

In dem Experiment untersuchen wir die geradlinige Bewegung eines Wagens. Dein Lehrer kann das Experiment im Unterricht vorführen, Du kannst es im Schülerpraktikum vielleicht auch selbst durchführen. Die Zeitmessung kann mit Stoppuhren per Hand oder mit Lichtschranken erfolgen, eventuell nimmt auch ein Datenlogger die Messdaten auf. Auch ein passendes Experiment für die Smartphone-App "Phyphox" ist dokumentiert. Eine einfache Möglichkeit bietet ein Simulationsversuch auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik - gleichförmige Bewegung - Versuche - Untersuchung einer Autofahrt**.

- Ermittle die Messdaten für Fahrzeit und Fahrstrecke.
- Zeichne ein t-s-Diagramm.
- Berechne nun auch die Quotienten der Wertepaare und interpretiere das Ergebnis.

2. Dynamik

2.1 Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit

Intro: Messung von Zeit und Wegstrecke

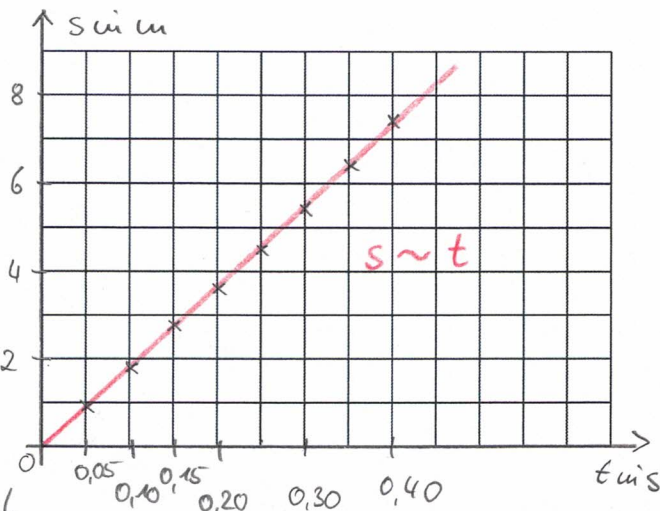
s in m	0	0,95	1,80	2,75	3,60	4,45	5,40	6,40	7,40
t in s	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
$v = \frac{s}{t}$ in $\frac{m}{s}$	-	19	18	18	18	18	18	18	19

Zeit-Weg-Diagramm:

Begriff:

$$v = \frac{s}{t} \text{ heißt Geschwindigkeit}$$

Die Quotienten $\frac{s}{t}$ sind hier annähernd konstant.

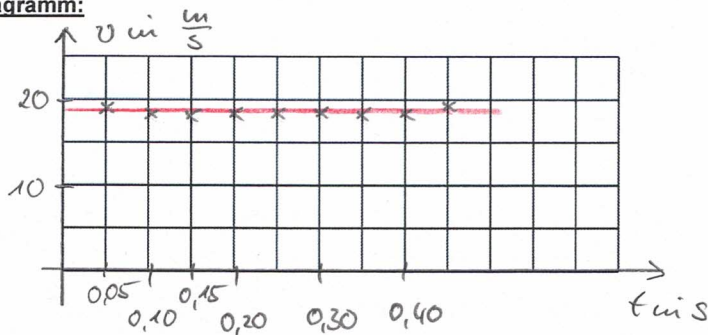


Übertrage die berechneten Werte für die Geschwindigkeit aus der Tabelle in ein t-v-Diagramm (durch Rundung sind einige "Ausreißer" entstanden. Verwende für die Ausgleichskurve wieder ein Lineal.

Aus so einem t-v-Diagramm kann man zwei Dinge entnehmen: den Wert der Geschwindigkeit sowie die Information, ob die Geschwindigkeit beim betrachteten Beispiel überhaupt konstant ist.

Überlege: Was würde sich an den Diagrammen ändern, wenn die Geschwindigkeit größer wäre?

Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm:



Zusammenfassung:

Bei konstanter Geschwindigkeit sind Zeit und zurückgelegter Weg

zueinander proportional

Das Zeit-Weg-Diagramm (t-s-Diagramm) ist eine , die

umso steiler verläuft, je größer die Geschwindigkeit ist.

Das Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm ist eine waagrechte Gerade.

Während wir bei Messungen die Geschwindigkeit meist in m/s bestimmen, begegnen wir im Alltag oft der Einheit km/h. Die beiden Einheiten lassen sich leicht umrechnen. Eine ausführliche Erklärung und weitere Übungen hierzu findest Du auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik - gleichförmige Bewegung - Umrechnung von Geschwindigkeitseinheiten**.

Geschwindigkeit - Umrechnung der Einheiten:

Bei der Geschwindigkeit 1 m/s schaffen wir in 1 s genau 1 m
Bei dieser Geschwindigkeit schaffen wir dann in 1 h genau 3600 m = 3,6 km

Merkregel:

m/s \longrightarrow km/h

km/h \longrightarrow m/s

multipliziere mit 3,6

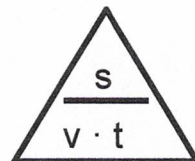
dividiere durch 3,6

Übungsaufgaben:

$$a) v = 18 \text{ km/h} = \frac{18}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$b) t = \frac{s}{v} = \frac{400 \text{ m}}{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 80 \text{ s}$$

$$c) s = v \cdot t = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 2,5 \text{ h} = 45 \text{ km}$$



Die Form der Geschwindigkeits-Formel kennen wir schon von Widerstand und Federhärte. Wir können sie wieder mit unserem Merkdreieck darstellen.

Ein Radler fährt mit 18 km/h.

a) Gib die Geschwindigkeit in m/s an.

b) Berechne die Fahrzeit für 400 m.

c) Berechne die Fahrstrecke für 2,5 h.

Franz macht eine Radtour von Marktoberdorf nach Lechbruck. Für die erste Hälfte der 30 km langen Strecke braucht er eine halbe Stunde. Dabei hat er sich so verausgabt, dass er auf der zweiten Hälfte des Weges nur halb so schnell unterwegs ist. Berechne die Geschwindigkeiten auf den beiden Etappen und zeichne t-s- und t-v-Diagramm. Wie schnell ist er im Durchschnitt gefahren?

Anwendung: Radtour - Mittlere Geschwindigkeit

$$① v_1 = \frac{s_1}{t_1} = \frac{15 \text{ km}}{0,5 \text{ h}} = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

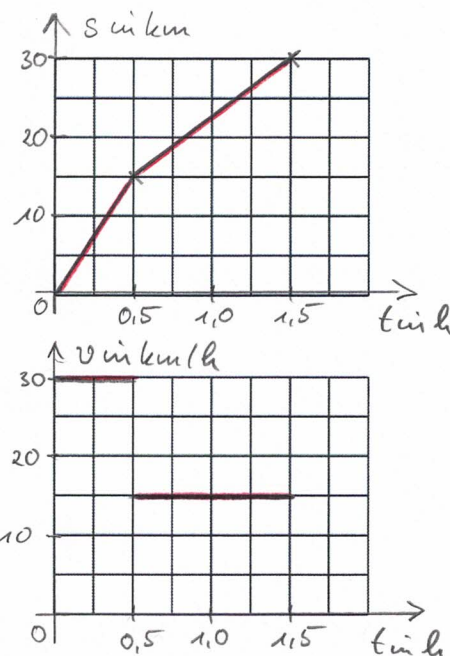
$$② v_2 = \frac{1}{2} v_1 = 15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$③ t_2 = \frac{s_2}{v_2} = \frac{15 \text{ km}}{15 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 1,0 \text{ h}$$

$$④ v_D = \frac{s_{\text{ges}}}{t_{\text{ges}}} = \frac{30 \text{ km}}{1,5 \text{ h}} = 20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$t_{\text{ges}} = t_1 + t_2$$

v_D ist nicht der Mittelwert von v_1 und v_2 !



