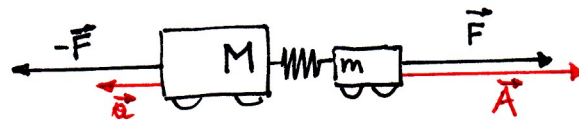


Versuch<sup>1</sup>:



$$M > m^2$$

Da die Kräfte gleich groß sind<sup>3</sup>, muss gelten:

$F = M \cdot a$	und	$F = m \cdot A$
große Masse		kleine Masse
kleine Beschleunigung		große Beschleunigung

Weitere Bsp.:

- |                                 |   |  |
|---------------------------------|---|--|
| • Gewehr<br>(geringer Rückstoß) | – | Gewehr <span>­</span> kugel <sup>4</sup><br>(große Beschleunigung) |
| • Erde                          | – | Mond <sup>5</sup>  |
| • Erde                          | – | fallender Körper <sup>6</sup>                                      |
| • Rakete                        | – | Verbrennungsgase <sup>7</sup>                                      |

Bsp. wie in Skizze oben:  $F = 10 \text{ N}$ ,  $M = 10 \text{ kg}$ ,  $m = 5 \text{ kg}$ <sup>8</sup>

$$A = \frac{F}{m} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2$$

$$a = \frac{F}{M} = \frac{10}{10} = 1 \text{ m/s}^2$$

- 1 Versuch mit der Luftkissenbahn: Zwei Wagen verschiedener Massen mit einer Feder dazwischen werden losgelassen und „springen“ voneinander weg: 44:10-44:30 [youtube.com/watch?v=pLXt8pqVREs](https://youtube.com/watch?v=pLXt8pqVREs) . Wieder im Weltraum: 0:53-2:02 von [youtube.com/watch?v=cP0Bb3WXJ\\_k](https://youtube.com/watch?v=cP0Bb3WXJ_k)
- 2 Ausnahmsweise bezeichnen wir eine große Masse mit einem großen M und eine kleine Masse mit einem kleinen m. Für die Beschleunigung soll ebenso gelten: A ... große Beschleunigung, a ... kleine Beschleunigung
- 3 Sie müssen nach dem 3. Newtonschen Gesetz gleich sein!
- 4 Wir haben alle wohl noch nie ein Gewehr bedient. Es ist klar, dass vorne die Kugel extrem stark beschleunigt wird. Allerdings wirkt eine gleich große Kraft als sogenannter Rückstoß. Man muss also aufpassen. Aus den stark bewaffneten USA erreichen uns dazu massenhaft Videos unter dem Titel „Rückstoß“/„recoil“. Du kannst ja man nachsehen: Euer Lehrer war Zivildienster und kann damit wenig anfangen.  
Schau auch was Seriöses an: 2:00-3:07 von [youtube.com/watch?v=UFVgSmNFh7w](https://youtube.com/watch?v=UFVgSmNFh7w)  
Eine militärische Kanone mit klar erkennbarem Rückstoß: [youtube.com/watch?v=PR9vqJZkmJY](https://youtube.com/watch?v=PR9vqJZkmJY)
- 5 Dass der Mond von der Erde stark beschleunigt wird, sieht man daran, dass er auf einer Umlaufbahn bleibt und nicht einfach davonfliegt. Die Erde lässt das aber auch nicht „kalt“. Auch sie rotiert, aber viel weniger. Es ist so, als würde ein dicker Mensch (=Erde) ein Kleinkind (=Mond) an den Armen nehmen und durch die Luft rotieren lassen. (Kinder haben das offenbar ganz gerne.) Siehe auch: 13:49-14:43 von [youtube.com/watch?v=NhNSm6jKySk](https://youtube.com/watch?v=NhNSm6jKySk)
- 6 Beim fallenden Körper ist es noch extremer wie beim Mond. Dieser ist so leicht, dass die Erde zwar auch noch beschleunigt wird, doch das kann man freilich nicht mehr nachmessen. Auch wenn alle Chinesen gleichzeitig von einem Stuhl springen, würden das keine Erschütterung ergeben, wie sie von Erdbebensensoren („Seismographen“) gemessen werden.
- 7 1:33-2:22 von [youtube.com/watch?v=-O0RR5Hxf9k](https://youtube.com/watch?v=-O0RR5Hxf9k). Die Erklärung mit der Betonwand ist nicht ganz glücklich. Denke besser an das Video mit dem Medizinball von oben: Eine Rakete wirft ständig Abgas (=kleine, schnelle Bälle) nach hinten hinaus und wird dadurch selbst in die andere Richtung beschleunigt. Leider haben wir in der Schule keine Wasserstoffflasche, sonst könnten wir das ausprobieren: 0:00-1:49 von [youtube.com/watch?v=OkyP9Z88YOc](https://youtube.com/watch?v=OkyP9Z88YOc)
- 8 Wir rechnen also nach, was passiert, wenn der linke Wagen das doppelte wiegt wie der rechte. Das Ergebnis ist vorhersehbar: Der leichte beschleunigt doppelt so stark wie der schwere.

