

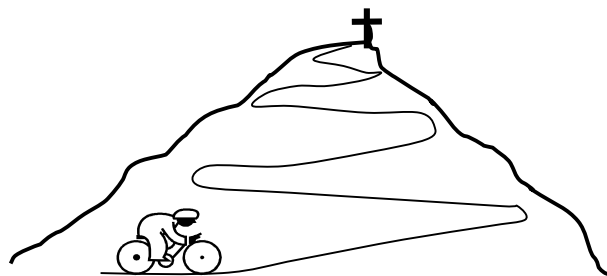
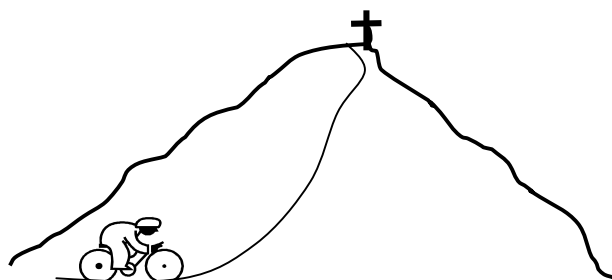
Station 1b :

Arbeit – eine neue physikalische Größe

Zwei Mountainbiker radeln einen steilen Berg hinauf, der eine

....mit viel Kraft auf direktem Weg, ...

... der andere auf diesem Weg:



Ziel: Wie können wir die beiden Vorgänge vergleichen? Das Ergebnis ist zwar identisch ("Radler steht am Gipfel"), die nötige Antriebskraft ist aber verschieden. Gibt es "etwas", das bei beiden Vorgängen gleich ist?

Typisches Vorgehen in der Physik: Wir suchen nach einer Proportionalität.

Für die beiden Radler gilt :

Kraft	groß	klein
Weglänge	klein	groß

Weil sich die beiden Größen Kraft und Weglänge gegensätzlich verhalten, kann keine direkte, sondern nur eine indirekte Proportionalität vorliegen. In diesem Fall sind alle zusammengehörigen Wertepaare "produktgleich".

Für ein Produkt aus Kraft und Weglänge wird eine neue physikalische Größe eingeführt, genannt **Arbeit W**. Wir sprechen davon, dass eine physikalische Arbeit verrichtet wird, wenn auf einen Körper längs seines Weges eine Kraft wirkt.

Im einfachsten Fall, .. - **wenn** die Größe der Kraft längs des gesamten Weges konstant ist und
- **wenn** die Krafrichtung stets genau in Bewegungsrichtung zeigt,

dann können wir die Arbeit so berechnen:

Arbeit = Kraft mal Weg, in Formelzeichen: **$W = F \cdot s$**

Welche Maßeinheit kann diese neue Größe bekommen?

Wir haben *keine Freiheit und auch keine Notwendigkeit*, hierfür eine neue Grundeinheit festzulegen, denn für Kraft und Länge haben wir das schon getan (Einheiten 1 N bzw 1 m), so dass wir durch die Produktbildung der beiden Größen automatisch die Einheit **1 "Newtonmeter", abgekürzt 1 Nm**, erhalten. Deshalb wird die Arbeit als "abgeleitete Größe" bezeichnet.

Was eine Arbeit von 1 Nm bedeutet (siehe Beispiel im Buch), ist also schon festgelegt. Es wird lediglich ein neuer Name dafür eingeführt, das "Joule" (engl., sprich „dschul“).

Physikalische Einheit der Arbeit: **1 Joule = 1 Newton mal 1 Meter**, abgekürzt: **1 J = 1 Nm**.

Für die beiden eingangs gezeigten Radler ist die Arbeit gleich (Reibungskräfte vernachlässigen wir hier). Zwar sind Antriebskraft und Weglänge unterschiedlich, **das Produkt aus Antriebskraft und Weglänge ist jedoch für beide Radler identisch**.

Am einfachsten ist die Arbeit zu berechnen, wenn wir einen Radler senkrecht hochheben: Die Arbeit ist dann das Produkt aus der Gewichtskraft F_G des Radlers (samt Rad) und dem Höhenunterschied h vom Fuß zur Spitze des Berges: **$W = F_G \cdot h$**

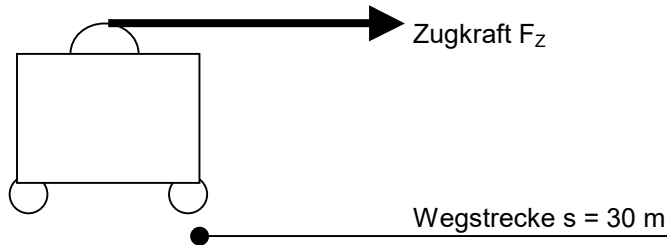
Arbeitsaufträge:

- (1) Lies obigen Text gründlich durch und übertrage die eingerahmten Stellen in dein Physikheft.
- (2) Lies im Buch die Seiten über „Arbeit“ und ergänze deinen Hefteintrag um eigene Notizen.
- (3 a) Du schiebst deinen Koffer (Masse 20 kg) auf Rollen einen 30 m langen Gang entlang und benötigst dafür eine waagrecht gerichtete Zugkraft von 15 N. Wie groß ist die dabei verrichtete Arbeit W_1 ?
b) Danach hebst du ihn auf einen Schrank und verrichtest dabei eine Arbeit W_2 von 300 J. Wie hoch ist der Schrank?
- (4) Vergleiche mit der Musterlösung!

