

1 Einleitung



1. Anna beim Torschuss

Erfolgreichen Stürmerinnen und Stürmern gelingt es, einen Freistoß 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 Tom auf dem Fahrrad

Tom möchte eine Fahrt auf dem Fahrrad dokumentieren. Hierfür macht sein Freund immer nach einer bestimmten Zeit ein Foto von der Seite aus. Toms Freund bewegt sich hierbei nicht. Die einzelnen Bilder werden danach nebeneinander gelegt (Bild 2.2). In den Bildern haben die beiden jeweils einen roten Punkt auf die hintere Radnabe gemalt, damit sie sich an diesem Punkt orientieren können.



2.2 Bilderreihe von Tom auf dem Fahrrad

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

Beschreibung einer Bewegung:

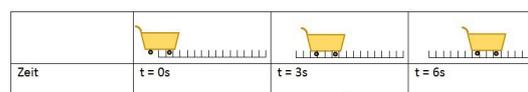
Um die Bewegung eines Gegenstands zu beschreiben, muss zu bestimmten Zeitpunkten festgestellt werden, wo sich der Gegenstand befindet. Sowohl der Zeitpunkt der Messung als auch der Ort des Gegenstands müssen dabei möglichst genau festgehalten werden.

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

Filmleiste

Den Ort eines Gegenstands kann man mit einem Fotoapparat bestimmen. Dazu macht man in festen Zeitabständen immer wieder ein Foto. (Der Fotoapparat darf sich dabei nicht bewegen.) Wenn diese Fotos hintereinander gelegt werden, entsteht eine so genannte **Filmleiste** (FL).

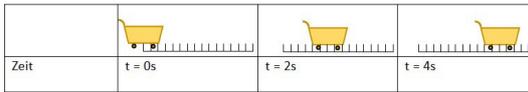
In Bild 2.3 ist die Bewegung eines Einkaufswagens abgebildet. Dabei wurde immer nach 3 Sekunden ein neues Bild gemacht. Damit du das besser erkennst, steht unter jedem Bild die vergangene Zeit seit dem Beginn der Aufnahme. Jetzt ist die Bewegung des Einkaufswagens sehr genau beschrieben.



2.3 Filmleiste eines Einkaufswagens, zwischen zwei Aufnahmen liegen immer 3 Sekunden

Aufgaben

- ① Beschreibe, wie Tom und sein Freund die Fahrradfahrt aufgezeichnet haben.
- ② Erläutere, weshalb aus Bild 2.2 nicht die exakte Bewegung von Tom ablesbar ist.
- ③ In Bild 2.4 siehst du eine weitere Filmleiste von einem Einkaufswagen.



2.4 Weitere Filmleiste eines Einkaufswagens, zwischen zwei Aufnahmen liegt immer 2 Sekunde

a) Beschreibe die Bewegung des Einkaufswagens. Beschreibe auch die Bewegung, die entsteht wenn du die Bilder von rechts nach links betrachtest.

b) Welcher der beiden Einkaufswagen in Bildern 2.3 und 2.4 war schneller als der andere? Begründe.

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 Bewegung einer Trampolinspringerin, zwischen zwei Aufnahmen liegen immer 0,04 Sekunden

a) Betrachte irgendeinen Film Bild für Bild und beschreibe eine der Bewegungen, die du dort erkennen kannst.

b) Erstelle eine Filmleiste dieser Bewegung. Klebe dazu eine Plastikfolie über den Bildschirm. Wähle dir dann einen Punkt auf dem Gegenstand aus und markiere ihn mit Folienstift. Gehe jetzt ein Bild weiter im Film, lege eine neue Folie auf und markiere den Punkt erneut. Schreibe dir zusätzlich die vergangene Zeit im Film unter den Punkt. Achte dabei darauf, dass du die Folie immer an die gleiche Stelle auf den Bildschirm legst.

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: Vorwärts, rückwärts, noch einmal!

Die Mitspieler gehen in Zweier- oder Dreiergruppen zusammen. Jede Gruppe legt für sich eine Sportart fest, zum Beispiel Weitsprung oder Schwimmen.

Als Erstes soll versucht werden die Sportart ohne Hilfsmittel, also pantomimisch darzustellen. Die nächste Stufe ist die Darstellung in verschiedenen Geschwindigkeiten oder der Versuch, die Sportart rückwärts darzustellen. Nach einer bestimmten Einübungszeit wird die Sportart der restlichen Gruppe vorgestellt, die nun die Einstellung wie bei einem DVD-Player wählen dürfen: Normale Wiedergabe, Schnell-Lauf vorwärts und rückwärts, Zeitlupe und Standbild.

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 die Mitspieler bewegen sollen.

Dieses Ergebnis kann man verallgemeinern: Um die Bewegung eines Gegenstands zu beschreiben, muss man an jedem Punkt der Bewegung angeben, **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 $\frac{km}{h}$ oder $\frac{m}{s}$ angegeben. Dabei sind

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

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 Quotient von zurückgelegter Strecke und dafür benötigter Zeit berechnen.

In der Formel wird die zurückgelegte Strecke mit Δs , die dafür benötigte Zeit mit Δt bezeichnet. (Das Symbol Δ 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 $37,6 \frac{km}{h}$.



3.3 Usain Bolt

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	4,71 s	6,42 s	8,10 s	9,84 s

Tabelle 1 Zeitmessungen für einen 100 m Lauf für verschiedene Streckenabschnitte

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?

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 Einkaufswagen*

Betrachte noch einmal die Filmleiste des Einkaufswagens (Bild 2.2). Die kannst erkennen, dass der Einkaufswagen im Vergleich zum vorherigen Bild jeweils 4 Striche weiter gerollt ist. Das Bild ist aber verkleinert: Zwischen zwei Strichen im Bild liegen immer genau 20 cm. Damit kannst du ausrechnen, wie lang beispielsweise die Strecke Δs von $t = 0\text{ s}$ zu $t = 3\text{ s}$ war:

$$\Delta s = 4 \cdot 20\text{ cm}$$

$$\Delta s = 80\text{ cm} = 0,80\text{ m}$$

Weil du weißt, dass der Einkaufswagen für diese Strecke genau $\Delta t = 3\text{ s}$ gebraucht hat, kannst du jetzt die Geschwindigkeit berechnen:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,80\text{ m}}{3\text{ s}} = 0,27\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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 1 080 000 000 km/h	

3.4 Geschwindigkeit in Natur und Technik

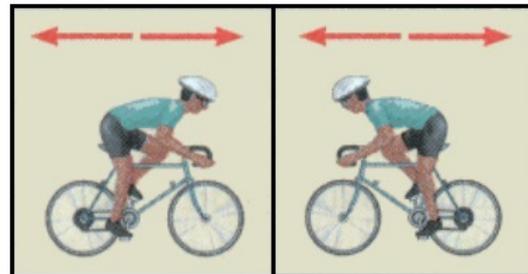
3.2 Richtung

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 3.5).



3.5 Einbahnstraße

Die Bewegungsrichtung wird mit einem Pfeil angegeben.

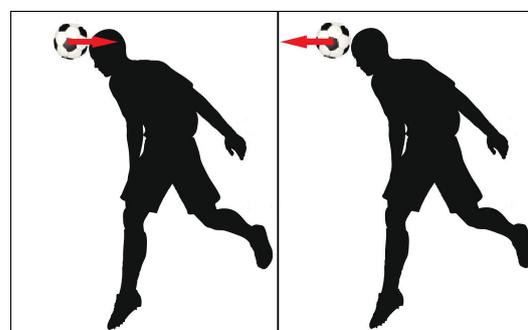


3.6 Mögliche Bewegungsrichtungen eines Radfahrers

Betrachte Bild 3.6 genau: Welche Möglichkeiten gibt es für den Radfahrer, sich in die gleiche Richtung zu bewegen?

Zum Beispiel kann er vorwärts fahren, also in Blickrichtung, er kann aber auch rückwärts fahren. Bei Bewegungen müssen wir daher zwischen der Richtung und der Orientierung des Objekts unterscheiden. Zwei Objekte mit gleicher Bewegungsrichtung haben nicht unbedingt immer die gleiche Orientierung!

Die Bewegungsrichtung kann sich auch wieder ändern. In Bild 3.7 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.



3.7 Bewegungsänderung nach Kopfball

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 3.8). Erkläre, weshalb nur so ein fairer Wettkampf möglich ist.



3.8 Leichtathletik-Mitteldistanzrennen

- ⑤ Beim Biathlon Verfolgungsrennen 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 Verfolgungsrennens 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 Verfolgungsrennen eine größere (Durchschnitts-) Geschwindigkeit?

- ⑥ a) Martin behauptet: „Immer wenn die Pfeile zweier bewegter Gegenstände die gleiche Richtung haben, haben sie auch die gleiche Orientierung.“ Erkläre Martin, warum er nicht recht hat.
b) Matthias sagt: „Haben zwei Autos die gleiche Orientierung, dann zeigen ihre Pfeile 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.

