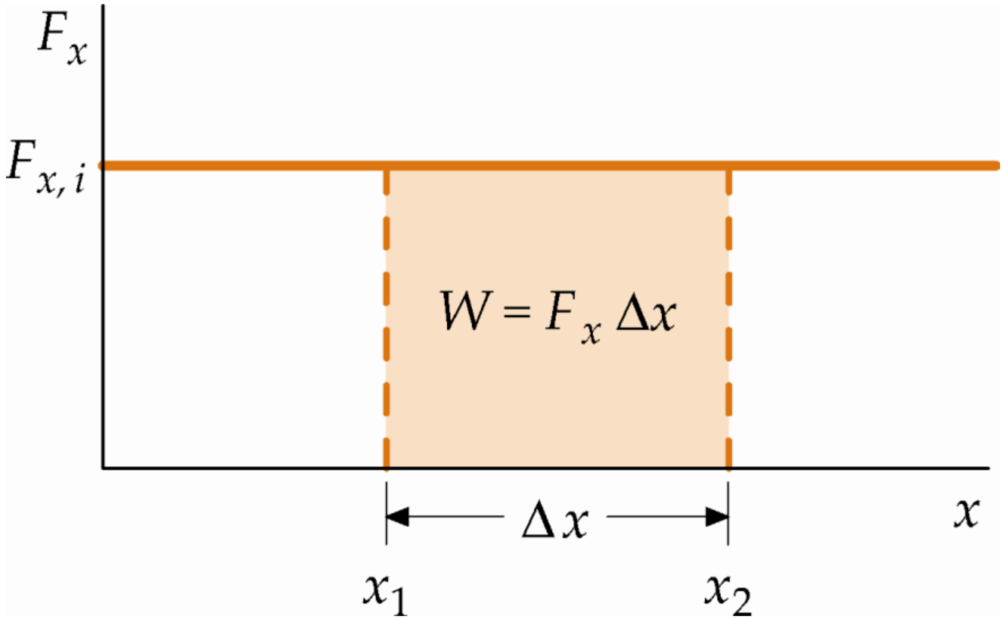
$W = F_x \Delta x = |F| \cos\theta\, |\Delta x|$

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

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.

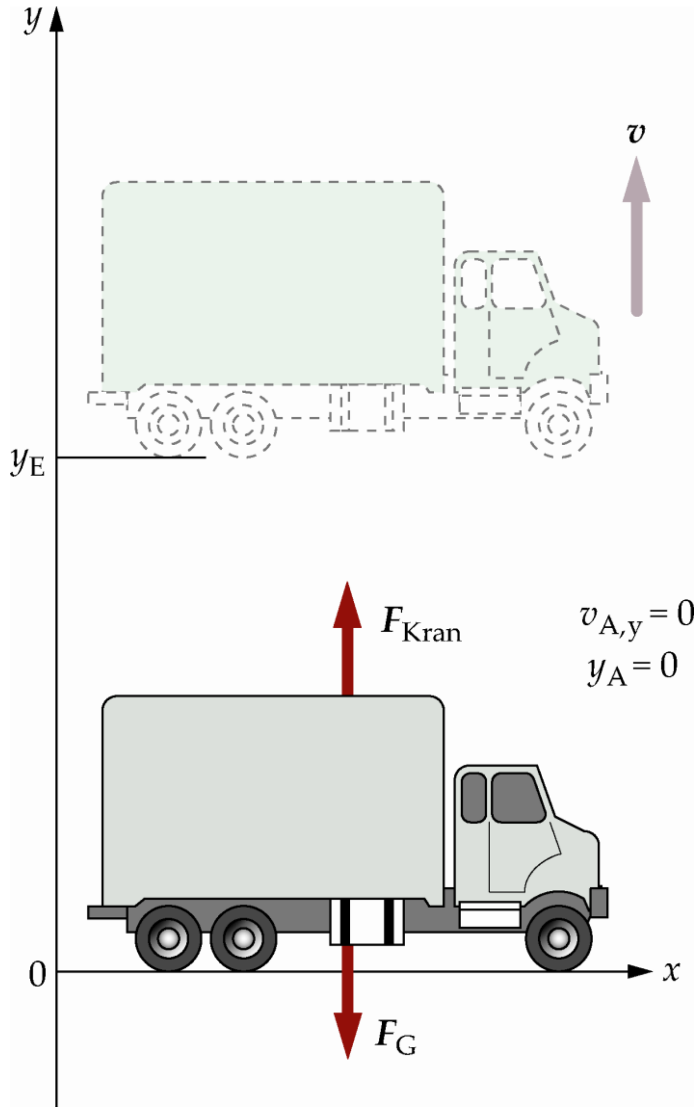
Ermitteln Sie:

a) die Arbeit, die der Kran an dem LKW verrichtet,

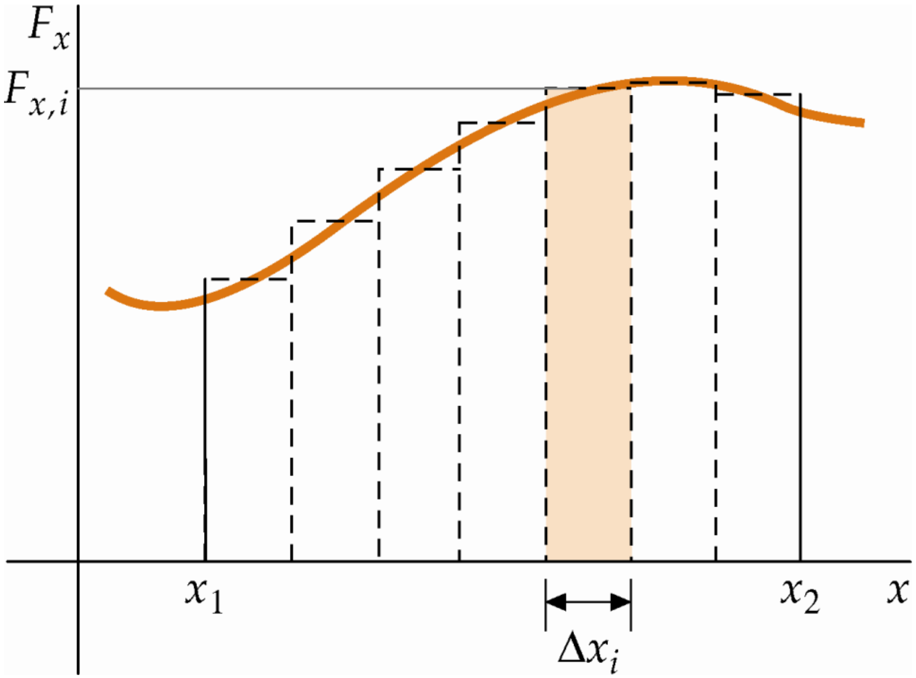
b) die Arbeit, die die Gravitationskraft an dem LKW verrichtet,

