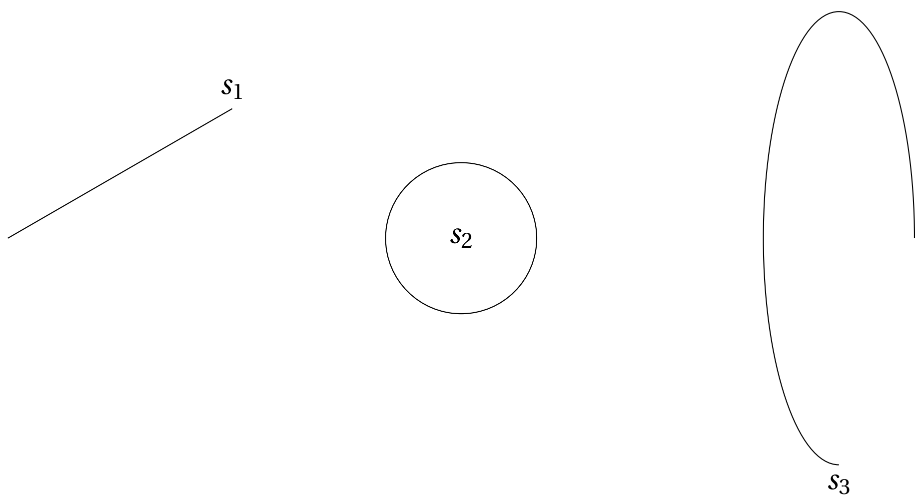
# Mechanik

## 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 $s_3$.




Lösung $s_1 = 3{,}43\,\mathrm{cm}$, $s_2 = 6{,}28\,\mathrm{cm}$, $s_3 \approx 10\,\mathrm{cm}$

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?

Lösung a) 40 000 km, b) 6366,2 km, c) $1{,}08 \cdot 10^{21}$ m$^3$

AUFGABE 3: Ein Bildschirm hat eine Diagonale von 15,6″. Wie vielen Zentimetern entspricht das? Lösung 39,624 cm

AUFGABE 4: Ein Drucker hat eine Auflösung von 300 dpi (dots per inch). Wie viele Punkte druckt er pro Quadratzentimeter?
Lösung Etwa 13 900 Punkte.

AUFGABE 5: Ursprünglich wurde das Meter als der 40 000 000ste Teil des Erdumfangs definiert. Um wie viele Millimeter länger oder kürzer ist das heutige Meter im Vergleich? Tipp: Der Erdumfang ist nach heutiger Messung 40 075 km lang.

## 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 6: Wie viele Sekunden hat eine Woche? Lösung 604 800

AUFGABE 7: Das Universum ist etwa $4{,}3 \cdot 10^{17}$ s alt. Wie viele Jahre sind das? Lösung 13,6 Milliarden Jahre

## 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 8: Ein Auto hat ein Gewicht von 1,6 T. Wie viele Gramm sind das? Lösung 1 600 000 g

AUFGABE 9: Eine Tintenpatrone mit 10 g Tinte kostet 30 Fr. Wie viel kostet es einen Buchstaben zu drucken, wenn dafür 3 $\mu$g Tinte verbraucht werden. Lösung $9 \cdot 10^{-6}$ Fr

AUFGABE 10: 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 $^{28}_{14}$Si (Silizium, mit atomarer Masse 28) benötigt man, für ein Kilogramm? Lösung $2{,}1500 \cdot 10^{25}$

# 2 Kinematik

AUFGABE 11: Was verstehen Sie unter Geschwindigkeit? Stellen Sie eine Definition für die Geschwindigkeit auf.

AUFGABE 12: Welche Geschwindigkeit haben Sie auf Ihrem morgendlichen Schulweg? Überlegen Sie für jeden Teilweg (Fussweg, Bus/Bahn, ...).

- Wie weit ist der Weg?
- Wie lange brauchen ich für den Weg?

Berechnen Sie daraus die Durchschnittsgeschwindigkeiten der Teilwege. Wie gross ist die höchste Geschwindigkeit auf Ihrem Weg?