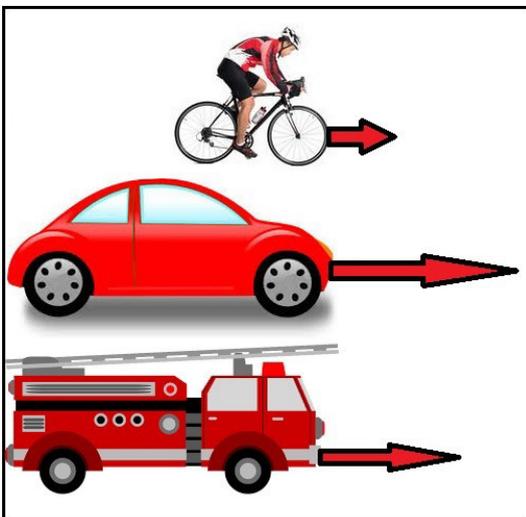
3.3 Geschwindigkeitspfeile

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 dazuzuschreiben. 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 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 Geschwindigkeit und Richtung zusammengefasst: Sie werden durch einen **Geschwindigkeitspfeil** dargestellt. Seine Richtung gibt die Richtung der Bewegung, seine Länge die Geschwindigkeit an.

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

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

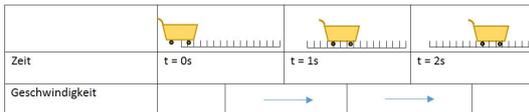
Beachte: Im Alltag wird die Geschwindigkeit oft als eine Größe angesehen, die nur positive Werte annehmen kann. Bewegt sich ein Körper aber beispielsweise in negative x-Richtung, so kann die Geschwindigkeit auch negativ werden!

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.

1) Durchschnittsgeschwindigkeiten

Man kann (mit vorgegebenen Maßstab) auch Geschwindigkeitspfeile in Filmleisten einzeichnen. So soll z.B. der Maßstab für Bild 3.10 so sein, dass 1 cm einer Geschwindigkeit von 0,2 m/s entspricht. Zuerst wählst du die Orte aus, zwischen denen du den Durchschnittsgeschwindigkeitspfeil bestimmen möchtest. Dafür errechnest du die Durchschnittsgeschwindigkeit. Der Einkaufswagen benötigt zwischen dem ersten und zweiten Bild ($\Delta s = 0,8 \text{ m}$) 1 s und hat somit eine Durchschnittsgeschwindigkeit vom 0,8 m/s. Deswegen zeichnest du unter die ersten beiden Bilder einen Geschwindigkeitspfeil von 4 cm Länge, der nach rechts zeigt.

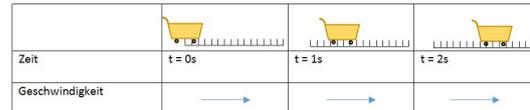


3.10 Filmleiste eines Einkaufswagens mit Geschwindigkeitspfeil

2) 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 der Filmleiste des Einkaufswagens eingezeichnet. Die Pfeile im Vergleich zur Durchschnittsgeschwindigkeit direkt unter das jeweilige Bild gezeichnet, da die Geschwindigkeit genau für diesem Zeitpunkt bestimmt wurde.



3.12 Momentangeschwindigkeitspfeile in der Filmleiste des Einkaufswagens

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

b) Staffellauf

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

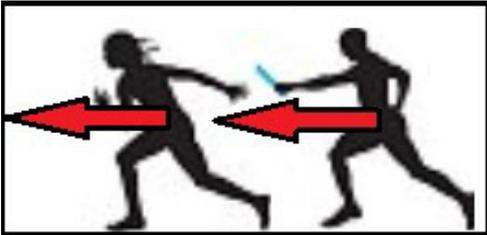


3.13 Staffellauf

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 der größten Geschwindigkeit weitergegeben werden kann. (Bild 3.15)



3.14 Der nächste Läufer passt seine Geschwindigkeit an



3.15 Übergabe des Staffelstabes

Aufgaben

- ① Zeichne jeweils Filmleisten für zwei Autos mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten v_1 und v_2 und außerdem zwei unterschiedliche Filmleisten für LKWs mit gleicher Geschwindigkeit v_3 und v_4 !
- ② Zeichne jeweils Filmleisten für zwei Fahrräder mit
 - a) gleicher Bewegungsrichtung aber unterschiedlichen Geschwindigkeiten v .
 - b) gleichen Geschwindigkeiten v aber unterschiedlichen Bewegungsrichtungen!
- ③ Zeichne die (Momentan-)geschwindigkeitspfeile in Filmleisten 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)
- ④ Übertrage die Filmleiste (Bild 3.16) ins Heft. Zeichne anschließend in diese die (Durchschnitts-)geschwindigkeitspfeile ein. Die Abstand zwischen zwei Strichen beträgt auch hier wieder 20 cm.

