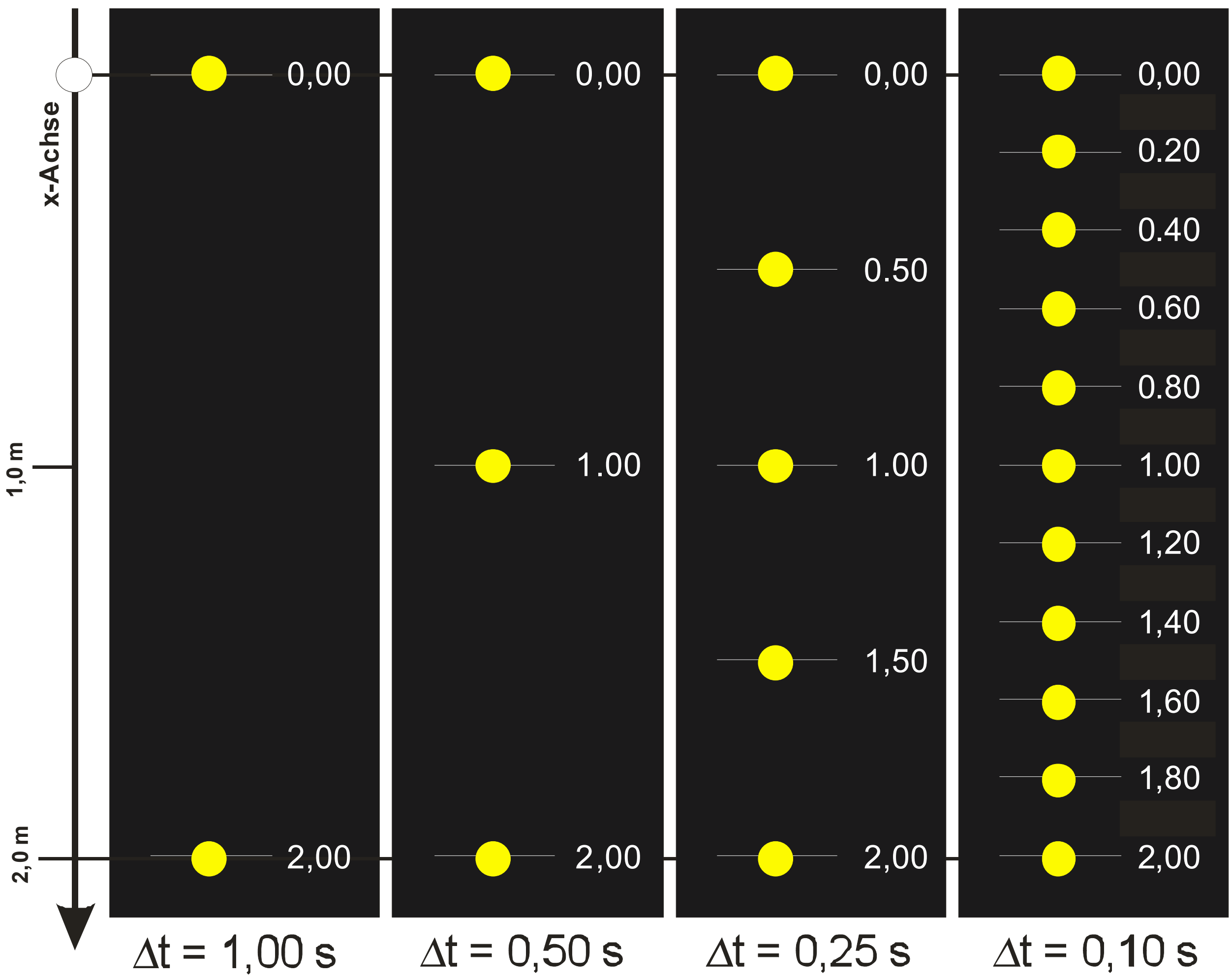
Messung von Bewegungsabläufen bei konstanter Geschwindigkeit mit dem Stroboskop

Ein Ball ( ) rollt auf einer horizontal ausgerichteten Ebene. **Reibungskräfte**, die den Ball mit der Zeit abbremsen, können **vernachlässigt** werden.