Stellen Sie Ihren Schulweg in einem Koordinatensystem graphisch dar. Tragen Sie auf er $x$-Achse die Zeit auf und auf der $y$-Achse den Weg auf.

AUFGABE 13: Ein Velofahrer braucht für eine 18 km lange Strecke 45 min. Wie hoch ist seine Durchschnittsgeschwindigkeit?

Lösung 24 km/h

AUFGABE 14: 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?

Lösung 3600 m

AUFGABE 15: 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)?

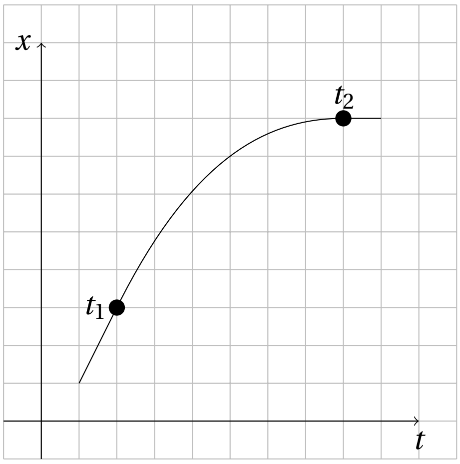
Lösung a) 500 s, b) 1,28 s

AUFGABE 16: Wie weit ist ein Lichtjahr (ein Lichtjahr ist die Strecke die das Licht in einem Jahr im Vakuum zurücklegt)?

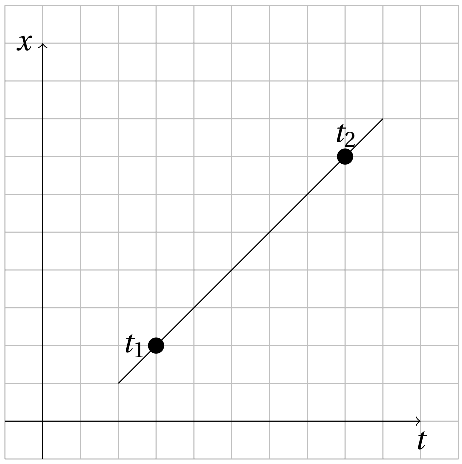
Lösung $9{,}4608 \cdot 10^{15}$ m

AUFGABE 17: 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.

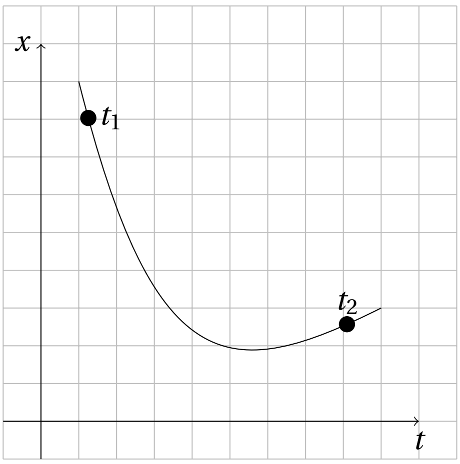
(a)



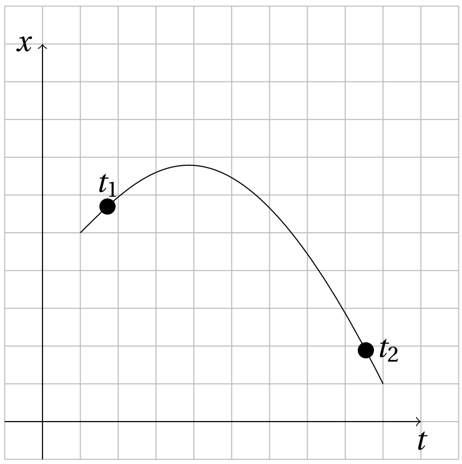

(b)




(c)




(d)




Lösung a) $v_1 > v_2$ $|v_1| > |v_2|$
b) $v_1 = v_2$ $|v_1| = |v_2|$
c) $v_1 < v_2$ $|v_1| > |v_2|$
d) $v_1 > v_2$ $|v_1| < |v_2|$

AUFGABE 18: Lassen Sie einen Gegenstand (Stein, Metallmutter oder etwas anderes kleines schweres) aus verschiedenen Höhen fallen und messen Sie die Zeit, die es zum Herunterfallen benötigt (Fallzeit).

