

Da kommen wir noch dicke dran vorbei! – Die Beschleunigung

Manfred Vogel, Hiddenhausen



Auf der Rennstrecke

I/B

Als Einstieg verwenden
Sie die Farbfolie M 2!

Viele Verkehrsteilnehmer haben ein nur geringes Gefühl für die **Gefahren**, denen sie als Moped- oder Pkw-Fahrer selbst bei geringen Geschwindigkeiten ausgesetzt sind. Sie glauben, dass der Anhalteweg bei einem plötzlich auftauchenden Hindernis – beispielsweise einem Kind, das zwischen parkenden Fahrzeugen über die Straße läuft – so kurz ist, dass sie jederzeit halten können. Sie haben kaum eine Vorstellung, wie lang der Anhalteweg auf eisglatter Fahrbahn ist. Und sie überholen in riskanten Situationen, weil sie die einsehbare Strecke fälschlicherweise für hinreichend lang halten. Die Berechnungen zeigen Ihren Schülern, wie lang die Strecken tatsächlich sind.

Der Beitrag im Überblick

Klasse: 8/9

Dauer: 4 Stunden

Ihr Plus:

- ✓ Die Berechnungen können Sie sinnvoll in Programme zur **Verkehrserziehung** einbeziehen.

Inhalt

- Umrechnung: km/h in m/s (**M 1**)
- Durchschnittsgeschwindigkeit, Anfangsgeschwindigkeit, Endgeschwindigkeit, Beschleunigung (**M 3**)
- Verzögerung als negative Form der Beschleunigung, Reaktionszeit des Fahrers, Ansprechzeit des Bremssystems, Bremszeit, Bremsstrecke (**M 4**)
- Überholvorgang, Geschwindigkeitsdifferenz, Überholzeit, Überholstrecke, Gegenverkehr (**M 6**)

Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

Der Beitrag richtet sich an Schüler der 8./9. Klasse. Daher lassen wir die Vektorpfeile über den vektoriellen Größen „Weg \vec{s} “, „Geschwindigkeit \vec{v} “ und „Beschleunigung \vec{a} “ weg.

I/B

Fachlicher Hintergrund

Die Beschleunigung a ist definiert als Geschwindigkeitsänderung Δv in der Zeitspanne Δt .

Wir gehen von den Formeln

$$v = \frac{s}{t} \quad (I)$$

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2, \text{ wobei } s_0 = 0 \text{ und } v_0 = 0, \text{ also: } s = \frac{1}{2} a t^2 \quad (II)$$

aus. Die erste Gleichung beschreibt einen Vorgang, bei dem sich ein Körper mit **konstanter** Geschwindigkeit und keiner Beschleunigung bewegt. Die zweite Gleichung beschreibt einen Vorgang, bei dem sich ein Körper mit **konstanter** Beschleunigung ohne Anfangsgeschwindigkeit und ohne Anfangsweg bewegt.

Die dritte Formel für die Berechnung der Durchschnittsgeschwindigkeit beim Beschleunigen oder Bremsen mit konstanter Beschleunigung

$$v_d = \frac{1}{2}(v_a + v_e) \quad (III)$$

leiten wir anhand der entsprechenden Grafik ab.

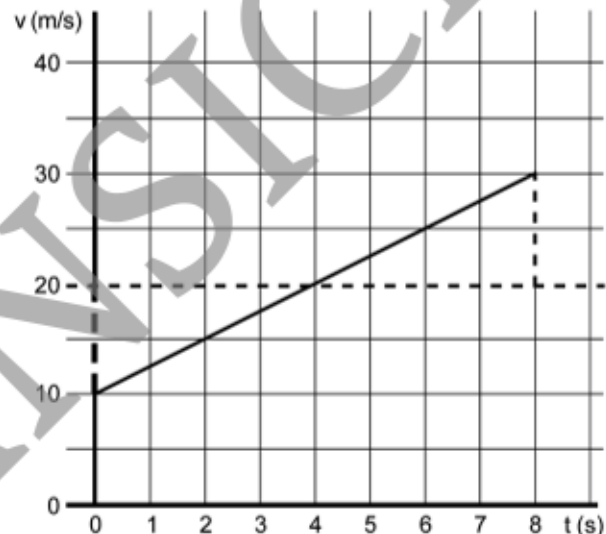
Voraussetzungen

Die Grafiken und Berechnungen werden bei den einzelnen Komplexen bewusst idealisiert:

- Die Beschleunigung a wird in Betrag und Richtung jeweils als konstant angenommen.
- Die Rollreibung wird vernachlässigt.
- Ebenfalls wird der Luftwiderstand nicht berücksichtigt.

Diese idealen Bedingungen herrschen – nahezu – nur bei **Satelliten- und Weltraumflügen**. Durch die Vereinfachung kann man bei konstanter Beschleunigung a die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit linear ($v = a \cdot t$) und die zurückgelegte Strecke s als vom Quadrat der Zeit abhängige Größe darstellen.

Trotzdem sollte man den **Luftwiderstand** nicht vernachlässigen, insbesondere dann, wenn Zeit und Strecke bei Beschleunigungsberechnungen ermittelt werden. Der Luftwiderstand ist proportional zum Quadrat des Geschwindigkeitsbetrags des sich bewegenden Körpers – dies bewirkt, dass der Körper bei sonst gleichen Fahrbedingungen (insbesondere der Leistung) nicht in dem Maße an Geschwindigkeit zunimmt, wie man es bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung erwartet. Umgekehrt reduziert sich bei der Verzögerung der Luftwiderstand nur geringfügig, sodass man ihn in der Praxis kaum zu berücksichtigen braucht. Lassen Sie Ihre Schüler vielmehr darauf achten, dass sie bei ihren Beschleunigungsberechnungen die End- und die Durchschnittsgeschwindigkeit nicht verwechseln.



M 1 Umrechnung der Geschwindigkeits-Einheiten (km/h \rightarrow m/s)

Frau B. hat am Sonntag Frühschicht. Die Straßen sind nahezu leer. Sie hat es eilig und fährt deshalb etwas schneller als erlaubt:

In der verkehrsberuhigten Zone, in der sie wohnt, fährt sie

- eine Minute lang **18 km/h**, dann fährt sie innerorts
- sechs Minuten lang **54 km/h**,
- auf der innerörtlichen Schnellstraße drei Minuten lang **90 km/h** und dann kurz vor dem Ziel noch einmal
- zwei Minuten lang **18 km/h**.



Frau B.

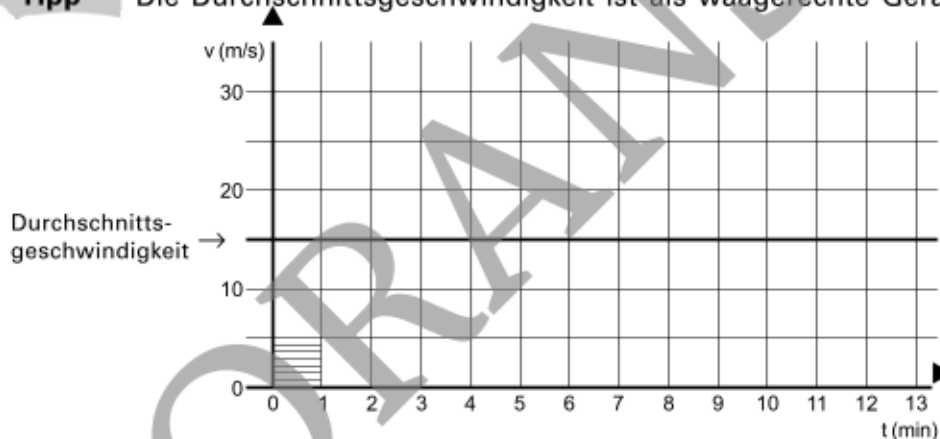
Aufgaben

1. Rechne die Einheit $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ um.

Tipp Beachte dabei, dass $1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1000 \text{ m}}{60 \cdot 60 \text{ s}}$ ist.

2. a) Berechne die Strecken, die Frau B. jeweils in einer Minute zurückgelegt hat.
- b) Berechne die Gesamtstrecke, die Frau B. zurückgelegt hat.
3. Berechne die Durchschnittsgeschwindigkeit in m/s und km/h.
4. Trage die Frühschichtfahrt von Frau B. in das unten stehende Raster ein.

Tipp Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist als waagerechte Gerade eingezeichnet.



5. Addiere die unter dieser Geraden liegenden leeren und die darüber liegenden vollen Flächenstücke. Was bemerkst du?

Hausaufgabe

1. Berechne die Strecken, die Frau B. bei einer Fahrt zu einem Wanderparkplatz zurücklegt: eine Minute in der verkehrsberuhigten Zone (18 km/h), neun Minuten Stadtfahrt (54 km/h) und zwölf Minuten Bundesstraße (90 km/h).

Rechne die Geschwindigkeiten in m/s um.

2. Berechne die Durchschnittsgeschwindigkeit v_d in m/s und $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.
3. Fertige eine Grafik mit den einzelnen zurückgelegten Zeiten (in Min.) an, trage die Durchschnittsgeschwindigkeit ein und überprüfe, ob die volle Fläche oberhalb und die leere Fläche unterhalb dieser Geraden gleich groß sind.



© Thinkstock / iStock

M 2 Beschleunigung – wichtig für Alltagsphänomene

I/B

VORANSICHT

M 3 Durchfahrene Strecke und Durchschnittsgeschwindigkeit

Zusammenhang der Größen s , t , v_a , v_e , v_d und a :

Die im Material **M 1** berechneten Werte sind stark vereinfacht. Es ist nämlich nicht möglich, dass ein Fahrzeug abrupt von 5 m/s auf 15 m/s gelangen kann. Vielmehr braucht es eine gewisse Zeit t , um bei der Anfangsgeschwindigkeit v_a und der Beschleunigung a auf die Endgeschwindigkeit v_e zu kommen. Dabei durchfährt es während dieser Zeit die Strecke s .

Den Zusammenhang zwischen diesen drei Größen kann man – bei konstanter Beschleunigung – mit den Formeln

$$s = s_0 + v_a t + \frac{1}{2} a t^2 \quad \text{und} \quad v_e = v_a + a \cdot t$$

ermitteln.

Tipp Beachte, dass man zwischen der Anfangsgeschwindigkeit v_a , der Endgeschwindigkeit v_e und der Durchschnittsgeschwindigkeit v_d unterscheiden muss.

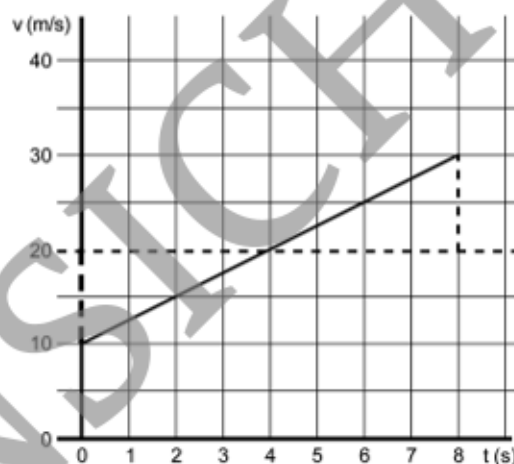
Die Durchschnittsgeschwindigkeit berechnet man mit der Formel

$$v_d = \frac{1}{2}(v_a + v_e).$$

Wenn ein Fahrzeug aus dem Stand beschleunigt wird, dann ist $v_a = 0$. Die Formel reduziert sich dann auf

$$v_d = \frac{1}{2} v_e.$$

Beim Abbremsen gelten die gleichen Formeln, nur dass man für a den Term $-a$ setzen muss. (Abbremsen ist Beschleunigen mit negativer Beschleunigung).



