


Das Wort "Physik" stammt aus der griechischen Sprache und bezeichnet eine Naturwissenschaft. Sie beschreibt die Bestandteile der Materie & deren Wechselwirkungen & untersucht diese.

Beispiele für Wechselwirkungen:

- Verformen
- Spannung und Ladung -> Ladungstransport
- Schwerkraft
- Starke Wechselwirkung
- Schwache Wechselwirkung
- Reibung
- Temperatúraustausch

Die heutige Physik baut auf den Erkenntnissen von mehreren tausend Jahren auf & wird stets durch neue Experimente erneuert & erweitert.

SI-Einheiten

Überlegt euch ein eigenes Längenmaß, das für den Alltag geeignet ist.
Unterteile diese außerdem in Untereinheiten, die du dir selber ausdenkst.
Miss dann Objekte deiner Wahl.

Basisgröße	Symbole	Basiseinheit	Einheitskürzel
Länge	l, S	Meter	m
Maße	m	Kilogram	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Lichtstärke	Ir	Candela	Cd
Temperatur	T	Kelvin	K
Stromstärke	I	Ampere	A
Stoffmenge	n	Mol	(n)

Die Geschichte der SI-Einheiten

Schon mal was von verbotenen Einheiten gehört? Seit der Einführung des SI-Systems spricht man in der Technik nämlich eine Sprache. Warum das wichtig ist, und wie es dazu kam? Das lesen Sie hier.

Der Teufel steckt manchmal im Detail. Diese Erfahrung musste im September 1999 auch die amerikanische Raumfahrtbehörde NASA machen. Statt eine stabile Umlaufbahn einzunehmen, kam der Mars Climate Orbiter dem Roten Planeten zu nahe und verglühte in der Atmosphäre.

Teamwork?

Die Fehlerursache: Die beiden NASA-Kontrollzentren in Denver und Pasadena hatten mit unterschiedlichen Maßeinheiten gerechnet; das eine Team in Metern und Kilogramm, das andere in Foot und Pound. Und so etwas pasierte über ein Jahrhundert, nachdem sich die USA und 16 andere Staaten darauf geeinigt hatten, künftig nur noch das metrische System zu verwenden und 40 Jahre, nachdem nahezu weltweit die (auf dem metrischen System beruhenden) SI-Einheiten eingeführt wurden.

Sechs Einheiten als Basis

Ein eindrucksvolles Beispiel dafür, wie wichtig es ist, dass alle Welt mit gleichem Maß

misst. „Für alle Welt, für alle Völker“ – dieses Motto wurde zur Zeit der Französischen Revolution geprägt, als Ludwig XVI. von Frankreich im Jahre 1793 ein Dekret erließ, indem eine neue Maßeinheit, nämlich der Meter, als der zehnmillionste Teil des Erdmeridianquadranten definiert wurde. Am 7. April 1795 wurde der Meter durch das französische Nationalkonvent offiziell als Maßeinheit eingesetzt. Das neue Maß wurde zur Grundlage des internationalen metrischen, dezimalen Maßsystems, das ein großes Durcheinander bei den Maßeinheiten beendete. Über die Einhaltung und Weiterentwicklung des metrischen Systems wachen die Organe der Meterkonvention. Ziel war es, ein neues internationales Einheitensystem zu erschaffen. Im Jahre 1948 verabschiedete die 9. Generalkonferenz für Maß und Gewicht einen Entwurf für ein solches Einheitensystem, das zunächst auf sechs Basiseinheiten beruhte. Alle anderen Einheiten sind mit diesen Basiseinheiten ausschließlich über Multiplikation und Division verbunden.

Damit fielen sämtliche Umrechnungsfaktoren weg.

Alte Einheiten sind verboten

Im Jahr 1954 nahm die 10. Generalkonferenz für Maß und Gewicht sechs Basiseinheiten offiziell an: **Länge** (Meter), **Lichtstärke** (Candela), **Masse** (Kilogramm), **elektrische Stromstärke** (Ampere), **thermodynamische Temperatur** (Kelvin) und **Zeit** (Sekunde). Später, im Jahr 1973, kam dann noch ein Nachzügler, die **Stoffmenge** (Mol), hinzu. Dann, 1960, bekam das neue System seinen Namen: „Système International d'Unités“, kurz SI, und man vereinbarte, dass diese Abkürzung in allen Sprachen zu verwenden ist. In Deutschland wurde das neue System mit dem Gesetz über Einheiten im Messwesen (Einheitengesetz) vom 2. Juli 1969 und der Ausführungsverordnung zu dem Gesetz vom 5. Juli 1970 eingeführt. Seit dem 1. Januar 1978 sind die alten Einheiten in Deutschland verboten.

Und dennoch hört man auf der Baustelle ab und zu immer noch etwas von „Meter Wassersäule“ und auf dem Wochenmarkt erkennt man immer wieder, dass das „Pfund“ wohl Unsterblichkeit besitzt. Na ja, solange wir nicht zum Mars damit fliegen ...

Neben den Basisgrößen gibt es auch Größen, die auf diesen aufbauen und auch zum SI-System gehören.

Beispiele:

- Geschwindigkeit $v [v] = \text{m/s}$
- Volumen $V [V] = \text{m}^3$
- Kraft $F [F] = \text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$
- Spannung: $[U] = V = \text{J/C} = \text{N} \cdot \text{m} / (\text{A} \cdot \text{s}) = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / (\text{A} \cdot \text{s}^3)$

Einheiten umrechnen
1. Längeneinheiten

- (a) $8 \text{ m} = \underline{80} \text{ dm} = \underline{800} \text{ cm}$
 (b) $730 \text{ cm} = \underline{73} \text{ dm} = \underline{7,3} \text{ m}$
 (c) $12 \text{ dm} = \underline{120} \text{ cm} = \underline{1200} \text{ mm}$
 (d) $7 \text{ cm} = \underline{0,7} \text{ dm} = \underline{0,07} \text{ m}$
 (e) $33600 \text{ m} = \underline{33,6} \text{ km} = \underline{3360} \text{ dm}$
- (a) $0,68 \text{ km} = \underline{680} \text{ m} = \underline{6800} \text{ dm}$
 (b) $50 \text{ m} = \underline{0,05} \text{ km}$
 (c) $20,3 \text{ km} = \underline{20300} \text{ m} = \underline{2,03 \cdot 10^6} \text{ cm}$ ($2,03 \cdot 10^6$)
 (d) $0,06 \text{ m} = \underline{6} \text{ cm} = \underline{60} \text{ mm}$
 (e) $0,008 \text{ km} = \underline{8} \text{ m} = \underline{80} \text{ dm} = \underline{800} \text{ cm}$
- (a) $0,09 \text{ m} = \underline{0,9} \text{ dm} = \underline{9} \text{ cm} = \underline{90} \text{ mm}$
 (b) $1,2 \text{ m} = \underline{12} \text{ dm} = \underline{120} \text{ cm} = \underline{1200} \text{ mm}$
 (c) $3,12 \text{ m} = \underline{31,2} \text{ dm} = \underline{312} \text{ cm} = \underline{3120} \text{ mm}$
 (d) $0,75 \text{ m} = \underline{7,5} \text{ dm} = \underline{75} \text{ cm} = \underline{750} \text{ mm}$
 (e) $8,10 \text{ m} = \underline{81} \text{ dm} = \underline{810} \text{ cm} = \underline{8100} \text{ mm}$
 (f) $5,01 \text{ m} = \underline{50,1} \text{ dm} = \underline{501} \text{ cm} = \underline{5010} \text{ mm}$

2. Flächeneinheiten

 ($6 \cdot 10^4$)

- (a) $6 \text{ m}^2 = \underline{600} \text{ dm}^2 = \underline{60000} \text{ cm}^2$
 (b) $15 \text{ m}^2 = \underline{1500} \text{ dm}^2 = \underline{150000} \text{ cm}^2$
 (c) $\underline{7,5} \text{ m}^2 = 750 \text{ dm}^2 = \underline{75000} \text{ cm}^2$
 (d) $\underline{12,5} \text{ m}^2 = \underline{1250} \text{ dm}^2 = 125000 \text{ cm}^2$
 (e) $3 \text{ m}^2 50 \text{ dm}^2 = \underline{350} \text{ dm}^2 = \underline{35000} \text{ cm}^2$
- (a) $50000 \text{ cm}^2 = \underline{500} \text{ dm}^2 = \underline{5} \text{ m}^2$
 (b) $105000 \text{ cm}^2 = \underline{1050} \text{ dm}^2 = \underline{10,5} \text{ m}^2$
 (c) $\underline{150000} \text{ cm}^2 = 1500 \text{ dm}^2 = \underline{15} \text{ m}^2$
 (d) $\underline{310000} \text{ cm}^2 = 3100 \text{ dm}^2 = \underline{31} \text{ m}^2$
 (e) $\underline{75000} \text{ cm}^2 = \underline{750} \text{ dm}^2 = 7,5 \text{ m}^2$
- (a) $7 \text{ ha} = \underline{700} \text{ a} = \underline{70000} \text{ m}^2$
 (b) $8,5 \text{ ha} = \underline{850} \text{ a} = \underline{85000} \text{ m}^2$
 (c) $\underline{4} \text{ km}^2 = \underline{400} \text{ ha} = 40000 \text{ a}$
 (d) $\underline{6,25} \text{ km}^2 = \underline{625} \text{ ha} = 62500 \text{ a}$
 (e) $\underline{9,175} \text{ km}^2 = 917,5 \text{ ha} = \underline{91750} \text{ a}$
 (f) $34,07 \text{ a} = \underline{3407} \text{ m}^2$

$$\begin{aligned}
 a &= 100 \text{ m}^2 \\
 \text{ha} &= 100 \text{ a} = 10000 \text{ m}^2 = \frac{10}{100} \text{ km}^2 = 0,1 \text{ km}^2
 \end{aligned}$$

1. Umrechnungen

$$5 \text{ m}^3 = \underline{5000} \text{ l (dm}^3\text{)}$$

$$3 \text{ cm}^3 = \underline{0,003} \text{ l}$$

$$20 \text{ l} = \underline{0,02} \text{ m}^3$$

$$20900 \text{ cm}^3 = \underline{0,0209} \text{ m}^3$$

$$5 \text{ cm}^2 = \underline{0,0005} \text{ m}^2$$

$$5 \text{ km}^2 = \underline{50000} \text{ a}$$

$$200 \text{ a} = \underline{0,02} \text{ km}^2$$

$$200 \text{ km}^2 = \underline{20000} \text{ Hektar}$$

Vektoren und Skalare

Die Größen mit denen in der Physik gearbeitet werden, mit denen alle physikalischen Eigenschaften und Vorgänge beschrieben werden können, werden in skalare und vektorielle Größen unterteilt.

Beispiele:

- **skalare Größen**

Masse

Energie

Länge

- **vektorielle Größen**

Geschwindigkeit

Kraft

Beschleunigung

Skalare sind Größen, die durch einen einzelnen wert (mit Einheit), ausgedrückt werden können.

Vektoren sind die Größen, die durch ihren Betrag (mit Einheit) und eine Richtung ausgedrückt werden können.



Der Ortsvektor $s(->)$

Der Aufenthaltsort eines Körpers lässt sich durch seinen Ortsvektor $s(->)$ eindeutig beschreiben. Der Ortsvektor ist dadurch an wertvolles Mittel zur Beschreibung der Bewegung eines Körpers.

Der Ortsvektor beginnt im koordinaten Ursprung und endet an dem zu beschreibenden Punkt.

Neben dem Ortsvektor gibt es den **Richtungsvektor**. Dieser kann an jedem Punkt im Koordinatensystem starten, bzw. enden. Er beschreibt die Richtung einer Bewegung.

Koordinatensysteme

Um den Raum wie wir ihn kennen, beschreiben zu können, nutzen wir 3-dimensionale Koordinatensystem.

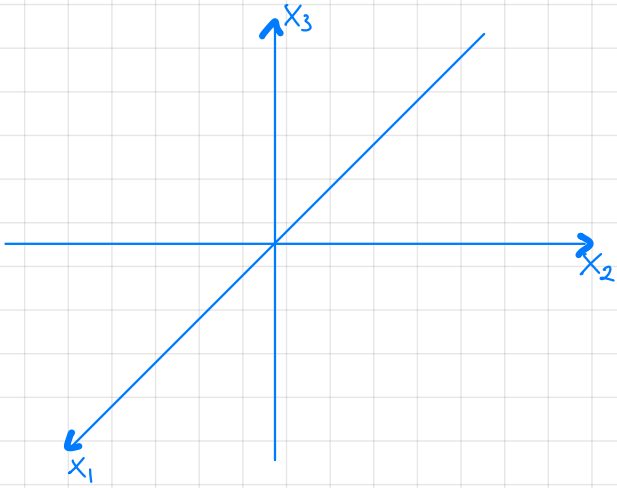
$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = x_1 \cdot \vec{e}_1 + x_2 \cdot \vec{e}_2 + x_3 \cdot \vec{e}_3$$

$$\vec{e}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \vec{e}_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \vec{e}_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$$

$$|\vec{x}| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}$$

Betrag von $\vec{x}$ entspricht der Länge des Vektors $\vec{x}$



Der Verschiebungsvektor $\Delta s(->)$

Um die Ortsänderung eines Körpers zu beschreiben, lassen sich Verschiebungsvektoren Δs verwenden.

Im Gegensatz zum Ortsvektor entspringen Verschiebungsvektoren an einem Ort der nicht der koordinaten Ursprung sein muss.

Der Verschiebungsvektor beschreibt eine Ortsänderung und zeigt in die gleiche Richtung wie der jeweilige Richtungsvektor.

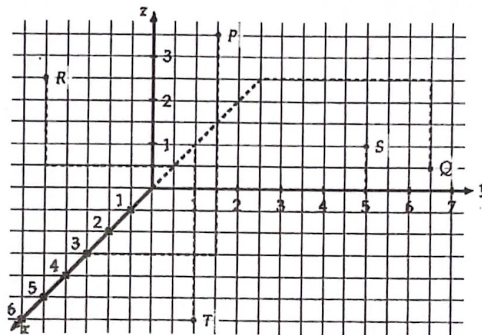
$$\Delta s = S_{\text{ende}} - S_{\text{start}} = s(t_{\text{ende}}) - s(t_{\text{start}})$$

3D-Koordinatensysteme

Aufgabe 1

Geben Sie die Koordinaten der folgenden Punkte an.

P (3|3|5)
Q (-5|4|-2)
R (-1|-3|2)
S (0|5|1)
T (-2|0|-4)



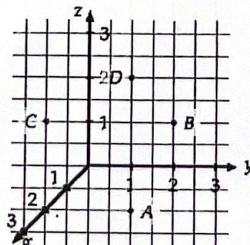
Aufgabe 2

Zeichnen Sie die folgenden Punkte in ein Koordinatensystem.

A(3|-1|2), B(2|5|0), C(0|0|3), D(0|4|-1), E(6|6|3), F(-1|3|2)

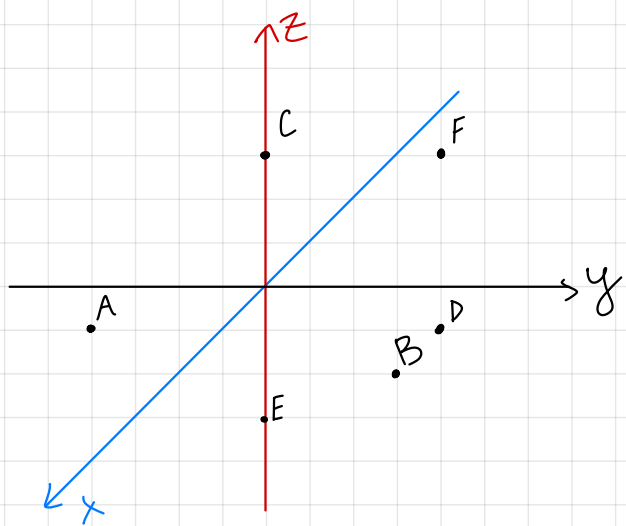
Aufgabe 3

In ein Koordinatensystem sind die Punkte A,B,C und D gezeichnet. Geben Sie jeweils die Koordinaten von A,B und C an, so dass gilt: A(x|0|z) B(2|y|z) C(x|y|2) Geben Sie mindestens drei verschiedene Möglichkeiten für D an.

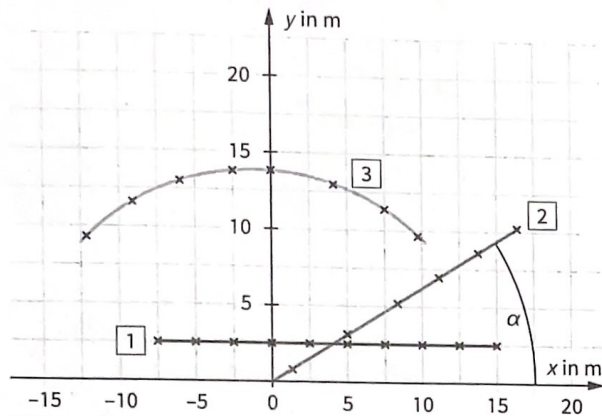


D (0|1|2)
D (2|2|3)
D (-2|0|1)
D (-4|-1|0)

A (-2|0|-2)
B (2|3|2)
C (2|0|2)



1.2 Koordinaten und Bezugssysteme



B1 x-y-Ortskoordinaten und Bahnkurven

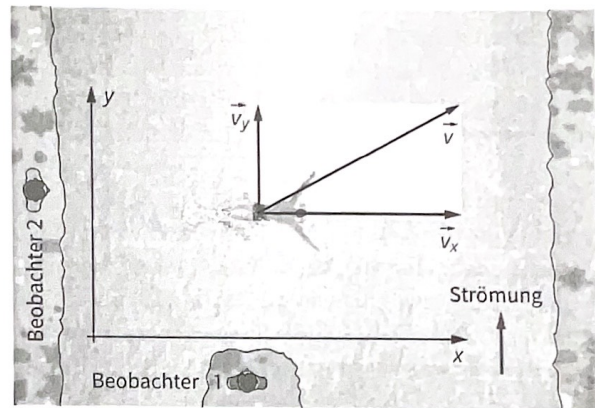
Richtungen und Koordinatensysteme. Um Bewegungen genau beschreiben zu können, verwendet man wie in der Mathematik Koordinatensysteme. Je nachdem, wie die Achsen eines solchen Koordinatensystems belegt sind, können verschiedene Größen dargestellt werden. Trägt man auf der Rechtsachse (auch: Abszisse) die horizontale Bewegung des Objekts und auf der Hochachse (auch: Ordinate) die vertikale Bewegung ab, erhält man die Bahnkurve der Bewegung. Sie gibt uns jedoch keine Information, zu welchen Zeitpunkten der Körper an welchem Punkt ist.

In Bild **B1** sind drei Bahnkurven dargestellt. Bewegung 1 verläuft parallel zur Rechtsachse. Der zurückgelegte Weg lässt sich aus den Ortskoordinaten bestimmen: $\Delta s = 15 \text{ m} - (-7,5 \text{ m}) = 22,5 \text{ m}$. Da die Bewegung parallel zur Rechtsachse verläuft, kann hier statt Δs auch Δs_x geschrieben werden. Bewegung 2 und Bewegung 3 verlaufen in der x-y-Ebene. Bewegung 2 lässt sich auch durch den Richtungswinkel α zwischen Rechtsachse und Bewegungsrichtung angeben. Bei Bewegung 3 ändert sich dieser Winkel ständig.

In den folgenden Betrachtungen werden häufig die benötigte Zeit auf der Rechtsachse und der zurückgelegte Weg auf der Hochachse abgetragen.

Beobachtung von Geschwindigkeiten. Für die Bestimmung der Geschwindigkeit von Objekten ist der Standort des Beobachters oft entscheidend.

Gedankenexperiment 1: Ein Schwimmer bewegt sich mit einer konstanten Geschwindigkeit $\vec{v}_x$ über einen



B2 Bewegung eines Schwimmers in einem Fluss

Fluss. Gleichzeitig wird er von der Strömung des Flusses, der mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_y$ fließt, in y-Richtung bewegt (Bild **B2**). Zwei ruhende Beobachter sehen den Schwimmer von der Seite, ein dritter schaut sich die Bewegung von oben an (Bild **B2**). Folgende Beobachtungen werden gemacht:

- Beobachter 1 sieht nur die Bewegung des Schwimmers in x-Richtung und misst die Geschwindigkeit v_x .
- Beobachter 2 sieht nur die Bewegung des Schwimmers in y-Richtung und misst die Geschwindigkeit v_y .
- Beobachter 3 stellt fest, dass der Schwimmer auf einer schrägen Geraden mit dem Geschwindigkeitsbetrag v den Fluss überquert. Für ihn hat der Schwimmer neben der Geschwindigkeit $\vec{v}_x$ noch die Zusatzgeschwindigkeit $\vec{v}_y$ durch die Strömung.

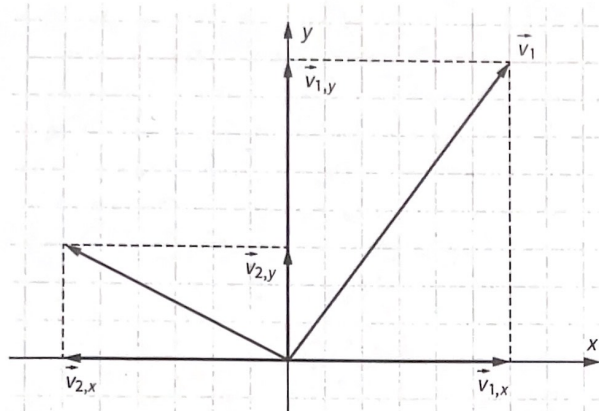
Da $\vec{v}_x$ und $\vec{v}_y$ senkrecht zueinander stehen, ergibt sich der Betrag der Geschwindigkeit aus dem Satz des Pythagoras:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

Achtung: Der Satz des Pythagoras darf nur angewendet werden, wenn beide Vektoren rechtwinklig zueinander stehen.

Gedankenexperiment 2: Ein vierter Beobachter steht auf der Seite von Beobachter 1. Er bewegt sich jedoch zeitgleich mit dem Schwimmer in die gleiche Richtung mit dem Geschwindigkeitsbetrag v_x . Für ihn bewegt sich der Schwimmer nicht.

In der Physik ist es eine erfolgreiche Strategie, Bewegungen aus verschiedenen Beobachterpositionen zu betrachten. Jeder Beobachter befindet sich in seinem eigenen **Bezugssystem**.



B2 Geschwindigkeitskomponenten

Geschwindigkeitskomponenten. Für die Beschreibung von Bewegungen ist es oftmals nützlich die Teilgeschwindigkeiten entlang der Achsen des gewählten Koordinatensystems zu betrachten. Bild **B3** zeigt, wie zwei Geschwindigkeitsvektoren $\vec{v}_1$ und $\vec{v}_2$ zerlegt werden können. Man bezeichnet die Richtung der Rechtsachse als x -Richtung und die der Hochachse als y -Richtung. Die Geschwindigkeitskomponenten werden entsprechend mit $\vec{v}_{1,x}$ bzw. $\vec{v}_{1,y}$ bezeichnet. Die vektorielle Addition der Geschwindigkeitskomponenten ergibt wieder den ursprünglichen Geschwindigkeitsvektor.

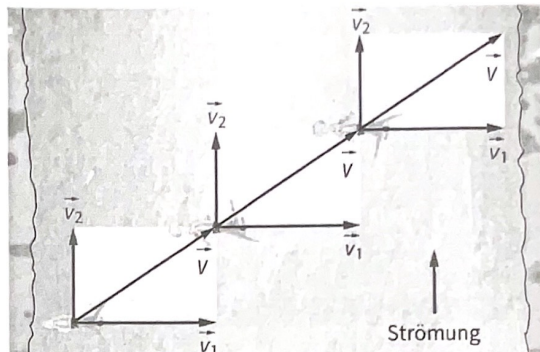
Die Geschwindigkeiten $\vec{v}_1$ und $\vec{v}_2$ unterscheiden sich im Betrag ihrer Komponenten $\vec{v}_{1,y}$ bzw. $\vec{v}_{2,y}$ in Richtung der Hochachse. Die Beträge der Komponenten $\vec{v}_{1,x}$ und $\vec{v}_{2,x}$ sind gleich, jedoch zeigt $\vec{v}_{1,x}$ in Richtung der positiven und $\vec{v}_{2,x}$ in Richtung der negativen Rechtsachse.

Bei Bewegungen entgegen der x -Richtung spricht man manchmal von einer „negativen Geschwindigkeit in x -Richtung“ und meint damit eine Richtungsangabe bezüglich einer Koordinatenachse und den Betrag. Der Grund dafür ist, dass die x -Komponente eines sich mit $\vec{v}_{2,x}$ bewegenden Körpers mit der Zeit immer kleiner wird.

Arbeitsaufträge

- 1** Ein Schwimmer möchte einen 30 m breiten Fluss überqueren. Er schwimmt mit einem Geschwindigkeitsbetrag von $0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ senkrecht zur Strömungsrichtung. Die Strömung hat einen Geschwindigkeitsbetrag von $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- a) Bestimmen Sie die Zeit, die der Schwimmer zur Überquerung benötigt.

* Beispielaufgabe: Flussüberquerung



Ein Schwimmer überquert mit einer Geschwindigkeit $\vec{v}_1$ einen 10 m breiten Fluss. Er schwimmt dabei mit einem Betrag $v_1 = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ direkt von einer Seite zur gegenüberliegenden. Der Fluss fließt mit einem konstanten Geschwindigkeitsbetrag $v_2 = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ senkrecht zum Schwimmer.

Ein Beobachter betrachtet die Szene von oben. Berechnen Sie den Geschwindigkeitsbetrag des Schwimmers aus Sicht des Beobachters.

Lösung:

Für den Beobachter hat der Schwimmer neben der Geschwindigkeit $\vec{v}_1$ noch die Zusatzgeschwindigkeit $\vec{v}_2$ der Strömung. Im Bild oben ist die Position des Schwimmers zu drei Zeitpunkten zu sehen.

Für ihn addieren sich beide Geschwindigkeiten zu einer Gesamtgeschwindigkeit $\vec{v}$. Da $\vec{v}_1$ und $\vec{v}_2$ senkrecht zueinander stehen, hat die Gesamtgeschwindigkeit den Betrag:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} = 2,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Der Schwimmer bewegt sich gleichförmig mit einem Geschwindigkeitsbetrag von $2,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ auf einer Geraden, die nicht senkrecht zum Ufer verläuft.

- b) Bestimmen Sie den Betrag der Gesamtgeschwindigkeit des Schwimmers.
- c) Berechnen Sie die Länge der Gesamtstrecke, die der Schwimmer zurückgelegt hat.
- d) Ermitteln Sie grafisch eine Geschwindigkeit, mit der der Schwimmer schwimmen muss, um das Ufer genau gegenüber zu erreichen.

Der Schwerpunkt eines Körpers

Translation bedeutet, dass ein Körper sich bewegt und alle Punkte des Körpers sich entlang des gleichen Verschiebungsvektors bewegen.

Für viele Betrachtungen im Rahmen translative Bewegungen spielt die Ausdehnung des jeweiligen Körpers keine Rolle. Wir können den Körper dann anhand seines Massenmittelpunktes betrachten.

Dies ist eine praktische Vereinfachung. In der Physik wird der Massenmittelpunkt als Schwerpunkt bezeichnet. In diesem Schwerpunkt liegt die gesamte Masse vereint. Wir können die Bewegung anhand dieses Punktes beschreiben.

