1. Flanke - Kopfball - Tor!!!

1. Anna und Marie beim Kopfball

Erfolgreichen Stürmerinnen und Stürmern gelingt es, eine Flanke mit einem Kopfstoß ins Tor zu lenken (Bild 1). Gekonnt ändern sie durch diese Einwirkung die ursprüngliche Bewegungsrichtung des Balles, 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.
Bewegungsänderungen haben immer eine Ursache: Trifft der geflankte Ball tatsächlich ins Tor, so ist dies der Erfolg der köpfenden 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 und Richtung köpft? Umgekehrt ist es auch möglich die Einwirkung zu erschließen, wenn man die Bewegung beobachtet: Mit welcher Stärke und Richtung hat z. B. der Fußballspieler geköpft, 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 Weißstorch „Max“ mit einem kleinen Sender

Störche fliegen zum Überwintern in den Süden. Um den Zug der Störche zu verfolgen, wurde ein großes Forschungsprojekt gestartet: Schon kurz nach der Geburt wurde der Weißstorch Max mit einem kleinen Sender ausgestattet (Bild 2.1). Nun kann in regelmäßigen Abständen der Aufenthaltsort von Max bestimmt und in eine Landkarte eingetragen werden (Bild 2.2).

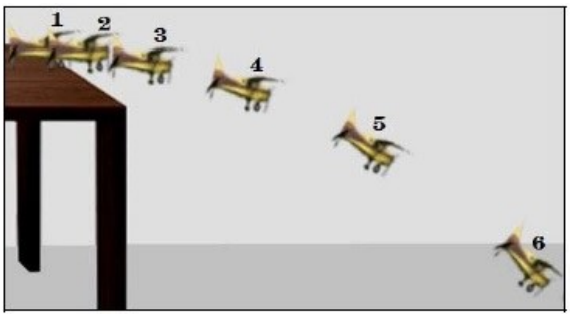
2.2 Flugroute von Max bis zum 4.10.2009

Die Forschung zum Zug der Störche zeigt ein typisches Beispiel, 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.

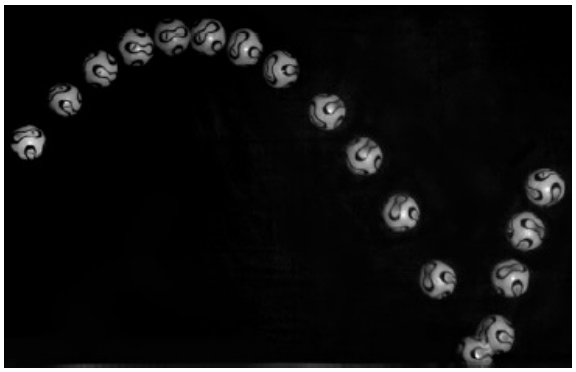
Stroboskopbilder
Den Ort eines Gegenstands kann man auch mit einem Fotoapparat bestimmen. Dazu macht man in festen Zeitabständen immer wieder ein Foto. (Der Fotoapparat darf sich dabei nicht bewegen.) Wenn diese Fotos übereinander gelegt werden, entsteht ein so genanntes **Stroboskopbild** (SB).

In Bild 2.3 ist die Bewegung eines Spielzeugfliegers abgebildet. Dabei wurde immer nach 0,1 Sekunden ein neues Bild gemacht. Damit du das besser erkennst, sind die einzelnen Bilder nummeriert. Jetzt ist die Flugroute des Fliegers sehr genau beschrieben. Du kannst auch erkennen, wann der Flieger am schnellsten war: Zwischen den Punkten 5 und 6 liegt der größte Abstand. Da zwischen zwei Punkten immer 0,1 Sekunden vergangen sind, war er hier am schnellsten. Insgesamt war das 0,5 Sekunden nach dem Start. Das erkennst du daran, dass es sich um das 5. Bild handelt und damit 5 mal 0,1 Sekunden seit dem Start vergangen sind.



2.3 Stroboskopbild eines Spielzeugfliegers. Zwischen zwei Aufnahmen liegen immer 0,1 Sekunden.

Aufgaben
① Beschreibe, wie die Bewegung des Storches Max aufgezeichnet wurde.
② Erläutere, weshalb aus Bild 2.2 nicht die exakte Flugroute von Max ablesbar ist.
③ In Bild 2.4 siehst du das Stroboskopbild eines Fußballs.
a) Beschreibe die Bewegung des Balls. Entscheide, ob die Bewegung am linken oder am rechten Bildrand 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 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 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.
c) 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 vorgegeben 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 angegeben, **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 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.)

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

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

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 Δs 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.

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-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 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).

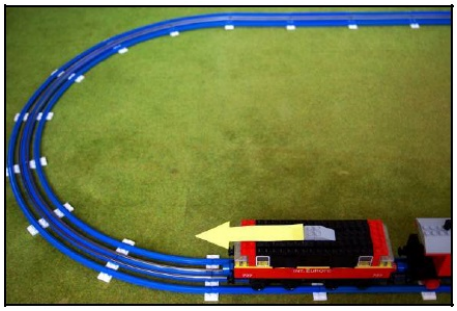
3.6 Vorschlag einer Änderung der Bewegungsrichtung

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 Kreisel 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.

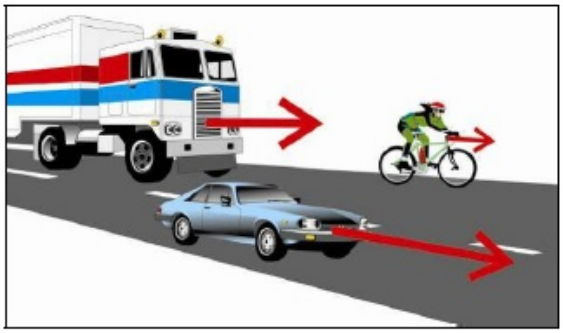
b) Matthias sagt: „Haben zwei Autos das gleiche Ziel, dann zeigen ihre Pfeile auch in die gleiche Richtung.“ Auch Matthias hat nicht recht. Warum?