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

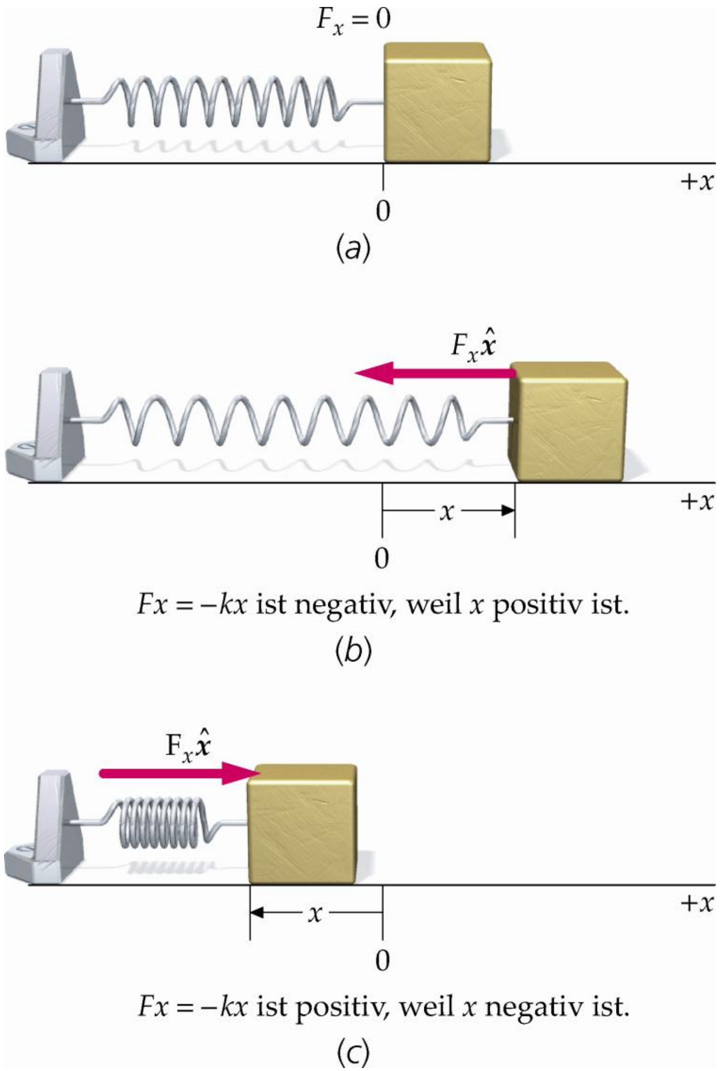


$$W \approx \sum_{i=1}^{N} W_i = \sum_{i=1}^{N} \mathbf{F}(\mathbf{s}_i)\Delta\mathbf{s}_i \,.$$

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

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

Beispiel: Kraft einer Federspannung



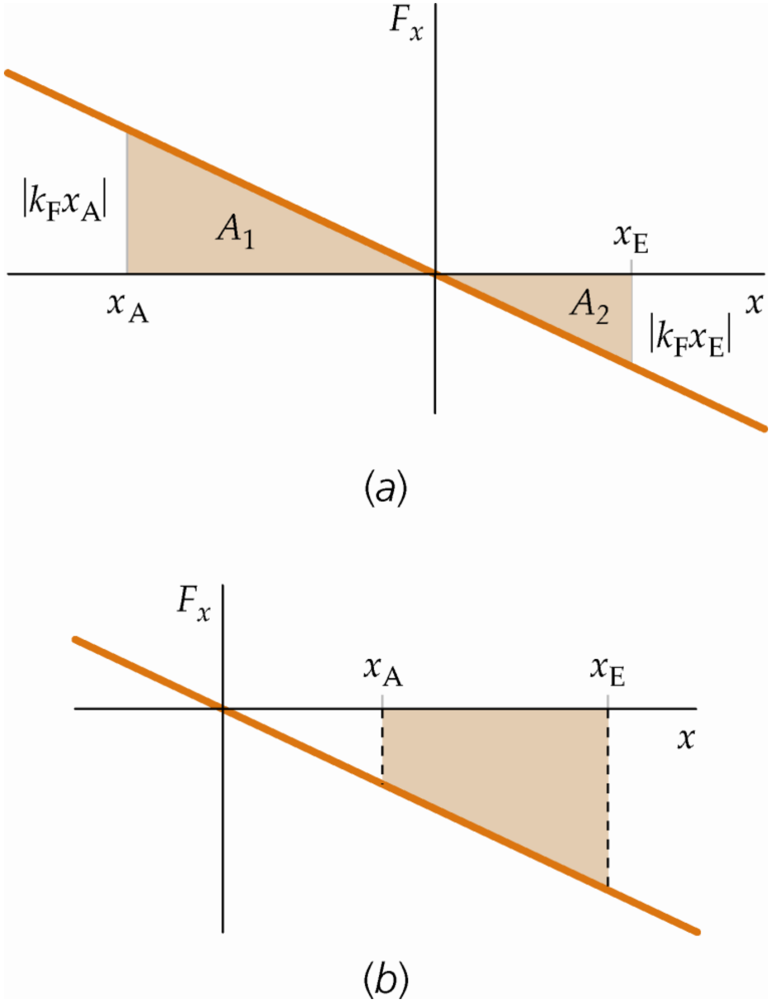
$$F_x = -k_F\, x \quad \text{(das Hooke'sche Gesetz)}$$

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.