Zeit	$t = 0s$	$t = 2s$	$t = 4s$
Geschwindigkeit			

3.16 Filmleiste

4 Die Beschleunigung

4.1 Beschleunigung



4.1 Seifenkiste

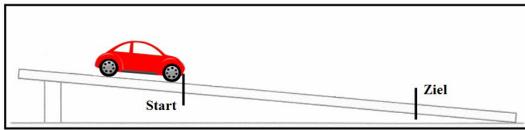
Wir führen einen Versuch mit Seifenkisten (Bild 4.1) durch. Bei dem ersten Versuch starten wir aus dem Stand heraus. Durch das Messen der zurückgelegten Strecke und der Zeit kann die Durchschnittsgeschwindigkeit berechnet werden. Für die zweite Übung wird der Startpunkt markiert. Nun beginnen wir aber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

V1: Führt die beiden Versuche an einem Hügel durch.

V2: Simuliert die beiden Versuche: Lasst dabei einen kleinen Wagen eine schiefe Ebene herunterrollen. Bei Versuch 2 startet der Wagen dabei einfach weiter oben.

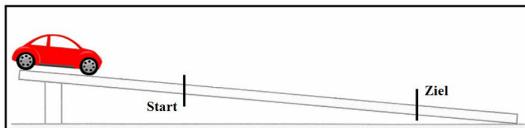
Was könnt ihr jeweils feststellen? Was passiert mit dem Wagen bei beiden Versuchen? Wir simulieren ebenfalls beide Versuche einem Wagen und einer schiefe Ebene (Bilder 4.2 und 4.3).

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



4.2 Versuch 1

Bei dem zweiten Versuch bewegt sich der Wagen bereits vor der Messung (Bild 4.3).



4.3 Versuch 2

Woran liegt das? Der Grund ist, dass der Wagen am Hang eine zusätzliche Bewegung ausführt: die Bewegung in Anfangsrichtung (falls vorhanden) wird beibehalten, zusätzlich gibt es eine weitere Bewegung 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 Filmleiste in der Ebene (Bild 4.4).

Zeit	$t = 0s$	$t = 3s$
Geschwindigkeit		

4.4 Anfangs- und Endgeschwindigkeit des Wagens

Was ist am Hang passiert? Der Wagen erfährt am Hang eine **Beschleunigung** a . Der Pfeil der Beschleunigung zeigt in diesem Fall in die Bewegungsrichtung, da der Wagen schneller wird (Bild 4.5).

Zeit	$t = 0s$	$t = 3s$
Geschwindigkeit		
Beschleunigung		

4.5 Beschleunigung a 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 erfährt diese eine Beschleunigung a ebenfalls nach rechts. Die beobachtete Endgeschwindigkeit v_E kann aus v_A , a und der Zeit t berechnet werden.

Der Begriff **Beschleunigung** beschreibt in der Physik, wie schnell sich die Geschwindigkeit eines Gegenstands verändert. Die Beschleunigung wird mit dem Buchstaben a bezeichnet und in der Einheit $\frac{m}{s^2}$ angegeben.

Du kannst die Beschleunigung eines Gegenstands ganz einfach bestimmen: Dabei musst du dir immer eine Anfangs- und eine Endgeschwindigkeit ansuchen, zwischen denen du die Beschleunigung bestimmen möchtest. Bestimme nun die Zeit, welche der Gegenstand für die Geschwindigkeitsänderung von der Anfangs- zur Endgeschwindigkeit braucht. Dann kannst du die Beschleunigung als Quotient von Geschwindigkeitsänderung und dafür benötigter Zeit berechnen.

In der Formel wird die Geschwindigkeitsänderung mit Δv , die dafür benötigte Zeit mit Δt bezeichnet. (Das Symbol Δ wird hier wieder verwendet, weil sowohl die Geschwindigkeit als auch die Zeit sich auf den Unterschied zwischen Anfangs- und Endpunkt beziehen.)

$$\text{Beschleunigung} = \frac{\text{Geschwindigkeitsänderung}}{\text{dafür benötigte Zeit}}$$

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

4.2 Beschleunigungspfeile und Pfeil der Geschwindigkeitsänderung in Filmleisten

Beschleunigungen können (bei vorgegebenen Maßstab) genauso wie Geschwindigkeiten durch Pfeile dargestellt werden. Du zeichnest Beschleunigungspfeile ähnlich wie die Pfeile der Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen die beiden Punkte zwischen denen du die Beschleunigung bestimmt hast. Dafür benötigen wir zunächst den Pfeil der Geschwindigkeitsänderung. Beide Pfeile werden in einer Tabelle unter der Filmleiste eingezeichnet. Zur Übersicht schreiben wir jeweils davor um welche Art von Pfeil es sich in der jeweiligen Zeile handelt.