Aufgaben

- Ein Hersteller behauptet, dass sein Modell XY innerhalb von 9 Sekunden von 0 km/h auf 100 km/h beschleunigt. Berechne (ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes) die Beschleunigung a und die während des Beschleunigungsvorgangs zurückgelegte Strecke s .
- Ein Lkw beschleunigt aus dem Stand mit $a = 0,8 \text{ m/s}^2$ auf 81 km/h. Berechne die Beschleunigungszeit und die während dieser Zeit zurückgelegte Strecke.

Hausaufgabe

Ein Sportwagen beschleunigt aus dem Stand mit 9 m/s^2 . In welcher Zeit hat er eine Geschwindigkeit von 150 km/h erreicht? Wie lang ist die Beschleunigungsstrecke?



Schneller Flitzer

M 4 Die Verzögerung als negative Form der Beschleunigung

Die Verzögerung ist die negative Form der Beschleunigung.

Aufgabe 1

Ein Pkw wird aus 100 km/h auf einer Versuchsstrecke gebremst und kommt nach 44,36 m zum Stehen. Der Fahrer konnte sofort reagieren, weil er den Anfang der Bremsstrecke kannte.

Deshalb ist die Reaktionszeit $t = 0$.
Die Ansprechzeit t_a des Bremssystems beträgt ca. 0,2 s.

Wie groß ist die Verzögerung?

Berechne:

1. die Geschwindigkeit v_a des Pkw in m/s beim Bremsbeginn,
2. die bis zum Ansprechen der Bremsen zurückgelegte Strecke s ,
3. die Durchschnittsgeschwindigkeit v_d während des Bremsvorgangs,
4. die verbleibende Bremsstrecke s_{Rest} ,
5. die Bremszeit t_{Brems} ,
6. den Betrag der Bremsverzögerung a .

Tipp

Benutze die dir bekannte Beschleunigungsformel:

Beschleunigung = -Bremsverzögerung.

7. Vergleiche deinen errechneten Wert mit der Erdbeschleunigung und interpretiere dies.

Aufgabe 2

Ein Pkw-Fahrer fährt innerorts mit 50 km/h und muss wegen eines plötzlich vor ihm über die Straße laufenden Kindes stark bremsen. Seine Reaktionszeit beträgt 0,6 s. Die Ansprechzeit des Fahrzeugs beträgt 0,2 s und die Bremsverzögerung $5,6 \text{ m/s}^2$.

Berechne:

1. die Anfangsgeschwindigkeit v_a des Fahrzeugs in m/s,
2. die zurückgelegte Strecke s bis zum Ansprechen der Bremsen,
3. die Durchschnittsgeschwindigkeit v_d während des Bremsvorgangs,
4. die Bremszeit t_{Brems} ,
5. die reine Bremsstrecke s_{Brems} ,
6. die gesamte Fahrstrecke s bis zum Stillstand des Fahrzeugs.
7. Bewerte dein Ergebnis hinsichtlich der Frage, ob das Kind eine Chance hat, nicht vom Pkw-Fahrer angefahren zu werden.



Pkw

© Thinkstock / iStock

I/B



Eine gefährliche Situation

© Thinkstock / iStock

M 5 Üben, üben, üben – Tandembogen

I/B



Schneegeglatte Straßen

© Thinkstock/Stock

- Die Straße ist schneegeglatt. Deshalb beträgt die Verzögerung lediglich $0,8 \text{ m/s}^2$. Trotzdem fährt ein Pkw mit 50 km/h . Die Reaktionszeit des Fahrers beträgt $0,5 \text{ s}$ und die Ansprechzeit des Fahrzeugs $0,2 \text{ s}$.
- Berechne:
1. die Geschwindigkeit v_a des Fahrzeugs in m/s ,
 2. die Durchschnittsgeschwindigkeit während des Bremsvorgangs,
 3. die zurückgelegte Strecke bis zum Anprechen der Bremsen,
 4. die Bremszeit,
 5. die bis zum Stillstand des Fahrzeugs gesamte zurückgelegte Strecke s .
 6. Bewerte dein Ergebnis.

Aufgabe

Lösungen

1. $v_a = 50 \text{ km/h} = 50 : 3,6 \text{ m/s} = 13,89 \text{ m/s}$
2. $v_d = \frac{v_a}{2} = 6,94 \text{ m/s}$
3.

$$s = 13,89 \text{ m/s} \cdot (0,2 \text{ s} + 0,5 \text{ s})$$

$$= 13,89 \text{ m/s} \cdot 0,7 \text{ s}$$

$$= 9,72 \text{ m}$$
4. $t_{\text{Brems}} = \frac{2 \cdot v_d}{a} = \frac{2 \cdot 6,94 \text{ m/s}}{0,8 \text{ m/s}^2} = 17,35 \text{ s}$
5. $s_{\text{Brems}} = \frac{1}{2} \cdot 0,8 \text{ m/s}^2 \cdot 17,35^2 \text{ s}^2 = 120,4 \text{ m}$

Die gesamte Bremsstrecke beträgt:
 $9,72 \text{ m} + 120,4 \text{ m} = 130,1 \text{ m}$

6. Es ist eine sehr lange Bremsstrecke. Bei diesen Straßenverhältnissen hätte der Fahrer deutlich langsamer fahren müssen.



M 7 Das Rennen der Giganten – LEK

I/B

Die beiden Lkw der Aufgabe 1 fahren 84 km/h und 82 km/h. Berechne die in Aufgabe 1 gefragten Größen. Der schnellere Lkw beginnt zehn Meter vor dem langsameren Lkw mit dem Überholvorgang.

Aufgabe 2

1. die Strecke, die der Container-Lkw gegenüber dem Tanklaster während des Überholvorgangs zurücklegt,
2. die Geschwindigkeitsdifferenz v_{diff} der beiden Fahrzeuge,
3. die Überholzeit t_0 ,
4. die Strecke s_1 , die der Container-Lkw, und die Strecke s_2 , die der Tanklaster während des gesamten Überholvorgangs zurücklegen.

Berechne:

Auf der Autobahn überholt ein 24 Meter langer Container-Lkw mit 90 km/h einen gleich langen Tanklaster, der 86,4 km/h fährt. Der Container-Lkw beginnt zehn Meter vor dem Tanklaster mit dem Überholvorgang und schert nach dem Überholvorgang zehn Meter vor dem Tanklaster wieder ein. (Wegen der sehr geringen Beschleunigung des schnelleren Lkw wird die Beschleunigungsphase nicht berücksichtigt.)



Aufgabe 1

Lösungen

Aufgabe 1

1. $10 \text{ m} + 24 \text{ m (langsamerer Lkw)} + 24 \text{ m (schnellerer Lkw)} + 10 \text{ m} = 68 \text{ m}$
2. $v_{\text{d}} = (90 : 3,6) \text{ m/s} - (86,4 : 3,6) \text{ m/s} = 25 \text{ m/s} - 24 \text{ m/s} = 1 \text{ m/s}$
3. $t = \frac{68 \text{ m}}{1 \text{ m/s}} = 68 \text{ s}$
4. $s_1 = 68 \text{ s} \cdot 25 \text{ m/s} = 1700 \text{ m}$
 $s_2 = 68 \text{ s} \cdot 24 \text{ m/s} = 1632 \text{ m}$

