01 Überholen auf der Autobahn

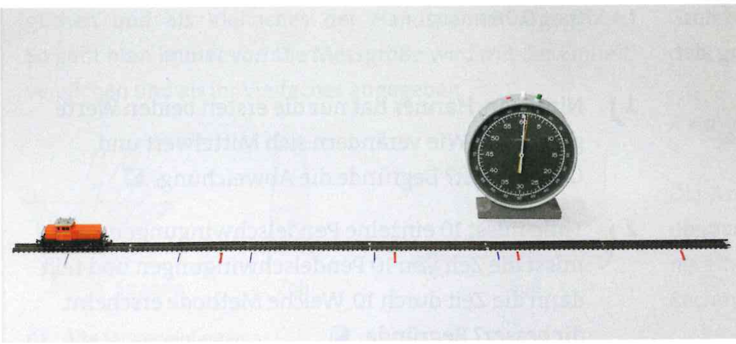
Einfache Bewegungen

Der Fahrbahnrand rast vorbei, aber die Fahrerin im Nachbarwagen sitzt scheinbar unbewegt hinter dem Lenkrad. Was verstehen wir unter Bewegung?

RUHE UND BEWEGUNG · Wenn du als Beifahrer in einem Auto sitzt, das auf der Autobahn ein anderes Auto überholt, bewegst du dich gegenüber dem Fahrbahnrand so schnell, dass Details kaum erkennbar sind. Das Innere des anderen Autos kannst du aber in aller Ruhe betrachten. Es kann sogar Momente geben, in denen es stillzustehen scheint.

Wird der Bezugskörper nicht erwähnt, dann ist es meistens die Erdoberfläche.

Ob und wie schnell sich ein Körper bewegt, können wir nur in Bezug auf einen anderen Körper, den **Bezugskörper,** beschreiben.



02 Modelllok auf gerader Strecke

Bei der Bewegung eines Körpers kann m unter anderem angeben, wie schnell oder la sam sich der Körper bewegt. Wir sprechen bei von Geschwindigkeit. Aber wie kann m die Geschwindigkeit eines Körpers bestimm Und wie hängen zurückgelegte Strecke, Z und Geschwindigkeit zusammen?

GLEICHFÖRMIG BEWEGT · Mit einer Mod lokomotive und einer Stoppuhr untersuch wir, wie sich die Geschwindigkeit, Zeit und zurückgelegte Strecke zueinander verhalten.

Entlang einer geraden Strecke markieren immer nach zwei Sekunden die Stelle, an sich das vordere Ende der Lok befindet, mit nem blauen Strich (▸ Bild 02). Wir stellen f Die Striche haben alle den gleichen Abstand einander. Dieser Abstand wird kleiner, we wir kleinere Zeitspannen betrachten oder Betriebsspannung der Lok verringern, sod die Lok langsamer fährt. Bei festen Werten m sen wir aber immer den gleichen Abstand. Lok legt dann in gleichen Zeitspannen glei Strecken zurück.

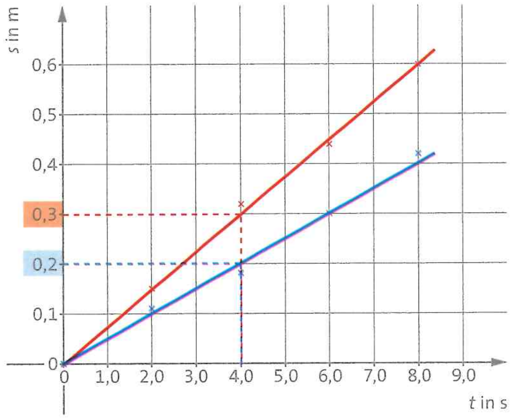
Bei einer gleichförmigen Bewegung legt ein Körper in gleichen Zeitspannen gleich Strecken zurück.

t in s	0	2,0	4,0	6,0	8,0
s in m	0	0,11	0,18	0,30	0,42
$\frac{\Delta s}{\Delta t}$ in $\frac{m}{s}$	–	0,06	0,05	0,05	0,05

03 Blaue Messwerte

t in s	0	2,0	4,0	6,0	8,0
s in m	0	0,15	0,32	0,44	0,60
$\frac{\Delta s}{\Delta t}$ in $\frac{m}{s}$	–	0,08	0,08	0,07	0,08

04 Rote Messwerte



05 $s(t)$-Diagramme der Modelllokomotive

$v = \frac{0{,}3\,\text{m}}{4\,\text{s}} = 0{,}08\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$v = \frac{0{,}2\,\text{m}}{4\,\text{s}} = 0{,}05\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

DIE GESCHWINDIGKEIT · Die Strecke Δs, die die Lok in der Zeitspanne Δt zurückgelegt hat, bestimmen wir anhand der Striche. Dazu messen wir die Strecke immer vom Startpunkt aus. Die Messwerte findest du in den ersten beiden Zeilen von ▸ Tabelle 03. In der dritten Zeile stehen die Quotienten $\frac{\Delta s}{\Delta t}$.

Aufgrund von Messfehlern schwankt der Wert des Quotienten leicht. Wir dürfen aber davon ausgehen, dass er konstant ist. Also liegt ein proportionaler Zusammenhang zwischen der Zeitspanne Δt und der Strecke Δs vor. Kurz:

$\Delta s \sim \Delta t$ oder $\Delta s = v \cdot \Delta t$.

Die Proportionalitätskonstante v ist die Geschwindigkeit des Körpers. Für die blauen Messwerte von ▸ Tabelle 03 beträgt sie $0{,}05\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ (Null Komma null fünf Meter pro Sekunde).

In einem zweiten Versuch lassen wir die Lok mit einer anderen Betriebsspannung fahren. Wir markieren wieder jede Sekunde die Position der Lok, diesmal mit einem roten Strich (▸ Bild 02). Wie im vorherigen Versuch bleibt der Quotient $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ konstant, beträgt aber jetzt etwa $0{,}08\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ (▸ Tabelle 04). Die Geschwindigkeit der Lok ist also größer, die Lok ist schneller.

Bei einer gleichförmigen Bewegung ist die Geschwindigkeit $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ konstant.

EIN DIAGRAMM ZEIGT MEHR · Unsere Messwerte aus ▸ Tabelle 03 und ▸ Tabelle 04 stellen wir in einem $s(t)$-Diagramm dar (▸ Bild 05). Es liefert uns viele Informationen auf einen Blick:

1. Wenn Messwerte auf einer Geraden liegen, dann ist die Geschwindigkeit konstant.
2. Je steiler der Graph im $s(t)$-Diagramm ist, d.h., je größer seine Steigung ist, desto größer ist die Geschwindigkeit.
3. Wir können für jeden Zeitpunkt t die bis dahin zurückgelegte Strecke s ablesen und umgekehrt.

EINHEITEN · Die gebräuchlichsten Einheiten der Geschwindigkeit sind $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Wir wandeln diese zusammengesetzten Einheiten ineinander um, indem wir jede Einheit für sich umwandeln. Beispiel: Mit 1 km = 1000 m und 1 Stunde = 3600 Sekunden ergibt sich:

$1\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 1\,\frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = 1\,\frac{10\,\text{m}}{36\,\text{s}} = 1 : 3{,}6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$

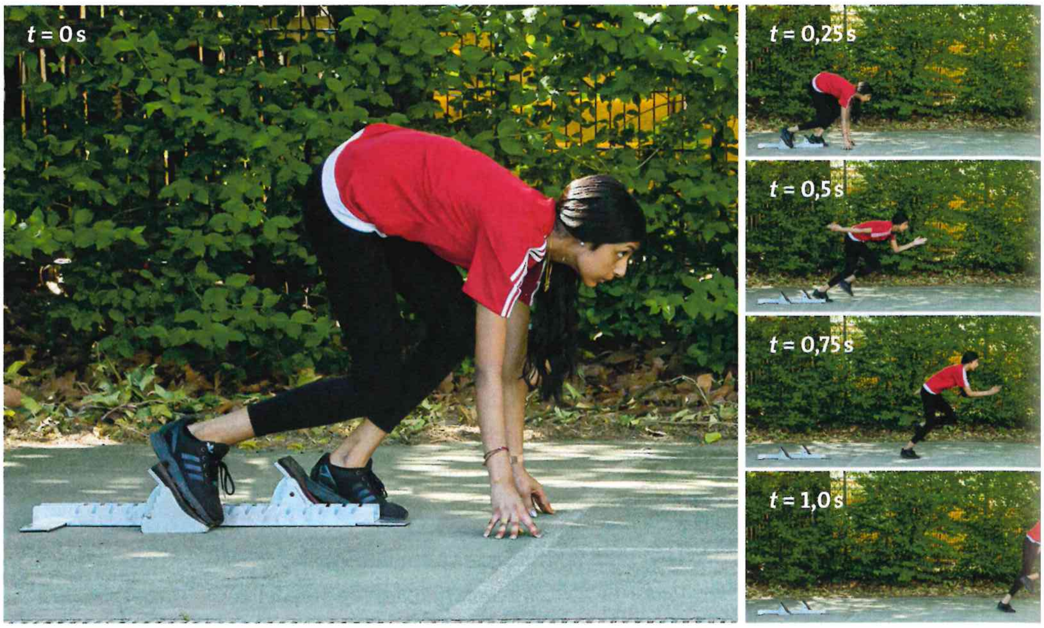
$\frac{\text{m}}{\text{s}} \xrightarrow{\cdot 3{,}6} \frac{\text{km}}{\text{h}}$