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.

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

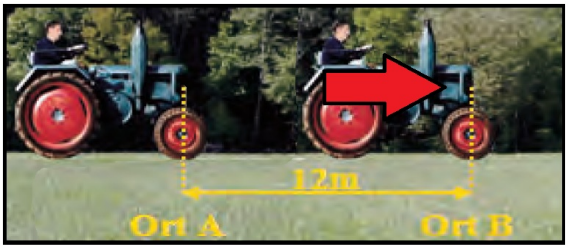
Um die Begriffe Tempo und Geschwindigkeit nicht zu verwechseln, schreibt man immer eine kleinen Pfeil über den Buchstaben, wenn die Geschwindigkeit $\vec{v}$ gemeint ist, dagegen schreibt man nie einen Pfeil über den Buchstaben, wenn das Tempo v gemeint ist. Der kleine Pfeil erinnert dich daran, dass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

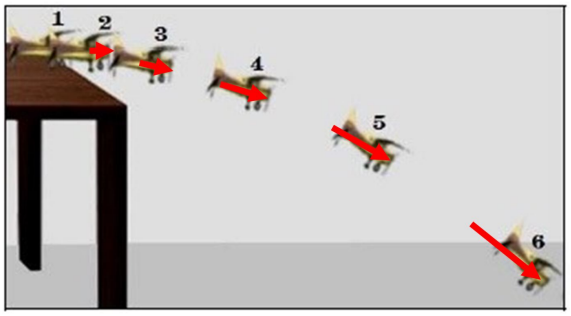
a) *Tempo und Geschwindigkeitspfeil*
Mit Geschwindigkeitspfeilen kann man das Tempo ganz genau angeben. Dazu ist ein Maßstab notwendig. So kannst du das Tempo des Sportwagens aus Bild 3.9 leicht herausfinden, wenn du weißt, dass 1 mm im Bild einem Tempo von 10 km/h entspricht: Der Geschwindigkeitspfeil 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 (Δs = 12 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.



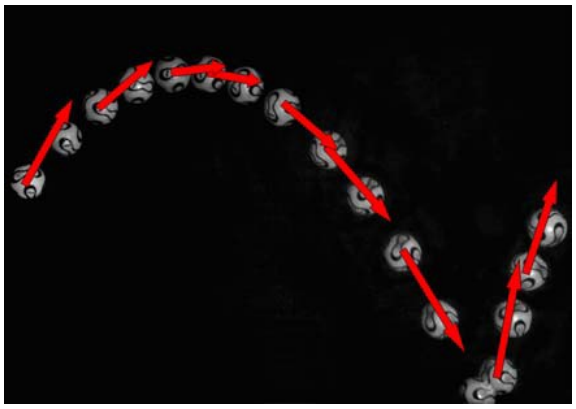
3.10 Stroboskopbild eines Traktors mit Geschwindigkeitspfeil

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

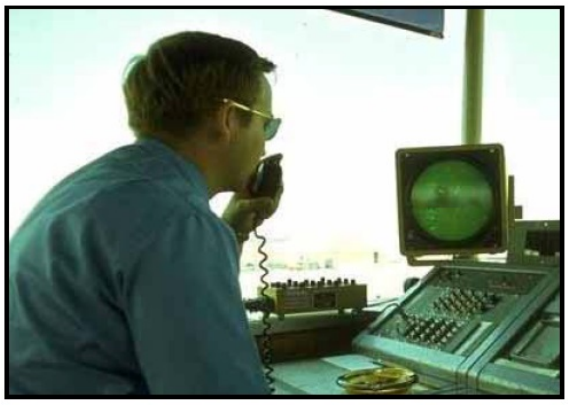
c) *Momentangeschwindigkeiten*
Im Gegensatz zur Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen zwei Punkten, beschreibt die Momentangeschwindigkeit die Geschwindigkeit in einem einzelnen Punkt. Um die Momentangeschwindigkeit bestimmen zu können, müssen wir die zeitlichen Abstände zwischen den einzelnen Bildern 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

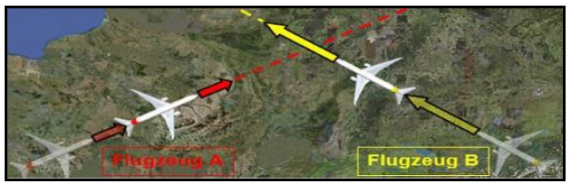
Wie du merkst, ist dieses Verfahren recht mühsam. Es ist praktisch, dass es Computerprogramme gibt, die Geschwindigkeitspfeile direkt in Stroboskopbilder einzeichnen.

d) *Fluglotsen bei der Arbeit*
Ein Fluglotse (Bild 3.13) beobachtet auf seinem Kontrollbildschirm die Bewegung zweier Flugzeuge, deren Flugbahnen sich offensichtlich schneiden werden.

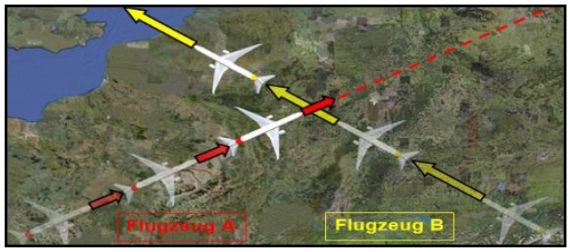


3.13 Fluglotse bei der Arbeit

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

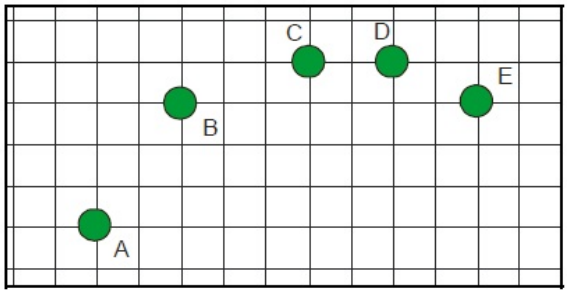
① Erläutere den Unterschied zwischen Geschwindigkeit und Tempo.

