Jahrgang EF  Fach Physik  Ansprechpartner: Mathias Ziegler (ZieM)

Themen der Reihen : Erhaltungssätze

| Kompetenzen/Ziele der Reihe | Materialien | Arbeitsaufträge/Hinweise |
|---|---|---|
| Die Schülerinnen und Schüler…<br>… analysieren in verschiedenen Kontexten Bewegungen quantitativ aus einer energetischen Sicht.<br>… verwenden Erhaltungssätze (Energiebilanzen), um Bewegungszustände zu erklären, sowie Bewegungsgrößen zu berechnen. | Arbeitsblatt | Bearbeiten Sie zuerst die Aufgaben von Arbeitsblatt 1. Anschließend lesen Sie im Schulbuch auf  S.58 den Abschnitt „Energie beim Fadenpendel“.<br>Kontrollieren Sie dann ihre eigenen Lösungen mit den Informationen auf der Schulbuchseite. |
| Die Schülerinnen und Schüler…<br>… erläutern die Größen Position, Strecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, Kraft, Arbeit, Energie, Impuls und ihre Beziehungen zueinander an unterschiedlichen Beispielen. | Anhang, S.44 + 45 | 1. Lesen Sie die Informationen auf der Doppelseite. Schauen Sie sich insbesondere das Beispiel 1 auf S.44 an. Bearbeiten Sie dann bitte die Aufgaben A1 **(+ A2)** auf S.45. Informationen zum Impuls finden Sie bei YouTube unter folgendem Link: https://www.youtube.com/watch?v=ZBmYAZ2oWB8 (bis Minute 1:38).<br>**2. (Zeigen Sie durch Umformen, dass die beiden Formeln für den Impuls $\Delta p = F \cdot \Delta t$ und $\Delta p = m \cdot \Delta v$ gleichwertig sind.**<br>**Tipp: Fangen Sie bei einer Formel an und benutzen Sie die Grundgleichung der Mechanik (Newton). Außerdem könnte die Formel für die Beschleunigung wichtig sein.)** |

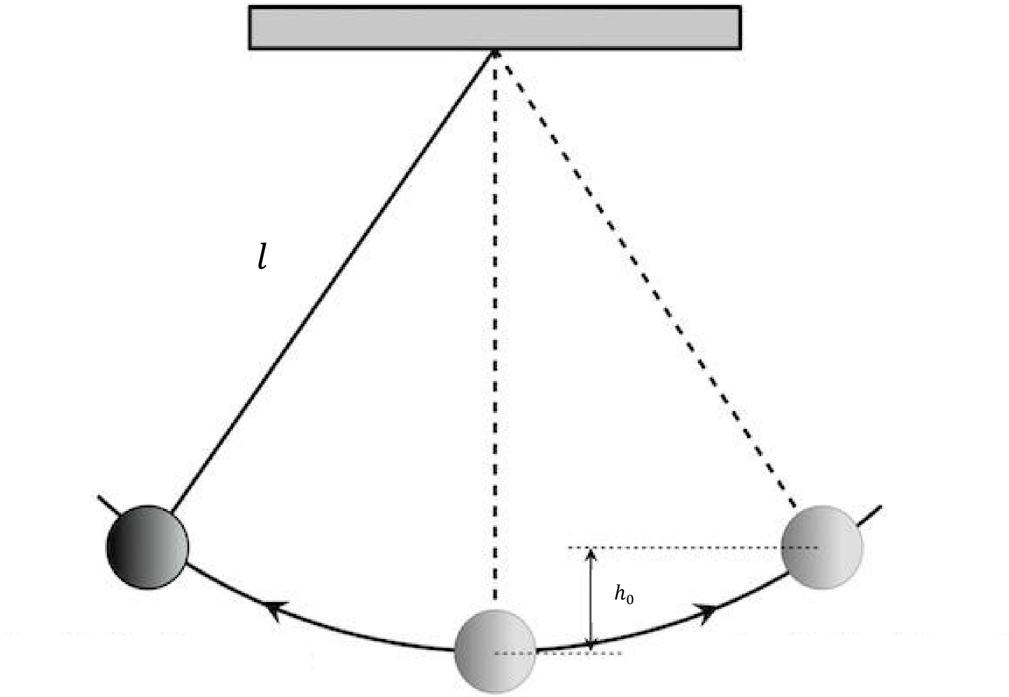
Sonstiges beigefügtes Material/Anmerkungen:

In dem Arbeitsblatt 1 geht es um das Fadenpendel. Merken Sie sich diesen Begriff, da das Fadenpendel im Themengebiet „Schwingungen“ noch einmal wichtig werden wird. Dort wird es dann um die Kräfte am Fadenpendel gehen und wir berechnen die Schwingungsdauer usw.