Der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung wird blau gezeichnet, da er die Einheit einer Geschwindigkeit hat. Beschleunigungspfeile zeichnen wir wegen der unterschiedlichen Einheit in rot. (Beispiel: Bild 4.6)

Zeit	t = 0s	t = 2s	t = 4s
Geschwindigkeit			
Geschwindigkeitsänderung			
Beschleunigung			

4.6 Filmleiste mit Beschleunigungspfeilen und Pfeilen der Geschwindigkeitsänderung

Wie du die jeweiligen Pfeile richtig verknüpfst und berechnen kannst, wird in den folgenden Kapiteln behandelt.

4.3 Konstruktion der Geschwindigkeitsänderung aus der Beschleunigung und der Zeit

Ausgangssituation: Manchmal kennst die Anfangsgeschwindigkeit und die Beschleunigung (wie in Bild 4.7) und möchtest die Endgeschwindigkeit konstruieren. Dafür benötigst du zunächst den Pfeil der Geschwindigkeitsänderung.

Zeit	t = 0s	t = 2s
Geschwindigkeit		
Geschwindigkeitsänderung		???
Beschleunigung		

4.7 Beschleunigung und Zeit sind gegeben. Gesucht ist die Geschwindigkeitsänderung.

Konstruktion:

a) Du weißt, dass für die Beschleunigung gilt:

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

b) Durch umstellen nach der Geschwindigkeitsänderung erhältst du: $\Delta v = a \cdot \Delta t$.

c) Du multiplizierst also die Länge des Beschleunigungspfeils a mit der zwischen den Bildern vergangenen Zeit Δt und erhältst damit die Länge des Pfeils der Geschwindigkeitsänderung Δv .

Im Beispiel von Bild 4.7 entspricht 1 cm einer Beschleunigung von 1 m/s² und damit auch einer Geschwindigkeit von 1 m/s.

Damit ergibt sich:

$$\Delta v = a \cdot \Delta t = 1 \text{ m/s}^2 \cdot 2 \text{ s} = 2 \text{ m/s}$$

Du zeichnest also einen 2 cm langen Pfeil für die Geschwindigkeitsänderung ein.

Zeit	t = 0s	t = 2s
Geschwindigkeit		???
Geschwindigkeitsänderung		
Beschleunigung		

4.8 Pfeil der Geschwindigkeitsänderung für Bild 4.7.

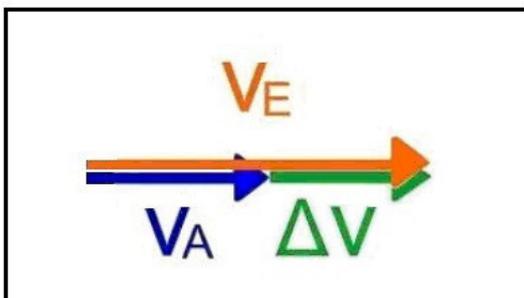
4.4 Konstruktion der Endgeschwindigkeit aus der Geschwindigkeitsänderung

Ausgangssituation: Manchmal kennst du die Anfangsgeschwindigkeit und die Geschwindigkeitsänderung (wie in Bild 4.9) und möchtest die Endgeschwindigkeit konstruieren.

Zeit	t = 0s	t = 2s
Geschwindigkeit		???
Geschwindigkeitsänderung		
Beschleunigung		

4.9 Anfangsgeschwindigkeitspfeil und der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung sind gegeben. Gesucht ist der Endgeschwindigkeitspfeil.

Die Zusammensetzung von v_E kannst du mit Geschwindigkeitspfeilen nachvollziehen (Bild 4.10).



4.10 Konstruktion des Pfeils von v_E

Konstruktion:

- Der Körper hat eine bestimmte Anfangsgeschwindigkeit v_A .
- Durch den Stoß erfährt der Körper eine Beschleunigung a über eine Zeit t , welche zu einer Geschwindigkeitsänderung Δv führt. Der Pfeil von Δv zeigt in die gleiche Richtung wie der Stoß.
- Zur Zusammensetzung von v_A und Δv hängst du Δv an die Pfeilspitze von v_A .
- Verbindest du den Pfeilfuß von v_A mit der Pfeilspitze von Δv , so erhältst du den Pfeil der Endgeschwindigkeit v_E .

