



# Einführung in die Mechanik



# **Einführung in die Mechanik**

## **Inhaltsverzeichnis:**

1. Pass – Schuss – Tor!!!
2. Die Darstellung und Beschreibung von Bewegungen
3. Wie schnell? Wohin?
  - 3.1 Geschwindigkeit
  - 3.2 Richtung
  - 3.3 Geschwindigkeitspfeile
4. Die Beschleunigung
  - 4.1 Geschwindigkeitsänderung als Folge einer Einwirkung
  - 4.2 Konstruktion der Endgeschwindigkeit
  - 4.3 Konstruktion der Geschwindigkeitsänderung
  - 4.4 Geschwindigkeitsänderung aus der gleichmäßigen Beschleunigung
  - 4.5 Beschleunigung vergleichen
5. Die Newton'sche Bewegungsgleichung
  - 5.1 Kraft und Beschleunigung
  - 5.2 Masse und Beschleunigung
  - 5.3 Die Newton'sche Bewegungsgleichung
6. Anwendungen der Newton'schen Bewegungsgleichung
  - 6.1 Alltagsanwendungen

**Autoren:**

Prof. Dr. Heiko Krabbe  
Marco Seiter

**RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM**

**RUB**

Ruhr-Universität Bochum  
Fakultät für Physik und Astronomie  
AG Didaktik der Physik  
Universitätsstraße 150  
44801 Bochum



**RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM  
FAKULTÄT FÜR PHYSIK UND ASTRONOMIE**

Prof. Dr. habil Thomas Wilhelm

Goethe-Universität Frankfurt a.M.  
Institut für Didaktik der Physik  
Max-von-Laue-Straße 1  
60438 Frankfurt am Main



©Copyright August 2019

## 1. Pass - Schuss - Tor!!!



1. Anna beim Torschuss

Erfolgreichen Stürmerinnen und Stürmern gelingt es, einen Pass mit einem Schuss ins Tor zu lenken (Bild 1). Gekonnt wird durch eine Einwirkung der Ball in Bewegung gesetzt, so dass er ins gegnerische Tor fliegt.

Innerhalb der Physik befasst sich der Bereich der Mechanik mit dem Zusammenhang zwischen der Einwirkung auf einen Gegenstand und der Auswirkung auf seine Bewegung: Er kann dadurch schneller und langsamer werden oder auch seine Richtung verändern.

Bewegungen haben immer eine Ursache: Trifft der geschossene Ball tatsächlich ins Tor, so ist dies der Erfolg der Spielerin. Sie darf sich feiern lassen!

Mit den Gesetzen der Mechanik kann man Bewegungen voraussagen, wenn man die Einwirkung kennt: Wird z. B. der Ball im Tor landen, wenn ein Fußballspieler mit einer gewissen Stärke schießt? Umgekehrt ist es auch möglich die Einwirkung zu erschließen, wenn man die Bewegung beobachtet: Mit welcher Stärke hat z. B. der Fußballspieler geschossen, wenn der Ball im Tor landet?

Um Fragestellungen dieser Art wird es in den nächsten Kapiteln gehen.

## 2. Die Darstellung und Beschreibung von Bewegungen



2.1 Toms Vater auf dem Fahrrad

Tom möchte die Fahrt seines Vaters auf dem Fahrrad dokumentieren. Hierfür nimmt er von der Seite aus ein Video mit der App *Motion Shot* auf. Tom bewegt sich hierbei nicht. Die einzelnen Bilder im Video werden anschließend von der App übereinander gelegt (Bild 2.2). In den Bildern haben wir jeweils einen roten Punkt auf die hintere Radnabe gemalt, damit du dich daran orientieren kannst.



2.2 Bilderreihe von Toms Vater auf dem Fahrrad

Tom und sein Vater zeigen hiermit ein typisches Beispiel dafür, wie Bewegungen aufgezeichnet werden.

### Beschreibung einer Bewegung:

Um die Bewegung eines Gegenstands zu beschreiben, muss zu bestimmten Zeitpunkten festgestellt werden, wo sich der Gegenstand befindet. Sowohl der Zeitpunkt der Messung als auch der Ort des Gegenstands müssen dabei möglichst genau festgehalten werden.

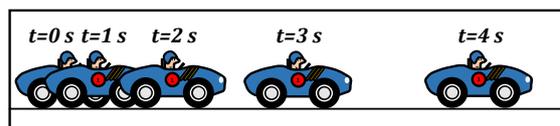
Die Bewegung wird dabei umso genauer beschrieben, je näher die Zeitpunkte zusammen liegen und umso präziser Ort und Zeit bestimmt worden sind.

### Stroboskopbild

Den Ort eines Gegenstands kann man auch mit einem Fotoapparat bestimmen. Dazu macht man in festen Zeitabständen immer wieder ein Foto. (Der Fotoapparat darf sich dabei nicht bewegen.) Wenn diese Fotos übereinander gelegt werden, entsteht ein so genanntes **Stroboskopbild** (SB).

Falls sich die einzelnen Bilder überschneiden sollten, weil der Gegenstand sich zum Beispiel wieder zurück bewegt, fangen wir eine neue Zeile oder Spalte neben dem bisherigen Stroboskopbild an, damit wir nicht den Überblick verlieren.

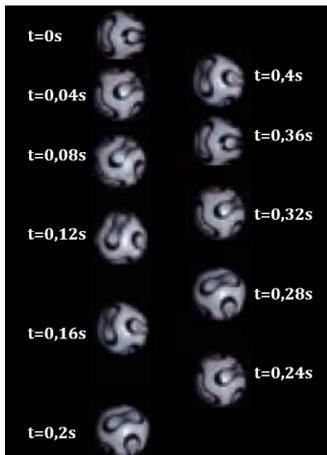
In Bild 2.3 ist die Bewegung eines Autos abgebildet. Dabei wurde immer nach 1 Sekunde ein neues Bild gemacht. Damit du das besser erkennst, steht über jedem Bild die vergangene Zeit seit dem Beginn der Aufnahme. Jetzt ist die Bewegung des Autos sehr genau beschrieben. Du kannst auch erkennen, wann das Auto am schnellsten war: Zwischen dem 3. und 4. Bild liegt der größte Abstand. Da zwischen zwei Bildern immer 1 Sekunde vergangen ist, war er hier am schnellsten. Insgesamt war das 4 Sekunden nach dem Start. Das erkennst du daran, dass über dem Bild die vergangene Zeit von 4 Sekunden steht.



2.3 Stroboskopbild eines Autos. Zwischen zwei Aufnahmen liegt immer 1 Sekunde.

### Aufgaben

- ① Beschreibe, wie Tom und sein Vater die Fahrradfahrt aufgezeichnet haben.
- ② Erläutere, weshalb aus Bild 2.2 nicht die exakte Bewegung von Toms Vater ablesbar ist.
- ③ In Bild 2.4 siehst du das Stroboskopbild eines Fußballs.
  - a) Beschreibe die Bewegung des Balls. Entscheide, ob die Bewegung links oder rechts im Bild angefangen hat.
  - b) Wann war der Fußball am schnellsten? Wann war er am langsamsten? Kannst du den genauen Zeitpunkt des Aufpralls angeben?



2.4 Stroboskopbild eines Fußballs. Zwischen zwei Aufnahmen liegen immer 0,04 Sekunden.

- ④ Statt immer wieder neue Fotos zu machen, kannst du auch einen Videofilm drehen. Eine Videokamera funktioniert nämlich genauso: Alle 0,04 Sekunden wird ein neues Bild aufgenommen. Das siehst du, wenn du einen Videofilm bildweise ablaufen lässt. Dann kannst du z.B. einen Ablauf wie in Bild 2.5 erkennen.



2.5 Torschuss, zwischen zwei Aufnahmen liegen immer 0,04 Sekunden

- Betrachte irgendeinen Film Bild für Bild und beschreibe eine der Bewegungen, die du dort erkennen kannst.
- Erstelle ein Stroboskopbild dieser Bewegung. Klebe dazu eine Plastikfolie über den Bildschirm. Wähle dir dann einen Punkt auf dem Gegenstand aus und markiere ihn mit einem Foliestift. Gehe jetzt ein Bild weiter im Film und markiere den Punkt erneut. Falls sich die Punkte überschneiden sollten, weil sich der Gegenstand wieder zurück bewegt, schiebst du die Folien ein Stück nach oben und fängst eine neue Zeile an.
- Erkläre, wann sich der von dir ausgewählte Gegenstand am schnellsten und wann am langsamsten bewegt.

### 3. Wie schnell? Wohin?

Du hast bereits gelernt, wie Bewegungen beschrieben werden: Zu festgelegten Zeitpunkten wird der Ort des Gegenstands bestimmt. Manchmal reicht das aber nicht. Darum geht es bei folgendem Spiel:

**V1:** Ein fernsteuerbares Auto soll durch Vorwärts- und Rückwärtsfahren in einem vorgegeben Rechteck (Bild 3.1) geparkt werden. Wenn du die Fernsteuerung bedienst, darfst du dabei nicht auf die Strecke schauen, sondern nur auf die Anweisungen deiner Mitschüler hören.