Station 1 b : Arbeit

Station 1b, Auftrag (3). Koffer ziehen und heben.

(a) Die Zugkraft F_Z wirkt waagrecht und ist somit parallel zur Wegstrecke s .



Achtung: die Masse des Koffers spielt hier **keine** Rolle !

Also können wir die Arbeit berechnen mit der Formel „Kraft mal Weg“

$$W_1 = F_Z \cdot s$$

$$W_1 = 15\text{ N} \cdot 30\text{ m} = 450\text{ Nm} = 450\text{ J}$$

Achtung: Auf sinnvolle Genauigkeit achten! Die Angaben 15 N und 30 m habe jeweils nur zwei gültige Ziffern, also darf auch das **Endergebnis** nur zwei Ziffern angegeben werden.

Es gibt in diesem Fall zwei sinnvolle Schreibformen:

$$W_1 = 4,5 \cdot 10^2\text{ J} \quad \text{oder} \quad W_1 = 0,45\text{ kJ} \quad (\text{Vorsilbe Kilo- als Abkürzung für } 1000\text{ J}).$$

(b) Beim Hochheben zeigen sowohl die Kraft als auch die Bewegungsrichtung senkrecht nach oben, sind also ebenfalls parallel und die Formel „Kraft mal Weg“ gilt: $W_2 = F_G \cdot h$. Die Hubkraft ist entgegengesetzt zur Gewichtskraft (200 N für eine Masse von 20 kg) und hat den gleichen Betrag, also $F_G = 200\text{ N}$. Die Höhe h des Schrankes ist gesucht und es gilt:

$$W_2 = F_G \cdot h$$

und nach Einsetzen der bekannten Werte für W_2 und F_G

$$300\text{ Nm} = 200\text{ N} \cdot h$$

Diese Gleichung hat genau eine Lösung: $h = 1,5\text{ m}$

Der Schrank ist also **1,5 m** hoch.

Station 1c : Beispiele zu physikalischer Arbeit

Worum geht es ? Um Arbeit: eine Kraft wirkt längs eines Weges auf einen bewegten Körper....

Ziel: Verschiedene Arten der Arbeit kennen lernen. Bearbeitung einfacher Fälle.

Dazu werden hier zunächst einige verschiedene Arten vorgestellt, danach folgen Aufgaben dazu.

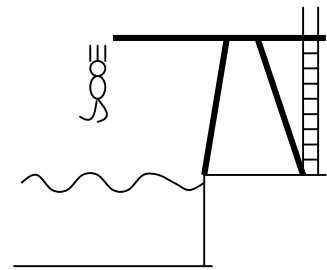
1.) Erinnert euch zunächst an die vier verschiedenen Arten der Kraftwirkung:

a) Änderung der Größe der Geschwindigkeit:

Wird ein Körper durch eine Kraft in Bewegungsrichtung beschleunigt, so wird **Beschleunigungsarbeit** verrichtet.

Beispiel: Ein 60 kg schwererer Mensch springt von 3 m Sprungturm im Freibad. Bis zum Eintauchen in das Wasser wird er auf eine Geschwindigkeit von ca. 25 km/h beschleunigt. Die Beschleunigungsarbeit dabei können wir berechnen:

- die wirkende Kraft ist die Gewichtskraft, also etwa $F = 600 \text{ N}$,
 - die Wegstrecke beträgt $s = 3,0 \text{ m}$,
 - die Kraft bleibt während des gesamten Vorganges gleich und - ist parallel zur Bewegungsrichtung (senkrecht nach unten)
- Also gilt die Formel $W = F \cdot s$. Die Beschleunigungsarbeit ist also $W = F \cdot s = 600 \text{ N} \cdot 3 \text{ m} = 1800 \text{ Nm} = 1800 \text{ J} = 1,8 \text{ kJ}$



b) Änderung der Richtung der Geschwindigkeit. (z.B. beim Kurvenfahren, im Karussell)

Hierbei steht die Kraft senkrecht auf der Bewegungsrichtung, deshalb wird **keine** Arbeit verrichtet!

c) Elastische Deformation, z.B. beim Dehnen einer Feder. Hierbei wird **Verformungsarbeit** verrichtet.