Zeit	t = 0s	t = 2s
Geschwindigkeit		
Geschwindigkeitsänderung		
Beschleunigung		

4.11 Endgeschwindigkeitspfeil für Bild 4.9

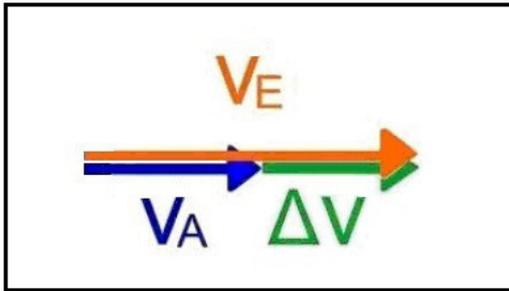
4.5 Konstruktion der Geschwindigkeitsänderung aus der Anfangs- und Endgeschwindigkeit

Ausgangssituation: Manchmal kennst du die Anfangs- und die Endgeschwindigkeit, (wie in Bild 4.12) und möchtest die Geschwindigkeitsänderung konstruieren.

Zeit	t = 0s	t = 2s
Geschwindigkeit		
Geschwindigkeitsänderung		???

4.12 Anfangs- und Endgeschwindigkeitspfeil sind gegeben. Der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung ist gesucht.

Die Bestimmung von Δv aus v_A und v_E kannst du wieder mit den Geschwindigkeitspfeilen nachvollziehen (Bild 4.13):



4.13 Konstruktion des Pfeils von Δv

Konstruktion:

- a) Die Kugel hat eine bestimmte Geschwindigkeit v_A .
- b) Der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung Δv wird an die Pfeilspitze von v_A gehängt und muss auf die Pfeilspitze von v_E zeigen.

Zeit		
Geschwindigkeit		
Geschwindigkeitsänderung		

4.14 Pfeil der Geschwindigkeitsänderung für Bild 4.12.

Ein Körper erfährt eine **Beschleunigung** a über eine Zeit Δt . Dies führt zu einer Geschwindigkeitsänderung Δv . Die Geschwindigkeitsänderung Δv wird durch einen Pfeil dargestellt. Der Pfeil von Δv zeigt von der Pfeilspitze von v_A zur Pfeilspitze von v_E .

Konstruktionstipp: Wenn du einen der Geschwindigkeitspfeile konstruierst, dann kannst du die vorgegebenen Geschwindigkeitspfeile beliebig verschieben. Beachte, dass du dabei die Richtung und die Länge der Pfeile nicht veränderst.

So kannst du es dir vielleicht leichter merken: „Der Pfeil von Δv zieht die Pfeilspitze von v_A in die Pfeilspitze von v_E “.

4.6 Konstruktion der Beschleunigung aus der Geschwindigkeitsänderung und der Zeit

Ausgangssituation: Manchmal kennst du die Geschwindigkeitsänderung (wie in Bild 4.15) und die Zeit und möchtest die Beschleunigung konstruieren.

Zeit		
Geschwindigkeit		
Geschwindigkeitsänderung		
Beschleunigung		

4.15 Geschwindigkeitsänderung und Zeit sind gegeben. Gesucht ist die Beschleunigung.

Konstruktion:

- a) Du weißt, dass für die Beschleunigung gilt: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.
- b) Du dividierst also die Länge des Pfeils der Geschwindigkeitsänderung Δv durch die zwischen den Bildern vergangene Zeit Δt und erhältst damit die Länge des Beschleunigungspfeil a .

Im Beispiel von Bild 4.15 entspricht 1 cm einer Geschwindigkeit von 1 m/s.

Damit ergibt sich:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2$$

Du zeichnest also einen 2 cm langen Pfeil für die Beschleunigung ein.

Zeit		
Geschwindigkeit		
Geschwindigkeitsänderung		
Beschleunigung		

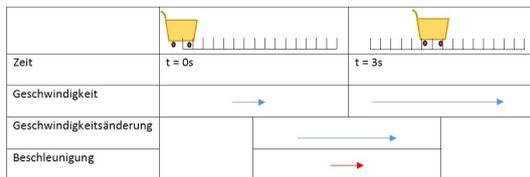
4.16 Beschleunigungspfeil für Bild 4.15.

Jetzt bist du in der Lage alle Ungekannten Größen aus den gegebenen heraus zu konstruieren oder zu berechnen.

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 größer als vorher (Bild 4.17).



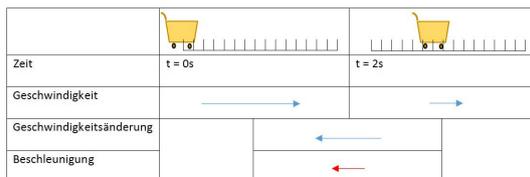
4.17 Erhöhung der Geschwindigkeit

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*

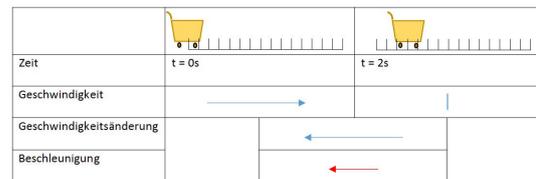
Jetzt betrachten wir in Bild 4.18 die Situation, dass der Wagen sich zwar mit einer Anfangsgeschwindigkeit bewegt, dieser jetzt aber durch Ziehen an dem Wagen abgebremst wird.



