

Wenn Kräfte wirksam werden

1. Stoffliche Vorbemerkungen

Die meisten Menschen haben keine richtigen Vorstellungen davon, welche Kräfte bei in Bewegung befindlichen Fahrzeugen durch die kinetische Energie gespeichert sind und wie sich diese Kräfte auswirken, wenn sie bei einem Unfall plötzlich frei werden.

1.1. Fallvergleich

Von der Energie des Aufpralles bekommt man am ehesten eine Vorstellung, wenn man sie mit der Energie des freien Falles vergleicht.

Zur Berechnung der Vergleichszahlen benötigt man folgende Formel:

$$\text{Aufprallwucht} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$m = \text{Masse [kg]}$$

$$g = \text{Erdbeschleunigung [9,81 m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2 \text{]}$$

$$\text{Wucht für freien Fall} = m \cdot g \cdot h$$

$$v = \text{Geschwindigkeit [m/s = } \frac{\text{km}}{3,6} \text{]}$$

$$h = \text{Höhe [m]}$$

Setzt man diese beiden Formeln gleich und löst sie nach der Höhe hin auf, erhält man:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot g \cdot h$$

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{2 \cdot 10}$$

Bei 40 km/h bedeutet dies:

$$40 \text{ km/h} \approx 11 \text{ m/s}$$

$$g \approx 10 \text{ m/s}^2$$

$$h = \frac{11^2}{2 \cdot 10} = \frac{121}{20} \approx 6 \text{ m}$$

Eine Frontalkollision mit 40 km/h entspricht also einem Fall aus rund 6 m Höhe. Niemand kann von einem Trampolin (nur 5 m) statt ins Wasser in das leere Betonbecken köpfeln und, sich mit den Händen abstützend, das Ganze gut überstehen. Das entspricht der Situation eines Mopedfahrers bei einer Kollision mit „nur“ 40 km/h.

1.2. Größe der kinetischen Energie

Die Größe der kinetischen Energie ist aufgrund der Formel von Masse und Geschwindigkeit abhängig. Zunahme der Masse wirkt sich linear, Zunahme der Geschwindigkeit quadratisch auf die Energie aus. Da doppelte Geschwindigkeit 4-fache und 3-fache Geschwindigkeit 9-fache kinetische Energie bewirkt, werden die Überlebenschancen bei Unfällen mit höheren Geschwindigkeiten immer geringer.

1.3. Kollision mit schweren Unfallgegnern

Die unterschiedlichen Massen von Einspurigen, Pkw's oder Lkw's wirken sich in der Praxis ohne Berücksichtigung juridischer Gesetze oder der Schuldfrage zu Ungunsten der Einspurigen aus: Bereits bei einer Kollision mit einem Pkw beträgt der Masseunterschied zum Einspurigen etwa das 6- bis 9-fache, bei einer Kollision mit einem Lkw ein Vielfaches davon. Zum Selbstschutz ist es daher für Einspurige besonders wichtig, solche Unfälle durch Vermeiden eigener Fehler und durch Erkennen und Kompensieren von Fehlern anderer zu vermeiden. Das Bewußtsein, nur minimale Chancen zu haben, solche Unfälle einigermaßen glimpflich zu überstehen, müßte zu einem sehr defensiven Fahrstil führen. Das Beispiel im Arbeitsheft zeigt deutlich den großen Einfluß der Masse beim Zusammenprall unterschiedlicher Fahrzeuge.

Die Ansicht, daß die Benutzer einspuriger Fahrzeuge bei Kollisionen mit Pkw's, sei es frontal oder seitlich, automatisch über diese Fahrzeuge geschleudert werden, gilt meist nur für den Beifahrer. Der Lenker bewegt sich in seiner ursprünglichen Richtung – also gerade – weiter und trifft mit dem Kopf voll auf den Pkw. Nur wenn er sich vor dem Aufprall von seiner Maschine abstößt, besteht eine Chance, über den Pkw geschleudert zu werden.

1.4. Berechnungsgrundlagen

Die Berechnungsgrundlagen für dieses Beispiel liefern die Stoßgesetze, welche aus Impuls- und Energieerhaltung gebildet werden und zu folgender Endformel führen:

$$v_1 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 - m_2 k (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}$$

$$v_2 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_1 k (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2}$$

m = Masse

v = Geschwindigkeit

k = Stoßfaktor

Für die Berechnung ist wichtig, daß die Geschwindigkeit bei zwei Fahrzeugen, die zusammenprallen, für das eine Fahrzeug (v_1) positiv und für das andere (v_2) negativ eingesetzt werden (Vektorrichtung).

Bei der gezeigten Situation entspricht der Aufprall des Mopedfahrers dem eines plastischen (unelastischen) Stoßes. Der Stoßfaktor wird daher mit 0 eingesetzt. Deshalb bewegen sich beide Fahrzeuge nach dem Zusammenstoß mit derselben Geschwindigkeit weiter. Bei einem Zusammenstoß Pkw-Pkw oder Pkw-Lkw wäre das anders. Hier müßte der Stoßfaktor 0,2 eingesetzt werden (aus Tests gewonnener Wert).