Der Schwerpunkt eines Körpers ist außerdem für sein Gleichgewicht bestimmend. Er wird über das über die massegewichtete Mittel der Positionen der Massen bestimmt.

$$\begin{aligned}\overrightarrow{P_S} &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \cdot \overrightarrow{P_i} \\ m_i \cdot \overrightarrow{P_i} &= \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \overrightarrow{P_i}}{\sum_{i=1}^n m_i}\end{aligned}$$

$$\overrightarrow{P_S} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \cdot \overrightarrow{P_i} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \overrightarrow{P_i}}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \overrightarrow{P_S} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n m_i \cdot \overrightarrow{P_i} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \overrightarrow{P_i}}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Gesamtmasse

Einzelmassen

Ort an dem sich die jeweilige Masse befindet

Beispiel: $m_1 = 2 \text{ kg}$

$$P_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$m_2 = 4 \text{ kg}$

$$P_2 = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$m_3 = 5 \text{ kg}$

$$P_3 = \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Aufgabe: Bestimme den Schwerpunkt

Rechnung:
$$\frac{2 \text{ kg} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + 4 \text{ kg} \cdot \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix} + 5 \text{ kg} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 4 \\ 3 \end{pmatrix}}{2 \text{ kg} + 4 \text{ kg} + 5 \text{ kg}} =$$

$$= \frac{\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kg} + \begin{pmatrix} 12 \\ 8 \\ 4 \end{pmatrix} \text{ kg} + \begin{pmatrix} 0 \\ 20 \\ 15 \end{pmatrix} \text{ kg}}{11 \text{ kg}} = \frac{\begin{pmatrix} 14 \\ 28 \\ 19 \end{pmatrix} \text{ kg}}{11} = \begin{pmatrix} \frac{14}{11} \\ \frac{28}{11} \\ \frac{19}{11} \end{pmatrix} \text{ kg}$$

Schwerpunkt eines Körpers

Zeichne jeweils die Punkte in ein Koordinatensystem und bestimme den Schwerpunkt der Massen.

a)

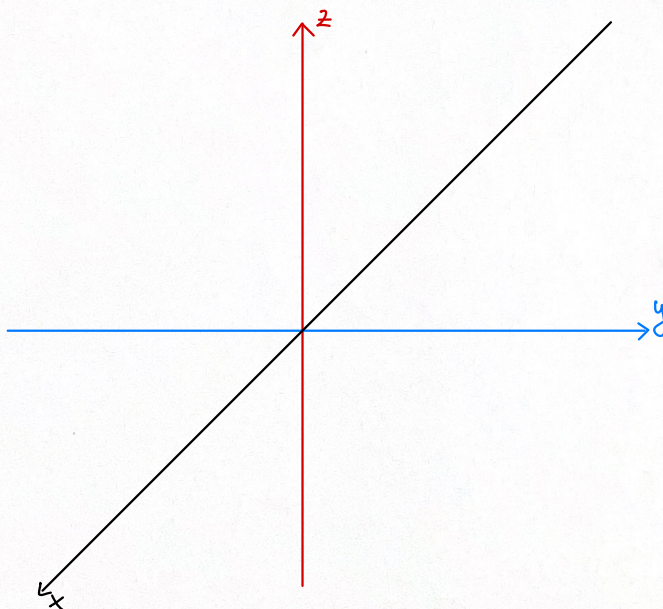
Die Masse $m_1 = 5 \text{ kg}$ ist an dem Punkt $\begin{pmatrix} 4 \\ 3 \\ -3 \end{pmatrix}$, die Masse $m_2 = 4 \text{ kg}$ ist an dem Punkt $\begin{pmatrix} 3 \\ 5 \\ 1 \end{pmatrix}$ und die Masse $m_3 = 7 \text{ kg}$ ist an dem Punkt $\begin{pmatrix} 1 \\ 5 \\ 3 \end{pmatrix}$.

b)

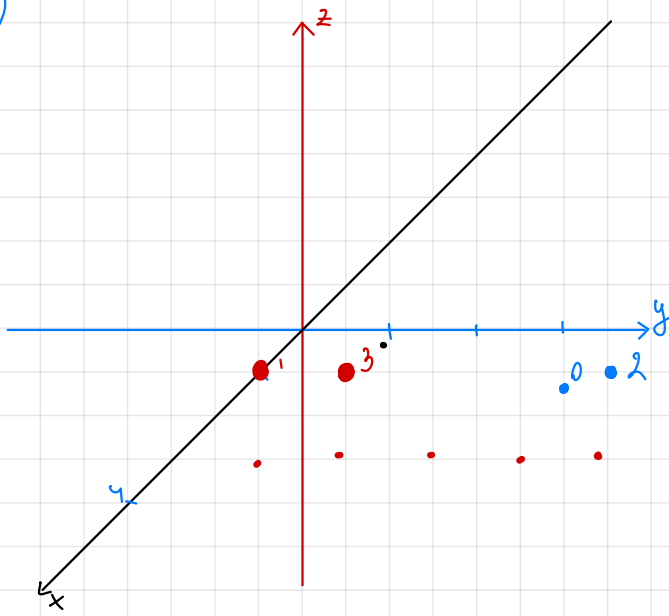
Die Masse $m_1 = 1 \text{ kg}$ ist an dem Punkt $\begin{pmatrix} 3 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$, die Masse $m_2 = 10 \text{ kg}$ ist an dem Punkt $\begin{pmatrix} 9 \\ 10 \\ 11 \end{pmatrix}$ und die Masse $m_3 = 2 \text{ kg}$ ist an dem Punkt $\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{pmatrix}$.

c)

Die Masse $m_1 = 4 \text{ kg}$ ist an dem Punkt $\begin{pmatrix} 4 \\ -7 \\ 6 \end{pmatrix}$, die Masse $m_2 = 1 \text{ kg}$ ist an dem Punkt $\begin{pmatrix} 3 \\ 5 \\ 1 \end{pmatrix}$ und die Masse $m_3 = 9 \text{ kg}$ ist an dem Punkt $\begin{pmatrix} -2 \\ 4 \\ -5 \end{pmatrix}$.



a)



$$m_1 = 5 \text{ kg} \quad P_1 = \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \\ -3 \end{pmatrix}$$

$$m_2 = 4 \text{ kg} \quad P_2 = \begin{pmatrix} 3 \\ 5 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$m_3 = 7 \text{ kg} \quad P_3 = \begin{pmatrix} 4 \\ 5 \\ 3 \end{pmatrix}$$

$$P_S = \frac{\begin{pmatrix} 10 \\ 25 \\ 30 \end{pmatrix} \text{ kg}}{16} = \begin{pmatrix} 2,4 \\ 4,3 \\ 0,6 \end{pmatrix} \text{ kg}$$

1

$$b) \begin{pmatrix} 99 \\ 105 \\ 114 \end{pmatrix} \text{ kg} - \begin{pmatrix} 76 \\ 18 \\ 8,8 \end{pmatrix} \text{ kg}$$

$$\underline{13}$$

$$c) \begin{pmatrix} 13 \\ 70 \end{pmatrix} \text{ kg} = \begin{pmatrix} 0,1 \\ 0,9 \\ 5 \end{pmatrix} \text{ kg}$$

$$\underline{14}$$

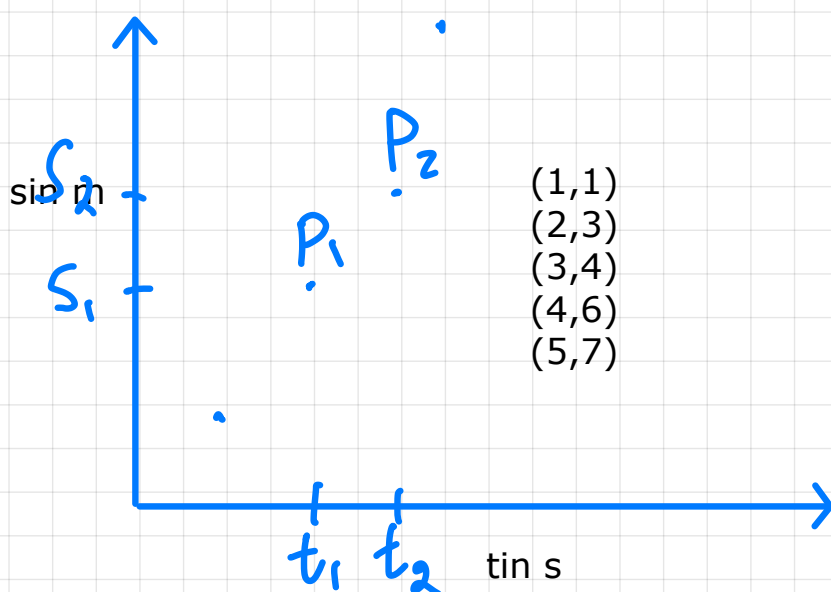
Kinematik

In der Physik wird sich viel mit der Bewegung von Körpern beschäftigt. Der Bereich heißt Bewegungslehre bzw. Kinematik.

(altgriechisch «Kinema»: Bewegung)

Die Beschreibung einer Bewegung kann durch die Angabe des Ortes $\vec{s}$ in Abhängigkeit des Zeitpunktes t geschehen. Eine solche Funktion $\vec{s}(t)$ wird als Orts-Zeit-Funktion bezeichnet und ist elementarer Bestandteil vieler physikalischer Betrachtungen.

Ist die zurückgelegte Strecke $\Delta \vec{s}$ von Bedeutung, dann kann die Verschiebung als Funktion der Zeit $\Delta \vec{s}(t)$ beschrieben werden (Weg-Zeit-Funktion).



Wir betrachten das Zeitintervall Δt und bestimmen den darin zurückgelegten Weg Δs . Aus diesen beiden Messgrößen lässt sich ein Quotient bilden. Dieser wird **Intervall bzw. Durchschnittsgeschwindigkeit** genannt.

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

Durchschnitts-
geschwindigkeit

Die Durchschnittsgeschwindigkeit kann für jeden beliebigen Messzeitraum berechnet werden.

Wenn in allen Zeitintervallen des Weg-Zeit-Diagramms die gleiche Steigung folgen, dann ist die Durchschnittsgeschwindigkeit konstant und entspricht in jedem Augenblick der Momentangeschwindigkeit.

Eine solche Bewegung wird als **gleichförmige Bewegung** bezeichnet. Sie wird beschrieben durch: $\vec{s}(t) = \Delta \vec{s}(t) + s_0 = \vec{v} \cdot \Delta t + \vec{s}_0$

Die **Momentangeschwindigkeit** ist die Geschwindigkeit in exakten Augenblick. Es wird auch von der Geschwindigkeit in einem infinitesimal (unendlich) kleinen Augenblick gesprochen.

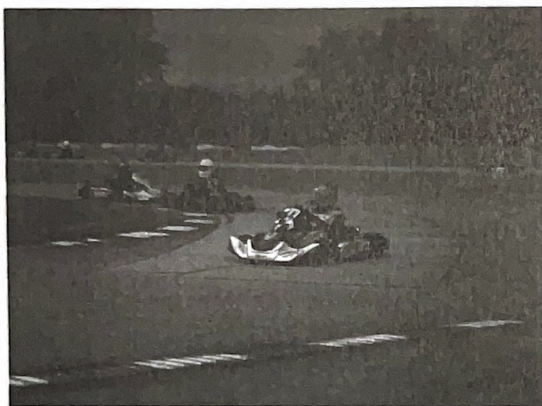
Momentangeschwindigkeit

Immer kleiner werdende Zeitintervalle Δt geben die Geschwindigkeit an einem darin befindlichen Zeitpunkt t immer genauer an. Das gilt bis zum Grenzfall.

$$\vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \lim_{t_{i+1} \rightarrow t_i} \frac{\vec{s}_{i+1} - \vec{s}_i}{t_{i+1} - t_i} \rightarrow \text{Momentangeschwindigkeit zum Zeitpunkt } t$$

$$[v] = 1 \frac{m}{s}$$

1.1 Größen der Bewegung



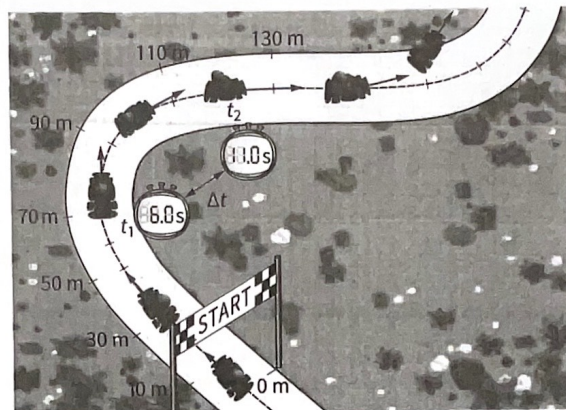
B1 Kartbahn – Fahren im Rundkurs

Bewegungen beschreiben. Wir sind umgeben von Bewegungen: Der Bus fährt, der Uhrzeiger dreht sich und Kinder fahren mit ihrem Kart auf einer kurvigen Bahn (Bild B1). In der **Kinematik** versucht man diese Bewegungen möglichst genau zu beschreiben.

Ein Merkmal einer Bewegung ist der von einem Körper zurückgelegte Weg. Auf der Kartbahn können wir vom Startpunkt aus mit einem Maßstab den Weg ausmessen (Bild B2). Der kurvige Weg lässt sich als Summe vieler kurzer gerader Strecken beschreiben. Bis das Kart zur ersten Kurve gelangt, hat es einen Weg $s_1 = 70 \text{ m}$ zurückgelegt. Verlässt es die Kurve, sind es $s_2 = 120 \text{ m}$. Der Weg in der Kurve ist somit $s_2 - s_1 = 50 \text{ m}$ lang.

Geschwindigkeit als vektorielle Größe. Ein weiteres Merkmal der Bewegung ist die **Geschwindigkeit**. Sie ist eine **vektorielle Größe**, wie etwa die Kraft. Sie hat einen Betrag und eine Richtung. Vektorielle Größen werden grafisch mit einem Pfeil dargestellt. Betrachtet man die Bewegung des Karts in Bild B2, so ist die Richtung des Karts vor der Kurve eine andere als nach der Kurve. Der Vektor der Geschwindigkeit zeigt immer in Richtung der Bewegung. Die Länge des Pfeils gibt Auskunft darüber, wie schnell das Kart fährt. Die Einheit der Geschwindigkeit ist $[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Der Betrag der Geschwindigkeit. Aus dem Alltag sind Geschwindigkeitsangaben wie $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bekannt. Diese Angaben beziehen sich meistens auf den Betrag der Geschwindigkeit. Auch im Physikunterricht wurde bisher der Betrag der Geschwindigkeit besprochen. Ein Auto, das sich mit einer Geschwindigkeit von $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bewegt, legt in einer Stunde einen Weg von 130 Kilometer zurück. Wie man an dieser Angabe sehen kann, benötigt



B2 Kartbahn – Zeitpunkte, Orte, Wege und Richtungen

man zur Beschreibung des Geschwindigkeitsbetrags neben der Wegangabe eine Zeitangabe. Betrachten wir noch einmal das Kart. Zum Zeitpunkt $t_1 = 6 \text{ s}$ erreicht es die Kurve, zum Zeitpunkt $t_2 = 11 \text{ s}$ verlässt es die Kurve. Insgesamt hat das Kart dafür eine Zeitspanne von $t_2 - t_1 = 5 \text{ s}$ benötigt. Der Betrag der Geschwindigkeit v ist der Quotient aus dem zurückgelegten Weg und dieser dafür benötigten Zeitspanne:

$$v = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{50 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Differenzen werden mit einem Δ gekennzeichnet ($\Delta s = s_2 - s_1$ bzw. $\Delta t = t_2 - t_1$). Die Gleichung vereinfacht sich damit zu:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Der Betrag der Geschwindigkeit ist immer größer oder gleich null. Für genaue Angaben der *momentanen* Geschwindigkeit muss Δt sehr klein sein. Will man die Geschwindigkeit vektoriell angeben, muss man die Wegdifferenz als Vektor $\Delta \vec{s}$ schreiben, bei der Richtung und Länge entscheidend sind.

! Merksatz

Die Geschwindigkeit $\vec{v}$ gibt die Änderung des Weges $\Delta \vec{s}$ in einer Zeitspanne Δt an.

Sie wird mit einem Vektorpfeil dargestellt. Die Pfeilrichtung gibt die Bewegungsrichtung und die Länge des Pfeils den Betrag an.

$$\vec{v}(t) = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} \quad \text{mit} \quad [v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Beschleunigung als vektorielle Größe. Bei Bewegungen im Alltag ändert sich die Geschwindigkeit ständig. Ein Radfahrer fährt nicht immer mit einer konstanten

Geschwindigkeit in die gleiche Richtung. Die physikalische Größe, mit der diese Geschwindigkeitsänderung beschrieben wird, ist die **Beschleunigung**. Sie ist ebenfalls eine vektorielle Größe mit Betrag und Richtung.

Das Bild B3 zeigt drei verschiedene Situationen. In Situation a) wird der Betrag der Geschwindigkeit größer, die Richtung ändert sich nicht. In b) verringert sich der Betrag der Geschwindigkeit, die Richtung bleibt gleich. Situation c) zeigt die Geschwindigkeit des Karts vor und nach der Kurve. Sowohl Betrag als auch Richtung der Geschwindigkeit haben sich geändert.

Diese **Geschwindigkeitsänderung** $\Delta \vec{v}$ zeigt in bzw. entgegengesetzt zur Richtung der Bewegung, wenn sich der Betrag der Geschwindigkeit vergrößert bzw. verkleinert. Ändert sich auch die Richtung der Geschwindigkeit, kann der Vektor der Geschwindigkeitsänderung wie in Bild B3c gezeigt konstruiert werden.

Der Quotient aus Geschwindigkeitsänderung und der benötigten Zeit ist die Beschleunigung $\vec{a}$. Der Vektor $\vec{a}$ zeigt immer in Richtung der Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$. Die Länge des Pfeils gibt den Betrag der Beschleunigung an. Die Einheit ist $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

! Merksatz

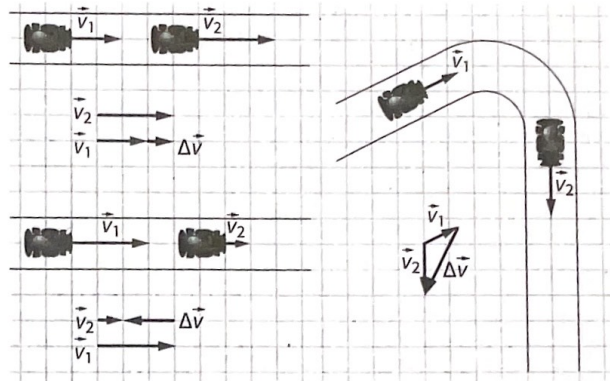
Die Beschleunigung $\vec{a}$ gibt die Änderung der Geschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ in einer Zeitspanne Δt an:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad \text{mit} \quad [a] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Handelt es sich bei der betrachteten Bewegung, um eine geradlinige Bewegung, so kann der **Betrag der Beschleunigung** über die Änderung des Betrags der Geschwindigkeit berechnet werden:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

Den Bremsvorgang beschreiben. Im Alltag bedeutet **bremsen**, dass sich bei einem Körper der Geschwindigkeitsbetrag verringert. In der Physik handelt es sich dabei auch um eine Beschleunigung, die der Geschwindigkeit entgegengerichtet ist. Sind der Betrag a und die Richtung der Beschleunigung konstant, verringert sich der Betrag der Geschwindigkeit gleichmäßig. Aufgrund dieser Verringerung muss die Beschleunigung beim Abbremsen deshalb ein negatives Vorzeichen haben.



B3 Kartbahn - Beschleunigungen

Der Betrag der Beschleunigung ist dabei positiv, das Minus ergibt sich aus der entgegengesetzten Richtung der Beschleunigung.

* Beispielaufgabe: Bremsvorgang

Ein Fahrzeug fährt auf einer Geraden mit einer konstanten Geschwindigkeit von $v_1 = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Es muss seine Geschwindigkeit auf einen Betrag $v_2 = 22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ verringern. Dabei vergeht eine Zeitspanne $\Delta t = 4 \text{ s}$. Berechnen Sie die Beschleunigung des Fahrzeugs.

Lösung:

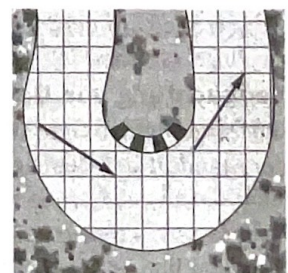
Weil die Bewegung auf einer Geraden stattfindet, genügt es, die Beträge der Geschwindigkeiten zu betrachten. Die Geschwindigkeitsvektoren sind in Bild B3b veranschaulicht. Setzt man die Geschwindigkeitswerte ein, so erhält man:

$$a = \frac{22 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \text{ s}} = \frac{-8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \text{ s}} = -2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Der Geschwindigkeitsbetrag verringert sich pro Sekunde um $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Der Beschleunigungsvektor ist dem Geschwindigkeitsvektor entgegengerichtet. Der Betrag der Beschleunigung ist $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Arbeitsaufträge

- ➔ Übertragen Sie die Geschwindigkeitsvektoren und ermitteln Sie den Vektor der Geschwindigkeitsänderung $\Delta \vec{v}$ grafisch. Die blauen Vektoren haben die gleiche Länge.



Mechanik

Gleichförmige Bewegung

- 1 In der unten stehenden Tabelle gehört jeweils eine Zeile zusammen. Bestimme fehlende Größen.

Wiederhole zunächst die Formel für die Geschwindigkeit: $v =$

und die Umrechnung von m/s in km/h:

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3.6 \text{ km/h}$$

Nr.	Zurückgelegter Weg	Benötigte Zeit	Geschwindigkeit in m/s	Geschwindigkeit in km/h
1	54 km	20 min	45	162
2	270 km	3 h	25 m/s	90
3	16,8 km	8 min	35	126 km/h
4	100 km	100 min	16.(6)	60 km/h
5	12960 m	1440 s = 24 min	9 m/s	32.4
6	25 cm	0.008 s = 8 ms	30	108 km/h
7	546 km	5 h 50 min	26	93.6
8	5568 m	1 h 17 min 20 s	1,2 m/s	4.32
9	30 m	2.16 s	13.(8)	50 km/h

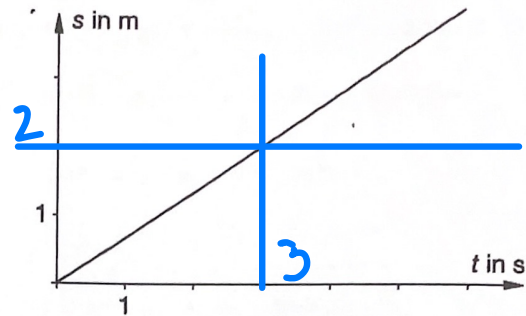
Mechanik

Bewegungsabläufe im Diagramm

Verschiedene Fahrzeuge bewegen sich über den Experimentiertisch. Ihre Bewegung wird in einem t - s -Diagramm dargestellt.

- ... 1 Zeichne in das nebenstehende Schaubild ein Steigungsdreieck ein und lies die Geschwindigkeit ab.

$$v = \frac{2}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

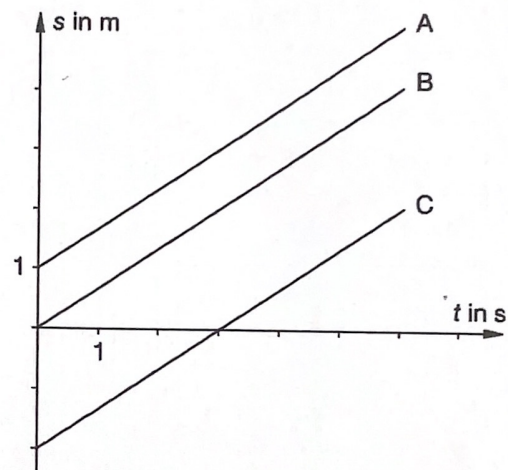


- ... 2 Im t - s -Diagramm sind die Bewegungen verschiedener Fahrzeuge aufgezeichnet. Worin unterscheiden sie sich?

A: hat 1 Meter Ursprung

B: hat kein Ursprung

C: beginnt sein Weg 2m vor dem Start



- ... 3 Im t - s -Diagramm sind die Bewegungen verschiedener Fahrzeuge aufgezeichnet. Worin unterscheiden sie sich?

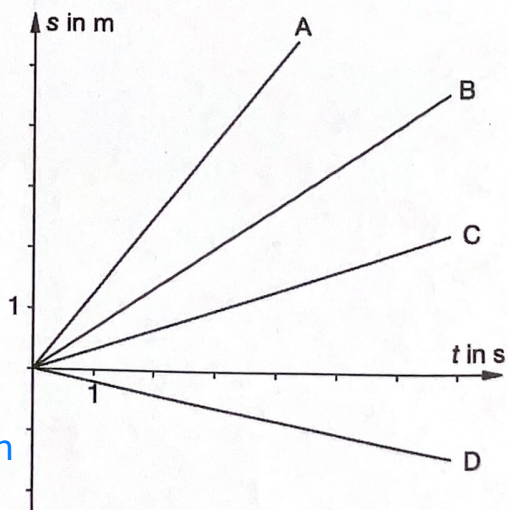
Alle fangen in demselben Punkt an

A: ist der schnellste

B: ist schneller als C und langsamer als A

C: ist langsamer als B und der Geschwindigkeitsbetrag gleich

D: wie D



D bewegt sich in andere Richtung als andere Fahrzeuge

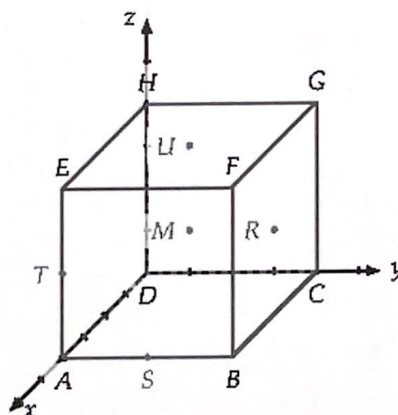
3D-Koordinatensysteme

Aufgabe 1

Gegeben ist ein Würfel der Kantenlänge 4 (siehe Skizze).

Geben Sie die Koordinaten aller Eckpunkte an. S und T sind Kantenmittelpunkte. Geben Sie jeweils ihre Koordinaten an. R und U sind Flächenmittelpunkte. Geben Sie jeweils ihre Koordinaten an.

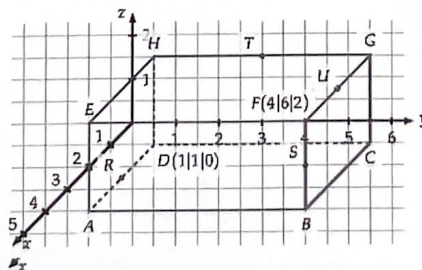
Geben Sie die Koordinaten an, die der Mittelpunkt M im Inneren des Würfels besitzt.



A(4,0,0)
B(4,4,0)
C(0,4,0)
D(0,0,0)
E(4,0,4)
F(4,4,4)
G(0,4,4)
H(0,0,4)
M(2,2,2)
R(2,4,2)
S(4,2,0)
T(4,0,2)
U(2,2,4)

Aufgabe 2

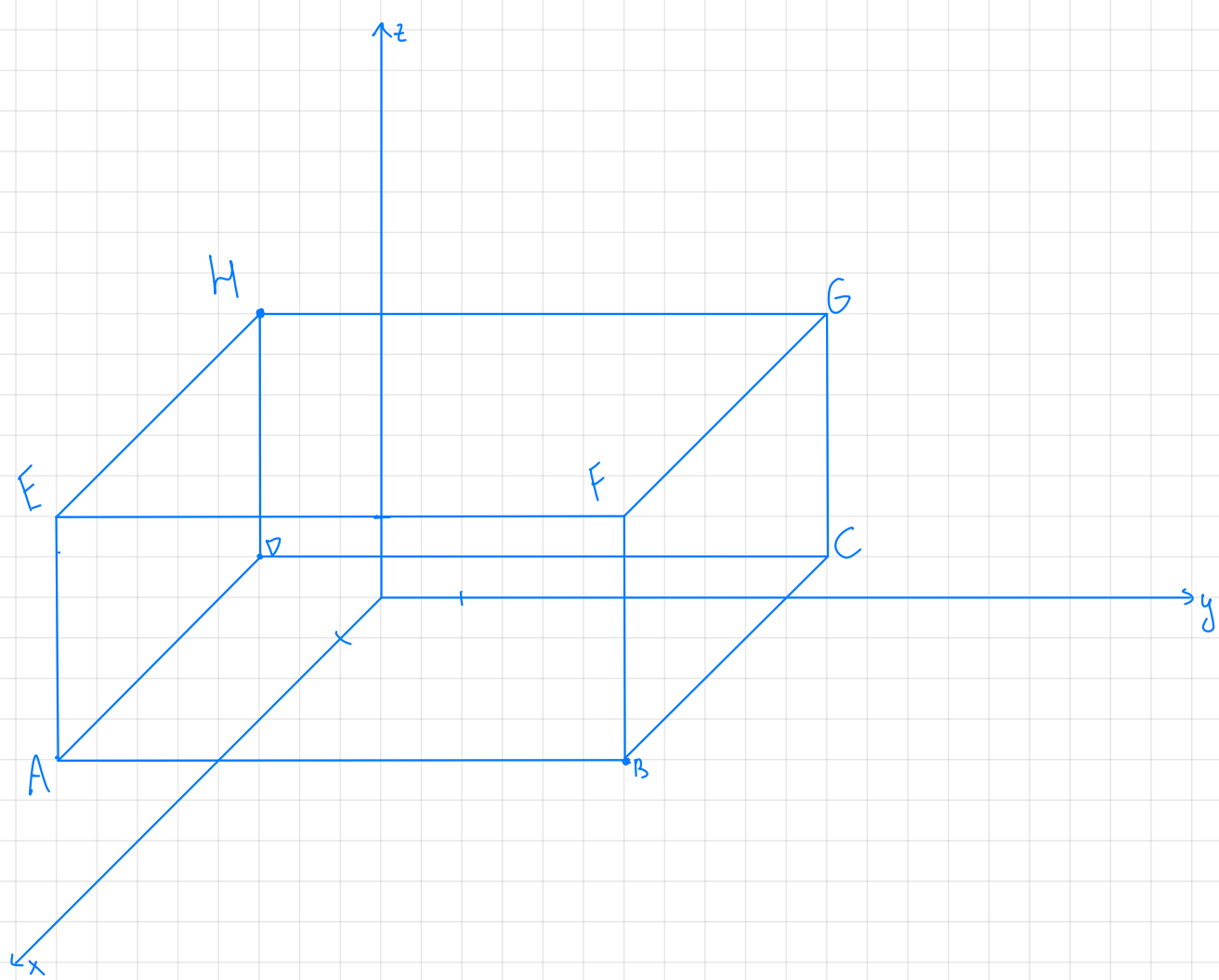
Die folgende Abbildung zeigt einen achsenparallelen Quader. Geben Sie alle Eckpunkte sowie die markierten Kantenmittelpunkte an.



A(4,1,0)
B(4,6,0)
C(1,6,0)
D(1,1,0)
E(4,1,2)
F(4,6,2)
G(1,6,2)
H(1,1,2)
R(2.5,1,0)
S(4,6,1)
T(1,3.5,2)
U(2.5,6,2)

Aufgabe 3

Die Punkte $H(-1|-2|3)$ und $B(2|4|-1)$ sind Eckpunkte eines achsenparallelen Quaders. Zeichnen Sie den Quader in ein kartesisches Koordinatensystem.



Bestimmung der Ausgleichsgeraden (Regressionsrechnung)

29.08.2024

$$y = f(x) = a_0 + a_1 \times x$$

$\bar{x}$

^ Durchschnittswert von x (Mittelwert)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\bar{y} = \frac{50+80+70+45}{4} = 61.25$$

Aufgaben zur Regressionsrechnung

Von 4 Kfz sind das Alter und die Bremswege bei einer Vollbremsung von 100 km/h zum Stillstand gegeben:

Alter (Jahre)	4	7	11	2
Bremsweg (m)	50	80	70	45

Aufgaben:

- Bestimmen Sie die Koeffizienten der linearen Regression
- Extrapolieren Sie den erwarteten mittleren Bremsweg für 15 Jahre alte Fahrzeuge
- Zeichnen Sie ein Streudiagramm der Daten und zeichnen Sie die Regression ein

Zu a)

1. Schritt: Tabelle anfertigen und Werte berechnen/eintragen:

i	x [Alter]	y [Bremsweg in m]	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	4	50	-2	-11,25	22,5	4	126,5625
2	7	80	1	18,75	18,75	1	351,5625
3	11	70	5	8,75	43,75	25	75,5625
4	2	45	-4	-16,25	65	16	264,0625
Summe	24	245	0	0	150	46	818,75

$$\bar{x} = 6$$

$$\bar{y} = 61,25$$

$$\bar{x} = \frac{4 + 7 + 11 + 2}{4} = \frac{24}{4} = 6$$

$$\bar{y} = \frac{50 + 80 + 70 + 45}{4} = 61.25$$

2.Schritt: Werte aus Summenzeile in Formeln einsetzen:

$$b_{yx} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{150}{46} = 3,26$$

Und:

$$a_{yx} = \bar{y} - b_{yx} \cdot \bar{x} = 61,25 - 3,26 \cdot 6 = 41,69$$

Die Formel für die Regressionsgerade lautet:

$$\hat{y} = a_{yx} + b_{yx} \cdot x$$

Und wir haben jetzt alle Werte, die wir benötigen...

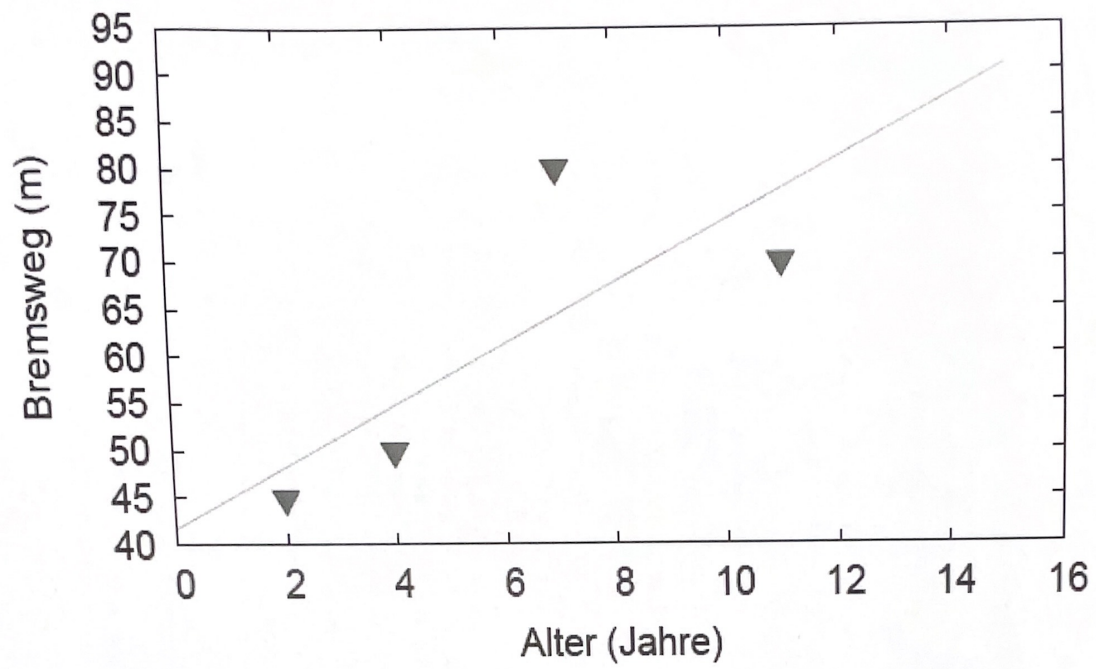
Somit:

$$\hat{y} = 41,69 + 3,26 \cdot x$$

Zu b)

Nun müssen wir einfach für x den Wert 15 einsetzen, denn es geht ja um ein Auto, dass x=15 Jahre alt ist. Wenn wir das machen erhalten wir gerundet den Wert 90,6m.

