

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 Bewegung einer Trampolinspringerin. 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 Folienstift. Gehe jetzt ein Bild weiter im Film und markiere den Punkt erneut.
- 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 entlang einer vorgegebenen Route (Bild 3.1) fahren. 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 auf einer vorgegebenen Route

**Beobachtung:** Bei dem Versuchen erhältst du Anweisungen wie „rechts“, „links“, „mehr links“, „geradeaus“, „schneller“ oder „stopp“ usw. Es kommt also nicht nur darauf an, wie schnell, sondern auch wohin sich das Auto bewegt.

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 Tempo

Der Begriff **Tempo** beschreibt in der Physik, wie schnell sich ein Gegenstand bewegt. Das Tempo 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 das Tempo 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 das Tempo eines Gegenstands ganz einfach bestimmen: Dabei musst du dir immer einen Anfangs- und einen Endpunkt aussuchen, zwischen denen du das Tempo bestimmen möchtest. Messe nun die Zeit, die der Gegenstand benötigt, um diese Strecke zurückzulegen. Dann kannst du das Tempo als Quotient 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.)

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

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

## Beispiele

### a) *Tempo eines Skaters*

Thomas fährt bei der Blade-Night mit. Für die 18,7 km benötigt er 1,5 h. Sein Tempo 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) *Tempo 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. Sein Tempo 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 das Tempo der drei Erstplatzierten auf verschiedenen Streckenabschnitten berechnen.

Auf welchem Streckenabschnitt erreicht Usain Bolt das größte Tempo? Wie groß war es?

Welches war das größte Tempo, das seine beiden Konkurrenten auf einem Streckenabschnitt erreichten? An welcher Stelle wurde es 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) *Tempomessung*

Du kannst eine ähnliche Tempomessung auch selbst durchführen. Um zum Beispiel das Tempo 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 das Tempo ausrechnen.

d) *Tempo des Spielzeugfliegers*

Betrachte noch einmal die Stroboskopaufnahme des Spielzeugfliegers (Bild 2.3). Du siehst auf Anhieb, dass der Flieger von Punkt 5 zu Punkt 6 die größte Strecke zurückgelegt hat. Das sind ungefähr 18 mm im Bild, das aber verkleinert ist: Der Flieger ist im Bild nur 5 mm, in Wirklichkeit aber 20 cm groß. Damit kannst du ausrechnen, wie lang die Flugstrecke  $\Delta s$  von Punkt 5 zu Punkt 6 war:

$$\Delta s = (20 \text{ cm} : 5 \text{ mm}) \cdot 18 \text{ mm}$$

$$\Delta s = 72 \text{ cm} = 0,72 \text{ m}$$

Weil du weißt, dass der Flieger für diese Strecke genau  $\Delta t = 0,1 \text{ s}$  gebraucht hat, kannst du jetzt das Tempo berechnen:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,72 \text{ m}}{0,1 \text{ s}} = 7,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

e) *Tempo 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 Tempo in Natur und Technik

## Aufgaben

- ① Erkläre, was bei einer Bewegung außer den Orten noch angegeben werden muss.
- ② Erkläre, wie du das Tempo eines ferngesteuerten Autos mit einem Experiment bestimmen kannst.
- ③ Finde heraus, wie ein Fahrradtacho, das Tempo misst. Überlege dir ein Experiment um herauszufinden, ob der Tacho das richtige Tempo 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 ein größeres (Durchschnitts-) Tempo?

## 3.2 Richtung

Du hast schon gelernt, dass es zur Beschreibung einer Bewegung nicht ausreicht, den Ort und das Tempo anzugeben. Genauso wichtig ist die **Richtung**, in welche die Bewegung erfolgt. Das siehst du z.B. bei Navigationssystemen (Bild 3.6).



3.6 Vorschlag einer Änderung der Bewegungsrichtung

Die Bewegungsrichtung wird mit einem Pfeil angegeben.



3.7 Pfeile bei verschiedenen Fahrzeugen

Betrachte Bild 3.7 genau: Welche Fahrzeuge bewegen sich in die gleiche Richtung? Zum Beispiel haben die drei Autos mit den gelben Pfeilen die gleiche Bewegungsrichtung. Beachte aber, dass diese Autos nicht unbedingt das gleiche Ziel haben.

Umgekehrt haben die vier Autos, die auf den Kreislauf zufahren, das gleiche Ziel, aber alle verschiedene Bewegungsrichtungen!

Die Bewegungsrichtung kann sich immer wieder ändern. In Bild 3.8 fährt eine Spielzeuglokomotive auf einem Rundkurs. Zur Veranschaulichung ist ein Pfeil aus Papier ausgeschnitten und aufgeklebt worden. Zunächst zeigt der Pfeil nach links, in der Kurve dreht er sich dann so lange, bis er nach rechts zeigt. In der nächsten Kurve verändert sich der Pfeil erneut wieder so lange, bis er wieder nach links zeigt.



3.8 Pfeil auf einer Modelleisenbahn

### Aufgabe

- ① a) Martin behauptet: „Immer wenn die Pfeile zweier bewegter Gegenstände die gleiche Richtung haben, haben sie auch das gleiche Ziel.“ Erkläre Martin, warum er nicht recht hat.
- b) Matthias sagt: „Haben zwei Autos das gleiche Ziel, 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.

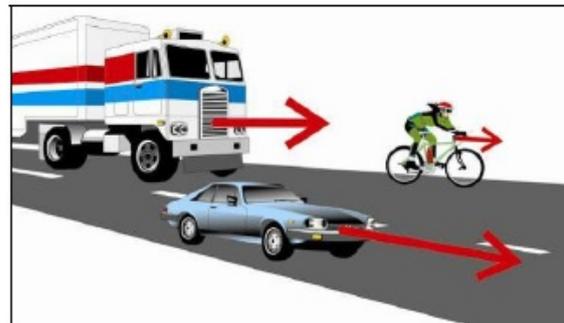
### 3.3 Geschwindigkeit

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

Eine Möglichkeit wäre es, zu jedem Pfeil das Tempo dazuzuschreiben. Es gibt aber eine einfachere Methode:

Man kann den Pfeil unterschiedlich lang zeichnen. Je größer das Tempo, 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 drei Fahrzeuge haben unterschiedliches Tempo aber die gleiche Bewegungsrichtung.



3.9 Geschwindigkeitspfeile verschiedener Fahrzeuge

In der Physik werden die beiden Informationen Tempo und Richtung zusammengefasst: Die **Geschwindigkeit**  $\vec{v}$  eines Gegenstands setzt sich zusammen aus seinem Tempo und seiner Bewegungsrichtung. Sie wird durch einen **Geschwindigkeitspfeil** dargestellt. Seine Richtung gibt die Richtung der Bewegung, seine Länge gibt das Tempo der Bewegung an.

$$\text{Geschwindigkeit } \vec{v} = \begin{cases} \text{Tempo} \\ \text{Richtung} \end{cases}$$

Um die Begriffe Tempo und Geschwindigkeit nicht zu verwechseln, schreibt man immer einen kleinen Pfeil über den Buchstaben, wenn die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  gemeint ist, dagegen schreibt man nie einen Pfeil über den Buchstaben, wenn das Tempo  $v$  gemeint ist. Der kleine Pfeil erinnert dich daran, dass die Geschwindigkeit aus Tempo und Bewegungsrichtung besteht.

Zwei Geschwindigkeiten sind nur dann gleich, wenn sie das gleiche Tempo und die gleiche Richtung haben! (Die Geschwindigkeitspfeile sind dann gleich lang und zeigen in die gleiche Richtung.)

**Beachte:** Im Alltag wird oft „Geschwindigkeit“ gesagt, wenn eigentlich das Tempo gemeint ist. In der Physik besteht jedoch ein wichtiger Unterschied. Du musst immer genau überlegen, ob es um die Geschwindigkeit oder das Tempo geht!

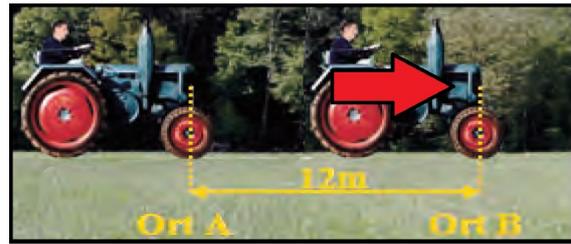
### Beispiele

#### a) *Tempo und Geschwindigkeitspfeil*

Mit Geschwindigkeitspfeilen kann man das Tempo ganz genau angeben. Dazu ist ein Maßstab notwendig. So kannst du das Tempo des Sportwagens aus Bild 3.9 leicht herausfinden, wenn du weißt, dass 1 mm im Bild einem Tempo von 10 km/h entspricht: Der Geschwindigkeitspfeil des Sportwagens ist 1,7 cm lang. Deswegen hat der Sportwagen das Tempo 170 km/h.

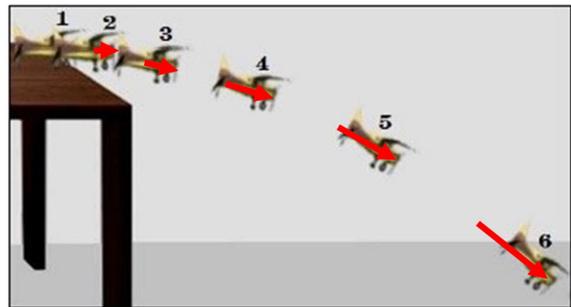
#### b) *Durchschnittsgeschwindigkeiten*

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 einen Tempo von 2 m/s entspricht. Zuerst wählst du die Orte aus, zwischen denen du die Durchschnittsgeschwindigkeit bestimmen möchtest. Danach errechnest du das Durchschnittstempo. Der Traktor benötigt zwischen Ort A und Ort B ( $\Delta s = 12 \text{ m}$ ) 2 s und hat somit ein Durchschnittstempo 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

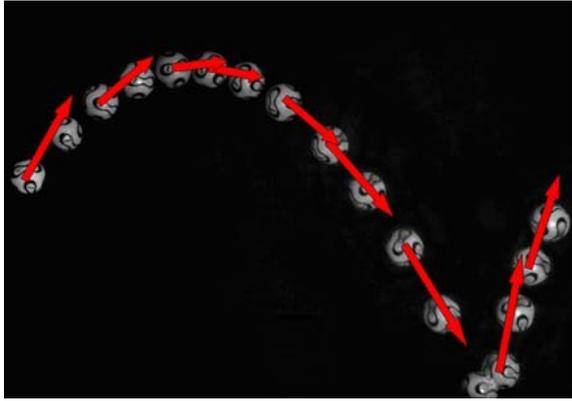
Betrachte das Bild 3.11: In das Stroboskopbild der Bewegung des Fliegers sind die Durchschnittsgeschwindigkeitspfeile eingezeichnet. Hierbei wurde beim Flugzeug der Ort des Propellers betrachtet. Du erkennst, dass sich sowohl Tempo als auch Richtung ständig ändern.



3.11 Durchschnittsgeschwindigkeitspfeile im Stroboskopbild des Spielzeugfliegers

#### 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 im 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 direkt in Stroboskopbilder einzeichnen.

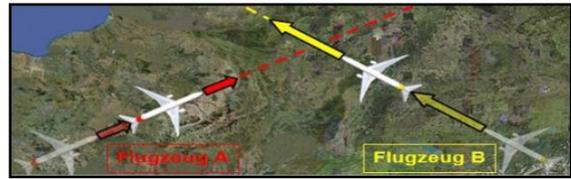
d) *Fluglotsen bei der Arbeit*

Ein Fluglotse (Bild 3.13) beobachtet auf seinem Kontrollbildschirm die Bewegung zweier Flugzeuge, deren Flugbahnen sich offensichtlich schneiden werden.

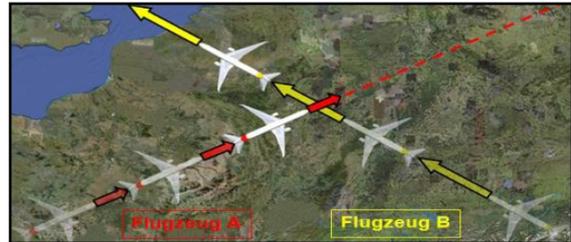


3.13 Fluglotse bei der Arbeit

Von 13:17 Uhr bis 13:18 Uhr haben sich die beiden Flugzeuge wie in Bild 3.14 bewegt. Muss der Lotse die Piloten warnen? Nein, die Flugzeuge stoßen bei diesen Bewegungen nicht zusammen, obwohl sich die Flugbahnen kreuzen. Denn B fliegt deutlich schneller als A. (Bild 3.15)



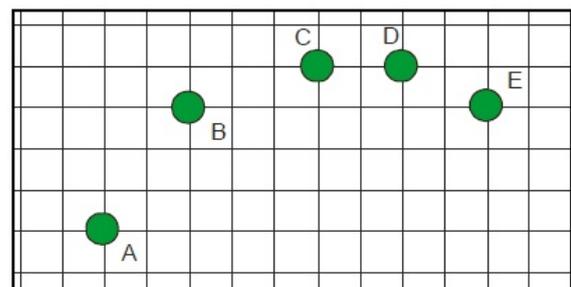
3.14 Geschwindigkeitspfeile der beiden Flugzeuge



3.15 Geschwindigkeitspfeile der beiden Flugzeuge

**Aufgaben**

- ① Erläutere den Unterschied zwischen Geschwindigkeit und Tempo.
- ② Zeichne ein Bild, in das du für zwei Autos unterschiedliche Geschwindigkeiten  $\vec{v}_1$  und  $\vec{v}_2$  und außerdem für zwei LKWs gleiche Geschwindigkeiten  $\vec{v}_3$  und  $\vec{v}_4$  einzeichnest!
- ③ Zeichne jeweils drei Fahrräder mit unterschiedliche Geschwindigkeiten  $\vec{v}$ , aber mit
  - a) gleicher Bewegungsrichtung!
  - b) gleichem Tempo  $v$ !
- ④ Zeichne die Momentangeschwindigkeitspfeile für Flugzeuge, die
  - a) mit 610 km/h nach Nordwesten
  - b) mit 470 km/h nach Süden
  - c) mit 380 km/h nach Osten
 fliegen. (1 cm entspricht dabei 100 km/h)
- ⑤ Übertrage das Stroboskopbild (Bild 3.16) ins Heft. Zeichne Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen den Punkten A, B, C, D und E. Die Zeit zwischen zwei Bildaufnahmen beträgt eine Sekunde.



3.16 Stroboskopbild