3.1 Ferngesteuertes Auto mit vorgegebenem Zielbereich

**Beobachtung:** Bei dem Versuch erhältst du Anweisungen wie „schneller“, „langsamer“, „vorwärts“, „rückwärts“, oder „stopp“ usw. Es kommt also nicht nur darauf an, wie schnell, sondern auch in welche Richtung sich das Auto bewegt.

Dieses Ergebnis kann man verallgemeinern: Um die Bewegung eines Gegenstands zu beschreiben, muss man an jedem Punkt der Bewegung an geben, **wie schnell und wohin** er sich fortbewegt.

#### 3.1 Geschwindigkeit

Der Begriff **Geschwindigkeit** beschreibt in der Physik, wie schnell sich ein Gegenstand bewegt. Die Geschwindigkeit wird mit dem Buchstaben  $v$  bezeichnet und entweder in der Einheit  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  oder  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  angegeben. Dabei sind

$$36 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 36 \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Du hast bestimmt auch schon einmal gesehen, wie die Geschwindigkeit eines Fahrrades oder eines Autos auf einem Tachometer (Bild 3.2) angezeigt wird.



3.2 Tacho eines Fahrrads und eines Autos

Meistens steht aber kein Tacho zur Verfügung. Trotzdem kannst du die Geschwindigkeit eines Gegenstands ganz einfach bestimmen: Dabei musst du dir immer einen Anfangs- und einen Endpunkt aussuchen, zwischen denen du die Geschwindigkeit bestimmen möchtest. Messe nun die Zeit, die der Gegenstand benötigt, um diese Strecke zurückzulegen. Dann kannst du die Geschwindigkeit als Quotienten von zurückgelegter Strecke und dafür benötigter Zeit berechnen.

In der Formel wird die zurückgelegte Strecke mit  $\Delta s$ , die dafür benötigte Zeit mit  $\Delta t$  bezeichnet. (Das Symbol  $\Delta$  wird verwendet, weil sowohl die Strecke als auch die Zeit sich auf den Unterschied zwischen Anfangs- und Endpunkt beziehen.)

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{zurückgelegte Strecke}}{\text{dafür benötigte Zeit}}$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

### Beispiele

#### a) *Geschwindigkeit eines Skaters*

Thomas fährt bei der Blade-Night mit. Für die 18,7 km benötigt er 1,5 h. Seine Geschwindigkeit ist dann (im Durchschnitt):

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{18,7 \text{ km}}{1,5 \text{ h}} = 12,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

#### b) *Geschwindigkeit beim 100-m-Lauf*

Am 16.08.2009 lief der Jamaikaner Usain Bolt in Berlin einen neuen Weltrekord. Er sprintete die 100 m in 9,58 s. Seine Geschwindigkeit war (im Durchschnitt):

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{100 \text{ m}}{9,58 \text{ s}} = 10,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Das sind 37,6  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ .



3.3 Usain Bolt

Bei einem solchen Rennen werden auch die Reaktionszeiten und die Zwischenzeiten der Sprinter aufgezeichnet.

Anhand der Tabelle 1 kannst du die Geschwindigkeit der drei Erstplatzierten auf verschiedenen Streckenabschnitten berechnen.

Auf welchem Streckenabschnitt erreicht Usain Bolt die größte Geschwindigkeit? Wie groß war sie?

Welches war die größte Geschwindigkeit, die seine beiden Konkurrenten auf einem Streckenabschnitt erreichten? An welcher Stelle wurde sie erreicht?

| Platz | Läufer       | Reaktionszeit | 20m    | 40m    | 60m    | 80m    | 100m   |
|-------|--------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1     | Usain Bolt   | 0,146 s       | 2,89 s | 4,64 s | 6,31 s | 7,92 s | 9,58 s |
| 2     | Tyson Gay    | 0,144 s       | 2,92 s | 4,70 s | 6,39 s | 8,02 s | 9,71 s |
| 3     | Asafa Powell | 0,134 s       | 2,91 s | 7,71 s | 6,42 s | 8,10 s | 9,84 s |

Tabelle 1: Zeitmessungen für einen 100 m Lauf für verschiedene Streckenabschnitte

c) *Geschwindigkeitsmessung*

Du kannst eine ähnliche Geschwindigkeitsmessung auch selbst durchführen. Um zum Beispiel die Geschwindigkeit eines Fahrradfahrers zu bestimmen, benötigst du eine Stoppuhr und ein Maßband. Markiere eine Strecke (z. B. 10 m) auf dem Schulhof. Sobald das Fahrrad die erste Markierung durchfährt, startest du die Stoppuhr und stoppst sie, wenn das Fahrrad die zweite Markierung durchfährt. Dann kannst du die Geschwindigkeit ausrechnen.

d) *Geschwindigkeit des Autos*

Betrachte noch einmal die Stroboskopaufnahme des Autos (Bild 2.3). Du siehst auf Anhieb, dass das Auto zwischen den beiden letzten Bildern die größte Strecke zurückgelegt hat. Das sind ungefähr 17,5 mm im Bild, das aber verkleinert ist: Das Auto ist im Bild nur 10 mm, in Wirklichkeit aber 2 m groß. Damit kannst du ausrechnen, wie lang beispielsweise die Strecke  $\Delta s$  von  $t = 3$  s zu  $t = 4$  s war:

$$\Delta s = (2 \text{ m} : 10 \text{ mm}) \cdot 17,5 \text{ mm}$$

$$\Delta s = 3,5 \text{ m}$$

Weil du weißt, dass das Auto für diese Strecke genau  $\Delta t = 1$  s gebraucht hat, kannst du jetzt die Geschwindigkeit berechnen:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{3,5 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

e) *Geschwindigkeit in Natur und Technik*

In der Natur und der Technik gibt es ganz unterschiedliche schnelle Bewegungen. Ein Überblick ist in Bild 3.4 abgedruckt.

| Wie schnell ist ungefähr ... ? |  |   |
|--------------------------------|--|---|
| Eine Schnecke:                 | 0,0008 m/s oder 0,003 km/h                 |  |
| Ein Fußgänger:                 | 1,5 m/s oder 5,5 km/h                      |  |
| Ein Radfahrer:                 | 7 m/s oder 25 km/h                         |  |
| Ein Regentropfen:              | 11 m/s oder 40 km/h                        |  |
| Ein Rennpferd:                 | 25 m/s oder 90 km/h                        |  |
| Ein Auto:                      | 33 m/s oder 120 km/h                       |  |
| Ein Flugzeug:                  | 250 m/s oder 900 km/h                      |  |
| Der Schall:                    | 340 m/s oder 1220 km/h                     |  |
| Eine Gewehrkugel:              | 800 m/s oder 2900 km/h                     |  |
| Das Licht:                     | 300 000 000 m/s oder<br>1 080 000 000 km/h |  |

3.4 Geschwindigkeit in Natur und Technik

## Aufgaben

- ① Erkläre, was bei einer Bewegung außer den Orten noch angegeben werden muss.
- ② Erkläre, wie du die Geschwindigkeit eines ferngesteuerten Autos mit einem Experiment bestimmen kannst.
- ③ Finde heraus, wie ein Fahrradtacho, die Geschwindigkeit misst. Überlege dir ein Experiment um herauszufinden, ob der Tacho die richtige Geschwindigkeit anzeigt.
- ④ Beim 400-m-Lauf starten die Athleten von ganz unterschiedlichen Positionen (Bild 3.5). Erkläre, weshalb nur so ein fairer Wettkampf möglich ist.



3.5 Leichtathletik-Mitteldistanzrennen

- ⑤ Beim Biathlon-Verfolgsrennen starten die Läufer in der gleichen Reihenfolge und mit dem gleichen zeitlichen Abstand, mit dem sie am Tag vorher beim Sprint ins Ziel gekommen sind. Der Sieger des Sprints startet also als erster. Der Zweitplatzierte des Sprints darf auch als zweiter in die Loipe, und zwar genau nach Ablauf der Zeit, die er am Tag zuvor zurücklag. Bei den Olympischen Spielen in Turin siegte der Deutsche Sven Fischer im Sprint und war dabei 2 min 11 s schneller als sein Teamkamerad Michael Greis. Am Ende des Verfolgsrennens am nächsten Tag kam Sven Fischer nur 1 min 4 s vor Michael Greis ins Ziel. Wer von beiden hatte beim 12,5 km langen Verfolgsrennen eine größere (Durchschnitts-) Geschwindigkeit?

