

Wiederhole den Abschnitt „Impuls“ von der Woche 51-2023, sonst kommst du im Folgenden nicht mit. Wir schließen an „Kraftstoß = Impulsänderung“ an.

### Fall 1: Impuls steigt (von 0)

Bsp.: Schlagen eines Golf- oder Tennisballs:

- möglichst fest (hohe  $F$ )
- möglichst lange („nachziehen“)<sup>1</sup>

### Fall 2: Impuls sinkt (auf 0)

- „Weich“: lange  $(\Delta t)^2$  und mit wenig Kraft ( $F$ ): Matte beim Hochsprung, Bungee-Seil, Auto gegen Heuhaufen etc.<sup>3</sup>
- „Hart“: kurz  $(\Delta t)$  und mit hoher Kraft ( $F$ ): Auto gegen Wand<sup>4</sup>

Wenn z.B. gilt:  $\Delta t = 0,1 \text{ s}$  und  $\Delta t = 1 \text{ s}$ , dann gilt für die gleiche Impulsänderung:  $F = 10 \cdot F$ <sup>5</sup>

Bsp.: Impulsänderung eines Wagens, der 10 s mit 10 N angeschoben wird:  $m \cdot \Delta v = F \cdot \Delta t = 10 \cdot 10 = 100 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ <sup>6</sup>

### Besonderer Fall:

Ein Objekt stößt gegen einen anderen Gegenstand.

- Wenn es „stecken bleibt“ (z.B. Dartpfeil), ist seine Impulsänderung  $= m \cdot v$ .<sup>7</sup>
- Wenn es zurückspringt (z.B. Tennisball), ist seine Impulsänderung doppelt so hoch, weil  $\Delta v = 2v$ :

Geschwindigkeit      vorher:       $\vec{v} \rightarrow$  |  
nachher:       $-\vec{v} \leftarrow$  |<sup>8</sup>

Da die Impulsänderung durch den anderen Gegenstand aufgebracht werden muss, ist der Schaden/Nutzen im zweiten Fall größer. (Bsp. Prellbock beim Zug<sup>9</sup>, Knautschzone beim Auto<sup>10</sup>,

1 Dass der Ball besonders hohen Impuls bekommt, wenn man kräftig schlägt, ist ja klar. Die Kontaktzeit des Balls mit dem Schläger ( $\Delta t$ ) soll aber auch möglichst lang sein, indem man „nachzieht“. Sonst bringt der kräftigste Schlag wenig.

2 Inspiriert durch eine amerikanisches Buch schreibe ich hier Variablen mit einem großen Inhalt dick und groß und solche mit einem kleinen Inhalt dünn und klein.

3 Wenn du deinen Impuls also sanft reduzieren willst, dann soll die Kraft gering sein und die Zeit hoch. Die Bsp. kannst du dir alle vorstellen.

4 Schau dir ein Video von einem Crashtest an, z.B.: [youtube.com/watch?v=sRtOUQiAlfk](https://youtube.com/watch?v=sRtOUQiAlfk)

5 Wenn man die Zeit, in der die Kraft wirkt, auf 1/10 reduziert, muss die Kraft 10mal so groß werden, damit sie die gleiche Auswirkung hat.

6 Die Einheit ist die des Impulses. (siehe oben)

7 Der gesamte Impuls des Objekts ist gleich seiner Impulsänderung. Am Ende hat es ja Impuls 0.

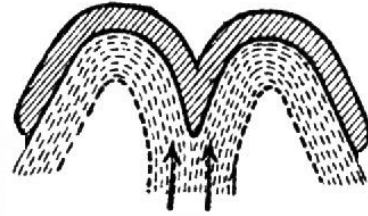
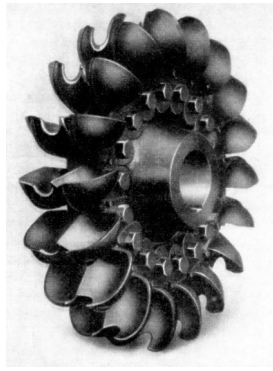
8 Ist das klar: Wenn z.B. ein Ball mit 10 m/s von einer Wand abprallt, hat er dann -10 m/s. Er hat seine Geschwindigkeit als um 20 m/s (genauer -20m/s) geändert:  $10 - 20 = -10 \text{ m/s}$ .