Zu c)



Auswerten von Diagrammen - Einführung

Das Wichtigste auf einen Blick

- Messwerte werden zur Auswertung oft in ein Diagramm eingetragen. Je nach Lage wird dann eine Ausgleichsgerade oder eine Kurve im Diagramm ergänzt.
- Mit Hilfe der Ausgleichsgeraden oder Kurve können weitere Wertepaare im Bereich der Messwerte bestimmt (interpoliert) werden.
- Eine Verlängerung der Ausgleichsgeraden oder Kurve deutlich über den Bereich der Messwerte hinaus ist meist nicht zulässig.

Messwerte und Diagramm

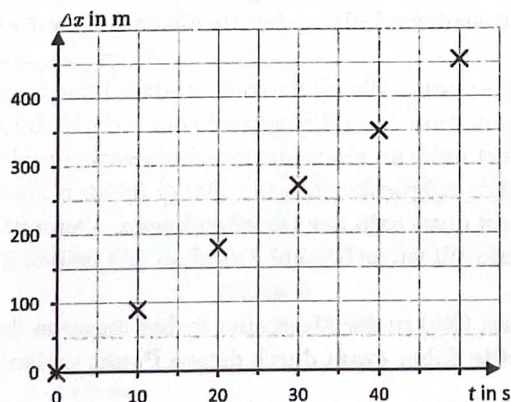


Abbildung 1

t in s	0,0	10	20	30	40	50
Δx in m	0,0	90	180	270	350	455

Tabelle 1

Ein Diagramm wird häufig auf Basis von experimentell ermittelten Messwerten erstellt. Tabelle 1 zeigt beispielhaft die Messwerte eines Experimentes in der ein Rennradfahrer möglichst gleichmäßig gefahren ist und die zurückgelegte Strecke Δx zu verschiedenen Zeitpunkten t notiert wurde.

Hieraus kannst du ein zugehöriges Diagramm wie z.B. in Abbildung 1 das t - Δx -Diagramm erstellen.

Ausgleichsgerade

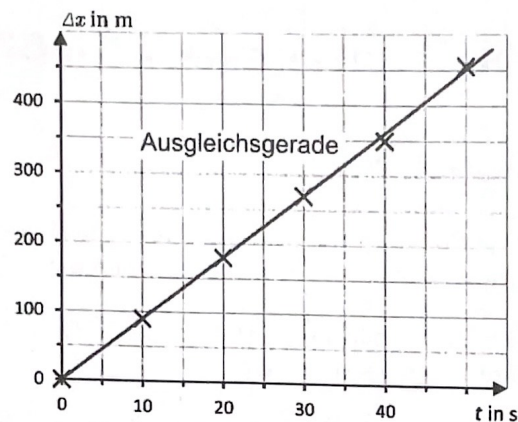


Abbildung 2

Um weitere Wertepaare zwischen den Messpunkten ermitteln oder auf eine Gesetzmäßigkeit zwischen den dargestellten Größen schließen zu können, ist es sinnvoll aus den einzelnen Messpunkten einen Graphen zu erstellen. Dabei werden jedoch die einzelnen Punkte nicht einfach mit Strecken verbunden. Die sich ergebende Zick-Zack-Kurve würdest du bei einer erneuten Messung nicht wieder erhalten, da alle Messwerte mit einem Messfehler behaftet sind.

Erkennst du, dass die Messpunkte wie im Beispiel in Abbildung 1 ungefähr eine Gerade bilden, so zeichnest du eine sogenannte Ausgleichsgerade ein (vergleiche Abbildung 2). Die Ausgleichsgerade führt möglichst nahe an allen Messpunkten vorbei und gleicht die Abweichungen nach oben und nach unten möglichst gut aus. Dabei müssen aber nicht genau gleich viele Messpunkte oberhalb und unterhalb der Geraden liegen. Wenn Messpunkte so liegen, dass eine Ausgleichsgerade sinnvoll ist, so besteht zwischen den beiden aufgetragenen Größen eine direkte Proportionalität.

Hinweis: Gehört der Punkt (0|0) zu der Messreihe, so hat dieser in der Regel keinen Messfehler. Die Ausgleichsgerade sollte daher exakt durch diesen Punkt verlaufen bzw. hier starten.

Interpolieren von Werten

Mit Hilfe der Ausgleichsgeraden kannst du weitere Wertepaare zwischen den aufgenommenen Messwerten ermitteln: Du kannst also auch für Zeitpunkte t , zu denen keine Streckenmessung vorgenommen wurde, ermitteln, welche Strecke Δx zurückgelegt wurde. Dies nennt man das Interpolieren von Werten (siehe Abbildung 3).

Möchtest du z.B. wissen, welche Strecke der Radfahrer nach $t = 35 \text{ s}$ zurückgelegt hat, gehst du zunächst auf der Rechtsachse bis zur gegebenen Zeit. Von hier gehst du senkrecht senkrecht nach oben, bis du auf die Ausgleichsgerade triffst (äußere Linie Punkt 1). Nun gehst du waagrecht weiter nach links bis zur Hochachse (äußere Linie 1). Hier kannst du nun die zurückgelegte Strecke ablesen. Nach $t = 35 \text{ s}$ hat der Radfahrer also etwa $\Delta x = 310 \text{ m}$ zurückgelegt. Oft ist es hilfreich die Hilfslinien 1 und 2 auch einzuzichnen.

Auch umgekehrt kannst du arbeiten: Wenn du wissen willst, wie lange der Radfahrer braucht, um 150 m zurückzulegen, gehst du zuerst auch der Hochachse bis zum gegebenen Wert. Nun

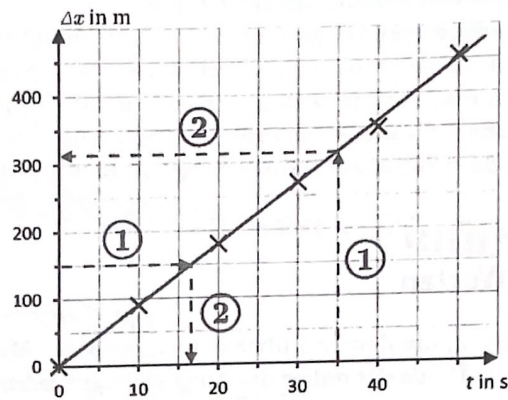


Abbildung 3

gehst du waagrecht nach rechts, bis du auf die Ausgleichsgerade triffst (innere Linie 1). Von hier gehst du senkrecht nach unten bis zur Rechtsachse, wo du den gesuchten Wert, hier also 17 s, ablesen kannst (innere Linie 2).

Natürlich kannst du hier auch die Steigung der Ausgleichsgeraden und damit die Proportionalitätskonstante C des direkt proportionalen Zusammenhangs bestimmen. Mit der Gleichung $y = C \cdot x$ kannst du dann auch beliebige weitere Werte berechnen.

Andere Diagrammverläufe

t in s	0	10	20	30	40	50	60
Δx in m	0,0	25	100	225	400	625	900

Tabelle 2

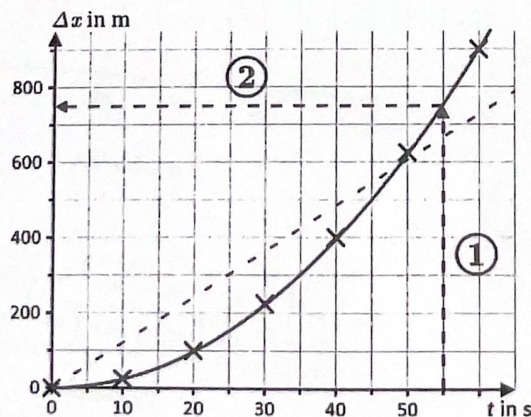


Abbildung 4

Natürlich führt nicht jeder grafisch darzustellende Zusammenhang zu einer Geraden. Tabelle 2 zeigt wieder beispielhaft die Messwerte eines Experimentes, in dem die zurückgelegte Strecke

interpolieren

Funktionswert zwischen zwei bekannten Werten
einer Funktion berechnen

eines Objektes zu verschiedenen Zeiten gemessen wurde.

Hieraus kannst du ein zugehöriges Diagramm wie z.B. in Abbildung 4 das t - Δx -Diagramm erstellen. Es wird deutlich, dass hier eine Ausgleichsgerade (gestrichelte Linie) nicht sinnvoll ist. Du musst stattdessen eine Ausgleichskurve durch die Messpunkte zeichnen. Mit Hilfe dieser Ausgleichskurve kannst du wiederum beliebige Zwischenwerte interpolieren. So hat das Objekt nach $t = 55 \text{ s}$ etwa $\Delta x = 750 \text{ m}$ zurückgelegt (vgl. Abbildung 4).

Extrapolation von Werten

Eine Ermittlung von Werten, die deutlich über den Bereich der Messwerte hinaus geht, ist in der Regel nicht zulässig. Du darfst daher die Ausgleichskurve im Messwertdiagramm nur ein kleines Stück über die aufgenommenen Messpunkte hinaus zeichnen, aber nicht beliebig verlängern,

Ausgleichsgerade

Aufgabe 1

Gegeben sind die Werte in der Tabelle.

x	-2	-1	3	4	6
y	0	0,5	2	2	5

$$\bar{x} = \frac{-2 + (-1) + 3 + 4 + 6}{5} = 2$$

$$\bar{y} = \frac{0 + 0,5 + 2 + 2 + 5}{5} = 1,9$$

a)

Berechne „von Hand“ die Gleichung der Regressionsgeraden.

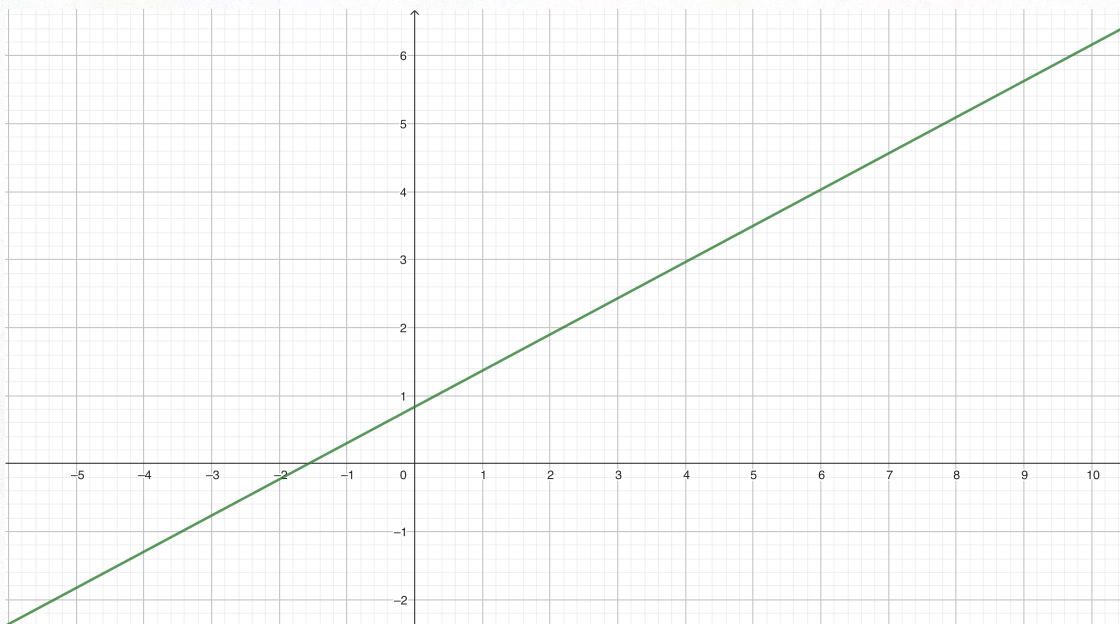
b)

Erstelle ein Diagramm aus den Daten und zeichne die Regressionsgerade ein.

$$b_{yx} = \frac{(-2-2)(0-1,9) + (-1-2)(0,5-1,9) + (3-2)(2-1,9) + (4-2)(2-1,9) + (6-2)(5-1,9)}{(-2-2)^2 + (-1-2)^2 + (3-2)^2 + (4-2)^2 + (6-2)^2}$$
$$= 0,5326086957$$

$$a_{yx} = 1,9 - 0,5326086957 \cdot 2 = 0,8347826087$$

$$\hat{y} = 0.8347826087 + 0.5326086957x$$



Aufgabe 2

Bei einer zufällig ausgewählten Gruppe von Zuschauern an einem Basketballspiel kamen die in der Tabelle stehenden Messungen zustande.

a)

Erstelle ein Diagramm mit der Körpergrösse in x-Richtung und dem Gewicht in y-Richtung.

b)

Berechne die Gleichung der Regressionsgeraden und zeichne die Gerade im Diagramm ein.

c)

Mache Voraussagen für die folgenden Personen.

Person A: Grösse = 1.77 m

Person B: Grösse = 1.35 m

Person C: Gewicht = 91 kg

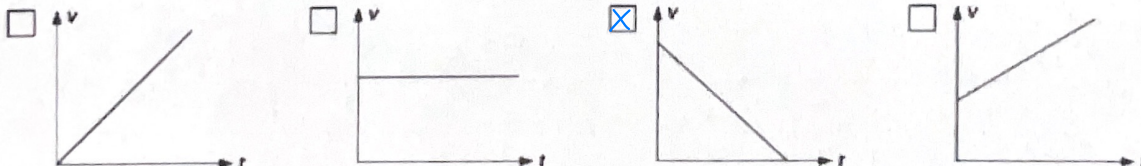
Körpergrösse	Gewicht
1.55	51
1.57	50
1.62	55
1.68	52
1.75	60
1.75	68
1.81	78
1.83	91
1.87	84
1.89	81
1.9	90
1.92	105
1.95	95
1.95	99
1.99	100
2.02	101

Mechanik - Kinematik

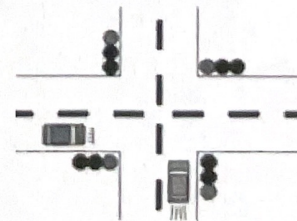
Beschleunigungen

Kreuze jeweils die richtigen Antworten an.

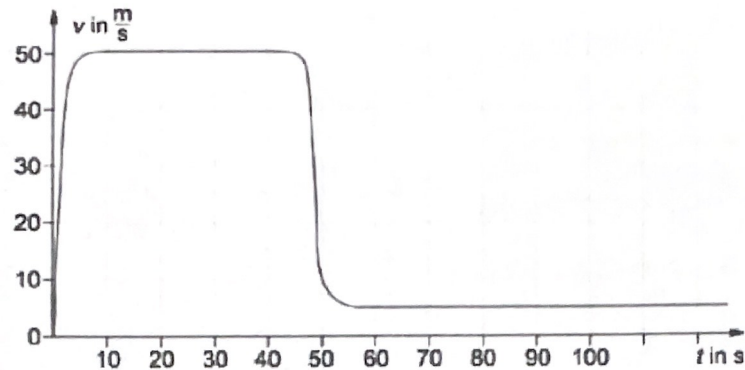
- 1 Die physikalische Größe „Beschleunigung“ ist definiert als ...
- ☐ Geschwindigkeitsveränderung pro Meter.
 - ☐ Ortsveränderung pro Zeit.
 - ☒ Geschwindigkeitsveränderung pro Zeit.
- 2 Die Einheit der Beschleunigung ist ...
- ☒ 1 m/s^2 .
 - ☐ 1 m/s .
 - ☐ 1 km/s .
 - ☐ 1 a .
- 3 Für gleichförmige Bewegungen gilt:
- ☐ Die zurückgelegte Strecke pro Sekunde wird immer größer.
 - ☐ Die zurückgelegte Strecke pro Sekunde wird immer kleiner.
 - ☒ Pro Sekunde wird immer der gleiche Streckenabschnitt zurückgelegt.
 - ☒ $s = v \cdot t$.
- 4 Der freie Fall (senkrechter Fall) ohne Luftwiderstand ...
- ☐ ist ein Beispiel für eine gleichförmige Bewegung.
 - ☒ ist ein Beispiel für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
 - ☐ ist ein Beispiel für eine gebremste Bewegung.
 - ☒ ist ein Beispiel für eine physikalische Vereinfachung.
- 5 Kreuze das korrekte t - v -Diagramm einer gleichmäßig gebremsten Bewegung an.



- 6 Wenn ein Fahrzeug vor einer roten Ampel anhält, ...
- ☐ handelt es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
 - ☒ handelt es sich um eine gebremste Bewegung.
 - ☒ kann nachträglich nur die durchschnittliche Beschleunigung angegeben werden.
 - ☐ handelt es sich um eine gleichförmige Bewegung.
- 7 Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung aus dem Stand ...
- ☐ ist der zurückgelegte Weg proportional zur Fahrzeit.
 - ☒ ist die Geschwindigkeit proportional zur Fahrzeit.
 - ☐ verändert sich die Geschwindigkeit mit dem Quadrat der Zeit.
 - ☐ verändert sich die Geschwindigkeit nicht.



- 8 Das t - v -Diagramm (bei dem v die Sinkgeschwindigkeit ist) zeigt den Verlauf eines Fallschirmsprungs während der ersten 120 Sekunden.



- a) Unterteile das Diagramm in einzelne Phasen und beschreibe die Bewegung des Fallschirmspringers während dieser Phasen

Es gibt vier Phasen: von 0 bis 5 Sekunden, von 5 bis 50, von 50 bis 55, und ab 55 bis 120.

Von 0 bis 5 Sekunden steigt die Geschwindigkeit gleichmäßig, und zwar beträgt die Beschleunigung 10m/s^2 .

Von 5 bis 50 Sekunden ist die Geschwindigkeit konstant und sie beträgt 50 m/s .

Von 50 bis 55 Sekunden wird die Geschwindigkeit kleiner. Die Beschleunigung beträgt -8m/s^2 .

Ab 55 bis 120 Sekunden ist die Geschwindigkeit wieder konstant und beträgt 10m/s .

- b) Berechne die in den Phasen gleichförmiger Sinkgeschwindigkeit zurückgelegten Wege (= Höhenverluste).

$$S_1 = (45\text{s} - 5\text{s}) \cdot 50 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 40\text{s} \cdot 50 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2000\text{m}$$

$$S_2 = (120\text{s} - 55\text{s}) \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 65\text{s} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 325\text{m}$$

- c) Schätze die Höhe ab, aus der die Fallschirmspringerin aus dem Flugzeug gesprungen ist, wenn die Landung nach 120 Sekunden erfolgt.

① $a = \frac{v}{t} = \frac{5 \frac{m}{s}}{10s} = 0,5 \frac{m}{s^2}$ $S = \frac{at^2}{2} = \frac{95 \frac{m}{s^2} \cdot 10^2}{2} = 25m$ 04.09.24

② $10km = 10000m$
 $44min = 2640s$ $\bar{v} = \frac{10000m}{2640s} = 3,78 \frac{m}{s}$

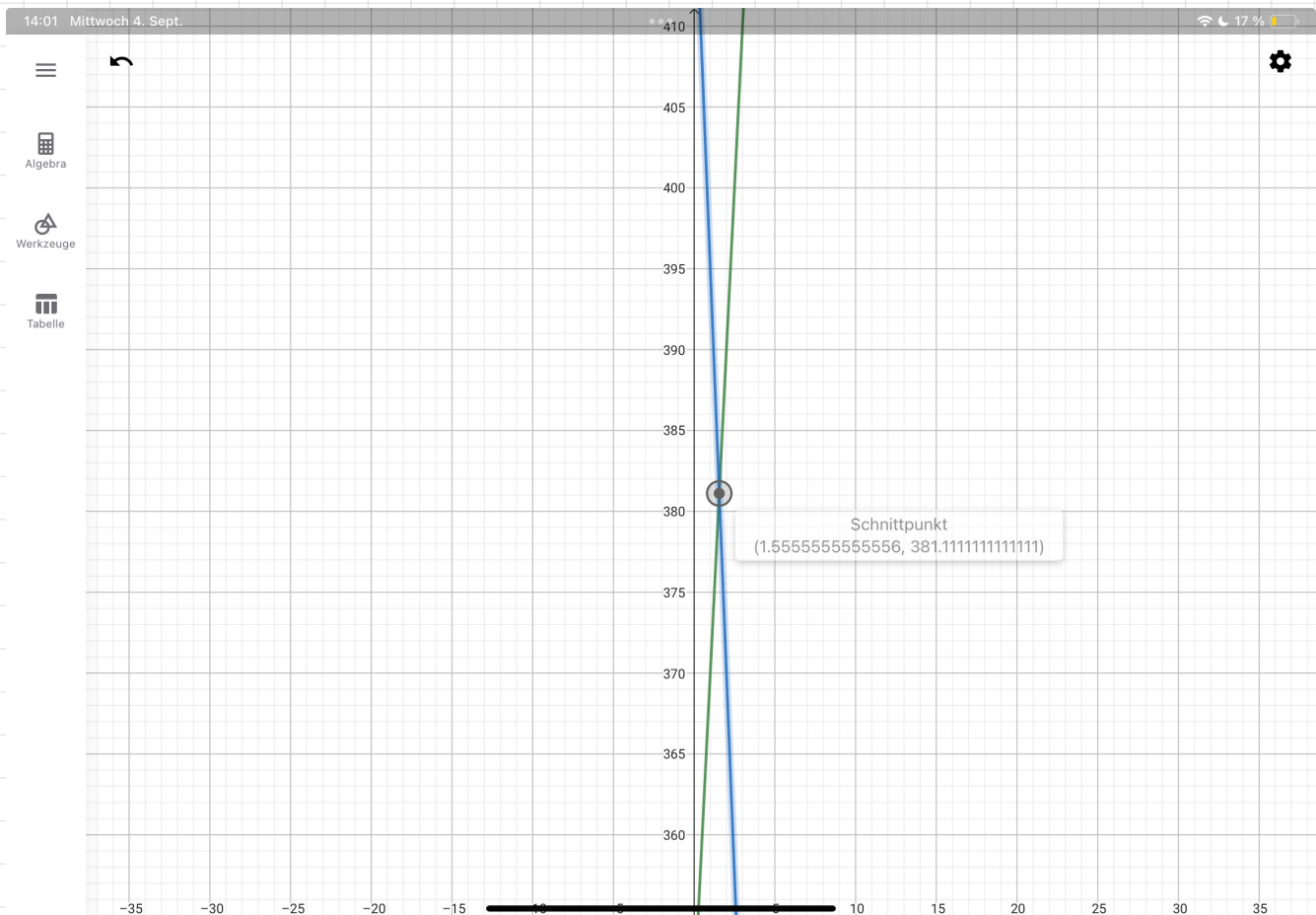
③ $350 km$ $20 \frac{km}{h}$
 $420 km$ $25 \frac{km}{h}$

$S = 420 - 350 = 70 km$

$v = 20 \frac{km}{h} + 25 \frac{km}{h} = 45 \frac{km}{h}$

$t = \frac{S}{v} = \frac{70 km}{45 \frac{km}{h}} = 1,5 h$

$S_1 = 350 km + 20 \frac{km}{h} \cdot 1,5 h = 381,1 km$



1.3 Gleichungen der geradlinigen Bewegungen



B1 Marathonlauf

Die gleichförmige geradlinige Bewegung. Bewegt sich ein Körper mit einer konstanten Geschwindigkeit (in Richtung und Betrag), spricht man von einer gleichförmigen geradlinigen Bewegung. Im Alltag lässt sie sich zum Beispiel bei Marathonläufern beobachten, die auf einem geraden Teilstück laufen (Bild B1).

Startet man eine Zeitmessung zu Beginn eines geraden Abschnitts und trägt den von einem Läufer zurückgelegten Weg auf der Hochachse und die benötigte Zeit auf der Rechtsachse in ein Koordinatensystem ein, erhält man eine Ursprungsgerade (Bild B3a). Die Steigung der Geraden entspricht dabei dem Betrag der Geschwindigkeit des Läufers:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s}{t}.$$

Die Steigung der Geraden ändert sich nicht, die Geschwindigkeit ist also konstant. Je steiler die Gerade ist, desto größer ist der Betrag der Geschwindigkeit. Stellt man die Gleichung nach s um, erhält man die Bewegungsgleichung der geradlinigen gleichförmigen Bewegung:

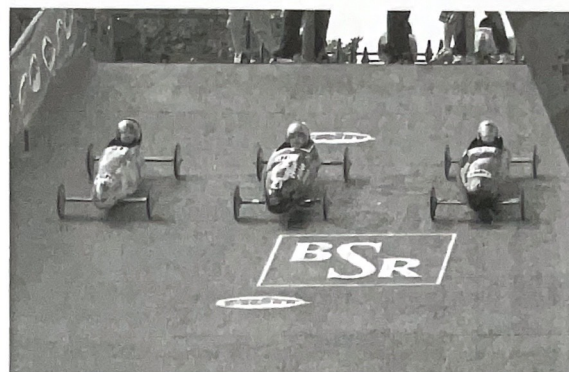
$$s(t) = v \cdot t.$$

! Merksatz

Bei einer gleichförmigen geradlinigen Bewegung sind Betrag und Richtung der Geschwindigkeit $\vec{v}$ konstant. Der Betrag v der Geschwindigkeit lässt sich aus der Steigung des Graphen im $s(t)$ -Diagramm ableiten. Die Bewegungsgleichung lautet:

$$s(t) = v \cdot t.$$

Da sich die Geschwindigkeit nicht verändert, ist der Betrag der Beschleunigung $a = 0$. Startet die Messung bei $s(t = 0 \text{ s}) = 0 \text{ m}$, so ist der zurückgelegte Weg s proportional zur Zeit t : $s \sim t$.



B2 Seifenkistenrennen

Die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung. Bewegt sich ein Körper in eine bestimmte Richtung und nimmt der Betrag der Geschwindigkeit in gleichen Zeitspannen gleichmäßig zu oder ab, liegt eine andere spezielle Bewegung vor: die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung. Der Betrag und die Richtung der Beschleunigung sind dabei konstant.

Eine gut gebaute Seifenkiste (ohne Lenkung) auf einer geraden Rampe (Bild B2) führt eine solche Bewegung aus. Erstellt man ein $v(t)$ -Diagramm, so kann man den Betrag der Beschleunigung aus der Steigung ablesen. Die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t kann dann berechnet werden mit:

$$v(t) = a \cdot t.$$

Der von der Seifenkiste zurückgelegte Weg s ändert sich proportional zum Quadrat der Zeit, also $s \sim t^2$. Das $s(t)$ -Diagramm ist aus diesem Grund parabelförmig (Bild B4a). Der Proportionalitätsfaktor beträgt für alle gleichmäßig beschleunigten, geradlinigen Bewegungen stets $\frac{1}{2}a$. Die Bewegungsgleichung der gleichmäßig beschleunigten Bewegung lautet:

$$s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2.$$

! Merksatz

Bei einer gleichmäßig beschleunigten geradlinigen Bewegung nimmt der Betrag der Geschwindigkeit mit der Zeit gleichmäßig zu.

Die Bewegungsgleichungen für eine Bewegung aus der Ruhe mit $s(t = 0 \text{ s}) = 0 \text{ m}$ lauten:

$$s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2,$$

$$v(t) = a \cdot t.$$

Auf einen Blick: Gegenüberstellung der Spezialfälle

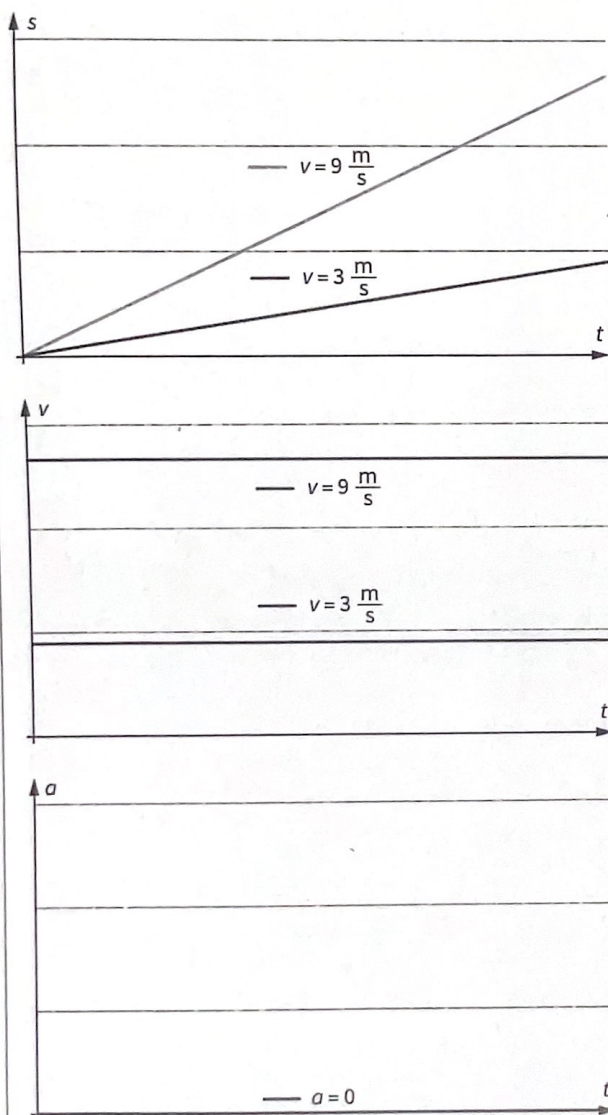
Gleichförmige geradlinige Bewegung. Bei der geradlinigen gleichförmigen Bewegung sind Betrag und Richtung der Geschwindigkeit konstant. Der zurückgelegte Weg s ist proportional zur Zeit t .

Bewegungsgleichungen:

$$s(t) = v \cdot t,$$

$$v(t) = v = \text{konstant},$$

$$a(t) = 0.$$



B3 Diagramme der gleichförmigen Bewegung: oben: $s(t)$ -Diagramm, Mitte: $v(t)$ -Diagramm, unten: $a(t)$ -Diagramm

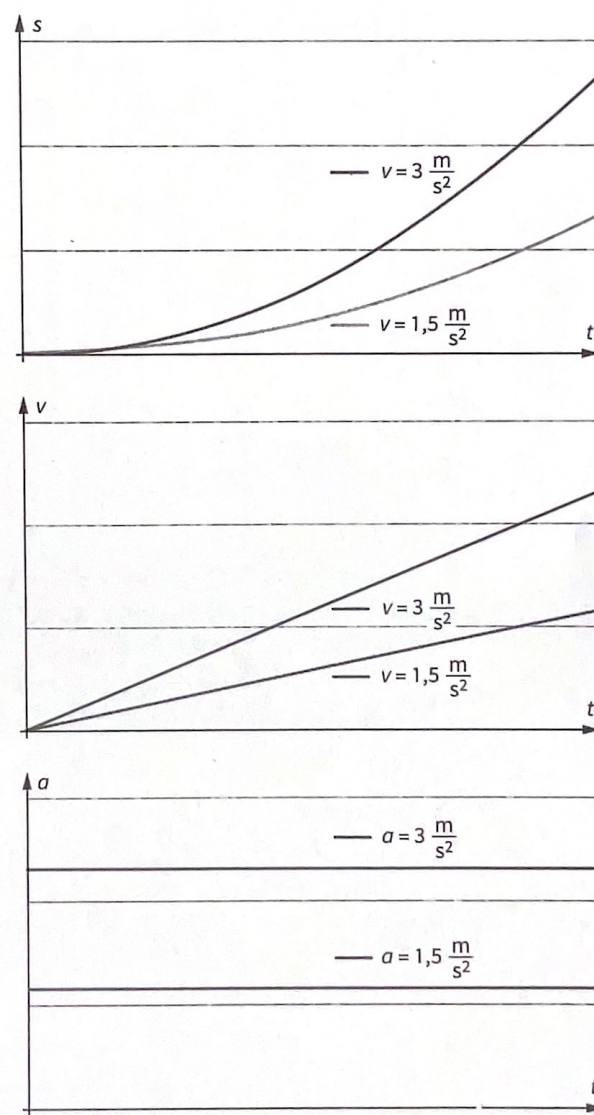
Gleichmäßig beschleunigte Bewegung. Bei der gleichmäßig beschleunigten geradlinigen Bewegung sind Betrag und Richtung der Beschleunigung konstant. Der zurückgelegte Weg s ist proportional zu t^2 . Die Geschwindigkeit v ist proportional zu t .

