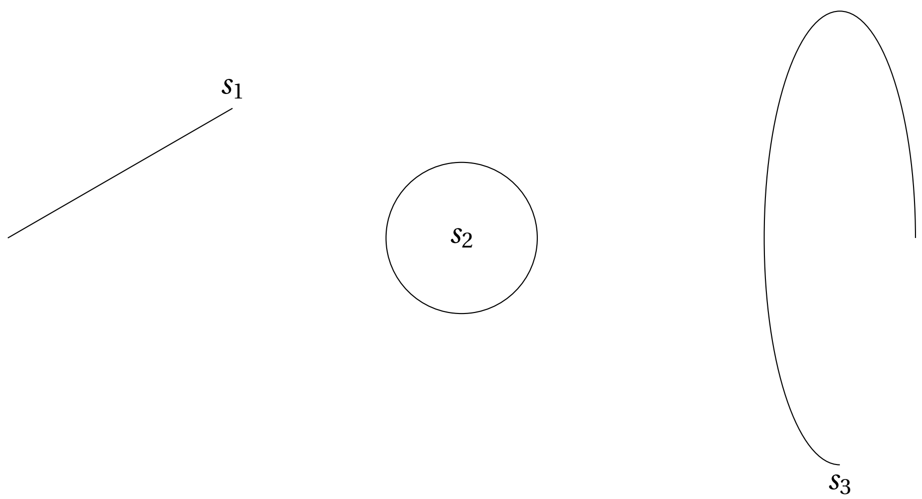
Mechanik

1 Grössen und Einheiten

1.1 Weg

Eine sehr wichtige Grösse in der gesamten Physik ist der Weg. Um die Länge eines Weges zu bestimmen muss man ihn messen. Messen bedeutet vergleichen mit einer Einheit. Das Formelzeichen für den Weg ist s. Die Grundeinheit (SI-Einheit, von französisch Système international d'unités) des Weges ist der Meter. Abgekürzt wird die Einheit mit m. Die Einheit einer physikalischen Grösse schreibt man in eckigen Klammern, also $[s] = \mathrm{m}$.

AUFGABE 1: Bestimmen Sie die Länge der Wege s_1, s_2 und s_3.



AUFGABE 2: Die ursprüngliche Definition des Meters definiert ihn als das $4 \cdot 10^{-7}$-fache des Erdumfangs am Äquator.

a) Welchen Umfang hat die Erde am Äquator (nach dieser Definition)?

b) Wäre die Erde eine ideale Kugel, wie gross wäre ihr Radius?

c) Welches Volumen hätte die Erde?

AUFGABE 3: Ein Bildschirm hat eine Diagonale von $15{,}6''$. Wie vielen Zentimetern entspricht das?

AUFGABE 4: Ein Drucker hat eine Auflösung von 300 dpi (dots per inch). Wie viele Punkte druckt er pro Quadratzentimeter?

1.2 Zeit

Um die Zeit t zu messen, orientiert sich die Menschheit schon seit Jahrtausenden an den Gestirnen. Winter- und Sommersonnenwenden wurden schon in der Steinzeit gefeiert. Das Messgerät zur Zeitmessung ist die Uhr. Die SI-Einheit der Zeit ist die Sekunde (s). Traditionell ist die Sekunde der 86 400-ste Teil ($24 \cdot 60 \cdot 60$) eines Tages. Seit 1967 wird die Sekunde über eine atomare Anregung definiert. Daher auch der Name Atomuhr.

AUFGABE 5: Wie viele Sekunden hat eine Woche?

AUFGABE 6: Das Universum ist etwa $4{,}3 \cdot 10^{17}$ s alt. Wie viele Jahre sind das?

1.3 Masse

Eine weitere häufig gebrauchte Grösse ist die Masse m. Ihre SI-Einheit ist das Kilogramm (kg). Anders als bei den anderen Einheiten, hat das Kilogramm noch keine moderne, ausschliesslich auf Naturkonstanten basierende Definition. Das Urkilogramm besteht aus einer Platin-Iridium-Legierung und wird in Paris verwahrt.

AUFGABE 7: Ein Auto hat ein Gewicht von 1,6 T. Wie viele Gramm sind das?

AUFGABE 8: Eine Tintenpatrone mit 10 g Tinte kostet 30 Fr. Wie viel kostet es einen Buchstaben zu drucken, wenn dafür 3 μg Tinte verbraucht werden.