Der Bewegungsablauf wird im Dunklen von oben als Einzelbild mit einer Kamera aufgenommen. Ein **Stroboskop** ist so eingestellt, dass das Licht in regelmäßigen Zeitabständen Δt kurz aufblitzt.

Je nach eingestellten Zeitabständen Δt erhält man folgende Aufnahmen:



Der Ball legt in diesem Versuch innerhalb einer Zeitdauer von $\Delta t = 1{,}00\ s$ eine Strecke von $\Delta x = 2{,}00\ m$ zurück. Je kürzer Δt ist, desto häufiger wird der rollende Ball auf einem Bild abgelichtet [siehe Abbildungen oben; Die Zahlen rechts von den Bällen geben jeweils die zum Belichtungszeitpunkt t den aktuellen Ortspunkt $x(t)$ in Meter (m) an].

Durch Auswertung der ganz rechts abgebildeten Aufnahme (*Δt=0,10 s*) sollen die Gesetzmäßigkeiten einer Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit ermittelt werden.

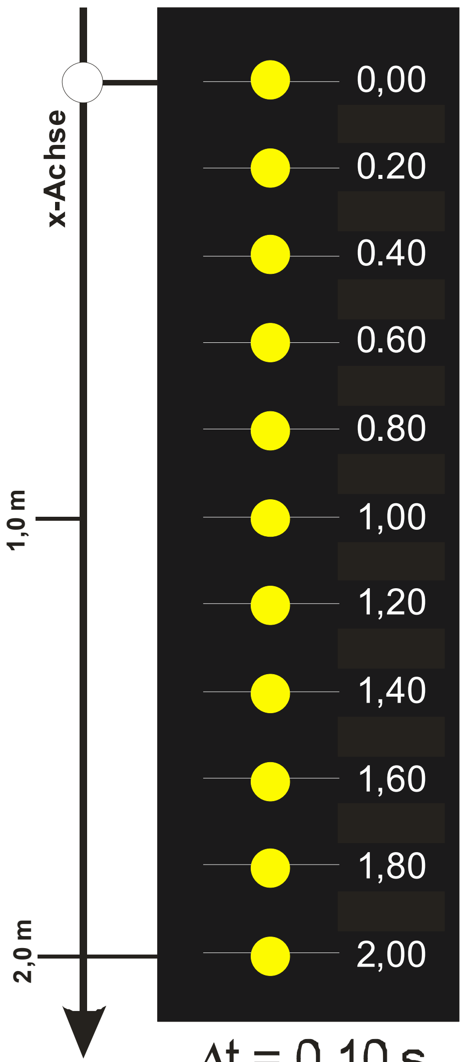
Aufgabe 1

Im ersten Schritt soll die Abhängigkeit der Ortskoordinate x von der Zeit t als Graphik in einem Zeit-Orts-Diagramm (t-x-Diagramm) dargestellt werden.

Dazu wird der Koordinatenursprung der Ortsachse (x-Achse) so gelegt, dass sich der Ball zum Zeitpunkt $t=0$ am Koordinatenursprung ($x=0$) befindet. Der Wert des Ortspunktes entspricht somit der zurückgelegten Strecke.

Zur Ermittlung der Zeit t beachten Sie, dass die Stroboskop-Lampe alle $0{,}10\ s$ aufblitzt. Zum Zeitpunkt $t=0$ zündet die Stroboskop-Lampe zum ersten mal.

Entnehmen Sie der stroboskopischen Aufnahme in der folgenden Abbildung zu den einzelnen Zeitpunkten die Koordinatenwerte (x-Werte) der jeweiligen Ortspunkte und tragen Sie diese Werte und die entsprechenen Zeitwerte in die folgende Tabelle ein:



$\Delta t = 0{,}10\ s$

#	x/m	t/s
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

(Hinweis zur Tabelle: # gibt die Nummer des Blitzes an. Die Zählung beginnt mit **0**.)

Sie finden auf der folgende Seite oben rechts eine Lösung zu Aufgabe 1.