Aufgabe 2

1. $10 \text{ m} + 24 \text{ m (langs. Lkw)} + 24 \text{ m (schnell. Lkw)} + 10 \text{ m} = 68 \text{ m}$
2. $v_{\text{d}} = (84 : 3,6) \text{ m/s} - (82 : 3,6) \text{ m/s} = 0,56 \text{ m/s}$
3. $t = \frac{68 \text{ m}}{0,56 \text{ m/s}} = 121,4 \text{ s}$
4. $s_1 = 121,4 \text{ s} \cdot \frac{84 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 2833 \text{ m,}$
 $s_2 = 121,4 \text{ s} \cdot \frac{82 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} \text{ m} = 2765 \text{ m}$

Erläuterungen und Lösungen

M 1 Umrechnung der Geschwindigkeits-Einheiten (km/h → m/s)

1. $18 \text{ km/h} = 18 \frac{1 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$, $54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}$, $90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$, $18 \text{ km/h} = 5 \text{ m/s}$

2.

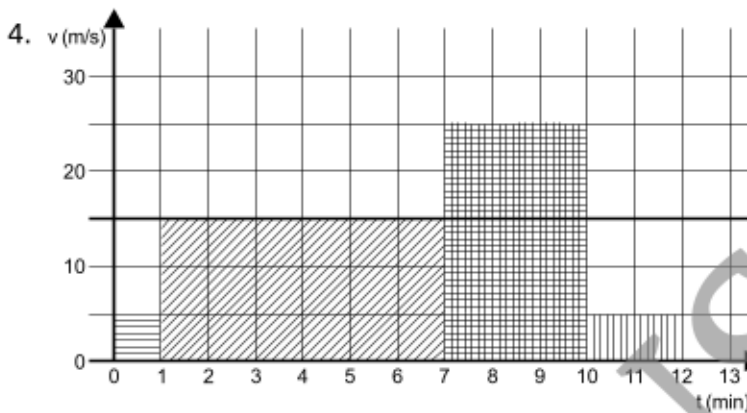
a) $s_1 = 60 \text{ s} \cdot 5 \text{ m/s} = \mathbf{300 \text{ m}}$; $s_2 = 60 \text{ s} \cdot 15 \text{ m/s} = \mathbf{900 \text{ m}}$;

$s_3 = 60 \text{ s} \cdot 25 \text{ m/s} = \mathbf{1500 \text{ m}}$; $s_4 = 60 \text{ s} \cdot 5 \text{ m/s} = \mathbf{300 \text{ m}}$

b) $s = 1 \cdot 60 \text{ s} \cdot 5 \text{ m/s} + 6 \cdot 60 \text{ s} \cdot 15 \text{ m/s} + 3 \cdot 60 \text{ s} \cdot 25 \text{ m/s} + 2 \cdot 60 \text{ s} \cdot 5 \text{ m/s} = \mathbf{10\,800 \text{ m}}$

3. $1 + 6 + 3 + 2 = 12$; $12 \cdot 60 \text{ s} = 720 \text{ s}$

Durchschnittsgeschwindigkeit: $10\,800 \text{ m} : 720 \text{ s} = 15 \text{ m/s} = 15 \cdot 3,6 \text{ km/h} = \mathbf{54 \text{ km/h}}$



5. Es liegen 6 (leere) Flächenstücke unterhalb und 6 (volle) Flächenstücke über der Geraden, die die Durchschnittsgeschwindigkeit repräsentiert.

Hausaufgabe zu M 1

1. $18 \text{ km/h} = 5 \text{ m/s}$; $54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}$; $90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$

2. Zurückgelegte Strecke:

$$5 \text{ m/s} \cdot 60 \text{ s} + 15 \text{ m/s} \cdot 9 \cdot 60 \text{ s} + 25 \text{ m/s} \cdot 12 \cdot 60 \text{ s}$$

$$= 300 \text{ m} + 8100 \text{ m} + 18\,000 \text{ m} = \mathbf{26\,400 \text{ m}}$$

Durchschnittsgeschwindigkeit:

$$26\,400 \text{ m} : ((1 + 9 + 12) \cdot 60 \text{ s}) = 26\,400 \text{ m} : (22 \cdot 60 \text{ s}) = 1200/60 \text{ m/s} = \mathbf{20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}}$$