**<<< Die Aufgaben, die in Klammern gesetzt und fett markiert worden sind, sollen bitte nur von den Schülerinnen und Schülern bearbeitet werden, die im Fach Physik eine Klausur schreiben. >>>**

**Arbeitsblatt:** Energiebetrachtungen beim Fadenpendel

Ein **Fadenpendel** besteht aus einer Kugel der Masse $m$, die mit einem Faden der Länge $l$ an der „Decke" befestigt ist. Lenkt man das Fadenpendel um die Höhe $h_0$ aus, so schwingt die Kugel nach dem Loslassen zurück, passiert die Ruhelage und erreicht auf der gegenüberliegenden Seite wieder die Höhe $h_0$ (es wird angenommen, dass keine Luftreibung vorhanden ist). Die Bahn der Kugel beschreibt also einen Kreisbogen.




Ruhelage

**Aufgabe 1:**

Geben Sie an, welche Energieformen beim Fadenpendel auftreten. Geben Sie außerdem an, welche Energieformen jeweils maximal bzw. gleich 0 sind.

**Aufgabe 2:**

Wird das Fadenpendel ausgelenkt, dann schwingt es beim Loslassen zurück. Dabei schwingt es an der Ruhelage vorbei, wobei genau an dieser Stelle die Geschwindigkeit dann maximal ist.

a) Erklären Sie mit Hilfe der Energieformen aus Aufgabe 1, warum die Geschwindigkeit des Pendelstücks beim Schwingen genau an der Ruhelage maximal ist.

b) Leiten Sie mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes eine Formel zur Berechnung der maximalen Geschwindigkeit her.

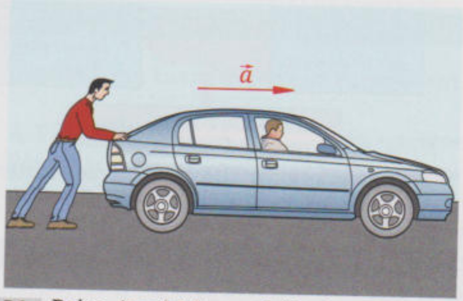
*Tipp: Setzen Sie die Gleichung zweier Energieformen gleich und formen Sie nach v um.*

**Aufgabe 3:**

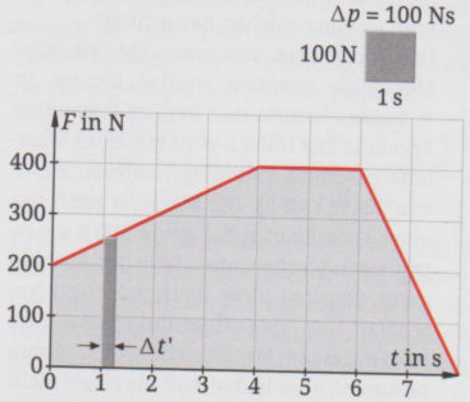
Eine Kugel der Masse m = 250g hängt an einem Faden der Länge 5m. Die Kugel wird um $h_0$ = 1,5m ausgelenkt. Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit der Kugel.

Die Kugel wird ausgetauscht. Die zweite Kugel hat nun die Masse $m_2$ = 500g. Die Kugel wird ebenfalls um $h_0$ = 1,5m ausgelenkt. Wird die zweite Kugel schneller oder langsamer sein, als die erste Kugel? Vermuten Sie zuerst und berechnen Sie dann.

# Ein Kraftstoß ändert den Impuls




**B1** Beim Anschieben erhält das Auto Impuls. Kraft und Kraftdauer bestimmen seinen Wert, auch wenn die Kraft nicht konstant ist.




**B2** Die Fläche im $t$-$F$-Diagramm ist ein Maß für die Impulsänderung $\Delta p$.

**Beispiel 1** **Auto anschieben**

Wird das Auto mit der Masse $m = 600$ kg in → **B1** 8 s lang mit der Kraft von konstantem Betrag $F = 300$ N angeschoben, so gilt:
$a = F/m = 300\ \text{N}/(600\ \text{kg}) = 0{,}5\ \text{m/s}^2$.
Also ist $\Delta v = a \cdot \Delta t \approx 0{,}5\ \text{m/s}^2 \cdot 8\ \text{s} = 4\ \text{m/s}$.

Dieses Vorgehen kann nicht angewendet werden, wenn die Kraft wie in → **B2** einen nicht konstanten Verlauf hat. Stattdessen verwenden wir – wie schon bei der Auswertung von $t$-$v$-Diagrammen – die Flächenbetrachtung.

Die Fläche besteht aus einem Trapez, einem Rechteck und einem Dreieck. Der Flächeninhalt liefert dann den gesamten Kraftstoß zu:

$$\tfrac{1}{2} \cdot (200\ \text{N} + 400\ \text{N}) \cdot 4\ \text{s} + 400\ \text{N} \cdot 2\ \text{s} + \tfrac{1}{2} \cdot 400\ \text{N} \cdot 2\ \text{s} = 2400\ \text{Ns}.$$

Dieser Kraftstoß entspricht der Impulsänderung $m \cdot \Delta v$. Also ist

$$\Delta v = 2400\ \text{Ns}/(600\ \text{kg}) = 4\ \text{m/s}.$$

Eine der bisher wichtigsten Erkenntnise war: Alle Körper sind träge. Dann und nur dann, wenn eine äußere Kraft auf einen Körper einwirkt, ändert sich sein Bewegungszustand. In eine Formel gegossen lautete die Erkenntnis: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. Isaac NEWTON formulierte dieses Gesetz in deutscher Übersetzung etwas anders: *„Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional."* Die „Bewegung" als physikalische Größe ist hier nicht die Geschwindigkeit allein, sondern das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit – der Impuls.

## 1. Der Impuls eines Körpers

Durch Umformen der newtonschen Grundgleichung erhalten wir:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \Leftrightarrow \vec{F} = m \cdot \frac{\overrightarrow{\Delta v}}{\Delta t} \Leftrightarrow \vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \overrightarrow{\Delta v}.$$

Daraus folgt durch Auflösen:

$$\vec{F} \cdot (t_2 - t_1) = m \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) = m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1 \quad \text{oder}$$

$$\vec{F} \cdot t_2 - \vec{F} \cdot t_1 = m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1.$$

Das Produkt aus Kraft und Zeit nennt man in der Physik **Kraftstoß**. Auf der rechten Seite der Gleichung stehen Produkte aus Masse und Geschwindigkeit. Das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit heißt in der Physik **Impuls** und ist wie die Geschwindigkeit ein Vektor. Das Symbol des **Impulsvektors** ist $\vec{p}$, die Einheit von $p$ ist $1\ \text{kg} \cdot \text{m/s} = 1\ \text{Ns}$.
Mit diesen neuen Begriffen lautet die Grundgleichung der Mechanik: Ein Kraftstoß ändert den Impuls eines Körpers – oder

$$\vec{F} \cdot (t_2 - t_1) = m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1 = \vec{p}_2 - \vec{p}_1, \quad \text{kurz:}$$

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \overrightarrow{\Delta p}.$$

**Merksatz**
Das Produkt $m \cdot \vec{v}$ heißt Impuls $\vec{p}$, seine Maßeinheit ist 1 Ns. Erfährt ein Körper während der Zeit $\Delta t$ die Kraft $\vec{F}$, so ändert sich sein Impuls um

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \overrightarrow{\Delta p}.$$

Das Produkt $\vec{F} \cdot \Delta t$ heißt Kraftstoß.

## 2. Ein Vorteil der Schreibweise NEWTONS

Bei konstanter Kraft führen beide jetzt bekannten Formen der newtonschen Grundgleichung zum gewünschten Ziel. Beim Anschieben eines Autos gelingt es aber kaum, die Kraft konstant zu halten. Nehmen wir an, der Graph in → **B2** zeige den tatsächlichen Verlauf. In → **Beispiel 1** wenden wir eine bewährte Auswertungsmethode an, indem wir die Fläche unter der Kurve berechnen. Sie entspricht ja einem Produkt aus Kraft und Zeit, also einem Kraftstoß. Mit ihrer Hilfe erfahren wir, dass das Auto am Ende des Vorgangs eine Geschwindigkeit von 4 m/s hat.

Bei einem Beschleunigungsvorgang mit nicht konstanter Kraft hat sich die neue Form also schon bewährt.