Aufgabe 2

Tragen Sie die Werte aus der in Aufgabe 1 erstellten Tabelle in das unten dargestellte Koordinatensystem **ein**, um die Abhängigkeit des aktuellen Ortspounktes an der Stelle $x=x(t)$ von der Zeit t graphisch darzustellen.

Gehen Sie hierzu schrittweise **folgendermaßen vor**:

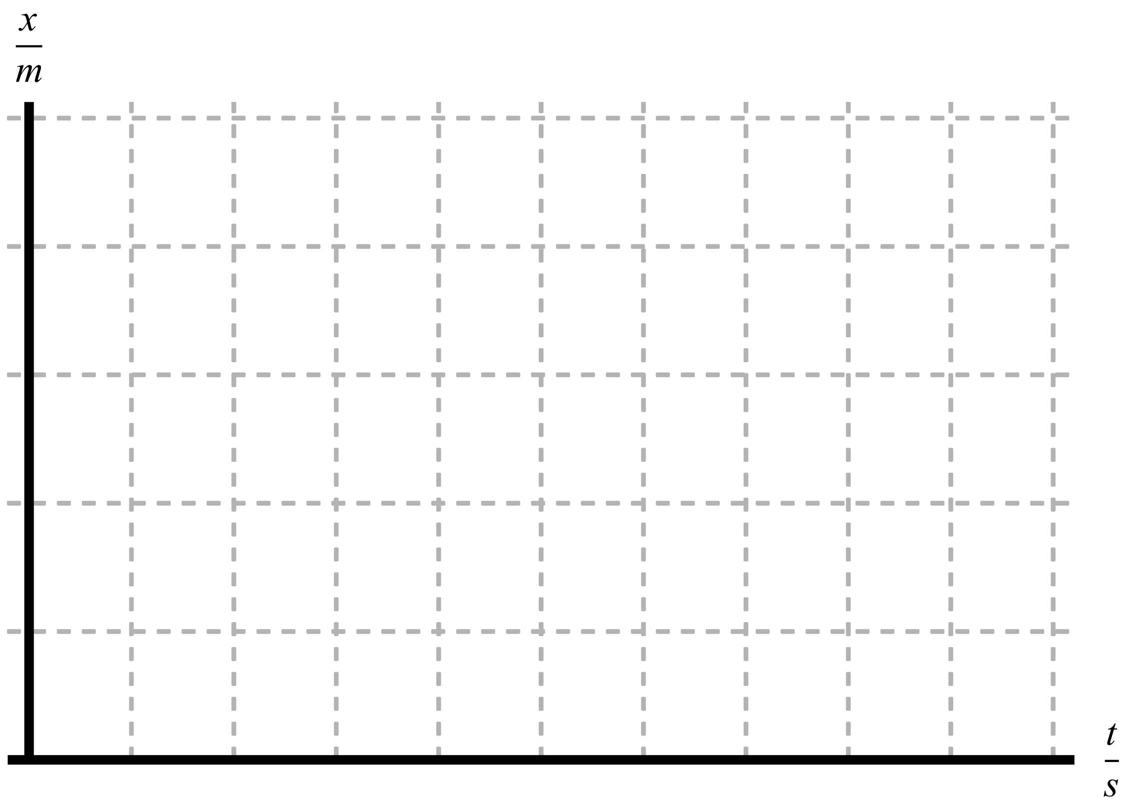
- Die beiden Koordinatenachsen sind bereits korrekt bezeichnet.
- Skalieren Sie die Abszisse (t-Achse).
- Skalieren Sie die Ordinate (x-Achse).
- Übertragen Sie punktweise alle Werte aus der Tabelle.

Wenn Sie fertig sind, **zeichnen Sie** mit freier Hand eine Kurve, die möglichst durch alle Punkte verläuft.

Lösung zu Aufgabe 1:

#	x/m	t/s
0	0,00	0,00
1	0,20	0,10
2	0,40	0,20
3	0,60	0,30
4	0,80	0,40
5	1,00	0,50
6	1,20	0,60
7	1,40	0,70
8	1,60	0,80
9	1,80	0,90
10	2,00	1,00

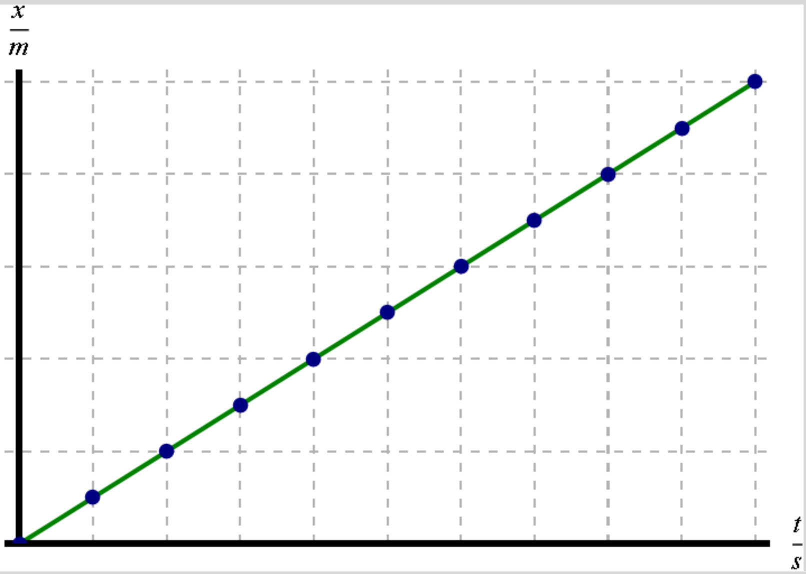
Überlegen Sie sich, von welchem Typus der Graph sein könnte (Gerade, Hyperbel, Parabel, $\cdots$?).



Platz für Aufgabe 2:

Sie finden auf der folgende Seite oben eine Lösung zu Aufgabe 2.

Lösung zu Aufgabe 2:



Der Graph der Abbildung ist Teil einer **Geraden**. Durch die Festlegung des Koordinatenursprunges handelt es sich hier zudem um eine **Ursprungs-gerade**, d.h. der Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt t und der Ortskoordinate x ist proportional:

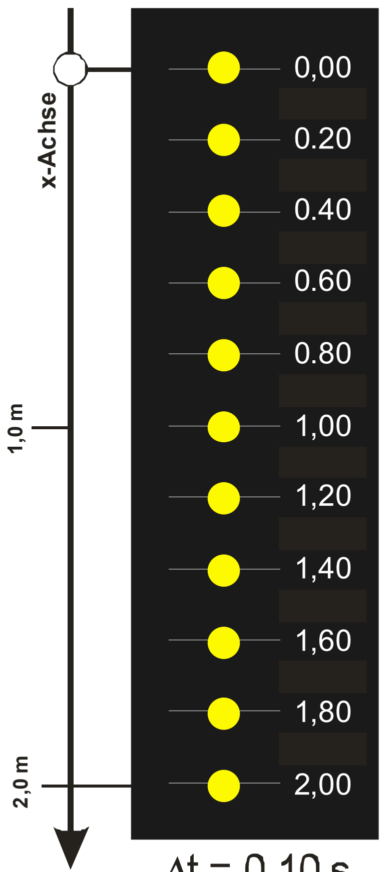
$$x \sim t$$

Bei konstanten Geschwindigkeiten ist die Ortskurve $x=x(t)$ immer **linear abhängig** von der Zeit t. Befindet sich zum Zeitpunkt $t=0$ der Ortspunkt an der Stelle $x=0$, ist der Zusammenhang sogar **proportional abhängig** von t.

Aufgabe 3

Wenn die Geschwindigkeit des Balles mit zunehmender Zeit konstant bleibt, wird vermutlich auch die Geschwindigkeitg v des Balles zwischen zwei aufeinander folgenden Stroboskop-Blitzen gleich groß sein. Berechnen Sie hierzu diese Geschwindigkeiten.

Beispiel: Zwischen dem 1. und dem 2. Blitz wird eine Strecke von $\Delta x = 0{,}40m - 0{,}20\,m = 0{,}20\,m$ zurückgelegt (siehe Tabelle aus Aufgabe 1). Dies geschieht innerhalb einer Zeitdauer von $\Delta t = 0{,}20s - 0{,}10s = 0{,}10\,s$. Daraus ergibt sich für die Bewegung zwischen den Blitzen Nrr. 1 und 2 eine Geschwindigkeit von $v = \Delta x : \Delta t = 0{,}20m : 0{,}10\,s = 2{,}00\,{}^{m}/_{s}$.



$\Delta t = 0{,}10\,s$

#	$\Delta x/m$	$\Delta t/s$	$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}\,/\,\frac{m}{s}$
0	Dunkle Felder nicht ausfüllen		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Sie finden auf der folgende Seite oben rechts eine Lösung zu Aufgabe 3.

Aufgabe 4

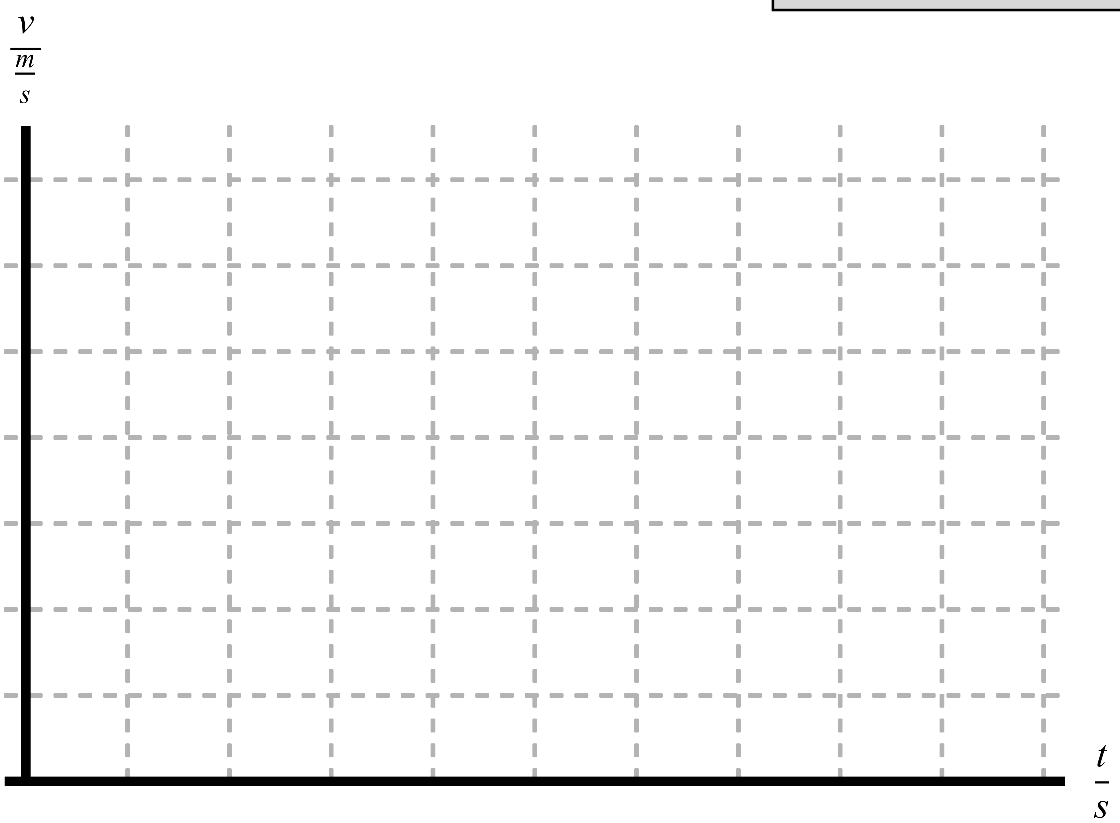
Stellen Sie graphisch den Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit zwischen zwei aufeinander folgenden Blitzen und der Zeit t **dar**.

Überlegen Sie sich, von welchem Typus der Graph sein könnte.

Geben Sie in einem Satz **an**, wie sich die Geschwindigkeit mit zunehmender Zeit ändert.

Lösung zu Aufgabe 3:

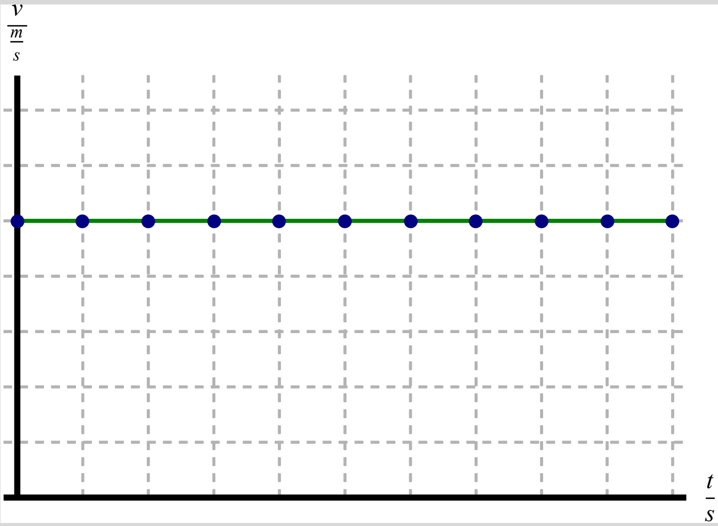
#	$\Delta x/\mathrm{m}$	$\Delta t/\mathrm{s}$	$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}/\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
0	Dunkle Felder nicht ausfüllen		
1	0,20	0,10	2,00
2	0,20	0,10	2,00
3	0,20	0,10	2,00
4	0,20	0,10	2,00
5	0,20	0,10	2,00
6	0,20	0,10	2,00
7	0,20	0,10	2,00
8	0,20	0,10	2,00
9	0,20	0,10	2,00
10	0,20	0,10	2,00



Platz für Aufgabe 4:

Sie finden auf der folgende Seite oben eine Lösung zu Aufgabe 4.

Lösung zu Aufgabe 4:



Der Zusammenhang zwischen der Zeit t und der Geschwindigkeit v ist mit $2{,}0\,^{m}/_{s}$ **konstant**, der Graph verläuft parallel zur t-Achse, also horizontal.

Die graphische Darstellung der Geschwindigkeit in einem t-v-Diagramm wird auch als **Geschwindigkeitskurve** bezeichnet.

Aufgabe 5

In Aufgabe 3 wurde festgestellt, dass die Abhängigkeit des Ortspunktes mit der Ortskoordinate x linear abhängig ist von der Zeit t [oder anders formuliert: die Ortskurve mit der Ortsgleichung $x=x(t)$ ist linear abhängig *von* t].

Im **allgemeinen Fall** einer Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit v lautet die Ortsgleichung

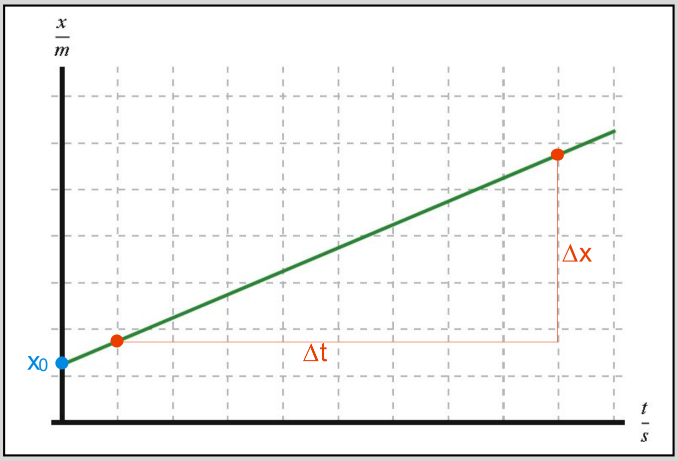
$$x(t) = x_0 + v\,t$$

Erläutern Sie in eigenen Worten die Bedeutung von x_0 und v im vorliegenden Zusammenhang. Fertigen Sie hierzu eine geeignete Skizze an:

Platz für Aufgabe 5:

Sie finden auf der folgende Seite oben eine Lösung zu Aufgabe 5.

Lösung zu Aufgabe 5:



Eine Gerade wird in einem Koordinatesystem vollständig durch den **Ordinatenabschnitt** und der **Steigung** festgelegt.

x_0 ist im vorliegenden Zusammenhang (Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit) der **Ordinatenabschnitt** (nach oben gerichtetete Koordinate) der Ortskurve mit der Ortsgleichung

$$x(t) = x_0 + v\,t.$$

An dieser Stelle befindet sich der sich bewegende Gegenstand zum Zeitpunkt $t=0$.

Die **Steigung** der Geraden ergibt sich aus einem Steigungsdreieck.

Aufgabe 6

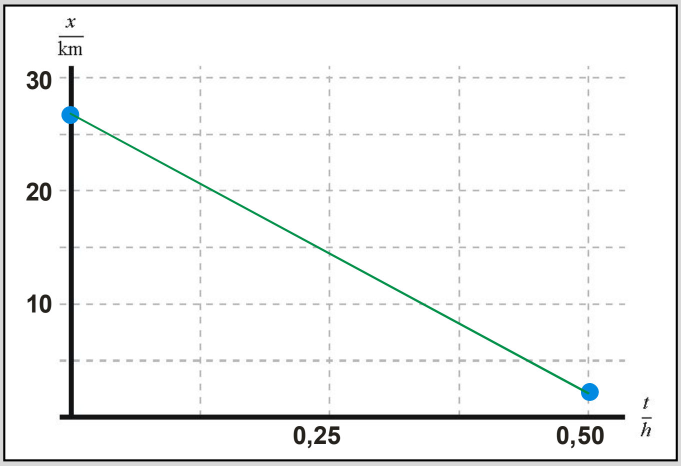
Beispielaufgabe:
Eine Auto befindet sich zum Zeitpunkt $t=0$ genau $27{,}0\ km$ von der nächsten Großstadt (Ortsdurchfahrt) entfernt. Ziel des Autofahrers ist ein Supermarkt, der sich $2{,}0\ km$ vor der Stadt befindet. Der Ursprung der Ortskoordinate wird auf die Ortsdurchfahrt gelegt.

Zeichnen Sie die Ortskurve des sich mit einer konstanten Geschwindigkeit des Betrages $|v| = 50{,}0\ {}^{km}/_{h}$ bewegenden Autos in ein geeignetes Koordinatensystem:

Platz für Aufgabe 6:

Sie finden auf der folgende Seite oben eine Lösung zu Aufgabe 6.

Lösung zu Aufgabe 6:



Zum Zeitpunkt $t=0$ befindet sich das Auto $27{,}0\ km$ von der Ortsdurchfahrt (Koordinatenursprung der x-Achse) entfernt, am Ende der Fahrt $2{,}0\ km$. Das Auto bewegt sich somit entgegen der x-Achse d.h. v ist negativ. Es ist noch nicht bekannt, zu welchem Zeitpunkt t das Auto das Ziel erreicht. In die allgemeine Ortsgleichung

$$x(t) = x_0 + v\,t$$

sind also folgende Werte einzugeben:

$$v = -50{,}0\ {}^{km}/_{h},\quad x_0 = 27{,}0\ km,\quad x(t) = 2{,}0\ km$$

d.h. im vorliegenden Fall ergibt sich aus der Ortsgleichung für das Ziel

$$2{,}0\ km = 27\ km\ - 50\ {}^{km}/_{h}\ t \ \rightarrow\ t = 0{,}50\ h.$$

Mit diesem Ergebnis und den Vorgabewerten lässt sich nun das geforderte t-x-Diagramm erstellen.

Aufgabe 7

Im unten abgebildeten t-v-Diagramm ist die Geschwindigkeitskurve $v=v(t)$ eines Gegenstandes dargestellt, der sich mit konstanter Geschwindgkeit v_0 bewegt.

Für die bis zum Zeitpunkt t_0 zurückgelegte Strecke Δx gilt:

$$\Delta x = v_0\, t_0$$

Tragen Sie in das unten abgebildete t-v-Diagramm ein, wie sich diese zurückgelegte Strecke im t-v-Diagramm graphisch darstellen lässt: