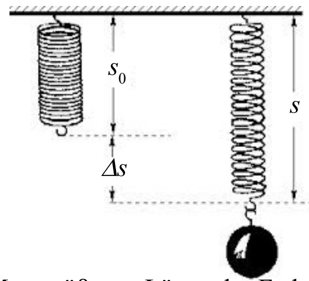
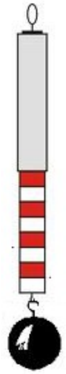
a) *Zeichne einen Versuch, mit dem die Federkonstante (Härte) einer Feder gemessen werden kann.*

b) *Gib an, welche Größen gemessen werden müssen.*

c) *Gib an, wie die Federkonstante berechnet wird.*

a)





b) Messgrößen: • Länge der Feder s_0 ohne Massenstück.

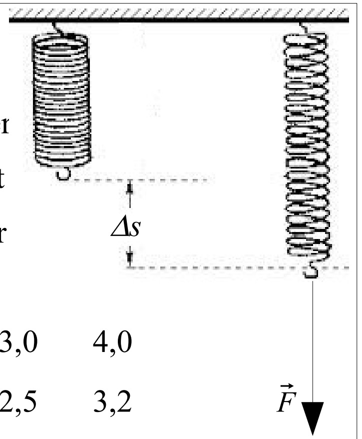
• Länge der Feder mit Massenstück s.

• Gewichtskraft F des Massenstücks (Bild rechts).

c) Die Auslenkung Δs ist die Differenz der Federlängen $\Delta s = s - s_0$.

Die Federkonstante D wird berechnet mit $D = \frac{F}{\Delta s}$

In einem Experiment wird die Auslenkung Δs einer Feder in Abhängigkeit von der Kraft F gemessen, mit der die Feder gedehnt wird:



F in N	1,0	2,0	3,0	4,0
Δs in cm	0,8	1,6	2,5	3,2

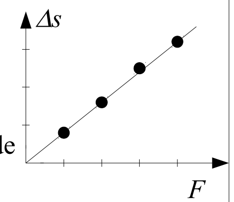
Analysiere die Messung.

Schritt 1: Je ..., desto ....
Je größer die Kraft F ist, desto größer ist die Auslenkung Δs.
Schritt 2: Vermutung: Die Auslenkung Δs ist proportional zur Kraft.
$\Delta s \sim F$ (für eine bestimmte, konstante Feder)
Schritt 3: Überprüfung der Vermutung
a) Verdoppelt, (verdreifacht, ...) sich die Kraft, so verdoppelt (verdreifacht, ...) sich die Auslenkung. (**stimmt**)

F in N: $1{,}0 \xrightarrow{\cdot 2} 2{,}0 \quad 3{,}0 \xrightarrow{\cdot 2} 4{,}0$ ($1{,}0 \xrightarrow{\cdot 3} 3{,}0$)

Δs in cm: $0{,}8 \xrightarrow{\cdot 2} 1{,}6 \quad 2{,}5 \xrightarrow{\cdot 2} 3{,}2$ ($0{,}8 \xrightarrow{\cdot 3{,}1} 2{,}5$)

b) $F/\Delta s$ in N/cm 1,3 1,3 1,2 1,3
Die Quotienten sind im Rahmen der Messgenauigkeit konstant. (**stimmt**)
c) Der F-Δs-Graph ist eine ist eine Ursprungsgerade

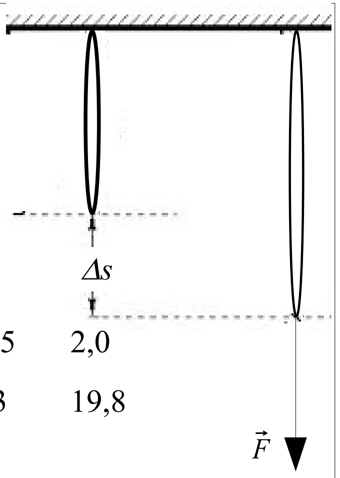


Schritt 4: Ergebnis: Die Vermutung stimmt: $\Delta s \sim F$.

In einem Experiment wird die Auslenkung Δs eines Gummibandes in Abhängigkeit von der Kraft F gemessen, mit der die Feder gedehnt wird:

F in N	0,5	1,0	1,5	2,0
Δs in cm	2,4	7,0	13	19,8

Analysiere die Messung.