Erstellen Sie eine Tabelle, in die Sie die Messwerte eintragen. Messen Sie für fünf verschiedene Höhen und wiederholen Sie die Messungen einige Male (Sie bekommen dadurch Übung und die Messwerte werden genauer). Berechnen Sie für jede Fallhöhe den Mittelwert der Fallzeit und tragen Sie diese in ein Weg-Zeit-Diagramm ($x$-Achse Zeit, $y$-Achse Weg) ein.

Können Sie einen Zusammenhang zwischen Fallhöhe und Fallzeit feststellen? Was müsste man in diesem Experiment verbessern?

AUFGABE 19: Schauen Sie sich das Video an und übernehmen Sie die Messwerte in eine Tabelle. Zwischen jedem Bild vergeht 0,1 Sekunden. Zeichnen Sie die Messwerte in ein Weg-Zeit-Diagramm ein.

Kennen Sie die Form dieser Kurve? Wie gross ist die Konstante?

AUFGABE 20: Ein Zug beschleunigt auf einer Hochgeschwindigkeitsstrecke aus dem Stand mit einer Beschleunigung von $2\,\mathrm{m/s^2}$.

a) Welche Geschwindigkeit hat er nach 1 min erreicht?

b) Welche Strecke hat er bis dahin zurückgelegt?

Lösung a) $120\,\mathrm{m/s}$, b) $3600\,\mathrm{m}$

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

Lösung $5{,}56\,\mathrm{m/s^2}$

AUFGABE 22: Ein Auto fährt geradlinig gleichförmig mit einer Geschwindigkeit von 120km/h auf der Autobahn.

a) Wie weit kommt es in drei Sekunden?

b) Vor einem Tunnel bremst der Fahrer das Auto in zwei Sekunden auf $100\,\mathrm{km/h}$ ab. Wie gross ist die Beschleunigung?

c) Der Tunnel ist $140\,\mathrm{m}$ lang. Wie lange braucht das Auto durch den Tunnel?

d) Zeichnen Sie ein $v$-$t$-Diagramm und ein $a$-$t$-Diagramm der Aufgabe.

Lösung a) $100\,\mathrm{m}$, b) $-2{,}8\,\mathrm{m/s^2}$, c) $5\,\mathrm{s}$

AUFGABE 23: Sie sehen ein Experiment mit einem Wasserstrahl.

a) Schreiben Sie sich Fragen auf, die Ihnen zu diesem Experiment einfallen.

b) Diskutieren Sie Ihre Fragen mit Ihrem Nachbarn und versuchen Sie Antworten auf Ihre Fragen zu finden.

**Tipp:** Es ist immer gut eine Skizze des Experiments anzufertigen.

AUFGABE 24: Ein Tropfen Wasser fällt aus einer Höhe von 50 Zentimeter zu Boden. Wie lange braucht der Wassertropfen um die Erde zu erreichen? Lösung 0,32 s

AUFGABE 25: Nehmen Sie an, Sie leben in einer Welt ohne Schwerkraft. Was müssten Sie bei einer Wasserschlacht mit Wasserpistolen beachten?

AUFGABE 26: Nehmen Sie an, ein Tropfen eines Wasserstrahls kommt mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s parallel zum Boden aus einem Schlauch.

Welche Strecke $s_x$ legt der Tropfen in horizontaler Richtung zurück? Welche Strecke $s_y$ legt der Tropfen in Richtung des Bodens zurück?

a) Füllen Sie die Tabelle:

| $\Delta t$ (s) | $s_x$ (m) | $s_y$ (m) |
|---|---|---|
| 0,1 | | |
| 0,2 | | |
| 0,3 | | |
| 0,4 | | |
| 0,5 | | |

b) Zeichen Sie den Wasserstrahl mit Hilfe der berechneten Werte.

AUFGABE 27: In Aufgabe 23 haben Sie einen Experiment mit einem Wasserstrahl gesehen. Beantworten Sie zu diesem Experiment folgende Fragen:

a) Wie lange fällt ein Wassertropfen des Wasserstrahls bis dieser den Boden erreicht.

b) Wie hoch ist die Geschwindigkeit des Wasserstrahls beim Austritt aus der Flasche.

AUFGABE 28: Ein Ball wird mit einer Geschwindigkeit von 30 m/s nach oben geworfen, und fällt durch die Fallbeschleunigung wieder zu Boden.

a) Zeichnen Sie ein Beschleunigungs-Zeit- und in ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm für diesen Wurf.

b) Wie lange braucht der Ball bis zum höchsten Punkt?

c) Wie hoch steigt der Ball insgesamt?

d) Der Ball soll 50 m hoch kommen. Mit welcher Geschwindigkeit $v_0$ muss er hochgeworfen werden?

e) Zeichnen Sie ein Weg-Zeit-Diagramm und erklären Sie es.

Lösung b) 3,06 s, c) 45,87 m, d) 31,3 m/s

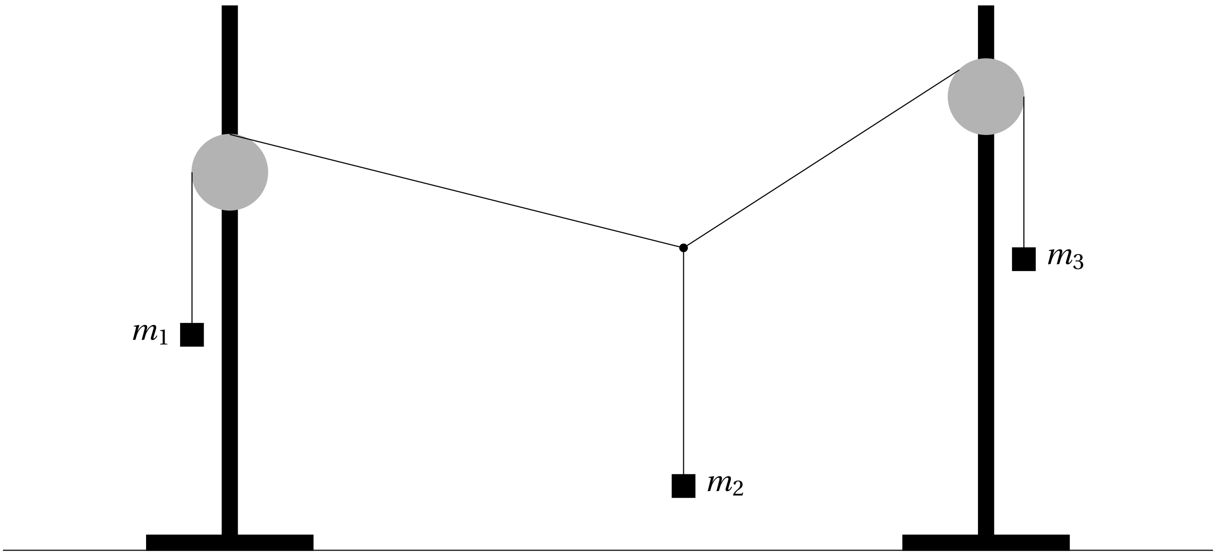
AUFGABE 29: Ein Kaugummi wird horizontal aus dem Fenster ($h = 3$ m) eines fahrenden Zuges ($v_{\text{Zug}} = 120$ km/h) gespuckt. Die Spuckgeschwindigkeit ist 3 m/s.

a) Wo fällt das Kaugummi zu Boden?

b) Wohin fällt das Kaugummi aus der Sicht des Kaugummispuckes? Begründen Sie Ihre Antwort.

Lösung $s_x = 26{,}07$ m und $s_y = 2{,}3462$ m

# 3 Kräfte




AUFGABE 30:

a) Zeichnen Sie die Gewichtskräfte $F'_1$, $F'_2$ und $F'_3$ der Massen $m_1$, $m_2$ und $m_3$ ein.

b) Zeichnen Sie die Fadenkräfte $F_1$, $F_2$ und $F_3$ ein, die am Knotenpunkt angreifen.

c) Konstruieren Sie ein Kräfteparallelogramm der Kräfte $F_1$ und $F_3$, so dass die resultierende Kraft senkrecht nach oben zeigt.

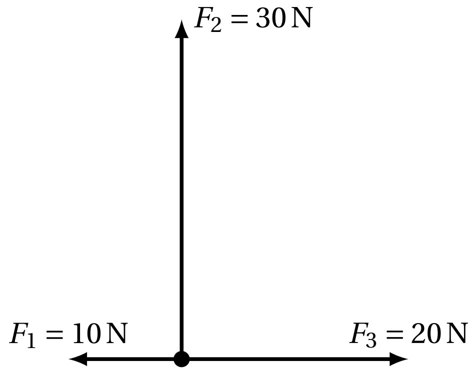
d) Die Kraft $F_1$ sei 4,5 N. Bestimmen Sie die Beträge der Kräfte $F_2$ und $F_3$.

AUFGABE 31:

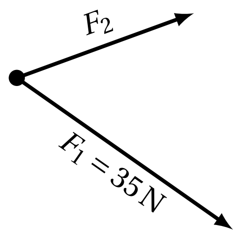
a) Bestimmen Sie die Richtung der resultierenden Kraft in der Abbildung.

b) Es gibt zwei Möglichkeiten den Betrag der resultierenden Kraft zu bestimmen. Welche sind das?

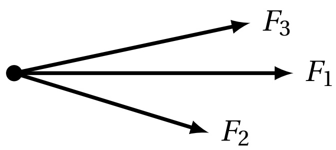
c) Wie gross ist der Betrag?




AUFGABE 32: Die Kräfte $F_1$ und $F_2$ haben den selben Angriffspunkt. Der Betrag der Kraft $F_1$ ist bekannt. Bestimmen Sie Betrag und Richtung jener dritten Kraft mit dem gleichen Angriffspunkt, welche das Gleichgewicht herstellt.




AUFGABE 33: Drei Hunde ziehen einen Hundeschlitten. Der erste Hund zieht mit 37 N, der zweite Hund mit 27 N unter einem Winkel von $-17°$. Der dritte Hund zieht mit einer Kraft von 32 N und einem Winkel von 12° (siehe Zeichnung). In welche Richtung und mit welcher Kraft wird der Schlitten gezogen. Lösen Sie graphisch.




AUFGABE 34: Sie sehen ein Experiment, bei dem zwei Ihrer Mitschüler ein Seil zwischen sich spannen. In die Mitte des Seils wird ein Gewicht gehängt.

a) Was beobachten Sie? Ist das Seil noch gerade oder wird das Seil durch das Gewicht geknickt?

b) Schätzen Sie ab, mit wie viel Kraft Ihre Mitschüler an dem Seil ziehen müssen, damit es maximal einen Zentimeter durch hängt.

c) Zeichnen Sie alle wirkenden Kräfte in einen Kräfteplan ein und bestimmen Sie die Zugkräfte im Seil (nehmen Sie an, das Seil ist sechs Meter lang). Die maximale Auslenkung soll wie bei b) sein.

AUFGABE 35: Messen Sie in kleinen Gruppen (etwa vier Personen) wie ein Spielzeugauto durch das Anhängen eines Gewichtes beschleunigt wird.

Befestigen Sie dazu einen Faden am Auto. Am anderen Ende des Fadens befestigen Sie Gewichte, die Sie dann über die Tischkante rutschen lassen.

Tragen Sie die Messwerte in die Tabelle ein. Berechnen Sie die Gewichtskraft, die das Auto antreibt und die Beschleunigung des Autos. Messen Sie auch das Gewicht des Autos.

Tragen Sie Kraft und Beschleunigung in ein Koordinatensystem ein ($x$-Achse Beschleunigung, $y$-Achse Kraft).

| Messwerte | | | Berechnete Grössen | |
|---|---|---|---|---|
| $\Delta s$ (m) | $\Delta t$ (s) | $m$ (kg) | $a$ (m/s$^2$) | $F$ (N) |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

# 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 6:

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

---

LÖSUNG 7: 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 8:

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

---

LÖSUNG 9:

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

---

LÖSUNG 10: 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 13:

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

LÖSUNG 14:

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

LÖSUNG 15:

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 16:

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

LÖSUNG 17:

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 20:

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 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:

a) Das Auto kommt 100 m weit.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow \Delta s = v \cdot \Delta s = 33{,}3\,\mathrm{m/s} \cdot 3\,\mathrm{s} = 100\,\mathrm{m}$$

b) Die Beschleunigung ist $-2{,}8\,\mathrm{m/s}^2$.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{-5{,}5\,\mathrm{m/s}}{2\,\mathrm{s}} = -2{,}8\,\mathrm{m/s}$$

c) Das Auto braucht 5 Sekunden durch den Tunnel.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{140\,\mathrm{m}}{27{,}8\,\mathrm{m/s}} = 5\,\mathrm{s}$$

---

LÖSUNG 28:

a)

b) Am höchsten Punkt ist die Geschwindigkeit $v = 0$. Wir können also schreiben

$$0 = v_0 + a \cdot t \rightarrow t = -\frac{v_0}{a} = \frac{30\,\mathrm{m/s}}{9.81 m/s^2} = 3{,}06\,\mathrm{s}.$$

c) Dies kann auf drei unterschiedlichen Wegen bestimmt werden.

- $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 30\mathrm{m/s} \cdot 3{,}06\mathrm{s} + 0.5 \cdot (-9{,}81\,\mathrm{m/s}^2) \cdot (3{,}06\mathrm{s})^2 = 91{,}743\mathrm{m} - 45{,}872\mathrm{m} = 45{,}872\,\mathrm{m}$
- $\bar{v} = \frac{1}{2} \cdot (v_0 + v_1) \rightarrow s = \bar{v} \cdot t = 15\,\mathrm{m/s} \cdot 3{,}06\,\mathrm{s} = 45{,}872\,\mathrm{m}$
- Oder man bestimmt die Fläche im $v$-$t$-Diagramm.

d) Der Ball braucht genauso viel Zeit um von unten nach oben aufzusteigen, wie um von oben nach unter herabzufallen. Wir berechnen nun die Zeit um 50 Meter zu fallen.

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}} = \sqrt{\frac{100\,\mathrm{m}}{9{,}81\,\mathrm{m/s}^2}} = 3{,}2\,\mathrm{s}$$

Mit

$$v = v_0 + a \cdot t \rightarrow v_0 = -a \cdot t = 9{,}81\,\mathrm{m/s}^2 \cdot 3{,}2\,\mathrm{s} = 31{,}321\,\mathrm{m/s}.$$

Alternativ kann man auch folgendes rechnen:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \rightarrow v_0 = \sqrt{v^2 - 2 \cdot a \cdot \Delta s} = \sqrt{0\,\mathrm{m/s} - 2 \cdot (-9{,}81\,\mathrm{m/s}^2) \cdot 50\,\mathrm{m}} =$$
$$= \sqrt{981\,\mathrm{m}^2/\mathrm{s}^2} = 31{,}321\,\mathrm{m/s}$$

LÖSUNG 29:

a) Zuerst berechnen wir das Fallen des Kaugummi im Schwerefeld der Erde. Es gilt: ($v_{0z}$ die Anfangsgeschwindigkeit in Richtung Boden ist Null.

$$s = v_{0z} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3\,\mathrm{m}}{9{,}81\,\mathrm{m/s^2}}} = 0{,}78\,\mathrm{s}$$

Das Kaugummi hat die gleiche Geschwindigkeit wie der Zug $v_x = 120\mathrm{km/h} = 33{,}3\mathrm{m/s}$.

$$s_x = v_x \cdot t = 33{,}3\,\mathrm{m/s} \cdot 0{,}78\,\mathrm{s} = 26{,}069\,\mathrm{m}$$
$$s_y = v_y \cdot t = 3\,\mathrm{m/s} \cdot 0{,}78\,\mathrm{s} = 2{,}3462\,\mathrm{m}$$

b) Aus Sicht des Spuckers fällt das Kaugummi senkrecht zu Boden.

---

LÖSUNG 33: Durch verschieben der Vektoren bekommen wir den resultierenden Vektor. Seine Länge und sein Winkel können gemessen werden.