Bsp.: Frontalkollision PKW-LKW (1 t und 10 t)<sup>9</sup>

$$F_{PKW} = F_{LKW}$$

$$1000 \cdot A = 10\,000 \cdot a$$

$$A = 10 \cdot a$$



Der PKW wird 10mal stärker gebremst!

LKW hatten deswegen früher gar keine Sicherheitsgurte.<sup>10</sup>

## Impuls

Es hängt von Masse und Geschwindigkeit ab, wie träge eine Bewegung ist (wie schwer z. B. ein LKW zu stoppen ist).

Diese „Trägheit der Bewegung“ nennt man Impuls<sup>11</sup>  $\vec{p}$ :

Impuls = Masse · Geschwindigkeit

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad [p] = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}^{12}$$

Vektorgroße!<sup>13</sup>

Für hohen Impuls braucht man also:

- große Masse (z. B. LKW, Schiff)
- große Geschwindigkeit (z. B. Gewehrkugel)
- oder beides (z. B. Bergsturz, Zug)<sup>14</sup>

Beachte: Aus  $v = 0$  folgt  $p = 0$ . (Ruhende Objekte haben keinen Impuls.)

9 Auf [fireworld.at/2020/05/09/schweiz-ein-toter-bei-lkw-pkw-frontalkollision-bei-oberruetli/](https://www.fireworld.at/2020/05/09/schweiz-ein-toter-bei-lkw-pkw-frontalkollision-bei-oberruetli/) siehst du ein Bild einer solchen Frontalkollision. Der PKW-Lenker hatte wenig Chance, das zu überleben, weil auf den PKW die vielfache Beschleunigung (= Bremsung) wirkt. (Der LKW-Fahrer blieb unverletzt.) Ich will euch eigentlich keine Grausigkeiten zeigen, doch ist das leider eine physikalische Realität, der man sich beim Autofahren nicht gerne bewusst ist.

10 Hast du dir schon einmal überlegt, warum es in der Eisenbahn immer noch keine Gurte gibt? (Beim Reisebus sind sie ja inzwischen weitgehend verpflichtend, auch wenn man es meist nicht so genau nimmt.) Ein Grund ist, dass ein Zug so schwer ist, dass eine Kollision mit einem leichteren Gegenstand (Auto, Rind etc.) kaum eine nennenswerte Beschleunigung ergibt. Das Video [youtube.com/watch?v=1o8ulSWYrcM](https://www.youtube.com/watch?v=1o8ulSWYrcM) ist zwar grausig, geht aber gut aus, weil der Airbag im Auto ausgelöst hat. Die Fahrgäste in der S-Bahn haben von dem Unfall wohl kaum etwas mitbekommen. Ich selbst habe als im Zug sitzendes Kind 1985 einen solchen Unfall erlebt und praktisch nichts mitbekommen.

Der zweite Grund ist meines Erachtens, dass ein Unfall mit dem Zug sehr selten passiert. Das System Schiene ist an sich viel sicherer als das System Straße.

