

Habt ihr schon gewusst 567 Impuls und Energiefragen

Frage 01 ... Amboss als Schutz

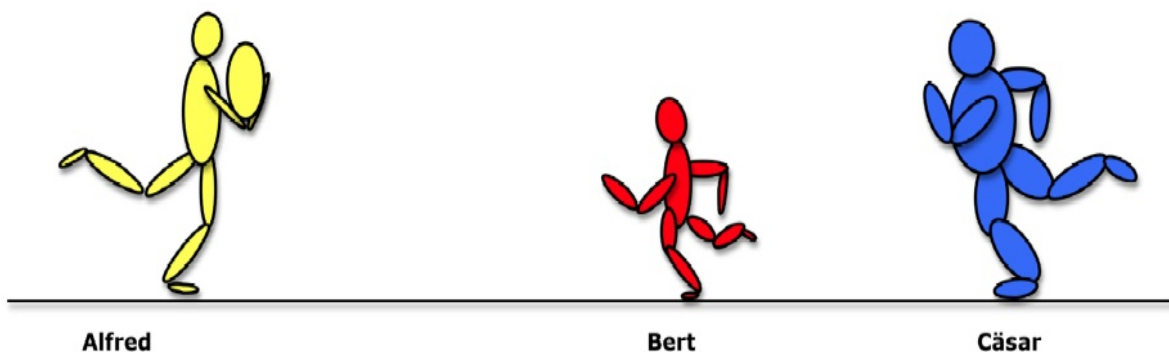
Ein spektakuläres Experiment sieht man am Tag der offenen Türe an den Unis – evtl. auch im Schulunterricht: Der Professor liegt auf dem Rücken auf dem Labortisch. Er hat eine dicke Metallplatte (evtl. einen historischen Amboss) auf dem Bauch stehen. Der Student schwingt den Vorschlaghammer hoch über dem Kopf und schlägt mit voller Wucht auf den Amboss. Selbstverständlich passiert dem Professor dabei nichts. Es muss nicht betont werden, dass der Professor ohne Amboss durch diesen Schlag lebensgefährliche Verletzungen davon getragen hätte. Wovor hat der Amboss also geschützt:

- [01.1] Vor dem Impuls des Vorschlaghammers?
- [01.2] Vor der Energie des Vorschlaghammers?
- [01.3] Vor der Kraft des Vorschlaghammers?
- [01.4] Was ist an dem Treffer mit dem Vorschlaghammer ohne Amboss so überaus gefährlich? Oder wurden die obigen drei Fragen falsch gestellt ... spielt noch eine andere physikalische Größe eine Rolle?

Frage 02 ... Wirkung eines Bärs

Bei großen Baustellen sieht man gelegentlich, wie ein „maschineller Vorschlaghammer“ (auch „Bär“ genannt) große Stahlpfosten in den Boden hämmern. Der Vorschlaghammer, der an einem Seil hängt, wird 3 m hochgezogen und fällt dann frei auf den Stahlpfosten, der ebenfalls eine Masse von 1,5 Tonnen hat. Bei jedem Schlag sinkt der Stahlpfosten 10 cm tiefer in den Boden ein. Kann man die „durchschnittliche Kraft“ berechnen, die hierbei auf den Stahlpfosten einwirkt, während er 10 cm tief in den Boden eindringt?

Frage 03 ... Football ohne Verletzung



Alfred (70 kg) hat den Football ergattert und rennt mit 5 m/s über das Spielfeld. Ihm kommen zwei Gegner entgegen: Bert (50kg) spurtet mit 7 m/s auf Alfred zu; Cäsar (100kg) rennt langsamer – nur mit 3,5 m/s und will Alfred auch stoppen.

- [03.1] Wer von den beiden Gegnern stoppt Alfred am Besten?
- [03.2] Bei welchem der beiden Gegner besteht für Alfred die höhere Verletzungsgefahr beim Zusammenstoß?
- [03.3] Diskutiere mit deinem Team die Energiebilanz bei einem unelastischen Stoß – allg. Fall.