Pkw: $v_1 = + 40 \text{ km/h}$ (v kann in km oder m/s eingesetzt werden)

$m_1 = 1.000 \text{ kg}$

Moped: $v_2 = - 40 \text{ km/h}$ Stoßfaktor: $k = 0$

$m_2 = 150 \text{ kg}$

Pkw:

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 - m_2 k (v_1 - v_2)}{m_1 + m_2} \\ &= \frac{1000 \cdot 40 + 150 (-40) - 150 \cdot 0}{1000 + 150} \quad [40 - (-40)] \\ &= \frac{40000 - 6000}{1000 + 150} \\ &= \frac{34000}{1150} \\ &= \text{ca. } + 30 \text{ km/h für den Pkw} \end{aligned}$$

Moped:

v_2 ergibt den gleichen Wert wie v_1 (Multiplikation mit Stoßfaktor 0 bewirkt, daß der Unterschied zwischen den beiden Formeln für v_1 und v_2 nicht wirksam werden kann).

Da der Mopedfahrer ursprünglich mit -40 km/h gefahren ist und nach der Kollision mit $+30$ km/h zurückfährt, ergibt sich für ihn eine Geschwindigkeitsdifferenz von 70 km/h, die praktisch jede Überlebenschance nimmt.

Die gezeigten Fallvergleiche sollen die unterschiedlichen Folgen für den Mopedfahrer bewußt machen (70 km/h entsprechen dem Fall aus rund 19 m Höhe).

1.5 Wucht und Weg

Bei Unfällen in der Praxis gibt es bei gleichen Geschwindigkeiten stark unterschiedliche Unfallfolgen. Die drei Darstellungen im Schülerheft zeigen die große Bedeutung des Weges, auf dem die Energie abgebaut werden muß. Daraus ergibt sich, daß im Fall des Falles unbedingt versucht werden müßte, durch Ausweichmanöver, durch Abspringen von der Maschine usw., Weg und damit Überlebenschance zu gewinnen. Auch bei den Sturzhelmen wird durch die Verwendung von Dämpfungsmaterial versucht, Weg zu gewinnen. Leider kann dadurch nur ein zwei bis drei Zentimeter längerer Deformationsweg erreicht werden.

2. Mögliche Lernziele

Die Schüler sollen

- betroffen sein, über die bei Unfällen auftretenden Kräfte;
- erkennen, welche Kräfte bereits bei relativ geringen Geschwindigkeiten auftreten und wovon deren Wirksamkeit abhängig ist;
- einsehen, daß sie durch ihr Fahrverhalten darüber entscheiden, ob und wie diese Kräfte wirksam werden;
- durch die gewonnenen Einsichten eine sicherheitsbewußte Einstellung erwerben.

3. Lehrmittel

Overhead-Serie „Physik für Zweiradfahrer“ (besonders die Folien: „Vergleich: Anprall – Sturz“, „Aufprall gegen Mauer“, „Wucht und Weg“, „Chancen beim Unfall“ und „Geschwindigkeitsänderung beim Unfall“ sowie die entsprechenden Begleittexte).

Mopedfilmserie: „Geschwindigkeit II“;

Film: „Mit voller Wucht“ (SHB und Landesbildstellen).

Computerprogramm: „Bremsweg“ (KfV-Schulungszentrum, Salzburg)

4. Methodische Anregungen

- Ausgehend vom Fallbeispiel Unfallursache und Unfallfolgen besprechen und beim Schüler möglichst Betroffenheit erreichen.
- Arbeitsaufträge in Partner- oder Kleingruppenarbeit lösen und anschließend Ergebnisse diskutieren. Die Möglichkeit, eigene Gedanken einbringen zu können, ist es eine wichtige Grundvoraussetzung beim Lernen im Einstellungsbereich.
- Immer wieder möglichst konkreten Bezug zu praktischen Situationen, Verhaltensweisen und Folgen herstellen.
- Im Sinne des mentalen Trainings Strategien zur Vermeidung und notfalls zur Bewältigung solcher Situationen entwickeln.
- Die einzusetzenden Werte und Texte mit den Schülern errechnen, bzw. erarbeiten oder vorgeben. Besonders die quadratische Zunahme herausheben und bewußtmachen.
- Eintragen der Ergebnisse im Schülerheft hat lernpsychologisch große Bedeutung.
- Das Einbringen eigener Erlebnisse und das Formulieren von Verhaltensvorsätzen in der Ich-Form verbessern den Lernerfolg.

5. Lösungen

- * Beim Anprall am Pkw wird die Bewegungsenergie wirksam. Sie kann am besten mit der Fallenergie verglichen werden. Der Anprall mit 40 km/h entspricht einem Sturz von mehr als 6 m Höhe.
- *

20 km/h	1,55 m
40 km/h	6,20 m
60 km/h	13,80 m
80 km/h	24,80 m
- * Die Wucht steigt im selben Ausmaß wie die Masse. Deshalb haben Mopedfahrer gegenüber schwereren Unfallgegnern geringe Überlebenschancen. Mopedfahrer müssen sich also so verhalten, daß es nicht zum Unfall kommt (keine eigenen Fehler, Fehler anderer ausgleichen).
- * Die Wucht steigt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit. Durch Herabsetzen der Geschwindigkeit können Unfallrisiko und Unfallfolgen entscheidend reduziert werden.
- * Der Geschwindigkeitsunterschied von 40 km/h bzw. 70 km/h entspricht einer Fallhöhe von 6,2 m bzw. 19,6 m.
- * Mopedfahrer müssen alles was möglich ist tun, daß es nicht zum Unfall kommt.
- * Im Ernstfall muß der Mopedfahrer unbedingt „Weg“ gewinnen, um eine Überlebenschance zu haben.