9 Videos dazu: [youtube.com/watch?v=vGKDR90VpE](https://youtube.com/watch?v=vGKDR90VpE) und [youtube.com/watch?v=EVBdrPggXO4](https://youtube.com/watch?v=EVBdrPggXO4) (z.B. 3:37-3:40)

Man sieht also: Es soll unbedingt vermieden werden, dass der Zug abprallt.

10 Denke an das Video vom Crashtest. Oldtimer hatten keine Knautschzone, sie waren starr gebaut. Wenn

## Peltonturbine<sup>11)</sup><sup>12)</sup>



### Impulserhaltung

Folgerung aus dem 3. Newtonschen Gesetz:

Ein Kraftstoß hat immer einen Gegen-Kraftstoß.<sup>13)</sup>

⇒ z.B. bei zwei gleichen Massen  $m$ : Eine Impulsänderung  $m \cdot \Delta v$  ruft immer eine Gegen-Impulsänderung  $m \cdot (-\Delta v)$  hervor.<sup>14)</sup>

Da  $m \cdot \Delta v + m \cdot (-\Delta v) = 0$ , ist in Summe kein neuer Impuls entstanden, sondern nur weitergegeben worden. Es gilt der Impulserhaltungssatz:

Ohne äußere Kräfte bleibt der Gesamtimpuls  
eines Systems konstant.<sup>15)</sup>

Bsp.: Stoß von Billardkugeln<sup>16)</sup>, Rückstoß Gewehr<sup>17)</sup>, Rakete<sup>18)</sup>

### Stoßbewegungen:

v... Geschwindigkeit vor dem Stoß

w ... Geschwindigkeit nach dem Stoß

1/2 ... Nummer des Objekts (Kugel, Waggon etc.)

man mit einem Oldtimer gegen eine Wand fuhr, prallte man ab. Es gab keinen Airbag, keine Sicherheitsgurte, also war ein Unfall oft kaum zu überleben. Freilich fuhren die ersten Autos kaum schneller als Kutschen. Deswegen war das ursprünglich kein Problem. Schau dir im Video [youtube.com/watch?v=hZ1OgQL9\\_Cw](https://www.youtube.com/watch?v=hZ1OgQL9_Cw) die Sequenz 4:00 bis 4:40 an. Das ist nicht Zeitlupe!

11 Das rechte Bild bitte anzeichnen, nachdem du dir in dem Video [youtube.com/watch?v=YjZmWXblncQ](https://www.youtube.com/watch?v=YjZmWXblncQ) den Abschnitt 1:24-2:01 angeschaut hast. Hier will man gerade einen kräftigen Kraftstoß bzw. eine starke Impulsänderung, weswegen das Wasser abprallen soll.

12 Mach den Versuch selbst. Schlage mit der Hand kräftig auf den Tisch: Lass sie einmal liegen und einmal abprallen. Beim Abprallen tut es deutlich spürbar mehr weh.

13 Zur Kraft  $F_1$  ist immer eine Gegenkraft  $F_2 = -F_1$  vorhanden. (3. Newtonsches Gesetz). Und  $\Delta t_1 = \Delta t_2$ , das bedeutet, dass beide Gegenstände gleich lang in Kontakt sind.

Wenn das zu kompliziert klingt: Was heißt das praktisch? Wenn du mit der Hand auf den Tisch klopfst, so wirkt eine Kraft  $F_1$  von deiner Hand auf den Tisch und eine Gegenkraft  $-F_1$  vom Tisch auf deine Hand. Die Zeit, in der die Hand den Tisch berührte ( $\Delta t_1$ ) ist freilich die gleiche, wie lange der Tisch die Hand berührte ( $\Delta t_2$ ). So kann man sagen: Der Kraftstoß der Hand auf den Tisch ist gleich groß wie der Kraftstoß des Tisches auf die Hand nur mit umgekehrter Richtung.

14 Da Kraftstoß = Impulsänderung ist, gibt es ebenso zu jeder Impulsänderung eine Gegen-Impulsänderung.

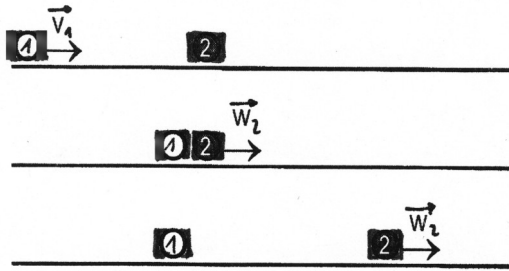
15 Wir werden in den folgenden Beispielen sehen, warum man tatsächlich Impuls nur weitergeben und nicht vernichten kann.

