



## 4. Impuls- und Energieerhaltung, Leistung, Wirkungsgrad


### Stoss-Probleme

**53**  Für Berechnungen von **vollkommen elastischen Stößen** muss stets beachtet werden, dass beide Erhaltungssätze gleichzeitig erfüllt sein müssen. Die folgenden beiden Beispiele sollen das zeigen.


Weitere Beispiele machen dann klar, dass durch **vollkommen inelastische Stöße** stets ein sehr grosser Teil der kinetischen Energie in **innere Energie** (resp. **Deformationsenergie**) umgewandelt wird.


**54**  Die **Newtonsche Wiege (Kugelstosspendel)** ist eine hübsche Versuchsanordnung. Sie besteht aus einer Reihe von Metallkugeln, die an Fäden aufgehängt sind.

- Die Beobachtung die sich an dieser Vorrichtung machen lässt, wird im Unterricht gezeigt. Notieren Sie das Beobachtungsergebnis.
- Wir beweisen aus den beiden Erhaltungssätzen, dass nur die gemachten Beobachtungen möglich sind.

**55**  Erst mit der Erkenntnis des Energiesatzes sind Sie in die Lage versetzt worden, die **vollkommen elastischen Stössvorgängen** (Luftkissenbahn) von Kapitel 3 auch vollständig zu berechnen.

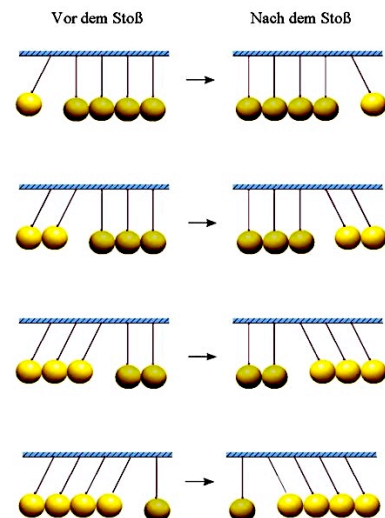
- Ein Schlitten der Masse 200 g bewegt sich mit der Geschwindigkeit 1 m/s auf einer Luftkissenbahn auf einen ruhenden Schlitten der Masse 100 g zu. Wie bewegen sich die beiden Schlitten nach dem **vollkommen elastischen Stoss**?
- Zwei Schlitten unterschiedlicher Massen bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit auf einander zu. Nach dem vollkommen elastischen Stoss steht der eine der beiden Schlitten **still**. In welchem Verhältnis stehen die beiden Schlittenmassen zu einander?

**56**  Berechnen Sie für die Beispiele in Aufgabe **36** von Kapitel 3 die Zunahme der inneren Energie  $\Delta U$  (resp. die Deformationsenergie  $E_{Def}$ ). Gelingt es Ihnen gar, eine allgemeine Formel herzuleiten?

**57**  Die Geschwindigkeit eines kleinkalibrigen Gewehrs kann mit einem **ballistischen Pendel** bestimmt werden. Das Geschoss wird dabei von einer Pendelmasse aufgefangen, welche den grössten Teil der kinetischen Energie absorbiert (Zunahme der inneren Energie) und einen kleinen Teil in potentielle Energie des Pendels umwandelt. Protokollieren Sie die Messung und die Ausführungen dazu und berechnen Sie sodann sowohl die Geschwindigkeit als auch den Anteil der kinetischen Energie, der in innere Energie umgewandelt wird.

#### Ziele dieses Kapitels

- Sie vertiefen Ihre Kenntnisse zu Mechanik und Wärmelehre aus dem Grundlagenfach und üben sich gleichzeitig im Lösen komplexerer mathematischer Probleme aus diesen Themenbereichen.
- Sie erweitern Ihr Verständnis von Stoss-, Beschleunigungs- und weiteren Bewegungsvorgängen.



<http://de.wikipedia.org/wiki/Kugelstoßpendel>  
(Juni 2008)

## Energie im Verkehr

**58 ? Beschleunigung mit konstanter Leistung:** Ein Ford Fiesta ( $m = 790 \text{ kg}$ ) soll bei maximaler Motorleistung ( $51 \text{ kW} \approx 69 \text{ PS}$ ) von der Geschwindigkeit  $0 \text{ km/h}$  auf  $10 \text{ km/h}$  beschleunigt werden.

