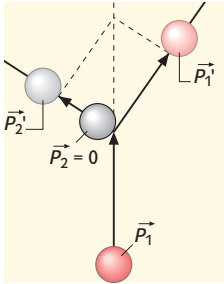
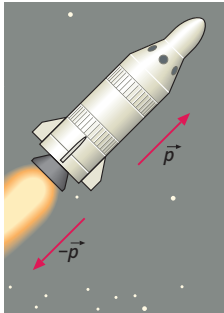


3.5 Impuls

Betrachtet man den Untergang der „Titanic“, wird klar: Wäre das Schiff vor dem missglückten Ausweichmanöver langsamer gewesen, hätte die Wirkung der Maschinen ausgereicht, um es am Eisberg vorbeizusteuern. Ähnliches kann man folgern, wäre die Masse des Schiffes kleiner gewesen.



B1 Impulsänderung durch einen Stoß



B2 Impulsübertragung bei einer Rakete

Wechselwirkungen bei Stößen

Schnippt man auf einer glatten Unterlage eine Münze auf eine ruhende gleichartige Münze, so hängt die Auswirkung dieses Stoßes stark von der Geschwindigkeit der Münze ab. Bei der Verwendung verschiedener Münzen erkennt man aber auch, dass die Auswirkungen des Stoßes von der Masse der Stoßpartner abhängen.

Man definiert das Produkt aus Masse m und Geschwindigkeit v als **Impuls p** des Körpers:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Die gesetzliche Einheit für p ist $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$.

Der Impuls ist ein Vektor, der in die gleiche Richtung wie der Geschwindigkeitsvektor zeigt.

Impulserhaltung

Stoßen zwei frei bewegliche Körper zusammen, so beobachtet man, dass sich bei beiden Körpern die Geschwindigkeit und damit der Impuls verändert (\rightarrow B1). Die Beobachtungen sind unabhängig davon, ob sich die Körper wirklich berühren oder ob man zwei kleine Magnete verwendet, die sich abstoßen, ohne in Kontakt zu kommen. Deshalb spricht man besser von Wechselwirkung.

Bei Versuchen mit zwei Gleitern auf der Luftkissenfahrbahn kann man Wechselwirkungen mit anderen Körpern, etwa durch Reibung, vernachlässigen. Man bezeichnet in diesem Fall die Gleiter als **abgeschlossenes System**. Messungen zeigen, dass bei der Wechselwirkung beide Gleiter eine gleich große, aber entgegengesetzte Impulsänderung erfahren. Für die Impulsänderung infolge der Wechselwirkung zweier Körper ist es unerheblich, in welchem Bewegungszustand sie sich vor der



B3 Pkw „schieben“ die Straße nach hinten.



B4 Speedway-Start

Wechselwirkung befinden. Es gilt stets der **Impulserhaltungssatz**:

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2 \text{ und damit}$$

$$\vec{p}_1 - \vec{p}'_1 = -(\vec{p}_2 - \vec{p}'_2) \text{ bzw. } \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

wobei p' jeweils den Impuls nach der Wechselwirkung angibt.

„Verlust und Gewinn“ von Impuls?

Ein Flummi wird an eine Wand geworfen und prallt zurück. Ein Spielzeugauto wird auf einer ebenen Fläche angeschubst und rollt aus. In den Versuchen ändern sich die Impulse von Flummi und Spielzeugauto, scheinbar ohne dass eine Impulsübertragung auf einen anderen Körper zu beobachten ist.

Tatsächlich bleibt auch hier der Gesamtimpuls erhalten, denn man muss immer die Impulse aller wechselwirkenden Körper betrachten. Der Ball konnte seine Richtung nur umkehren, weil er gegen die Wand prallte. Die Wand erfuhr eine Impulsänderung um den gleichen Betrag wie der Flummi. Allerdings ist die Masse der Wand so groß, dass ihre Geschwindigkeitsänderung vernachlässigbar klein ist. Auch das Spielzeugauto hat Impuls „verloren“, er wurde an den Erdboden abgegeben. Damit verbunden ist eine Änderung der Erddrehung, die jedoch unmessbar klein ist.

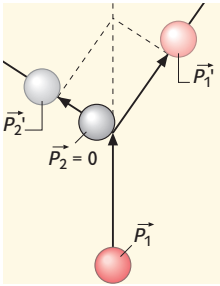
Auch wenn ein Körper beschleunigt, muss ein anderer Körper in entgegengesetzter Richtung beschleunigt werden, damit der Gesamtimpuls erhalten bleibt. Eine Rakete beschleunigt (\rightarrow B2), indem die Raketenabgase mit hoher Geschwindigkeit nach hinten ausgestoßen werden, ein Pkw beschleunigt, indem er die Straße nach hinten „wedgeschiebt“ wie an der Fahrbahnmarkierung in B3 zu erkennen ist.

Ein Körper mit Masse m , der sich mit der Geschwindigkeit \vec{v} bewegt, hat den Impuls $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$.

In einem abgeschlossenen System bleibt die Summe der Impulse erhalten.

A1 Wie ändert sich der Impuls eines Körpers, wenn eine Kraft auf den Körper wirkt?

A2 Deuten Sie das Aufwirbeln des Sandes in Abbildung B4.



B1 Nichtzentraler, elastischer Stoß

Zentraler und nichtzentraler Stoß

Bisher wurden Messergebnisse nur bei Wechselwirkungen zweier Körper gewonnen, die sich auf einer Luftkissenbahn bewegen. Die Geschwindigkeitsvektoren der beteiligten Körper liegen auf einer Geraden, man spricht von einem **zentralen Stoß**. Er tritt jedoch bei Wechselwirkungen zwischen Münzen oder beim Billard selten auf.

B1 zeigt einen Fall, bei dem eine rote Kugel seitlich versetzt auf eine zu Beginn ruhende weiße Kugel stößt. Die Impulse \vec{p}_1' und \vec{p}_2' nach diesem nichtzentralen Stoß bilden ein Parallelogramm mit dem Anfangsimpuls \vec{p}_1 als Diagonale. Es gilt wiederum: $\vec{p}_1 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$.

Elastische Stöße

Stoßen zwei Billardkugeln aufeinander, so bewegen sie sich nach dem Stoß mit veränderten Geschwindigkeiten weiter. Diese Geschwindigkeiten lassen sich mit Hilfe der Erhaltungssätze für Impuls und Energie bestimmen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- 1 Die beteiligten Körper bewegen sich in einer horizontalen Ebene und sollen ein abgeschlossenes System bilden; die Bewegungsenergie bleibt erhalten.
- 2 Die Schwerpunkte der Körper bewegen sich auf einer Geraden aufeinander zu. Dann stoßen die Körper zentral zusammen (\rightarrow B2).

Für die Körper 1 und 2 gilt nach den Erhaltungssätzen:

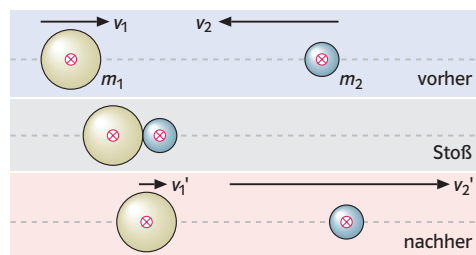
$$E_{B1} + E_{B2} = E'_{B1} + E'_{B2}$$

$$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2$$

Man erhält für die Geschwindigkeiten v'_1 und v'_2 nach dem Stoß:

$$v'_1 = \frac{2m_2 \cdot v_2 + (m_1 - m_2) \cdot v_1}{m_1 + m_2}$$

$$v'_2 = \frac{2m_1 \cdot v_1 + (m_2 - m_1) \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$



B2 Zentraler elastischer Stoß

Damit sind Voraussagen über Stoßvorgänge möglich, ohne dass die beim Stoß konkret ablaufenden Prozesse bekannt sind.

Unelastische Stöße

Stoßen zwei Körper zentral aufeinander, so bewegen sie sich nach einem total unelastischen Stoß gemeinsam in die Richtung des Körpers, der zuvor den größeren Impuls hatte. Es gilt:

$$p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 \text{ bzw.}$$

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v'$$

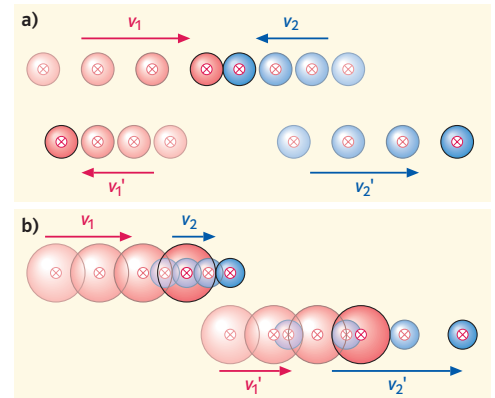
Für die Geschwindigkeiten der beiden Körper gilt: $v'_1 = v'_2 = v'$.

Somit folgt:

$$v' = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

A1 \bullet B3a zeigt den elastischen Stoß zweier Körper mit gleichen Massen, B3b zeigt das Auflaufen (ebenfalls elastisch) eines Körpers 1 auf einen Körper 2 mit sehr viel kleinerer Masse.

- a) Beschreiben Sie jeweils anhand der Abbildungen die Bewegungen der Stoßpartner vor und nach dem Stoß. Vergleichen Sie dazu auch ihre Geschwindigkeiten.
- b) Begründen Sie mit Hilfe der angegebenen Gleichungen Ihre Aussagen aus a) über die Geschwindigkeiten nach dem Stoß.



B3

A2 \bullet Leiten Sie die Gleichungen für v'_1 und v'_2 mathematisch aus dem Energieerhaltungssatz und dem Impulserhaltungssatz her.

Hinweis: Formen Sie die Gleichungen für die Energie und den Impuls so um, dass die Terme für Körper 1 auf der einen und die für Körper 2 auf der anderen Seite des Gleichheitszeichens stehen. Klammern Sie m_1 bzw. m_2 aus und denken Sie an die dritte binomische Formel.