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

4. Die Zusatzgeschwindigkeit

4.1 Zusatzgeschwindigkeit als Folge einer Einwirkung

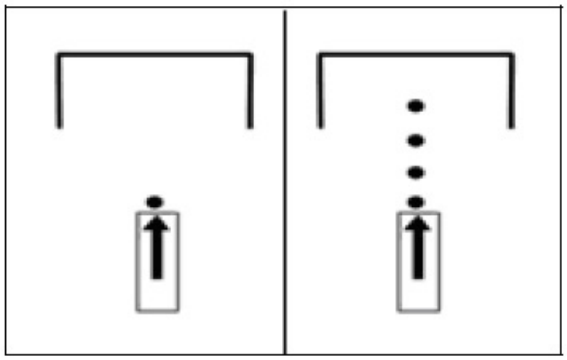
4.1 Anna beim Torschuss

Im Fußballtraining werden verschiedene Situationen geübt. Bei der ersten Übung zum Elfmeterschießen sollen die Spielerinnen und Spieler den Ball aus der Ruhe so ankicken, dass das Tor getroffen wird. Bei der nächsten Übung wird der Ball den Spielerinnen und Spielern von der Seite (parallel zum Tor) zugepasst (Bild 4.1) und soll wieder genauso angekickt werden, wie eben beim Elfmeterschießen. Allerdings darf der Ball nicht gestoppt werden.

V1: Simuliert die beiden Übungen mit einem kleinen Versuch: Nehmt eine Kugel (z.B. eine Murmel), baut aus Stiften ein Tor und versetzt der Kugel einen Stoß, indem ihr sie mit einem Lineal anschnippt. Führt ebenfalls beide Übungen durch.

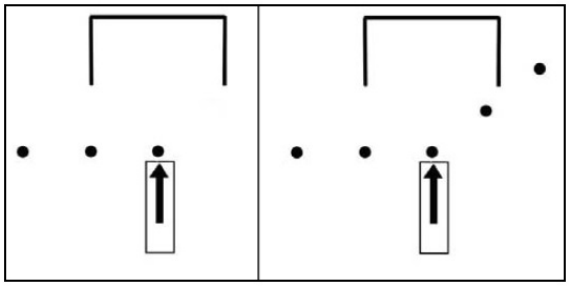
Was könnt ihr jeweils feststellen? Landet der Ball bzw. die Kugel bei beiden Übungen im Tor? Wir simulieren ebenfalls beide Fußballübungen im Experiment mit einer Kugel und stoßen sie beide Male mit einem Brett in Pfeilrichtung (Bilder 4.2 und 4.3).

Beobachtung: Bei der ersten Übung landet die Kugel immer im Tor.



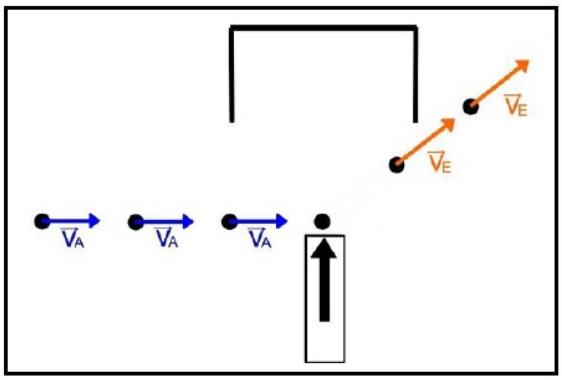
4.2 Stroboskopbild für Übung 1

Bei der zweiten Übung verfehlt die senkrecht zur Bewegungsrichtung gestoßene Kugel das Tor (Bild 4.3).



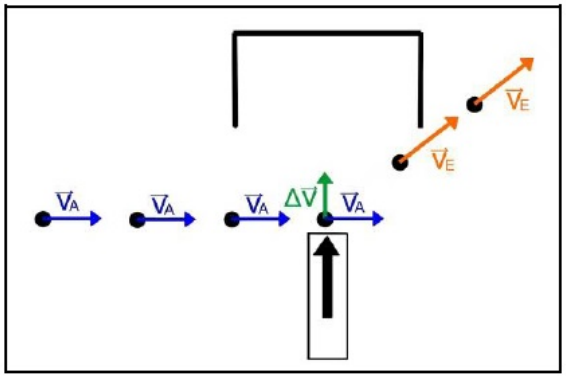
4.3 Stroboskopbild für Übung 2

Woran liegt das? Der Grund ist, dass die Kugel nach dem Stoß in einem gewissen Sinn zwei Bewegungen gleichzeitig ausführt: die Bewegung in der Anfangsrichtung wird beibehalten, zusätzlich wird eine Bewegung in der Stoßrichtung ausgeführt. Betrachten wir dies genauer: Die Geschwindigkeit vor dem Stoß nennen wir die Anfangsgeschwindigkeit $\vec{v}_A$ (blauer Pfeil), die Geschwindigkeit nach dem Stoß nennen wir die Endgeschwindigkeit $\vec{v}_E$ (oranger Pfeil) (Bild 4.4).



4.4 Anfangs- und Endgeschwindigkeit der Kugel

Was ist beim Stoßen passiert? Durch den Stoß erhält die Kugel eine **Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$. Der Pfeil der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ zeigt in die gleiche Richtung wie der Stoß** (Bild 4.5).



4.5 Die Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ zeigt in Stoßrichtung

Du kannst dir das so vorstellen: Die Kugel bewegt sich nach dem Stoß mit $\vec{v}_A$ weiter nach rechts und gleichzeitig zusätzlich mit der Geschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ auf das Tor zu. Die beobachtete Endgeschwindigkeit $\vec{v}_E$ ist aus $\vec{v}_A$ und $\Delta\vec{v}$ zusammengesetzt und zeigt schräg rechts am Tor vorbei.