16 [youtube.com/watch?v=7dPfGFVHoss](https://www.youtube.com/watch?v=7dPfGFVHoss)

17 Kennen wir schon: Der Kraftstoß nach vorne ergibt einen Kraftstoß nach hinten. Es gibt wie gesagt unzählige Videos dazu. Suche nach „Rückstoß“/„recoil“.

18 Auch das kennen wir vom 3. Newtonschen Gesetz. Erinnere dich und schau in den Unterlagen nach: Rakete nach vorn, Verbrennungsgase nach hinten.

## 1. Elastischer Stoß:<sup>19</sup> Bsp. Luftkissenbahn, zwei gleiche Wagen



$$m \cdot v_1 =$$

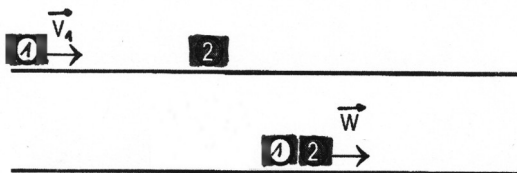
$$m \cdot w_2$$

Allgemein:  $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2$ <sup>20</sup>

Impuls vor dem Stoß = Impuls nach dem Stoß

## 2. Unelastischer Stoß:<sup>21</sup> Zusammenbleiben/-kleben!

Z.B. zwei gleiche Wagen,  $v_1 = 1 \text{ m/s}$



nachher beide  $0,5 \text{ m/s}$ :  $m \cdot 1 + 0 = m \cdot 0,5 + m \cdot 0,5$ <sup>22</sup>

Allgemein:  $m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot w + m_2 \cdot w = (m_1 + m_2) \cdot w$ <sup>23</sup>

Bsp.: Frontal kollidierender LKW ( $m_1 = 10\,000 \text{ kg}$ ,

$v_1 = 20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}$ )<sup>24</sup>

und PKW ( $m_2 = 1000 \text{ kg}$ ,  $v_2 = 0 \text{ m/s}$ ):

$$10\,000 \cdot 20 + 1000 \cdot 0 = (10\,000 + 1000) \cdot w \quad | : 11\,000$$

$$w = \frac{200\,000}{11\,000} = \underline{18,2 \text{ m/s}} = 65 \text{ km/h}^{25}$$



19 Schau dir im Video [youtube.com/watch?v=VUo7jeHj\\_wl](https://www.youtube.com/watch?v=VUo7jeHj_wl) die erste Minute an. (Nicht weiter schauen, das ist dir möglicherweise zu kompliziert und verwirrt dich.) Wir sehen: Der Impuls wird von Wagen 1 vollständig an Wagen 2 weitergegeben. (Warum er nicht nur teilweise weitergegeben wird, liegt an der Energieerhaltung. Das haben wir aber noch nicht gelernt.)

20 Bitte immer richtig lesen, wie ich es oben angeschrieben habe. Hier z.B.:

Impuls von Gleiter 1 + Impuls von Gl. 2 vor dem Stoß = Impuls von Gl. 1 + Impuls von Gl. 2 nach dem Stoß

21 [youtube.com/watch?v=fRUv76so7wQ](https://www.youtube.com/watch?v=fRUv76so7wQ) wieder nur die erste Minute.

22 Man sieht also, hier geht der halbe Impuls auf den zweiten Wagen über. Es geht hier nicht anders, weil sie zusammenkleben müssen. (Nebenbei: Es geht dabei Energie verloren. Das haben aber wie gesagt noch nicht gelernt.)

23 Wieder richtig lesen:

Impuls von Wagen 1 + Impuls von Wg. 2 vor dem Stoß = Impuls der gekoppelten Wagen 1 und 2 nach dem Stoß

24 Der LKW fährt auf den PKW auf. Die beiden bleiben ineinander stecken. (Schau dir den Abschnitt 0:08 bis 0:32 im Video [youtube.com/watch?v=DpMSY8qoU7Y](https://www.youtube.com/watch?v=DpMSY8qoU7Y) an.) Es ist also ein unelastischer Stoß, und wir können mit der eben gelernten Formel rechnen.

25 Das Schlimme an einem Auffahrunfall mit einem LKW ist, dass der PKW in „Null komma nichts“ von 0 auf  $65 \text{ km/h}$  beschleunigt wird. Im genannten Video sieht man so etwas im Abschnitt 0:45 bis 1:20.