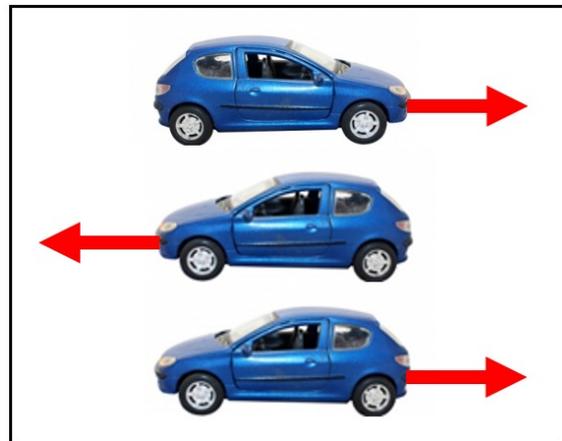
## 3.2 Richtung

Du hast schon gelernt, dass es zur Beschreibung einer Bewegung nicht ausreicht, den Ort und die Geschwindigkeit anzugeben, genauso wichtig ist die **Richtung**, in welche die Bewegung erfolgt. Zum Beispiel darf eine Einbahnstraße nur in eine Richtung befahren werden (Bild 3.6).



3.6 Einbahnstraße

Die Bewegungsrichtung wird mit einem Pfeil angegeben.

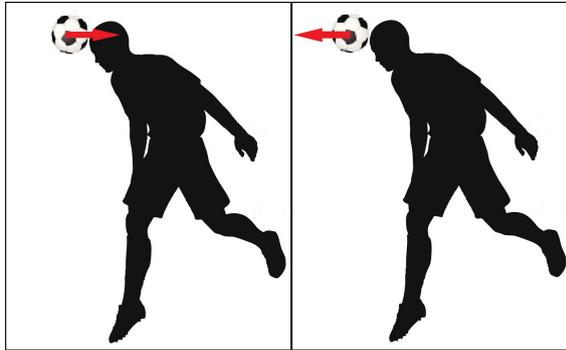


3.7 Verschiedene Bewegungsrichtungen beim Auto

Betrachte Bild 3.7 genau: Welche Fahrzeuge bewegen sich in die gleiche Richtung? Zum Beispiel haben das obere und das untere Auto die gleiche Bewegungsrichtung und damit auch das gleiche Ziel, obwohl das eine Auto vorwärts und das andere rückwärts fährt.

Das Auto in der Mitte fährt zwar auch wie das Obere vorwärts, hat aber eine andere Bewegungsrichtung und damit auch ein anderes Ziel.

Die Bewegungsrichtung kann sich auch wieder ändern. In Bild 3.8 fliegt ein Fußball auf einen Spieler zu und wird daraufhin per Kopfball wieder zurückgepasst. Zuerst zeigt der Pfeil nach rechts, nach dem Kopfball hat sich die Bewegungsrichtung umgekehrt und der Pfeil zeigt nach links.



3.8 Bewegungsänderung nach Kopfball

### Aufgabe

- ① a) Martin behauptet: „Immer wenn die Pfeile zweier bewegter Gegenstände die gleiche Richtung haben, bewegen sich beide Gegenstände entweder vorwärts oder rückwärts.“ Erkläre Martin, warum er nicht recht hat.
- b) Matthias sagt: „Wenn zwei Autos vorwärts fahren, bewegen sie sich auch in die gleiche Richtung.“ Auch Matthias hat nicht recht. Warum?

### Für Spezialisten:

Bisher haben wir die Bewegungen so beschrieben, wie du sie bezüglich der Erdoberfläche beobachten kannst. Dies ist auch für alle vorgestellten Fälle zweckmäßig.

Grundsätzlich können die gleichen Bewegungen aber ganz unterschiedlich aussehen, wenn du sie von verschiedenen Standpunkten beschreibst.

Stell dir vor:

An einem windstillen Wintertag schweben Schneeflocken langsam senkrecht zur Erde hinunter. Aus einem fahrenden Auto siehst du aber etwas ganz anderes: Die Schneeflocken bewegen sich (vom fahrenden Auto aus beschrieben) nahezu horizontal und nicht mehr senkrecht zur Straße. Zur Beschreibung von Bewegungen gehört also eigentlich, in einem ersten Schritt festzulegen, von welchem Standpunkt aus die Bewegung beschrieben wird.

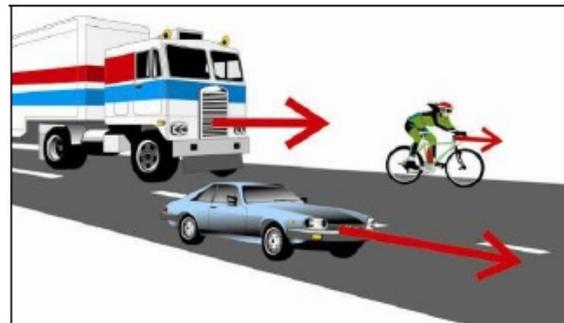
## 3.3 Geschwindigkeitspfeile

Du hast bereits gelernt, wie du die Richtung einer Bewegung darstellen kannst: Du zeichnest einfach einen Pfeil. Du hast aber auch gelernt, dass die Geschwindigkeit und die Richtung angegeben werden müssen, um eine Bewegung zu beschreiben. Wie könnte man das nun darstellen?

Eine Möglichkeit wäre es zu jedem Pfeil die Geschwindigkeit dazuschreiben. Es gibt aber eine einfachere Methode:

Man kann den Pfeil unterschiedlich lang zeichnen. Je größer die Geschwindigkeit, desto länger der Pfeil. (Ähnlich ist das auch bei der Lautstärkeregelung einer Stereoanlage: Je lauter der Ton, desto höher sind die Balken der Anzeige.)

In Bild 3.9 sind die Pfeile entsprechend eingezeichnet. Alle Fahrzeuge haben unterschiedliche Geschwindigkeiten aber die gleiche Bewegungsrichtung.



3.9 Geschwindigkeitspfeile verschiedener Fahrzeuge

In der Physik werden die beiden Informationen Betrag und Richtung der Geschwindigkeit zusammengefasst: Sie werden durch einen **Geschwindigkeitspfeil** dargestellt. Seine Richtung gibt die Richtung der Bewegung und seine Länge den Betrag der Geschwindigkeit an.

$$\text{Geschwindigkeitspfeil} = \begin{cases} \text{Betrag} \\ \text{Richtung} \end{cases}$$

Wenn zwei Geschwindigkeitspfeile zweier Gegenstände gleich sind, das heißt gleiche Länge und gleiche Richtung haben, sind auch die Geschwindigkeiten der beiden Gegenstände gleich.

**Beachte:** Im Alltag wird die „Geschwindigkeit“ oft als eine Größe angesehen, die nur positive Werte annehmen kann. Bewegt sich ein Körper aber beispielsweise in negative x-Richtung, so kann die Geschwindigkeit auch negativ werden!

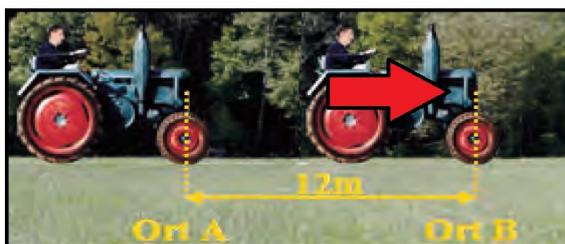
### Beispiele

#### a) *Geschwindigkeit und Geschwindigkeitspfeil*

Mit Geschwindigkeitspfeilen kann man die Geschwindigkeit ganz genau angeben. Dazu ist ein Maßstab notwendig. So kannst du die Geschwindigkeit des Autos aus Bild 3.9 leicht herausfinden, wenn du weißt, dass 1 mm im Bild einer Geschwindigkeit von 5 km/h entspricht: Der Geschwindigkeitspfeil des Sportwagens ist 1,7 cm lang. Deswegen hat der Sportwagen die Geschwindigkeit 85 km/h.

#### b) *Durchschnittsgeschwindigkeiten*

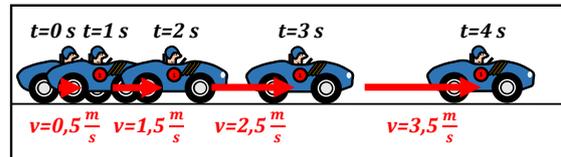
Man kann (mit einem vorgegebenen Maßstab) auch Geschwindigkeitspfeile in Stroboskopbildern einzeichnen. So soll z.B. der Maßstab für Bild 3.10 so sein, dass 1 mm einer Geschwindigkeit von 2 m/s entspricht. Zuerst wählst du die Orte aus, zwischen denen du die Durchschnittsgeschwindigkeit bestimmen möchtest. Der Traktor benötigt zwischen Ort A und Ort B ( $\Delta s = 12 \text{ m}$ ) 2 s und hat somit eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 6 m/s. Deswegen zeichnest du zwischen den Punkten A und B einen Geschwindigkeitspfeil von 3 mm Länge, der in Richtung des Ortes B zeigt.



3.10 Stroboskopbild eines Traktors mit Geschwindigkeitspfeil

Betrachte das Bild 3.11: In das Stroboskopbild der Bewegung des Autos sind die Durchschnittsgeschwindigkeitspfeile eingezeichnet.

Hierbei wurde beim Auto die Mitte des Hinterrades betrachtet. Du erkennst, dass sich die Geschwindigkeit ständig ändert.