Wir können aber die einfache Formel $W = F \cdot s$ nicht verwenden, weil die Kraft während des Weges *nicht* gleich bleibt. Die Kraft wird immer stärker, je weiter man die Feder verformt.

d) Plastische Deformation:

Ein 5,0 kg schwerer Klotz wird auf einen 15 cm hohen Haufen Knetmasse gestellt und sinkt langsam herab. Wir warten bis sich nichts mehr ändert. Wenn am Ende nur noch 2 cm Knetmasse unter dem Klotz verbleiben, dann wurde dabei eine **Verformungsarbeit** von $W = 50 \text{ N} \cdot 0,13 \text{ m} = 6,5 \text{ Nm} = 6,5 \text{ J}$ verrichtet.



2) Häufig erleben wir Vorgänge, bei denen sich zwei Kräfte gegenseitig aufheben. 2 Beispiele hierzu:

a) Heben eines Gegenstandes (senkrecht nach oben). Dabei ist die ausgeübte Kraft der Gewichtskraft des Körpers entgegengerichtet und hat den gleichen Betrag F_G .

Betrachte als Beispiel nochmals den Turmspringer aus Punkt 1a). Um vor dem Sprung seinen eigenen Körper auf den Sprungturm hinaufzubringen, musste er sich mit einer Kraft von 600 N über eine Strecke von $h = 3 \text{ m}$ auf der Leiter nach oben ziehen. Diese **Hubarbeit** ist dann $W = F_G \cdot h = 600 \text{ N} \cdot 3 \text{ m} = 1,8 \text{ kJ}$.

b) Bei einer Bewegung mit gleichbleibender Geschwindigkeit (z.B. Auto oder Fahrrad) auf ebener Strecke überwindet die nach vorn gerichtete Antriebskraft gerade die bremsende (also entgegengerichtete) Reibungskraft. Es wird **Reibungsarbeit** verrichtet (Arbeit $W = \text{Antriebskraft} \cdot \text{Wegstrecke}$)

Arbeitsaufträge:

- (1) Lest den Text oben und erstellt einen Hefteintrag, der die oben fett gedruckten **Arten der Arbeit** enthält! (15 Min)
- (2) Lest im Buch die Seiten zu „Arten der Arbeit“ aufmerksam durch. (10 Min)
- (3) Bearbeitet die Aufgaben A1 a), A2 und A4 auf diesen Seiten. (10 Min)
- (4) Vergleicht mit der Musterlösung. (10 Min)

Station 1 c : Aufgaben zu physikalischer Arbeit

Station 1c, Auftrag (3): Aufgaben im Buch

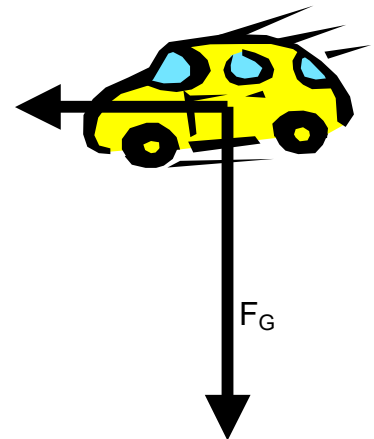
A1 a) Die vorherrschenden Arten der Arbeit sind:

3. Auto anschieben: Um es anfangs in Bewegung zu setzen: Beschleunigungsarbeit.
Um es gleichmäßig weiter zu Schieben: Reibungsarbeit.
4. Schneeball formen (plastische Deformation): Verformungsarbeit
5. Gewichtheber: Hubarbeit
6. Matte ziehen: anfangs Hubarbeit, um ein Ende der Matte hoch zu heben,
bei längerem gleichmäßigem Ziehen dann Reibungsarbeit.
7. Expander (Federn, elastische Deformation): Verformungsarbeit
8. Bremsen beim Radfahren: Reibungsarbeit

A2 Die Arbeit kann **nicht** berechnet werden ! Denn:

- Die genannte Kraft ist die Gewichtskraft F_G , sie wirkt senkrecht nach unten. In dieser Richtung gibt es beim waagrecht fahrenden Auto aber *keine Bewegung*.
- Um die Arbeit in Fahrtrichtung zu berechnen, bräuchten wir statt dessen die waagrecht, in Bewegungsrichtung wirkende Antriebskraft F_A . Diese Kraft ist *nicht* gegeben.

Zur Erinnerung: die Antriebskraft gleicht gerade die entgegengesetzt wirkende Reibungskraft aus, die Summe beider Kräfte ist dann Null und das Auto fährt gleichmäßig, also ohne Beschleunigung oder Abbremsung.



A4 Schlitten ziehen

Die Rechnung selbst (Zahlen und Einheiten) wäre zwar nicht falsch, aber die Formel "Kraft mal Weg" *darf gar nicht angewendet werden*, weil die Kraft *nicht* genau in Bewegungsrichtung, sondern schräg dazu nach oben wirkt. Der waagrecht wirkende Anteil der Kraft ist kleiner!

Wenn z.B. ein Schlittenhund ziehen würde, der auch so niedrig wie der Schlitten ist, dann wäre die angreifende Kraft waagrecht und die genannte Lösung richtig !