Bewegungsgleichungen:

$$s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2,$$

$$v(t) = a \cdot t,$$

$$a(t) = a = \text{konstant}.$$



B4 Diagramme der beschleunigten Bewegung: oben: $s(t)$ -Diagramm, Mitte: $v(t)$ -Diagramm, unten: $a(t)$ -Diagramm

Die Strecke entspricht der Fläche unter dem $V(t)$ -Diagramm

gleichförmige geradlinige Bewegung

Die Fläche entspricht dem Produkt aus der Geschwindigkeit V und der Zeit t .

$$\vec{s} = \vec{V} \cdot t$$

gleichmäßig beschleunigte Bewegung

die Strecke entspricht der Hälfte der Fläche unter dem Graphen, also der Hälfte des Produkts aus der Endgeschwindigkeit und der Zeit.

$$\vec{s} = \frac{\vec{V} \cdot t}{2} = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$a = \frac{v}{t}$

Die Bewegungsgleichungen lauten

gleichförmige Bewegung

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{m}{s^2} \quad \vec{v} = \begin{pmatrix} V_{x,0} \\ V_{y,0} \\ V_{z,0} \end{pmatrix} \frac{m}{s} \quad \vec{s}(t) = \begin{pmatrix} V_{x,0} \\ V_{y,0} \\ V_{z,0} \end{pmatrix} \cdot t + \begin{pmatrix} S_{x,0} \\ S_{y,0} \\ S_{z,0} \end{pmatrix}$$

gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung

$$\vec{s}(t) = \frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} a_{x,0} \\ a_{y,0} \\ a_{z,0} \end{pmatrix} \cdot t^2 + \begin{pmatrix} V_{x,0} \\ V_{y,0} \\ V_{z,0} \end{pmatrix} \cdot t + \begin{pmatrix} S_{x,0} \\ S_{y,0} \\ S_{z,0} \end{pmatrix}$$

$$0.5 \cdot a \cdot t^2 + v \cdot t + s$$

Mechanik

Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

- 1 In der unten stehenden Tabelle gehört jeweils eine Zeile zusammen. Bestimme fehlende Größen. Das Fahrzeug startet aus der Ruhe heraus bei der Wegmarke null.

Wiederhole zunächst die Formeln für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen:

$$v = a \cdot t$$

$$s = at^2/2$$

Nr.	Beschleunigung	Zeit	Geschwindigkeit	zurückgelegter Weg
1	3 m/s ²	15 s	45m/s	338
2	9,8 m/s ²	5s	49 m/s	123
3	5	3 s	54 km/h	22.5
4	0.4	2 min	48	2880 m
5	3 m/s ²	12	36	216 m
6	10	25	250 m/s	3125 m
7	3.97	7 s	100 km/h	97.2
8	2.31	12 s	100 km/h	167
9	50 m/s ²	3	150	225 m
10	10 m/s ²	1 Jahr	3.13536e8	

$$y = 5x$$

Gruppe 3 und 6

Aufgabe 9

Zeichne ein v-t Diagramm der gleichmäßig beschleunigten Bewegung für $a = 5 \text{ m/s}^2$. Lese daraus die Geschwindigkeit nach der 1. 2. 3. und 4. Sekunde ab.

Aufgabe 10

Nach 3 Sekunden erreicht ein Fahrzeug die Geschwindigkeit $0,52 \text{ m/s}$. Wie groß ist der in 3 s zurückgelegte Weg?

$$v = a \cdot t \Rightarrow a = \frac{0,52 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \text{s}} = 0,17\bar{3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad S = \frac{at^2}{2} = \frac{0,17\bar{3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (3 \text{s})^2}{2} = 1,17 \text{m}$$

Aufgabe 11

Ein Körper legt in der ersten Sekunde aus der Ruhe heraus 20 cm, in der 2. Sekunde 60 cm, in der 3. Sekunde 100 cm zurück. Die Beschleunigung in den einzelnen Zeitabschnitten konstant.

a)

Skizziere ein s-t-Diagramm.

b)

Welche Bewegung liegt vor? **gleichmäßig beschleunigte**

c)

Welche Geschwindigkeit hat der Körper nach 1s, 2s, 3s?

d)

Wie groß ist die mittlere Geschwindigkeit für den gesamten Weg?

$$S = \frac{v \cdot t}{2}$$

$$v = \frac{2S}{t}$$

$$v_1 = \frac{2 \cdot 20 \text{cm}}{1 \text{s}} = 40 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{2 \cdot 80 \text{cm}}{2 \text{s}} = 80 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$v_3 = \frac{2 \cdot 180 \text{cm}}{3 \text{s}} = 120 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

↓

$$a = 40 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$\frac{180 \text{cm}}{3 \text{s}} = 60 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Aufgabe 12

Ein Motorrad erreicht bei konstanter Beschleunigung aus der Ruhe nach 45 m Weg die Geschwindigkeit 30 m/s . Wie lange braucht es, wie hoch ist die Beschleunigung?

Geg:

$$v = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$S = 45 \text{m}$$

Ges:

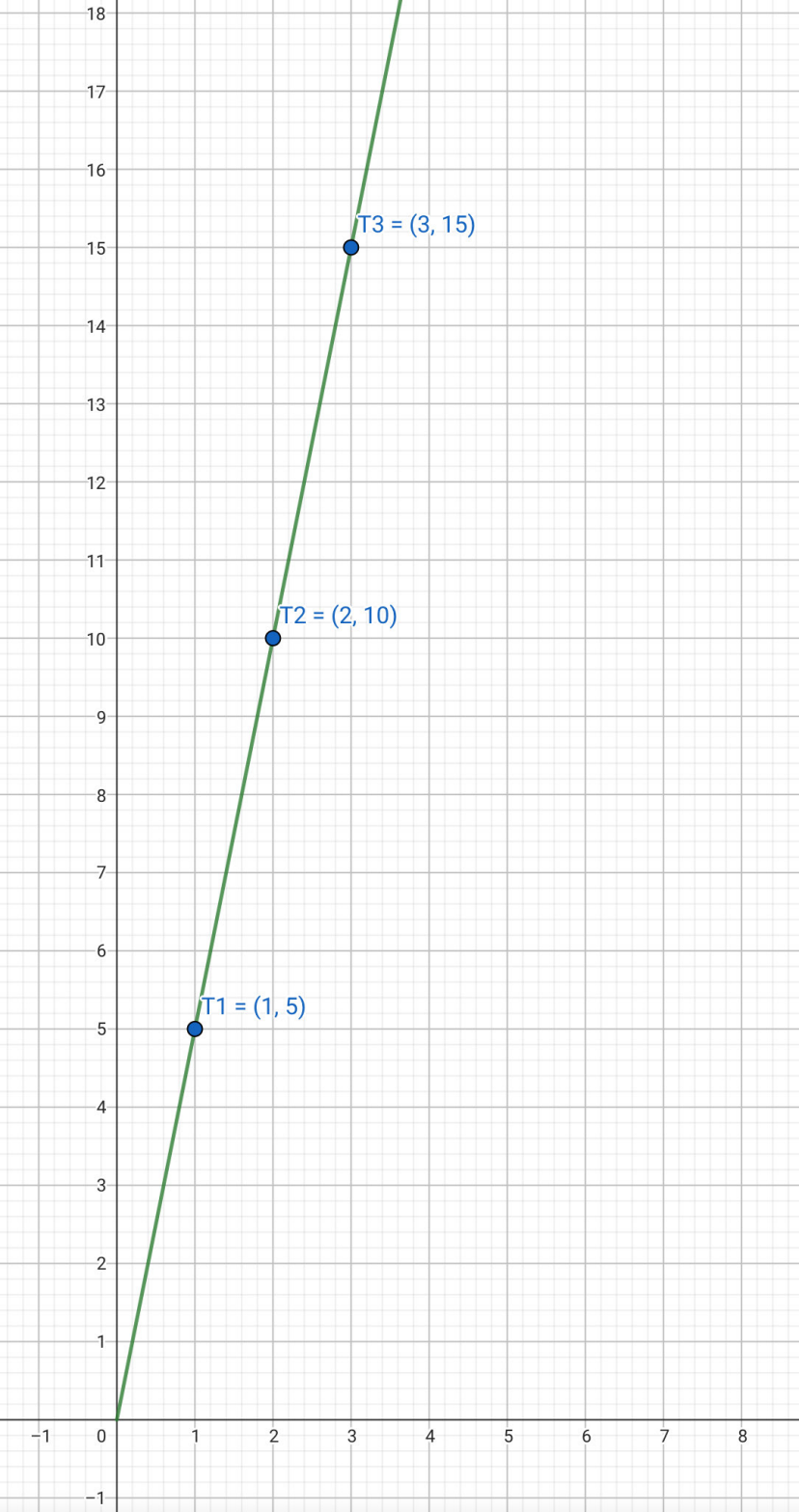
a - ?

t - ?

$$S = \frac{at^2}{2} = \frac{v}{t} \cdot \frac{t^2}{2} = \frac{vt}{2}$$

$$S = \frac{vt}{2} \Leftrightarrow t = \frac{2S}{v} = \frac{2 \cdot 45 \text{m}}{30 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3 \text{s}$$

$$a = \frac{v}{t} = \frac{30 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \text{s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



Gruppe 1 und 4:

Aufgabe 1

Ein Rennwagen startet mit einer konstanten Beschleunigung von $a = 5 \text{ m/s}^2$.

a)

Welche Geschwindigkeit wird nach 10 s erreicht? (in m/s und km/h).

b)

Wie groß ist der in 10 s zurückgelegte Weg?

Aufgabe 2

Die Achterbahn „Millennium Force (USA)“ beschleunigt bei ungebremsster Abfahrt in 3,9 s von 28,8 km/h auf 110,7 km/h.

a)

Wie groß ist die Beschleunigung (sie soll als konstant angenommen werden)?

b)

Wie lang ist der Beschleunigungsweg?

Aufgabe 3

Ein Pfeil wird von der Sehne eines Bogens auf einer Strecke von 0,6 m beschleunigt. Er erreicht eine Geschwindigkeit von 60 m/s.

a)

Wie groß ist die mittlere, konstant angenommene Beschleunigung?

b)

Wie lange dauert der Beschleunigungsvorgang?

Aufgabe 4

Ein mit konstanter Beschleunigung anfahrender Wagen kommt in den ersten 12 s 133 m weit. Wie groß sind Beschleunigung und Geschwindigkeit nach 12 s?

Gruppe 2 und 5:

Aufgabe 5

Eine Radfahrerin startet gleichmäßig beschleunigt aus dem Stand. Nach 5 s hat sie 20 m zurückgelegt. Wie groß ist die Beschleunigung?

Aufgabe 6

Ein Flugzeug, das zunächst mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit von 160 m/s fliegt, beschleunigt 15 s lang mit $a = 6,5 \text{ m/s}^2$. Welche Geschwindigkeit hat es dann?

Aufgabe 7

Ein Zug erreicht aus der Ruhe nach 10 s die Geschwindigkeit 5 m/s. Wie weit ist er gefahren?

Aufgabe 8

Mit zwei Motorrädern wird ein Beschleunigungstest gemacht. Motorrad Nr. 1 erreicht nach 10 s die Geschwindigkeit $v = 100 \text{ km/h}$. Motorrad Nr. 2 braucht eine Beschleunigungsstrecke von 100 m um auf die Endgeschwindigkeit von 100 km/h zu kommen. Welches Motorrad erreicht die größten Beschleunigungswerte?

10.09.24

4

Geg:

$$a = \frac{v}{t} = \frac{27,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{49 \text{s}} \approx 0,56689 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$v = 230 \frac{\text{km}}{\text{h}} =$$

$$t = 49 \text{s}$$

$$\downarrow \downarrow$$

$$t_{219} = \frac{63,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,56689 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 112,7 \text{s}$$

$$t_{219} - ?$$

$$s_{219} - ?$$

$$s_{219} = \frac{at^2}{2} = \frac{0,56689 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (112,7 \text{s})^2}{2} = 3600 \text{m}$$

5

Geg:

$$v = 18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t_1 = 0,3 \text{s}$$

$$t_2 = 1,5 \text{s}$$

$$a) a = \frac{v}{t} = \frac{-18 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,5 \text{s}} = -12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$b) s = \frac{12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1,5 \text{s})^2}{2} + 18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,3 \text{s} = 18,9 \text{m}$$

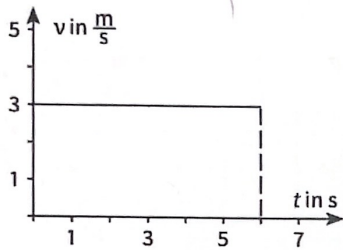
$$c) s = \frac{12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (1,5 \text{s})^2}{2} + 18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,2 \text{s} = 35,1 \text{m}$$

Mechanik

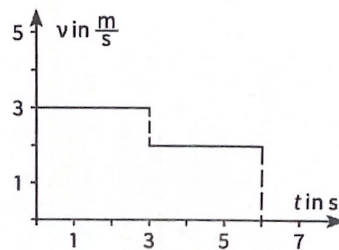
Beschleunigte Bewegung

Im t - v -Diagramm wird der zurückgelegte Weg durch den Flächeninhalt unter der t - v -Kurve angegeben.

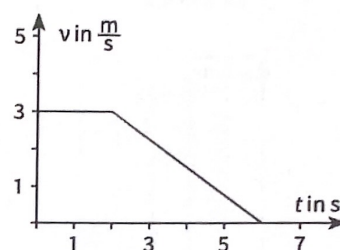
- 1 Lies den zurückgelegten Weg aus den Diagrammen ab:



$s =$ _____

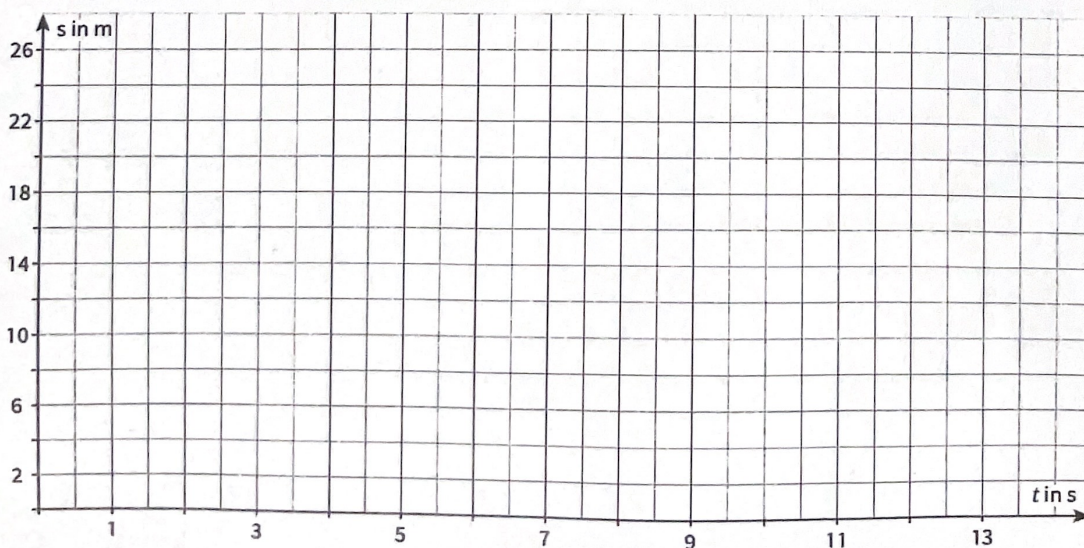
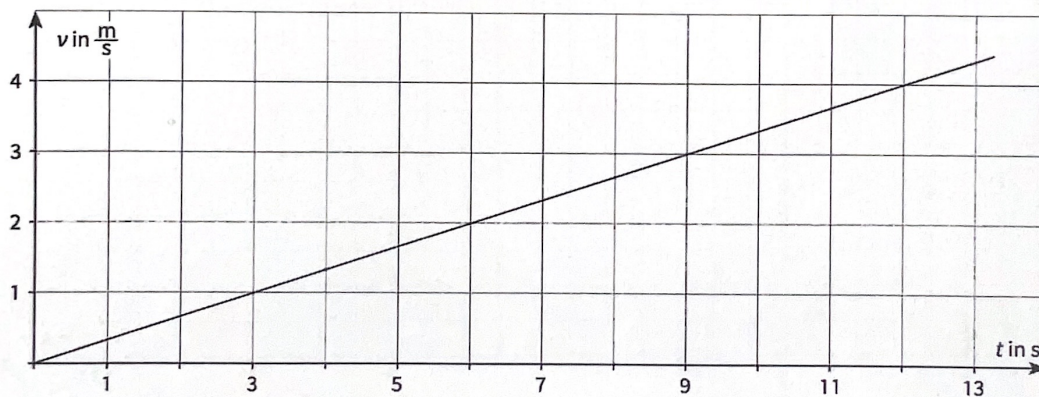


$s =$ _____



$s =$ _____

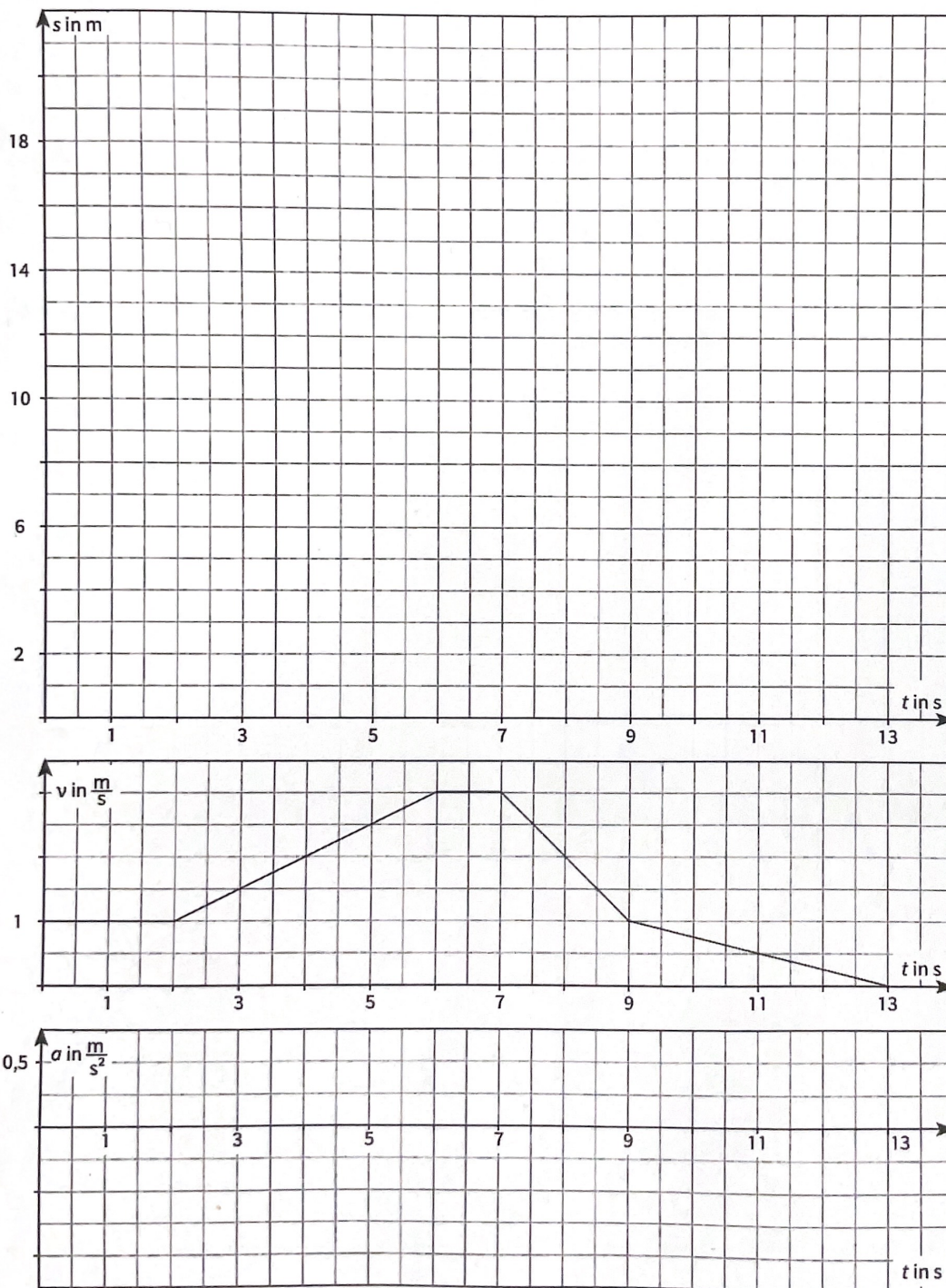
- 2 Lies zu mindestens 6 verschiedenen Zeiten den bis zu diesem Zeitpunkt zurückgelegten Weg ab und fertige damit ein t - s -Diagramm an.



Mechanik

Beschleunigte Bewegung

- 1 Das t - v -Diagramm einer Bewegung wurde aufgenommen. Lies daraus an jeweils mindestens 10 Stellen die Beschleunigung und den zurückgelegten Weg ab und trage diese Werte in die Diagramme ein.



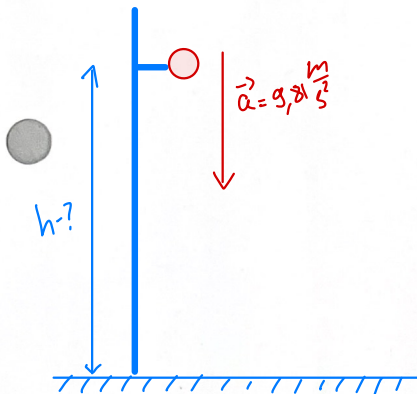
Vorlage: Versuchsprotokoll

Name: _____ Datum: _____

Fragestellung: **Wie ist der Abstand zum Fenster?**

Hypothese: **Die Höhe zum Fenster kann mithilfe der Zeit des freien Falls nach dem Wurf vom Fenster festgestellt werden.**

Material und Versuchsaufbau (z. B. beschriftete Skizze): **Zeiten: 1.3s, 1.13s, 1.28s
Durchschn. Zeit: 1.24s**



Versuchsdurchführung: _____

Wir haben 3 identische Bälle genommen und sie ohne Anfangsbeschleunigung aus der gleichen Höhe in den freien Fall gebracht. Wir haben die Fallzeit dreimal gemessen, um die durchschnittliche Fallzeit zu ermitteln und den Messfehler zu verringern. Da wir wissen, dass die Kugeln ohne zusätzliche Beschleunigung losgelassen wurden, können wir sagen, dass die Beschleunigung gleich der Erdanziehungskraft war, nämlich $9,81 \text{ m/s}^2$. Mit den Daten über die Beschleunigung und die Fallzeit können wir die Formel $at^2/2$ verwenden, um die von den Kugeln zurückgelegte Entfernung zu berechnen, die gleich der Entfernung vom Boden zum Fenster ist.

Beobachtungen (Messtabellen und grafische Auswertungen auf Extrablatt): _____

Die erste Kugel fiel in 1,3 Sekunden, die zweite in 1,13 Sekunden und die dritte in 1,28 Sekunden, was eine durchschnittliche Fallzeit von 1,24 Sekunden ergibt.

Versuchsauswertung (Ergebnis in Bezug auf die Fragestellung oder Hypothese, Erklärungen, Besonderheiten, Fehler und Verbesserungsvorschläge): _____

Die Berechnungen zeigen, dass der Abstand vom Boden zum Fenster 7,5 Meter beträgt.

Vorlage: Versuchsprotokoll

Name: _____ Datum: _____

Fragestellung: Versuch 2: Ist es möglich, Muttern auf die Schnur zu setzen, so dass jede Mutter im gleichen Zeitabstand fällt?

Hypothese: Dies ist möglich, und in diesem Fall wird der Abstand zwischen den Muttern exponentiell wachsen

Material und Versuchsaufbau (z. B. beschriftete Skizze):



Mit der Formel $4,905t^2$ haben wir die erforderlichen Entfernungen berechnet, die wie folgt lauten

t, s	S, cm
0,1	4,905
0,2	19,62
0,3	44,145
0,4	78,48
0,5	122,625
0,6	176,58
0,7	240,345
0,8	313,92
0,9	397,305
1	490,5
1,1	593,505
1,2	706,32
1,3	828,945
1,4	961,38

Versuchsdurchführung: _____

- Wir haben die Muttern an den berechneten Stellen auf der Schnur platziert, dann mit der App die Zeit des Fallens gemessen und überprüft, dass die Daten korrekt berechnet wurden, da jede
- nachfolgende Mutter in einem gleichen Abstand (Zeitintervall) fiel.

Beobachtungen (Messtabellen und grafische Auswertungen auf Extrablatt): _____

Versuchsauswertung (Ergebnis in Bezug auf die Fragestellung oder Hypothese, Erklärungen, Besonderheiten, Fehler und Verbesserungsvorschläge): _____

$$S = \frac{at^2}{2} = \frac{9,8 \frac{m}{s^2} \cdot (1,27s)^2}{2} = 7,5m$$

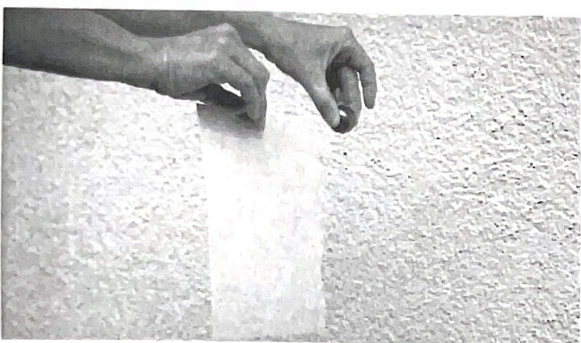
$$S_1 = 8.39$$

$$S_2 = 6.26$$

$$S_3 = 8.04$$

$$\frac{F_G}{2 \cos \alpha} = 281,2 \text{ N}$$

1.4 Der freie Fall ►



B1 Papier und Kugel: Was erreicht zuerst den Boden?

Fallende Körper. Auf der Erde fällt alles nach unten. Lässt man eine Stahlkugel und ein Blatt Papier fallen, bewegen sich beide Körper in Richtung Boden. Das Blatt Papier beginnt zu taumeln und benötigt viel mehr Zeit als die Stahlkugel. Knüllt man das Papier zu einem Ball zusammen, fällt es bereits deutlich schneller.

Der Grund dafür ist, dass die geknüllte Papierkugel eine viel kleinere Oberfläche und somit einen kleineren Luftwiderstand hat als das Blatt Papier. Um zu untersuchen, ob auch die Masse des Körpers einen Einfluss auf den Fall der Körper hat, führen wir Versuch **V1** durch. Befindet sich Luft in der Röhre, fällt die Kugel schneller als die Feder. Erzeugt man in der Röhre ein Vakuum und lässt dann beide Körper fallen, stellt man fest: Beide fallen gleich schnell. Die Masse der Körper hat keinen Einfluss auf den Fall. Ohne Luftwiderstand fallen Körper unterschiedlicher Masse und Form beschleunigt nach unten und immer gleich schnell. Diese spezielle beschleunigte Bewegung heißt **freier Fall**.

! Merksatz

Die Fallbewegung eines Körpers im Vakuum heißt freier Fall. Unabhängig von Masse und Form fallen alle Körper im Vakuum gleich schnell.

Fallgesetze. Der freie Fall ist ein Spezialfall der gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Der Wert der Beschleunigung kann wie in Versuch **V2** experimentell ermittelt werden. Da der freie Fall gleichmäßig beschleunigt ist, gilt $s(t) = \frac{a}{2} \cdot t^2$. Stellt man diese Gleichung nach a um, kann für jedes Wertepaar (s, t) die Beschleunigung berechnet werden. Der Mittelwert dieser Messungen beträgt $a = 9,83 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Der über viele Messungen ermittelte Wert liegt bei $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Man spricht von der **Fallbeschleunigung** oder dem **Ortsfaktor g** .

Ersetzt man in den Gleichungen der beschleunigten Bewegung die Variable a durch den Wert g , so ergibt sich:

$$s(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2,$$

$$v(t) = g \cdot t.$$

! Merksatz

Für den freien Fall aus der Ruhe mit dem konstanten Beschleunigungsbetrag $a = g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ gelten die Fallgesetze:

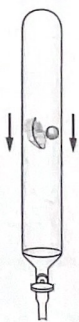
Zeit-Orts-Gesetz: $s(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2,$

Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz: $v(t) = g \cdot t.$

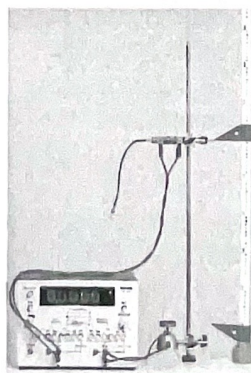
Der Faktor g heißt Fallbeschleunigung und ist für alle Körper am gleichen Ort gleich groß.

V1 Fallröhre – Feder und Kugel im Vakuum

In einer Fallröhre kann man Fallbewegungen unter verschiedenen Bedingungen untersuchen. In der Röhre befinden sich eine Metallkugel und eine Flaumfeder. Dreht man die Röhre, fallen beide Körper nach unten. Zunächst ist die Röhre mit Luft gefüllt. Danach wird die Luft aus der Röhre gepumpt und der Versuch wiederholt.



V2 Bestimmung der Fallbeschleunigung



Die bei $s(t = 0 \text{ s}) = 0 \text{ m}$ eingeklemmte Stahlkugel schließt einen elektrischen Kontakt. Beim Freigeben der Kugel wird er unterbrochen und die Uhr gestartet. Die Kugel trifft unten auf einen Teller, die Uhr stoppt. Für unterschiedliche Höhen s wird die Fallzeit gemessen.

s in m	Zeit t in s	Beschleunigung in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
0,2	0,201	9,90
0,4	0,286	9,78
0,8	0,404	9,80

* Beispielaufgabe: Der Fallturm

Im einem Fallturm fallen in Kapseln verpackte Experimente 4,7 s lang näherungsweise frei. Berechnen Sie die Mindesthöhe des Turms.

Lösung:

Die Kapseln werden aus der Ruhe zum Zeitpunkt $t = 0$ s von der Turmspitze fallen gelassen. Die Wegachse zeigt nach unten, der Nullpunkt liegt an der Spitze des Turms.

Die Kapsel fällt gleichmäßig beschleunigt mit $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. In der Zeit t legt die Kapsel den Weg

$$s(t) = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

zurück. In 4,7 s fällt die Kapsel daher:

$$s(4,7 \text{ s}) = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (4,7 \text{ s})^2 = 108,4 \text{ m.}$$

Der Fallturm muss mindestens 108,4 m hoch sein.

Arbeitsaufträge

- 1 → Berechnen Sie den Fallweg eines Steins für die Fallzeiten 0,1 s; 0,2 s; 0,3 s sowie die Geschwindigkeit nach 0,75 m Fallweg.
- 2 → Schätzen und berechnen Sie, aus welcher Höhe ein Auto frei fallen müsste, damit es eine Geschwindigkeit von $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht.
- 3 → Ein Bergführer lässt einen Stein von einer angeblich 150 m hohen Steilwand in einen Bergsee fallen. Nach 4,5 s sieht er erste Wellen auf dem See. Überprüfen Sie die Höhenangabe.
- 4 → Mit welcher Geschwindigkeit erreicht ein Turmspringer die Wasseroberfläche? Berechnen Sie die Geschwindigkeiten für Sprungtürme der Höhe 3 m; 5 m; 7,5 m; 10 m.

Exkurs: GALILEIS Versuche

GALILEO GALILEI hatte theoretisch begründet, dass sich die Wege beim freien Fall wie die Quadrate der Zeiten verhalten sollten, und suchte die experimentelle Bestätigung. Er umging die Schwierigkeiten der Messung kurzer Fallzeiten, indem er die Bewegung auf einer schiefen Ebene, also langsamer, ablaufen ließ. Zugleich floss Wasser durch eine dünne Röhre aus einem Eimer. Diese Wassermenge konnte er wiegen; sie war sein Maß für die Zeit.

In der Nachbildung von GALILEIS Laboratorium im Deutschen Museum (Bild B1) sehen wir die Versuchsanordnung. So beginnt seine Versuchsbeschreibung:

„Auf einem Holzbrette von 12 Ellen Länge, bei einer halben Elle Breite und drei Zoll Dicke, war auf dieser letzten schmalen Seite eine Rinne von etwas mehr als einem Zoll Breite eingegraben. Dieselbe war sehr gerade gezogen, und, um die Fläche recht glatt zu haben, war inwendig ein sehr glattes und reines Pergament aufgeklebt. In dieser Rinne ließ man eine sehr harte, völlig runde und glattpolierte Messingkugel laufen ...“

Der Text stammt aus GALILEIS Hauptwerk „Discorsi“. Zum ersten Mal in der Geschichte der Naturwissenschaften begegnet uns eine wissenschaftliche Veröffentlichung mit detaillierter Versuchsbeschreibung unter bewusst



B1 GALILEIS Labor (Nachbildung)

gewählten, idealisierten Bedingungen: GALILEI wählt eine einfache Bewegung aus (Kugel auf schiefer Ebene), schafft einfache Versuchsbedingungen (glatte Ebene und glatte Kugel), führt genaue Messungen durch, bestätigt ein vermutetes mathematisches Gesetz ($s \sim t^2$) und überträgt die so gewonnenen Ergebnisse auf den freien Fall.

GALILEI untersuchte bei seinen Versuchen nur das „Wie“ der Bewegungsabläufe, nicht das „Warum“. Das Gravitationsgesetz als Ursache des freien Falls wurde später von ISAAC NEWTON in seinem Werk „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“ beschrieben.

Experimente zum freien Fall

Führt zwei von den drei untenstehenden Versuchen in 4-er Gruppen durch und fertigt jeweils ein Versuchsprotokoll an.

Versuch 1

Eine Person hält ein Lineal am oberen Ende fest, eine andere Person hält Daumen und Zeigefinger um das untere Ende des Lineals. Die erste Person lässt das Lineal ohne Vorwarnung fallen. Die zweite Person greift sofort zu. Bestimmt drei Fallstrecken.

Stellt nun eine Formel für den Zusammenhang zwischen der Fallstrecke und der Fallzeit auf. Errechnet jeweils den Durchschnittswert.

Bastelt ein Zeitlineal, welches ihr an das Längenlineal anlegen könnt, sodass die Längen direkt in Reaktionszeiten umgewandelt werden können.

Versuch 2

Von Galileo Galilei stammt die Idee, Bleikugeln an einer Schnur so anzuordnen, dass sie in festem Rhythmus auf dem Boden auftreffen, wenn die Schnur an einem Ende gehalten und dann losgelassen wird. Plant und fertigt mit Schraubenmuttern und einer Schnur eine solche Fallschnur.

Überlegt euch in welchen Abständen die Muttern geknotet werden müssen, damit der zeitliche Abstand des Klopfgeräusches immer gleich ist.

Versuch 3

Bestimmt die Erdbeschleunigung g mit Hilfe eines Balls und eurem Handy. Nehmt dafür an, dass alle Objekte gleich schnell fallen. Lasst den Ball aus einer festgelegten Höhe fallen und nutzt die Akustische Stoppuhr der PhyPox App. Filmt den Vorgang. Schaut euch anhand der Frames der Aufnahme die Fallzeit an. Überlegt euch dann wie ihr mit der Fallzeit weiter vorgehen könnt.

Der freie Fall

Unter einem freien Fall wird die Fallbewegung eines Körpers verstanden, wenn dieser sich im luftleeren Raum befindet. Der freie Fall ist eine geradlinige gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit einer (an einem Ort) für alle Körper konstanten Erdbeschleunigung g . Die Erdbeschleunigung bzw. der Ortsfaktor g beträgt, auf der Erde, auf der Meereshöhe und bei 45° geografische Breite: **9,81 m/s²**.

g kann aus der Gravitationskonstanten (γ) der Erdmasse m_E und dem Erdradius r_E berechnet werden.

$$F_G = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = m \cdot g$$

$$\vec{a}(t) = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -9,81 \end{pmatrix} \frac{m}{s^2}$$

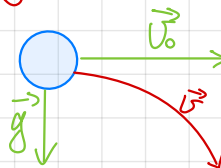
$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} t + \begin{pmatrix} v_{0,x} \\ v_{0,y} \\ v_{0,z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -9,81 \end{pmatrix} \frac{m}{s^2} \cdot t + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{m}{s}$$

$$\vec{s}(t) = \begin{pmatrix} s_{0,x} \\ s_{0,y} \\ s_{0,z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_{0,x} \\ v_{0,y} \\ v_{0,z} \end{pmatrix} t + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} a_{0,x} \\ a_{0,y} \\ a_{0,z} \end{pmatrix} t^2 = \begin{pmatrix} s_{0,x} \\ s_{0,y} \\ s_{0,z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{m}{s} \cdot t + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -9,81 \end{pmatrix} \frac{m}{s^2} t^2$$

der freie Fall



waagerechter Wurf



Die Bewegung eines waagerechten Wurfs lässt sich unterteilen in eine gleichförmige Bewegung und eine geradlinige gleichmäßig beschleunigte Bewegung (der freie Fall). Es wird von einer Überlagerung von Bewegungen gesprochen. Es finden zwei Bewegungen gleichzeitig statt.

Waagerechter Wurf

$$\vec{a}(t) = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -9,81 \end{pmatrix} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix} t + \begin{pmatrix} v_{0,x} \\ v_{0,y} \\ v_{0,z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -9,81 \end{pmatrix} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot t + \begin{pmatrix} v_{0,x} \\ v_{0,y} \\ v_{0,z} \end{pmatrix}$$

$$\vec{s}(t) = \begin{pmatrix} s_{0,x} \\ s_{0,y} \\ s_{0,z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_{0,x} \\ v_{0,y} \\ v_{0,z} \end{pmatrix} t + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} a_{0,x} \\ a_{0,y} \\ a_{0,z} \end{pmatrix} t^2 = \begin{pmatrix} s_{0,x} \\ s_{0,y} \\ s_{0,z} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_{0,x} \\ v_{0,y} \\ v_{0,z} \end{pmatrix} \frac{\text{m}}{\text{s}} t + \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -9,81 \end{pmatrix} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} t^2$$

$$t_w = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$$

$$S_{\text{max}} = v_0 \cdot t_w = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Geg:

$$h_0 = 200 \text{ m}$$

$$v_0 = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ges:

S_{max}

$$S_{\text{max}} = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 200 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 320 \text{ m}$$

Antwort: Das Flugzeug muss das Paket ca. 320m vor dem Auftreffpunkt abwerfen.

Der waagerechte Wurf

Aufgabe 1

Die Feuerwehr löscht von einer Leiter in 12 m Höhe mit waagerechtem Strahl ein Feuer. Der Strahl trifft ein Fenster in 7 m horizontaler Entfernung und 9 m Höhe. Berechnen Sie die Wassergeschwindigkeit an der Düse.

Aufgabe 2

Eine Kugel wird mit $100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ waagrecht auf das Zentrum einer 50 m entfernten Zielscheibe geschossen. Bestimmen Sie den Auftreffort.

Aufgabe 3

Ein Tennisball soll von der Grundlinie aus in 2 m Höhe waagrecht so abgeschossen werden, dass er maximal 50 cm vor dem Ende des gegnerischen Feldes auftrifft. Die Grundlinien sind $23,8\text{ m}$ voneinander entfernt.

a)

Berechnen Sie den erlaubten Bereich für die Abschussgeschwindigkeit.

b)

Bestimmen Sie die Koordinaten des optimalen Aufschlags. Zeichnen Sie maßstäblich die Flugbahn und berechnen Sie die Auftreffgeschwindigkeit.

Physik

Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

A Achterbahn 1

Auf dem Kingda-Ka-Coaster im Six-Flags-Freizeitpark im US-Bundesstaat New Jersey wird man erst in 3,5 s auf 206 km/h beschleunigt, fährt dann 139 m senkrecht nach oben, um dann wieder 139 m senkrecht in die Tiefe zu stürzen.

Wir nehmen an, dass die Bewegung aus der Ruhe heraus startet und die Beschleunigung während des Beschleunigungsvorgangs konstant ist. Wir nehmen weiter an, dass der "Sturz in die Tiefe" ebenfalls wieder aus der Ruhe startet und ungebremst, d.h. mit der Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ geschieht.



- Berechnen Sie die mittlere Beschleunigung während des Beschleunigungsvorgangs.
- Berechnen Sie die Strecke, die man während des Beschleunigungsvorgangs zurücklegt.
- Berechnen Sie die Zeit, die der "Sturz in die Tiefe" dauert.
- Berechnen Sie die Geschwindigkeit, die man am Ende des "Sturzes in die Tiefe" besitzt.

B Achterbahn 2

Das folgende Zitat stammt aus dem Artikel "Ein Mann zum Fürchten" über den Achterbahnkonstrukteur Andreas Wild in "DIE ZEIT" 35/2014 S.24.

"Die zurzeit schnellste Bahn der Welt - die Formula Rossa in der Ferrari World in Abu Dhabi - beschleunigt ihre Insassen auf 240 Stundenkilometer. Dabei entstehen kurzfristig Kräfte von bis zu 4,8 g."

Wir nehmen wieder an, dass die Bewegung aus der Ruhe heraus startet. Weiter soll die Beschleunigung während dieses Beschleunigungsvorgangs konstant den Wert 1,3 g haben.

- Diskutieren Sie den letzten Satz im obigen Zitat.
- Berechnen Sie die Zeitspanne, die der Beschleunigungsvorgang dauert.
- Berechnen Sie die Strecke, die man während des Beschleunigungsvorgangs zurücklegt.

(A)

$$16,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad 1,66 \text{ g}$$

$$a) \bar{a} = \frac{v}{t} = \frac{\frac{206 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}}{3,5 \text{ s}} = 16 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1,63 \text{ g}$$

$$b) S = \frac{\bar{a} t^2}{2} = \frac{16,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (3,5 \text{ s})^2}{2} = 100,19 \text{ m}$$

$$c) t = \sqrt{\frac{2S}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 100,19 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 5,32 \text{ s}$$

$$d) v = at = g \cdot t = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5,32 \text{ s} = 52,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

(B)

a)

$$b) t = \frac{v}{a} = \frac{\frac{240 \text{ m}}{3,6 \text{ s}}}{1,3 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 5,23 \text{ s}$$

$$c) S = \frac{at^2}{2} = \frac{1,3 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5,23 \text{ s})^2}{2} = 172,42 \text{ m}$$

Aufgabe 1

Gegeben:

$$h_1 = 12 \text{ m}$$

$$x = 7 \text{ m}$$

$$h_2 = 9 \text{ m}$$

$$S = v \cdot t_w = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2(h_1 - h_2)}{g}}$$

$$v_0 = \frac{S}{\sqrt{\frac{2(h_1 - h_2)}{g}}} = \frac{7 \text{ m}}{\sqrt{\frac{2(12 \text{ m} - 9 \text{ m})}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}} = 8,95 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Gesucht:

$v - ?$

Aufgabe 2

Gegeben:

$$v = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$S = 50 \text{ m}$$

$$t = \frac{S}{v} = \frac{50 \text{ m}}{100 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,5 \text{ s}$$

$$\Delta h = \frac{at^2}{2} = \frac{gt^2}{2} = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,5 \text{ s})^2}{2} = 1,226 \text{ m}$$

Gesucht:

$\Delta h - ?$

Freier Fall und waagerechter Wurf

Bestimmung der Brunnentiefe

Es soll die Tiefe eines Brunnens bestimmt werden, indem ein Stein hinein fallen gelassen wird. Der Aufschlag auf der Wasseroberfläche ist gut hörbar. Der Schall hat eine Geschwindigkeit von $333 \frac{m}{s}$. Der Aufschlag ist 20 Sekunden nach dem Loslassen an der Brunnenkante zu hören.

a)

Fertige eine Skizze zum geschilderten Problem an.

b)

Benenne die zu beachtenden Vorgänge.

c)

Berechne wie tief der Brunnen ist. Schreibe einen Antwortsatz.

Lara Croft verfolgt Verbrecher*innen

Die Gegner*innen von Lara Croft versuchen mit einem $5 m$ langen Schnellboot zu entkommen. Lara rast mit ihrem Motorrad und einer Geschwindigkeit v_L über den Landungssteg, der $4 m$ über der Wasseroberfläche verläuft. Ihre Absicht ist es, nach dem waagerechten Absprung auf dem Boot ihrer Gegner*innen zu landen. Die Ladefläche auf dem Boot befindet sich $50 cm$ über der Wasseroberfläche. Das Boot bewegt sich mit $30 \frac{km}{h}$ vom Steg weg und zum Zeitpunkt des Absprungs hat es bereits $10 m$ Vorsprung.

Aufgabe: Berechne in welchem Intervall die Geschwindigkeit beim Absprung liegen muss, damit sie mit ihrem (punktförmigen) Motorrad auf dem Boot landen kann.

Galileis Irrtum

Es ist tröstlich zu wissen, dass sich auch ein Galilei auf dem Weg zu seinen Entdeckungen immer wieder geirrt hat. Vorübergehend hat er - ähnlich wie Aristoteles - gemeint die Fallgeschwindigkeit v_e (Endgeschwindigkeit beim freien Fall) sei proportional zur Fallstrecke h , denn er hatte beobachtet, dass eine Ramme, die aus doppelter Höhe fällt, einen Pfahl doppelt so tief in den Boden rammt.

a)

Berechne die tatsächliche Abhängigkeit der Fallgeschwindigkeit v_e von der Fallhöhe h .

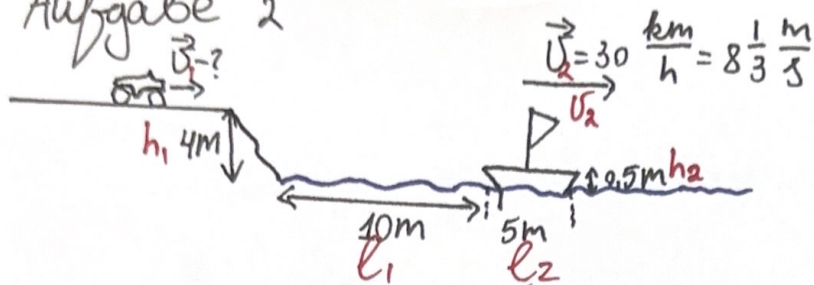
b)

Wie schnell wird der Körper bei einer Fallhöhe von $h = 5 m$?

c)

Der Körper fällt nun doppelt so weit wie in b). Was ändert sich?

Aufgabe 2



$$S_{\max} = U_g \cdot t_{\text{cr}} = U_g \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$U_g = \frac{S_{\max}}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{\frac{2(h_1 - h_2)}{g}}}$$

$$U_{1,\min} = \frac{S_{\max}}{\sqrt{\frac{2(h_1 - h_2)}{g}}} + U_2 = \frac{10\text{m}}{\sqrt{\frac{2(4\text{m} - 0.5\text{m})}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}} + 8 \frac{1}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20,1715 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$U_{1,\min}$

$$U_{1,\max} = \frac{S_{\max} + l_2}{\sqrt{\frac{2(h_1 - h_2)}{g}}} = 26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$U \in [20,17; 26] \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Aufgabe 1:

$$t_{\text{ges}} = 20 \text{ s}$$

$$v_{\text{schall}} = 333 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h = ?$$

$$t_{\text{ges}} = t_1 + t_2 \Leftrightarrow t_2 = t_{\text{ges}} - t_1 \quad v_2 = v_{\text{schall}}$$

$$h_{\text{ges}} = h_1 = h_2$$

$$h_1 = \frac{g \cdot t_1^2}{2} \quad h_2 = v_2 \cdot t_2$$

$$\frac{g t_1^2}{2} = v_2 \cdot t_2 \Leftrightarrow g t_1^2 = 2 v_2 (t_{\text{ges}} - t_1)$$

$$g t_1^2 = 2 v_2 t_{\text{ges}} - 2 v_2 t_1$$

$$g t_1^2 - 2 v_2 t_{\text{ges}} + 2 v_2 t_1 = 0$$

$$9,81 t_1^2 - 2 \cdot 333 \cdot 20 + 2 \cdot 333 t_1 = 0$$

$$9,81 t_1^2 + 666 t_1 - 13320 = 0$$

Zeit kann nicht negativ sein $\rightarrow t_{11} = -84 \quad t_{21} = 16,15553$

$$t_1 = 16,15553 \text{ s}$$

$$t_2 = 3,84447 \text{ s}$$

$$h_1 = \frac{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (16,15553)^2}{2} = 1280 \text{ m}$$

zum Überprüfen: $h_2 = 333 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3,84447 \text{ s} = 1280 \text{ m}$

Antwort: $h = 1280 \text{ m}$

Überlagerung von Bewegungen

Der waagerechte Wurf lässt sich als Überlagerung (Superposition) von zwei Bewegungen darstellen und berechnen. Dabei werden beide Bewegungen unabhängig voneinander betrachtet.

Ein Beispiel dafür ist Schwimmen von dem einen zum anderen Ufer mit Strömung von der Seite. Dabei werden zur Beschreibung der Bewegung Elemente der Vektorrechnung genutzt.

Bewegungen lassen sich aus Teilbewegungen in verschiedenen Richtungen zusammengesetzt denken, die unabhängig voneinander ablaufen.

Ausnahme: Bewegungen mit Luftwiderstand.

Der senkrechte Wurf

Bewegung nach oben/unten:

$$\vec{a}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{m}{s^2}$$

$$\vec{s}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ V_z \end{pmatrix} \cdot t + \begin{pmatrix} S_{0,x} \\ S_{0,y} \\ S_{0,z} \end{pmatrix}$$

Freier Fall:

$$\vec{s}(t) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -9.81 \end{pmatrix} \frac{m}{s^2} \cdot t^2 + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot t + \begin{pmatrix} S_{0,x} \\ S_{0,y} \\ S_{0,z} \end{pmatrix}$$

Zusammen ergibt sich:

$$\vec{s}(t) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -9.81 \end{pmatrix} \cdot t^2 + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ V_z \end{pmatrix} \cdot t + \begin{pmatrix} S_{0,x} \\ S_{0,y} \\ S_{0,z} \end{pmatrix}$$

In einer Dimension:

$$S = \frac{1}{2} g t^2 + V_{0,z} t + S_{0,z}$$

$$V = V_{0,z} - g t$$

$$h = \max \Rightarrow V = 0$$

$$t = \frac{V}{g}$$

$$h_{\max} = \frac{V_0^2}{2g} + h_0$$

Beispielaufgabe: Ein Ball wird mit einer Start-Geschwindigkeit von $10 \frac{m}{s}$ senkrecht nach oben geworfen. $h_0 = 7,5m$. t bis h_0 wieder? $h_{\max} - ?$

$$h_{\max} = \frac{\left(10 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} + 7,5m = 12,6m$$

$$t = 2 \frac{V}{g} = 2 \cdot \frac{10 \frac{m}{s}}{9,81 \frac{m}{s^2}} = 2,04s$$

Der senkrechte Wurf

1. Rund um den Wurf nach oben

a)

Leite allgemein eine Beziehung für die Steigzeit t_S (dies ist die Zeitspanne vom Abwurf bis zum Erreichen des höchsten Punkts des Wurfes) beim senkrechten Wurf nach oben her.

Tipp: Überlege dir, wie groß die Geschwindigkeit im höchsten Punkt des Wurfes ist.

b)

Berechne die Steigzeit für eine Kugel, die mit $20 \frac{m}{s}$ vertikal nach oben geworfen wird.

c)

Leite allgemein eine Beziehung für die Steighöhe y_S (dies ist die y-Koordinate des höchsten Punktes des Wurfes) beim senkrechten Wurf nach oben her.

d)

Berechne die Steighöhe für eine Kugel, die mit $20 \frac{m}{s}$ vertikal nach oben geworfen wird.

2. Gewaltiger Schuss nach oben

Ein Körper wird von der Erdoberfläche mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0 senkrecht nach oben geschossen. In $180 m$ Höhe bewegt er sich mit der Momentangeschwindigkeit $v = 80,0 \frac{m}{s}$ nach oben.

a)

Lege ein geeignetes Bezugssystem fest und berechne v_0 .

b)

Berechne die maximale Höhe h_{max} , welche der Körper erreicht.

c)

Bestimme die Momentangeschwindigkeit, die der Körper beim Herunterfallen in der Höhe $180 m$ besitzt.

3. Wie hoch hüpft man auf dem Mond?

Um richtig abzuschätzen zu können, wie hoch man auf dem Mond hüpfen kann, betrachten wir den Schwerpunkt und machen als vereinfachende Annahmen, dass die Sprungkraft der Person am Mond die selbe ist wie auf der Erde, das Gewicht der Person am Mond wegen des Raumanzugs aber doppelt so groß. Außerdem soll vereinfacht angenommen werden, dass beim Sprung immer die ganze Masse des Körpers gehoben und beschleunigt werden muss. ($g_{Mond} = 1,6 \frac{m}{s^2}$)

a)

Schätze folgende Höhen auf der Erde ab:

Die Höhe h_1 , die sich der Schwerpunkt in der Abstoßphase bis zum Ende des Bodenkontakts hebt.

Die Höhe h_2 , die sich der Schwerpunkt nach dem Ende des Bodenkontakts bis zum höchsten Punkt hebt.

Die Höhe h_3 , die sich die Füße gegenüber dem Schwerpunkt im obersten Punkt heben.

b)

Bestimme aus h_2 die Geschwindigkeit v_0 des Schwerpunkts am Ende des Bodenkontakts auf der Erde.

c)

Bestimme aus v_0 und h_1 die mittlere Beschleunigung in der Abstoßphase auf der Erde.

d)

Bestimme die Höhe h_2 auf dem Mond, mit Hilfe der Startgeschwindigkeit v_0

$$v^2 - v_0^2 = 2a \cdot s$$

24.09.24

Der schräge Wurf

a) gegeben v_0, α

$$\begin{aligned} x &= v_{0,x} \cdot t + x_0 \\ y &= v_{0,y} \cdot t - \frac{gt^2}{2} + y_0 \end{aligned}$$

↓

$$\begin{aligned} v_{0,x} &= v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_{0,y} &= v_0 \cdot \sin \alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t + x_0 \\ y &= v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} + y_0 \end{aligned}$$

b) $h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g}$ (senkrechter Wurf)

↓

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g} + h_0$$

c) $t_{\text{ges}} = 2 \cdot t_{\text{steig}} = 2 \cdot \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$

t_{ges} ist die Zeit, die ein Körper braucht, um bei einem schrägen Wurf wieder auf der Starthöhe anzukommen.

d) $y(x)$

$$\begin{aligned} x &= v_{0,x} t + x_0 \\ y &= v_{0,y} t - \frac{gt^2}{2} + y_0 \end{aligned} \quad \Leftrightarrow \quad t = \frac{x - x_0}{v_{0,x}}$$

Formeln beim schrägen Wurf

$$x = (x - x_0)$$

Bahngleichung:

$$y(x) = h_0 - \frac{g}{2 \cdot (v_0)^2 \cdot (\cos \alpha)^2} \cdot x^2 + x \cdot \tan \alpha$$

max. Wurfhöhe

$$h_{\max} = h_0 + \frac{(v_0)^2 \cdot (\sin \alpha)^2}{2g}$$

Steigzeit

$$t_s = \frac{v_0 \cdot (\sin \alpha)}{g}$$

Wurfweite

$$x_{\max} = \frac{(v_0)^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g}$$

Wurfgeschwindigkeit

$$v(t) = \sqrt{(v_0)^2 + g^2 \cdot t^2 - 2 \cdot v_0 \cdot \sin \alpha \cdot g \cdot t}$$

Dynamik

1. Newton'sches Axiom: Trägheitsprinzip
2. Newton'sches Axiom: $F = m \cdot a$
3. Newton'sches Axiom: "actio = reactio": wenn der Körper A eine Kraft auf den Körper B wirkt, so wirkt der Körper B auch eine Kraft auf den Körper A. Dabei haben beide Kräfte den gleichen Betrag.

1.2 Dynamik

Die **Kinematik** beschäftigt sich mit der Analyse und Beschreibung von Bewegungen, ohne die Frage zu stellen, warum sich Bewegungszustände von Körpern verändern.

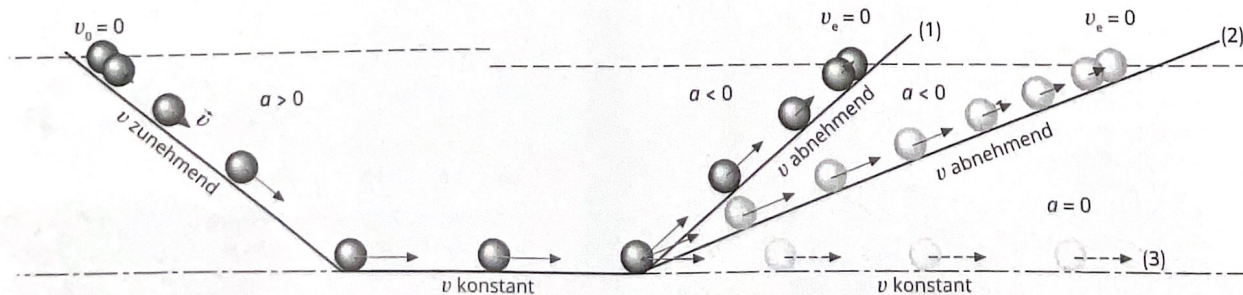
Die **Dynamik** ist die Lehre von Kräften und Impulsen. Sie fragt nach den Ursachen für die Änderungen von Bewegungszuständen.

Der englische Naturforscher Isaac NEWTON (1643–1727) hat in seinem Hauptwerk „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ aus dem Jahr 1686 eine noch heute gültige Antwort auf diese Fragen gegeben. Seine Grundgesetze der Dynamik gelten sowohl für die Bewegung der Körper am Himmel als auch für die Bewegung aller Körper auf der Erde.

1.2.1 Das Trägheitsprinzip

Nach alltäglicher Erfahrung kommt jeder Körper, der sich selbst überlassen wird, nach einiger Zeit zur Ruhe. Das gilt für den Fußball, der über den Platz rollt, ebenso wie für den Eishockeypuck, der über das Eis rutscht. Der italienische Physiker und Philosoph Galileo GALILEI (1564–1642) hinterfragte die Beobachtungen. Er erkannte, dass sich ein bewegender Körper immer weiter bewegen würde, wenn er ganz sich selbst überlassen bliebe. Zum Abbremsen ist eine *Einwirkung* von außen erforderlich. Im Alltag sind das z.B. Reibungskräfte, die der Untergrund oder die Luft ausüben. GALILEI gewann seine Erkenntnis u. a. aus folgendem Gedankenexperiment:

► **Gedankenexperiment:** Eine Kugel rollt aus einer bestimmten Höhe reibungsfrei eine schiefe Ebene hinab, läuft auf einer zweiten Ebene horizontal weiter und rollt schließlich eine dritte Ebene wieder hinauf (Abb. 1). **Beobachtung:** Die Kugel wird auf dem ersten Teilstück immer schneller und verliert auf dem dritten Teilstück wieder an Geschwindigkeit. Sowohl bei stärkerer Neigung als auch bei schwächerer Neigung der Ebene erreicht die Kugel (fast) wieder die Höhe, von der aus sie gestartet ist.



1 Gedankenexperiment: Sowohl bei stärkerer Neigung (1) als auch bei schwächerer Neigung (2) der Ebene erreicht die Kugel (fast) wieder die Starthöhe. Daraus schloss GALILEI, dass sie auf einer horizontalen Ebene ohne Reibung ständig weiterrollt (3).

Erklärung: Auf dem ersten Teilstück wirkt die Erde durch ihre Anziehung beschleunigend auf die Kugel und auf dem dritten Teilstück abbremsend. Wenn die abbremsende Wirkung durch eine geringere Neigung (2) der schiefen Ebene verringert ist, so legt die Kugel einen längeren Weg zurück, bis sie wieder die Ausgangshöhe erreicht hat. Ganz ohne Neigung (3) – und ohne bremsende Wirkung – kann die Kugel die Ausgangshöhe nicht erreichen. Sie müsste unendlich weiterlaufen. ◀

Diese für alle bewegten und ruhenden Körper geltende Aussage, dass sie ohne Einwirkung eines anderen Körpers ihren Bewegungszustand nicht ändern, wird als **Trägheitsprinzip** bezeichnet. Alle Körper zeigen die Eigenschaft Trägheit, bzw. träge zu sein.

NEWTONS Gedanke war es, die *äußeren Einwirkungen* in Form von Wechselwirkungen zwischen Körpern und ihrer Umgebung unter dem Begriff **Kraft** zusammenzufassen.

Trägheitsprinzip – erstes Newton'sches Axiom:

Solange keine Kraft auf einen Körper einwirkt, bleibt er in Ruhe oder er behält seine Geschwindigkeit bei, d.h., Richtung und Betrag der Geschwindigkeit bleiben konstant.

Oder positiv ausgedrückt: Zur Änderung des Betrags oder der Richtung einer Geschwindigkeit, also zur Beschleunigung eines Körpers, ist eine Kraft erforderlich. Das wird in Abb. 2 deutlich: Der Dummy bewegt sich mit der ursprünglichen Geschwindigkeit weiter, weil die bremsende Kraft nur auf den Motorroller wirkt.

Trägheitsprinzip und Inertialsysteme

Das Verhalten der Kugel auf dem durch eine Kurve fahrenden Wagen wird aus zwei verschiedenen Bezugssystemen betrachtet (Abb. 3). Aus einem relativ zu den Schienen ruhendem Bezugssystem I verhält sich die Kugel nach dem Trägheitsprinzip: Sie bewegt sich in der Kurve weiter geradeaus, weil zwar eine Kraft von den Schienen

2 Auf de
Kraft. Er
weiter. D
wird von

auf den
urteilt
der der
wohl es
nicht in
für den
heitspri

Bezugss

Ein l
heiß

Für fast
system,
seine st
Erdröta
der Pen
raum ge

AUFGA

1. Ein W
sitzen
fährt
a) Erl
de:
wi
Sit
b) Ge
gu
c) Ste
an
ih
2. In die
Tisch
wird
Erklär
Kurve
heitsp
Sie da
wirke
3. Auf de
wagen
der Ei
kraft
weiter
trager
dung
zeich
den W
de Kr

2 Auf den Dummy wirkt in der gezeigten Situation (noch) keine Kraft. Er bewegt sich mit der zuvor gefahrenen Geschwindigkeit weiter. Der Motorroller unterliegt einer *äußeren Einwirkung*, er wird von der eingezeichneten Kraft abgebremst.

auf den Wagen wirkt, nicht jedoch auf die Kugel. Anders urteilt ein Beobachter, der auf dem Wagen mitfährt und der den Wagen als sein Bezugssystem (II) ansieht. Obwohl es keine Einwirkung auf die Kugel gibt, bleibt sie nicht in Ruhe, sondern fällt vom Wagen herunter. Das ist für den Beobachter auf dem Wagen nicht mit dem Trägheitsprinzip vereinbar.

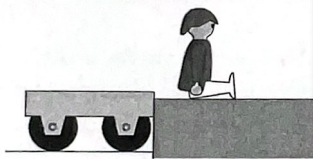
Bezugssysteme werden wie folgt klassifiziert:

Ein Bezugssystem, in dem das Trägheitsprinzip gilt, heißt **Inertialsystem** (inertia, lat.: Trägheit).

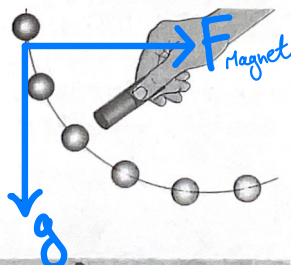
Für fast alle Versuche kann der Physikraum, das *Labor-system*, als Inertialsystem angenommen werden, denn seine ständige Geschwindigkeitsänderung infolge der Erdrotation ist vernachlässigbar. Erst ein Versuch wie der Pendelversuch von FOUCAULT zeigt, dass der Physikraum genau genommen kein Inertialsystem ist.

AUFGABEN

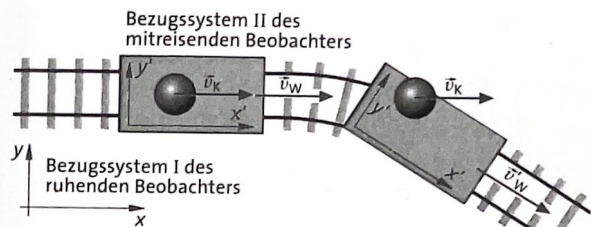
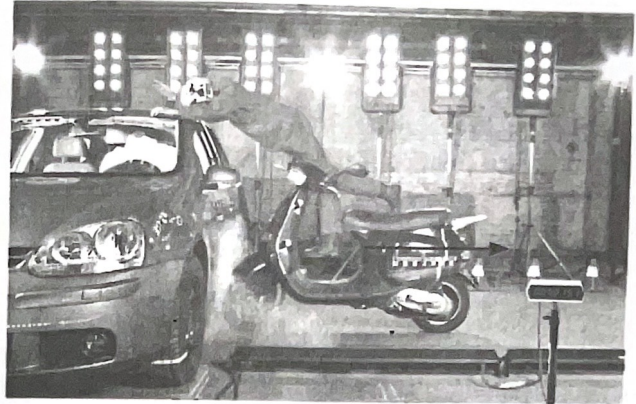
- Ein Wagen samt darauf sitzender Spielzeugfigur fährt gegen eine Kante.
 - Erklären Sie mithilfe des Trägheitsprinzips, wie die dargestellte Situation zustande kommt.
 - Geben Sie an, ob, wo und wann Kräfte auf Wagen und Figur einwirken und in welche Richtung sie wirken.
 - Stellen Sie den Versuch nach und prüfen Sie mittels Videoanalyse, in welchem Maße die Figur nach der Kollision ihre Geschwindigkeit beibehält.



- In die Nähe einer auf dem Tisch rollenden Stahlkugel wird ein Magnet gehalten. Erklären Sie die Bahn der Kugel mithilfe des Trägheitsprinzips und geben Sie dabei die Richtungen wirkender Kräfte an.



- Auf den Achterbahnwagen wirkt neben der Erdanziehungskraft noch eine weitere Kraft. Übertragen Sie die Abbildung als Skizze und zeichnen Sie die auf den Wagen wirkende Kraft ein.



- Kugel und Wagen haben zunächst die gleiche Geschwindigkeit. Eine Kraft der Schienen auf den Wagen zwingt ihn zur Kurvenfahrt. Da auf die Kugel keine Kraft wirkt, bewegt sie sich weiter

5a) Der Fahrer (und alles, was sich im Auto befindet) bewegen sich unter Beibehaltung der Trägheit weiter vorwärts, sowohl in Bezug auf den Innenraum des Autos als auch auf die Umgebung.

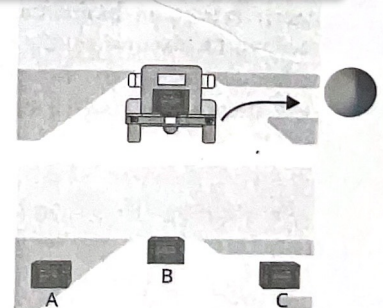
5b) Da sich die Motordrehzahl nicht ändert und die Kraft, die erforderlich ist, um die Fahrt mit derselben Geschwindigkeit fortzusetzen, größer wird, wird das Auto während des Aufstiegs langsamer und während des Abstiegs schneller.

7a) B

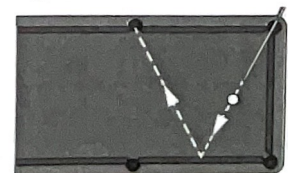
7b) Auf vereisten Straßen reagiert das Fahrzeug nicht auf das Einschlagen des Lenkrads und fährt weiter geradeaus. Dies ist auf eine unzureichende Bodenhaftung der Räder zurückzuführen, die mit dem Fehlen der Räder als Antriebselement vergleichbar ist

- Beim Abbiegen eines LKW nach rechts sieht der Fahrer, wie die ungesicherte Ladung von der glatten Ladefläche rutscht.

- Geben Sie begründet an, an welchem Ort (A, B oder C) die Ladung (ungefähr) nach dem Abbiegen zu finden ist.
- Erklären Sie, warum der Lastwagen auf spiegelglatter Fahrbahn nicht abbiegen kann.



- Eine Billardkugel prallt an der Bande ab. Übertragen Sie die Abbildung in Ihr Heft. Zeichnen Sie auf Kugel und Billardtisch wirkende Kräfte ein.



Ein Inertialsystem ist ein Bezugssystem, in dem ein Körper, auf den keine Kräfte wirken, in Ruhe bleibt oder sich ohne Beschleunigung bewegt.

Dynamik

Die Dynamik ist die Lehre von den Kräften und der Ursache von Bewegungsabläufen. Newton bewies, dass alle Bewegungen am Himmel und auf der Erde denselben Gesetzen folgen. Die Gesetze der Dynamik sind seit ca. 1686 die Grundpfeiler der Newtonschen Mechanik.

Als Grundlage zur Beschreibung von Vorgängen brauchen wir Bezugssysteme. Um den Ort und die Bewegung von Körpern oder ihrem energetischen Zustand eindeutig beschreiben zu können, muss ein Bezug zu einem Vergleichskörper hergestellt werden.

Beispiel: Wenn wir uns einen waagerechten Wurf anschauen, nutzen wir dabei als Vergleichskörper in den meisten Fällen die Erde.

Zur genaueren Kennzeichnung brauchen wir ein Koordinatensystem.

Aufgabe: In einem mit der konstanten Geschwindigkeit V_z fahrenden Zug wird ein Ball mit der Geschwindigkeit V_B

- senkrecht nach oben geworfen;
- unter einem Winkel α nach hinten geworfen.

Stelle die Bewegungsgleichung auf, für

- eine Person im Zug.
- eine Person, die neben dem Zug steht.

① a) $y(t) = h_0 + V_B t - \frac{gt^2}{2}$
 $x(t) = x_0 \text{ (const)}$

b) $y(t) = h_0 + V_B \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$
 $x(t) = V_B \cos \alpha \cdot t$

② a) $y(t) = h_0 + V_B t - \frac{gt^2}{2}$
 $x(t) = x_0 + V_z \cdot t$

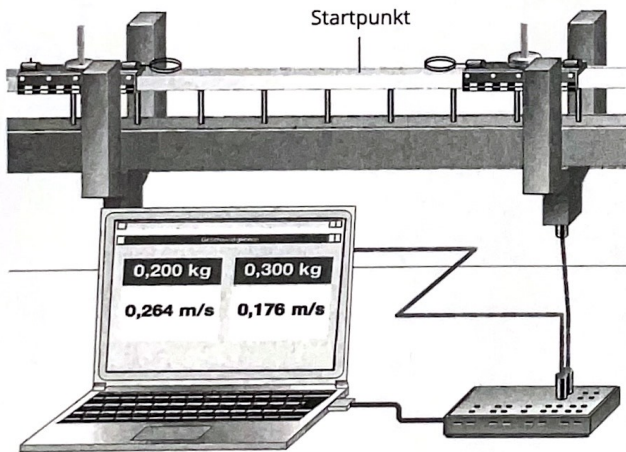
b) $y(t) = h_0 + V_B \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$
 $x(t) = V_B \cos \alpha \cdot t + V_z t$

② h_0 - Höhe des Zugbodens
 +
 h_0 von ①

1.2.3 Wechselwirkung und Impuls

Die Masse und die Geschwindigkeit eines Körpers sind von Bedeutung, wenn der Bewegungszustand dieses Körpers geändert werden soll. Dazu muss ein zweiter Körper auf den ersten eine Kraft ausüben, wodurch auch der zweite Körper beeinflusst wird. Es findet also zwischen den beiden Körpern eine *Wechselwirkung* statt. In dem folgenden Experiment wird untersucht, in welcher Weise bei der Wechselwirkung zwischen zwei Körpern die Größen Masse und Geschwindigkeit wirksam sind.

► **Versuch:** Auf einer Luftkissenfahrbahn befinden sich zwei Gleiter, deren Massen verändert werden können. Da die Gleiter auf einem Luftkissen schweben, sind sie keiner Einwirkung anderer Körper ausgesetzt und bewegen sich praktisch reibungslos. An den einander zugewandten Seiten tragen beide Gleiter elastische Federbügel. Die Gleiter werden so durch einen Faden verbunden, dass die Federbügel gespannt sind und sich die Gleiter zunächst in Ruhe befinden. Nach dem Durchbrennen des Fadens entspannen sich die Federn, die Gleiter stoßen sich voneinander ab und bewegen sich schließlich mit konstanten Geschwindigkeiten in entgegengesetzten Richtungen (Abb. 1). In einer Versuchsreihe werden die Massen m_1 und m_2 der Gleiter durch zusätzliche Wägestücke geändert und die Beträge der Geschwindigkeiten v_1 und v_2 mit Lichtschranken gemessen (Tab. 2).



1 Die Geschwindigkeiten der Gleiter auf der Luftkissenfahrbahn werden nach dem Abstoßen im computerunterstützten Messverfahren registriert. Die beiden Lichtschranken messen die Dunkelzeiten, welche die gelben Messfahnen beim Vorbeifahren hervorrufen.

Versuchs-Nr.	m_1 in kg	m_2 in kg	v_1 in m/s	v_2 in m/s	$m_1 v_1$ in kg m/s	$m_2 v_2$ in kg m/s
1	0,200	0,300	0,264	-0,176	0,053	-0,053
2	0,250	0,250	0,216	-0,216	0,054	-0,054
3	0,200	0,400	0,280	-0,139	0,056	-0,056

2 Messwerte und Auswertung des Versuchs

Ergebnis: Der Gleiter mit der größeren Masse hat nach dem Abstoßen die kleinere Geschwindigkeit und umgekehrt. Eine genaue Betrachtung der Werte in Tab. 2 zeigt, dass in jedem Versuch das Produkt aus Masse m und Geschwindigkeit v für beide Gleiter betragsmäßig denselben Wert hat: $m_1 v_1 = -m_2 v_2$. ◀

In diesem Experiment ändern sich die Geschwindigkeiten beider Gleiter von null auf die Endgeschwindigkeiten v_1 bzw. v_2 . Die Endgeschwindigkeiten sind erreicht, wenn die Federn ihren Kontakt verlieren, also für beide Gleiter nach derselben Zeitdauer Δt .

Die obige Gleichung bleibt daher richtig, wenn beide Seiten der Gleichung durch Δt geteilt werden:

$$\frac{m_1 v_1}{\Delta t} = - \frac{m_2 v_2}{\Delta t}.$$

Wegen der Anfangsgeschwindigkeit null geben die Quotienten $\frac{v_1}{\Delta t}$ und $\frac{v_2}{\Delta t}$ die Durchschnittsbeschleunigungen der Gleiter bei diesem Vorgang an: $\bar{a}_1 = \frac{v_1}{\Delta t}$ und $\bar{a}_2 = \frac{v_2}{\Delta t}$.

Damit kann das Ergebnis geschrieben werden als:

$$m_1 \bar{a}_1 = -m_2 \bar{a}_2.$$

Nach der Grundgleichung der Mechanik $F = m a$ folgt:

$$\bar{F}_1 = -\bar{F}_2.$$

Auf beide Gleiter hat betragsmäßig die gleiche durchschnittliche Kraft gewirkt – nur in entgegengesetzter Richtung (Abb. 3).

Das Versuchsergebnis lässt sich verallgemeinern, denn es gilt für alle Wechselwirkungen zwischen zwei Körpern: Die Kraft, die ein Körper auf einen anderen ausübt, ist betragsmäßig stets gleich groß wie die *Gegenkraft* auf den Körper (Abb. 4).

Die Erkenntnis, dass zu jeder Kraft (*actio*) auf einen Körper stets eine Gegenkraft (*reactio*) auf einen anderen Körper existiert, formulierte erstmals NEWTON als Axiom von der Gleichheit von *actio* und *reactio*:

Wechselwirkungs- oder Reaktionsprinzip – drittes Newton'sches Axiom:

Übt der Körper A die Kraft $\vec{F}_{A \text{ auf } B}$ auf den Körper B aus (*actio*), so übt B auf A eine Gegenkraft $\vec{F}_{B \text{ auf } A}$ aus (*reactio*), die entgegengesetzt gleich der ersten Kraft ist: $\vec{F}_{A \text{ auf } B} = -\vec{F}_{B \text{ auf } A}$.

- Die beiden Kräfte $\vec{F}_{A \text{ auf } B}$ und $\vec{F}_{B \text{ auf } A}$ werden auch als *Wechselwirkungskräfte* bezeichnet.
- Kraft und Gegenkraft greifen immer an zwei verschiedenen Körpern an, niemals am gleichen. Zur Verdeutlichung sind in Abbildungen die Angriffspunkte der Kräfte oft in den Körper hineinverlegt.
- Anstelle der ausführlichen Bezeichnungen $\vec{F}_{A \text{ auf } B}$ oder $\vec{F}_{A \rightarrow B}$ wird oft nur der kraftausübende Körper A oder das Kraft vermittelnde Feld A genannt: $\vec{F}_A$.

$$F_{12} = -F_{21} \quad (\text{actio} = \text{reactio})$$

Der Impuls

$$m_1 \cdot \vec{a}_1 = -m_2 \cdot \vec{a}_2$$

$$m_1 \cdot \frac{\Delta \vec{v}_1}{\Delta t} = -m_2 \cdot \frac{\Delta \vec{v}_2}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta \vec{p}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{p}_2}{\Delta t}$$

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Impuls ist eine Größe, um den Bewegungszustand eines Körpers zu beschreiben

$$[F = 1N = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}]$$

$$\vec{F} = \frac{\Delta(m \cdot \vec{v})}{\Delta t} = \vec{v} \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} + m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$A1) \quad m_a = 0,4 \text{ kg} \quad v_a = -3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad v_b = 4,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$m_b = ?$$

$$m_a \cdot \vec{v}_a = -m_b \cdot \vec{v}_b$$

$$m_b = -\frac{m_a \vec{v}_a}{\vec{v}_b} = -\frac{0,4 \text{ kg} \cdot (-3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{4,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,26 \text{ kg} \approx 0,267 \text{ kg}$$

$$② \quad m_2 = 900 \text{ t} \quad m_g = 8 \text{ t} \quad v_1 = 2,7 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$a) \quad \vec{p} = m \cdot \vec{v} = 8 \text{ t} \cdot 2,7 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 8000 \text{ kg} \cdot 2700 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 21,6 \cdot 10^6 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

$$\vec{F} = \frac{\vec{p}}{t} = m \cdot \vec{a} \quad F = 21,6 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{p}}{m \cdot t} = \frac{21,6 \cdot 10^6 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}}{900 \text{ t} \cdot 1 \text{ s}} \approx 24 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$b) \quad P(t) = m_g \cdot \vec{v} \\ \vec{a}(t) = \frac{P(t)}{(m_2 - m_g t) \cdot 1 \text{ s}}$$

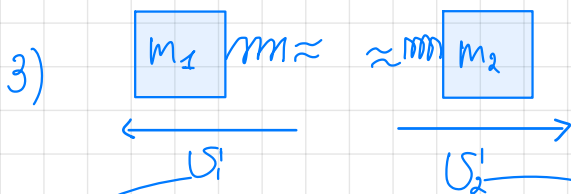
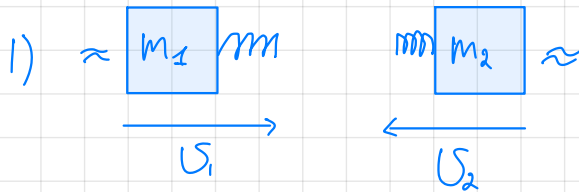
Die Impulserhaltung ist ein elementares Prinzip der Physik. Impulse können nicht erzeugt oder vernichtet werden. Impulse können zwischen Körpern ausgetauscht werden. Dies gilt in allen abgeschlossenen Systemen, also in Systemen, die nicht im Austausch mit ihrer Umwelt stehen.

Elastischer und inelastischer Stoß

Zwei Wagen fahren aufeinander zu, das heißt auch ihre Impulse zeigen aufeinander zu. An der Vorderseite/Stoßseite besitzen die Wagen Federn. Die Wagen führen einen **zentralen elastischen Stoß** durch. Die Wagen trennen sich also nach dem Stoß wieder.

In diesen Fall gilt die Impulserhaltung und die kinetische Energie bleibt in Form von kinetischer Energie erhalten.

Beispiel:



Berechnung der Geschwindigkeiten nach dem Stoß:

$$\vec{v}_1^I = \frac{m_1 \vec{V}_1 + m_2 \cdot (2 \vec{V}_2 - \vec{V}_1)}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{v}_2^I = \frac{m_2 \vec{V}_2 + m_1 \cdot (2 \vec{V}_1 - \vec{V}_2)}{m_1 + m_2}$$

Speziellfälle

- 1) $m_1 = m_2$
- 2) $m_1 = m_2, v_2 = 0$
- 3) $m_2 \gg m_1 \Rightarrow m_1/m_2 \approx 0$
- 4) $m_2 \gg m_1, v_2 = 0$

1) $m_1 = m_2 = m$

$$\vec{U}_1' = \frac{mU_1 + m(2U_2 - U_1)}{m+m} = \frac{m(U_1 + 2U_2 - U_1)}{2m} = U_2$$

$$\vec{U}_2' = \vec{U}_1$$

2) $\vec{U}_1' = 0 \quad \vec{U}_2' = \vec{U}_1$

3) $\vec{U}_1' = -U_1 \quad U_2 = 0 \quad ? \quad \vec{U}_1' = 2\vec{U}_2 - \vec{U}_1 \quad \vec{U}_2' = \vec{U}_1$

4) $\vec{U}_1' = -U_1 \quad U_2 = 0$

Fußball

Ein Fußball fliegt mit einer Geschwindigkeit von $v_{Ball} = 100 \frac{km}{h}$ auf eine Wand zu. Welche Geschwindigkeit hat der Ball nach dem Aufprall?

Tennisball

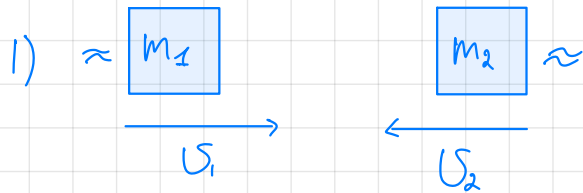
Ein Tennisball fliegt mit einer Geschwindigkeit von $v_{Ball} = 120 \frac{km}{h}$ auf einen Menschen zu, dieser benutzt den Schläger um den Ball zurück zu schlagen. Der Schlag hat die Geschwindigkeit $v_{Schlag} = 50 \frac{km}{h}$. Die Masse des Menschen mit dem Schläger ist deutlich größer als die des Balls. Welche Geschwindigkeit hat der Ball nach dem Aufprall?

Bowlingkugeln

Zwei Bowlingkugeln werden aufeinander zu gespielt und stoßen miteinander. Beide haben die gleiche Masse $m = 400 g$. Es gilt: $v_1 = 30 \frac{km}{h}$ & $v_2 = 25 \frac{km}{h}$. Berechne die Geschwindigkeiten nach dem Stoß. Was passiert wenn die zweite Kugel zunächst ruht?

Beim zentralen inelastischen Stoß, bewegen sich die beteiligten Körper nach dem Vorgang zusammen weiter.

Es gilt wieder die Impulserhaltung. Ein Teil der kinetischen Energie wird in andere Energieformen umgewandelt.



2)

Diagram showing the two masses, m_1 and m_2 , stuck together and moving to the right with velocity u_{ges} .

$$\vec{V}_{ges}^I = \frac{m_1 \cdot \vec{V}_1 + m_2 \cdot \vec{V}_2}{m_1 + m_2}$$
$$\vec{V}_{ges}^I = \frac{m_1 \cdot \vec{V}_1 + m_2 \cdot \vec{V}_2}{m_1 + m_2}$$

Wippe

Benedikt springt auf eine Wippe, dadurch wird Phillip in die Höhe katapultiert. Phillip wiegt 75 kg und Benedikt wiegt 85 kg . Phillip hat danach eine Geschwindigkeit von $12\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

a)

Berechne die beiden Impulse. $P_p = m \cdot v = 75 \cdot 12 : 3,6 = 250\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$

b)

Berechne Benedikts Geschwindigkeit. $P_B = m \cdot v = 250$
 $v_B = 2,94\frac{\text{m}}{\text{s}}$

c)

Wie schnell müsste Benedikt sein, damit Phillip 7 m hoch kommt. Die Luftreibung kann vernachlässigt werden.

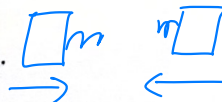
$$7 = y_{\max} = \frac{v_0^2}{2g} \quad v_0 = \sqrt{2g \cdot 7} = 11,72$$

Zwei Wagen

Zwei Wagen A ($m_A = 400\text{ g}$) und B bewegen sich nach dem Abstoßen durch eine Feder mit den Geschwindigkeiten $v_A = 3,2\frac{\text{m}}{\text{s}}$ und $v_B = 4,8\frac{\text{m}}{\text{s}}$ in entgegengesetzter Richtung fort.

a)

Zeichne eine Skizze des Vorgangs.



b)

Berechne die Masse von Wagen B

$$m_A v_A = m_B v_B$$

$$m_B = \frac{m_A v_A}{v_B} = 0,26\text{ kg}$$

c)

Berechne die Impulse und zeichne die Vektoren in die Skizze ein.

$$P_A = 1,28\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

$$P_B = 1,28\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

Sprung und Wagen

a)

Max (Masse = 60 kg) läuft mit der Geschwindigkeit von $18\frac{\text{km}}{\text{h}}$ und holt dabei einen Wagen der Masse 80 kg ein, der sich in gleicher Richtung mit nur $5,4\frac{\text{km}}{\text{h}}$ fortbewegt.

b)

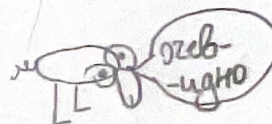
Max springt auf den Wagen auf. Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich dann der Wagen weiter?

$$P'_B = P_A + P_B = m_A v_A + m_B v_B = 60 \cdot 18 : 3,6 + 80 \cdot 5,4 : 3,6 = 420\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

$$v'_g = \frac{P'_B}{m_A + m_B} = \frac{420}{60 + 80} = 3\frac{\text{km}}{\text{h}} = 0,83\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c)

Wie lautet die Antwort, wenn bei sonst gleichen Bedingungen der Wagen Max entgegen kommt?



① Geg:

$$m_1 = 20t$$

⑦ Geg:
 $U_1 = 8 \frac{km}{s}$

$$m_s = 450 kg$$

$$m_e = 50 kg$$

Ges:

$$U_e - ?$$

$$U_2 - ?$$

$$U_e = -U_1 = -8 \frac{km}{s}$$

$$P_g = P_s + P_L = (m_s + m_e) \cdot U_1 = m_s U_s + m_e U_e$$

$$U_s = \frac{m_s + m_e}{m_s} \cdot U_1 = \frac{450 kg + 50 kg}{450 kg} \cdot 8 \frac{km}{s} = 8,8 \frac{km}{s}$$

⑧ Geg:

$$m_1 = 70 kg$$

$$m_2 = 30 kg$$

$$U_1 = 0,3 \frac{m}{s}$$

$$t = 5s$$

Ges:

$$\Delta S_s - ?$$

$$P_1 + P_2 = P'_1 + P'_2$$

$$m_1 U_1 + m_2 U_2 = m_1 U'_1 + m_2 U'_2$$

$$m_1 U'_1 = -m_2 U'_2$$

$$U_2 = -\frac{m_1 U'_1}{m_2} = -\frac{70 kg \cdot 0,3 \frac{m}{s}}{30 kg} = 0,7 \frac{m}{s}$$

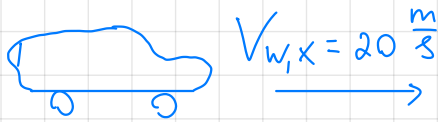
$$\Delta S_s = (U_1 + U_2) \cdot 5s = \left(0,3 \frac{m}{s} + 0,7 \frac{m}{s}\right) \cdot 5s = 5m$$

= 0 : sie stehen

Ballwurf

12.11.2024

74%



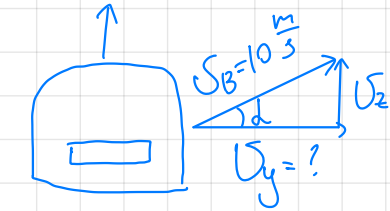
$$|\vec{U}_m| = ?$$

$$U = \frac{s}{t}$$

$$t = 2 \frac{U_{B,z}}{g}$$

$$U_{B,z} = U_B \cdot \sin \alpha$$

$$U_{B,y} = U_B \cdot \cos \alpha$$



$$x_m = 20 \text{ m}$$

$$y_m = 5 \text{ m}$$

$$z_0 = z_e = 1,5 \text{ m} \Rightarrow \Delta h = 0$$

$$S_x = U_{W,x} \cdot t$$

$$S_y = U_{B,y} \cdot t = U_B \cdot \cos \alpha \cdot t$$

$$\Delta x = S_x - x_m = U_{W,x} t - x_m$$

$$\Delta y = S_y - y_m = U_B \cdot \cos \alpha \cdot t - y_m$$

$$S_{ges} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

$$U_{ges} = \frac{S_{ges}}{t} = \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}}{2 \cdot \left(\frac{U_0}{g}\right)} = \frac{\sqrt{\left(U_{W,x} \cdot 2 \cdot \frac{U_0}{g} - x_m\right)^2 + \left(U_B \cdot \cos \alpha \cdot 2 \cdot \frac{U_0}{g} - y_m\right)^2}}{2 \cdot \frac{U_0}{g}} \approx 19,36 \approx 3,77 \frac{m}{s}$$

Blumentopf

$$x = 6 \text{ m}$$

$$v_x = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_0 = 12 \text{ m}$$

$$h_e = 1,8 \text{ m}$$

$$t = \frac{x}{v_x} = \frac{6 \text{ m}}{8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,75 \text{ s}$$

$$h_e = -\frac{1}{2}gt^2 + v_0t + h_0$$

$$(h_e - h_0) + \frac{1}{2}gt^2 = v_0t$$

$$v_0 = \frac{(h_e - h_0) + \frac{1}{2}gt^2}{t} \approx -9,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

5/6

$$17,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Mechanik - Dynamik

Masse und Gewichtskraft

- 1 Die Erdanziehung ist nicht überall auf der Erde gleich. Ursache dafür ist eine unterschiedliche Massenverteilung: Es gibt Orte, unter denen sich besonders viel Masse befindet. Dies sind zum Beispiel Lagerstätten von Metallerzen. Dort ist die Anziehungskraft größer. An Orten, unter denen sich weniger Masse befindet, zum Beispiel poröses Gestein mit Erdgas, ist die Anziehungskraft geringer. Diese Unterschiede können heute mithilfe von Satelliten ausgemessen werden, auf den entsprechenden Bildern erscheint die Erde dann weniger als Kugel, sondern eher als Kartoffel.

- a) Informiere dich im Internet, wie mithilfe von Satelliten solche Unterschiede festgestellt werden können.

?

- b) Du findest im Internet Bilder, die die Abweichungen vom Mittelwert des Ortsfaktors in Milligal anzeigen. Ein Milligal entspricht dabei einer Abweichung von $0,00001 \text{ N/kg}$. Bestimme mithilfe solcher Bilder die Regionen auf der Erde, bei denen es faktisch **keine** Abweichung vom Mittelwert gibt.

?

- c) Gib die Regionen an, in denen die Anziehungskraft besonders groß ist.

?

- d) Berechne, um wieviel N die Erdanziehungskraft größer wird, wenn eine Masse von 100 kg aus einem Gebiet der kleinsten Anziehungskraft in ein Gebiet der größten Anziehungskraft gebracht wird.

Arbeitsblatt

- ... 2 Nach ihrer Landung auf einem fremden Planeten müssen die Astronauten der Explorer plötzlich feststellen, dass sämtliche Geräte, mit denen sie die Anziehungskraft des Planeten direkt messen können, ausgefallen sind.



- a) Benenne Möglichkeiten, die den Astronauten bleiben, um die Stärke der Anziehungskraft zu bestimmen.

- 1) Ein Gegenstand auf der Höhe x aufheben.
 2) Es fallen lassen und die Zeit zum Auftreffen des Gegenstandes
 3) $y(t) = h_0 - \frac{g t^2}{2}$ $x = \frac{g t^2}{2}$ $g t^2 = 2x$ $g = \frac{2x}{t^2}$
- auf die Planetenoberfläche

- b) Während die Astronauten auf der Planetenoberfläche beschäftigt sind, bereitet der Koch das Essen vor. Dabei legt er eine 1 kg-Packung Mehl auf eine Küchenwaage mit Federmechanismus. Diese zeigt 832 g an. Erkläre und berechne mithilfe dieser Angabe den Ortsfaktor des Planeten.

$$F = m \cdot g \quad \frac{g'}{g} = \frac{832}{1000} \quad g' = \frac{9,81 \cdot 832}{1000} \frac{m}{s^2} = 8,16192 \frac{m}{s^2}$$

↑
Anziehungskraft

- ... 3 a) Berechne die unterschiedliche Anziehungskraft der Planeten Erde und Mars auf eine Masse $m = 80 \text{ kg}$.

Planet	Ortsfaktor
Merkur	3,70 N/kg
Erde	9,81 N/kg
Mars	3,71 N/kg
Jupiter	24,79 N/kg
Saturn	10,44 N/kg

296
784,8

- b) Bei einem Massestück wird auf dem Jupiter die Anziehungskraft $F_{\text{Jupiter}} = 1611,35 \text{ N}$ angezeigt. Berechne die Anziehungskraft des Planeten Saturn auf dieses Massestück.

Mechanik - Dynamik

Größe von Kräften

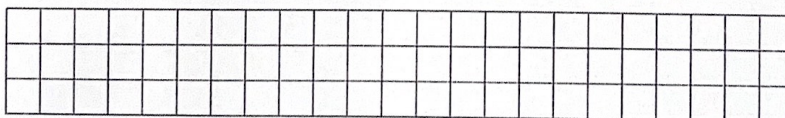
- 1 In vielen Lehrbüchern werden Federkraftmesser als Messgerät für die Größe von Kräften vorgestellt.

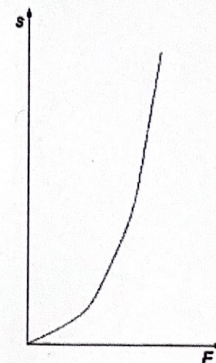


- a) Beschreibe den Aufbau und die Funktionsweise dieses Gerätes.

- b) Begründe die Punkte, die für die Arbeit mit dem Federkraftmesser wichtig sind. Erläutere, was geschehen würde, wenn der jeweilige Punkt nicht beachtet werden würde.

- 2 Statt einer Schraubenfeder soll sich im Innern des Kraftmessers ein anderer elastischer Körper befinden, dessen Verlängerung s in Abhängigkeit von der einwirkenden Kraft F im F - s -Diagramm dargestellt ist. Skizziere und begründe, wie die Einteilung auf der Skala aussehen könnte.





Haft- und Gleitreibung

Die Haftreibungskraft ist der Bewegung stets entgegengerichtet. Ihr maximaler Betrag kann mit $F_{HR} = \mu_{HR} \cdot |F_G|$ berechnet werden (gilt in einer waagerechten Ebene).

Die Gleitreibungskraft wirkt entgegen der Bewegungsrichtung. Sie tritt auf, wenn zwei Flächen bewegt aneinander reiben.

Sie wird mit der Gleichung $F_{GR} = \mu_{GR} \cdot |F_G|$ berechnet.

μ_{HR} — Haftreibungskoeffizient

μ_{GR} — Gleitreibungskoeffizient

Aufgabe: Bildet Gruppen von jeweils 4 Leuten. Bestimmt jeweils den Haft- und Gleitreibungskoeffizienten von 3 verschiedenen Körpern auf einem beliebigen Untergrund. Fertigt dazu ein schriftliches Versuchsprotokoll an und beschreibt was ihr gemacht habt.

Überlegt euch Situationen in denen Reibung eine wichtige Rolle spielt und überlegt euch was passieren würde, wenn dort keine Reibung wäre.

Bestimmung der Haft- und Gleitreibung

Fragestellung: Was sind die Reibungskoeffizienten von Etui und Schlüssel

Hypothese: -

Material: Federkraftmesser, Tisch, Schlüssel, Etui

Versuchsdurchführung

Zuerst haben wir F_G gemessen, indem wir jeden der Gegenstände an den Federkraftmesser gehängt haben und die Ergebnisse für die Schlüssel und das Etui protokolliert haben.

Anschließend haben wir die Gegenstände hingelegt und mit dem Federkraftmesser gezogen. Wir überprüften mehrmals, ob die Messungen korrekt waren, d. h., dass sich die Schlüssel und das Federmäppchen jedes Mal bei demselben Wert der aufgebrachten Kraft zu bewegen begannen.

Dann haben wir mehrmals an den Gegenständen gezogen und die Kraft aufgezeichnet, die nötig war, um jeden Gegenstand in Bewegung zu halten.

$$\mu_{GR} = \frac{F_{GR}}{F_G} \qquad \mu_{HR} = \frac{F_{HR}}{F_G}$$

Beobachtungen

Schlüssel	
Kraft	Entsprechende Reibungskoeffizient
$F_G = 0.5N$	-
$F_{GR} = 0.1N$	$\mu_{GR} = 0.2$
$F_{HR} = 0.15N$	$\mu_{HR} = 0.3$

Etui	
Kraft	Entsprechende Reibungskoeffizient
$F_G = 2N$	-
$F_{GR} = 0.9N$	$\mu_{GR} = 0.45$
$F_{HR} = 1.1N$	$\mu_{HR} = 0.55$

Versuchsauswertung

Anmerkung: Inhomogene und leichte Körper lassen sich nur grob mit dem Federkraftmesser messen.

Mechanik

Gewichtskraft

- 1 In der unten stehenden Tabelle gehört jeweils eine Zeile zusammen. Bestimme fehlende Größen.

Wiederhole zunächst die Formel für den Betrag der Gewichtskraft eines Körpers: $F_G = m \cdot g$

Der Ortsfaktor beträgt: in Mitteleuropa 9,8 N/kg,
auf dem Mond 1,6 N/kg,
auf der Venus 8,5 N/kg,
auf dem Mars 3,8 N/kg,
auf dem Jupiter 26,0 N/kg.

Nr.	Masse	Ort	Ortsfaktor N/kg	Gewichtskraft
1	45 kg	Mitteleuropa	9,8	441
2	23 kg	Jupiter	26	598 N
3	250 kg	Mond	1,6	400 N
4	250 kg	Mitteleuropa	9,8 N/kg	2450
5	3210,526 kg	Mars	3,8	12 200 N
6	14 kg	Venus	8,5	119 N
7	210g	Mitteleuropa	9,8	2,058 N
8	20g	Mitteleuropa	9,8	200 mN

- 2 Ein Gewichtheber schafft es bei einer Meisterschaft in Berlin 200 kg zu stemmen. Berechne, wie viel Kilogramm er jeweils auf dem Mars und dem Jupiter stemmen könnte.

$$F = 1962 \text{ N}$$

$$m_M = 516,3 \text{ kg} \quad m_J = 75,46 \text{ kg}$$

Mechanik

Kraft und Gegenkraft im Sport

Das so genannte Wechselwirkungsgesetz besagt:

Wenn der Körper A eine Kraft auf den Körper B ausübt, so übt der Körper B auf den Körper A eine Gegenkraft aus. Kraft und Gegenkraft haben entgegengesetzte Richtungen. Kraft und Gegenkraft haben gleiche Beträge: $F_{A \text{ auf } B} = F_{B \text{ auf } A}$.

Das hört sich vielleicht etwas theoretisch an, spielt jedoch gerade beim Sport eine ganz praktische Rolle:

- 1 In vielen Sportarten ist es die Gegenkraft $\vec{F}_{B \text{ auf } A}$ eines anderen Körpers B, die den Sportler A (bzw. sein Ruderboot, sein Rennrad, ...) in Bewegung setzt. Um welchen Körper B handelt es sich in folgenden Beispielen?

- a) Tiefstart beim Lauf Erde, Rennbahn, Laufbahn
- b) Hochsprung Erde, Stab
- c) Hochklettern an der Kletterstange Stange
- d) Schwimmen Wasser
- e) Rudern Wasser, Ruder
- f) Radrennen Pedal

- 2 Beachte genau die vom Sportler A ausgeübte Kraft $\vec{F}_{A \text{ auf } B}$ bzw. die Gegenkraft $\vec{F}_{B \text{ auf } A}$, die der Sportler erfährt, und beantworte mithilfe dieser Kräfte die folgenden Fragen:

- a) Warum tragen Kurzstreckenläufer Rennschuhe mit Spikes?

Um einen besseren Griff/Halt zu haben.

- b) Warum kommt man mit schweißnassen Händen an der Kletterstange nicht hoch?

Wegen der geringeren Reibung.

- c) Beim Fußballspiel wird einem Stürmer aus dem Mittelfeld ein weiter Pass vorgelegt. Warum erreicht er den zugespielten Ball bei trockenem Rasen eher als bei nassem?

Um auf dem nassen Rasen zu rollen, braucht der Ball aufgrund der größeren Reibung mehr Energie. Mit derselben Energie rollt er gar nicht so weit wie auf dem trockenen Rasen.

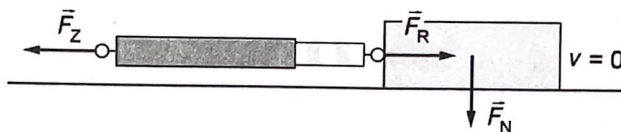
21.11.24

Mechanik - Dynamik

Reibung: Rollen - Gleiten - Haften

Ein Skater kann sich noch so kräftig vom ebenen Boden abstoßen, das Board kommt irgendwann zur Ruhe. Es ist die Reibung, die das Skateboard bremst. Die Reibung ist eine Kraft, die der Bewegung entgegenwirkt. Hier ist es die **Rollreibung**. Gleiches beobachtet man beim Schlittschuhlaufen. In diesem Fall ist es die **Gleitreibung**, die die Bewegung bremst.

Nun soll ein Körper der Masse m mit einer Zugkraft F_Z über eine raue Unterlage gezogen werden. Der Körper übt senkrecht zur Unterlage die Normalkraft $F_N = m \cdot g$ aus. Die Abbildung zeigt den Zustand der Ruhe – der Körper haftet gerade noch an der Unterlage, bevor er sich mit einem Ruck in Bewegung setzt. Solange der Körper an der Unterlage haftet, übt die Unterlage eine Kraft F_R auf den Körper aus.



F_R ist der Zugkraft entgegen gerichtet und wird in diesem Fall als **Haftreibungskraft** bezeichnet. Beginnt der Körper an zu gleiten, wird die Reibungskraft kleiner. Die nun wirkende Kraft heißt **Gleitreibungskraft**. Soll die Zugkraft noch weiter verringert werden, kann der Körper z.B. auf Rollen gelagert werden. Die nun bremsende Kraft heißt dann **Rollreibungskraft**. Es gilt: Haftreibungskraft < Gleitreibungskraft < Rollreibungskraft. Weiterhin gilt mit der Konstanten μ als **Reibungszahl**

$$\frac{F_R}{F_N} = \mu \quad \text{bzw.} \quad F_R = \mu \cdot F_N$$

In der Tabelle sind für verschiedene Materialpaarungen ungefähre Reibungszahlen angegeben.

Materialpaarung	Haftreibung	Gleitreibung
Stahl auf Stahl	0,2	0,1
Stahl auf Eis	0,03	0,01
Stahl auf Holz	0,5	0,4
Holz auf Holz	0,5	0,3
Autoreifen auf Asphalt (trocken)	0,8	0,5
Autoreifen auf Asphalt (nass)	0,5	0,3

Die Reibungskraft kann z.B. vergrößert werden durch eine größere Normalkraft oder eine Aufrauhung der Unterlage, die Reibung kann z.B. verkleinert werden durch eine kleinere Normalkraft, eine Glättung der Unterlage oder durch Schmiermittel.

- 1 Eine Holzkiste ($m = 50 \text{ kg}$) soll auf einem Holzfußboden 1 m weit gezogen werden (rechne gegebenenfalls mit $g = 10 \text{ m/s}^2$).

- Berechne die dazu notwendige Kraft.
- Berechne die notwendige Kraft, um die Kiste in Bewegung zu halten.

$$m = 50 \text{ kg}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$F_{Hc} = \mu_{Hc} \cdot |F_G| = 0,5 \cdot 50 \cdot 10 = 250 \text{ N}$$

$$F_{Gc} = \mu_{Gc} \cdot |F_G| = 0,3 \cdot 50 \cdot 10 = 150 \text{ N}$$

- 2 Erkläre, weshalb der Bremsweg eines Autos mit blockierten Rädern länger ist als mit rollenden Rädern.

Die Rollreibungskraft in der Kontaktzone des rotierenden Reifens mit der Straße ist größer als die Gleitreibungskraft bei blockiertem Rad.

- 3 Zum Ziehen eines 160 kg schweren Schlittens wird eine Kraft von 120 N benötigt. Berechne die Gleitreibungszahl.

$$\mu_G = \frac{F_R}{F_N} = \frac{F_R}{F_G} = \frac{120 \text{ N}}{160 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 0,0765$$

Mechanik

Vektoraddition

Das Wasser eines Flusses bewegt sich überall mit der gleichen Geschwindigkeit $v_w = 2,0 \text{ m/s}$ im Bild nach oben. Die Boote 1 und 2 fahren mit der Geschwindigkeit $v_B = 2,5 \text{ m/s}$ ($1 \text{ m/s} \triangleq 2,0 \text{ cm}$).

- ... 1 Bestimme für Boot 1 die Geschwindigkeit über Grund, wenn es zunächst in Richtung auf Punkt A gesteuert und dann der Kurs senkrecht zur Uferlinie beibehalten wird.

$$\sqrt{2^2 + (2,5)^2} = 3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- ... 2 Um welche Strecke wurde es vom Punkt A dann abgetrieben, wenn es das gegenüberliegende Ufer erreicht hat? (Flussbreite: 180 m)

$$180 \text{ m} : 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 72 \text{ s}$$

$$2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 72 \text{ s} = 144 \text{ m}$$

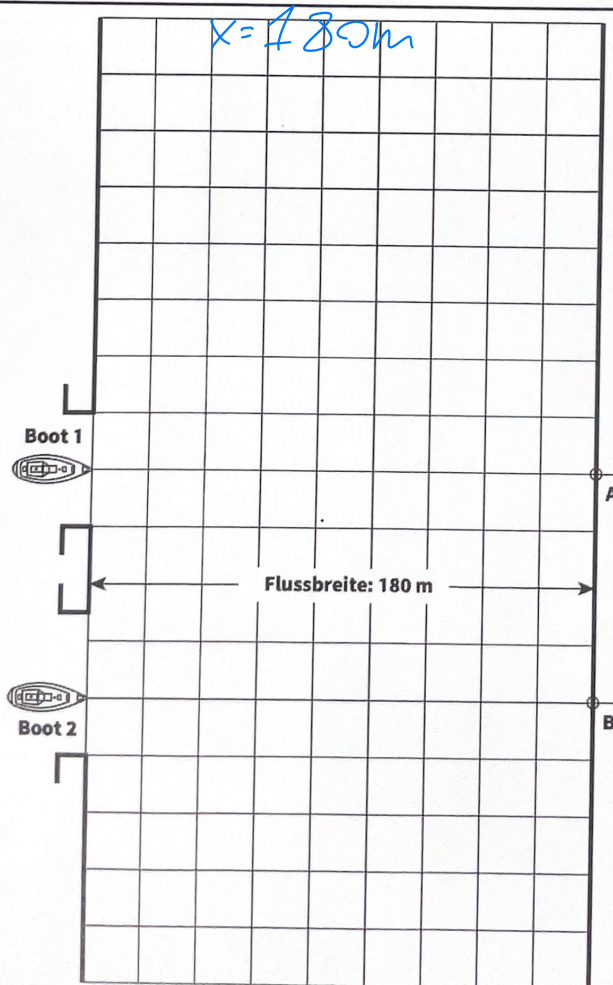
- ... 3 Um welchen Winkel muss Boot 2 gegenüber dem senkrechten Weg zum Ufer vorhalten, damit es den gegenüberliegenden Punkt B ohne Umwege erreicht? Zeichne die Stellung des Bootes auf seinem Weg durchs Wasser ein.

$$180 \text{ m} : 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 72 \text{ s}$$

$$\Delta l = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 72 \text{ s} = 144 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta l}{x} = \frac{2}{\cos \alpha} - \text{tg} \alpha$$

- ... 4 Bestimme für Boot 2 die Geschwindigkeit über Grund.



$$\left(\frac{\Delta l}{x}\right)' = 2 \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} - \frac{1}{\cos^2 \alpha} = 0$$

$$= \frac{2 \sin \alpha - 1}{\cos^2 \alpha} = 0$$

$$\alpha = \frac{\pi}{6} = 30^\circ$$

Arbeitsblatt-Lösung

Zerlegung von Kräften

Zerlege die auftretenden Gewichtskräfte so, dass sie von den Seilen und Stangen in Komponenten längs der Seile und Stangen abgetragen werden können. Beachte dabei: Seile können nur Zugkräfte, Stangen nur Zug- oder Druckkräfte, nicht jedoch Biegekräfte übertragen. Gib die jeweiligen Zug- oder Druckkräfte an. Wähle für jede Zeichnung einen zweckmäßigen Kräftemaßstab.

(○ sind Gelenke)

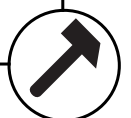
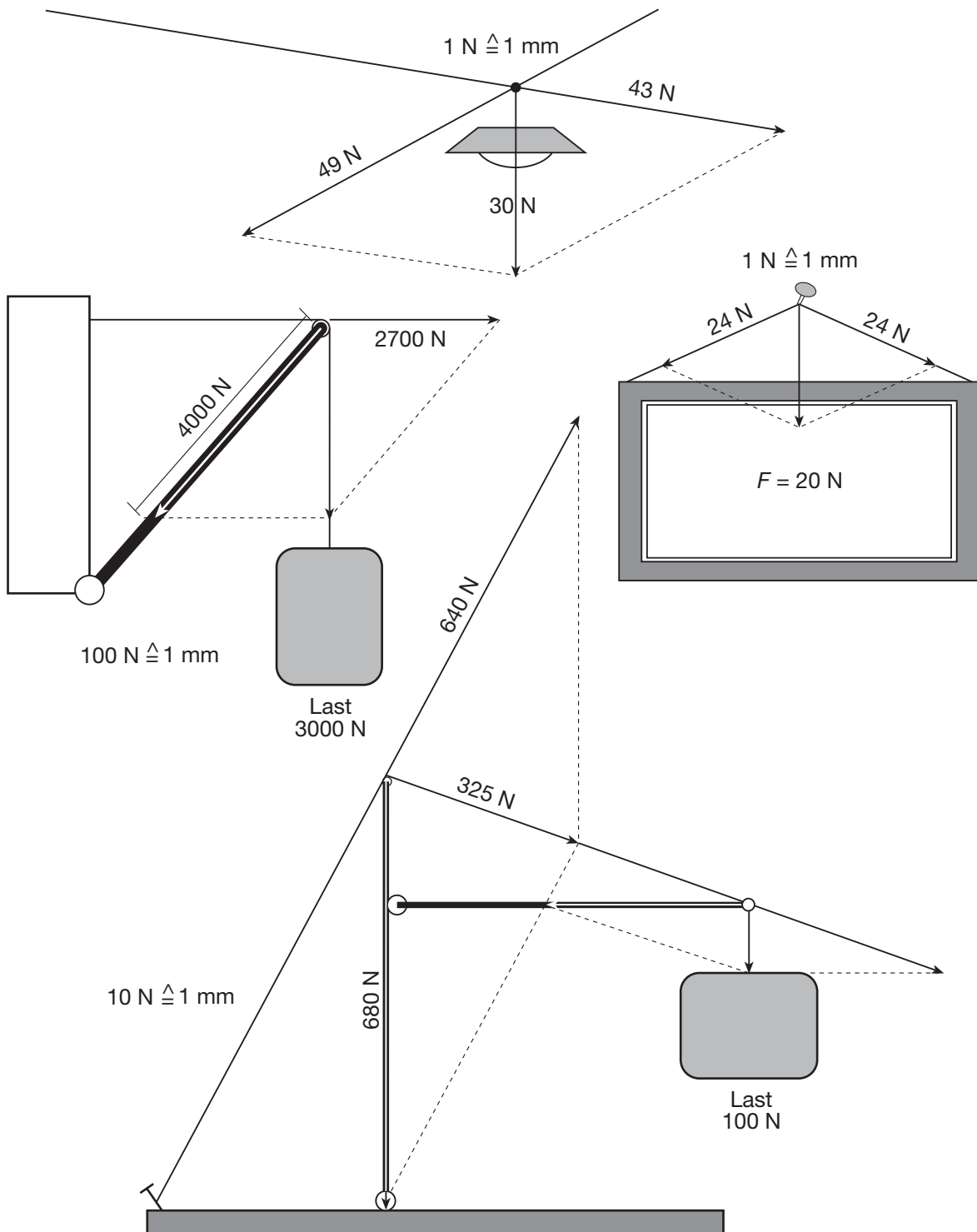
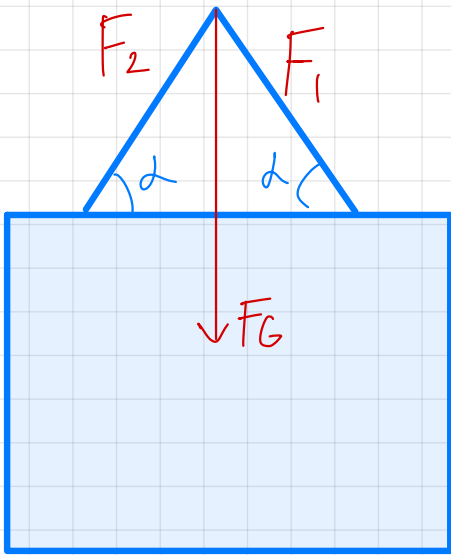


Bild aufhängen



$$F_1 + F_2 + F_G = 0$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$F_g = \begin{pmatrix} 0 \\ -45 \text{ N} \end{pmatrix}$$

$$F_1 = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix}$$

$$F_2 = \begin{pmatrix} -F_x \\ F_y \end{pmatrix}$$

$$F_1 + F_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 2F_y \end{pmatrix} = -F_g = \begin{pmatrix} 0 \\ 45 \text{ N} \end{pmatrix}$$

$$F_{1,y} = F_{2,y} = 22,5 \text{ N}$$

$$F_{1,y} = |\vec{F}_1| \cdot \sin \alpha = -\frac{1}{2} F_{g,y}$$

$$|\vec{F}_1| = \frac{F_{g,y}}{2 \sin \alpha} = 25,98 \text{ N}$$

$$F_{1,x} = |\vec{F}_1| \cdot \cos \alpha \approx 13 \text{ N}$$

1.2.6 Kräfte an der schiefen Ebene

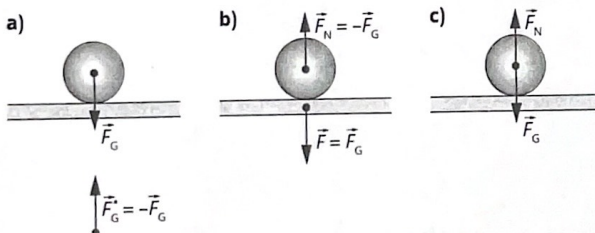
Es ist eine Alltagserfahrung, dass eine Kugel eine geneigte Ebene beschleunigt hinabrollt – und zwar umso stärker beschleunigt, je stärker die Ebene geneigt ist. Ursache dafür ist die Hangabtriebskraft F_A , deren Entstehung und Ermittlung im Folgenden verdeutlicht werden.

Normalkraft

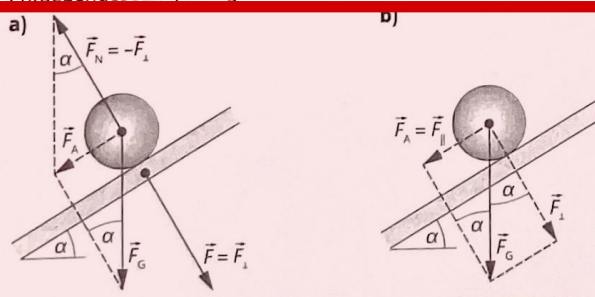
Zuerst die Situation auf einer nicht geneigten Ebene: Die Kugel ruht, woraus folgt, dass keine Kraft auf sie wirkt oder sich alle auf sie wirkenden Kräfte vektoriell zu null addieren. Auf der Erde ist Letzteres der Fall, da in jedem Fall eine Gewichtskraft F_G auf die Kugel vorhanden ist. Mit einer zur Gewichtskraft F_G gleichen Kraft F drückt die Kugel lotrecht auf die Unterlage – und die Unterlage übt gemäß dem Wechselwirkungsprinzip eine entgegengesetzt gleich große Normalkraft F_N auf die Kugel aus (Abb. 1a, b). Die auf die Kugel wirkenden Kräfte F_G und F_N addieren sich folglich vektoriell zu null (Abb. 1c).

Hangabtriebskraft

Die Hangabtriebskraft F_A entsteht aus der vektoriellen Addition von Gewichtskraft F_G und Normalkraft F_N , die bei geneigter Ebene nicht mehr genau entgegengesetzt wirken (Abb. 2a).



- 1 a) Auf die Kugel wirkt die Gewichtskraft, deren Wechselwirkungskraft F_G^* die Kraft von der Kugel auf die Erde ist.
 b) Die Kugel drückt mit einer zur Gewichtskraft gleich großen Kraft F senkrecht auf die Unterlage. Gemäß Wechselwirkungsprinzip wirkt eine entsprechende Gegenkraft auf die Kugel, die Normalkraft F_N .
 c) Auf die Kugel wirken mit F_G und F_N insgesamt zwei Kräfte – die entgegengesetzt gleich groß sind und sich zu null addieren.



- 2 a) Die Hangabtriebskraft F_A resultiert aus der Addition von Gewichtskraft F_G und Normalkraft F_N auf die Kugel. b) Zerlegung der Gewichtskraft in Komponenten senkrecht und parallel zur Ebene.

Im Folgenden soll geklärt werden, wie groß die Normalkraft F_N ist und es wird gezeigt, dass die Resultierende aus $\vec{F}_G + \vec{F}_N$ (also die Kraft $\vec{F}_A$), parallel zur Ebene wirkt.

Abb. 2b verdeutlicht die Zerlegung der Gewichtskraft in eine Komponente $F_{\perp}$ senkrecht und $F_{\parallel}$ parallel zur schiefen Ebene. Mit einer Kraft $F = F_{\perp}$ drückt die Kugel senkrecht auf die Unterlage und folglich wirkt eine gleichgroße Gegenkraft (F_N) auf die Kugel. Die Normalkraft F_N ist also betragsmäßig so groß wie $F_{\perp}$ und es gilt $\vec{F}_N = -\vec{F}_{\perp}$.

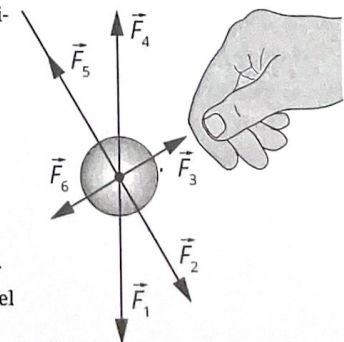
Die Abb. 2a und 2b zeigen ein Kräfteparallelogramm und ein Kräfte-Rechteck, die jeweils in zwei Dreiecke unterteilt sind. Aufgrund von Winkelsätzen enthält jedes der Dreiecke den Neigungswinkel der Ebene α und der Winkel α wird jeweils eingeschlossen von Seiten der Längen $|\vec{F}_G|$ und $|\vec{F}_{\perp}|$. Also sind die vier Dreiecke kongruent zueinander und daraus folgt, dass die Hangabtriebskraft F_A gleich der parallelen Kraftkomponente $F_{\parallel}$ aus der Kräftezerlegung ist: $\vec{F}_G + \vec{F}_N = \vec{F}_A = \vec{F}_{\parallel}$.

Daher gilt:

$$F_A = F_G \cdot \sin \alpha \text{ und } F_N = F_G \cdot \cos \alpha.$$

AUFGABEN

1. Ist eine Steigung von 12 % eine große Herausforderung für Radfahrende? Bei Fahrt in der Ebene liegt der Kraftaufwand, um ein Fahrrad auf konstanter Geschwindigkeit zu halten, in der Größenordnung von 5 N bis 10 N, bei Beschleunigungen z. B. im Bereich von 50 N bis 150 N.
 - a) Bestätigen Sie, dass eine Steigung von 12 % einem Neigungswinkel von etwa $6,84^\circ$ entspricht. (12 % Steigung oder Gefälle bedeuten, dass sich die Höhe auf 100 m in horizontaler Richtung um 12 m ändert.)
 - b) Berechnen Sie die Hangabtriebskraft, die auf eine Radfahlerin der Masse $m = 60 \text{ kg}$ wirkt.
 - c) Beurteilen Sie, ob eine Steigung von 12 % eine große Herausforderung darstellt.
 - d) Nehmen Sie für die Radfahlerin eine zeichnerische Kräftezerlegung von F_G vor. Maßstab $1 \text{ cm} \hat{=} 50 \text{ N}$.
2. Geben Sie jeweils an, welche der sechs möglichen Kräfte auf die an einem Faden pendelnde Kugel wirken. Erläutern Sie, welcher Körper die jeweilige Kraft ausübt: (I) Kugel wurde gerade losgelassen, (II) Kugel schwingt zur Hand zurück, (III) Kugel wird von der Hand gehalten.



A.1

Ist der Widerstand eines einzelnen Lastschiffs bei der Fahrt durch das Wasser F_w , so zieht der Schlepper mit der Kraft $F = 4 \cdot F_w$ alle Schiffe. Die Zugkraft des Seils zwischen erstem und zweitem Kahn ist $3 \cdot F_w = 1500 \text{ N}$, zwischen zweitem und drittem $2 \cdot F_w = 1000 \text{ N}$ und zwischen drittem und viertem $F_w = 500 \text{ N}$.

A.2

Bei Beschleunigung muss entsprechend der Masse der Kähne (und ihrer Beschleunigung) die Zugkraft größer sein. Sie verteilt sich aber in gleicher Weise wie oben auf die Seile.

B.1

$$F = 2772 \text{ N} \quad (a = 2,31 \text{ ms}^{-2})$$

$$F = ma = m \frac{dv}{dt} =$$

B.2

$$s_e = 166 \text{ m}$$

$$s(t) = \frac{1}{2} at^2$$

C.1

$$F = 625 \text{ N} \quad (a = 1250 \text{ ms}^{-2})$$

$$s(t) = \frac{1}{2} at^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2s}{a}} + t_0 \Rightarrow s(t_E) = -\frac{1}{2} \frac{v_0^2}{a} \Rightarrow a = -\frac{1}{2} \frac{v_0^2}{s_E} \Rightarrow F = ma$$

$$v(t_E) = at_E + v_0 = 0 \Rightarrow t_E = -\frac{v_0}{a}$$

$$\Rightarrow s(t_E) = \frac{1}{2} a \left(\frac{v_0^2}{a^2} \right) = \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{a}$$

$$\Rightarrow s(t_E) = \frac{1}{2} a \frac{m^2 v_E^2}{F^2} = \frac{1}{2} \frac{m}{F}$$

D.1

$$s = 1088,1 \text{ m}$$

$$a = \frac{F}{m}$$

E.1

$$v = 0,11 \text{ ms}^{-1}$$

E.1

$$v = 3,0 \text{ ms}^{-1}$$

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} = \frac{60 \text{ kg} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 80 \text{ kg} \cdot 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{140 \text{ kg}} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

E.2

$$v = 1,3 \text{ ms}^{-1}$$

$$v' = \frac{60 \text{ kg} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 80 \text{ kg} \cdot (-1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{140 \text{ kg}}$$

ÜA d)

Bei konstanter Geschwindigkeit müsste das Auto mit der Kraft $F_B = 3,355 \text{ kN}$ bremsen. Soll das Auto mit der Beschleunigung $0,2 \text{ ms}^{-2}$ bergab fahren, muss es eine Bremskraft entwickeln, die die Hangabtriebskraft teilweise aufhebt, $ma = mg \sin \alpha - F_B$ und daraus $F_B = 3,155 \text{ kN}$.

Physik	
Impuls, Kraft und Bewegung	

A Schiffsreihe

Ein Schlepper (Schiff, das andere Schiffe ziehen kann, wie ein Abschleppwagen bei Autos) zieht vier hintereinander gekoppelte Lastschiffe (gleiche Masse, gleicher Widerstand bei der Fahrt durch das Wasser) mit der Kraft $F = 2000 \text{ N}$.

- A.1) Wie groß ist jeweils die Kraft, die das Seil zwischen dem ersten und zweiten, dem zweiten und dritten und dem dritten und vierten Kahn belastet?
- A.2) Macht es einen Unterschied, ob der Schlepper den Zug beschleunigt oder ihn mit konstanter Geschwindigkeit zieht?

B Autobeschleunigung

Ein Auto ($m = 1,2 \text{ t}$) wird vom Stand aus in 12 s auf 100 km/h beschleunigt.

- B.1) Berechnen Sie die (konstante) beschleunigende Kraft,
- B.2) den Weg, auf dem die Endgeschwindigkeit erreicht wird.

C Der Schuss

Beim Fußballspiel des VfL Bochum gegen FC Barcelona zieht Messi ab und sein Schuss erreicht eine Geschwindigkeit von $v = 90 \text{ km/h}$. Wenn Bochumer Torwart Philipp Heerwagen einen solchen Ball fangen will, muss er auf einer Strecke von etwa $s = 25 \text{ cm}$ die Geschwindigkeit des Balles auf 0 km/h herabsetzen.

- C.1) Wie groß ist die durchschnittliche Kraft, die der Ball auf den Torwart ausübt? (Masse des Balles: 500 g).

D Die Jumbo und die Landebahn

Die Masse eines beladenen Jumbo-Jets (Boeing 747) beträgt 340 t . Die 4 Triebwerke erzeugen zusammen eine Antriebskraft von 1000 kN .

- D.1) Wie lang muss die Startbahn des Flughafens sein, damit das Flugzeug die zum Abheben nötige Geschwindigkeit von 288 km/h erreichen kann?