$\frac{\text{km}}{\text{h}} \xrightarrow[:3{,}6]{} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

1 Erkläre, was du unter einem Bezugskörper verstehst, und nenne ein Beispiel.

2 Du fährst in einem Auto. Bist du in Ruhe oder in Bewegung? Nenne jeweils den Bezugskörper.

3 Gib die Geschwindigkeit einer Rennschnecke bei einer Bestleistung von $12\,\frac{\text{cm}}{\text{min}}$ in den Einheiten $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ an.



01 Paula am Start

Die Geschwindigkeit ändert sich

Paula ist eine gute Sprinterin. Ihre Bestzeit für 100 Meter beträgt 12 Sekunden. Wie schnell ist sie gelaufen?

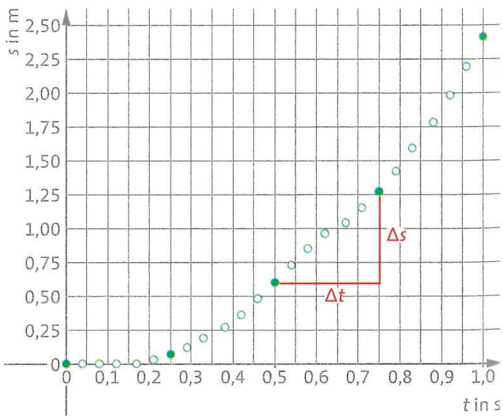
MITTLERE GESCHWINDIGKEIT · Wenn wir annehmen, dass Paula mit konstanter Geschwindigkeit läuft, dann können wir die Formel $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ anwenden. Mit Paulas Bestzeit erhalten wir $v = \frac{100\,\text{m}}{12\,\text{s}} = 8{,}3\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Aus eigener Erfahrung weißt du, dass du bei einem Lauf nicht immer mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit läufst. Mit der Formel $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ haben wir also nur Paulas mittlere Geschwindigkeit ausgerechnet. Sie ist teilweise langsamer, teilweise aber auch schneller als $8{,}3\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ gelaufen. Das entspricht der Geschwindigkeit eines gleichförmig bewegten Körpers, der immer dieselbe Strecke in derselben Zeit zurücklegt – in diesem Fall 100 Meter in 12 Sekunden.

Die mittlere Geschwindigkeit heißt auch Durchschnittsgeschwindigkeit.

Ist die Geschwindigkeit nicht konstant, gibt die Gleichung $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ die mittlere Geschwindigkeit im Zeitraum Δt an.

GESCHWINDIGKEIT UNTER DER LUPE · Paul und ihr Trainer wollen ihren Startvorgang opti mieren. Dazu filmen sie Paula mit einer Kamera die 25 Bilder pro Sekunde aufnimmt, und wer ten die Messergebnisse der ersten Sekunde au (▸ Bild 02). Zuerst soll die Frage geklärt werden ob Paula in der Startphase wirklich ständi schneller wird. Für einen groben Überblick tei len sie die Startphase in vier Zeitspannen de Länge $\Delta t = 0{,}25$ Sekunden ein. Während diese Zeitspannen legt Paula unterschiedliche Weg strecken Δs zurück (▸ Bild 02).



02 $s(t)$-Diagramm von Paulas Start

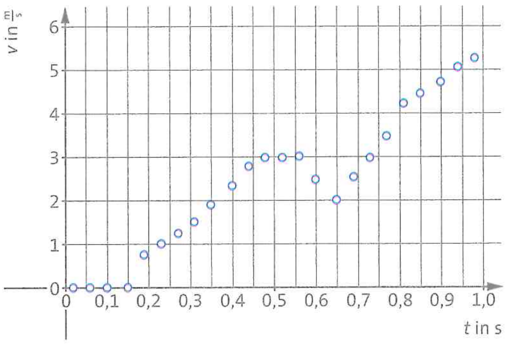
In jedem der vier Intervalle berechnen wir nun die mittlere Geschwindigkeit mit der Formel $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ (▸ Tabelle 03). Es sieht so aus, als würde Paula tatsächlich immer schneller werden. Bei genauer Betrachtung zeigt sich im $s(t)$-Diagramm allerdings eine Delle bei $t \approx 0{,}6$ Sekunden, die genauer analysiert werden muss. Wie schnell ist Paula in diesem Moment?

t in s	s in m	Zeitspanne 0–0,25 s	Zeitspanne 0,25–0,5 s	Zeitspanne 0,5–0,75 s	Zeitspanne 0,75–1 s
0	0	$\Delta s = 0{,}1\,\text{m}$ $\Delta t = 0{,}25\,\text{s}$ $v = 0{,}4\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$			
0,25	0,1		$\Delta s = 0{,}5\,\text{m}$ $\Delta t = 0{,}25\,\text{s}$ $v = 2{,}0\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$		
0,50	0,6			$\Delta s = 0{,}7\,\text{m}$ $\Delta t = 0{,}25\,\text{s}$ $v = 2{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$	
0,75	1,3				$\Delta s = 1{,}1\,\text{m}$ $\Delta t = 0{,}25\,\text{s}$ $v = 4{,}4\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$
1	2,4				

03 Messwerte von Paulas Sprint

MOMENTANE GESCHWINDIGKEIT · Ein bewegter Körper besitzt zu jedem Zeitpunkt eine bestimmte momentane Geschwindigkeit. Der Begriff Zeitpunkt bedeutet hier, dass $\Delta t = 0$ ist. Wir können Δt aber nicht beliebig klein machen, denn irgendwann stoßen wir an die Grenze der Messgenauigkeit für Zeiten und Strecken.
Die momentane Geschwindigkeit lässt sich näherungsweise bestimmen, indem man möglichst kleine Zeitspannen Δt wählt.

Mit der Gleichung $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ erhalten wir mit einer kleinen Zeitspanne Δt eine Näherung für die momentane Geschwindigkeit. Die Näherung ist umso besser, je kleiner die Zeitspanne ist.



04 $v(t)$-Diagramm von Paulas Sprint

Wenn du die Geschwindigkeit in der Zeitspanne $\Delta t = t_2 - t_1$ berechnet hast, dann hat der Punkt die Koordinaten (v, t), wobei t der Mittelwert von t_1 und t_2 ist, also $t = \frac{1}{2} \cdot (t_1 + t_2)$.

GESCHWINDIGKEIT IM DIAGRAMM · Einen möglichst genauen Überblick über Paulas Geschwindigkeitsprofil erhalten ihr Trainer und sie also, wenn sie immer zwei aufeinanderfolgende Bilder der 25 Aufnahmen pro Sekunde verwenden. Die Zeitdifferenz beträgt dann: $\Delta t \approx 0{,}04\,\text{s}$. Das $v(t)$-Diagramm (▸ Bild 04) zeigt die so berechneten Geschwindigkeiten.

Durch die kürzeren Zeitspannen zeigt sich im $v(t)$-Diagramm eine Struktur, die wir bei einer gröberen Einteilung wie in ▸ Tabelle 03 nicht erkennen konnten: Bei $t \approx 0{,}6$ Sekunden wird Paula plötzlich langsamer. Vielleicht lässt sich das durch spezielles Training verhindern.

Die Zeitdifferenz Δt noch kleiner zu machen ist nicht nötig. Denn in kürzeren Zeitspannen ändert sich Paulas Geschwindigkeit kaum noch.

1 Zeichne ein $s(t)$- und ein $v(t)$-Diagramm der folgenden geradlinigen Bewegung.
- Ein Fahrzeug bewegt sich 15 min lang mit einer konstanten Geschwindigkeit von $50\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$.
- Anschließend steht der Fahrer für 5 min im Stau.
- Danach fährt er eine Strecke von 30 Kilometer mit $v = 120\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

2 Im Jahr 2009 stellte Usain Bolt während der Leichtathletik-WM in Berlin einen Weltrekord im 100-m-Lauf auf. Entlang der Bahn gab es alle 10 Meter eine Station zur Zeitmessung (▸ Tabelle 05).

a) Zeichne ein $s(t)$- und $v(t)$-Diagramm.

b) Bestimme, wann Usain Bolt seine höchste Geschwindigkeit erreichte und wie weit er bis dahin gelaufen ist.