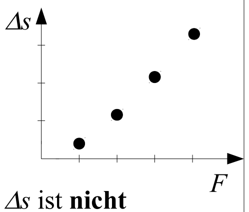


Schritt 1: Je ..., desto ....
Je größer die Kraft F ist, desto größer ist die Auslenkung Δs.
Schritt 2: Vermutung: Die Auslenkung Δs ist proportional zur Kraft.
$\Delta s \sim F$ (für eine bestimmtes, konstantes Gummiband)
Schritt 3: Überprüfung der Vermutung
a) Verdoppelt, (verdreifacht, ...) sich die Kraft, so verdoppelt (verdreifacht, ...) sich die Auslenkung. (**stimmt hier nicht!**)

F in N: 0,5 $\xrightarrow{\cdot 2}$ 1,0 — 1,5 $\xrightarrow{\cdot 2}$ 2,0; 0,5 $\xrightarrow{\cdot 3}$ 1,5

Δs in cm: 2,4 $\xrightarrow{\cdot 2{,}9}$ 7,0 — 13 $\xrightarrow{\cdot 2{,}8}$ 19,8; 2,4 $\xrightarrow{\cdot 5{,}4}$ 13

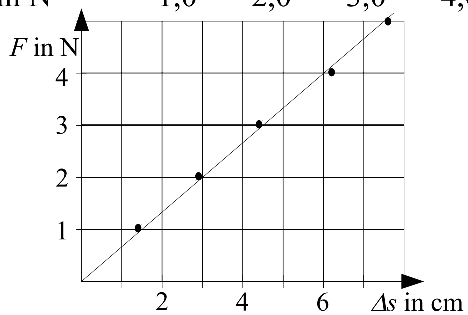
b) $F/\Delta s$ in N/cm 0,21 0,14 0,12 0,10
Die Quotienten stimmen **nicht** überein.
c) Der F-Δs-Graph ist **keine** Ursprungsgerade



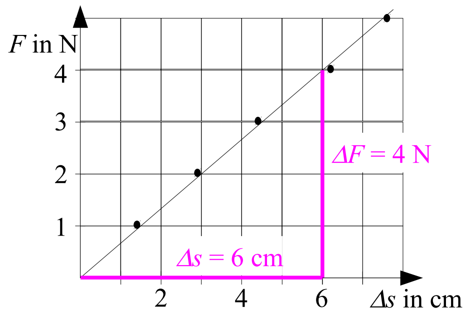
Schritt 4: Ergebnis: Die Vermutung stimmt **nicht**: Δs ist **nicht** proportionale zu F.

Für eine Schraubenfeder misst man die Auslenkung Δs in Abhängigkeit von der Zugkraft F:

Δs in cm	1,4	2,9	4,4	6,2	7,6
F in N	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0



Bestimme die Steigung und gib ihre physikalische Bedeutung an.



$$Steigung = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{4\,N}{6\,cm} = 0{,}67\,\frac{N}{cm}$$

Physikalische Bedeutung der Steigung: Die Steigung entspricht der Federkonstante (auch: Härte) D der Feder.

Masse und Gewichtskraft.

Betrachte eine 500-Gramm-Packung Zucker.

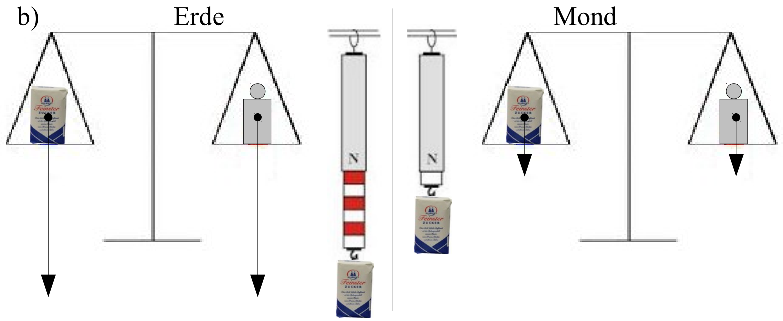
a) *Vergleiche die Masse und die Gewichtskraft des Zuckers in Neuss und auf dem Mond.*

b) *Erkläre a), indem du angibst, wie Massen beziehungsweise Gewichtskräfte gemessen werden.*

c) *Gib einen mathematischen Zusammenhang zwischen Masse und Gewichtskraft an.*

a) Die Masse ist gleich, die Gewichtskraft ist auf dem Mond kleiner.

b)



Da die Gewichtskraft des Zuckers und des Gewichtsstücks auf dem Mond um den gleichen Faktor kleiner sind als auf der Erde (siehe Pfeile), ist die Balkenwaage auch auf dem Mond ebenfalls im Gleichgewicht.

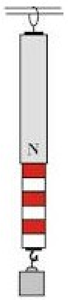
c) $F_G = m \cdot g$ (Gewichtskraft = Masse · Ortsfaktor)

a) Eine Tafel Schokolade „wiegt“ 100 Gramm.

Berechne die Gewichtskraft der Schokolade auf der Erde.

b) Ein Gewichtsstück besitzt (auf der Erde) eine Gewichtskraft von 19,6 Newton.

Bestimme die Masse dieses Gewichtsstücks.



a) gegeben: $m = 0{,}1$ kg gesucht: $F_G = ?$

$$F_G = m \cdot g = 0{,}1\,kg \cdot 9{,}8\,\frac{N}{kg} = 0{,}98\,N$$

Es kann auch mit dem Ortsfaktor $g = 10\,\frac{N}{kg}$ gerechnet werden.

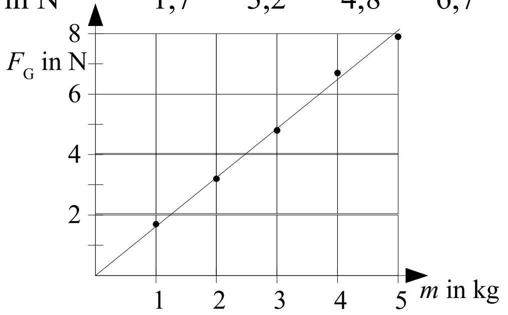
b) gegeben: $F_G = 19{,}6$ N gesucht: $m = ?$

$$F_G = m \cdot g \quad \big| :g$$

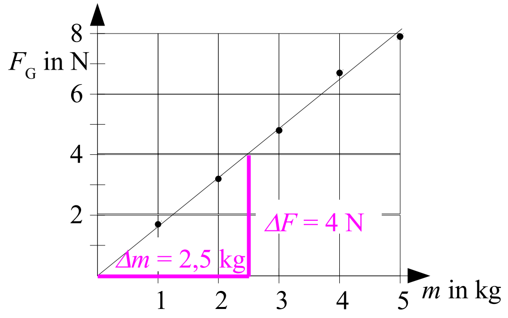
$$\Leftrightarrow m = \frac{F_G}{g} = \frac{19{,}6\,N}{9{,}8\,N/kg} = 2\,kg$$

Auf dem Mond wird die Gewichtskraft verschiedener Gewichtsstücke (1-5 kg) bestimmt:

m in kg	1	2	3	4	5
F_G in N	1,7	3,2	4,8	6,7	7,9



Bestimme die Steigung und gib ihre physikalische Bedeutung an.



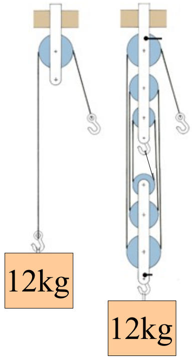
$$Steigung = \frac{\Delta F}{\Delta m} = \frac{4\,N}{2{,}5\,kg} = 1{,}6\,\frac{N}{kg}$$

Physikalische Bedeutung der Steigung: Die Steigung entspricht dem Ortsfaktor g des Mondes.

DB 72-76 Masse und Gewichtskraft

Ein Gewichtsstück m = 12 kg wird mit fünf verschiedenen Flaschenzügen um h = 2 m angehoben.

Dabei werden Zugkraft F und Strecke s, die das Seil gezogen werden muss bestimmt.



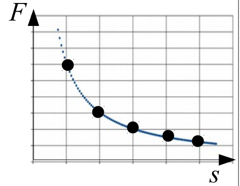
s in m	2,1	3,9	5,9	8,2	10,0
F in N	118	61	41	31	24

Analysiere die Messung.

Schritt 1: Je ..., desto ....
Je größer die Strecke s ist, desto kleiner ist die (Zug-)kraft F.
Schritt 2: Vermutung: Die Kraft F ist antiproportional zur Strecke s.
$F \sim 1/s$ (für eine konstante Masse m und Höhe h)
Schritt 3: Überprüfung der Vermutung
a) Verdoppelt, (verdreifacht, ...) sich die Strecke, so halbiert (drittelt, ...) sich die Kraft. (**stimmt**)

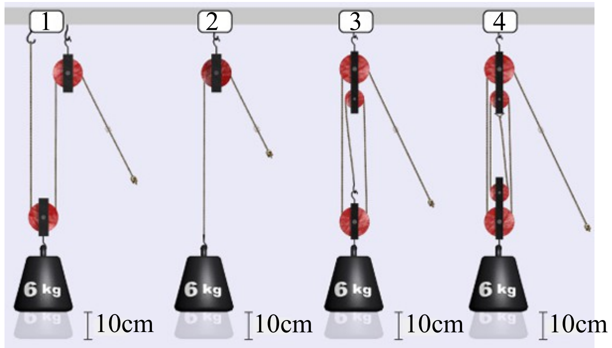
		·3		·2	
s in m	2,1	3,9	5,9	8,2	10,0
F in N	118	61	41	31	24
		:3		:2	

b) $F{\cdot}s$ in N·m 248 238 242 254 240
Die Produkte sind im Rahmen der Messgenauigkeit konstant (**stimmt ungefähr**).
c) Der s-F-Graph ist eine Hyperbel.



Schritt 4: Ergebnis: Die Vermutung stimmt: $F \sim 1/s$.

DB 92f Kräfte, Flaschenzug



Ein Gewichtsstück (6 kg) wird 10 cm angehoben.

a) *Bestimme die Zugkräfte und Wege, die das Seil gezogen werden muss.* b) *Berechne jeweils das Produkt $F{\cdot}s$.* c) *Erkläre das Resultat aus b.*

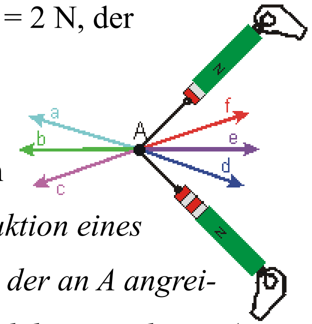
a,b) Die Gewichtskraft ist $F_G = m{\cdot}g$ = 6kg·10N/kg = 60 N.

Nummer	1	2	3	4	
n tragende Seile	2	1	3	4	
F in N	30	60	20	15	($F = F_G/n$)
s in m	0,2	0,1	0,3	0,4	($s = n{\cdot}h$)
$F{\cdot}s$ in N·m	6	6	6	6	

c) Alle drei Flaschenzüge heben ein Gewichtsstück F_G = 60 N um h = 0,1 m an. Dabei steigt dessen Lageenergie (Höhenenergie) um $E_L = F_G{\cdot}h$ = 60N·0,1m = 6 J. Diese Energiezunahme wird durch die (Hub-)arbeit $W = F{\cdot}s$ ermöglicht, die in allen Fällen 6 Nm = 6 J (Joule) beträgt.

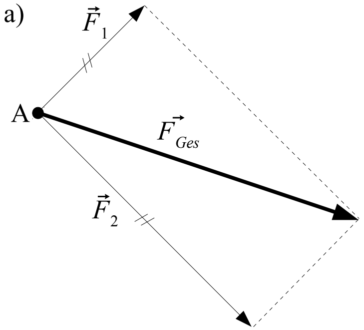
DB 92 Kräfte, Flaschenzug

Der obere Kraftmesser zieht mit F_1 = 2 N, der untere mit F_2 = 4 N am Punkt A.



Die Kraftrichtungen (schwarze Linien) schließen einen Winkel von 90° ein. a) *Bestimme durch Konstruktion eines Kräfteparallelogramms den Betrag der an A angreifenden Gesamtkraft (in Newton) und deren Richtung (a, b, ... oder f).* b) *Wie groß ist F_{Ges}, wenn beide Kräfte in die gleiche beziehungsweise in entgegengesetzte Richtungen wirken?*

a)



Maßstab: 1 cm entspricht 1 N

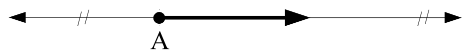
Der Pfeil für die Gesamtkraft (auch Ersatzkraft) ist 4,5 cm lang.

F_{Ges} = 4,5 N.

Die Richtung der Gesamtkraft entspricht d (Vorderseite).

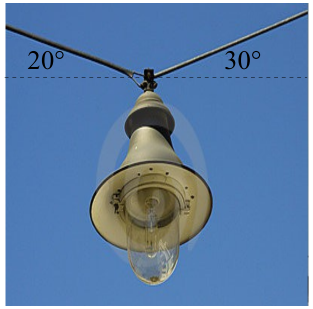
b) $\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$ wirken in die gleiche Richtung. F_{Ges} = 4N + 2N = 6N.

Entgegengesetzte Kraftrichtung: F_{Ges} = 4N - 2N = 2N.

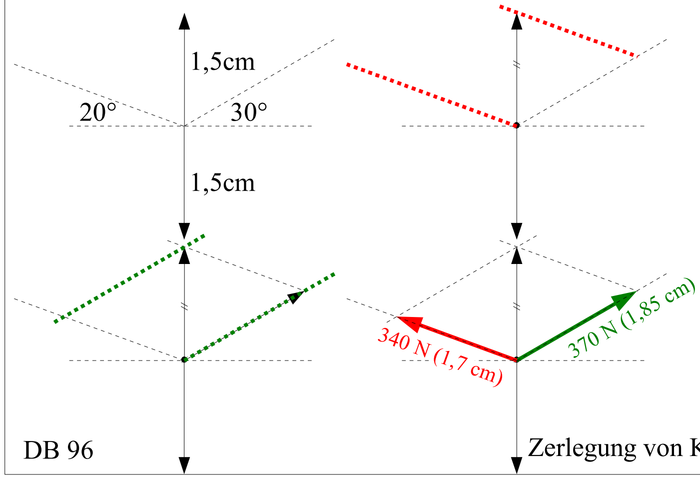


DB 94f Vektorielle Addition von Kräften

Eine Straßenlaterne der Masse 30 kg hängt frei an zwei Kabeln, die um 20° beziehungsweise um 30° gegen die Horizontale geneigt sind. *Bestimme zeichnerisch die Zugkraft F im rechten und linken Kabel.*



Die Gewichtskraft der Laterne ist $F_G = m{\cdot}g = 30\text{ kg}\cdot 10\text{ N/kg} = 300\text{ N}$.
Maßstab (hier): 1,5 cm entspricht 300 N; 1 cm entspricht 200 N.

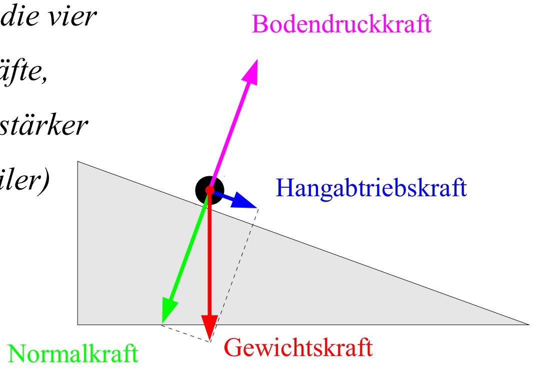


DB 96

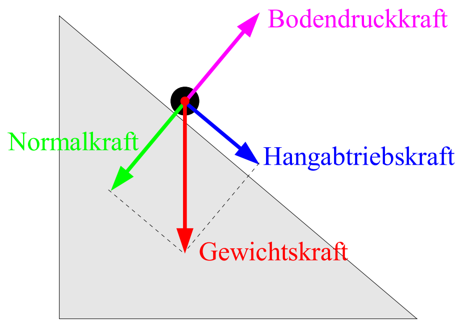
Zerlegung von Kräften

<u>Kräfte an der schiefen Ebene</u>:

Wie ändern sich die vier abgebildeten Kräfte, wenn die Ebene stärker geneigt (also steiler) wird? Bestätige durch Konstruktion.

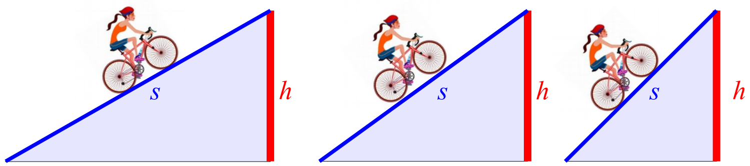


Die Gewichtskraft $F_G = m{\cdot}g$ bleibt gleich groß (roter Pfeil 2 cm lang, wie auf der Vorderseite).
Die Hangabtriebskraft wird größer; die Normalkraft und die Bodendruckkraft kleiner.



DB 97

Vektorielle Zerlegung von Kräften



Eine Radfahrerin (60 kg mit Fahrrad) hat drei verschiedene Wege s zur Auswahl, um die Höhe h = 200 m zu überwinden. Die Muskelkraft F, wird in Abhängigkeit vom Weg s gemessen:

s in m	2000	3000	6000
F in N	60	40	20

Analysiere die Messung.

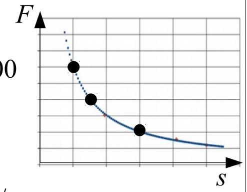
Schritt 1: Je ..., desto ....
Je größer die Strecke s ist, desto <u>kleiner</u> ist die (Muskel-)kraft F.
Schritt 2: Vermutung: Die Kraft F ist <u>antiproportional</u> zur Strecke s.