AUFGABE 9: Eine Idee das Kilogramm neu zu definieren, besteht im Abzählen von Atomen. Jedes Atom hat eine bestimmte Masse. Gesucht ist nun die richtige Anzahl eines bestimmten Atomtyps. Wie viele Atome $^{28}_{14}\mathrm{Si}$ (Silizium, mit atomarer Masse 28) benötigt man, für ein Kilogramm?

Gold	19290	Sandstein	2400	Ethanol	789
Quecksilber	13546	Glas	2500	Diesel	830
Aluminium	2700	Diamant	3510	Olivenöl	910
Wasser (0 °C)	1000	Silber	10490	Meerwasser	1025
Eis (0 °C)	917	Uran	19050	Milch	1030
Holz (Kiefer)	520	Platin	21450	Helium (0 °C)	0,1785
Luft	1.2041	Blei	11340	Wasserstoff (0 °C)	0,0899

Tabelle 1: Dichte verschiedener Materialien in (kg/m^3).

2 Die Dichte

Die Dichte (ρ) ist das Verhältnis zwischen Masse (m) und Volumen (V).

$$\boxed{\rho = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}} = \frac{m}{V}, \quad \text{Einheit:}[\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

Die Dichte ist eine Materialkonstante und kann zur Unterscheidung verschiedener Materialien verwendet werden. Sie ist unabhängig von Form und Grösse des Gegenstands. Die Dichte von Festkörpern ist grösser als die Dichte von Gasen. In Tabelle 1 sind die Dichten einiger Materialien angegeben.

AUFGABE 10: Ein Würfel mit einer Kantenlänge von 10 cm wiegt 2,7 kg. Aus welchem Material ist der Würfel? Welche Masse hätte der Würfel, wenn er aus Gold wäre?

AUFGABE 11: Berechnen Sie die Dichte der Erde. Nehmen Sie an, dass die Erde eine Kugel mit einem Umfang von 40 000 km ist. Die Masse der Erde ist $5{,}974 \cdot 10^{24}$ kg.

AUFGABE 12: Die Dichte der Sonne ist 1,4 g/cm^3. Die Masse ist $1{,}989 \cdot 10^{30}$ kg. Welches Volumen hat die Sonne?.

AUFGABE 13: Ein Neutronenstern mit der dreifachen Sonnenmasse hat einen Durchmesser von etwa 20 km. Wie gross ist seine Dichte?

3 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit ist eine abgeleitete Grösse. Sie gibt an, wie viel Weg Δs in einem Zeitintervall Δt zurückgelegt werden. Wenn sich weder Betrag noch Richtung der Geschwindigkeit ändern, so spricht man von einer *gradlinig gleichförmig* Geschwindigkeit.

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} \quad \text{oder} \quad \bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$
$$\text{Einheit}: [v] = \frac{\text{Meter}}{\text{Sekunde}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Mit dem Strich über dem $\bar{v}$ wird angedeutet, dass eine durchschnittliche Geschwindigkeit gemeint ist. Diese kann von der *Momentangeschwindigkeit* abweichen, wenn das bewegte Teilchen beschleunigt wird.

AUFGABE 14: Ein Velofahrer braucht für eine 18 km lange Strecke 45 min. Wie hoch ist seine Durchschnittsgeschwindigkeit?

AUFGABE 15: Ein Floss treibt mit konstanter Geschwindigkeit auf einem Fluss. Die Fliessgeschwindigkeit des Flusses ist 1 m/s. Wie weit ist das Floss nach einer Stunde gekommen?