- Wie lange dauert der Beschleunigungsvorgang etwa? (Reibungskräfte sollen nicht berücksichtigt werden.)
- Berechnen Sie auch die benötigte Zeit für die Beschleunigung von  $10 \text{ km/h}$  auf  $20 \text{ km/h}$ , von  $20 \text{ km/h}$  auf  $30 \text{ km/h}$ , usw.
- Wie entwickelt sich also die Geschwindigkeit im Laufe der Zeit, wenn ein Wagen aus dem Stillstand startet und mit Vollgas (d.h. stets mit grösstmöglicher Leistung) beschleunigt? Skizzieren und kommentieren Sie das  $v-t$ -Diagramm und vergleichen Sie dessen Form mit dem  $v-t$ -Diagramm unseres roten Autos vom Skript GF3.



**59 ? Abschätzung des Wirkungsgrades** eines Opel-Vektora: Die folgenden Angaben habe ich wiederum auf Wikipedia zusammengesucht.

Der  $c_w$ -Wert eines Opel Vectra (2002–2008) beträgt ca.  $0.28$ . Seine Leistung ist  $103 \text{ kW}$  oder  $140 \text{ PS}$ . Er verbraucht  $7.3 \text{ Liter}$  Benzin auf  $100 \text{ km}$ .

Zudem gilt allgemein, dass je nach Fahrstil, mittlerer Strecke und eingeschalteter Klimaanlage der Benzinverbrauch bis  $25 \%$  höher liegen. Der Benzinverbrauch wird in einem Testfahrzyklus ermittelt, der durch das abgebildete  $v-t$ -Diagramm rechts definiert ist.

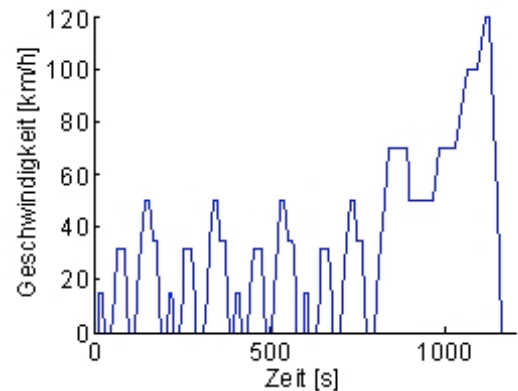
Autoreifen haben auf Asphalt eine Reibungszahl zwischen  $0.013 - 0.015$ .

- Bestimmen Sie mit obigen Angaben näherungsweise den **Wirkungsgrad**.
- Bestimmen Sie zusätzlich die **Maximalgeschwindigkeit**.

**60 R** Ein Körper der Masse  $m$  gleitet mit der Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  entlang einer waagrechten rauhen Unterlage. Die Gleitreibungszahl sei  $f_g$ .

- Leiten sie aus dem Energiesatz eine Formel zur Berechnung des **Bremsweges** her?
- Zur Interpretation: Um wie viel ändert sich der Bremsweg, wenn die Geschwindigkeit verdoppelt wird?

**61 R** Um sich für einen **Autounfall** eine Vorstellung von der Wucht des Aufpralls machen zu können, könnte man sich die folgende Frage stellen: Aus welchen Höhen müsste man ein Auto fallen lassen, damit der Aufprall gleich heftig (d.h. mit gleicher Geschwindigkeit) wäre, wie wenn das Auto mit  $30 \text{ km/h}$ , resp. mit  $50 \text{ km/h}$ , gegen eine **Mauer** fahren würde?



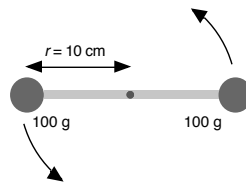
Weitere Angaben (Stirnfläche, Masse, ...) zum Opel Vectra finden Sie auf Wikipedia [http://de.wikipedia.org/wiki/Opel\\_Vectra](http://de.wikipedia.org/wiki/Opel_Vectra) oder auf den Datenblättern des Herstellers [www.opel.de/shop/cars/vectra/index.act](http://www.opel.de/shop/cars/vectra/index.act)

**62 ?** Energie kann in einem **Schwungrad** gespeichert werden. Sie kennen das (vielleicht) von kleinen Spielzeugautos: Setzt man zuerst das Schwungrad in starke Rotation und setzt das Auto anschliessend auf dem Boden auf, so fährt es davon. Dabei wird die Rotationsenergie des Schwungrades in die Bewegungsenergie des Autos umgewandelt.