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

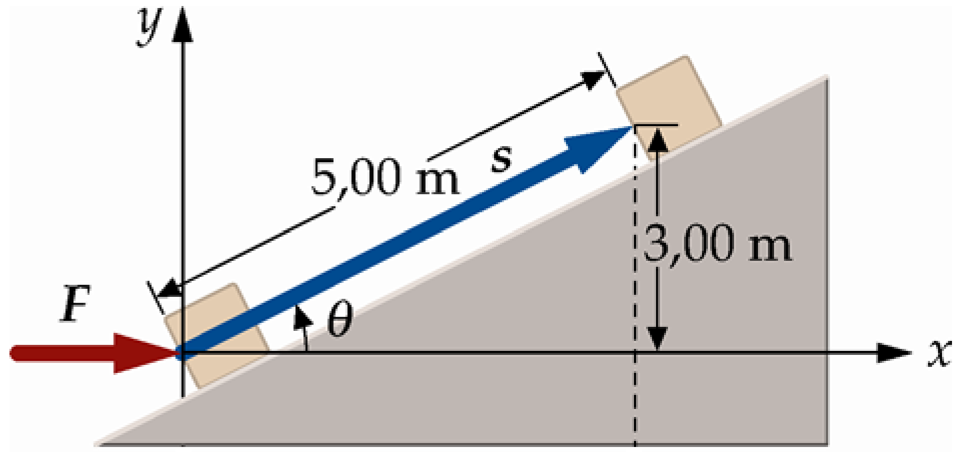
$$W = F_x \cdot \Delta x + F_y \cdot \Delta y + F_z \cdot \Delta z$$

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.

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

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

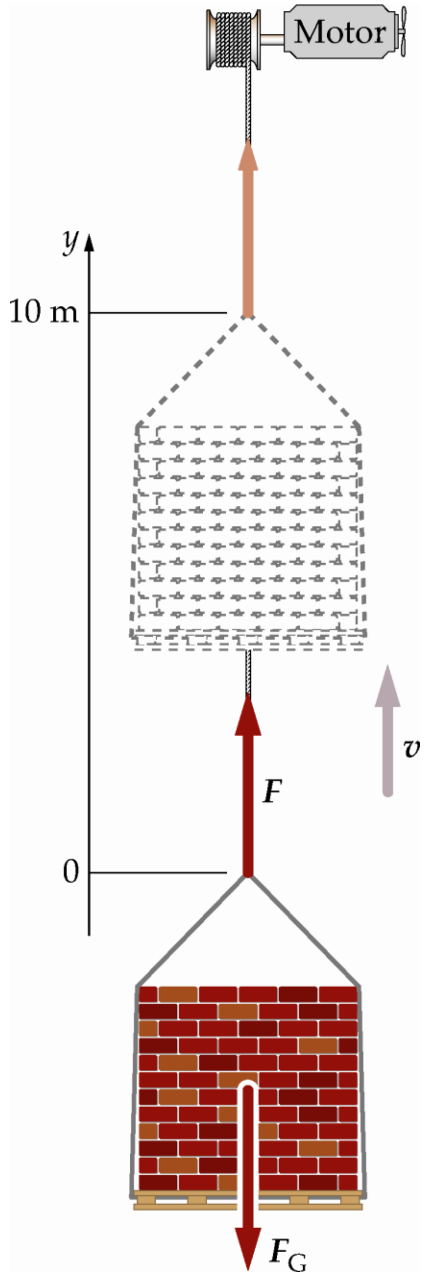
Beispiel: die Leistung eines Motors

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).

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 ($\mu_R = 0{,}025$),
   b) wenn die Hinterräder, auf denen die halbe Gewichtskraft lastet, durch die angezogene Handbremse blockiert sind ($\mu_0 = 0{,}9$)?

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 ($\mu_0 = 0{,}7$)?
   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/s²
   b) 6,25 kN
   c) 2,18 s

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

10. 1,25 MN

Literatur und Quellen

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

http://de.wikipedia.org/

HOCHSCHULE DEGGENDORF
University of Applied Sciences
HDU

Hochschule Deggendorf – Edlmairstr. 6 und 8 – 94469 Deggendorf