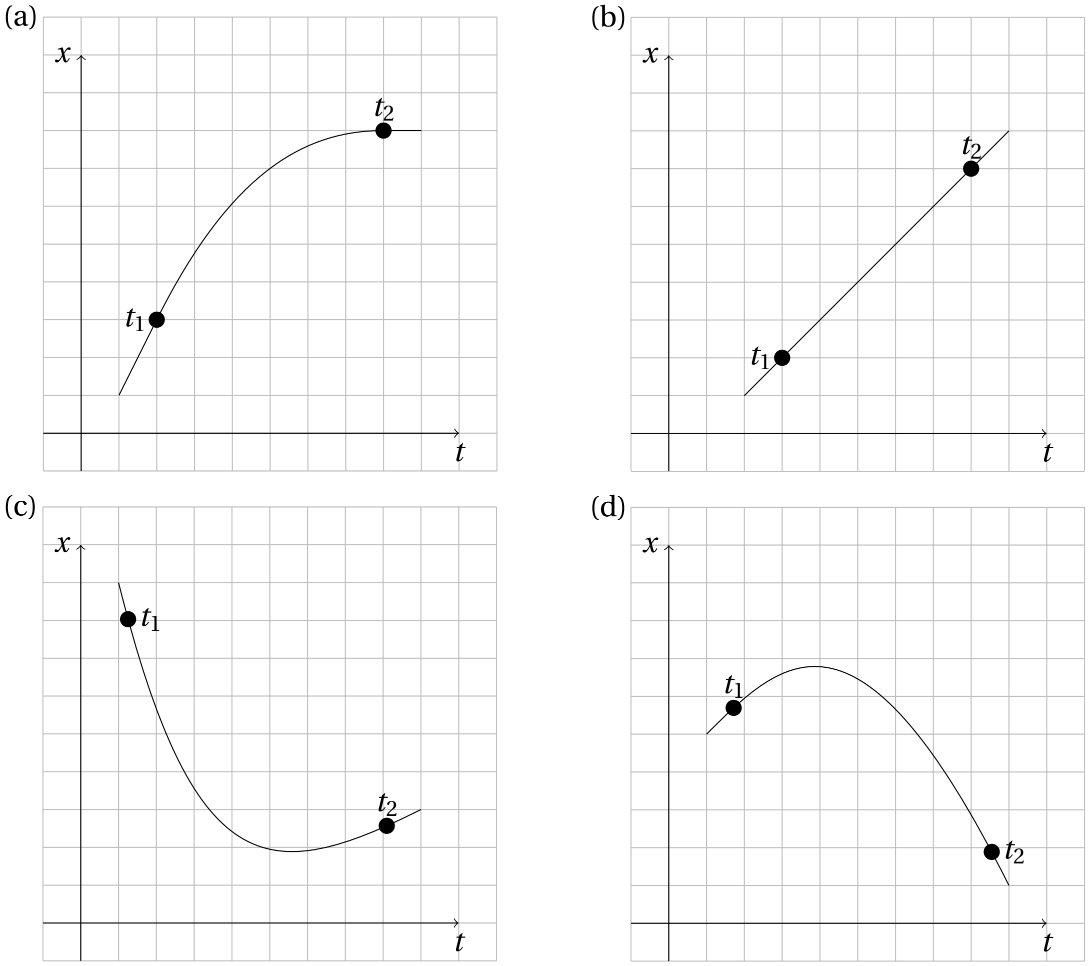
AUFGABE 16: Wie lange braucht das Licht für die Entfernung von

a) der Sonne zur Erde (der mittlere Abstand ist $1{,}5 \cdot 10^{11}$m),

b) der Erde zum Mond (mittlerer Abstand $3{,}84 \cdot 10^{8}$m)?

AUFGABE 17: Wie weit ist ein Lichtjahr (ein Lichtjahr ist die Strecke die das Licht in einem Jahr im Vakuum zurücklegt)?

AUFGABE 18: Geben Sie für die vier folgenden Weg-Zeit-Diagramme an, ob die Geschwindigkeit v_1 zum Zeitpunkt t_1 grösser, kleiner oder gleich der Geschwindigkeit v_2 zum Zeitpunkt t_2 ist.


(a)
x
t
t_1
t_2
(b)
x
t
t_1
t_2
(c)
x
t
t_1
t_2
(d)
x
t
t_1
t_2

Beschleunigung

Die Beschleunigung ist eine abgeleitete Grösse. Sie gibt an, wie sich die Geschwindigkeit mit der Zeit ändert.

Die Bewegung eines Massenpunktes heisst *gradlinig gleichförmig beschleunigt*, wenn der Körper sich mit einer konstanten Beschleunigung a geradlinig bewegt. Wird er konstant beschleunigt, ändert sich seine Geschwindigkeit linear mit der Zeit.

$$\text{Beschleunigung} = \frac{\text{Geschwindigkeit}}{\text{Zeit}} \quad \text{oder} \quad \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
$$\text{Einheit}: [a] = \frac{\text{Meter}}{\text{Sekundequadrat}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Mit dem Strich über dem $\bar{a}$ wird angedeutet, dass eine durchschnittliche Beschleunigung gemeint ist.

