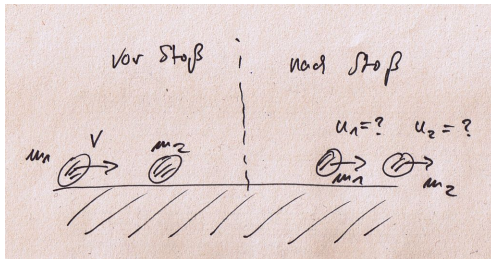


Impuls und Impulserhaltung (Herleitung)

Die Energie ist ein zentrales Konzept der Physik und ihre Erhaltung („Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden“) kann oft verwendet werden, um physikalische Prozesse zu berechnen. Kennt man etwa die Geschwindigkeit, mit der ein Körper senkrecht in die Höhe geworfen wird, kann man mit Hilfe der Energieerhaltung voraussagen, wie hoch er steigen wird.



Stoßen aber zwei Körper aufeinander (siehe Abbildung), von denen z. Bsp. der zweite vor dem Stoß ruhen soll, sind alle möglichen Bewegungen mit der Energieerhaltung verträglich! Stellen wir uns vor, dass der Stoß vollkommen elastisch ist (d.h. die Körper nehmen nach dem Stoß ihre ursprüngliche Form wieder an). Dann sollte nach dem Stoß die kinetische Energie genau so groß wie vorher sein: $\frac{1}{2}m_1v^2 = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$ (offensichtlich bezeichnen m_1 und m_2 die Massen der beiden Körper sowie u_1 und u_2 ihre Geschwindigkeiten nach dem Stoß).

Das ist **eine** Gleichung, die die Werte der **beiden** Endgeschwindigkeiten natürlich nicht eindeutig festlegen kann!

In der Natur ist der Ablauf dieser Vorgänge jedoch genauso eindeutig festgelegt wie der eingangs erwähnte Wurf. Es liegt nahe, dass unsere Beschreibung einfach noch unvollständig ist! Der Begriff, der zur Analyse (nicht nur) von Stoßvorgängen gebraucht wird, ist der „**Impuls**“. Seine Herleitung geht etwa so: Stoßen zwei Körper aufeinander, so wirken zwischen ihnen natürlich Kräfte. Schließlich verändert sich ihre Geschwindigkeit! Seien v_1 und v_2 die Geschwindigkeiten vor dem Stoß sowie u_1 , u_2 die Geschwindigkeiten nach dem Stoß, so sind diese Kräfte: $F_1 = m_1 \cdot \frac{u_1 - v_1}{\Delta t}$ und $F_2 = m_2 \cdot \frac{u_2 - v_1}{\Delta t}$. Hier bedeutet Δt die kurze Zeitdauer des Stoßes. Diese Gleichungen folgen aus der Grundgleichung der Mechanik ($F = m \cdot a$) wenn man sich erinnert, dass die Beschleunigung die Änderung der Geschwindigkeit ist: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.

Die beiden Kräfte sind aber nicht unabhängig! Es sind gerade Kraft und Gegenkraft gemäß des Wechselwirkungsgesetzes. Also gilt $F_1 = -F_2$:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= -F_2 \\
 m_1 \cdot \frac{u_1 - v_1}{\Delta t} &= -m_2 \cdot \frac{u_2 - v_1}{\Delta t} && | \cdot \Delta t \\
 m_1 \cdot (u_1 - v_1) &= -m_2 \cdot (u_2 - v_1) && | \text{Terme sortieren} \\
 \underbrace{m_1 u_1}_{=p_{1,nach}} + \underbrace{m_2 u_2}_{=p_{2,nach}} &= \underbrace{m_1 v_1}_{=p_{1,vor}} + \underbrace{m_2 v_2}_{=p_{2,vor}}
 \end{aligned}$$

Man bezeichnet nun das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit als Impuls (Formelbuchstaben p), also

$$p = m \cdot v.$$

In unserem Beispiel taucht diese Bildung viermal auf: für jeden Körper vor und nach dem Stoß. Man stellt fest (siehe letzte Gleichung): wegen des Wechselwirkungsgesetzes ist der „Gesamtimpuls“ (also die Summe der Impulse zu einem Zeitpunkt) erhalten: $p_{ges,vor} = p_{ges,nach}$.

Wichtig: Diese Herleitung hat gar nicht vorausgesetzt, dass bei dem Stoß nicht auch andere Energieformen auftauchen, also etwa „Verformungsenergie“, „Wärme“ etc.pp. Die Impulserhaltung gilt also auch, wenn die Bewegungsenergie bei dem Stoß in andere Energieformen umgewandelt wird.

Diese zusätzliche Gleichung erlaubt uns nun, den eingangs betrachteten Bewegungsvorgang eindeutig zu berechnen (siehe nächster Abschnitt).

Bevor wir uns dieser Rechnerei zuwenden, wollen wir noch einmal festhalten: Der Impuls ist eine (für uns) neue Erhaltungsgröße, die man **nicht** mit der Energie verwechseln darf! Die Eigenschaft „erhalten zu sein“ ist nichts, was die Energie alleine besitzt. Zum Beispiel ist die elektrische Ladung ja auch eine Erhaltungsgröße! Ausserdem ist der Impuls ein **Vektor**. Man sollte besser schreiben $\vec{p} = m\vec{v}$. Der Impuls eines Körpers zeigt in die selbe Richtung wie seine Geschwindigkeit.