Selbst-Check:

- Geschwindigkeit
- Einheiten und Berechnung
- t-s-Diagramm
- t-v-Diagramm

Übungsmöglichkeiten:

Perfekte Übungsmöglichkeit bieten Dir die Tests auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik - gleichförmige Bewegung - Aufgaben**, besonders empfehlenswert ist hier das Quiz zu t-s- und t-v-Diagrammen.

Bei den bisherigen Beispielen betrachteten wir fast immer Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit. Das Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm war dann eine waagrechte Linie.

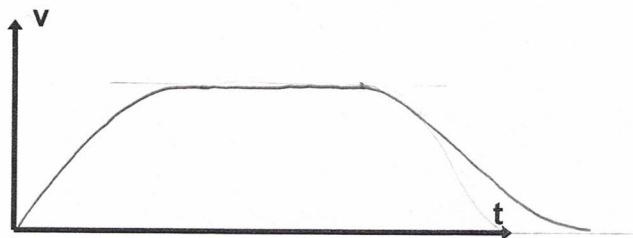
Beschreibe die Bewegung bei einem 100m-Lauf mit Blick auf die Geschwindigkeit des Läufers. Skizziere qualitativ ein Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm für den gesamten Lauf inklusive dem "Auslaufen" im Ziel.

2.2 Beschleunigung

Intro: Ein 100 m - Lauf

Der Läufer startet aus der Ruhe und wird zunächst immer schneller, er beschleunigt. Dann läuft er eine Weile mit konstanter Geschwindigkeit. Nach der Ziellinie bremst er ab bis er wieder steht.

Zeit-Weg-Diagramm:



In dem Experiment untersuchen wir die beschleunigte Bewegung eines Wagens. Dein Lehrer kann das Experiment im Unterricht vorführen, Du kannst es im Schülerpraktikum vielleicht auch selbst durchführen. Beim hier dargestellten Verfahren ist eine direkte Messung der Geschwindigkeit (z.B. mit Datenlogger) nötig. Eine einfache Möglichkeit bietet ein Simulationsversuch auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik - Beschleunigte Bewegung - Beschleunigung bei gleichmäßig beschleunigter Bewegung Grundwissen** (zweite Animation violette Kugel).
blaue

- Ermittle die Messdaten für Zeit und Geschwindigkeit
- Zeichne ein Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm.
- Interpretiere das Ergebnis. Welche Bedeutung hat die Steigung der Messkurve?

Messung von Zeit und Geschwindigkeit

t in s	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
v in m/s	0	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50	1,75	2,0
v/t in m/s/s	-	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm:

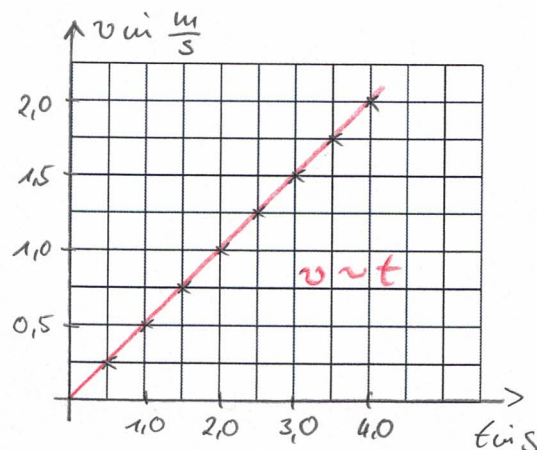
Zeit und Geschwindigkeit sind zueinander proportional,
 $\frac{v}{t}$ ist konstant.

Begriff:

$$a = \frac{v}{t} \text{ heißt}$$

Beschleunigung.

Diese gibt an, um wie viel die Geschwindigkeit pro Sekunde zunimmt.



Nun betrachten wir an den Messpunkten zusätzlich auch noch den zurückgelegten Weg. Bei der Messung mit einem Datenlogger ist dieser bereits erfasst und kann ausgelesen werden. Alternativ bietet sich die beschriebene Animation auf Leifiphysik an (hier die erste Animation wieder mit der blauen violetten Kugel).

a) Trage die Messdaten für Zeit und Weg in die Tabelle ein.

(Beachte: In der ersten Zeile steht s für die Einheit Sekunden, in der zweiten Zeile ist s das Formelzeichen für den Weg)

b) Zeichne ein Zeit-Weg-Diagramm.

c) Wie unterscheidet sich dieses Zeit-Weg-Diagramm von der entsprechenden Messkurve im vorigen Kapitel? Begründe die neue Form.

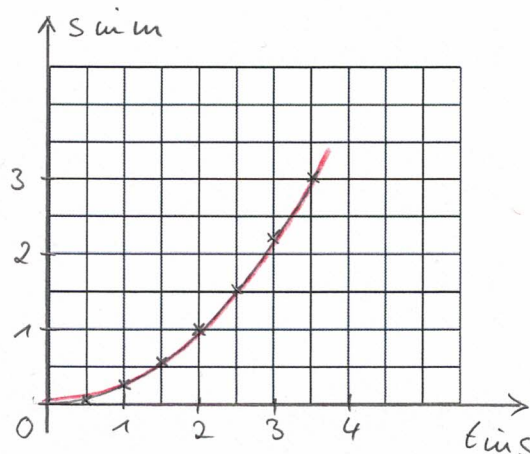
Messung von Zeit und Weg

t in s	0	0,50	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
s in m	0	0,06	0,25	0,56	1,0	1,56	2,25	3,06

Zeit-Weg-Diagramm:

Dieses Diagramm ist eine gekrümmte Linie, keine Gerade.

Am Anfang schafft man pro Sekunde weniger Weg, am Ende mehr.



Bezugseinheiten sind hier m (Meter) und s (Sekunde).

Falls die Geschwindigkeit in km/h angegeben ist, rechnen wir sie in m/s um!

Einheit der Beschleunigung:

Beim Dividieren ergibt sich: $1 \frac{\text{m}}{\text{s}} : 1 \text{s} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

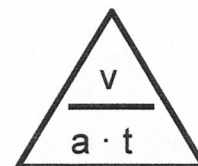
Übungsaufgaben:

$$a) v = 108 \frac{\text{km}}{\text{h}} = (108 : 3,6) \frac{\text{m}}{\text{s}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \frac{v}{t} = \frac{30 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{15 \text{s}} = 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$b) t = \frac{v}{a} = \frac{20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 10 \text{s}$$

$$v = a \cdot t = 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,0 \text{s} = 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Die Beschleunigungs-Formel können wir wieder mit unserem Merkdreieck darstellen.

a) Ein Auto beschleunigt von 0 km/h auf 108 km/h in 15 s. Berechne die Beschleunigung.

b) Nach welcher Zeitspanne hat es 72 km/h erreicht, welche Geschwindigkeit nach 2,0 s?

Selbst-Check:

- die Geschwindigkeit ändert sich
- Beschleunigung
- Einheiten und Berechnung
- t-s-Diagramm
- t-v-Diagramm

Übungsmöglichkeiten:

Auf Leifiphysik findest Du unter Teilgebiet Mechanik - Beschleunigte Bewegung - Aufgabenübersicht eine Menge Aufgaben zum Thema. Für den Anfang reichen die leichten (grünen) vollkommen, zumal wir das Thema noch vertiefen werden und weitere Begriffe zum Thema Beschleunigung dann erst kennenlernen.

Peter und Claudia haben ein Messexperiment mit einem Legoroboter durchgeführt und in einem Zeit-Weg-Diagramm dokumentiert. Claudia ist sauer. "Da warst Du wieder vorschnell!" sagt sie zu Peter, der die Zeitmessung übernommen hat.

a) Erkläre, was Claudia damit meint!

b) Welche Aussage über die Bewegung des Roboters lässt sich aus der Form der Messkurve treffen.

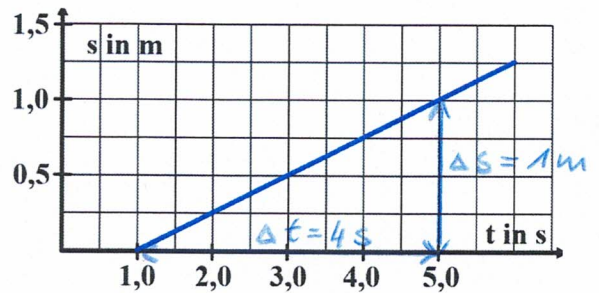
c) Wie können die beiden die korrekte Geschwindigkeit des Roboters aus der Messkurve ermitteln?

2.3 Arbeiten mit Diagrammen

Basic: Geschwindigkeit aus dem Zeit-Weg-Diagramm bestimmen

Zeit-Weg-Diagramm:

- a) Peter hat zu früh die Stopuhr gedrückt. Sie ist schon bei 1s, als der Wagen losfährt.



- b) Geschwindigkeit konstant.
- c) "Steigungsdreieck"

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1 \text{ m}}{4 \text{ s}} = \underline{\underline{0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Technik:

Um bei konstanter Geschwindigkeit aus einem Zeit-Weg-Diagramm die

Geschwindigkeit zu ermitteln, zeichnet man ein Dreieck.

Daraus liest man Fallstrecke Δs und Fallzeit Δt ab und dividiert diese.

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

Im abgebildeten Zeit-Weg-Diagramm sind die Bewegungen eines Spaziergängers und eines Joggers dargestellt.

a) Vergleiche die beiden Messkurven! Beschreibe Unterschiede und Gemeinsamkeiten.

Interpretiere insbesondere den Verlauf der Bewegung A.

b) Bestimme die Werte für die Geschwindigkeiten jeweils mit Hilfe eines Dreiecks!

c) Zeichne die Zeit-Geschwindigkeits-Diagramme in ein gemeinsames Koordinatensystem. Wie lässt sich die Besonderheit bei der Bewegung des Joggers im Diagramm berücksichtigen? Verwende gleiche Farben!

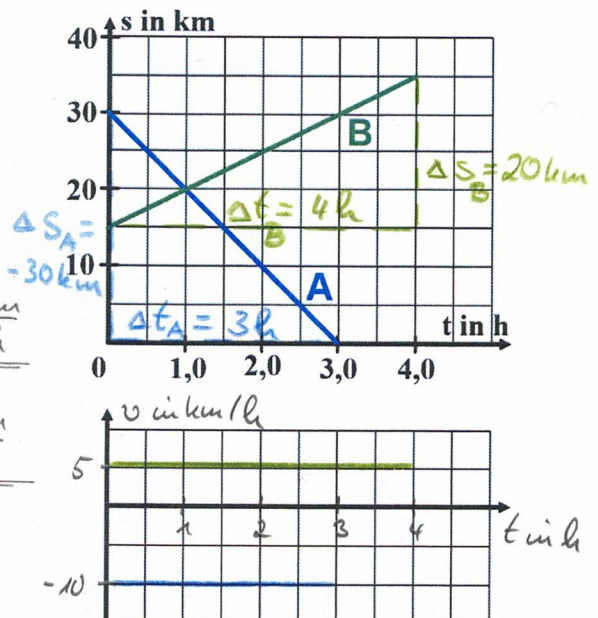
Training: t-s-Diagramme

- a) Messkurve von A fällt
→ A läuft rückwärts
(entgegen gesetzt zur Messrichtung)

$$b) v_A = \frac{-30 \text{ km}}{3 \text{ h}} = \underline{\underline{-10 \frac{\text{km}}{\text{h}}}}$$

$$v_B = \frac{20 \text{ km}}{4 \text{ h}} = \underline{\underline{5,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}}}$$

- c) v_A ist negativ!



Anna und Karl haben eine Messung an Karls Autorennbahn durchgeführt und in einem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm dokumentiert.

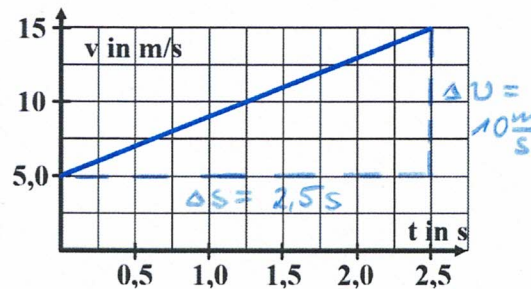
- Beschreibe die Bewegung, die sie vermessen haben.
- Welche Aussage über die Bewegung des Rennautos lässt sich aus der Form der Messkurve treffen.
- Wie können die beiden die korrekte Beschleunigung des Rennautos aus der Messkurve ermitteln?

Beschleunigung aus dem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm bestimmen

a) Das Auto beschleunigt in 2,5 s von $5 \frac{m}{s}$ auf $15 \frac{m}{s}$.

b) Die Beschleunigung ist konstant.

$$c) a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10 \frac{m}{s}}{2,5 s} = \underline{\underline{4,0 \frac{m}{s^2}}}$$



Wie Du sicherlich schon gemerkt hast, funktioniert das genauso wie bei der Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem Zeit-Weg-Diagramm.

Technik:

Um bei konstanter Beschleunigung aus einem Zeit-Geschwindigkeits-

Diagramm die Beschleunigung zu ermitteln, zeichnet man ein Dreieck. Daraus liest man Geschwindigkeitszunahme Δv und Beschleunigungszeit Δt ab und dividiert diese. $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

In abgebildeten Zeit-Weg-Diagramm sind die Bewegungen von zwei Autos dargestellt.

a) Vergleiche die beiden Messkurven! Welche neue Situation tritt hier auf?

b) Bestimme die Werte für die Beschleunigungen jeweils mit Hilfe eines Dreiecks!

c) Zeichne die Zeit-Beschleunigungs-Diagramme in ein gemeinsames Koordinatensystem. Wie lässt sich die Besonderheit bei der Bewegung von Auto A im Diagramm berücksichtigen? Verwende gleiche Farben!

Die Zeit-Weg-Diagramme bei beschleunigter Bewegung sind komplizierter, die analysieren wir erst in der 10. Klasse.

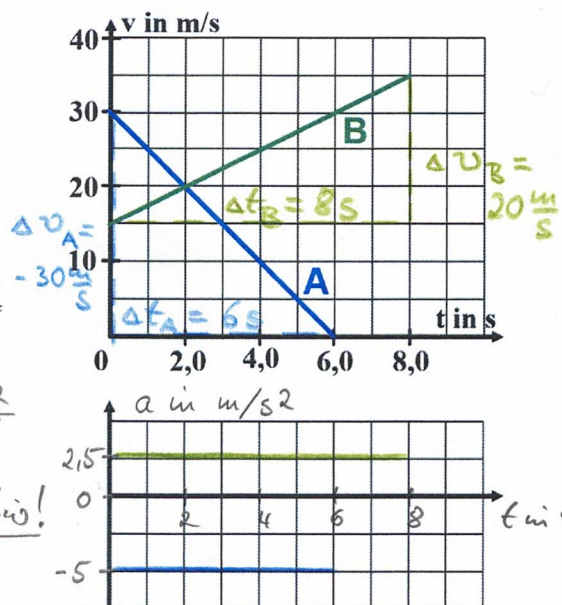
Training: t-v-Diagramme

a) Bei A nimmt die Geschwindigkeit ab, er brems!

$$b) a_A = \frac{-30 \frac{m}{s}}{6,0 s} = \underline{\underline{-5,0 \frac{m}{s^2}}}$$

$$a_B = \frac{20 \frac{m}{s}}{8,0 s} = \underline{\underline{2,5 \frac{m}{s^2}}}$$

c) Beschleunigung negativ!



Selbst-Check:

- Geschwindigkeit aus Zeit-Weg-Diagramm
- Beschleunigung aus Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm
- Start außerhalb des Nullpunkts
- Bewegung rückwärts
- Bremsen

Übungsmöglichkeiten:

Auf Leifphysik findest Du zu diesem Themenbereich Aufgaben unter **Teilgebiet Mechanik - Gleichförmige Bewegung - Aufgabenübersicht**. Perfekt zum Konzept der Stunde passen "Lesen von Diagrammen", "Überholvorgang" sowie das Quiz zu t-s- und t-v-Diagrammen.

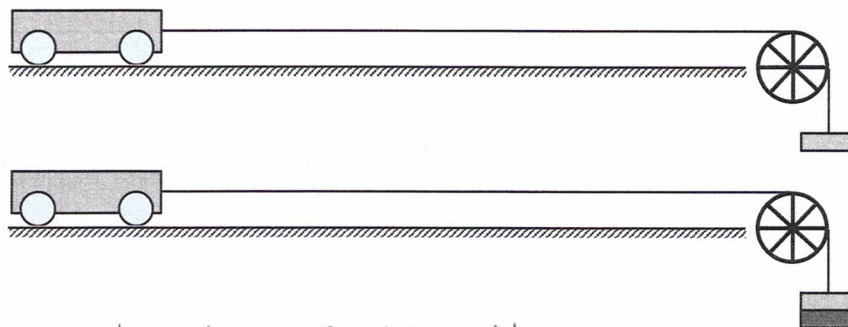
Zu Beginn des Mechanikkurses haben wir erkannt, dass Kräfte Bewegungsänderungen hervorrufen.

Im Experiment lassen wir zwei identische Wagen durch unterschiedliche Kräfte beschleunigen (diese stellen wir durch die Umlenkung von Gewichtskräften verschiedener Massenstücke bereit). Beschreibe Deine Beobachtung.

Welchen Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung liefert das Experiment?

2.4 Gesetz von Newton

Experiment: Kraft und Beschleunigung (bei gleichem Fahrzeug)



Der untere Wagen beschleunigt schneller, da eine größere Kraft an ihm zieht.

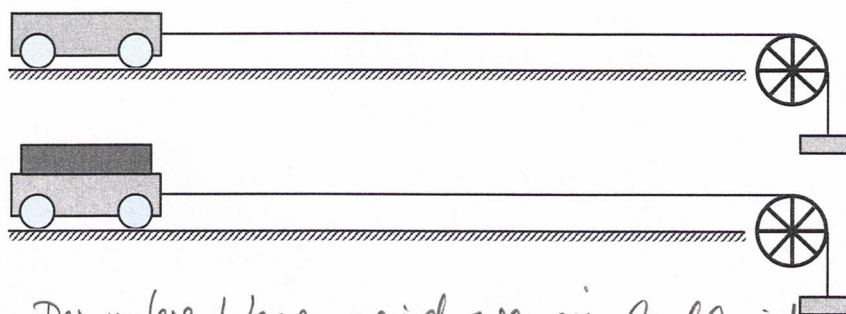
Erkenntnis:

Je größer die Kraft auf den Wagen ist,
desto größer ist die Beschleunigung, die sie bewirkt.

Im 2. Experiment vergrößern wir die Masse des zweiten Wagens durch Auflegen von Ballast. Die Zugkraft bei beiden Wagen ist dagegen gleich. Beschreibe Deine Beobachtung.

Welchen Zusammenhang zwischen Masse und Beschleunigung liefert das Experiment?

Experiment: Masse und Beschleunigung (bei konstanter Kraft)



Der untere Wagen wird weniger beschleunigt, da er eine größere Masse hat (träger ist).

Erkenntnis:

Je größer die Masse des Wagens ist,
desto kleiner ist die Beschleunigung,
die eine gleich große Kraft bei diesem bewirkt.

Ohne an dieser Stelle die quantitativen Zusammenhänge genauer zu untersuchen, verknüpfen wir die beiden Erkenntnisse in einer Formel für die Beschleunigung. Die Umformung liefert dann Newton's Gesetz zur Berechnung der Kraft.

Für Newton war dieses Gesetz die Grundlage seiner Lehre über die Dynamik. Die Plausibilität ergab sich wohl durch vergleichbare Überlegungen.

Mit Newton's Formel können wir nun die Schoko-Definition der Einheit Newton ablösen durch die offizielle.

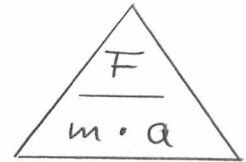
Formelzusammenhang: Das 2. Gesetz von Newton (Newton's law)

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

← größere Kraft bewirkt größere Beschleunigung
 ← größere Masse bewirkt kleinere Beschleunigung (steht im Nenner)



$$F = m \cdot a$$



Definition der Einheit Newton (SI-konform):

$$F = m \cdot a$$

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

Der Betrag einer Kraft beträgt genau 1 N, wenn diese an

einer Masse von 1 kg die Beschleunigung 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ hervorruft.

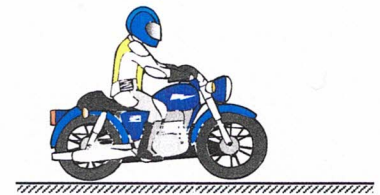
Auch diese Formel hilft, das Verhalten von technischen Geräten quantitativ abzuschätzen.

Ein Motorrad (200 kg samt Fahrer) erreicht in 10 s aus dem Stand 108 km/h.

- Berechne seine mittlere Beschleunigung.
- Welche Kraft ist nötig, um diese zu erreichen?
- Welche Beschleunigung wird erreicht, wenn ein dicker Beifahrer (100 kg) mitfährt?

Training: Berechnungen durchführen

$$a) v = (108 : 3,6) \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{30 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$



$$b) F = m \cdot a = 200 \text{ kg} \cdot 3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \underline{\underline{600 \text{ N}}}$$

$$c) a = \frac{F}{m} = \frac{600 \text{ N}}{300 \text{ kg}} = \underline{\underline{2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

$$\left[\frac{\text{N}}{\text{kg}} = \frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Übungsmöglichkeiten:

Auf Leifiphysik finden sich Aufgaben zu diesem Thema unter Teilgebiet Mechanik - Kraft und Bewegungsänderung - 2. Newtonsches Gesetz (Aktionsprinzip) Aufgaben, allerdings passen nicht alle zu diesem Arbeitsblatt. Gut geeignet sind "Beschleunigung auf Fahrbahn" und "Beschleunigung eines Sportwagens" und "Notbremsung". Unter Versuche findest Du eine phet-Simulation von der Universität von Colorado.

Selbst-Check:

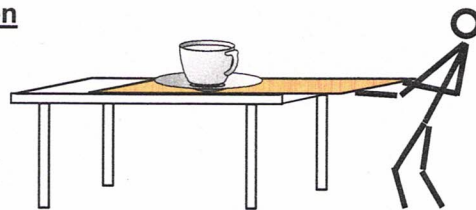
- Kraft und Beschleunigung
- Masse und Beschleunigung
- Gesetz von Newton und Berechnungen
- Einheit Newton

Bisher haben wir uns damit beschäftigt, welche Wirkungen Kräfte haben können. Heute geht es darum, was passiert, wenn keine Kräfte vorhanden sind. **Beschreibe das Experiment. Warum ist es hier wichtig, schnell zu ziehen?**

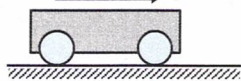
2.5 Trägheitssatz und Anwendungen

Intro: Ein cooles Experiment

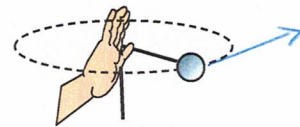
Die Tasse bleibt stehen, während man die Tischdecke schnell herauszieht. Die Kraft darf nur kurz wirken, dann wird die Tasse nicht beschleunigt.



Experimente: Wagen auf Fahrbahn und Kugel an Schnur



Der Wagen fährt nach dem Auschieben geradeaus weiter ohne eine Kraft.



Wenn man die Schnur loslässt, fliegt die Kugel geradeaus in der aktuellen Bewegungsrichtung weg.

Formuliert wurde dieser grundlegende Satz von Isaac Newton im 17. Jahrhundert. Die originale Formulierung findest Du auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik - Kraft und Bewegungsänderung - Geschichte - Der Weg zum physikalischen Kraftbegriff.**

Trägheitssatz:

Wenn auf einen Körper **keine Kraft** wirkt,

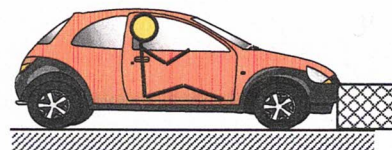
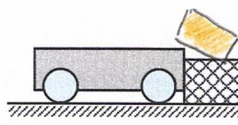
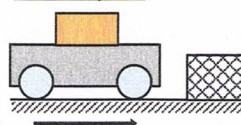
bleibt er in Ruhe (wenn er in Ruhe war) oder bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit geradlinig weiter.

Bei Kollisionen im Straßenverkehr unterscheiden wir prinzipiell zwei verschiedene Situationen. Beim Frontaufprall fährt das eigene Auto auf ein stehendes oder fahrendes Hindernis auf (z.B. Baum, Mauer, anderes Fahrzeug). Beim Heckaufprall kracht ein anderes Fahrzeug von hinten auf das eigene Fahrzeug, das steht oder auch in Bewegung ist.

Animationen hierzu gibt's auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik - Kraft und Bewegungsänderung - 1. Newtonsches Gesetz (Trägheitssatz) Grundwissen.**

Anwendung: Gefahren und Sicherheitskonzepte beim Autofahren

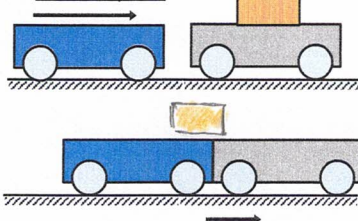
Frontaufprall:



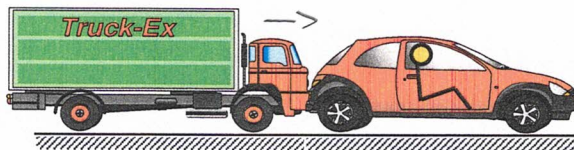
Der Klotz bewegt sich beim Aufprall geradeaus weiter und rutscht dadurch vom Wagen.

Der Autofahrer bewegt sich beim Aufprall geradeaus weiter und prallt dadurch auf das Armaturenbrett. Gurt und Airbag halten ihn auf.

Heckaufprall:



Der Klotz bleibt beim Aufprall in Ruhe, der graue Wagen wird unter ihm weggeschoben.



Insbesondere der Kopf des Pkw-Fahrers bleibt in Ruhe, die Lehne schiebt seinen Körper beim Aufprall nach vorn.
→ Genickbruch

Die Kopfstütze nimmt auch den Kopf bei der Bewegung mit.

Folgende Aufgabe orientiert sich an einer Musteraufgabe des ISB-Bayern:

Familie Maier wird innerorts von der Verkehrsstreife angehalten. Der Polizist moniert, dass der kleine Peter (10 kg) auf dem Schoß der Mutter sitzt und nicht in einem Kindersitz festgurgelt ist. Frau Maier antwortet: "Ich kann Peter festhalten."

- Berechne die Verzögerung (negative Beschleunigung), wenn das Auto in 0,10 s von 54 km/h zum Stillstand gebremst wird.
- Mit welcher Kraft müsste Frau Maier Peter halten?
- Versuche als Polizist, Frau Maier zu überzeugen.

Kleinkind im Auto

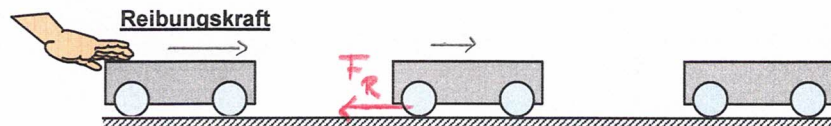
$$a) \quad v = (54 : 3,6) \frac{\text{m}}{\text{s}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \frac{v}{t} = \frac{15 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,1 \text{s}} = 150 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

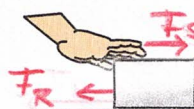
$$b) \quad F = m \cdot a = 10 \text{ kg} \cdot 150 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1500 \text{ N}$$

c) Die Kraft entspricht der Gewichtskraft von 150 kg. Das kann Frau Maier nicht halten, zumal ein Unfall oft unvermittelt auftritt.

Die Reibungskraft ist eine fiese Sache. Sie sorgt dafür, dass alle Bewegungen einmal zum Ende kommen. Sie ist aber immer nur dann vorhanden, wenn eine Bewegung stattfindet oder eine Kraft versucht, eine Bewegung in Gang zu setzen. **Erläutere dies an den beiden Beispielen.**



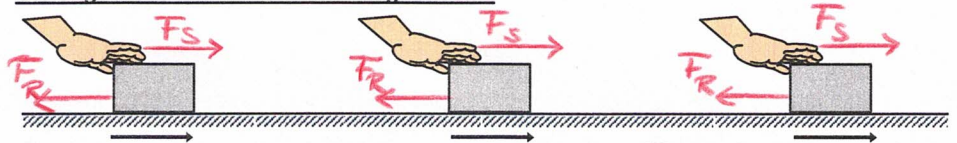
Der angeschobene Wagen wird immer langsamer und kommt schließlich zum Stillstand. Die Reibungskraft wirkt entgegen der Bewegungsrichtung und bremst.



Obwohl eine Schubkraft wirkt, beschleunigt der Klotz nicht, weil eine gleich große Reibungskraft entgegengesetzt wirkt, die die Schubkraft kompensiert. Diese Größe passt sich automatisch an F_S an.

Die Erfahrung, dass wir eine Kiste permanent anschieben müssen, um sie mit konstanter Geschwindigkeit über den Boden zu schieben, ist kein Widerspruch zum Trägheitssatz sondern die Folge eines Kräftegleichgewichts. **Erläutere dies am Beispiel.**

Gleichgewicht von Kräften und Trägheitssatz



Hier sind Schubkraft und Reibungskraft ständig im Gleichgewicht, da entgegengesetzt und gleich groß. Da sie sich damit aufheben, ist die Gesamtkraft $= 0$ und der Klotz bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit.

Übungsmöglichkeiten:

Geeignete Übungsaufgaben findest Du auf Leifiphysik unter Teilgebiet Mechanik - Kraft und Bewegungsänderung Aufgabenübersicht. Besonders passen "Kraft und Knautschzone" und "Sicherheit beim Auto".

Selbst-Check:

- Trägheitssatz
- Anwendung bei Autounfällen
- Reibungskraft und Kräftegleichgewicht

Noch zu Beginn der Neuzeit findet man in der Wissenschaft die Ansicht, schwere Körper würden schneller fallen als leichte.

Überlege dir ein Experiment, das diese nach heutiger Sicht falsche Vorstellung bestätigt (Skizze, Erklärung)! Galilei vertritt in seinem ersten Werk auch noch diese These, revidiert sie aber Jahrzehnte später. Dein Lehrer führt nun ein Experiment vor. Beschreibe dieses mit Hilfe einer beschrifteten Skizze und formuliere die Schlussfolgerung daraus.

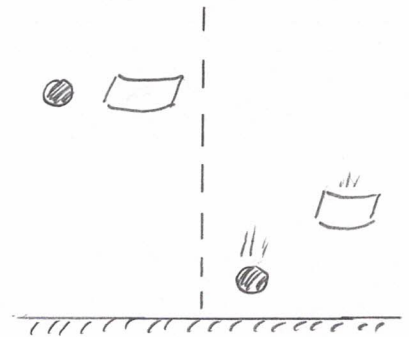
Eine Animation dieses Experiments findest Du auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik - Kraft und Masse, Ortsfaktor - Versuche - Fallröhre**.

2.6 Fallbeschleunigung und Gravitation

Experiment: Fallen alle Körper gleich?

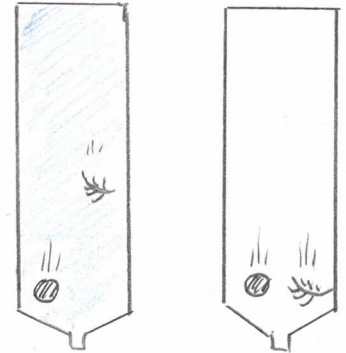
Eigenes Experiment:

eine Münze fällt wesentlich schneller als ein Blatt Papier



Lehrer-Experiment:

Nachdem man aus einer Glasröhre die Luft herausgepumpt hat (Vakuum), fallen ein Stück Blei und eine Feder gleich schnell.



Erkenntnis:

Alle Körper fallen gleich
sofern kein Luftwiderstand auftritt.

Es ist gar nicht leicht, den Fall zu vermessen, da er naturgemäß sehr schnell abläuft. **Erläutere, in welcher Weise die Fallbewegung durch den Datenlogger aufgezeichnet wird.**

Interpretiere das Messdiagramm.

Auf Leifiphysik gibt's einen alternativen Versuch, in dem du dein Handy als Messgerät verwenden kannst: **Teilgebiet Mechanik - Freier Fall, senkrechter Wurf - Versuche - Freier Fall (Smartphone-Experiment mit phyphox).**

Messung: Wie läuft der freie Fall ab?

Der Datenlogger registriert jeweils die Zeitpunkte, an denen der Kamm die Lichtschranke unterbricht. Der zurückgelegte Weg ergibt sich aus dem Abstand d zweier Balken mal der Anzahl der bis dahin erfolgten Unterbrechungen.

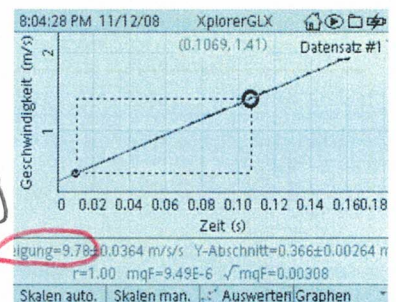
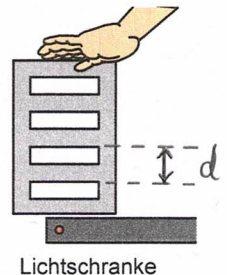
→ Zusammenhang Zeit - Ort

→ Zeit - Geschwindigkeit

Die Zeit-Geschwindigkeitskurve ist eine Gerade, d.h. die Beschleunigung ist konstant (gleich der Steigung).

Sie beträgt bei dieser Messung $9,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Fallblende
(Blech mit
Schlitzen)



Erkenntnis:

Fällt ein Körper ohne Luftwiderstand, so ist die Beschleunigung

..... konstant Sie beträgt $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
(Dies ist der Durchschnittswert für den Planeten Erde).

Grund für das Fallen ist die Gewichtskraft, die auf den Körper wirkt. Mit dem Gesetz von Newton gewinnen wir eine Formel für die Berechnung der Gewichtskraft.

Zeige, dass unser erstes Konzept "1 N entspricht der Gewichtskraft von einer Tafel Schokolade" zu dieser Formel passt.

Wenn Du mehr über die Gravitation erfahren willst, kannst Du auf Leifiphysik nachlesen unter Teilgebiet Mechanik - Kraft und Masse, Ortsfaktor - Gravitation Ursache der Gewichtskraft Grundwissen.

Gewichtskraft und Masse

$$F = m \cdot a$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$G = m \cdot g$$

Die bekannte Formel für die Berechnung der Gewichtskraft ist nur ein Spezialfall des Newton - Gesetzes.

Schokolade:

$$G = 100g \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 0,1 kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 0,981 N \approx \underline{\underline{1 N}}$$

(rechnet man noch das Schokoladenpapier dazu, passt es genau)

Gravitation

Die Gewichtskraft, die alle Körper zum Boden (zum Erdmittelpunkt) hin beschleunigt, beruht auf der Anziehungskraft, die zwischen allen Körpern (Massen) auftritt. Sie hängt ab von der Größe der Massen (proportional) und nimmt mit deren gegenseitigem Abstand rasch ab.



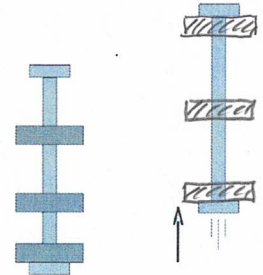
auf dem Mond: $g = 1,6 \frac{m}{s^2}$ ($\frac{1}{6}$ von g_E)

auf einem hohen Berg: $g < 9,81 \frac{m}{s^2}$, da r größer

Befinden wir uns weit entfernt von großen Massen (Erde, Sonne, etc.), die eine Gravitation auf uns ausüben können, so wirkt keine Gewichtskraft, wir fühlen uns schwerelos. Diesen Zustand erleben wir auch während des freien Falles, wie uns ein kleines Experiment zeigt. **Interpretiere das Experiment.**

Ausblick: Schwerelosigkeit

• in der Ruhe werden die Magnete durch die Gravitation nach unten gedrückt, so dass ihre Abstände kleiner sind



• während des Wurfes sind die Magnete schwerelos und nehmen jeweils maximalen Abstand untereinander ein aufgrund der magnetischen Abstoßung (jeweils halber Gesamtanstand)

Selbst-Check:

- freier Fall und Masse
- Vermessung des Falles
- Gewichtskraft und Gravitation
- Schwerelosigkeit

Übungsmöglichkeiten:

Passende Aufgaben sowie zwei Tests zum eigenständigen Trainieren gibt's auf Leifiphysik unter Teilgebiet Mechanik - Kraft und Masse, Ortsfaktor - Gewichtskraft Aufgaben.

Wenn bei physikalischen Größen auch die Richtung eine entscheidende Rolle spielt, verwenden wir Pfeile zur Darstellung. Das kennen wir bereits von den Kräften.

2.7 Der Geschwindigkeitspfeil

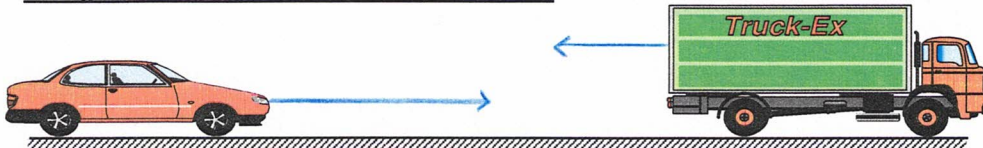
Betrag und Richtung der Geschwindigkeit

Für die Darstellung von Geschwindigkeiten verwenden wir Pfeile. Dabei gibt

Länge des Pfeils den Betrag der Geschwindigkeit an und die Richtung des Pfeils die Richtung der Geschwindigkeit.

Zeichne jeweils den Geschwindigkeitspfeil ein. Das Auto fährt mit 30 km/h vorwärts, der Lkw mit 15 km/h rückwärts (verwende 1mm pro 1 km/h).

Übung: Einzeichnen von Geschwindigkeitspfeilen



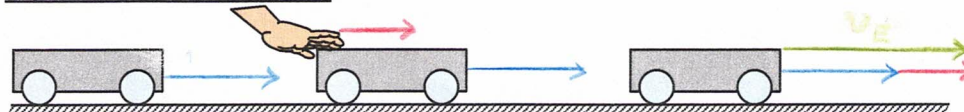
In diesem Experiment fährt der Wagen bereits mit 3 m/s und wir schubsen ihn dann an, wodurch er zusätzlich 1,5 m/s erhält.

Stelle diesen Vorgang mit Geschwindigkeitspfeilen dar.

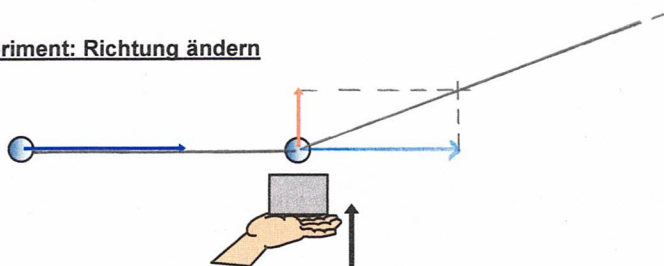
Im zweiten Experiment rollt die Kugel von links nach rechts über den Tisch (die Abb. zeigt die Draufsicht). Man schubst die Kugel nun mit einem Holzklotz quer zur Bewegungsrichtung.

Zeichne den Bahnverlauf.

Experiment: Schneller machen



Experiment: Richtung ändern



Die graphische (vektorielle) Addition der Geschwindigkeitspfeile funktioniert hier genauso wie bei der Addition der Kraftpfeile, siehe Kap 1.4.

Beachte: Die Namen unserer Geschwindigkeiten tragen einen kleinen Pfeil über ihrem Buchstaben. Damit weisen wir darauf hin, dass dies die Namen von Pfeilen sind.

Methode: Bestimmung der Endgeschwindigkeit

Wir bestimmen den Pfeil für die Endgeschwindigkeit,

indem wir zur Anfangsgeschwindigkeit \vec{v}_A die Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ addieren (mit Parallelogramm).

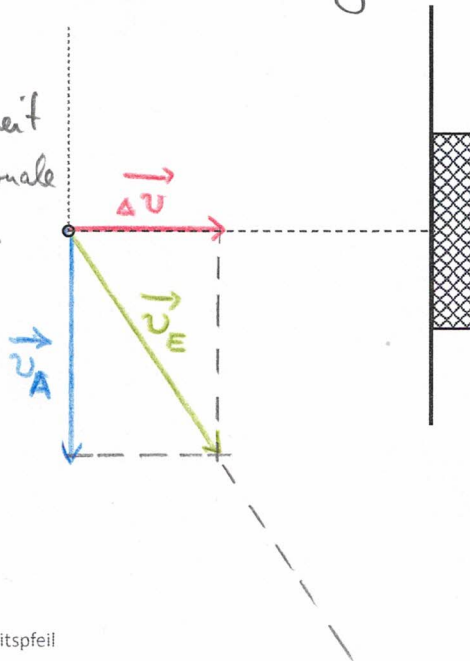
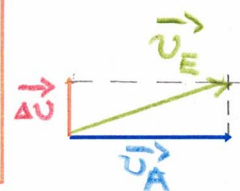
$\Delta \vec{v}$ ist auch die Geschwindigkeitsänderung

Torschuss nach Flanke:

Die Endgeschwindigkeit ergibt sich als Diagonale im Parallelogramm (Rechteck).

Linksaußen Kimmich gibt eine Flanke parallel zur Torlinie herein mit einer Geschwindigkeit von 30 m/s. Mittelstürmer Müller hämmert den Ball mit zusätzlich 20 m/s genau auf das Tor zu. Bestimme die Endgeschwindigkeit des Balls und beurteile, ob der Trainer da zufrieden ist.

Der Trainer ist nicht zufrieden, da der Schuss total daneben geht.



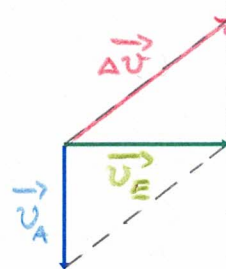
Theoriestunde an der Seitenlinie: der Trainer erklärt seinen Spielern, wie sie herausfinden können, in welche Richtung sie den Ball treffen müssen, damit er ins Tor geht.
Vervollständige seine Erklärung.

Methode: Bestimmung der Geschwindigkeitsänderung

Wenn Du herausfinden willst, in welche Richtung Du den Ball treten musst (welche Zusatzgeschwindigkeit Du zugibst), dann zeichnest Du

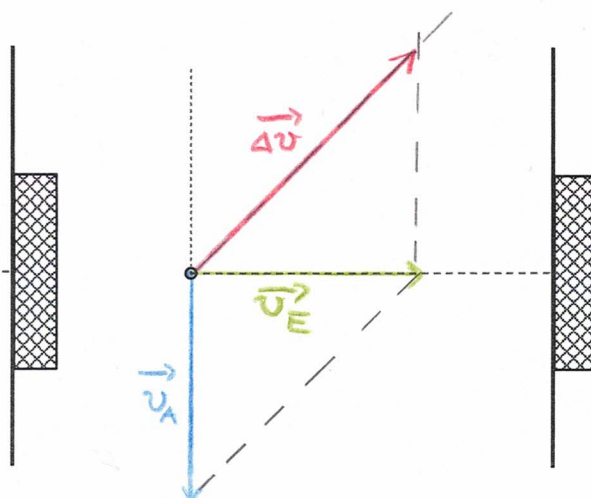
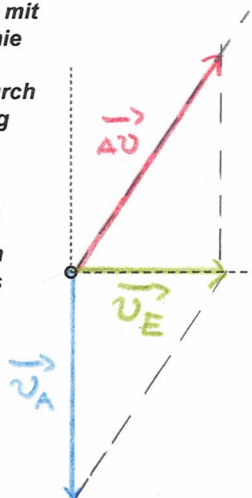
wieder ein Parallelogramm

Allerdings kennst Du jetzt schon die Diagonale \vec{v}_E und musst dafür die Seite $\Delta\vec{v}$ finden



Flanke wie zuvor (30 m/s).

- Müller ermittelt jetzt die Zusatzgeschwindigkeit ("Schusspfeil"), damit der Ball mit 20 m/s senkrecht zur Torauslinie auf das Tor trifft. Führe diese Konstruktion im linken Bild durch und ermittle aus der Zeichnung auch den Betrag der Zusatzgeschwindigkeit.
- Konstruiere im rechten Bild einen alternativen Schuss, bei dem der Ball mit einer höheren Geschwindigkeit als zuvor das Tor mittig trifft.
- Vergleiche die beiden Varianten.



Wenn er mit höherer Geschwindigkeit den Ball trifft, kann er eher in Richtung Tor zielen.

8 Mechanik - 2.7 Der Geschwindigkeitspfeil

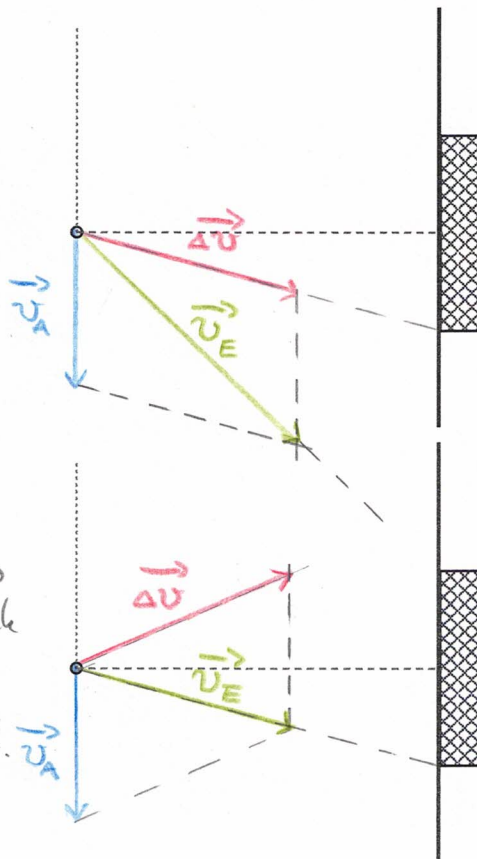
3

Beim letzten Angriff hat der Stürmer genau den Torwart angeschossen, der in der Mitte des Tores stand. Dieses Mal möchte er deshalb in die rechte (untere) Ecke des Tores treffen. Die Flanke wird mit 20 m/s hereingegeben.

- Ermittle die Endgeschwindigkeit, wenn der Stürmer dem Ball zusätzlich 30 m/s genau in Richtung dieses Eckpfostens mitgibt.
- Ermittle die Zusatzgeschwindigkeit, wenn der Ball mit 30 m/s genau ins rechte (untere) Eck fliegen soll.

Training:

Hier geht der Ball wieder total daneben.



Er muss hier links neben das linke Eck zielen, damit er das rechte Eck trifft.

Selbst-Check:

- Betrag und Richtung
- Bestimmung der Endgeschwindigkeit
- Bestimmung der Zusatzgeschwindigkeit

Übungsmöglichkeiten:

Hier eignen sich die Fußballaufgaben im Buch S.107/2 und 3.

Das Newton-Gesetz (Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung) haben wir bereits in einem früheren Kapitel kennengelernt. Das vertiefen wir hier, wobei wir nun auch die Richtung in unsere Überlegungen mit einbeziehen.

2.8 Das Gesetz von Newton in vektorieller Form

Beschleunigung trotz konstantem Tempo

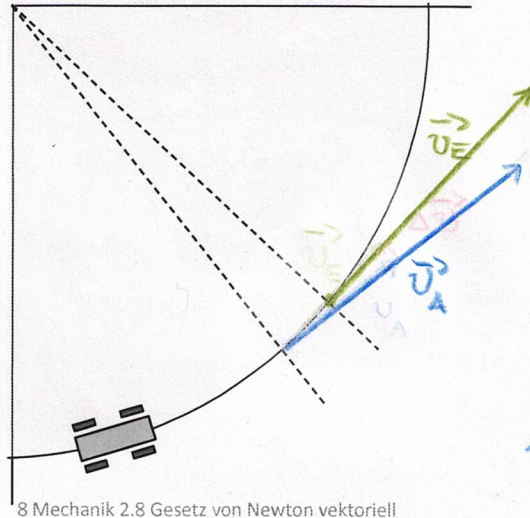
Da die Geschwindigkeitsänderung eine Richtung aufweist, lässt sich diese Richtungseigenschaft auch in der Definition von Beschleunigung darstellen:

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

Dabei hat die Beschleunigung dieselbe Richtung
wie die Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$

Beispiel: Kurvenfahrt auf der Carrera-Bahn

Ein Rennauto fährt auf der Carrera-Bahn mit dem konstanten Tempo 4 m/s durch die Kurve. **Zeichne die Geschwindigkeitspfeile für die zwei markierten Positionen (überlege hierzu, in welche Richtung der Wagen in diesem Moment jeweils fährt) und konstruiere den Pfeil für die Geschwindigkeitsänderung.**



8 Mechanik 2.8 Gesetz von Newton vektoriell

Obwohl der Betrag der Geschwindigkeit konstant bleibt, ergibt sich eine Zusatzgeschwindigkeit $\Delta \vec{v}$ quer zur Fohrt-richtung.

1

Hier fassen wir die Überlegungen zum Beispiel Carrera-Bahn nochmal zusammen.

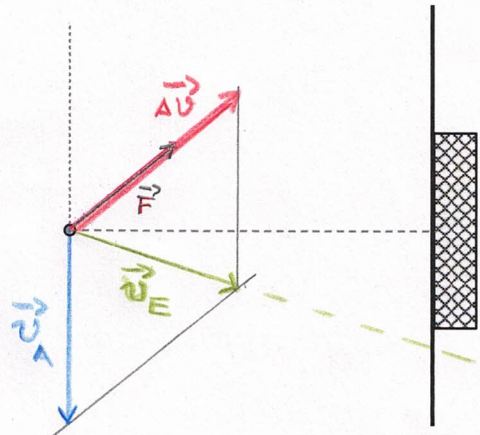
Richtungen von Kraft, Beschleunigung und Geschwindigkeitsänderung

Beschleunigung und Geschwindigkeitsänderung haben

..... dieselbe Richtung wie die
..... Kraft, die diese bewirkt

Beispiel: Torschuss nach Flanke

Gnabry gibt eine Flanke parallel zur Torlinie herein mit einer Geschwindigkeit von 25 m/s. Lewandowski tritt den Ball mit der eingezeichneten Kraft, wodurch er eine zusätzliche Geschwindigkeit von 30 m/s erhält. **Zeichne den Pfeil für die Zusatzgeschwindigkeit ein und konstruiere den Pfeil für die Endgeschwindigkeit des Balls.**



Gerade das Treten eines Balles oder die Kollision von zwei Fahrzeugen hat in der physikalischen Theorie eine Entsprechung, den Begriff "Kraftstoß". Die Formel hierzu ist eigentlich nur eine andere Darstellung des schon bekannten Newton-Gesetzes. Das lässt sich mit Beträgen, aber auch unter Berücksichtigung der Richtungen darstellen, im letzteren Fall schreiben wir es wieder mit Pfeilen über den Buchstaben.

Begriff: Kraftstoß

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \vec{\Delta v}$$

Folgerungen aus der Formel für den Kraftstoß

Je größer die Kraft F ,

desto größer die Geschwindigkeitsänderung Δv .

Je länger die Einwirkdauer Δt ,

desto größer die Geschwindigkeitsänderung Δv .

Je größer die Masse m ,

desto kleiner die Geschwindigkeitsänderung Δv .

Interpretiere die Formel für den Kraftstoß durch Formulierung von je-desto-Zusammenhängen.

Wende diese Folgerungen auf folgende Situation an: Ein Ferrari und ein VW-Bus fahren hinter einem Lastwagen her und möchten beide überholen.

Der Ferrari kann leichter überholen, weil der Motor eine größere Kraft aufbringt und das Fahrzeug eine kleinere Masse hat. Der VW-Bus braucht mehr Zeit, um dieselbe Geschwindigkeitsänderung zu erreichen.

8 Mechanik 2.8 Gesetz von Newton vektoriell

Dieses Mal wird der Ball mit 30 m/s parallel zur Torlinie hereingegeben. Müller tritt den Ball mit 100 N Kraft in der gezeichneten Richtung. Er hat dabei für 0,1 s Kontakt zum Ball, dessen Masse 430 g beträgt.

a) Berechne die Beschleunigung, die der Ball erfährt und seine Geschwindigkeitsänderung aufgrund des Tretes.

b) Ermittle die Endgeschwindigkeit durch Konstruktion in der Zeichnung.

c) Diskutiere anhand der letzten Formel Variationsmöglichkeiten, die zu einem Treffer führen können.

Training:

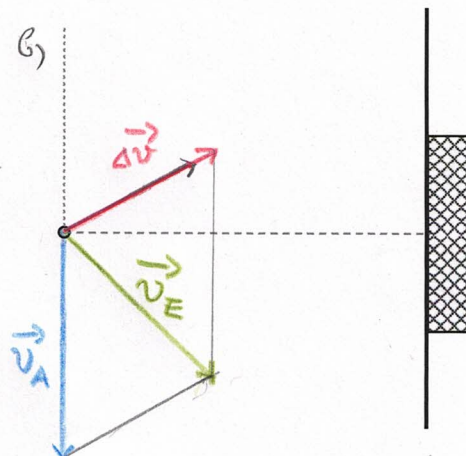
a) $F = m \cdot a \quad | : m$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{100 \text{ N}}{0,43 \text{ kg}} = \underline{\underline{233 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad | \cdot \Delta t$$

$$\Delta v = a \cdot \Delta t = 233 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,1 \text{ s} = \underline{\underline{23 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

b)



c) große Kraft oder längere Einwirkdauer

→ größere Geschwindigkeitsänderung

→ v_E dreht nach oben

oder Schußwinkel ändern (mehr nach oben)

Selbst-Check:

- Beschleunigung bei konstantem Tempo
- Richtungen der Bewegungsgrößen
- Kraftstoß und Einflussfaktoren

Übungsmöglichkeiten:

Hier eignet sich die Aufgabe im Buch S.111/4.