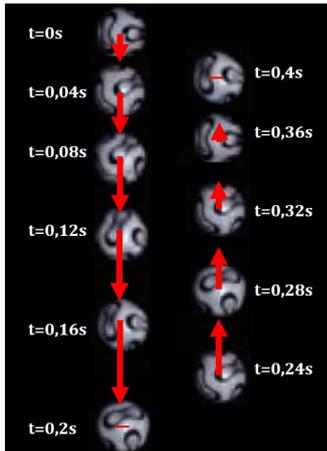


3.11 Durchschnittsgeschwindigkeitspfeile im Stroboskopbild des Autos

#### c) *Momentangeschwindigkeiten*

Im Gegensatz zur Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen zwei Punkten, beschreibt die Momentangeschwindigkeit die Geschwindigkeit in einem einzelnen Punkt. Um die Momentangeschwindigkeit bestimmen zu können, müssen wir die zeitlichen Abstände zwischen den einzelnen Bildern immer kleiner werden lassen. Dadurch nähert sich der Pfeil der Durchschnittsgeschwindigkeit immer mehr dem Pfeil der Momentangeschwindigkeit an. Ansonsten gehst du bei der Berechnung wie bei der Durchschnittsgeschwindigkeit vor. Umso kleiner jetzt der zeitliche Abstand zwischen zwei gewählten Punkten wird, desto genauer beschreibt die Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen ihnen die Momentangeschwindigkeit.

In Bild 3.12 sind die Momentangeschwindigkeitspfeile in dem Stroboskopbild des Fußballs eingezeichnet. Die Pfeile beginnen immer im Zentrum des Fußballs, da die Momentangeschwindigkeit immer genau in diesem Punkt bestimmt wurde.



3.12 Momentangeschwindigkeitspfeile im Stroboskopbild des Fußballes

Wie du merkst, ist dieses Verfahren recht mühsam. Es ist praktisch, dass es Computerprogramme gibt, die Geschwindigkeitspfeile automatisch zeichnen können.

#### d) Staffellauf

Beim Staffellauf (Bild 3.13) muss der Staffelstab von einem Läufer an den nächsten weitergereicht werden. Dies sollte möglichst ohne Zeitverlust passieren.

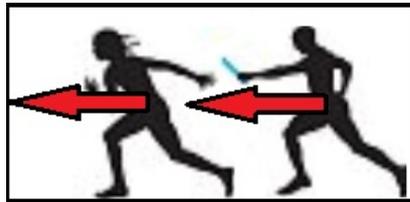


3.13 Staffellauf

Für die Übergabe läuft der Stabträger mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Der nächste Läufer passt sich in der Zeit der Geschwindigkeit an und läuft vor dem Träger, so dass der Stab bei großer Geschwindigkeit weitergegeben werden kann. (Bild 3.15)



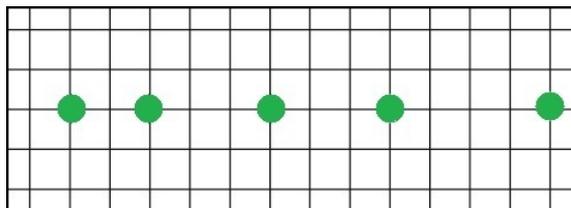
3.14 Der nächste Läufer passt seine Geschwindigkeit an



3.15 Übergabe des Staffelstabes

### Aufgaben

- ① Erläutere den Unterschied zwischen dem Betrag und der Richtung der Geschwindigkeit.
- ② Zeichne ein Bild, in das du für zwei Autos Geschwindigkeitspfeile mit unterschiedlichen Beträgen  $v_1$  und  $v_2$  und außerdem für zwei LKWs mit gleichen Beträgen  $v_3$  und  $v_4$  einzeichnest!
- ③ Zeichne jeweils zwei Fahrräder mit unterschiedlichen Geschwindigkeitspfeilen
  - a) mit gleicher Bewegungsrichtung aber unterschiedlichem Betrag!
  - b) mit gleichem Betrag aber unterschiedlichen Bewegungsrichtungen!
- ④ Zeichne die Momentangeschwindigkeitspfeile für Flugzeuge, die
  - a) mit 610 km/h nach Westen
  - b) mit 380 km/h nach Osten fliegen. (1 cm entspricht dabei 100 km/h)
- ⑤ Übertrage das Stroboskopbild (Bild 3.16) ins Heft. Zeichne die Durchschnittsgeschwindigkeitspfeile zwischen den Punkten ein. Die Zeit zwischen zwei Bildaufnahmen beträgt eine Sekunde. Beschrifte die Punkte dementsprechend mit der Zeit für eine Bewegung nach rechts.



3.16 Stroboskopbild

## 4. Die Beschleunigung

### 4.1 Geschwindigkeitsänderung als Folge einer Einwirkung



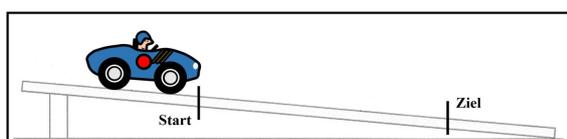
4.1 Seifenkiste

Wir führen einen Versuch mit Seifenkisten (Bild 4.1) durch. Bei dem ersten Versuch starten wir aus dem Stand heraus. Durch das Messen der zurückgelegten Strecke und der Zeit kann die Durchschnittsgeschwindigkeit berechnet werden. Für die zweite Übung wird der Startpunkt markiert. Nun beginnen wir aber schon vor dem Startpunkt zu fahren, die Berechnung der Geschwindigkeit verläuft wie in Versuch 1.

**V1:** Simuliert die beiden Versuche: Lasst dabei einen kleinen Wagen eine schiefe Ebene herunterrollen. Bei Versuch 2 startet der Wagen dabei einfach weiter oben.

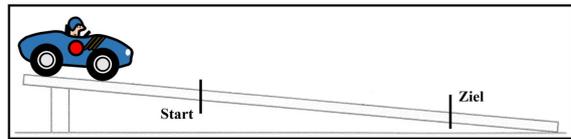
Was könnt ihr jeweils feststellen? Was passiert mit dem Wagen bei beiden Versuchen? Wir simulieren ebenfalls beide Versuche mit einem Wagen auf einer schiefen Ebene (Bilder 4.2 und 4.3).

**Beobachtung:** Bei beiden Versuchen ist der Wagen am Ende schneller als vorher.



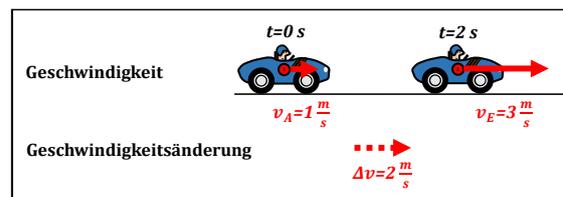
4.2 Versuch 1

Bei dem zweiten Versuch ist der Wagen im Ziel schneller als beim ersten Versuch (Bild 4.3).



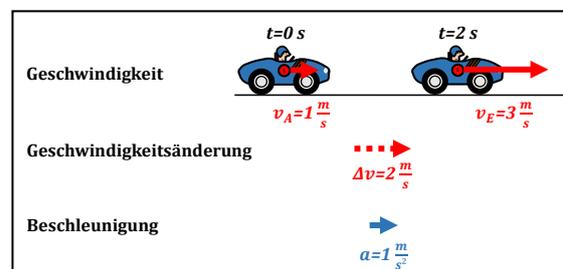
4.3 Versuch 2

Woran liegt das? Der Grund ist, dass der Wagen am Startpunkt schon eine Geschwindigkeit hat: zusätzlich zu dieser Geschwindigkeit am Startpunkt (falls vorhanden) gibt es eine weitere Geschwindigkeit durch den Hang. Betrachten wir dies genauer: Die Geschwindigkeit am Startpunkt nennen wir die Anfangsgeschwindigkeit  $v_A$ , die Geschwindigkeit am Ziel nennen wir die Endgeschwindigkeit  $v_E$ . Zur Vereinfachung betrachten wir die Bewegung als Stroboskopbild in der Ebene (Bild 4.4).



4.4 Anfangs- und Endgeschwindigkeit des Wagens

Was ist am Hang passiert? Der Wagen erhält am Hang eine **Beschleunigung**  $a$  und damit eine **Geschwindigkeitsänderung**  $\Delta v$ . Beide Pfeile zeigen in diesem Fall in die Bewegungsrichtung, da der Wagen schneller wird (Bild 4.5).



4.5 Beschleunigung mit Geschwindigkeitsänderung zu Bild 4.4

Das kannst du dir so vorstellen: Der Wagen bewegt sich auf dem Hang mit  $v_A$  weiter nach rechts und gleichzeitig erhält dieser eine Beschleunigung  $a$  ebenfalls nach rechts. Die beobachtete Endgeschwindigkeit  $v_E$  ist aus  $v_A$ , der Beschleunigung  $a$  und der vergangenen Zeit  $t$  zusammengesetzt.

Durch eine **Einwirkung** erhält der Körper eine **Beschleunigung**. Der Begriff Beschleunigung beschreibt in der Physik, wie sich die Geschwindigkeit eines Gegenstands über die Zeit verändert. Die Richtung der Einwirkung und die Richtung der Beschleunigung sind gleich.