4.18 Bremsen

2) *Stoppen*

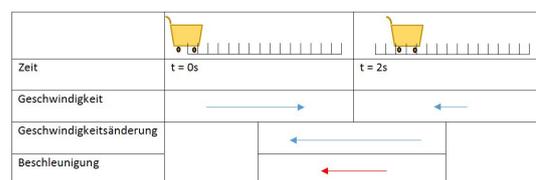
Jetzt betrachten wir in Bild 4.19 die Situation, dass der Wagen gestoppt wird, weil du stärker ziehst. Der Pfeil der Geschwindigkeitsänderung Δv hat die gleiche Länge wie der Pfeil der Anfangsgeschwindigkeit v_a , zeigen aber in die entgegengesetzte Richtung. Dann wird die Bewegung gestoppt.



4.19 Stoppen

3) *Bewegung umkehren*

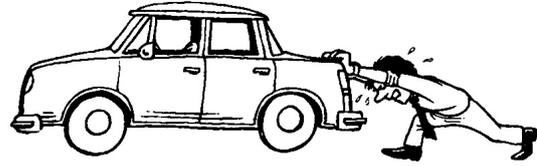
Bei der letzten Situation in Bild 4.20 ziehst du nochmal stärker an dem Wagen, so dass du den Einkaufswagen schließlich hinter dir herziehst. Dann war die Geschwindigkeitsänderung so groß, dass die Endgeschwindigkeit in die entgegengesetzte Richtung der Anfangsgeschwindigkeit gerichtet ist. Das kannst du dir so vorstellen: Durch die Beschleunigung erfährt der Wagen im ersten Schritt gerade eine solche Geschwindigkeitsänderung in Gegenrichtung zur ursprünglichen Bewegung, dass der Wagen zur Ruhe kommt. In einem zweiten Schritt erfährt er durch die Beschleunigung eine weitere Geschwindigkeitsänderung.



4.20 Bewegung umkehren

Aufgaben

- ① Überlege dir v_A , v_E und a beim freien Fall.
- 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 erfährt sie eine Beschleunigung. Zeichne eine Filmleiste, aus der die Bewegung deutlich wird, und stelle die Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeile dar.
(Tipp: Betrachte Bild 4.18)
- 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 Geschwindigkeitsdifferenz.“
Aische sagt: „Um eine Bewegung umzukehren muss der Pfeil der Geschwindigkeitsdifferenz länger sein als der Pfeil der Anfangsgeschwindigkeit, damit der Körper die Richtung ändert.“
- ⑤ Tims Hobby ist Segeln. Auf dem Gardasee fährt er mit seinem Boot bei einer guten Brise schön gemächlich dahin. Das Boot wird dabei durch den Wind im Segel beschleunigt. Zeichne für diese Situation ein mögliche Filmleiste mit Geschwindigkeits- und Beschleunigungspfeilen.

5 Die Newtonsche 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 übst du eine Beschleunigung auf das Auto aus.

Jetzt fragen wir uns, was für einem 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 mit zwei oder mehreren gleichzeitig. Kannst du wieder eine Aussage über die Beschleunigung machen?

Beobachtung: Je stärker man gegen das Auto drückt, desto größer ist die Beschleunigung.

Das gilt ganz allgemein:

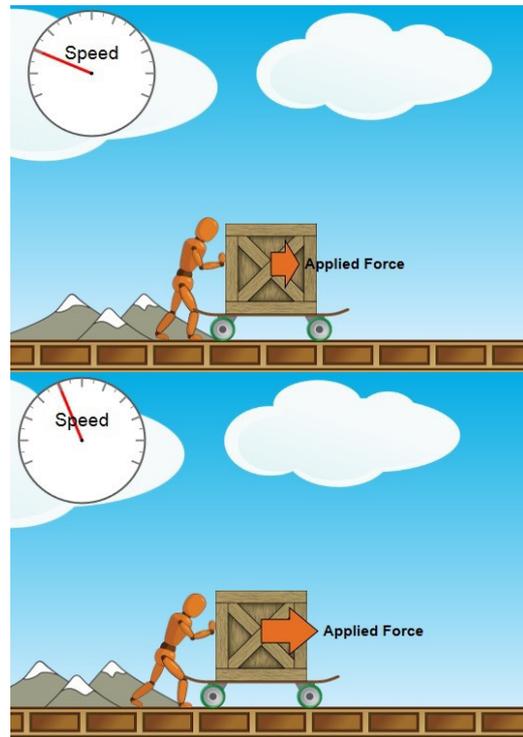
Je stärker man gegen einen Gegenstand drückt, desto stärker ist die Beschleunigung, die der Gegenstand erfährt.

Das bedeutet auch, dass der Pfeil der Beschleunigung länger wird.

Nun müssen wir den Begriff des Drückens noch präziser festlegen: Der Begriff ist gekennzeichnet durch die Stärke, mit der gegen einen Gegenstand gedrückt wird und die Richtung. Die Stärke und Richtung kann man mit einem Begriff bezeichnen:

In der Physik werden Stärke und Richtung, beispielsweise beim Drücken gegen einen Gegenstand, zusammengefasst: dafür verwendet man den Begriff **Kraft** (Symbol F , vom englischen Wort force)
Diese Kraft kann analog zum Geschwindigkeitspfeil als **Kraftpfeil** dargestellt werden:

$$\text{Kraftpfeil} = \begin{cases} \text{Stärke der Kraft} \\ \text{Richtung} \end{cases}$$



5.2 Unterschiedliche Kräfte bewirken unterschiedliche Beschleunigungen.

Damit können wir formulieren:

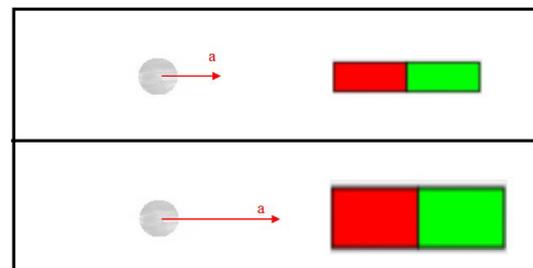
Je größer die Stärke einer **Kraft** ist, die auf einem Körper ausgeübt wird, desto stärker ist die Beschleunigung a , welche der Körper erfährt.

In der Computersimulation „Phet: Forces and Motion: Basics“ wird dies veranschaulicht: Lassen wir eine doppelt so starke Kraft über den gleichen Zeitraum auf den Wagen ausüben, wird die Geschwindigkeit doppelt so groß (Bild 5.2).

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 Magnet (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 erfährt. 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.

5.3 Masse und Beschleunigung

V3: Versuche etwa gleichstark einen leichte Kiste und dann eine schwere anzuschieben.

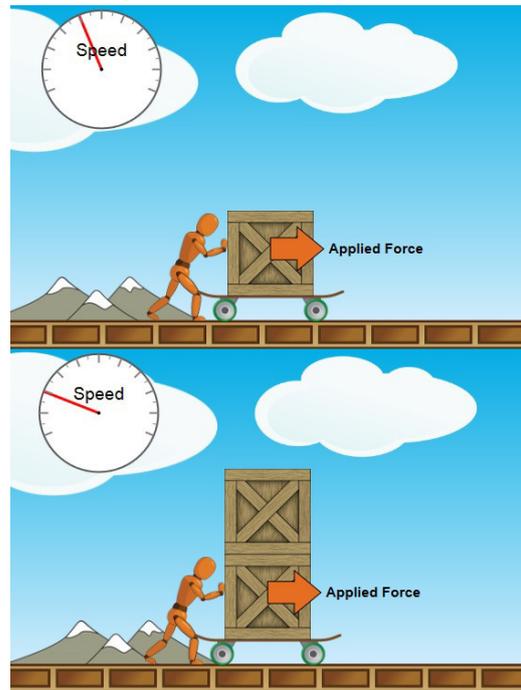
V4: Wiederhole den Versuch 1. Dabei sitzen jetzt aber zusätzlich der Lehrer und mehrere Mitschüler im Auto.

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 erfährt.

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



5.4 Unterschiedliche Massen bewirken unterschiedliche Beschleunigungen.

Beispiel

PKW vs. LKW

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

5.4 Die Newton'sche Bewegungsgleichung

Du hast jetzt alle Einflussfaktoren kennen gelernt, welche die Beschleunigung bestimmen. Im Einzelnen weißt du, dass die Kraft und die Masse eine Rolle spielen. Weitere Einflussfaktoren gibt es nicht. Alle 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 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 (m/s^2)) ausgedrückt werden:

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

Also gilt:

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

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

1. Wenn auf einen Körper eine Kraft F ausgeübt wird, erfährt dieser eine Beschleunigung a .

(2. Kraft und Beschleunigung haben jeweils das gleiche Vorzeichen.)

3. Je größer die Stärke der Kraft F ist, desto stärker 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).

Aufgaben

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