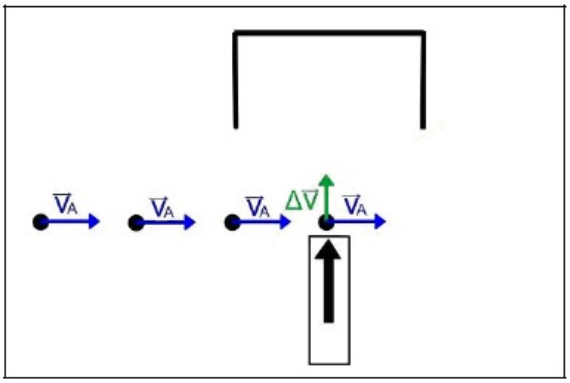
Durch eine **Einwirkung** erhält ein Körper eine **Zusatzgeschwindigkeit** $\Delta\vec{v}$. Die Richtung der Einwirkung und die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit sind gleich.
Die Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ wird durch einen Pfeil dargestellt. Der Pfeil von $\Delta\vec{v}$ zeigt von der Pfeilspitze von $\vec{v}_A$ zur Pfeilspitze von $\vec{v}_E$.

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.

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

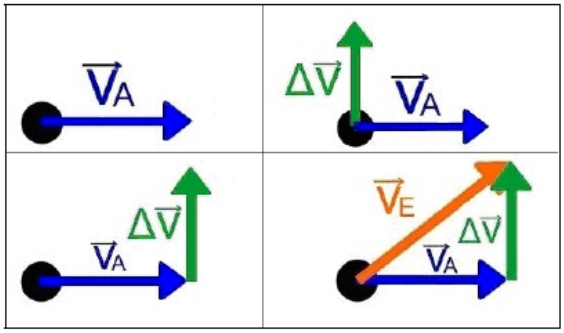
4.2 Konstruktion der Endgeschwindigkeit

Ausgangssituation: Manchmal kennst du die Anfangs- und die Zusatzgeschwindigkeit (wie in Bild 4.6) und möchtest die Endgeschwindigkeit konstruieren.



4.6 Anfangs- und Zusatzgeschwindigkeitspfeil sind gegeben. Der Pfeil der Endgeschwindigkeit ist gesucht.

Die Zusammensetzung von $\vec{v}_A$ und $\Delta\vec{v}$ kannst du mit den Geschwindigkeitspfeilen nachvollziehen (Bild 4.7).

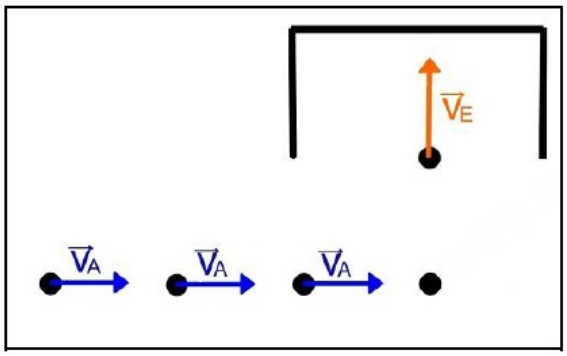


4.7 Konstruktion des Pfeils von $\vec{v}_E$

Konstruktion:
a) Die Kugel hat eine bestimmte Anfangsgeschwindigkeit $\vec{v}_A$.
b) Durch den Stoß erhält die Kugel zur Anfangsgeschwindigkeit $\vec{v}_A$ eine bestimmte Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$, die in Richtung des Stoßes zeigt.
c) Zur Zusammensetzung von $\vec{v}_A$ und $\Delta\vec{v}$ hängst du $\Delta\vec{v}$ an die Pfeilspitze von $\vec{v}_A$.
d) Verbindest du den Pfeilfuß von $\vec{v}_A$ mit der Pfeilspitze von $\Delta\vec{v}$, so erhältst du den Pfeil der Endgeschwindigkeit $\vec{v}_E$.

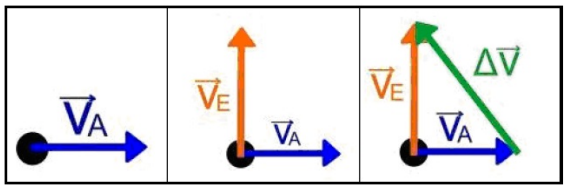
4.3 Konstruktion der Zusatzgeschwindigkeit

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



4.8 Anfangs- und Endgeschwindigkeitspfeil sind gegeben. Der Pfeil der Zusatzgeschwindigkeit ist gesucht.

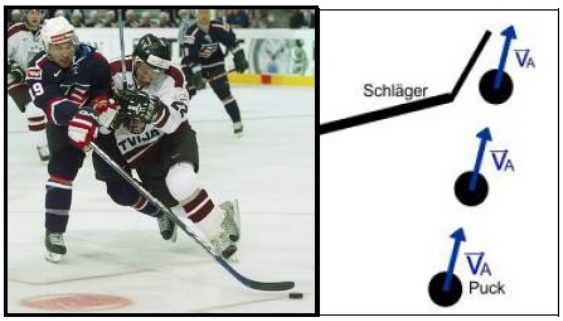
Die Bestimmung von $\Delta\vec{v}$ aus $\vec{v}_A$ und $\vec{v}_E$ kannst du wieder mit den Geschwindigkeitspfeilen nachvollziehen (Bild 4.9):



4.9 Konstruktion des Pfeils von $\Delta\vec{v}$

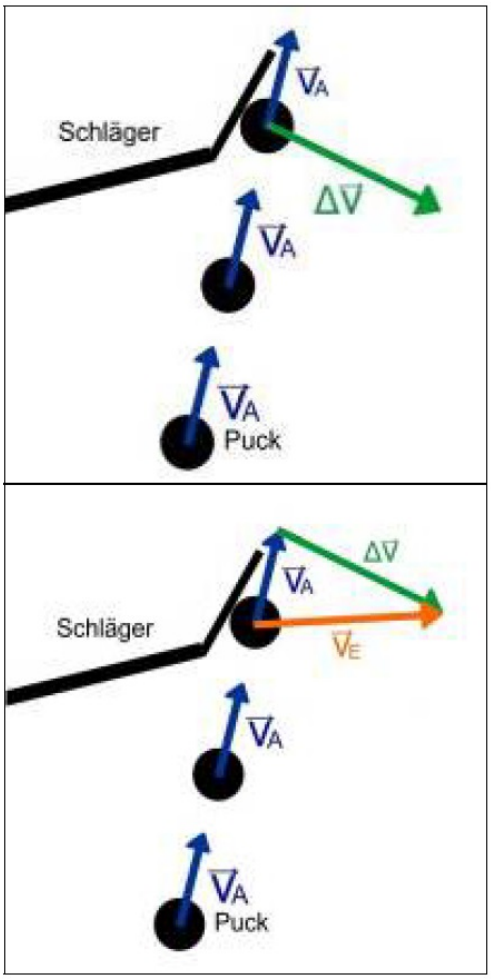
Konstruktion:
a) Die Kugel hat eine bestimmte Geschwindigkeit $\vec{v}_A$.
b) Nach dem Stoß zeigt der Geschwindigkeitspfeil $\vec{v}_E$ direkt nach oben. Gesucht ist der Pfeil der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$.
c) Der Pfeil der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ wird an die Pfeilspitze von $\vec{v}_A$ gehängt und muss auf die Pfeilspitze von $\vec{v}_E$ zeigen.

Beispiele
a) *Eishockey*



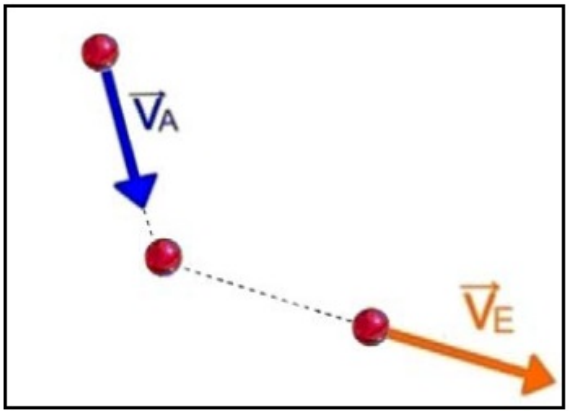
4.10 Eishockeyspieler

Ein Eishockeyspieler versetzt mit dem Schläger dem Puck einen Stoß und der Puck erhält damit eine Zusatzgeschwindigkeit (Bild 4.10). Bei bekannter Anfangsgeschwindigkeit und Zusatzgeschwindigkeit, lässt sich der Pfeil der Endgeschwindigkeit konstruieren (Bild 4.11):



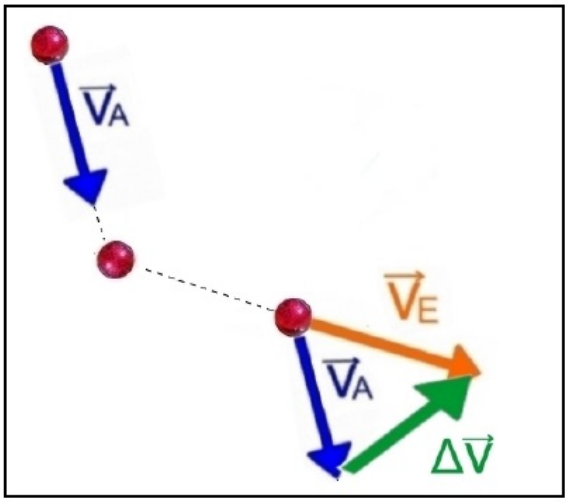
4.11 Konstruktion von $\vec{v}_E$

b) *Murmelspiel*

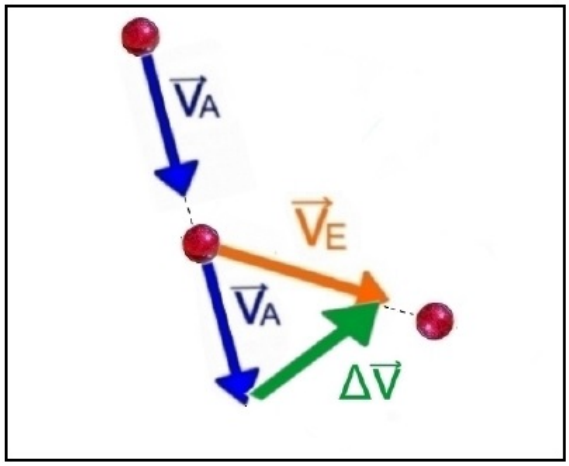


4.12 Geschwindigkeiten beim Murmelspielen

Welche Zusatzgeschwindigkeit hat die rote Murmel in Bild 4.12 an der markierten Stelle erhalten? Um die Zusatzgeschwindigkeit für die Murmel zu ermitteln, werden die gegebenen Pfeile $\vec{v}_A$ und $\vec{v}_E$ verschoben und der Pfeil der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ durch die Verbindung der Pfeilspitzen von $\vec{v}_A$ und $\vec{v}_E$ eingezeichnet. Dabei kommt es nicht darauf an, an welcher Stelle im Bild du die Konstruktion anfertigst. Die Richtung und die Länge der Zusatzgeschwindigkeit, die du erhältst, sind jeweils gleich. (Bild 4.13, Bild 4.14).