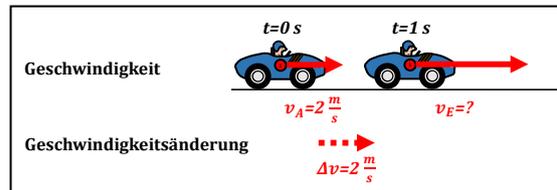
Um die Beschleunigung besser verstehen zu können, benötigen wir zuvor den Begriff der Geschwindigkeitsänderung:

Die **Geschwindigkeitsänderung**  $\Delta v$  gibt an, wie sich die Geschwindigkeit eines Körpers ändert. Die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  wird durch einen Pfeil dargestellt. Der Pfeil von  $\Delta v$  zeigt von der Pfeilspitze von  $v_A$  zur Pfeilspitze von  $v_E$ . Die Geschwindigkeitsänderung wird in einer neuen Zeile unter dem Stroboskopbild eingezeichnet. Der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung wird dabei immer mittig zwischen die beiden betrachteten Zeitpunkte gezeichnet. Mit der neuen Zeile der Geschwindigkeitsänderung sprechen wir jetzt von einer **Stroboskoptabelle** (ST).

Wie du die drei Geschwindigkeitspfeile richtig verknüpfst, wird im folgenden Abschnitt erklärt.

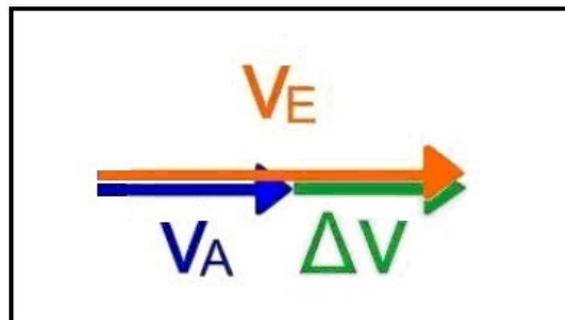
## 4.2 Konstruktion der Endgeschwindigkeit

Ausgangssituation: Manchmal kennst du die Anfangsgeschwindigkeit und die Geschwindigkeitsänderung (wie in Bild 4.6) und möchtest die Endgeschwindigkeit konstruieren.



4.6 Anfangsgeschwindigkeits- und Geschwindigkeitsänderungspfeil sind gegeben. Der Pfeil der Endgeschwindigkeit ist gesucht.

Die Zusammensetzung von  $v_A$  und  $\Delta v$  kannst du mit den Geschwindigkeitspfeilen nachvollziehen (Bild 4.7).



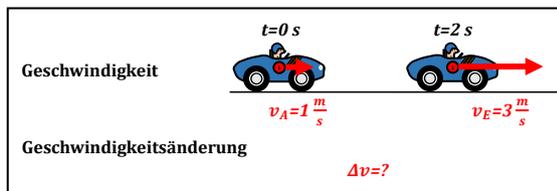
4.7 Konstruktion des Pfeils von  $v_E$

### Konstruktion:

- Der Wagen hat eine bestimmte Anfangsgeschwindigkeit  $v_A$ .
- Durch die Einwirkung erhält der Wagen zur Anfangsgeschwindigkeit  $v_A$  eine bestimmte Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$ .
- Zur Zusammensetzung von  $v_A$  und  $\Delta v$  hängst du  $\Delta v$  an die Pfeilspitze von  $v_A$ .
- Verbindest du den Pfeilfuß von  $v_A$  mit der Pfeilspitze von  $\Delta v$ , so erhältst du den Pfeil der Endgeschwindigkeit  $v_E$ .

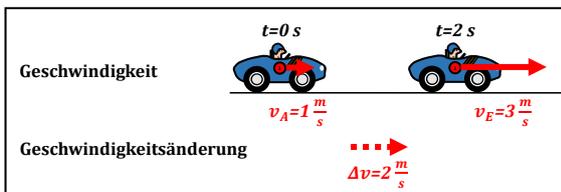
### 4.3 Konstruktion der Geschwindigkeitsänderung

Angangssituation: Manchmal kennst du die Anfangs- und die Endgeschwindigkeit, (wie in Bild 4.8) und möchtest die Geschwindigkeitsänderung konstruieren.



4.8 Anfangs- und Endgeschwindigkeitspfeil sind gegeben. Der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung wird gesucht.

Die Bestimmung von  $\Delta v$  aus  $v_A$  und  $v_E$  kannst du wieder mit den Geschwindigkeitspfeilen nachvollziehen (Bild 4.9):



4.9 Konstruktion des Pfeils von  $\Delta v$

#### Konstruktion:

- Der Wagen hat eine bestimmte Geschwindigkeit  $v_A$ .
- Gesucht ist der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$ .
- Der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  wird an die Pfeilspitze von  $v_A$  gehängt und muss auf die Pfeilspitze von  $v_E$  zeigen.

### 4.4 Geschwindigkeitsänderung aus der gleichmäßigen Beschleunigung

Du hast jetzt schon gelernt, wie du die Geschwindigkeitspfeile richtig verknüpfst um so zum Beispiel die Endgeschwindigkeit oder die Geschwindigkeitsänderung herauszufinden. Wie du jetzt von der Geschwindigkeitsänderung und der Zeit auf die Beschleunigung schließen kannst, wird in diesen Kapiteln behandelt.

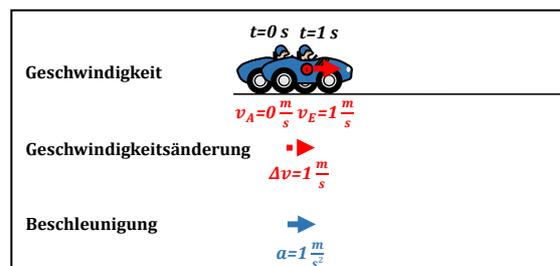
Die Beschleunigung  $a$  wird ebenfalls in einer neuen Zeile mittig unter dem Stroboskopbild zwischen den beiden betrachteten Zeitpunkten eingezeichnet. Wir verwenden außerdem für die Beschleunigung eine andere Farbe, um sie nicht mit der Geschwindigkeit und der Geschwindigkeitsänderung zu verwechseln. Die Beschleunigung ist nämlich eine eigene Größe mit einer eigenen Einheit  $\frac{m}{s^2}$ .

Der Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeitsänderung, der Beschleunigung und der Zeit ist dabei folgender:

$$\Delta v = a \cdot \Delta t$$

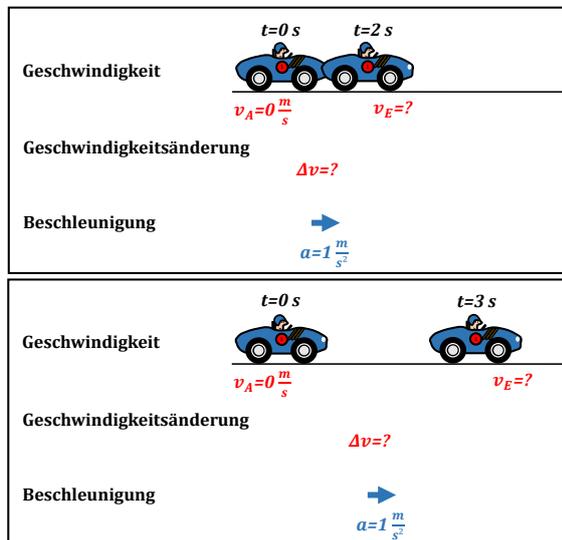
Je länger es eine Beschleunigung gibt, desto größer ist die Geschwindigkeitsänderung.

Betrachte das Bild 4.10. Du kannst dem Stroboskopbild entnehmen, welche Geschwindigkeitsänderung die vorliegende Beschleunigung nach einer vergangenen Zeit von  $t = 1$  s bewirkt hat. Betrachten wir nun die **gleiche Beschleunigung** über verschiedene Zeiten  $\Delta t$ , können wir dadurch auf die Geschwindigkeitsänderung schließen.



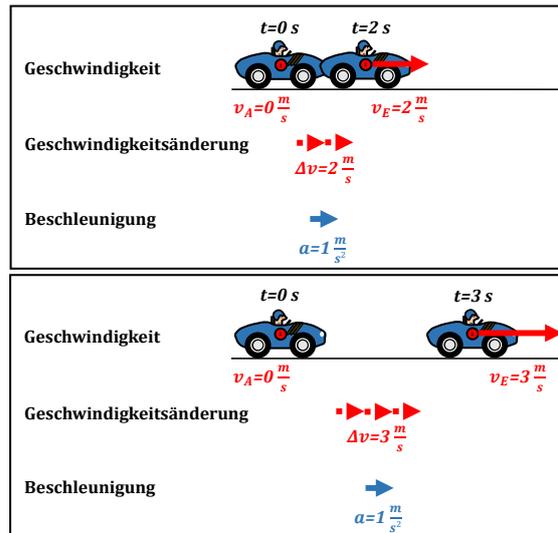
4.10 Stroboskoptabelle mit Beschleunigungspfeil

In Bild 4.11 sind die jeweils Geschwindigkeitsänderung und die Endgeschwindigkeit nach zwei und nach drei Sekunden gesucht. Die Beschleunigung ist die gleiche, wie in Bild 4.10.



