Kinematik und Dynamik geradliniger Bewegungen

Lukas Semrau

Schuljahr 2020/21

Anmerkung für Schüler: Die Exkurse gehen oft über die über die (aktuelle) Kenntnis der Mathematik hinaus und müssen daher auch nicht beachtet werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

1 Gleichförmige, geradlinige Bewegungen und Bewegungsdiagramme

1.1 Versuche

Versuch 1.1 (Strigel-Fahrstuhl). Der Fahrstuhl im BSG hat eine reine Fahrzeit von $5s$/Stockwerk. Hält er in einem Stockwerk an, so dauert die Pause $6s$.Ein Stockwerk hat eine Höhe von $h = 3.63m$.
Zeichnen eines Graphen, der die den Ort $x(t)$ in Abhängigkeit der Zeit t beschreibt:

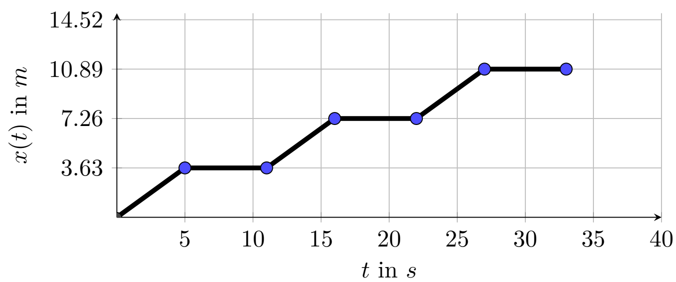

Abbildung 1: Graph zu dem Versuch 1.1.

Versuch 1.2 (Der gemütliche Schüler). Nun läuft ein Schüler gemütlich die Osttreppe nach oben, dabei bewegt er sich konstant nach oben. Für dieses Strecke benötigt er ca. $60s$. Im Graphen (s. Abb. 2) kann man sehen, dass der Fahrstuhl troz der Stopps schneller ist.

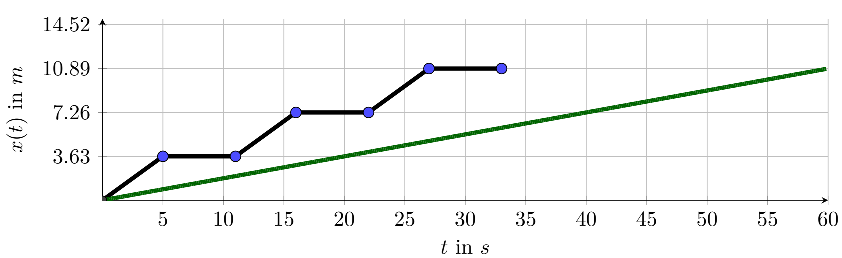

Abbildung 2: Die Bewegung des Fahrstuhls ist ist schwarz, die des Schülers grün.

Versuch 1.3 (negative Steigungen). Jetzt betrachten wir auch den Verlauf des Diagramms, wenn sich der Fahrstuhl nach unten bewegt:

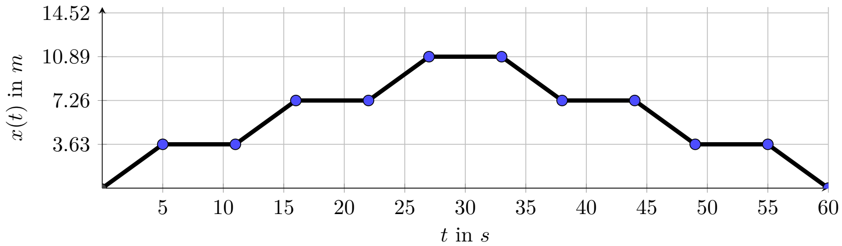

Abbildung 3: Graph zu dem Versuch 1.3

1.2 Folgerungen aus den Versuchen

Man sieht, dass die Steigung mit der Geschwindigkeit zusammenhängt. Das ist auch logisch, da auf der y-Achse der Ort $x(t)$ aufgetragen ist und auf der x-Achse die Zeit t aufgetragen ist. Da wir es mit geradlinigen (lineare) Bewegungen zu tun haben ergibt sich die Steigung wir folgt:

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta x(t)}{\Delta t} \approxeq \frac{s}{t} = v \tag{1.1}$$

Wir sehen also, dass die Steigung einer Funktion in einem t-x-Diagramm auch die Geschwindigkeit ist.

negative Steigung In V1.3 ist die Steigung negativ, da sich der Fahrstuhl in die andere Richtung bewegt. Dies bedeutet natürlich nicht, dass wir eine negative Geschwindigkeit haben. Es bedeutet lediglich, dass sich die Richtung in die Geschwindigkeit gerichtet ist sich ändert.

Exkurs 1 (Vektoren)**.** In der Physik sind Grössen oft in bestimmte Richtungen gerichtet (so auch die Geschwindigkeit). Für die Geschwindigkeit v schreibt man dann

$$v \Rightarrow \vec{v} \tag{1.2}$$

Beispiel: Gemessen (und gezeichnet) wird die Bewegung des Fahrstuhls gemessen (Ort in Abhängigkeit der Zeit). Während die Zeit nur in eine Richtung verläuft, nimmt der Ort nicht immer zu. Hier ändert sich die Richtung der Geschwindigkeit.

Achtung! Die Geschwindigkeit v beschreibt für uns aktuell nur einen Durchschnitt über eine bestimmte Zeit Δt.

Exkurs 2 (genaues Bestimmen von v)**.** Möchte man die Geschwindigkeit $v(t_0)$ an einem bestimmten Zeitpunkt t_0 bestimmen, so benötigt man die Analysis[a]: Wir berechnen zunächst die Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen zwei Punkten t_0 und $t_1 = t_0 + h$:

$$v(t) = \frac{x(t_0 + h) - x(t_0)}{h} \tag{1.3}$$

Um die Geschwindigkeit an eine Punkt muss $h \to 0$. Schreibt man dies nun als Formel sieht man eine grosse Übereinstimmung mit dem Differenzenquotienten:

$$v = \dot{x} = \frac{dx}{dt} = \lim_{h \to 0} \frac{x(t_0 + h) - x(t_0)}{h} \tag{1.4}$$

[a] Den folgenden Abschnitt kann man auch dadurch abkürzen, dass man sagt:

> Die Steigung ist die Geschwindigkeit, die Ableitung gibt die Steigung an einem Punkt an $\Rightarrow v = \dot{x}$

1.3 Definitionen

Definition 1.1 (gleichförmige Bewegungen)**.** Bewegt sich ein Objekt immer mit der selben Geschwindigkeit ($a = 0$), so bewegt es sich **gleichförmig.**

Definition 1.2 (Geschwindigkeit)**.** Die Geschwindigkeit v einer gleichförmigen Bewegung ist als der Quotient von Streckeabschnitt und Zeitabschnitt definiert.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{1.5}$$

Dies ist nur bei gleichförmigen Bewegungen so, da bei nicht gleichförmigen Bewegungen der Quotient lediglich eine Durchschnittsgeschwindigkeit angibt.

Betrachtet man die Geschwindigkeit eines sich gleichförmigen Objekts, so hat es immer die gleiche Geschwindigkeit. Da es sich immer mit $v = const.$ bewegt, ist die Durchschnittsgeschwindigkeit v_D gleich der Geschwindigkeit v_0 am Punkt t_0.

$$v_D = v_0 \tag{1.6}$$

Einheiten und Umrechnungen.

$$[v] = \frac{m}{s} = 3.6 \frac{km}{h} \tag{1.7}$$

1.4 Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme

Ein Fahrzeug bewegt sich nach der folgenden Form:

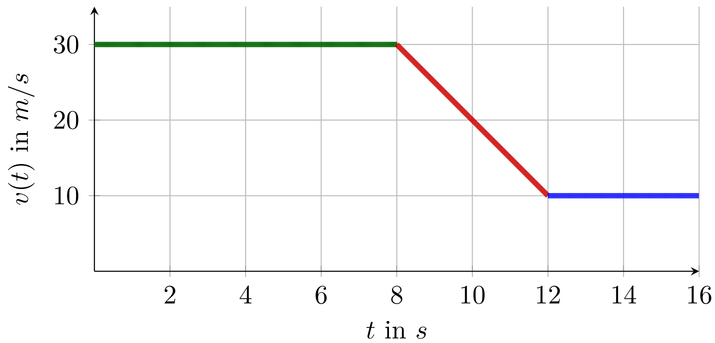

Abbildung 4: Bewegung eines Fahrzeuges

Aufgabe. Im folgenden soll die zurück gelegte Strecke innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls bestimmt werden.

Zeitintervall	zurückgelegte Strecke
$[0s; 2s]$	60m
$[2s; 8s]$ [1]	180m
$[8s; 10s]$	50m
$[8s; 12s]$	80m
$[12s; 16s]$	40m

Tabelle 1: Die zurückgelegte Strecke während eines bestimmten Intervalls.

Definition 1.3. Der zurückgelegte Weg ist die Fläche unter einem t-x-Diagramm. Diese Fläche kann man durch Berechnungen an (einfachen) geometrischen Formen (Rechteck / Dreieck) bestimmen. Für ein Rechteck ergibt sich (1.8), für ein Dreieck (1.9). [2]

$$x(t) = v(t) \cdot \Delta t \tag{1.8}$$

$$x(t) = \frac{v(t) \cdot \Delta t}{2} \tag{1.9}$$

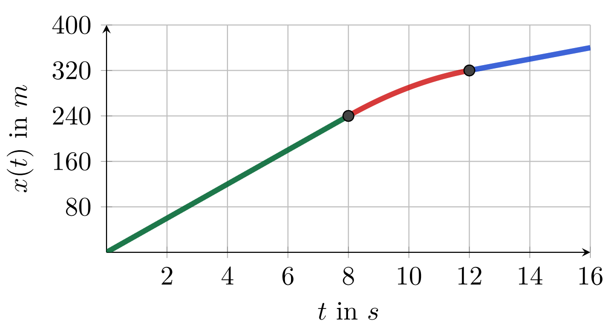

Abbildung 5: Die errechneten Werte aus Tab. 1 grafisch dargestellt.

[2] Ein Dreieck hat man bei linearen Funktionen (Geschwindigkeit ändert sich gleichmässig), ein Rechteck dann, wenn sich die Geschwindigkeit nicht ändert.

Exkurs 3 (zurückgelegte Strecke bei nicht gleichförmigen Bewegungen)**.** Möchte man die zurückgelegte Strecke einer Bewegung bestimmen, so muss man nur den Flächeninhalt der Kurve unter dem t-v-Diagramm bestimmen, dies ist nur bei nicht gleichförmigen Bewegungen schwierig. Hierfür muss man integrieren: [a] Demnach gilt

$$x(t) = \int_{t_1}^{t_2} v(t)\ \mathrm{d}t \tag{1.10}$$

Das Problem dabei ist nur, dass man die einzelnen Funktionen heraus bekommen muss, in Abb. 4 wäre das z.B.:

$$v(t) = \begin{cases} 30, & 0 \leq t \leq 8 \\ -5t + 70, & 8 \leq t \leq 12 \\ 10, & 12 \leq t \leq 16 \end{cases} \tag{1.11}$$

Für die Strecke gilt dann jeweils:

$$\int v\ \mathrm{d}t = x(t) = \begin{cases} 30t, & 0 \leq t \leq 8 \\ -\frac{5}{2}t + 70t, & 8 \leq t \leq 12 \\ 10t, & 12 \leq t \leq 16 \end{cases} \tag{1.12}$$

[a] Dies ist auch nur logisch, da nach dem Grundsatz der Analysis das Integral einer Ableitung die Funktion selbst ist und die Geschwindigkeit ist definiert als die ableitung des Ortes.

1.5 Die Steigung des Graphens

Die des Grabens im Zeit-/ Geschwindigkeitsdiagramm lässt sich wie folgt bestimmen:

$$m_{v(t)} = \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = a(t) \tag{1.13}$$

Definition 1.4. Die Steigung des t-v-Diagramms ist also die Beschleunigung $a(t)$. Sie wird bei geradlienigen Bewegungen (Geschwindigkeiten) durch $a(t) = v(t)/t$ dargestellt. [3]
Ist der Graph beispielsweise eine Parabel, so gibt die Beschleunigung lediglich eine Durchschnittbeschleunigugn über Δt an. Für die genaue Beschleunigung am Zeitpunkt t_0 muss differenziert werden:

$$a(t) = v'(t) = x''(t) \tag{1.14}$$

Satz 1. $x(t) = 1/2 \cdot a \cdot t^2$

Beweis. Sei Satz 1 wahr, dann muss gelten: $a(t) = x''(t)$:

$$\begin{aligned} a(t) &= \left[\left(\frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2\right)'\right]' && (1.15) \\ &= [at]' && (1.16) \\ &= a && (1.17) \end{aligned}$$

■

[3] Bis hier ist Stoff der neunten Jahrgangsstufe, ab hier verwendet wird höhere Mathematik angewendet.

1.6 Beispiel

Versuch 1.4. Ein Fahrzeug wird wie in Abb. 6 gezeigt, zunächst von einem Elektromagneten festgehalten, wenn der Strom getrennt wird, beginnt eine Lichtuhr zu zählen und der Wagen rollt los. Da die Strecke x einstellbar ist, misst man die Zeit t.

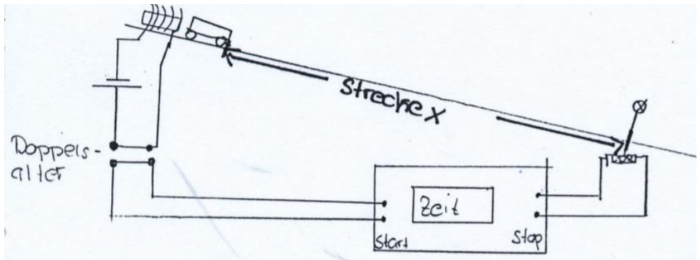

Abbildung 6: Versuchsaufbau zu Versuch 1.4.

Messeregbisse In der folgenden Tabelle sind die gemessenen Daten eingetragen.

Zeit t $[s]$	0	0.9	1.29	1.55	1.8	2.02	2.2	2.37	2.51	2.67	2.84
Strecke x $[m]$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1

Tabelle 2: gemessene Strecke und Zeit.

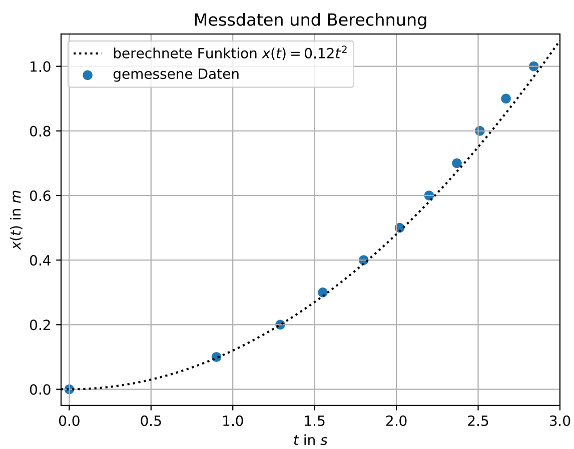

Abbildung 7: t-x-Diagramm

Zu Abb. 7 Wir haben de Vermutung, dass die gemessene Punkte eine Parabel der Form $x(t) = kt^2$. Unsere Vermutung ist gneau dann wahr, wenn $k = \frac{x(t)}{t^2} = \text{const.}$ ist. Tabelle 3 zeigt, dass die Kurve eine Parabel mit dem Term $x(t) = 0.12t^2$ ist. Die Einheit von k ist $[k] = m/s^2$, da

$$\begin{aligned} [x(t)] &= [k][t]^2 \\ m &= [k] \cdot s^2 \\ \Leftrightarrow \qquad [k] &= \frac{m}{s^2} \end{aligned}. \tag{1.18}$$

Zeit t $[s]$	0	0.9	1.29	1.55	1.8	2.02	2.2	2.37	2.51	2.67	2.84
Strecke x $[m]$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
k auf 2NKS	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13

Tabelle 3: Prüfen ob $k = \text{const.}$.

Geschwindigkeit Nun messen wir die Geschwindigkeit und stellen sie grafisch dar. (s. Abb. 8) [4] Hier haben wir die Vermutung, dass der Graph eine Gerade ist. Auch hier kann man das über folgende Rechnung überprüfen. Da wir es mit einer Ursprungsgerade $v(t) = kt$, muss $k = v/t$ konstant sein, sodass v eine Gerade ist.

t $[s]$	0	0.9	1.29	1.55	1.8	2.02	2.2	2.37	2.51	2.67	2.84
v $[m/s]$	0	0.22	0.31	0.37	0.43	0.48	0.53	0.57	0.60	0.64	0.68
k auf 2NKS	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

Tabelle 4: Messdaten und Prüfung ob k konstant ist.

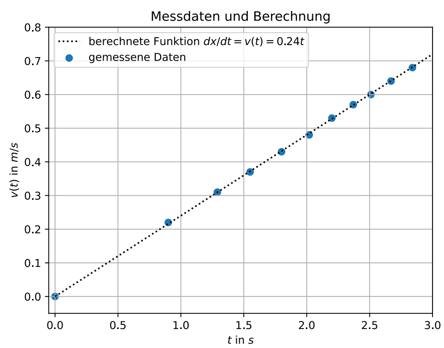

Abbildung 8: t-v-Diagramm

[4]Natürlich können wir die punktgenaue Geschwindigkeit per Analysis bestimmen (s. Exkurs 2): $v(t) = x'(t) = 0,24x$

Diese beiden Diagramme habe ich abschliessend nochmal in einem einzigen Diagramm gezeigt.

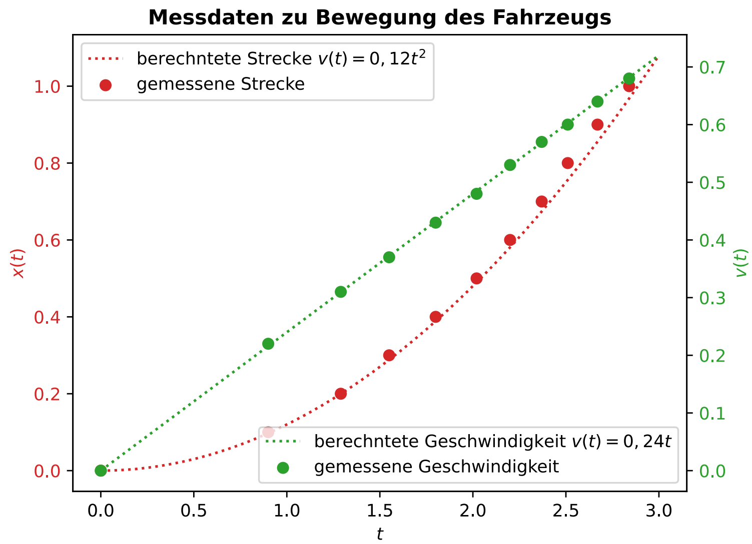

Abbildung 9: Vereinheitliches Diagramm

1.7 Zusammenfassung der wichtigsten Formeln:

Die Bewegungsgleichungen aus dem ersten Kapitel lauten:

$$v(t) = at \tag{1.19}$$

$$\implies \quad x(t) = \frac{1}{2}at \tag{1.20}$$

Aber warum gilt (1.20)?

Beweis. Betrachtet man t-v-Diagramme mit $a = \text{const.}$, so hat man immer eine Gerade. In 1.4 erfährt man, dass sich die Strecke als Fläche unter dem t-v-Diagramm deuten. Die insgesamte zurückgelegte Geschwindigkeit ist also als Dreiecksfläche zu Deuten:

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{1}{2} \cdot t \cdot v(t) \\ &= \frac{1}{2} \cdot t \cdot (at) \\ &= \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \end{aligned} \tag{1.21}$$

$\blacksquare$

Beweis über Integralrechnung. Wir kennen bereits die Formel für die Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit

$$v(t) = at \tag{1.22}$$

und wissen, dass man $v(t)$ integrieren muss um den zurückgelegten Weg zu erhalten:

$$\begin{aligned} x(\tilde{t}) &= \int_0^{\tilde{t}} v(t)\ \mathrm{d}t \\ &= \int_0^{\tilde{t}} at\ \mathrm{d}t \\ &= \left[\frac{1}{2}at^2\right]_0^{\tilde{t}} \\ &= \frac{1}{2}a\tilde{t}^2 - \frac{1}{2}a0^2 \\ x(\tilde{t}) &= \frac{1}{2}a\tilde{t}^2 \end{aligned} \tag{1.23}$$

■

1.8 Geschwindigkeit mit v_0

Zeichnet man die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges mit einer bestimmten Anfangsgeschwindigkeit v_0 auf, so ist die restliche Geschwindigkeit v in Abhängigkeit der Zeit t:

$$v(t) = a \cdot t + v_0 \tag{1.24}$$

Wir betrachten also allgemien die Bewegungsgleichungen des ersten Kapitels, daran ändert sich nicht viel mit dem Unterschied, dass wir schon mit v_0 starten. Als Gleichung erhalten wir (1.24).

Für die zurückgelegte Strecke erhält man dann, [5]

$$x(t) = t \cdot v_0 + \frac{at}{2}. \tag{1.25}$$

[5] Den Beweis lassen wir an der Stelle weg.

2 Das newtonsche Grundgesetz

2.1 Ergebnisse des Luftkissenfahrbahn-Versuchs:

Wenn die Masse konstant ist, erhält man bei der doppelten / dreifachen / n-fachen Beschleunigung auch die doppelte / dreifache / n-fache Kraft F.

Definition 2.1. Wenn $m = \text{const.}$, so gilt für die Beschleunigung a und die Kraft F:

$$F \sim a \tag{2.1}$$

Ähnlich ist auch der Zusammenhang zwischen m und F:

Definition 2.2. Wenn $a = \text{const.}$, so gilt für die Masse m und die Kraft F:

$$F \sim m \tag{2.2}$$

Man kann also sagen:

$$F \sim a, \qquad m = \text{const.} \tag{2.3}$$
$$F \sim m, \qquad a = \text{const.} \tag{2.4}$$
$$\Longrightarrow F \sim ma \tag{2.5}$$
$$\Longleftrightarrow F = k \cdot ma \tag{2.6}$$

Jetzt hat man die Einheit $[F] = 1N$ so gewählt, dass sich die folgende Gleichung ergibt:

Definition 2.3. Das Produkt aus Masse und Kraft ist die Beschleunigung:

$$F = ma \tag{2.7}$$

Will man einem Körper der Masse m mit der Beschleunigung a beschleunigen so muss auf ihn die Kraft F einwirken.

$$a = F/m \tag{2.8}$$

Wirkt auf einen Körper der Masse m die Kraft F, so erfährt er die Beschleunigung a.

2.2 Freier Fall [6]

Definition 2.4 (freier Fall)**.** Von einem freien Fall spricht man, wenn auf einen fallenden Körper nur seine Gewichtskraft wirkt. (Insbesondere wirken bei einem freien Fall keine Reibungskräfte)

Versuch 2.1 (Evakuierte Fallröhre). Alle frei fallenden Körper werden unabhängig der eigenen Masse durch ihre Gewichtskraft gleich stark beschleunigt.

Versuch 2.2 (Fallgesertz). Wir lassen eine Kugel aus unterschiedlichen Höhen fallen und messen, wie lange der Fall dauert.

Fallhöhe h in m	4.0	3.0	2.0	1.0	0.75	0.5	0.25
Fallzeit t in s	0.90	0.78	0.64	0.45	0.39	0.32	0.23
h/t^2	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.7

Tabelle 5: Ergbenisse zu V2.2

1. $h \sim t$ gilt nicht. Halbiert man die Fallhöhe, so halbiert sich die Fallzeit <u>nicht.</u>

[6] nach G. Galilei

2. Die Fallhöhe h ist proportional zum Quadrat der Fallzeit t:
$$h \sim t^2 \tag{2.9}$$

3. Im freien Fall beschleunigt jeder Körper (in Mitteleuropa) mit der sog. "Erdbeschleunigung g", die ungefähr
$$g \approxeq 9.81 m/s^2 \tag{2.10}$$
beträgt. Für den freien Fall gelten also folgende Gesetze:
$$v(t) = gt \tag{2.11}$$
$$x(t) = \frac{1}{2} g t^2 \tag{2.12}$$

theoretische Überlegung: Wie stark beschleunigt ein Körper im freien Fall? Im freien Fall wird ein Körper der Masse m durch die Gewichtskraft F_G beschleunigt.

$$\begin{aligned} F_g &= m \cdot g \\ \Longleftrightarrow F_G &= m \cdot a \\ \Longleftrightarrow a &= \frac{F_G}{m} = \frac{mg}{m} = g \end{aligned} \tag{2.13}$$

Im freien Fall auf die Erde beschleunigt jeder Körper /unabhängig seiner Masse) mit der gleichen Fallbeschleunigung (="Erdbeschleunigung") g. In Mitteleuropa hat sie den Wert $g = 9.91 m/s^2$.

2.2.1 Aufgaben

1.) Ein Stein wird losgelassen und fällt dann $3.0s$

a) Es handelt sich näherungsweise um einen freien Fall, weil der Stein innerhalb von $t = 3s$ noch keine allzu hohe Geschwindigkeit erreicht und die Luftreibungskraft gegenüber der Gewichtskraft daher noch vernachlässigbar ist.

b) Die Fallstrekce innerhalb von $t = 3.0s$ beträgt:
$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{1}{2} g t^2 \\ x(3.0s) &= \frac{1}{2} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} (3.0s)^2 \\ &= 44.145m \approxeq 44m \end{aligned} \tag{2.14}$$

c) Endgeschwindigkeit:
$$\begin{aligned} v(t) &= gt \\ v(3.0s) &= 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 3.0s \\ &= 29,4 m/s = 106 km/h \end{aligned} \tag{2.15}$$

2.) Wie lange dauert ein Fall

a) von einem 5m-Brett?
$$\begin{aligned} x(t) &= 1/2 g t^2 \\ \Longleftrightarrow t(x) &= \sqrt{\frac{2x}{g}} \\ t(5m) &= \sqrt{\frac{2 \cdot 5m}{9.81 \frac{m}{s^2}}} \\ &\approxeq 1.00s \end{aligned} \tag{2.16}$$

b) von einer 20m hohen Klippe in Acapulco?

$$\begin{aligned} t(2mm) &= \sqrt{\frac{2 \cdot 20m}{9.81\frac{m}{s^2}}} \\ &\approx 2.02s \end{aligned} \tag{2.17}$$

3.) Wie muss eine Fallschnur konstruiert sein, damit die daran befestigten Gegenstände in einem Intervall von 0.5s auf den Boden aufschlagen?

$$\begin{aligned} x_1 &= 0.5g \cdot (0.5s)^2 = 1.23m \\ x_2 &= 0.5g \cdot (2 \cdot 0.5s)^2 = 2 \cdot 1.23m = 4.92m \\ x_3 &= 0.5g \cdot (3 \cdot 0.5s)^2 = 3 \cdot 1.23m = 11.07m \end{aligned} \tag{2.18}$$

4.) Für Max überraschend lässt Eva ein Lineal fallen. Nach einer Fallstrecke von 66cm hat Max es gefangen. Berechne die Reaktionszeit von Max.

$$\begin{aligned} x = \frac{1}{2}gt^2 \Leftrightarrow \quad t &= \sqrt{\frac{2x}{g}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 0.66\mathrm{m}}{9.81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} \\ &= 0.37\mathrm{s} \end{aligned} \tag{2.19}$$

5.) ein Stein wird losgelassen. 0.1s später wird ein zweiter Stein losgelassen.

a) Bestimme den Abstand der Steine von einander nach 0.50s bzw. 1.0s.

$$\begin{aligned} x_1(0.5\mathrm{s}) &= \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 9.81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 0.5\mathrm{s} = 1.23\mathrm{m} \\ x_2(0.5 - 0.1\mathrm{s}) &= \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 9.81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 0.4\mathrm{s} = 0.78\mathrm{m} \\ x_{\mathrm{Abstand}} &= x_1 - x_2 = 0.45\mathrm{m} \end{aligned} \tag{2.20}$$

Berechnte man dies auch noch für $t = 1$s so erhält man: $x_1 = 4.91$m und $x_2 = 3.97$m. Der Abstand beträgt also

$$x_{\mathrm{Abstand}} = x_1 - x_2 = 0.94\mathrm{m} \tag{2.21}$$

6.) Alex fährt mit 72km/h als plötzlich vor ihr ein Hindernis auftaucht. Nach einer "Reaktionszeit" von 0.80s beginnt sie eine Vollbremsung mit einer Bremsverzögerung vom Betrag 5.0m/s^2. Berechne den Anhalteweg.

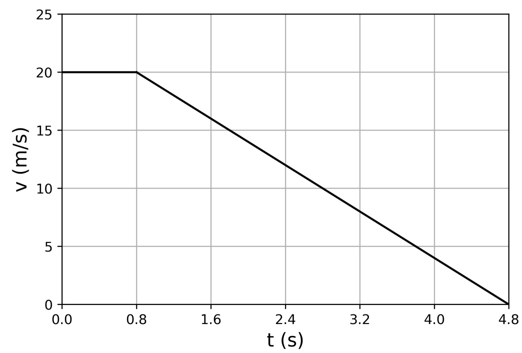

Abbildung 10: t-v-Diagramm zur Aufgabe

Die Bremsdauer beträgt

$$\begin{aligned} v &= v_0 + at_1 \\ t_1 &= \frac{v - v_0}{a} \\ &= 4.0\text{s} \end{aligned} \tag{2.22}$$

Mit den 0.8s Reaktionszeit gilt $t = 4.8$s. Für den Bremsweg gilt dann:

$$\begin{aligned} x_1 &= 20\frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.8\text{s} = 16\text{m} \\ x_2 &= v_0 \cdot t + 0.5at^2 \\ &= 40\text{m} \\ x &= x_1 + x_2 = 56\text{m} \end{aligned} \tag{2.23}$$

Ergänzendes Gesetz:

$$x = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

Kräfte bei Verkehrsunfällen

Ein Auto fährt mit 50km/h auf einen Baum und wird dabei um 1.20m "zerknauscht".

Fragen

a) (a) Wir gross war die Bremsbeschleunigung.

(b) Wie lang hat der Unfall gedauert?

Beantwortung der Fragen

(a) **Bremsbeschleunigung**

$$\begin{aligned} x &= \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \\ \Leftrightarrow a &= \frac{v^2 - v_0^2}{2x} \\ &= \frac{\left(0\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right) - \left(13.9\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right)}{2 \cdot 1.20\mathrm{m}} \\ &\approxeq -80\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \end{aligned} \tag{2.24}$$

b) Mit welcher Kraft müsste sich der nicht angeschnallte Fahrer (75kg Masse) am Amaturenbrett abstützen?

$$F = ma = 75\mathrm{km} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 6000\mathrm{N} \tag{2.25}$$