$F \sim 1/s$ (für eine konstante Masse m und Höhe h)

Schritt 3: Überprüfung der Vermutung
a) Verdoppelt, (verdreifacht, ...) sich die Strecke, so halbiert (drittelt, ...) sich die Kraft. (**stimmt**)

s in m	2000 $\xrightarrow{\cdot 3}$ 6000	3000 $\xrightarrow{\cdot 2}$	6000
F in N	60 $\xrightarrow{:3}$ 20	40 $\xrightarrow{:2}$	20

b) $F \cdot s$ in N·m 120000 120000 120000
Die <u>Produkte</u> sind konstant (**stimmt**).
c) Der s-F-Graph ist eine <u>Hyperbel</u>.



Schritt 4: Ergebnis: Die Vermutung stimmt: $F \sim 1/s$.

DB 97 Die schiefe Ebene

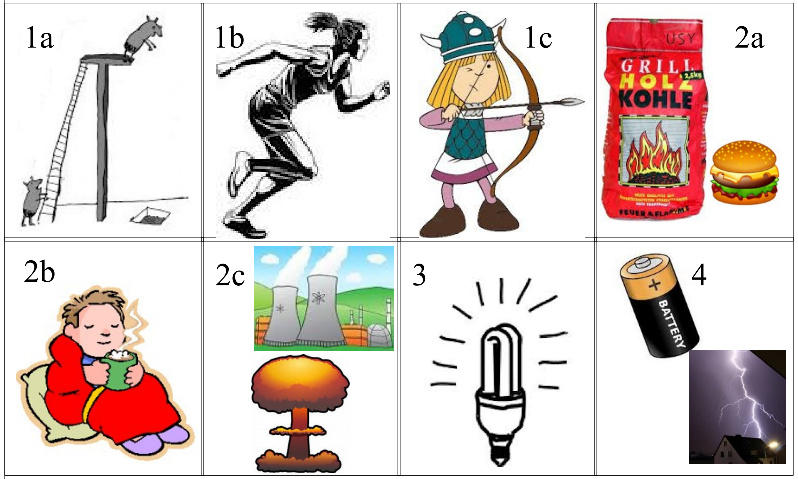
a) *Gib die Definitionsgleichung zur Berechnung der Arbeit an. Welche Einheit besitzt die Arbeit?*

b) *Erläutere an einem selbst gewählten Beispiel den Zusammenhang zwischen der Goldenen Regel der Mechanik und der Arbeit.*

a) Arbeit = Kraft·Weg $W = F \cdot s$ $[W] = 1\ \text{N} \cdot \text{m} = 1\ \text{J}$
Dabei müssen Kraft und Weg die gleiche Richtung besitzen.
b) Goldene Regel: Zur kleineren Kraft gehört der größere Weg und zur größeren Kraft gehört der kleinere Weg. Das Produkt aus Kraft und Weg (also die Arbeit) ist dabei konstant.
Beispiel 1(schiefe Ebene): Auf einem langen, flachen Berganstieg wird eine kleiner Muskelkraft benötigt, als auf einem kürzeren, steileren Weg, der zum gleichen Ziel führt. Die Arbeit entspricht dabei übrigens dem Produkt aus Gewichtskraft F_G und Höhenunterschied h.
Beispiel 2 (Flaschenzug): Die Kraft wird bei n tragenden Seilen auf F_G/n verkleinert; die Strecke $s = n \cdot h$ erhöht sich entsprechend.

DB 152 f Die goldene Regel der Mechanik

Gib zu jedem Bild eine geeignete Energieform an.