4.11 Stroboskoptabellen mit der gleichen Beschleunigung wie 4.10

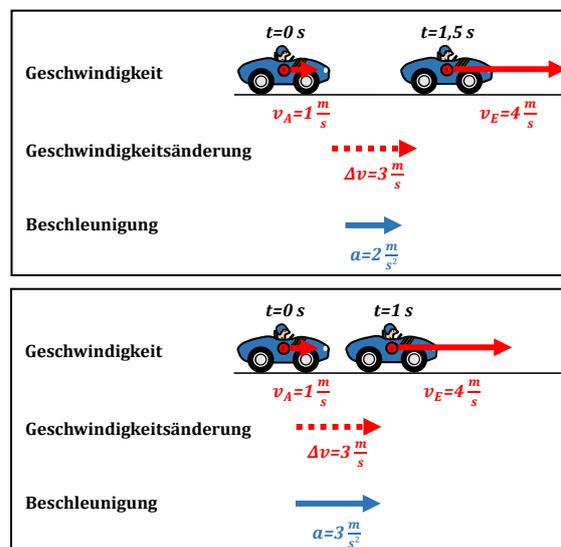
In Bild 4.12 sind die vollständigen Stroboskoptabellen mit allen Pfeilen abgebildet. Wir erhalten bei gleichbleibender Beschleunigung im ersten Bild in der doppelten Zeit auch die doppelte Geschwindigkeitsänderung und im zweiten Bild in der dreifachen Zeit auch die dreifache Geschwindigkeitsänderung. Damit du das besser erkennen kannst, haben wir den Geschwindigkeitspfeil aus Bild 4.10 zweimal hintereinander gehangen. Mit der Geschwindigkeitsänderung können wir schließlich auch wieder die Endgeschwindigkeit konstruieren.



4.12 Stroboskoptabellen zu Bild 4.11

## 4.5 Beschleunigung vergleichen

Betrachte die Stroboskoptabellen in Bild 4.13. In beiden Stroboskoptabellen ist die gleiche Geschwindigkeitsänderung für unterschiedliche Zeiträume eingezeichnet. Der Wagen hat daher unterschiedliche Beschleunigungen.



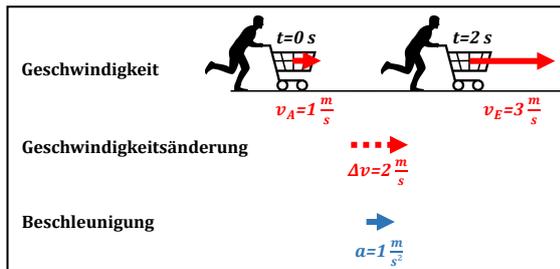
4.13 Stroboskoptabellen

Für die gleiche Geschwindigkeitsänderung wird im ersten Bild eine Zeit von  $t = 1,5$  s und im zweiten Bild eine Zeit von  $t = 1$  s benötigt. Daraus können wir schließen, dass die Beschleunigung im zweiten Bild größer sein muss, da hier für die gleiche Geschwindigkeitsänderung weniger Zeit benötigt wird.

## Beispiele

### a) Beschleunigung in Richtung der Anfangsgeschwindigkeit

Du schiebst einen bereits rollenden Einkaufswagen in Bewegungsrichtung gleichmäßig an. Die Bewegungsrichtung des Wagens ändert sich dabei nicht. Allerdings ist die Geschwindigkeit des Einkaufswagens später größer als vorher (Bild 4.14).



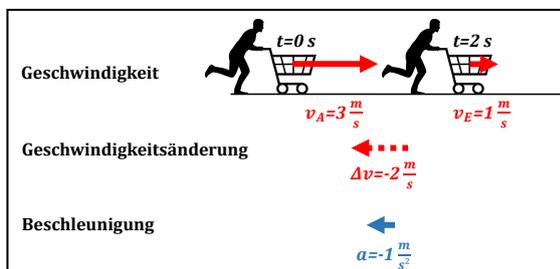
4.14 Erhöhung der Geschwindigkeit

Ein weiteres Beispiel für diese Situation ist, wenn du mit deinem Fahrrad fährst und schon etwas schlapp bist. Dein Freund möchte dir helfen und schiebt dich während der Fahrt von hinten an. Du fährst dabei in die gleiche Richtung weiter, allerdings mit einer größeren Geschwindigkeit.

### b) Beschleunigung entgegengesetzt zur Richtung der Anfangsgeschwindigkeit

#### 1) Bremsen

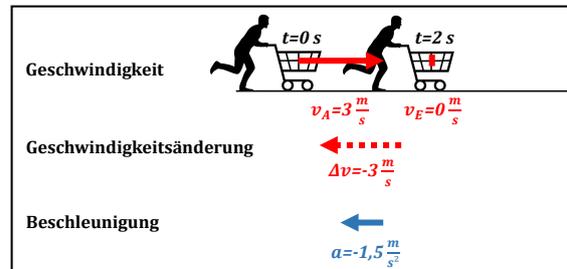
Jetzt betrachten wir in Bild 4.15 die Situation, dass der Wagen sich zwar mit einer Anfangsgeschwindigkeit bewegt, dieser jetzt aber durch Ziehen an dem Wagen abgebremst wird.



4.15 Bremsen

#### 2) Stoppen

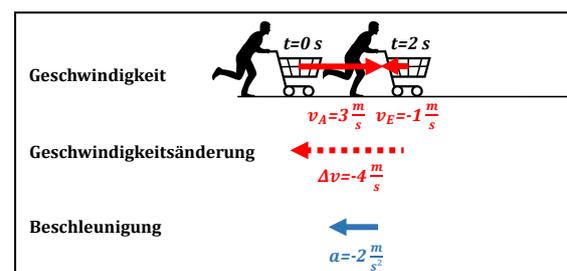
Jetzt betrachten wir in Bild 4.16 die Situation, dass der Wagen gestoppt wird, weil du stärker ziehst. Der Pfeil der Endgeschwindigkeit hat hier die Länge 0, da sich beide Bewegungen ausgleichen. Dann wird die Bewegung gestoppt.



4.16 Stoppen

#### 3) Bewegung umkehren

Bei der letzten Situation in Bild 4.17 ziehst du nochmal stärker an dem Wagen, so dass du den Einkaufswagen schließlich hinter dir herziehst. Dann war die Beschleunigung so groß, dass die Endgeschwindigkeit in die entgegengesetzte Richtung der Anfangsgeschwindigkeit gerichtet ist. Das kannst du dir so vorstellen: Durch die Beschleunigung wird der Wagen im ersten Schritt in Gegenrichtung zur ursprünglichen Bewegung zur Ruhe gebracht. In einem zweiten Schritt wird er anschließend weiter in die Gegenrichtung beschleunigt.



4.17 Bewegung umkehren

## Aufgaben

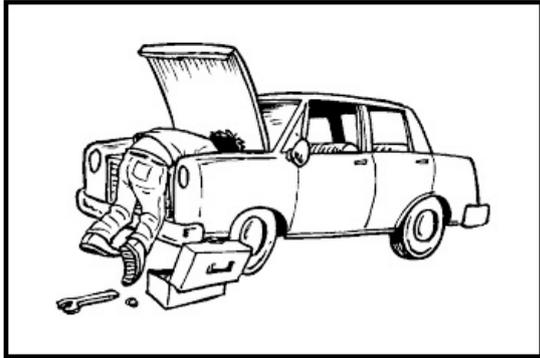
- ① Überlege dir  $v_A$ ,  $v_E$  und  $a$  beim Elfmeterschießen.
- ② Beschreibe eine Bewegung für die gilt:
  - a)  $v_A = 0$ ,  $a$  und  $v_E \neq 0$
  - b)  $v_E = 0$ ,  $a$  und  $v_A \neq 0$
  - c)  $a = 0$ ,  $v_A$  und  $v_E \neq 0$
- ③ Kim schwimmt mit konstanter Geschwindigkeit auf eine Düse im Schwimmbad zu. Durch die Düse erhält sie eine Beschleunigung. Zeichne eine Stroboskoptabelle, aus der die Bewegung deutlich wird, und stelle die Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeile dar. (Tipp: Betrachte Bild 4.16)
- ④ Diskutiere mit deinem Mitschüler folgende Behauptungen:

Hannah sagt: „Der Pfeil der Beschleunigung und der Pfeil der Endgeschwindigkeit zeigen bei allen Bewegungen immer in die gleiche Richtung.“

Leonie sagt: „Der Pfeil der Endgeschwindigkeit kann nie länger sein als der Pfeil der Anfangsgeschwindigkeit.“

Aische sagt: „Um eine Bewegung umzukehren muss der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung länger sein als der Pfeil der Anfangsgeschwindigkeit, damit der Körper die Richtung ändert.“
- ⑤ Ein Fallschirmspringer zieht die Reißleine von seinem Fallschirm. Dadurch wird der Fallschirmspringer abgebremst (negativ beschleunigt). Zeichne für diese Situation eine mögliche Stroboskoptabelle mit Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeilen.
- ⑥ Kevin fährt mit seinem Skateboard eine Rampe hinunter. Dabei beschleunigt er. Zeichne für diese Situation eine mögliche Stroboskoptabelle mit Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeilen.
- ⑦ Tims Hobby ist Segeln. Auf dem Gardasee fährt er mit seinem Boot bei einer guten Brise schön dahin. Das Boot wird dabei durch den Wind im Segel beschleunigt. Zeichne für diese Situation eine mögliche Stroboskoptabelle mit Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeilen.