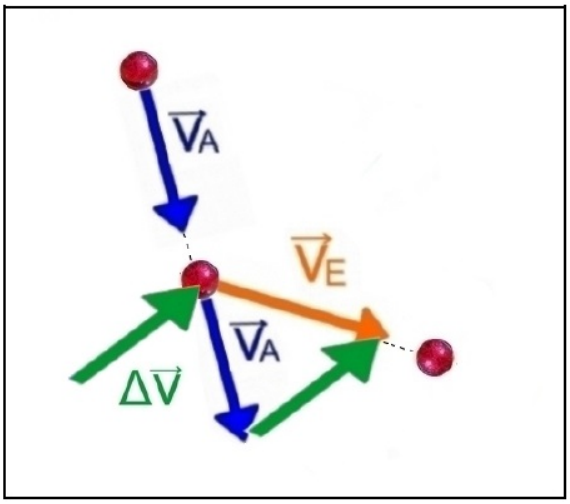


4.13 Konstruktion von $\Delta\vec{v}$; der Vektor $\vec{v}_A$ wird verschoben



4.14 Konstruktion von $\Delta\vec{v}$; der Vektor $\vec{v}_A$ und $\vec{v}_E$ werden verschoben

Da die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit und die Richtung der Einwirkung gleich sind, weißt du nun auch in welche Richtung auf die Murmel eingewirkt wurde. (Bild 4.15)



4.15 Die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ ist die Richtung, in die die Murmel gestoßen wurde

Aufgaben

① Überlege dir $\vec{v}_A$, $\vec{v}_E$ und $\Delta\vec{v}$ beim Elfmeterschießen und beschreibe jeweils das Tempo.

② Beschreibe eine Bewegung für die gilt:
a) $v_A = 0$, Δv und $v_E \neq 0$
b) $v_E = 0$, Δv und $v_A \neq 0$
c) $\Delta v = 0$, v_A und $v_E \neq 0$

③ Kim schwimmt mit konstantem Tempo an einer Düse im Schwimmbad vorbei. Durch die Düse erhält sie eine Zusatzgeschwindigkeit. Zeichne drei Bilder, aus denen die Bewegung deutlich wird und stelle die drei Geschwindigkeitspfeile $\vec{v}_A$, $\Delta\vec{v}$ und $\vec{v}_E$ dar.
(Tipp: Betrachte Bild 4.15)

④ Diskutiere mit deinen Mitschülern folgende Behauptungen:
Hannah sagt: „Der Pfeil der Zusatzgeschwindigkeit 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 Zusatzgeschwindigkeit."
Aische sagt: „Beim Tennis muss der Pfeil der Zusatzgeschwindigkeit länger sein als der Pfeil der Anfangsgeschwindigkeit, damit der Ball zum Gegner zurückfliegt."

⑤ Dein Freund spielt dir einen ziemlich schwachen Ball zu. Du nimmst die Gelegenheit wahr und schmetterst den Ball ins andere Eck der Tischtennisplatte zurück. Zeichne für diese Situation eine mögliche Anordnung der Pfeile von $\Delta\vec{v}$, $\vec{v}_A$ und $\vec{v}_E$.

⑥ Kevin spielt gern Flipper. Er trifft die Kugel ziemlich gut, katapultiert sie damit zurück in den Flipperkasten und bekommt eine Menge Punkte. Zeichne eine Situation ins Heft, in der Kevin die Kugel trifft und diese wieder zurück in den Kasten fliegt. Zeichne eine mögliche Anordnung der Pfeile von $\vec{v}_A$, $\Delta\vec{v}$ und $\vec{v}_E$ ein.

⑦ Tims Hobby ist Surfen. Auf dem Gardasee fährt er mit seinem Surfbrett bei leichter Brise schön gemächlich dahin. Plötzlich kommt eine starke Windböe. Tims Tempo wird größer und es treibt ihn ein Stück von seinem Kurs ab. Skizziere das Surfbrett in deinem Heft und zeichne eine mögliche Anordnung der Pfeile von $\vec{v}_A$, $\Delta\vec{v}$ und $\vec{v}_E$ ein.

5. Die Newton'sche Bewegungsgleichung

5.1 Franziska wirkt mit ihrem Schläger auf den Tischtennisball ein.

Franziska übt Tischtennis (Bild 5.1), aber oft fliegt der Ball ganz anders als geplant. Franziska überlegt: Wenn sie mit dem Tischtennisschläger den Ball trifft, ändert sie durch diese Einwirkung seine Bewegung, denn die Einwirkung fügt zur Anfangsgeschwindigkeit $\vec{v}_A$ des Balls eine Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$ hinzu. so ergibt sich die Endgeschwindigkeit $\vec{v}_E$ des Balls. Franziska weiß auch, dass die Richtung der Einwirkung und die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit gleich sind.
Damit es ihr gelingt die Platte zu treffen, muss ein bestimmter Zusammenhang zwischen Einwirkung und Zusatzgeschwindigkeit bestehen.

5.1 Einwirkung und Zusatzgeschwindigkeit

V1: Lass dir einen Tischtennis-Ball zuwerfen. Schlage unterschiedlich stark gegen den Ball. Versuche jeweils eine Aussage über die Zusatzgeschwindigkeit zu machen.

V2: Stoße zwei Mal gegen eine rollende Kugel. Versuche, beim zweiten Mal ungefähr doppelt so stark zu stoßen. Kannst du wieder eine Aussage über die Zusatzgeschwindigkeit machen?

Beobachtung: Bei einer stärkeren Einwirkung ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit größer.

Allgemein gilt:
Je größer die Einwirkungsstärke auf einen Gegenstand ist, desto größer ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit, die der Gegenstand erhält.

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

Nun müssen wir den Begriff der Einwirkung noch präziser festlegen: Eine Einwirkung ist gekennzeichnet durch ihre Stärke und ihre Richtung. So wie man Tempo und Richtung mit dem Begriff Geschwindigkeit zusammenfasst, kann man auch die Stärke und die Richtung einer Einwirkung mit einem Begriff bezeichnen:

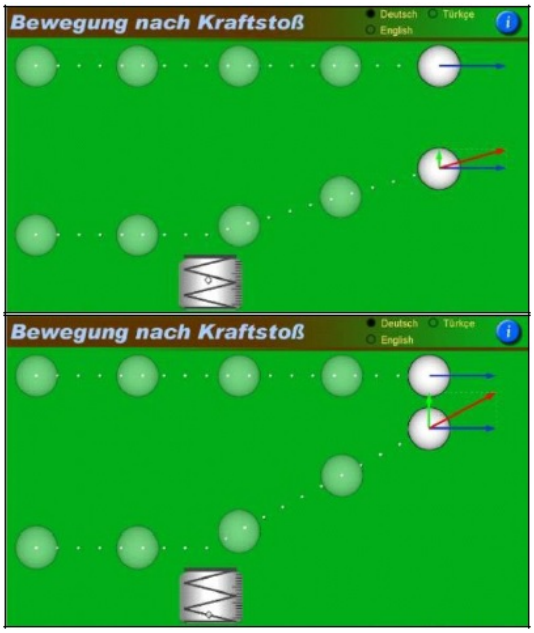
In der Physik werden die „Einwirkungsstärke“ und die „Einwirkungsrichtung“ zusammengefasst: dafür verwendet man den Begriff **Kraft** (Symbol $\vec{F}$, vom englischen Wort *force*)

$$\text{Kraft } \vec{F} = \begin{cases} \text{Einwirkungsstärke} \\ \text{Einwirkungsrichtung} \end{cases}$$

Damit können wir formulieren:

Je größer die Einwirkungsstärke einer **Kraft** ist, die auf einen Körper ausgeübt wird, desto größer ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$, die der Körper erhält.
Das bedeutet, bei größerer Einwirkungsstärke einer Kraft ist der Pfeil der Zusatzgeschwindigkeit länger.

In der Computersimulation „Bewegung nach Kraftstoß“ wird dies veranschaulicht:
Lassen wir eine gespannte Feder mit doppelter Kraft gegen eine Kugel schlagen, wird das Tempo von $\Delta\vec{v}$ doppelt so groß (Bild 5.2).

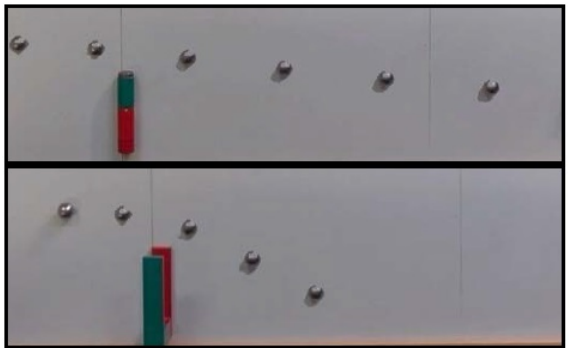


5.2 Unterschiedliche Kräfte bewirken unterschiedliche Zusatzgeschwindigkeiten (grüner Pfeil).

Beispiele

a) *Magnet*

Eine Kugel rollt an einem schwachen Magneten vorbei (Bild 5.3). Dabei ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit kleiner, als wenn sie an einem starken Magneten vorbeirollt.



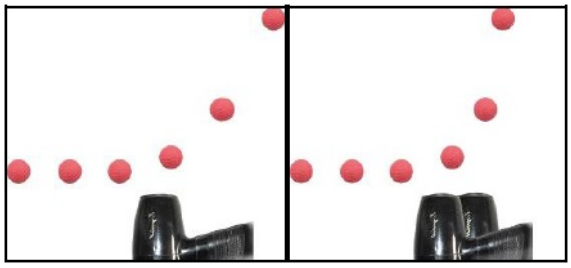
5.3 Eine Kugel rollt an einem schwachen Magnet (oben) und an einem starken Magneten (unten) vorbei.

b) *Formel 1*

Je stärker ein Formel 1-Fahrer auf das Gaspedal tritt, desto größer ist auch das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit, die das Auto in jeder Sekunde erhält. Dadurch wird die Endgeschwindigkeit des Rennautos größer. Es spielt aber auch eine Rolle, wie lange der Fahrer auf das Gaspedal tritt.

5.2 Einwirkungsdauer und Zusatzgeschwindigkeit

V3: Führe wieder einen Versuch mit Kugeln durch. Dieses Mal sollst du aber nicht gegen die Kugel stoßen, sondern sie mit einem Gebläse ablenken (Bild 5.4). Verwende dabei zunächst einen Föhn, und dann zwei gleiche Föhne nebeneinander, um die Einwirkungsdauer des Gebläses auf die Kugel zu erhöhen.



5.4 Eine Kugel wird durch den Luftstrom eines Föhns (links) bzw. zwei nebeneinander liegende Föhne (rechts) abgelenkt.

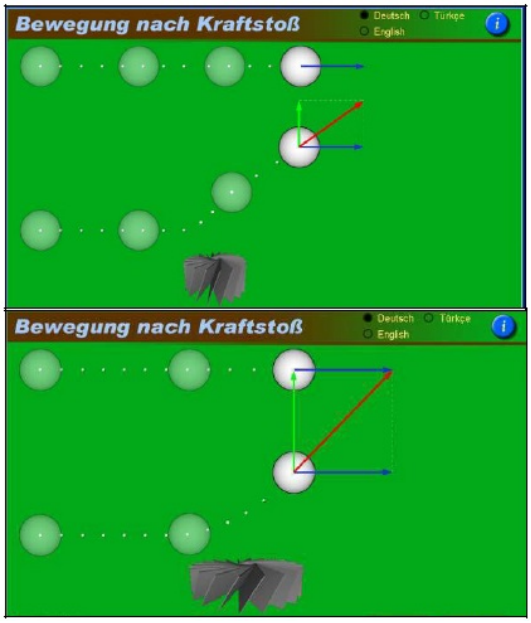
Beobachtung: Das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit wird umso größer, je länger der Luftstrom der Föhns auf die Kugel einwirkt.