AUFGABE 19: Ein Zug beschleunigt auf einer Hochgeschwindigkeitsstrecke aus dem Stand mit einer Beschleunigung von $2\,\text{m/s}^2$.

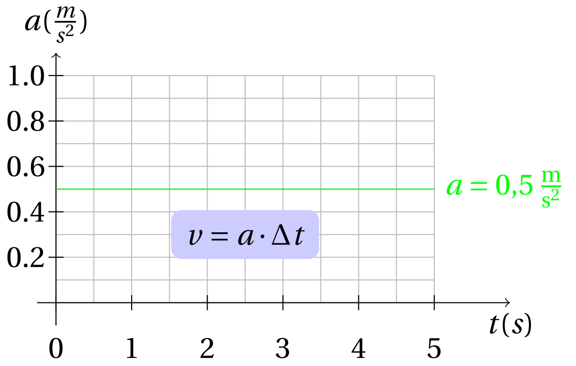
a) Welche Geschwindigkeit hat er nach 1 min erreicht?

b) Welche Strecke hat er bis dahin zurückgelegt?

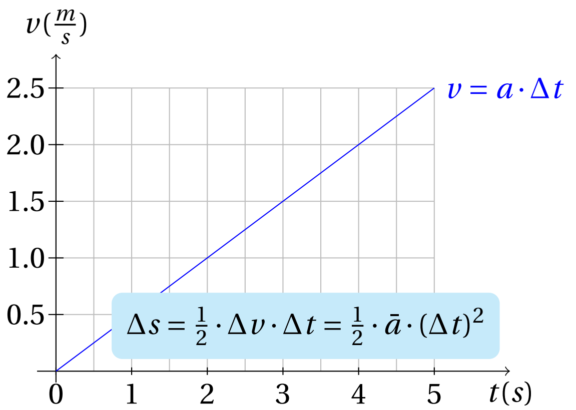
AUFGABE 20: Ein Auto beschleunigt gradlinig gleichförmig in 5s von 0km/h auf 100km/h. Wie gross ist die Beschleunigung?

Bewegungsdiagramme

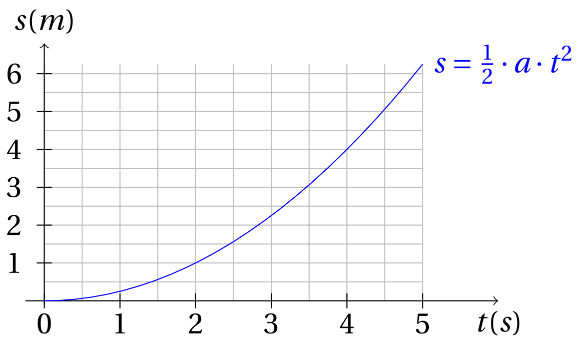
Zeitliche Bewegungsabläufe können übersichtlich in Bewegungsdiagrammen dargestellt werden. Dabei werden die physikalischen Grössen Weg (s), Geschwindigkeit (v) und Beschleunigung (a) als Funktion der Zeit dargestellt.



Eine Masse, die gradlinig gleichförmig beschleunigt wird zeichnet man im Beschleunigungs-Zeit-Diagramm als Gerade ohne Steigung. Die Fläche unter der Kurve $\Delta t \cdot a$ ist die Geschwindigkeitszunahme im Zeitraum Δt.



Im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm wird die Geschwindigkeit durch eine Gerade mit der Steigung a dargestellt. Die Fläche unter der Kurve $\Delta t \cdot v$ ist der zurückgelegte Weg im Zeitraum Δt.



Im Weg-Zeit-Diagramm wird der zurückgelegte Weg Δs durch eine Parabel dargestellt. Die Steigung der Kurve ist $a \cdot t$ und ist die Momentangeschwindigkeit zum Zeitpunkt t.

Aus den Bewegungsdiagrammen lassen sich zwei wichtige Formeln ablesen.

$$v = v_0 + a \cdot t \qquad s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Durch auflösen der ersten Gleichung $v = v_0 + a \cdot t$ nach t und einsetzen in die zweite bekommen wir eine Gleichung, in der die Zeit t nicht vorkommt.

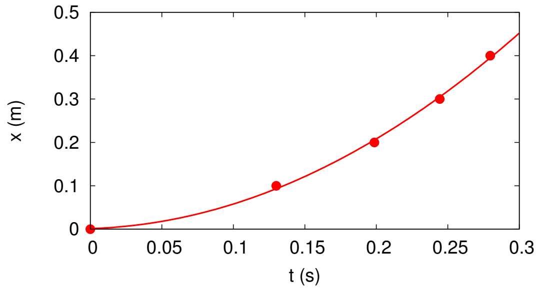
$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot (s - s_0)$$

AUFGABE 21: Ein Auto beschleunigt gradlinig gleichförmig in 5s von 0km/h auf 100km/h. Wie gross ist die Beschleunigung?

Der freie Fall

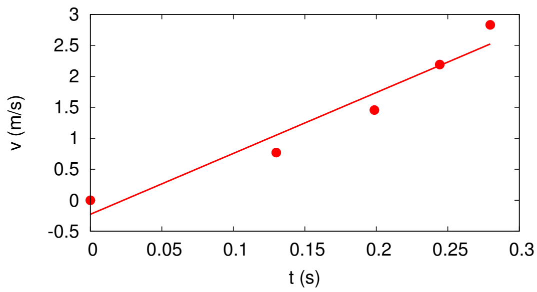
Eine Masse fällt im Schwerefeld der Erde runter. Wie läuft der Fall der Masse ab? Diese Frage kann mit dem Aufbau eines Experimentes beantwortet werden. Dazu lassen wir eine Metallkugel aus einer vorher festgelegten Höhe zu Boden fallen. Die Kugel benötigt für den Fall eine bestimmte Zeit Δt die wir messen. Um Fehler durch die Messung zu verringern, nehmen wir mehrere Zeitmessungen zu jeder Höhenänderung vor und mitteln die Zeitspanne. Dies wird für verschiedene Fallhöhen wiederholt. Die ermittelten Zeiten werden in einem Weg-Zeit-Diagramm eingetragen.

Δs(m)	Δt(ms)	$\overline{\Delta t}$(ms)
0.1	129 131 130	130
0.2	195 200 201	199
0.3	241 248 244	244
0.4	278 285 276	280



Nun wollen wir aus dem Weg-Zeit-Diagramm ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm erstellen. Dabei gibt es einige Schwierigkeiten. Für das v-t-Diagramm wird die Momentangeschwindigkeit benötigt. Durch die Messung kann allerdings nur eine mittlere Geschwindigkeit bestimmt werden. Damit die mittlere Geschwindigkeit möglichst nahe an der Momentangeschwindigkeit ist, sollte eine möglichst kleine Zeitspanne Δt betrachtet werden. Wir berechnen die Geschwindigkeit für die jeweils letzten 10 cm.

Δs	Δt(s)	$\bar{v}$(m/s)
0	0	0
0.1	130 ms − 0 ms = 130 ms	0.77
0.2	199 ms − 130 ms = 69 ms	1.45
0.2	244 ms − 199 ms = 45 ms	2.22
0.2	280 ms − 244 ms = 36 ms	2.78



Die berechneten Durchschnittsgeschwindigkeiten benutzen wir nun als Momentangeschwindigkeiten und tragen die Werte im v-t-Diagramm ein. Die Steigung der Geschwindigkeitskurve im v-t-Diagramm ist 9,92 m/s^2. Damit haben wir mit relativ einfachen Mitteln den Wert für die Fallbeschleunigung auf der Erde reproduziert und gezeigt, dass ein fallendes Objekt gleichmässig gleichförmig beschleunigt wird, wenn es sich im Schwerefeld der Erde befindet. Mit diesem Wissen ist es nicht mehr nötig die Momentangeschwindigkeit durch eine Durchschnittsgeschwindigkeit zu approximieren. Stattdessen kann die Fallbeschleunigung aus dem Weg-Zeit-Diagramm bestimmt werden. Die Geschwindigkeit berechnet sich dann mit $v = g \cdot t$.

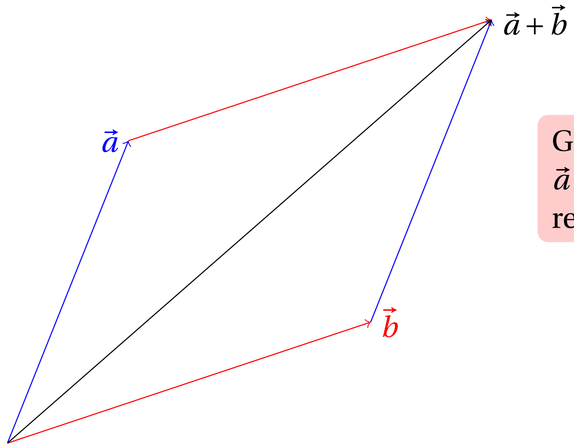
Bewegung in drei Raumrichtungen

Vektoren

Physikalische Grössen wie die Geschwindigkeit v, die Beschleunigung a oder auch der Weg s sind vektorielle Grössen. Ein Vektor hat nicht nur eine Grösse, sondern auch noch eine Richtung. Vektoren werden daher oft als Pfeile gezeichnet. Die Länge des Pfeils ist dann der Betrag des Vektors, die Richtung des Pfeils gibt die Richtung des Vektors an.

Ein Vektor kann mit einem geeigneten Koordinatensystem in Komponenten zerlegt werden.

Vektoren kann man graphisch addieren.



Graphisch kann die Summe der Vektoren $\vec{a}+\vec{b}$ durch Parallelverschiebung der Vektoren $\vec{a}$ oder $\vec{b}$ erreicht werden.

Das bedeutet, dass man eine komplizierte Bewegung, wie zum Beispiel die Bewegung eines geworfenen Balls, oder einer Pistolenkugel für jede Raumrichtung unabhängig voneinander lösen kann. Dies macht es erst möglich Bewegungsabläufe in mehr als einer Dimension zu berechnen.

AUFGABE 22: Ein Kaugummi wird horizontal aus dem Fenster ($h = 3\,\text{m}$) eines fahrenden Zuges ($v_{Zug} = 120\,\text{km/h}$) gespuckt. Die Spuckgeschwindigkeit ist $3\,\text{m/s}$. Wo fällt das Kaugummi zu Boden?

AUFGABE 23: Ein Wasserstrahl tritt mit einer konstanten Geschwindigkeit von $30\,\text{m/s}$ senkrecht nach oben aus.

a) Wie lange braucht ein Wassertropfen ganz nach oben?

b) Wie hoch kommt der Wassertropfen dabei?

c) Welche Anfangsgeschwindigkeit v_0 braucht der Wasserstrahl damit die Fontäne $100\,\text{m}$ hoch ist?

d) Wie lange dauert der Aufstieg dann?

e) Ein konstanter Seitenwind von 1 m/s wirkt auf die Fontäne. Wie gross ist der Ablenkungswinkel?

f) Wie weit weg vom Ursprung der Fontäne kommen die Wassertropfen auf der Wasseroberfläche an?

g) Wie stark muss der Wind wehen, damit die Wassertropfen nach 100 m wieder aufkommen?

h) Wie hoch müsste die Fontäne sein, damit die gleiche Auslenkung (100 m) wie in g) mit einem Seitenwind von 1 m/s erreicht wird?

Musterlösungen

LÖSUNG 1: Der Weg s_1 sollte 3,43 cm lang sein.
Der Weg s_2 beschreibt einen Kreis mit einem Radius von 1 cm. Sollte also 6,28 cm lang sein. Der Weg s_3 beschreibt dreiviertel eine Ellipse mit einem Radius von 1 cm und einem Radius von 3 cm. Dieser Weg sollte etwa 10 cm lang sein.

LÖSUNG 2:

a) Der Umfang am Äquator wäre $4 \cdot 10^7$ m. Das sind $4 \cdot 10^4$ km, also 40 000 km.

b)

$$U = 2 \cdot \pi \cdot r \rightarrow r = \frac{U}{2 \cdot \pi} = \frac{40\,000\,\mathrm{km}}{2 \cdot \pi} = 6366{,}2\,\mathrm{km}$$

c)

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = 1{,}08 \cdot 10^{12}\,\mathrm{km}^3 = 1{,}08 \cdot 10^{21}\,\mathrm{m}^3$$

LÖSUNG 3: Ein Zoll sind 2,54 cm. Damit sind 15,6″ gleich 39,624 cm.

LÖSUNG 4: Ein Inch sind 2,54 cm (so wie ein Zoll). Dann kommen 118 Punkte auf einen Zentimeter. Das bedeutet 13 924 Punkte auf einen Quadratzentimeter.

LÖSUNG 5:

$$60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 7 = 604\,800$$

LÖSUNG 6: Ein Jahr hat etwa 365,25 Tage. Das sind 31 557 600 Sekunden. Damit ist das Universum etwa $1{,}36 \cdot 10^{10}$ Jahre alt. Das sind 13,6 Milliarden Jahre.