## 5. Die Newton'sche Bewegungsgleichung



5.1 Autopanne

Euer Lehrer ist mit seinem Auto liegengeblieben (Bild 5.1). Um sein Auto zur nächsten Werkstatt zu schieben, bittet er euch um Hilfe. Wenn du von hinten gegen das Auto drückst, änderst du dadurch die Bewegung des Autos, denn durch das Schieben hat das Auto eine Beschleunigung.

Ihr wisst auch, dass die Richtung der Einwirkung und die Richtung der Beschleunigung gleich sind. Jetzt fragen wir uns, was es für einen Zusammenhang zwischen der Stärke mit der geschoben wird und der Beschleunigung gibt.

### 5.1 Kraft und Beschleunigung

**V1:** Versuche alleine das Auto anzuschieben. Drücke dabei unterschiedlich stark gegen das Auto. Versuche jeweils eine Aussage über die Beschleunigung zu machen.

**V2:** Schiebt jetzt zu zweit oder mit mehreren gleichzeitig an. Kannst du wieder eine Aussage über die Beschleunigung machen?

**Beobachtung:** Bei einer stärkeren Einwirkung ist die Beschleunigung größer.

**Das gilt ganz allgemein:**

Je größer die Einwirkungsstärke auf einen Gegenstand ist, desto größer ist die Beschleunigung, die der Gegenstand erhält.

Das bedeutet, bei größerer Einwirkungsstärke ist der Pfeil der Beschleunigung länger.

Nun müssen wir den Begriff der Einwirkung noch präziser festlegen: Eine Einwirkung ist gekennzeichnet durch ihre Stärke und ihre Richtung. Die Stärke und Richtung kann man mit einem Begriff bezeichnen:

In der Physik werden die „Einwirkungsstärke“ und die „Einwirkungsrichtung“ zusammengefasst: dafür verwendet man den Begriff **Kraft** (Symbol  $F$ , vom englischen Wort *force*) Diese Kraft kann analog zum Geschwindigkeitspfeil als **Kraftpfeil** dargestellt werden:

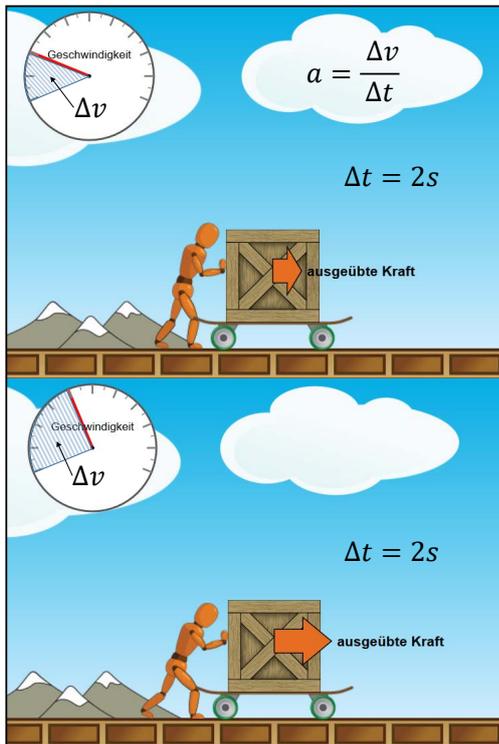
$$\text{Kraftpfeil} = \begin{cases} \text{Einwirkungsstärke} \\ \text{Einwirkungsrichtung} \end{cases}$$

Damit können wir formulieren:

Je größer die Einwirkungsstärke einer **Kraft** ist, die auf einem Körper ausgeübt wird, desto größer ist die Beschleunigung  $a$ , die der Körper erhält.

Das bedeutet, bei größerer Einwirkungsstärke einer Kraft ist der Pfeil der Beschleunigung länger.

In der Computersimulation *Phet: Kräfte und Bewegungen: Grundlagen* wird dies veranschaulicht: Lassen wir aus dem Stand heraus auf den Wagen mit der Kiste eine doppelt so starke Kraft ausüben, wird die Geschwindigkeit doppelt so groß (Bild 5.2).

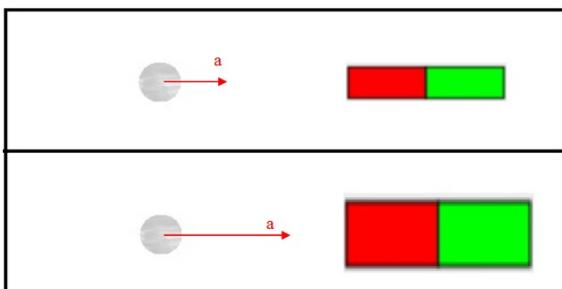


5.2 Unterschiedliche Kräfte bewirken in der gleichen Zeit unterschiedliche Beschleunigungen.

### Beispiele

#### a) Magnet

Eine Kugel rollt auf einen schwachen Magneten zu (Bild 5.3). Dabei ist die Beschleunigung schwächer, als wenn sie auf einen starken Magneten zurollt.



5.3 Eine Kugel rollt auf einen schwachen Magneten (oben) und auf einen starken Magneten (unten) zu.

#### b) Formel 1

Je stärker ein Formel 1-Fahrer auf das Gaspedal tritt, desto stärker ist auch die Beschleunigung, die das Auto erhält. Dadurch wird die Endgeschwindigkeit des Rennautos immer größer. Es spielt natürlich auch eine Rolle, wie lange der Fahrer das Gaspedal tritt, da sonst die Beschleunigung endet.

## 5.2 Masse und Beschleunigung

**V3:** Versuche etwa gleichstark einen leichten und dann einen schweren Einkaufswagen anzuschieben.

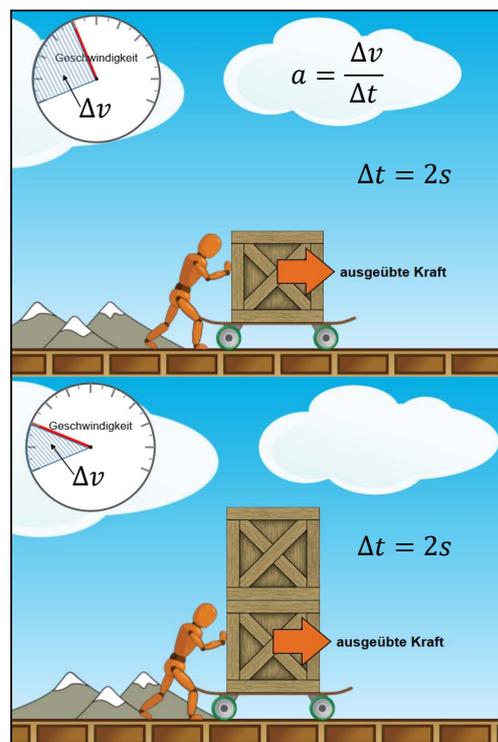
**V4:** Wiederhole den Versuch 1. Dabei sitzen jetzt aber zusätzlich der Lehrer und mehrere Mitschüler im Auto.

**Beobachtung:** Die Beschleunigung ist umso größer, je leichter der Gegenstand ist. Bei einem „massigeren“, schwereren Gegenstand ist bei gleichstarker Kraft die Beschleunigung schwächer. Diese Eigenschaft des Körpers nennt man **Masse** (Symbol  $m$ ). Man gibt sie in der Einheit 1 kg an.

### Allgemein gilt:

Je größer die **Masse** eines Gegenstands ist, auf den eine Kraft ausgeübt wird, desto schwächer ist die Beschleunigung  $a$ , die der Körper erhält.

Das kannst du auch wieder in der Simulation beobachten (Bild 5.4).



5.4 Unterschiedliche Massen bewirken bei gleicher Kraft und Zeit unterschiedliche Beschleunigungen.

## Beispiel

*PKW vs. LKW*

Ein PKW kommt wesentlich schneller auf hohe Geschwindigkeit als ein LKW mit größerer Masse. Das liegt daran, dass die Beschleunigung beim leichten PKW viel größer ist als beim schweren LKW.

## 5.3 Die Newton'sche Bewegungsgleichung

Du hast jetzt alle Einflussfaktoren kennengelernt, welche die Beschleunigung bestimmen. Im Einzelnen weißt du, dass die Kraft und die Masse eine Rolle spielen. Weitere Einflussfaktoren gibt es nicht. Beide Einflussfaktoren werden in der **Newton'schen Bewegungsgleichung** (abgekürzt NBG) zusammengefasst:

$$F = m \cdot a$$

Sir Isaac Newton hat als erster diese Grundgleichung der Mechanik formuliert. Deswegen wurde sie nach ihm benannt.