Δs in m	Δt in s
10	1,89
20	2,88
30	3,80
40	4,63
50	5,46
60	6,29
70	7,11
80	7,92
90	8,75
100	9,58

05 Usain Bolts Weltrekord

01 Die letzte Etappe auf der Champs-Elysées

Das **Tempo** entspricht dem Zahlenwert, den ein Tachometer anzeigt. Es trägt also kein Vorzeichen und ist unabhängig von der Bewegungsrichtung.

HIN UND ZURÜCK · Bei der Tour de France fahren die Radprofis in der letzten Etappe die Champs-Elysées mehrfach hinauf und hinunter. (▸ Bild 01). ▸ Bild 03 zeigt ein vereinfachtes $s(t)$-Diagramm dieses Rennens.

In das $s(t)$-Diagramm tragen wir den Abstand des Fahrers vom Start ein. Solange sich die Fahrer vom Start entfernen, wird $s(t)$ größer. Das ändert sich erst am Umkehrpunkt. Hier kehrt sich die Fahrtrichtung um und der Abstand zum Start wird wieder kleiner. Dadurch wechselt die Steigung im $s(t)$-Diagramm und damit das Vorzeichen der Geschwindigkeit im $v(t)$-Diagramm, obwohl das Tachometer am Fahrrad weiterhin dasselbe Tempo anzeigt (▸ Bild 04).

Kehrt sich die Richtung einer Bewegung um, dann wechselt die Geschwindigkeit ihr Vorzeichen.

BEWEGUNG UND RICHTUNG · Solange die Bewegung nur in eine Richtung erfolgt, bedeuten Abstand zum Start, Weglänge, zurückgelegte Strecke und $s(t)$ dasselbe. In diesem Fall haben auch die Begriffe Tempo, Geschwindigkeit und $v(t)$ die gleiche Bedeutung. Schon bei der Hin-und-her-Bewegung der Radfahrer ändert sich dies. Weil sie sich nicht nur in eine Richtung, sondern auch zurückbewegen, kann die von ihnen zurückgelegte Strecke nicht mehr direkt aus dem $s(t)$-Diagramm abgelesen werden. Zudem wechselt $v(t)$ bei jeder Richtungsumkehr das Vorzeichen, obwohl das Tempo gleich bleibt.

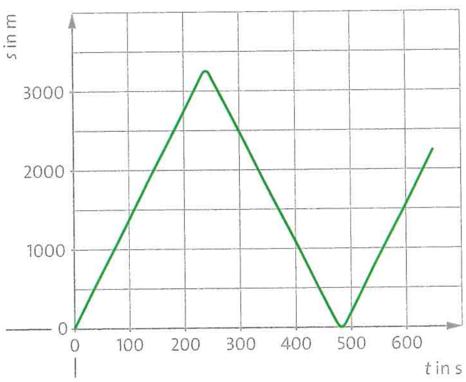
Die Geschwindigkeit ist eine physikalische Größe, die durch einen Zahlenwert und eine Richtung beschrieben wird.

1 Die ▸ Tabelle 02 beschreibt einen Bungee-Sprung.
a) Zeichne das $s(t)$- und das $v(t)$-Diagramm der Bewegung.
b) Bestimme, wann und in welcher Höhe der Springer am schnellsten ist. Ermittle seine Geschwindigkeit zu diesem Zeitpunkt. Bestimme den Zeitpunkt, an dem der Springer den tiefsten Punkt erreicht.

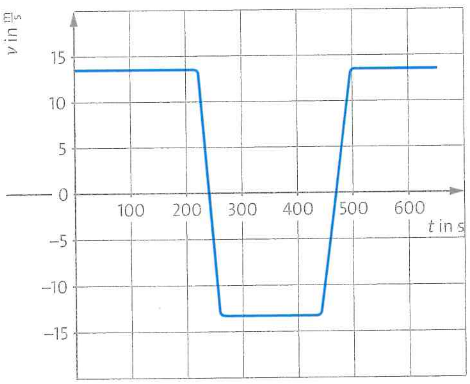
2 Ein Karussell dreht sich mit konstantem Tempo. Zeichne das $s(t)$- und $v(t)$-Diagramm einer Gondel vom Mittelpunkt der Drehbewegung aus gesehen.

t in s	s in m
0	45
0,25	44,7
0,75	42,2
1,25	37,3
1,75	30,2
2,25	21,8
2,75	13,8
3,25	7,4
3,75	3,4
4,25	3,5
4,75	5,3
5,25	10,3
5,75	17,1
6,25	24,5
6,75	31,3

02 Bungee-Sprung



03 $s(t)$-Diagramm



04 $v(t)$-Diagramm