**B 3** Waldbrandbekämpfung aus der Luft: Das Wasser wird fast „im Flug“ geschöpft. Sobald die Maschine die Wasseroberfläche streift, gibt der Pilot Gas, um die Geschwindigkeit von etwa 180 km/h beizubehalten. Zwei 1566 kW-Motoren geben jetzt fast ihre volle Leistung. In nur 12 s sind die Tanks mit 6000 Liter Wasser gefüllt. Das Einziehen der Schöpfdorne reicht, um die auf vollen Touren laufende Maschine sofort abheben zu lassen.

## 3. Kraftberechnung trotz unbekannter Beschleunigung

Welche Kraft müssen die Motoren des Löschflugzeugs in → B3 zum Schöpfen des Wassers aufbringen? Aus der Grundgleichung der Mechanik in Impulsschreibweise

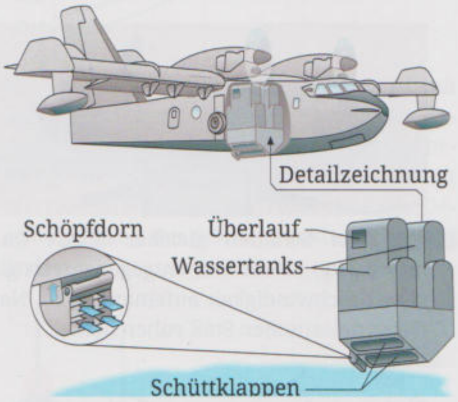
$$\vec{F} \cdot \Delta t = \overrightarrow{\Delta p}$$

lässt sich die gesuchte Kraft berechnen:

$$\vec{F} = \overrightarrow{\Delta p} / \Delta t\,.$$

Für das innerhalb weniger Sekunden ablaufende Schöpfen einer großen Menge Wasser in → B3 muss das Wasser nach und nach auf die Geschwindigkeit des Flugzeugs von 180 km/h gebracht werden. Wenn wir zunächst den Betrag $\Delta p$ der dabei erreichten Impulsänderung berechnen, finden wir die erstaunlich große Kraft mit bdem Betrag $F = 2{,}5 \cdot 10^4$ N → Beispiel 2. Sie entspricht der Gewichtskraft von etwa 20 Pkw.

Um diese Kraft zu ermitteln, brauchte nicht bekannt zu sein, welche Beschleunigungen die einzelnen Wasserportionen erfahren. Hier sehen wir einen weiteren Vorteil von NEWTONs Schreibweise der Grundgleichung der Mechanik.




**B 4** Wassertanks mit Schöpfdorn

**Beispiel 2 Löschflugzeug**

Das Löschflugzeug in → B3 fliegt mit der Geschwindigkeit von $v = 180$ km/h $= 50$ m/s. In $\Delta t = 12$ s erfahren 6000 kg Wasser eine Impulsänderung von $\Delta p = \Delta m \cdot v =$ 6000 kg $\cdot$ 50 m/s $-$ 0 kg $\cdot$ m/s $= 3 \cdot 10^5$ Ns.
Für den Kraftbetrag ergibt sich daraus:

$$F = 3 \cdot 10^5\ \text{Ns}/(12\ \text{s}) = 2{,}5 \cdot 10^4\ \text{N}.$$

**A1** a) Bestimmen Sie zum Kraftverlauf in → B2 die Impulsänderung von 2 s bis 5 s.
b) Berechnen Sie die Änderung der Geschwindigkeit des Autos (600 kg) in diesem Zeitraum.

**A2** a) Der gemäß → B2 in 8 s beschleunigte Wagen soll danach innerhalb von 4 s durch eine konstante Kraft wieder zum Stehen gebracht werden. Bestimmen Sie den Wert dieser Kraft.
b) Ergänzen Sie das Diagramm bis $t = 12$ s. Erklären Sie, warum der Flächeninhalt von 8 s bis 12 s einen negativen Wert hat.

**A3** Auf ein horizontal laufendes Förderband fallen von oben je Sekunde 20 kg Sand. Er wird mit der Geschwindigkeit 1 m/s weitertransportiert.
a) Ermitteln Sie, welche Kraft der Motor allein zur Beschleunigung des Sandes aufbringen muss.
b) Erklären Sie, warum die Sandteilchen beim Auftreffen nicht mit 1 m/s² beschleunigt werden.

**A4** Das Löschflugzeug in → B3 bringt allein zum Schöpfen eine Kraft von $F = 2{,}5 \cdot 10^4$ N auf.
a) Berechnen Sie die für das Schöpfen benötigte Arbeit.
b) Bestimmen Sie den Prozentsatz der Motorleistung, der allein für das Schöpfen des Wassers benötigt wird.