E Peter

Peter (Masse 60 kg) läuft mit der Geschwindigkeit von 18 km/h und holt dabei ein Fahrzeug der Masse 80 kg ein, das sich in gleicher Richtung mit nur $5,4 \text{ km/h}$ bewegt. Peter springt auf den Wagen auf.

- E.1) Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich das Fahrzeug weiter?
- E.2) Wie lautet die Antwort, wenn bei sonst gleichen Bedingungen das Fahrzeug Peter entgegen kommt?

Das Hookesche Gesetz

05.12.24

Wenn Kräfte auf Körper wirken, dann können diese sich verformen und daraus können dann starke Kräfte resultieren, die der verursachenden Kraft entgegenwirken. Diese sorgen dann dafür, dass die ursprüngliche Kraft ausgeglichen wird.

Ein Beispiel dafür ist das System aus Masse und Spiralfeder.

Das Hookesche Gesetz: $F_F = -k \cdot \Delta x$

Mechanik

Hookesches Gesetz

Der Originaltext von HOOKE, veröffentlicht 1678, lautet:

"It is evident that the rule or law of nature in every springing body is, that the force of power thereof to restore itself to its natural position is always proportionate to the distance or space it is removed therefrom..."

(Quelle: Hermann, A.: Lexikon der Geschichte der Physik A–Z, Köln 1987, S. 155)

- 1 Übersetze den Text.

Es ist offensichtlich, dass die Regel oder das Gesetz der Natur in jedem federnden Körper ist, dass die Kraft davon, sich selbst in seine natürliche Position wiederherzustellen, immer proportional zu der Entfernung oder dem Raum ist, den es von ihr entfernt ist

- 2 Zeichne einen Kraftmesser mit „Innenleben“.

- 3 Bei den üblichen Kraftmessern mit hookeschen Federn sind die Skalen gleichmäßig geteilt. Überlege, warum man das so machen kann.

- 4 In der unten stehenden Tabelle gehört jeweils eine Zeile zusammen. Bestimme fehlende Größen.

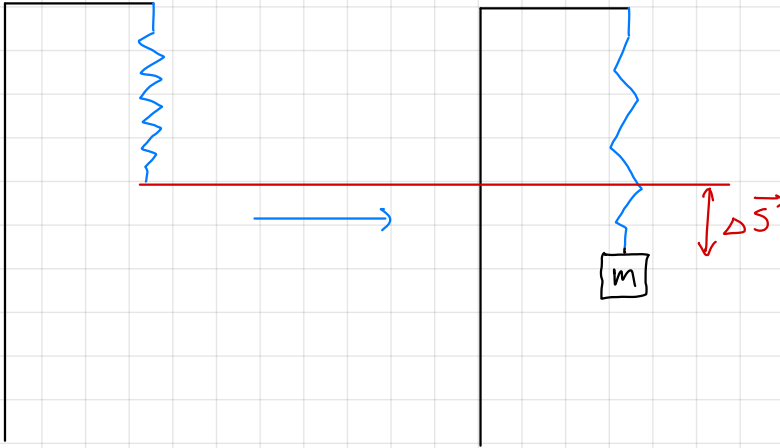
Wiederhole zunächst die Formel für die Federhärte: $D = \frac{F}{\Delta x}$

Nr.	Kraft	Verlängerung	Federhärte
1	25 N	2,5 cm	10 N/cm
2	2400 N	1,2 m	20 N/cm
3	80 N	0,4 m	200 N/m
4	55 kN	5,5 cm	$1 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$
5	63 N	0,14 m	4,5 N/cm
6	1 N	6,25 cm	0,16 N/cm
7	8 N	2 mm	40 N/cm
8	24 N	1,5 mm	$16 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

Hookesches Gesetz

Wird eine elastische Feder um die Strecke Δs verlängert (oder gestaucht), so ist die Federkraft F_F entgegengesetzt proportional zur Strecke Δs :

$$F_F = -D \cdot \Delta s$$



Wird eine Masse an die Feder gehangen, wirkt also eine Gewichtskraft F_g an der Feder, so ist die resultierende Federkraft F_F , dieser entgegengesetzt. Dadurch entsteht ein Kräftegleichgewicht

$$F_F = -F_g = -m \cdot g = -k \cdot \Delta s$$

Die Federkraft $\mathbf{F_F}$ und die Längenänderung $\mathbf{\Delta s}$ zeigen in entgegengesetzte Richtungen. Dadurch wird das Minuszeichen in der Gleichung notwendig. Der Proportionalitätsfaktor zwischen diesen beiden Größen ist $\mathbf{D}$ bzw. $\mathbf{k}$, die sogenannte Federhärte (bzw. Federkonstante). Ihre Einheit ist: $[D] = 1 \text{ N/m}$

Bei zu starker Dehnung kann es zur Überlastung der Feder kommen, sodass das Material so stark beeinflusst wird, dass die Feder nicht mehr in ihren Ursprungszustand zurückkehrt. Wir befinden uns dann nicht mehr im Bereich der Gültigkeit des Hookeschen Gesetzes.

Eine unbelastete Feder der Länge $x_0 = 15 \text{ cm}$ wird bei einer Belastung von $F_1 = 0.6 \text{ N}$ auf die Länge $x_1 = 25 \text{ cm}$ gedehnt.

- Berechne die Federkonstante D .
- Berechne die Kraft mit der an der Feder gezogen werden muss, damit sie 1.5-mal so lang wird, wie ursprünglich
- Mit der beschriebenen Feder soll ein Kraftmesser gebaut werden. Berechne um welche Strecke Δx die Markierung für $F = 0.4 \text{ N}$ vom Nullpunkt entfernt sein muss.

$$a) D = \frac{F}{x_1 - x_0} = \frac{0,6 \text{ N}}{25 \text{ cm} - 15 \text{ cm}} = 0,06 \frac{\text{N}}{\text{cm}} = 6 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$b) x_1 = 1,5 \cdot x_0 = 1,5 \cdot 15 \text{ cm} = 22,5 \text{ cm} \quad F = D \cdot \Delta x = 0,06 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \cdot (22,5 - 15) \text{ cm} = 0,45 \text{ N}$$

Arbeitsblatt

Mechanik

Hookesches Gesetz

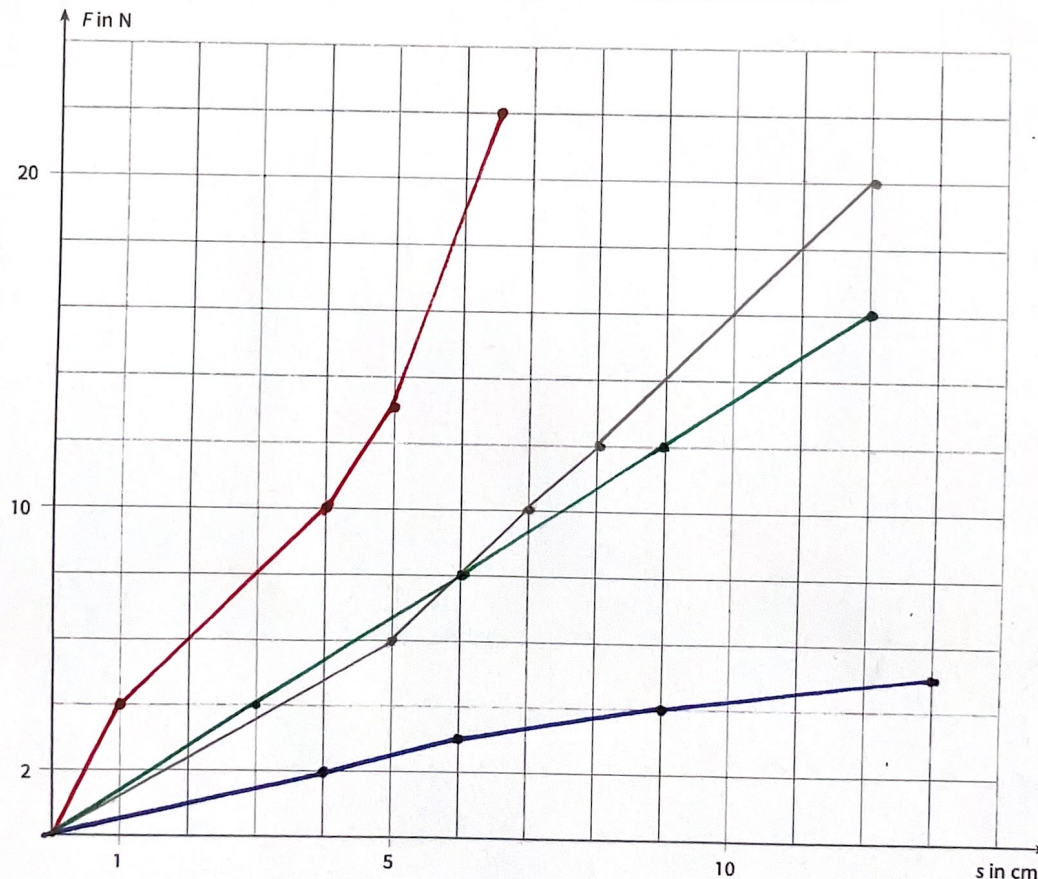
- 1 Man misst bei verschiedenen Körpern die Kraft, die man zu deren Verlängerung braucht.
- Fertige aus den Messwerten ein Diagramm an.
 - Beurteile, welche Körper dem hookeschen Gesetz genügen.

● Körper A	Verlängerung in cm	5	7	8	12
	Kraft in N	6	10	12	20

● Körper B	Verlängerung in cm	3	6	9	12
	Kraft in N	4	8	12	16

● Körper C	Verlängerung in cm	4	6	9	13
	Kraft in N	2	3	4	5

● Körper D	Verlängerung in cm	1	4	5	6,5
	Kraft in N	4	10	13	22

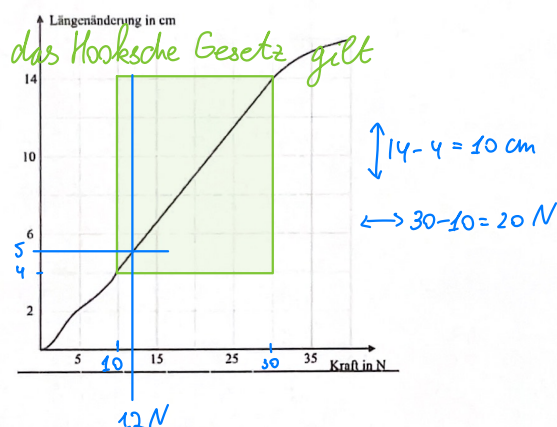


- 2 a) Wie könnte man auch ohne Diagramm die Gültigkeit des hookeschen Gesetzes überprüfen?
- Mit der verlängerung vergrößert sich die kraft
- b) Wie könnte ein Kraftmesser aussehen, für den das Diagramm A zutrifft?

10.12.24

Start eines Modellflugzeugs

Zum Start von Modellflugzeugen verwendet man meist Gummiseile, die vorgedehnt werden und nach dem Loslassen das Flugzeug beschleunigen. Für ein im ungedehnten Zustand 10 cm langes Probestück eines solchen Start-Gummis wurde dabei das dargestellte Kraft-Längenänderungs-Diagramm ermittelt.



a)

Gib begründet an, für welchen Kraftbereich bei dem Gummiseil das Gesetz von HOOKE gilt. Berechne für diesen Bereich die "Gummihärte" D .

b)
$$D = \frac{20\text{ N}}{10\text{ cm}} = 2 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$$

Für den Flugzeugstart sollte die Kraft stets mindestens 12 N betragen und außerdem das Gesetz von HOOKE gelten.

Untersuche, in welchem Längenänderungsbereich (bezogen auf das 10 cm -Probestück) man das Gummi nur verwenden darf. $5\text{ cm} \leq \Delta x \leq 14\text{ cm}$

Berechne, um wie viel cm das Probestück seine Länge in diesem Bereich ändert.

von 15 cm bis 24 cm

c)

Gib begründet an, wie lang dieser günstige Längenänderungsbereich für einen Gummi ist, dessen Länge im ungedehnten Zustand 40 cm beträgt. (war 10 cm)

d)
$$\frac{40}{10} \cdot 5\text{ cm} = 20\text{ cm} \leq \Delta x \leq 52\text{ cm} = \frac{40}{10} \cdot 14\text{ cm}$$

Berechne, auf welche Gesamtlänge das Gummi von Teilaufgabe c) vor dem Start mindestens gedehnt werden muss, wenn wieder die Mindestkraft 12 N betragen soll.

e)
$$\frac{40}{\text{Start}} + \frac{20}{\Delta x} = \frac{60}{\text{gesamte Länge}}$$

Berechne, bei welcher Länge des Gummis von Teilaufgabe c) das Flugzeug ausklinken soll.

Berechne den Betrag der Kraft, die auf das Flugzeug unmittelbar beim Ausklinken des Gummis wirkt.

Bei Grundlänge

Federkraft

Bungee-Springer am Gummiseil

Beim Bungee-Jumping springt eine Person an einem Gummiseil, das im verwendeten Bereich dem Gesetz von HOOKE gehorcht. Das Gummiseil hat im ungedehnten Zustand eine Länge von 6,0 m.

a)

Hängt sich eine ^m70 kg schwere Person an das Gummiseil, so verlängert es sich auf ^{Δx}9,0 m.

Berechne daraus die "Gummihärte" D.

b)

Springt dieselbe Person von oben mit dem Gummiseil, so dehnt sich dieses bis auf eine Länge von 16,0 m.

Berechne den Betrag der Federkraft, die auf diese Person im tiefsten Punkt wirkt.

$$F = k \cdot \Delta x = 228,9 \frac{N}{m} \cdot (16m - 6m) = 2289 N$$

c)

Berechne, um welche Streckenlänge sich das Gummiseil dehnen würde, wenn man damit ein Massestück der Masse 300 kg hochheben würde.

$$F = k \cdot \Delta x = mg$$

$$\Delta x = \frac{mg}{k} = \frac{300 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{228,9 \frac{N}{m}} \approx 12,86 m$$

a)

Gegeben: $x_0 = 6m$: $m = 70 kg$: $x_1 = 9m$

Gesucht: D

$$F_F = F_G = D \cdot \Delta x = m \cdot g$$

$$D = \Delta x m \cdot g = x_1 - x_0 m \cdot g = 9m - 6m 70 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 228,9 mN$$

b)

Gegeben: $x_0 = 6m$: $x_1 = 16m$

Gesucht: F

$$F = D \cdot \Delta x = 228,9 mN \cdot (16m - 6m) = 2289 N$$

c)

Gegeben: $D = 228,9 mN$: $m = 300 kg$

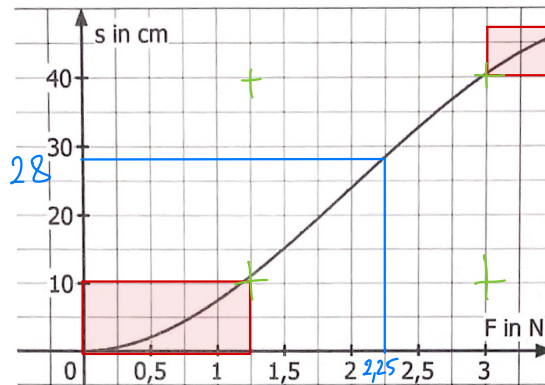
Gesucht: F

$$mg = D \cdot \Delta x \Leftrightarrow \Delta x = Dmg$$

$$\Delta x = Dmg = 228,9 mN 300 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \approx 12,86 m$$

Dehnung eines Gummibandes

Bei der Dehnung eines Gummibandes ergab sich das dargestellte $F - s$ -Diagramm.



a)

Entnimm dem Diagramm, mit welcher Kraft an dem Gummiband gezogen werden muss, damit es um 28 cm gedehnt wird. $2,25\text{ N}$

b)

Erläutere, warum das Gummiband nicht immer dem HOOKE'schen Gesetz genügt.

c)

Erläutere, in welchem Kraftbereich etwa ein linearer Zusammenhang zwischen F und s besteht. Bestimme für diesen Bereich die "Gummihärte".

$$\text{d) } \frac{(3-1,25)\text{ N}}{(40-10)\text{ cm}} = \frac{1,75\text{ N}}{30\text{ cm}} = \frac{7}{120} \frac{\text{N}}{\text{cm}} \approx 5,83 \cdot 10^{-2} \frac{\text{N}}{\text{cm}}$$

Zwei Gummibänder der gleichen Sorte wie das bisher betrachtete Band werden zuerst parallel, danach hintereinander aufgehängt und mit einer Kraft von $3,0\text{ N}$ gedehnt.

Gib an, um wie viel sich dabei jeweils die Kombination aus den beiden Gummibändern verlängert und begründe deine Antwort.

$$s = \frac{1}{2} a t^2$$

$$v = a t$$

$$t = \frac{v}{a}$$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot \frac{v^2}{a^2}$$

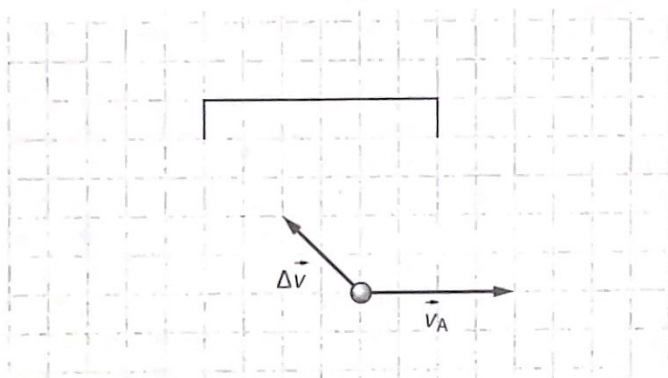
$$s = \frac{v^2}{2a}$$

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

- 1 → Ein rollendes Spielzeugauto erhält durch den Luftstrom eines Haartrockners eine Zusatzgeschwindigkeit. Beschreiben Sie die Bewegung des Autos, wenn der Luftstrom ...

- a) ... in Fahrtrichtung des Autos gerichtet ist.
b) ... entgegen der Fahrtrichtung gerichtet ist.

2



→ Übertragen Sie das Bild in Ihr Heft. Überprüfen Sie mit einer Konstruktion, ob die Zusatzgeschwindigkeit im gezeigten Fall ausreicht, damit der Ball das Tor trifft.

- 3 → Ein Lastwagen mit einem Leergewicht von 7 t beschleunigt bei maximaler Antriebskraft in 30 s aus dem Stand auf 80 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. $v = a \cdot t$ $a = \frac{v}{t} = \frac{80 : 3,6}{30} = 9,74 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

a) Berechnen Sie die Beschleunigung des leeren Lastwagens.

b) Berechnen Sie, wie lange es dauert, bis der vollbeladene Lastwagen ($m = 40 \text{ t}$) eine Geschwindigkeit von 80 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ erreicht. $m_1 \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t_1} = m_2 \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t_2}$ $\Delta t_2 = \Delta t_1 \cdot \frac{m_1}{m_2} = 30 \text{ s} \cdot \frac{7 \text{ t}}{40 \text{ t}} = 17,1 \text{ s}$

- 4 → Die Grundgleichung der Mechanik enthält keine Aussagen über die Art der Kraft.

Beschreiben Sie, welche verschiedenen Kraftarten auftreten können. Gehen Sie dazu auch auf die Reibungskraft ein.

- 5 → Ein Pkw mit einer Masse von 1 t beschleunigt in 7 s aus dem Stand auf 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Berechnen Sie die Beschleunigungskraft. $F = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t} = 1000 \text{ kg} \cdot \frac{(100 : 3,6) \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7 \text{ s}} = 3968,3 \text{ N}$

- 6 → Bestimmen Sie die Bremskraft, die die Bremsen eines Pkw (800 kg) erreichen müssen, um den gesetzlich geforderten Mindestwert von $a = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ zu erfüllen. $F = m \cdot a = 800 \text{ kg} \cdot 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2000 \text{ N}$

- 7 → Ein Pkw fährt mit 30 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ gegen eine Mauer, nach 0,7 s kommt er zum Stehen. $F = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t} = 700 \text{ kg} \cdot \frac{(30 : 3,6) \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,7 \text{ s}} = 833,3 \text{ N}$

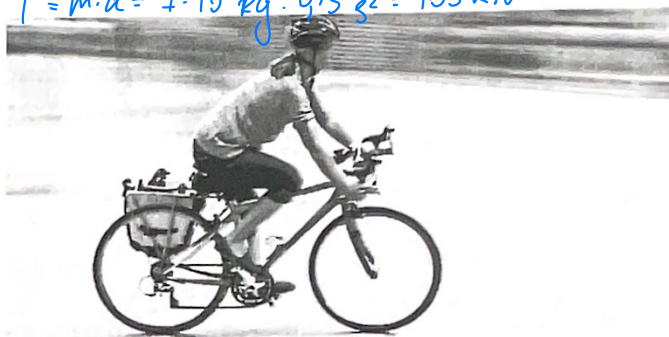
a) Schätzen Sie durch Rechnung die Kraft, die auf eine angeschnallte Person mit der Masse 70 kg wirkt.

b) Beurteilen Sie, ob die Person auf das Anlegen des Sicherheitsgurtes verzichten kann.

- 8 → Ein Pkw ($m = 950 \text{ kg}$) fährt bei einem Unfall mit 50 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ frontal gegen eine Wand. Seine Frontpartie wird um 60 cm verkürzt. Berechnen Sie die Beschleunigung und die Kraft auf den Pkw. $F = m \cdot a = 950 \text{ kg} \cdot \frac{(50 : 3,6) \frac{\text{m}}{\text{s}}^2}{2 \cdot 0,6} = 152713,48 \text{ N}$

- 9 → Ein Zug ($m = 700 \text{ t}$) fährt mit einer Beschleunigung von $0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ an. Bestimmen Sie die Kraft, die zum Beschleunigen des Zuges notwendig ist. $F = m \cdot a = 7 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot 0,15 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 105 \text{ kN}$

10



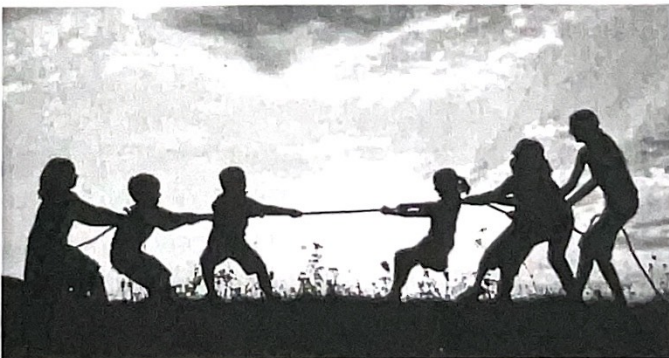
→ Erläutern Sie mit Hilfe der Grundgleichung der Mechanik, warum eine Radfahrerin langsamer wird, wenn sie nicht mehr in die Pedale tritt.

- 11 → Erklären Sie, warum bei einem Unfall nicht nur Sicherheitsgurte, sondern auch Airbags überlebenswichtig sein können.

- 12 → Beschreiben Sie, was mit den Insassen eines Busses passiert, der anfährt bzw. abbremst. Erklären Sie mit Hilfe des Trägheitsprinzips, warum es auch in Bussen sinnvoll wäre, sich anzuschnallen.

- 13 → Wendet man das Wechselwirkungsprinzip auf einen fallenden Ball an, müsste dieser nicht nur auf die Erde, sondern die Erde müsste auch auf ihn zufallen. Erklären Sie, warum diese Vorstellung richtig ist, obwohl sie der Alltagserfahrung zu widersprechen scheint.

14



→ Beim Tauziehen stehen sich zwei Mannschaften gegenüber. Erläutern Sie, woran man ein Kräftegleichgewicht beim Tauziehen erkennt.

Die Grundgleichung der Mechanik lässt verschiedene Anwendungen zu:

1. Kennt man die wirkende Kraft F und die Beschleunigung a eines Körpers, so ergibt sich aus beiden seine Masse $m = F/a$.

Beispiel: Die Massen von Elementarteilchen (Elektron, Proton usw.) sind aus der Messung ihrer Beschleunigung durch bekannte Kräfte in elektrischen oder magnetischen Feldern bestimmt worden.

2. Aus der beobachteten Beschleunigung a , die ein Körper bekannter Masse m erfährt, schließt man auf die wirkende Kraft $F = ma$.

Beispiel **Gewichtskraft**: Im freien Fall ($\rightarrow$ 1.1.5) fällt ein Körper der Masse m mit der ortsabhängigen konstanten Beschleunigung $a = g$. Folglich wirkt nach der Grundgleichung auf ihn ständig eine ortsabhängige Kraft $F = mg$, nämlich die Gewichtskraft $G = mg$.

Die ortsabhängige **Gewichtskraft** G , die auf einen Körper der Masse m wirkt, ist das Produkt aus seiner Masse m und der Fallbeschleunigung g am Beobachtungsort: $G = mg$.

3. Kennt man die Kraft F , die auf einen Körper bekannter Masse m wirkt, lassen sich seine Beschleunigung $a = F/m$ und daraus wiederum seine Bewegungsgesetze ermitteln.

Beispiel: Bei einer linearen Bewegung ergibt sich unter dem Einfluss der Kraft F auf einen Körper der Masse m die Beschleunigung $a = F/m$. Aus der Beschleunigung a , gleich ob sie als Konstante oder als Funktion der Zeit vorliegt, errechnet man die übrigen Bewegungsgesetze ($\rightarrow$ 1.1.4).

Die Grundgleichung enthält als *Sonderfall* das *Trägheitsgesetz*. Wenn auf einen Körper keine äußeren Kräfte wirken oder aber die Summe der äußeren Kräfte null ist: $F = 0$, so ist mit der (Gesamt-)Kraft F auch die Beschleunigung a null. Bei der Beschleunigung null bewegt sich der Körper mit nach Betrag und Richtung konstantem Impuls oder er befindet sich in Ruhe mit dem ebenfalls konstanten Impuls null.

Mathematische Formulierung der Grundgleichung

Das 2. Newton'sche Axiom schreibt man in Vektorform ($\rightarrow$ 1.1.8) und mit der eigens für seine Mechanik von NEWTON entwickelten Differentialrechnung ($\rightarrow$ 1.1.4) kurz:

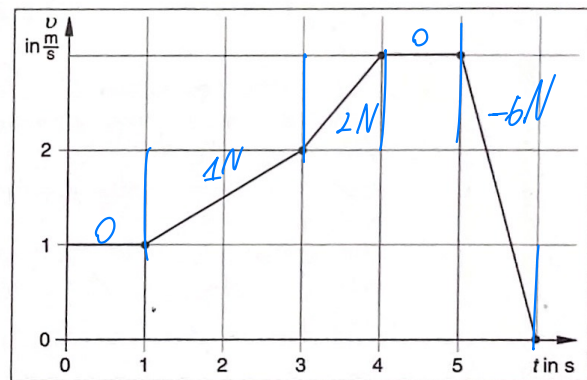
Zweites Newton'sches Axiom (Aktionsprinzip): Die auf einen Körper wirkende Kraft $\vec{F}$ ist gleich der ersten Ableitung seines Impulses $\vec{p}$ nach der Zeit t

$$\vec{F} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \dot{\vec{p}} \quad \text{oder bei } m = \text{konstant} \quad \vec{F} = m\vec{a} = m\dot{\vec{v}}$$

$$v_1^2 - v_2^2 = 2 \cdot a \cdot \Delta s$$

Aufgaben

- Ein PKW ($m = 900 \text{ kg}$) erfährt eine Beschleunigung $a = 4,5 \text{ m/s}^2$. Welche Kraft muss dabei von den Rädern auf den Wagen übertragen werden? $F = m \cdot a = 900 \text{ kg} \cdot 4,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4050 \text{ N}$
- Ein Junge bringt einen Ball der Masse $m = 0,5 \text{ kg}$ in der Zeit $t = 0,2 \text{ s}$ auf die Geschwindigkeit $v = 8 \text{ m/s}$. Welche (durchschnittliche) Kraft übt er auf den Ball aus? $F = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t} = 0,5 \text{ kg} \cdot \frac{8 \text{ m/s}}{0,2 \text{ s}} = 20 \text{ N}$
- Ein Zug der Gesamtmasse $m = 600 \text{ t}$ erreicht beim Anfahren von der Haltestelle aus auf der Strecke von 2,45 km die Fahrgeschwindigkeit 120 km/h. Wie groß ist die als konstant angenommene Kraft, mit der die Lokomotive den Zug zieht? $F = m \cdot a = m \cdot \frac{v^2}{2s} = 6 \cdot 10^8 \text{ kg} \cdot \frac{(120/3,6)^2}{2 \cdot 2450 \text{ m}} \approx 136 \text{ kN}$
- Ein PKW mit der Masse $m = 600 \text{ kg}$ wird auf einer Strecke von 50 m durch die konstante Kraft $F = 900 \text{ N}$ abgebremst. Wie groß war die Anfangsgeschwindigkeit? $v = \sqrt{\frac{F \cdot 2s}{m}} = \sqrt{\frac{900 \text{ N} \cdot 2 \cdot 50 \text{ m}}{600 \text{ kg}}} = 12,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- Ein Körper der Masse $m = 2 \text{ kg}$ wird geradlinig nach der Zeit-Geschwindigkeit-Kurve der folgenden Grafik bewegt. Berechnen Sie daraus für die einzelnen Intervalle der Bewegung die wirkende Kraft und zeichnen Sie das Zeit-Kraft-Diagramm.



- Ein PKW ($m = 1000 \text{ kg}$) fährt bergan auf einer Straße mit dem Steigungswinkel $\alpha = 20^\circ$. Welche Kraft erzeugt der Motor, wenn das Auto bergan fährt? $F = 3355 \text{ N}$
 - mit konstanter Geschwindigkeit; $F = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 1000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 20^\circ = 3355 \text{ N}$
 - mit einer (konstanten) Beschleunigung von $0,2 \text{ m/s}^2$; $F = m(g \cdot \sin \alpha + a) = 3555 \text{ N}$
 - Mit welcher Kraft drückt das Auto in beiden Fällen auf die Straße? $F_N = F_G \cdot \cos \alpha = 1000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos 20^\circ = 9218 \text{ N}$
 - Wie lautet die Antwort, wenn das Auto unter den Bedingungen a) und b) bergab fährt? $m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha - F_G$
- Ein PKW ($m = 720 \text{ kg}$) wird durch eine (konstante) Bremskraft $F = 4,37 \text{ kN}$ auf einem Weg $s = 68 \text{ m}$ auf die Hälfte seiner Geschwindigkeit abgebremst.
 - Aus welcher Geschwindigkeit wurde er abgebremst?
 - Wie lange dauert der Bremsvorgang?
- Ein PKW ($m = 900 \text{ kg}$) soll auf einer Strecke von $l = 150 \text{ m}$ von der Geschwindigkeit $v_1 = 10 \text{ m/s}$ auf die Geschwindigkeit $v_2 = 40 \text{ m/s}$ beschleunigt werden.
 - In welcher Zeit geht der Beschleunigungsvorgang vor sich?
 - Wie groß ist die Beschleunigung?
 - Welche (konstante) Kraft ist erforderlich?
- Über eine feste Rolle wird eine Schnur gehängt, an die an den beiden Enden zwei Körper mit den Massen m_1 und m_2 ($m_1 < m_2$) gehängt werden. Was geschieht? Beschreiben und analysieren Sie den Bewegungsvorgang.

$$F_{g1} = m_1 \cdot g \quad F_{g2} = m_2 \cdot g \quad m = m_1 + m_2$$

$$F = ma = F_{g1} - F_{g2} \Rightarrow a = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \cdot g$$

17.12.2024

$$\textcircled{7} \quad a) \quad a = \frac{F}{m} = 6,07 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v_0^2 - \left(\frac{1}{2} \cdot v_0\right)^2 = 2 \cdot a \cdot \Delta S$$

$$v_0 = 33,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$b) \quad \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{v_0}{\Delta t} = a$$

$$\Delta t = 2,74 \text{ s}$$