Die Newton'sche Bewegungsgleichung  $F = m \cdot a$  sagt aus:

1. Wenn auf einen Körper eine Kraft  $F$  ausgeübt wird, erhält dieser eine Beschleunigung  $a$  (d.h. die Geschwindigkeit des Körpers ändert sich).
2. Kraft und Beschleunigung haben jeweils die gleiche Richtung.
3. Je größer die Einwirkungsstärke der Kraft  $F$  ist, desto größer ist die Beschleunigung  $a$  (bei jeweils gleicher Masse).
4. Je größer die Masse  $m$  des Körpers ist, desto schwächer ist die Beschleunigung  $a$  (bei jeweils gleicher Kraft).

Die Maßeinheit für die Kraft heißt Newton (N). Diese Einheit kann mit Hilfe der Einheiten der Masse  $m$  (Kilogramm kg) und der Beschleunigung  $a$  (Meter pro Sekunde zum Quadrat ( $\text{m/s}^2$ )) ausgedrückt werden:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

Also gilt:

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$$

## Aufgaben

- ① Gib Beispiele aus dem Alltag für die Aussagen der Newton'schen Bewegungsgleichung an.
- ② Diskutiere den Einfluss der Masse auf die Beschleunigung.
- ③ Erkläre, was eine Kraft ist. Gib Beispiele aus dem Alltag an.

## 6. Anwendungen der Newton'schen Bewegungsgleichung

### 6.1 Alltagsanwendungen

Im letzten Kapitel hast du die Newton'sche Bewegungsgleichung (NBG) kennen gelernt. Sie lautet:  $F = m \cdot a$

Du hast auch schon gelernt, dass du mit dieser Gleichung viele Vorgänge in deinem Alltag erklären kannst.

#### a) Fausten oder Stoppen?

Beim Elfmeterschießen erreicht ein Fußball eine Geschwindigkeit von 120 km/h. Soll der Torhüter den Ball halten oder zurückfausten, um sein Verletzungsrisiko zu minimieren? (Bild 6.1)

Diese Frage kannst du mit der NBG beantworten. Wir nehmen dabei an, dass die Zeit für das Halten und das Zurückfausten gleich ist. Die Masse des Fußballs verändert sich auch nicht. Um herauszufinden welche Kraft der Torhüter auf den Ball ausüben muss, überlegen wir uns, welche Beschleunigung der Ball in den zwei Situationen erhält:



6.1 Was soll der Torwart tun?

Die Anfangsgeschwindigkeit ist in beiden Situationen gleich. Überlege dir mit den Pfeilbildern:

Beim Halten ist der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung dem Pfeil der Anfangsgeschwindigkeit entgegengesetzt und genauso lang.

Beim Zurückfausten ist der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung wieder dem Pfeil der Anfangsgeschwindigkeit entgegengesetzt, aber länger.

Dementsprechend ist im ersten Fall die Beschleunigung kleiner und damit auch die Kraft, die der Torhüter auf den Ball ausübt, kleiner. Das Verletzungsrisiko ist im ersten Fall am geringsten.

#### b) Auffahrunfall eines Autos

Vergleichen wir die Auswirkungen zweier Unfälle: Ein Auto fährt mit 40 km/h gegen eine Betonwand, ein Auto gleichen Typs fährt mit gleicher Geschwindigkeit in einen Drahtzaun. Beide Autos kommen dadurch zum Stillstand. Gefühlsmäßig erwarten wir, dass die Kräfte auf die Autos und ihre Fahrer unterschiedlich sein werden, obwohl Anfangs- und Endgeschwindigkeit in beiden Fällen gleich sind.

Unsere Erwartung trifft tatsächlich zu, denn es gibt einen wichtigen Unterschied: die vergangene Zeit  $\Delta t$  für das Abbremsen durch die Wand bzw. durch den Zaun. Das Abbremsen durch den Drahtzaun dauert ca. 10-mal so lange wie das Abbremsen durch die Betonmauer. Dann ist die durchschnittliche Kraft, die der Zaun ausübt 10-mal kleiner als die durchschnittliche Kraft die die Mauer ausübt. Diese Schlussfolgerung ergibt sich aus der Newton'schen Bewegungsgleichung. Beide Autos erfahren jeweils die gleiche Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$ . Für den Fall, dass  $\Delta t$  10-mal größer ist, muss die Beschleunigung  $a$  damit 10-mal kleiner sein. Damit ergibt sich aus dem Produkt  $m \cdot a$  auch eine 10-mal kleinere Kraft  $F$ .

#### c) Knautschzone

Nun kannst du auch verstehen, wie man Autos konstruieren muss, damit das Verletzungsrisiko bei Unfällen für die Insassen möglichst klein ist: Es muss dafür gesorgt werden, dass die Zeit vom Auffahren bis zum Stillstand möglichst lange dauert. Das erreicht man dadurch, dass „Knautschzonen“ eingebaut werden, die sich verformen. Dieser Vorgang des Verformens verkleinert die Beschleunigung und verringert dadurch die Kraft.

Die Fahrgastzelle konstruiert man sehr steif, sie soll sich beim Unfall möglichst nicht verformen, damit die Insassen nicht eingeklemmt werden (Bild 6.2).



6.2 Crashtest mit einem Auto

#### d) Fahrradhelme

Genau diese Funktion haben auch Fahrradhelme. Sie sorgen dafür, dass die Beschleunigung von deinem Kopf verkleinert wird. Dann wirkt eine kleinere Kraft. Gleichzeitig sorgt der Helm dafür, dass die Kraft nicht punktuell auf die Schädeldecke wirkt, sondern sich auf eine größere Fläche verteilt. Wie groß diese Unterschiede sind, kannst du in einem Versuch überprüfen:

Ein rohes Ei wird aus ca. 1 m Höhe fallengelassen. Es zerbricht. Danach wird ein anderes rohes Ei mit einem „Helm“ ausgestattet (Bild 6.3) und ebenfalls aus ca. 1m Höhe fallengelassen. Das Ei bleibt unbeschädigt.



6.3 Crashtest mit einem Ei

#### e) Beladenes Auto

Ein leerer Kombi erreicht mit Vollgas in 12 s eine Geschwindigkeit von 100 km/h. Vollbeladen erreicht er in gleicher Zeit - ebenfalls bei Vollgas - nur 75 km/h. Erkläre mit der Newton'schen Bewegungsgleichung, warum dies so ist.

#### f) Elastizität von Kletterseilen

Kletterseile sind bis zu einem gewissen Grad elastisch (Bild 6.4). Dies ist deshalb so wichtig, damit die Beschleunigung klein genug und damit die Kraft möglichst klein wird, sodass man den Sturz ins Seil ohne schwere Verletzungen überlebt.



6.4 Sicherung mit dem Kletterseil

#### g) Abgang vom Hochreck

Für den Abgang vom Hochreck erhält der Sportler nach altem Reglement eine besonders hohe Punktzahl, wenn er mit durchgedrückten Knien auf den Boden aufkommt. Jemand behauptet, dass dies für die Gelenke sehr schädlich sei, und dass es schonender sei beim Auftreffen auf den Boden „in die Knie zu gehen“.

Das ist deshalb richtig, weil dadurch die Beschleunigung verkleinert, und deshalb nach der NBG die Kraft verkleinert wird.

#### h) Abbremsen

Ein Auto bremst auf der Straße. Dabei ändert sich die Geschwindigkeit des Autos. Das Auto erhält also eine Geschwindigkeitsänderung. Nach der NBG muss eine Kraft auf das Auto ausgeübt werden. Diese Kraft übt die Straße auf das Auto aus.

Bei Glatteis kann die Straße keine Kraft auf das Auto ausüben. Man kann nicht mehr bremsen.

### i) Huskies

Beim Schlittenhunderennen muss der Führer des Schlittens sorgfältig überlegen, wie viele Hunde er vor den Schlitten spannt. Das kannst du wieder mit der NBG verstehen: Je größer die Masse des Schlittens ist, desto größer ist die benötigte Zugkraft, um den Schlitten aus der Ruhe auf die Renngeschwindigkeit zu bringen.



6.5 Huskies vor dem Schlittenrennen

### Aufgaben

- ① Auch beim Volleyball-Aufschlag gilt die NBG. Beantworte: Wer übt eine Kraft aus? Auf wen wird diese Kraft ausgeübt? Kannst du  $F$ ,  $m$  und  $a$  zuordnen?
- ② Erkläre, warum ein Airbag bei einem Unfall die Überlebenschancen von Fahrer und Beifahrer erhöht!
- ③ Erkläre, weshalb in der Formel 1 bei einem Rennen Reifenstapel als Bande verwendet werden.
- ④ Ein Regentropfen trifft gegen ein fahrendes Auto. Natürlich erhält das Auto dadurch eine Beschleunigung. Warum merkst du davon im Auto nichts?
- ⑤ Mountainbiker fahren oft „Fullies“. Schau nach, was das bedeutet, und erkläre, warum das bei einem Downhill hilfreich ist.