Frage 04 ... Bremswege

Wir wollen die Frage untersuchen, wie der Bremsweg von der Ausgangsgeschwindigkeit abhängt. Wenn wir alle Randbedingungen, soweit das überhaupt möglich ist, konstant halten,

- [04.1] ... wie ändert sich dann der Bremsweg, wenn man die Geschwindigkeit verdoppelt?
- [04.2] Wie lautet die Fahrschulformel¹? Passt sie zu den physikalischen Gesetzen?

¹ Reaktionsweg = Geschwindigkeit durch zehn, mal drei / Bremsweg = Quadrat (Geschwindigkeit durch zehn). Bei 50km/h ergibt sich ein Reaktionsweg von 15 m und ein Bremsweg von 25 m → Anhalteweg = 40m.

Frage 05 ... Regen-Fragen A

Ein Wagen fährt reibungsfrei auf einer exakt horizontalen Ebene. Auf dem Wagen steht ein großer Bottich mit senkrechten Wänden. Ein starker Regen – die Tropfen fallen ideal senkrecht – füllt den Bottich.

- [05.1] Ändert sich bei dieser Fahrt die Geschwindigkeit des Wagens?
- [05.2] Ändert sich bei dieser Fahrt der Impuls?
- [05.3] Ändert sich bei dieser Fahrt die Energie?
- [05.4] Diskutiere mit deinem Team den Impuls und die Energiebilanz bei dieser Fahrt, wenn die Masse des Wagens durch den Regen verdoppelt wird?

Frage 06 ... Regen-Fragen B

Der Bottich bei dem obigen Wagen ist nun voll, fährt immer noch über die Horizontale. Nun wird ein Auslauf im Boden des Bottichs geöffnet, das Wasser kann senkrecht aus diesem Auslauf abfließen.

- [06.1] Ändert sich bei dieser Fahrt die Geschwindigkeit des Wagens?
- [06.2] Ändert sich bei dieser Fahrt der Impuls?
- [06.3] Ändert sich bei dieser Fahrt die Energie?

Frage 07 ... bergab

Ein Ball läuft eine schiefe Ebene hinunter – im ersten Fall beginnt das Rollen aus der Ruhe heraus und hat am unteren Ende auf der schiefen Ebene eine Geschwindigkeit von 4 m/s. Im zweiten Fall beginnt die Bewegung am oberen Ende mit der Anfangsgeschwindigkeit von 2 m/s.

- [07.1] Welcher Höhenunterschied wird dabei überwunden?
- [07.2] Welche Geschwindigkeit hat der Ball im zweiten Fall?

Frage 08 ... kaputte Fenster

Willi wirft einen elastischen Gummiball (100 g) mit 2 m/s gegen eine Glasscheibe. Wilhelmine hat im Spielzeugladen einen „Klebeball“ gekauft – er hat auch eine Masse von 100 g. Wenn man ihn gegen eine Glasscheibe wirft, bleibt er dort kleben und rollt dann langsam nach unten. Wilhelmine wirft den Klebeball ebenfalls mit 2 m/s gegen die Scheibe.

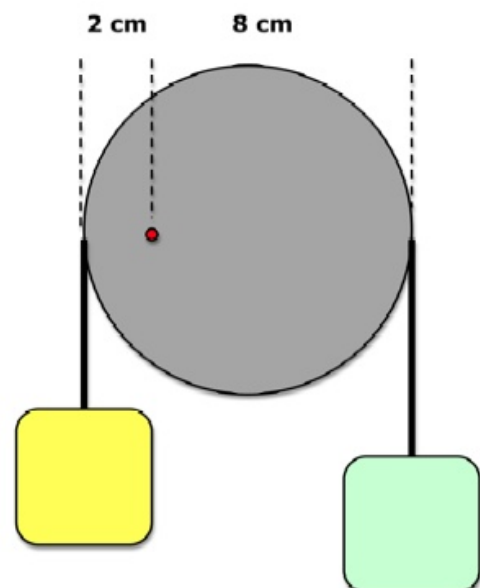
- [08.1] Bei welchem Wurf (Willi oder Wilhelmine) besteht die größere Gefahr, dass die Fensterscheibe eventuell bricht?
- [08.2] Diskutiere mit deinem Team die Impuls- und Energiebilanz bei diesen Würfen – und zwar vor und nach dem Auftreffen der Bälle auf die Scheibe (unter der Annahme, dass sie nicht zerbrochen ist!)

Frage 09 ... exzentrische Rolle

- [09.1] Diskutiere die Kräfte in einem Seil bei einer festen Rolle.
- [09.2] Diskutiere die Energiebilanz, wenn man einen Gegenstand (1kg) mit und ohne feste Rolle um 1m hochheben will.
- [09.3] Welcher Unterschied besteht im Falle, dass man eine lose Rolle verwendet?

Bei einer „**exzentrische Rolle**“ geht die Achse nicht durch den Mittelpunkt der Rolle.

- [09.4] Welche Masse muss man links anhängen, wenn man rechts 1kg Masse befestigt.



Frage 10 ... Sumpf-Frage

- [10.1] Ein Stein fällt in einen Sumpf. Bei der Fallhöhe h dringt der Stein 1cm tief in den Sumpf ein. Wie tief dringt der Stein in den Sumpf ein, wenn er aus der doppelten Höhen in den Sumpf fällt?
- [10.2] Ein zweiter Stein fällt in einen zweiten Sumpf. Er hat kurz vor dem Auftreffen die Geschwindigkeit v . Er dringt wieder 1cm tief in den Sumpf ein. Wie tief dringt der Stein ein, wenn er mit doppelter Geschwindigkeit ankommt.

Frage 11 ... Lokomotiven-Frage

- [11.1] Lokomotiven von Güterzügen haben deutlich kleinere Räder als Lokomotiven von Personenzügen. Welchen Vorteil hat diese unterschiedliche Bauweise.
- [11.2] Warum haben moderne Elektro- oder Diesellokomotiven keine unterschiedlich großen Räder?

Frage 12 ... Serpentina-Frage

Jana fährt im Urlaub mit dem Fahrrad eine steile aber breite Straße hoch. Weil die Straße so steil ist, fährt sie den Weg in Serpentina. Sie legt dabei 200 m zurück. Ihr Bruder Jan fährt den direkten Weg – und kommt nach 100 m oben an.

- [12.1] Diskutiere mit deinem Team die Kräfte, die beide aufwenden müssen.
- [12.2] Diskutiere mit deinem Team die benötigten Energien.

Frage 13 ... Orkan

Ein Sturm wirkt eventuell gefährlich auf ein Haus ein. Wie ändert sich diese Gefahr, wenn der Sturm mit doppelter Geschwindigkeit bläst?

- [13.1] Wie verändert sich die Kraft bei doppelter Geschwindigkeit?
- [13.2] Von welchen physikalischen Größen hängt die wirksame Kraft ab?

Frage 14 ... Raketenmodell

Auf der Luftkissenfahrbahn wird der „Raketenantrieb“ eingesetzt. Hierbei erfährt der Schlitten (100g) eine Geschwindigkeit von 1 m/s. Diskutiere mögliche Antworten mit deinem Team.

- [14.1] Welche Kraft erzeugt die ausströmende Luft auf den Schlitten?
- [14.2] Diskutiere mit deinem Team die Impuls- und Energie-Bilanz.

Lösungshinweise

Frage 01 ... Amboss als Schutz

Frage [01.1] Vor dem Impuls des Vorschlaghammers?

→ Aus dem Unterricht wissen wir, dass der Impuls, den der Hammer kurz vor dem Auftreffen hat, aus der Erde kommt. Beim Auftreffen überträgt der Hammer seinen vollständigen Impuls auf den Amboss und dieser gibt den Impuls über den Körper des Professors wieder vollständig an die Erde ab. Allerdings ist die Masse des Ambosses so extrem groß, dass die Geschwindigkeit nach dem Schlag (im Einklang mit dem Impulserhaltungssatz) extrem klein ist. Dieses Phänomen wird im „Alltag“ wohl folgendermaßen kommentiert: „Die Trägheit des Ambosses schützt den Professor“.

Frage [01.2] Vor der Energie des Vorschlaghammers?

→ Bei diesem Experiment liegt fast ein „unelastischer Stoß“ vor (der Vorschlaghammer springt nach dem Schlag kaum nach oben, er bleibt auf dem Amboss liegen) ... d.h. ein großer Teil der kinetischen Energie des Vorschlaghammers wird beim Auftreffen auf dem Amboss in thermische Energie umgewandelt. Das heißt, der Amboss schützt den Professor vor einem großen Teil der Energie des Vorschlaghammers.

Frage [01.3] Vor der Kraft des Vorschlaghammers?

Frage [01.4] Also, was ist an dem Treffer mit dem Vorschlaghammer ohne Amboss so überaus gefährlich? Oder wurden die obigen drei Fragen falsch gestellt ... spielt noch eine andere physikalische Größe eine Rolle?

→ Wesentlich ist bei der Frage von Verletzungen nicht nur der Impuls, die Energie oder die Kraftwirkung, sondern auch die Fläche auf der diese Energie dem Professor zugeführt wird. Die Fläche der Metallplatte oder des Amboss ist ganz wesentlich größer als die Treffer-Fläche des Vorschlaghammers. Die reduzierte Energie auf einer großen Fläche bei geringer Geschwindigkeit erklärt die Ungefährlichkeit wohl hinreichend?

Frage [02] Bär und Stahlpfosten

→ Wir wählen folgenden Lösungsweg: 1. Wir berechnen die Lageenergie, die der Bär vor dem Loslassen hat. Nach dem Energieerhaltungssatz können wir daraus die Geschwindigkeit des Bärs kurz vor dem Auftreffen – und damit seinen Impuls berechnen. Wenn wir davon ausgehen, dass der Bär in einem ideal unelastischen Stoß seine Energie überträgt, dann kann man daraus den Impuls der Kombination „Bär & Pfosten“ direkt nach dem Schlag berechnen. Im nächsten Schritt kann man die kinetische Energie der Kombination direkt nach dem Stoß berechnen. Diese Energie muss im Erdreich „abgebaut“ werden ... hierzu verwenden wir die Formel Energie = Kraft mal Weg. Da wir den Weg kennen, können wir die durchschnittliche Kraft berechnen.

Frage 03 ... Football ohne Verletzung

Frage [03.1] Wer von den beiden Gegnern stoppt Alfred am Besten?

→ Die beiden Spieler führen in etwa einen „unelastischen Stoß“ aus. Alle drei Spieler haben den gleichen Impulsbetrag. Nach dem Zusammenstoß ist die Impulssumme der beiden Null. Es ist also egal, mit dem Alfred zusammenstößt, er steht anschließend.

Frage [03.2] Bei welchem der beiden Gegner besteht für Alfred die höhere Verletzungsgefahr beim Zusammenstoß?

→ Auch wenn es egal ist, mit welchem Spieler Alfred zusammenstößt (weil alle den gleichen Impulsbetrag haben), haben die Gegner unterschiedliche Bewegungsenergien vor dem Zusammenstoß. Das heißt, bei Bert muss Alfred eine wesentlich größere Energie „absorbieren“ als bei Cäsar. Also besteht bei Bert die größere Verletzungsgefahr ... ganz abgesehen davon, dass auch die Fläche bei Kraftwirkungen eine Rolle spielt. Wenn man davon ausgeht, dass bei Cäsar alles runder gestaltet ist, wird der Zusammenstoß mit Cäsar auch in dieser Hinsicht wahrscheinlich „sanfter“.

Frage 04 ... Bremswege

Frage [04.1] ... wie ändert sich dann der Bremsweg, wenn man die Geschwindigkeit verdoppelt?

→ ... im Regelfall gilt: Doppelte Geschwindigkeit bedeutet vierfache kinetische Energie. Diese Energie muss über Kraft mal Weg wieder abgebaut werden. Wenn man von gleichen Bremskräften ausgeht, ergibt sich also der vierfache Weg.

Frage [04.2] Wie lautet die Fahrschulformel? Passt sie zu den physikalischen Gesetzen?

→ ... Lösungsweg siehe z.B.: <http://www.verkehrswacht-mk.de/luedenscheid/contents/bremsen.html>

Frage 05 ... Regen-Fragen A

Frage [05.1] → Die Geschwindigkeit nimmt ab, denn der Impuls bleibt gleich, aber die Masse wächst.

Frage [05.2] → Der Impuls bleibt gleich.

Frage [05.3] → Ja, die Energie ändert sich, denn die Regentropfen müssen auf Beschleunigt werden ... oder wie oben argumentiert: Die Geschwindigkeit des Wagens nimmt ab, also muss auch die kinetische Energie abnehmen.

Frage 06 ... Regen-Fragen B

Frage [06.1] → Die Geschwindigkeit nimmt nicht ab, warum auch ... es wirkt keine verzögernde Kraft auf den Wagen.

Frage [06.2] → Der Impuls ändert sich, weil bei gleicher Geschwindigkeit die Masse des Wagens abnimmt.

Frage [06.3] → Die Geschwindigkeit des Wagens bleibt gleich, aber seine Masse nimmt ab, deshalb nimmt die kinetische Energie ab.

Frage 07 ... bergab

- Frage [07.1] Welcher Höhenunterschied wird dabei überwunden? → aus $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ kann man direkt auf die Höhe schließen.
- Frage [07.2] Welche Geschwindigkeit hat der Ball im zweiten Fall? → hier gilt $\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh = \frac{1}{2}mv_u^2$; da diese Gleichung unabhängig von m ist, alle anderen Größen bekannt sind, kann man die Gleichung nach v_u auflösen.

Frage 08 ... kaputte Fenster

- Frage [08.1] Bei welchem Wurf (Willi oder Wilhelmine) besteht die größere Gefahr, dass die Fensterscheibe eventuell bricht? → der elastische Ball von Willi wird an der Scheibe reflektiert. Also ist der Impulsübertrag auf die Scheibe doppelt so groß ... Willis Wurf ist damit „gefährlicher“.
- Frage [08.2] → Willis Ball kommt mit dem Impuls p an, trifft die Scheibe – die Scheibe nimmt $2p$ an Impuls auf. Der Ball wird mit p reflektiert. Wilhelmines Ball bleibt kleben – d.h. die Scheibe übernimmt den Impuls, den der Ball mitbringt – dieser Impuls fließt dann in die Erde ab.
- Willis Ball wechselwirkt mit der Scheibe nahezu elastisch – d.h. der Ball nimmt die Energie, die er mitbringt, nach dem Stoß wieder in die entgegengesetzte Richtung mit. Wilhelmines Ball bleibt an der Scheibe kleben – d.h. die Bewegungsenergie des Balls geht in thermische Energie über.

Frage 09 ... exzentrische Rolle

- Frage [09.1] Seil bei einer festen Rolle. → Die Kräfte in einem Seil sind überall gleich groß.
- Frage [09.2] Mit und ohne feste Rolle → In beiden Fällen benötigt man die gleiche Energie. Die feste Rolle führt nur zu einer Umlenkung der Krafttrichtung.
- Frage [09.3] Lose Rolle → Auch im Falle einer losen Rolle bleibt die benötigte Energie gleich groß. Der Unterschied besteht nur darin, dass eine lose Rolle eventuell die Kraft halbiert und den Weg dann allerdings verdoppelt. Siehe auch „Golde Regel der Mechanik“ oder „Mechanischer Energieerhaltungssatz“.
- Frage [09.4] Exzentrische Rolle → Die Masse auf der Seite mit dem kleineren Hebelarm muss entsprechend größer sein. Bei einem Viertel Hebelarm benötigen wir die vierfache Masse, damit die wirksame Kraft ebenfalls vierfach ist. Drehmoment-Ansatz: $F_{\text{links}} \cdot l_{\text{links}} = F_{\text{rechts}} \cdot l_{\text{rechts}}$

Frage 10 ... Sumpf-Frage

- [10.1] Fallhöhe $h - 1\text{ cm}$ tief in den Sumpf ein ... doppelten Höhen → Doppelte Höhe → doppelte Lageenergie → doppelte kinetische Energie vor dem Auftreffen → Mit dem Ansatz $E = F \cdot s$ bekommen wir bei gleicher Bremskraft im Sumpf die doppelte Strecke s
- [10.2] Geschwindigkeit $v - 1\text{ cm}$ tief ... doppelter Geschwindigkeit → Doppelte Geschwindigkeit bedeutet vierfache kinetische Energie vor dem Eindringen – mit der obigen Argumentation bekommen wir vierfache Eindringtiefe.

Frage 11 ... Lokomotiven-Frage

- [11.1] Lokomotiven von Güterzügen / Personenzügen. → Gleiche Anzahl von Kolbenbewegungen führen bei den großen Rädern (Personenzügen) zu einer größeren Strecke – bei kleinerer Kraft ... im Vergleich zu den Güterzügen. Die großen Räder entsprechen also bei einem Getriebe einem „hohen Gang“ – bei großer Geschwindigkeit. Die kleineren Räder bei den Güterzügen haben wir damit einen kleinen Gang – also kleine Geschwindigkeit bei großer Kraft.
- [11.2] Warum haben moderne Elektro- oder Diesellokomotiven keine unterschiedlich großen Räder? → Moderne Lokomotiven haben Elektromotoren auf ihren Antriebsachsen. Auch Diesellokomotiven erzeugen mit den Dieselmotoren über einen Generator elektrische Energie. Bei einem Elektromotor benötigt man aber kein Getriebe ... also auch keine verschieden große Räder.

Frage 12 ... Serpentin-Frage

- [12.1] Kräfte → Jan fährt gewissermaßen eine schiefe Ebene hoch, deren Winkel flacher ist als bei ihrem Bruder Jan. Da beide die gleiche Energie aufbringen müssen und die Energie über $E = F \cdot s$ berechnet wird, muss Janina die halbe Kraft aufbringen (vorausgesetzt sie haben die gleichen Räder und fahren im gleichen Gang ...)
- [12.2] Benötigten Energien → siehe oben ... beide müssen die gleiche Energie aufbringen.

Frage 13 ... Orkan

- [13.1] Sturm ... doppelter Geschwindigkeit → Doppelte Geschwindigkeit bedeutet, doppelte Luftmasse bei doppelter Geschwindigkeit in der gleichen Zeit ... d.h. $F = \Delta p / \Delta t$ liefert damit vierfache Kraft.
- [13.2] Entsprechend der Herleitung der Formel für den Luftwiderstand, ergibt sich $F \sim v^2 / F \sim A / F \sim \rho$

Frage 14 ... Raketenmodell

- [14.1] $100\text{ g} / 1\text{ m/s}$ → Aus diesen Daten kann man auf den Impuls des Schlittens schließen ... diesen Impuls kann der Schlitten mit einer kleinen Düse (kleine Kraft) in einer großen Zeit – oder mit einer großen Düse (große Kraft) in kurzer Zeit erreichen.
- [14.2] → Impuls und Energie kann man mit $p = m \cdot v$ bzw. $E = \frac{1}{2}mv^2$ berechnen.