Wenn du die beiden letzten Fußnoten ansiehst, wird dir klar werden: Vom Aspekt der Sicherheit ist das System Straße auf einem Niveau, wie es Fabriken im 19. Jahrhundert waren: Wer einen Bedienfehler machte, musste es unter Umständen mit dem Leben bezahlen.

11 Man könnte statt Impuls auch sagen: „die Wucht einer Bewegung“. Diese ist umso größer, je massiver und je schneller der Gegenstand ist. Deswegen multipliziert man hier einfach Masse und Geschwindigkeit. Dann ist beides berücksichtigt.

12 Für den Impuls gibt es keine eigene Einheit. Man multipliziert einfach die Einheiten von Masse (kg) und Geschwindigkeit (m/s) und bekommt kg·m/s.

13 Der Impuls hat eine Richtung: die Richtung der Geschwindigkeit.

14 Hoher Impuls hat hohe Zerstörungskraft, wenn man sich ihm entgegen stellt. Besonders ist die sichtbar, wenn sowohl die Masse als auch die Geschwindigkeit hoch sind.

Bsp.: Der Impuls eines 1-t-PKW mit 100 km/h ist gleich dem eines 2-t-PKW mit 50 km/h:  $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$ , weil  $1000 \cdot \frac{100}{3,6} = 2000 \cdot \frac{50}{3,6}$  <sup>15</sup>

## Kraftstoß

Um den Impuls zu ändern, muss  $v$  (oder  $m$  <sup>16</sup>) geändert werden. Im Allgemeinen wird eine Beschleunigung auftreten<sup>17</sup>; diese kommt von einer Kraft.

Die Impulsänderung ist umso größer,

- je größer die Kraft  $\vec{F}$  ist,
- je länger diese Kraft wirkt ( $\Delta t$ )<sup>18</sup>

Wir nennen die Größe  $\vec{F} \cdot \Delta t$  Kraftstoß.<sup>19</sup>

Wir können sagen: Kraftstoß = Impulsänderung

Beweis:<sup>20</sup>  $F = m \cdot a$  (2. Newtonsches Gesetz)

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

Kraftstoß = Impulsänderung<sup>21</sup>

*Genaueres dazu später ...*

<sup>15</sup> In beiden Fällen kommt 27 778 kg·m/s heraus. Tippe es jeweils selbst in den TR ein.

<sup>16</sup> Das wird eher selten passieren. Die Masse eines bewegenden Objekts ändert sich eher nicht: Ein Fahrzeug müsste da regelrecht die Ladung während der Fahrt hinauswerfen (oder aufnehmen).

<sup>17</sup> Wenn sich die Geschwindigkeit ändert, tritt automatisch eine Beschleunigung auf. Diese kann freilich auch negativ sein. Dann ist es eine Bremsung. Nach dem Newtonschen Gesetz  $F = m \cdot a$  wissen wir: Kraft und Beschleunigung treten immer gleichzeitig auf. Also: Ohne Kraft keine Beschleunigung/Bremsung.

<sup>18</sup> Eh klar: (Zeitlich) lang und kräftig ist besser als kurz und schwach. Beachte: Wir schreiben hier für eine Zeitdauer das Delta ( $\Delta$ ) dazu.

<sup>19</sup> Wir haben also wieder zwei Größen, die wir multiplizieren, weil beide ihren Beitrag zu dieser Proportionalität (je ... desto ...) leisten. Genauso wie beim Impuls, wo wir  $m$  und  $v$  multipliziert haben.

<sup>20</sup> Der Beweis ist jetzt einfach ein bisschen Mathematik. Dass  $a = \Delta v / \Delta t$  ist, haben wir schon gelernt: Beschleunigung = Geschwindigkeitsänderung/dafür benötigte Zeit.

Schau nach im Kapitel „gleichmäßig beschleunigte Bewegung“.

<sup>21</sup> Impulsänderung deswegen, weil sich ja, wie wir gesagt haben, beim Impuls im Allgemeinen nur die Geschwindigkeit ändert. Geschwindigkeitsänderung =  $\Delta v$ .