1a) Lageenergie (oder Höhenenergie)
1b) Bewegungsenergie
1c) Spannenergie

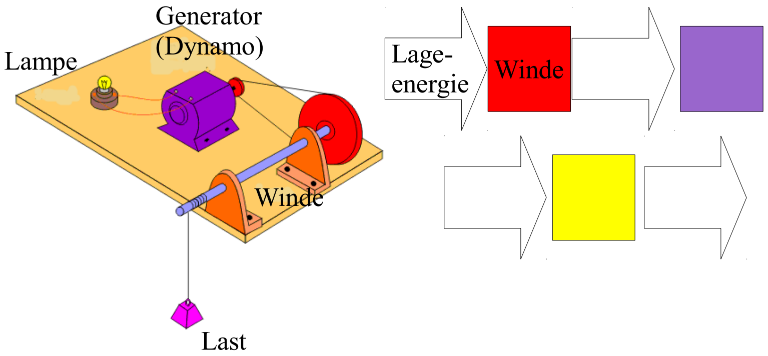
Mechanische Energie

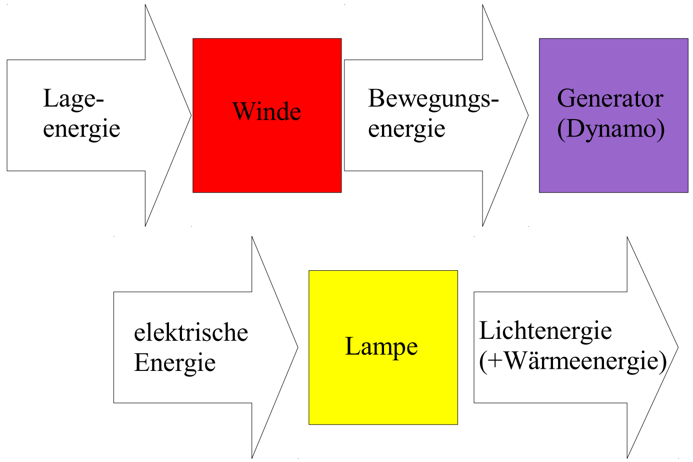
2a) Chemische Energie
2b) Wärmeenergie
2c) Kernenergie

Innere Energie

3 Lichtenergie (oder Strahlungsenergie)
4 elektrische Energie

Ergänze das Energieflussdiagramm.





Bei Lauras Hanteltraining hebt sie ihre Hantel (5 kg) um etwa 60 cm (eine Armlänge) an.

a) *Gib eine Formel für die Lageenergie an. Berechne die Zunahme der Lageenergie.*

b) *Welche Energieumwandlung findet während des Hebens der Hantel statt?*

c) *Erläutere an diesem Beispiel den Zusammenhang von Arbeit und Lageenergie.*

a) $E_L = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h = 5\ \text{kg} \cdot 10\text{N/kg} \cdot 0{,}6\text{m} = 30\ \text{N} \cdot \text{m} = 30\ \text{J}$

b) Es wird chemische Energie (Luftsauerstoff, Nahrung, ATP) in Lageenergie umgewandelt.

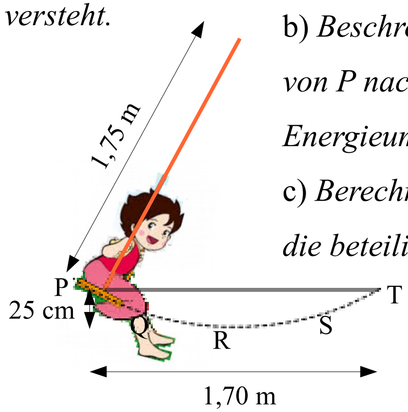
c) Das Mädchen verrichtet die Arbeit $W = 30$ J und überträgt dabei Energie auf die Hantel (Lageenergie).

Die mithilfe einer Kraft F längs eines Weges s übertragene Energie wird immer mit $W = F \cdot s$ berechnet. Man nennt sie auch Arbeit.

DB 148 f　　Ein Maß für Energie

Heidi (7 Jahre; 30 kg; 1,20 m) schaukelt gerne.

a) *Gib an, was man unter dem Energieerhaltungssatz versteht.*



b) *Beschreibe die beim Schaukeln von P nach T ablaufenden Energieumwandlungen.*

c) *Berechne für alle fünf Punkte die beteiligten Energien.* (Q und S befinden sich auf halber Höhe)

a) Bei Vorgängen ohne Reibung ist die Summe aller Energieformen in jedem Punkt gleich groß.

b) P → Q → R: Lageenergie wird vollständig in Bewegungsenergie umgewandelt.

R → S → T: Die Bewegungsenergie wird zurück in Lageenergie umgewandelt.

c) • $E_L(\text{P}) = m \cdot g \cdot h = 30\text{kg} \cdot 10\text{N/kg} \cdot 0{,}25\text{m} = 75$ J; $E_B(\text{P}) = 0$; $E_{ges} = 75$ J.

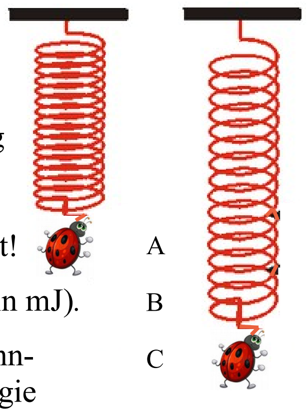
• $E_L(\text{Q}) = 1/2 \cdot E_L(\text{P}) = 37{,}5$ J; $E_B(\text{Q}) = E_{ges} - E_L(\text{Q}) = 37{,}5$ J.

• $E_L(\text{R}) = 0$ (, da $h = 0$); $E_B(\text{R}) = E_{ges} = 75$ J.

• S (siehe Q)　　• T (siehe P)

DB 146 f　　Energieerhaltung

Ein Marienkäfer namens Anton möchte Spaß haben. Zu diesem Zweck hängt er sich an eine völlig entspannte Schraubenfeder, die zu schwingen beginnt. Anton lacht!



Ergänze die fehlenden Energien (in mJ).

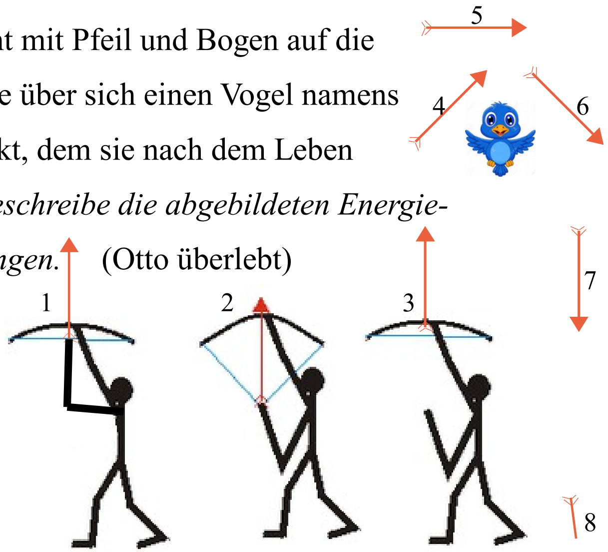
	Lage-energie	Bewegungs-energie	Spann-energie
A	0,8		
B		0,2	
C			

	Lage-energie	Bewegungs-energie	Spann-energie	Gesamtenergie
A	0,8	0	0	0,8
B	0,4	0,2	0,2	0,8
C	0	0	0,8	0,8

Erklärung: Punkt C ist der tiefste Punkt. $E_L(C) = 0$.
Punkt B liegt auf halber Höhe, Anton besitzt dort die Hälfte der Lageenergie von Punkt B. $E_L(B) = 0{,}4$ J.
Antons Geschwindigkeit ist in den Umkehrpunkten A und C Null. $E_B(A) = E_B(C) = 0$. In A ist die Feder laut Aufgabe entspannt. $E_S(A) = 0$. Mit Punkt A erhält man als Gesamtenergie $E_{ges} = 0{,}8$ J. Die Spannenergie in B und C ist der jeweils zu 0,8 mJ fehlende Energiebetrag.

DB 148 f Ein Maß für Energie

Merida geht mit Pfeil und Bogen auf die Jagd, als sie über sich einen Vogel namens Otto erblickt, dem sie nach dem Leben trachtet. *Beschreibe die abgebildeten Energie-umwandlungen.* (Otto überlebt)



1 → 2: Chemische Energie (Nahrung) wird in Spannenergie umgewandelt.

2 → 3: Spannenergie wandelt sich in Bewegungsenergie (und etwas Lageenergie) um.

3 → 4 → 5: Bewegungsenergie wandelt sich in Lageenergie um.

5 → 6 → 7: Lageenergie wird wieder in Bewegungsenergie umgewandelt.

7 → 8: Lage- und Bewegungsenergie werden in Wärmeenergie umgewandelt (Der Pfeil erzeugt beim eindringen in den Boden durch Reibung Wärme).

DB 146 f Energieerhaltung

Faustregel beim Bergsteigen

Bei der Planung von Bergtouren geht man davon aus, dass eine normal trainierte Bergsteigerin in der Stunde 300 Höhenmeter schafft.

a) *Gib die Definitionsgleichung für der Leistung an. Welche Einheit besitzt die Leistung?*

b) *Welche Energieumwandlung findet beim Bergsteigen statt?*

c) *Berechne die (Hub-)leistung einer normal trainierten Bergsteigerin (60 kg mit Rucksack).*

a) Der Quotient aus der übertragenen Energie (oder Arbeit) W und der dazu benötigten Zeit t ist die **Leistung** $P=\frac{W}{t}$. Die Einheit der Leistung ist 1 J/s = 1 W (Watt).

b) Beim Bergsteigen wird chemische Energie (Nahrung) in Lageenergie (und Wärmeenergie, die vom Körper abgegeben wird) umgewandelt.

c) Zur Berechnung der Hubleistung betrachtet man die Zunahme der Lageenergie. $W = E_L = m \cdot g \cdot h$ = 60kg·10N/kg·300m = 180000J = 180 kJ. Dafür wird die Zeit t = 1h = 60 min = 60·60 s = 3600 s benötigt. Damit beträgt die Hubleistung der Bergsteigerin

$$P=\frac{W}{t}=\frac{180\,000\,J}{3600\,s}=50\,W$$

DB 154 f

Energie und Leistung