Allgemein gilt:

Je länger die **Einwirkungsdauer** einer Kraft ist, die auf einen Gegenstand ausgeübt wird, desto größer ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$, die der Körper erhält.

Auch dieser Zusammenhang kann durch die Simulation „Bewegung nach Kraftstoß“ veranschaulicht werden. Anstelle der Feder bewirkt hier ein Ventilator eine Kraft auf die Kugel. Der Ventilator kann durch seine unterschiedliche Breite unterschiedlich lange auf die Kugel einwirken. Damit wird das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit unterschiedlich groß (Bild 5.5).

Eine kleine Kraft, die über einen langen Zeitraum ausgeübt wird, kann die gleiche Zusatzgeschwindigkeit zur Folge haben wie eine große Kraft, die nur einen kurzen Moment lang wirkt.



5.5 Unterschiedliche Einwirkungsdauern bewirken unterschiedliche Zusatzgeschwindigkeiten (grüne Pfeile).

Beispiele

a) *Seitenwind*

Beim Skispringen beeinflusst der Seitenwind den Sprung der Sportler. Wenn nur ein kurzer Windstoß kommt, ist die Zusatzgeschwindigkeit in Windrichtung klein. Durch einen dauerhaften Seitenwind mit gleicher Stärke wie der kurze Windstoß erhält der Skispringer eine große Zusatzgeschwindigkeit in Windrichtung.

b) *Formel 1*

Wie du gerade erkannt hast, spielt die Dauer der Einwirkung eine wichtige Rolle: Wenn der Formel 1-Fahrer 5 s lang mit Vollgas anfährt, und sein Teamkollege mit dem gleichen Rennwagen 10 s mit Vollgas anfährt, dann ist das Tempo der Endgeschwindigkeit, welche der Wagen des Teamkollegen erreicht, deutlich größer. Daher muss auch das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit dieses Wagens deutlich größer sein.

5.3 Masse und Zusatzgeschwindigkeit

V4: Tritt etwa gleichstark (aber vorsichtig!) gegen einen Fußball und dann gegen einen Medizinball.

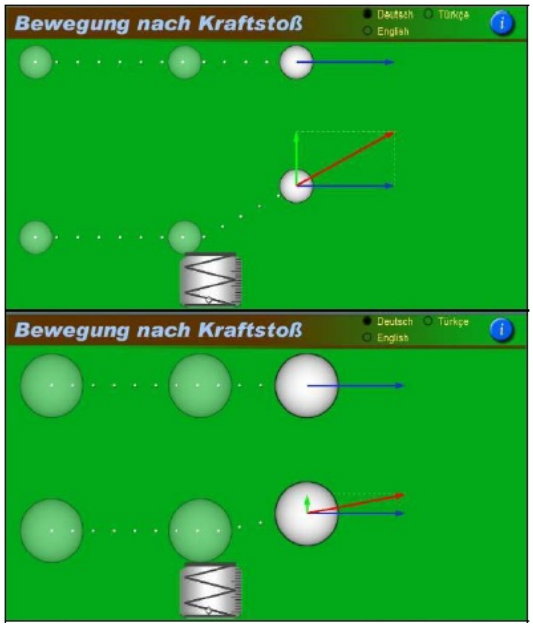
V5: Wiederhole den „Kugelstoßversuch“ (V2) mit unterschiedlich schweren Kugeln. Achte darauf, immer etwa gleich zu stoßen.

Beobachtung: Das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit wird umso größer, je leichter die Kugel ist. Bei einem „massigeren“ schwereren Gegenstand ist bei gleichstarker Einwirkung die Zusatzgeschwindigkeit kleiner. 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 kleiner ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta\vec{v}$, die der Körper erhält.

Das kannst du auch wieder in der Simulation beobachten (Bild 5.6).



5.6 Unterschiedliche Massen bewirken unterschiedliche Zusatzgeschwindigkeiten (grüne Pfeile).

Beispiel
Leichtathletik
Beim Schlagball kannst du viel größere Weiten erzielen als beim Kugelstoßen. Das liegt daran, dass das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit beim leichten Schlagball viel größer ist als bei der schweren Kugel.

5.4 Die Newton'sche Bewegungsgleichung

Du hast jetzt alle Einflussfaktoren kennen gelernt, welche die Zusatzgeschwindigkeit bestimmen. Im Einzelnen weißt du, dass die Kraft (Richtung und Stärke der Einwirkung), die Zeitdauer und die Masse eine Rolle spielen. Weitere Einflussfaktoren gibt es nicht. Alle Einflussfaktoren werden in der **Newton'schen Bewegungsgleichung** (abgekürzt NBG) zusammengefasst:

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

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

Die Newton'sche Bewegungsgleichung $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$ sagt aus:
1. Wenn auf einen Körper eine Kraft $\vec{F}$ ausgeübt wird, erhält dieser eine Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ (d.h. die Geschwindigkeit des Körpers ändert sich).
2. Die Richtung der Kraft und die Richtung der Zusatzgeschwindigkeit sind gleich.
3. Je größer die Einwirkungsstärke der Kraft $\vec{F}$ ist, desto größer ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ (bei jeweils gleicher Einwirkungsdauer und Masse).
4. Je länger die Einwirkungsdauer Δt ist, desto größer ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ (bei jeweils gleicher Kraft und Masse).
5. Je größer die Masse m des Körpers ist, desto kleiner ist das Tempo der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ (bei jeweils gleicher Kraft und Einwirkungsdauer).

Die Maßeinheit für die Kraft heißt Newton (N). Diese Einheit kann mit Hilfe der Einheiten der Einwirkungsdauer Δt (Sekunden s), der Masse m (Kilogramm kg) und der Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ (Meter pro Sekunde m/s) 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 Einwirkungsdauer auf die Zusatzgeschwindigkeit.
③ Diskutiere den Einfluss der Masse auf die Zusatzgeschwindigkeit.
④ Erkläre, was eine Kraft ist. Gib Beispiele aus dem Alltag an.