LÖSUNG 7:

$$m = 1{,}6\,\mathrm{T} = 1600\,\mathrm{kg} = 1\,600\,000\,\mathrm{g}$$

LÖSUNG 8:

$$\frac{3\,\mu\mathrm{g}}{10\,\mathrm{g}} \cdot 30\,\mathrm{Fr} = \frac{3 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{kg}}{10 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{kg}} \cdot 30\,\mathrm{Fr} = 9 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Fr}$$

LÖSUNG 9: 1 Mol dieses Silizium Isotops wiegt 28 g. Also benötigt man $\frac{1000\,\mathrm{g}}{28\,\mathrm{g/mol}} = 35{,}714$ mol dieses Isotops. Das sind $35{,}714\,\mathrm{mol} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1} = 2{,}1500 \cdot 10^{25}$ Atome.

LÖSUNG 10: $V = 0.1^3 m^3 = 0.001 m^3$ $\rho = m/V = \frac{2{,}7\,\mathrm{kg}}{0{,}001\,\mathrm{m}^3} = 2700\,\mathrm{kg/m}^3$ (Aluminium)

$m = V \cdot \rho = 0{,}001\,\mathrm{m}^3 \cdot 19\,290\,\mathrm{kg/m}^3 = 19{,}29\,\mathrm{kg}$

LÖSUNG 11:

$$U_{\text{Kreis}} = 2\pi \cdot R \to R = \frac{U_{Kreis}}{2 \cdot \pi} = \frac{40 \cdot 10^6\,\mathrm{m}}{2 \cdot \pi} = 6{,}3662 \cdot 10^6\,\mathrm{m}$$

$$V_{\text{Kugel}} = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3 = 1{,}0808 \cdot 10^{21}\,\mathrm{m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{5{,}974 \cdot 10^{24}\,\mathrm{kg}}{1{,}0808 \cdot 10^{21}\,\mathrm{m}^3} = 5527{,}4\,\mathrm{kg/m}^3 = 5{,}5\,\mathrm{g/cm}^3$$

LÖSUNG 12:

$$\rho = \frac{m}{V} \to V = \frac{m}{\rho} \approx \frac{2 \cdot 10^{30}\,\mathrm{kg}}{1400\,\mathrm{kg/m}^3} = 1{,}4286 \cdot 10^{27}\,\mathrm{m}^3$$

LÖSUNG 13:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{3 \cdot 1{,}989 \cdot 10^{30}\,\mathrm{kg}}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot 1 \cdot 10^{12}\,\mathrm{m}^3} = 1{,}424 \cdot 10^{18}\,\mathrm{kg/m}^3$$

LÖSUNG 14:

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{18\,\mathrm{km}}{0{,}75\,\mathrm{h}} = 24\,\mathrm{km/h}$$

LÖSUNG 15:

$$\Delta s = \bar{v} \cdot \Delta t = 1\,\mathrm{m/s} \cdot 3600\,\mathrm{s} = 3600\,\mathrm{m}$$

LÖSUNG 16:

a)

$$\Delta t = \frac{1{,}5 \cdot 10^{11}\,\mathrm{m}}{3 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}} = 500\,\mathrm{s}$$

b)

$$\Delta t = \frac{3{,}84 \cdot 10^8\,\mathrm{m}}{3 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}} = 1{,}28\,\mathrm{s}$$

LÖSUNG 17:

$$\Delta t = 1\,\mathrm{a} = 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 31\,536\,000\,\mathrm{s}$$
$$\Delta s = v \cdot \Delta t = 3 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s} \cdot 31\,536\,000\,\mathrm{s} = 9{,}4608 \cdot 10^{15}\,\mathrm{m}$$

LÖSUNG 18:

a) $v_1 > v_2 \qquad |v_1| > |v_2|$

b) $v_1 = v_2 \qquad |v_1| = |v_2|$

c) $v_1 < v_2 \qquad |v_1| > |v_2|$

d) $v_1 > v_2 \qquad |v_1| < |v_2|$

LÖSUNG 19:

a)

$$v = v_0 + a \cdot \Delta t = 2\,\mathrm{m/s^2} \cdot 60\,\mathrm{s} = 120\,\mathrm{m/s}$$

b)

$$\Delta s = v_0 \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot (\Delta t)^2 = 0.5 \cdot 2\,\mathrm{m/s^2} \cdot (60\,\mathrm{s})^2 = 3600\,\mathrm{m}$$

LÖSUNG 20:

$$\Delta v = v_1 - v_0 = 100\,\mathrm{km/h} = 27{,}8\,\mathrm{m/s}$$
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27{,}8\,\mathrm{m/s}}{5\,\mathrm{s}} = 5{,}56\,\mathrm{m/s^2}$$

LÖSUNG 21:

$$\Delta v = v_1 - v_0 = 100\,\mathrm{km/h} = 27{,}8\,\mathrm{m/s}$$
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27{,}8\,\mathrm{m/s}}{5\,\mathrm{s}} = 5{,}56\,\mathrm{m/s^2}$$

LÖSUNG 22: Zuerst berechnen wir das Fallen des Kaugummi im Schwerefeld der Erde. Es gilt: $s = v_{0z} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$. Horizontal meint $v_0 z = 0$. $\rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3\,\mathrm{m}}{10\,\mathrm{m/s^2}}} = 0{,}77\,\mathrm{s}$ Das Kaugummi hat die gleiche Geschwindigkeit wie der Zug $v_x = 120\,\mathrm{km/h} = 33{,}3\,\mathrm{m/s}$. $\rightarrow s_x = v_x \cdot t = 33{,}3\,\mathrm{m/s} \cdot 0{,}77\,\mathrm{s} = 25{,}7\,\mathrm{m}$. $s_y = v_y \cdot t = 3\,\mathrm{m/s} \cdot 0{,}77\,\mathrm{s} = 2{,}3\,\mathrm{m}$

LÖSUNG 23:

a)

$$v = v_0 - g \cdot t = 0 \rightarrow v_0 = g \cdot t \rightarrow t = \frac{v_0}{g} = \frac{30\,\mathrm{m/s}}{10\,\mathrm{m/s^2}} = 3\,\mathrm{s}$$

b) Entweder mit der Formel $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 30\,\mathrm{m} \cdot 3\,\mathrm{s} - 0{,}5 \cdot 10\,\mathrm{m/s^2} \cdot (3\,\mathrm{s})^2 = 90\,\mathrm{m} - 45\,\mathrm{m} = 45\,\mathrm{m}$
oder man berechnet die Fläche im v-t-Diagramm $s = \frac{1}{2} \cdot v_0 \cdot t = 15\,\mathrm{m/s} \cdot 3\,\mathrm{s} = 45\,\mathrm{m}$.

c) Durch ausprobieren bekommen wir einen Wert zwischen 40 m/s und 50 m/s.
Mit $v^2 = v_0^2 - 2 \cdot a \cdot \Delta s = 0\mathrm{m^2/s^2} \rightarrow v_0^2 = 2 \cdot a \cdot \delta s \rightarrow v_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta s} = \sqrt{2 \cdot 10\,\mathrm{m/s^2} \cdot 100\,\mathrm{m}} = 44{,}72\,\mathrm{m/s}$

d) Wie in Teil a) $\rightarrow t = 4{,}5\,\mathrm{s}$.

e) $s_x = v_x \cdot t = 1\,\mathrm{m/s} \cdot 4{,}5\,\mathrm{s} = 4{,}5\,\mathrm{m}$
$\tan\alpha = \frac{4{,}5\,\mathrm{m}}{100\,\mathrm{m}} = 0{,}045 \rightarrow \alpha = 2{,}6°$

f) $s_x = v_x \cdot t = 1\,\mathrm{m/s} \cdot 2 \cdot 4{,}5\,\mathrm{s} = 9\,\mathrm{m}$

g) $v_x = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{100\,\mathrm{m}}{9\,\mathrm{s}} = 11{,}1\,\mathrm{m/s}$

h)

$$t = \frac{\Delta s}{v_x} = \frac{100\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{m/s}} = 100\,\mathrm{s} \rightarrow 50\,\mathrm{s}$$

um den höchsten Punkt zu erreichen.
Jetzt wie in a) $v_0 = g \cdot t = 10\,\mathrm{m/s}^2 \cdot 50\,\mathrm{s} = 500\,\mathrm{s}$.
Wie in b) $\Delta s = \frac{1}{2} \cdot v_0 \cdot t = \frac{1}{2} \cdot 500\,\mathrm{m/s} \cdot 50\,\mathrm{s} = 25\,000\,\mathrm{m}$.