Die Autokonstrukteure machen sich auch Gedanken darüber, wie mit einem Schwungrad die Bremsarbeit gespeichert und beim nächsten Start wieder abgerufen werden kann. Schätzen Sie den Energieanteil ab, der **eingespart** werden kann, wenn im City-Zyklus des Testfahrzyklus (Aufgabe 59) die gesamte Bremsarbeit gespeichert werden könnte.

**63 ?** Die Herleitung einer Formel für die **Rotationsenergie** eines Schwungrades ist ein etwas schwieriges Unterfangen, denn man muss für jeden Masseteil des Schwungrades die kinetische Energie bestimmen, die er hat auf Grund seiner Bewegung auf der Kreisbahn um den Mittelpunkt. Die Summe aller dieser Energien ergibt die Rotationsenergie.

Wir können uns das Vorgehen zuerst am einfachen Beispiel der **Hantel** überlegen: Wir denken uns zwei gleiche Massen an einem sehr leichten Stab (dessen Masse vernachlässigt werden soll) und lassen den Stab um seinen Mittelpunkt (Schwerpunkt des Systems) rotieren.



- Leiten Sie eine **Formel** für die **Rotationsenergie der Hantel** her. Die Formel soll die Rotationsenergie in Abhängigkeit der Massen, des Radius und der Frequenz (Anzahl Umdrehungen pro Minute) angeben.
- Welche **Dreh-Frequenz** muss die Hantel mit den Angaben in der Skizze haben, damit die Energie 1 kJ beträgt?

**64 ?** Wie lautet die Formel für die **Rotationsenergie eines schmalen Rings** (siehe Bild, ohne Berücksichtigung der Speichen)? Man kennt das Material (Dichte), den Radius bis zur Mitte des Rings gemessen, die Breite und Dicke des Ringes und die Drehfrequenz.

**65** Wir berechnen im Unterricht mit Hilfe des Ergebnisses von **64** die **Rotationsenergie eines Zylinders**, resp. einer Scheibe.

**66 ?** Überprüfen Sie die Angaben über den **Speicherinhalt** und die **Umfangsgeschwindigkeit** des Schwungrades im Text zum **Gyrobuss**.

**67** Halten Sie unter dieser Nummer die **Ergänzungen** fest, die wir im Unterricht zu diesem Kapitel (vielleicht) gemacht haben.

Ein **Gyrobuss** ist ein Autobus mit Gyroantrieb, einem Elektroantrieb, der seine Energie nicht wie Oberleitungsbusse/Trolleybusse von einer Fahrleitung bezieht, sondern von einem Schwungrad. Auf dieses weist der Wortteil Gyro hin, welcher von griechisch γύρος kommt, was „Kreisel“ oder „Runde“ bedeutet.

Vorteile: Leise und umweltfreundlich, kommt ohne Fahrleitung aus und kann damit auch flexibel an wechselnden Strecken verkehren. Nachteil: Das Gewicht; ein Bus für ca. 20 Personen muss für einen Aktionsradius von 20 km etwa 1,5 t Schwungradmasse sowie dessen Antrieb (Elektromotor/Generator) und die eigentlichen Fahrmotoren mitführen. Die Scheibe, die mit 3000 Umdrehungen pro Minute dreht, erfordert besondere Befestigung und Sicherheit - die Umfangsgeschwindigkeit beträgt bei einem Scheibendurchmesser von 1,6 m etwa 900 km/h. Sein Speicherinhalt ist dann 9,15 kWh.

Ein weiteres Problem stellt die Luftreibung und der damit einhergehende Energieverlust der Schwungradmasse dar: Er ist nur durch Evakuierung des Schwungradgehäuses zu vermeiden. Auch ist das Fahrverhalten eines Gyrofahrzeugs nicht ganz unproblematisch, versucht doch das Schwungrad, die Lage immer gleich zu halten: Starke Änderungen der Steigung/des Gefälles der Straße führen bei senkrechter Schwungradachse beispielsweise zu Kippkräften auf das Fahrzeug.

An den Endstationen wird eine Verbindung mit dem Stromnetz hergestellt und das Schwungrad wird wieder beschleunigt. Auch die Bremsenergie kann wieder zurückgewonnen und auf das Schwungrad übertragen werden. In der Schweiz wurden Gyrobusse von 1953 bis 1960 zwischen Yverdon-les-Bains und Grandson auf einer 4,5 km langen Strecke eingesetzt.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Gyrobuss>, Juli 2008



Schwungrad einer Schmiede (Quelle: Wikipedia 2008 → Schwungrad)

- Wir haben keine Ergänzungen gemacht.
- Ja, wir haben Ergänzungen vorgenommen, nämlich: