

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 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 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.



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 Δs von $t = 3 \text{ s}$ zu $t = 4 \text{ s}$ war:

$$\Delta s = (50 \text{ cm} : 10 \text{ mm}) \cdot 20 \text{ mm}$$

$$\Delta s = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

Weil du weißt, dass das Auto für diese Strecke genau $\Delta t = 1 \text{ s}$ 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 Geschwindigkeit:	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

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?

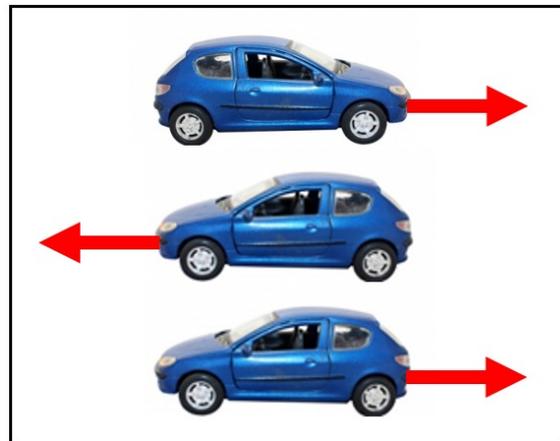
3.2 Richtung

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

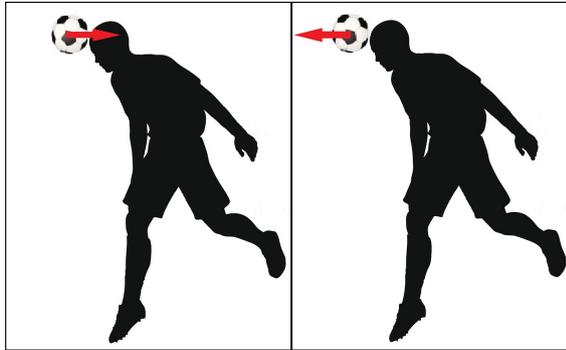
Die Bewegungsrichtung wird mit einem Pfeil angegeben.



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.

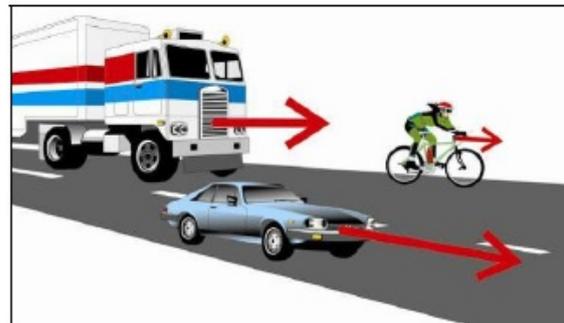
3.3 Geschwindigkeitspfeile

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!

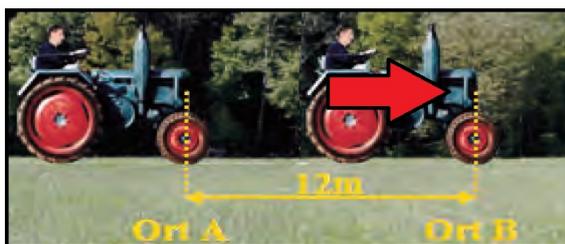
Beispiele

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*

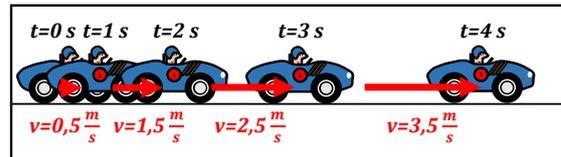
Man kann (mit einem vorgegebenen Maßstab) auch Geschwindigkeitspfeile in Stroboskopbildern einzeichnen. So soll z.B. der Maßstab für Bild 3.10 so sein, dass 1 mm einer Geschwindigkeit von 2 m/s entspricht. Zuerst wählst du die Orte aus, zwischen denen du die Durchschnittsgeschwindigkeit bestimmen möchtest. 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.

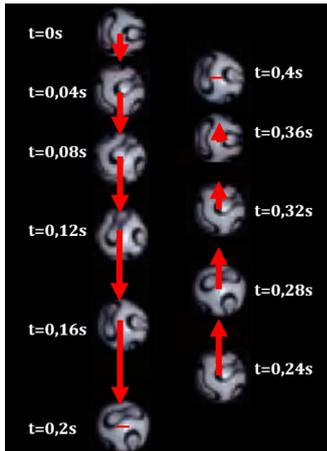


3.11 Durchschnittsgeschwindigkeitspfeile im Stroboskopbild des Autos

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.

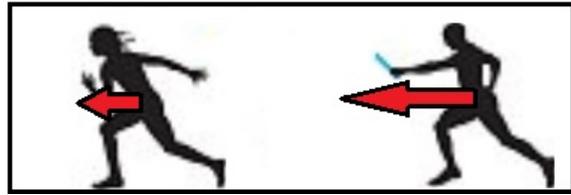
d) Staffellauf

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

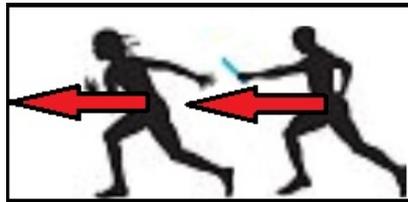


3.13 Staffellauf

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)



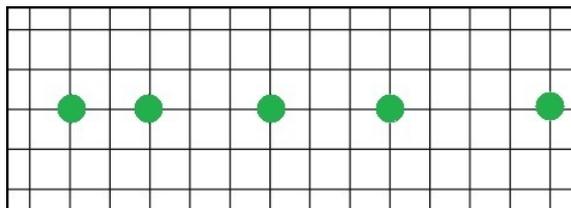
3.14 Der nächste Läufer passt seine Geschwindigkeit an



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