KAMILLA HERBER, THOMAS A. MÜLLER

PHYSIK macchiato

Fit für's Abi

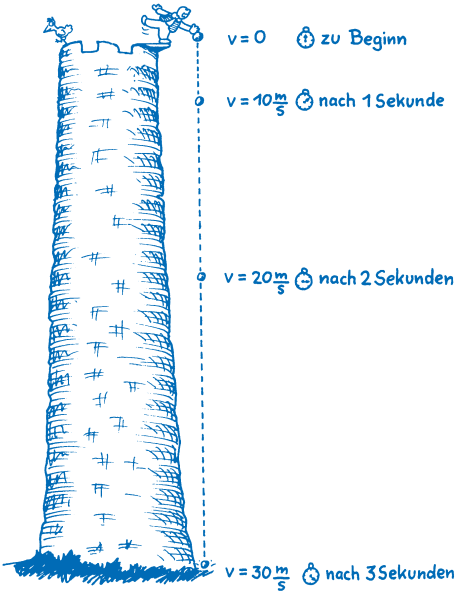
2. Auflage

PEARSON

Inhalt

Beispiel mit dem Turm für den fallenden Gegenstand während der gesamten Fallstrecke gleich groß, sie ändert also den Bewegungszustand eines Gegenstandes ständig in gleicher Weise. Wenn man den Luftwiderstand vernachlässigen kann, wie z.B. bei einem Stein, handelt es sich im Idealfall um den sogenannten freien Fall: Der Stein wird immer in gleichem Maße schneller, die Geschwindigkeit wächst „linear" mit der Zeit.

Außerdem hat man herausgefunden, dass die Fallbewegung für alle Körper genau gleich abläuft, unabhängig von ihrem Gewicht – vorausgesetzt, außer der Erdanziehungskraft ist keine weitere Kraft wie die Luftreibung zu berücksichtigen. Bei Steinen trifft das für die im Beispiel vorkommenden Fallhöhen zu, bei nicht so kompakten Gegenständen wie z.B. Taschentüchern aber nicht. Für den Stein gilt, dass seine Geschwindigkeit 1 Sekunde nach dem Loslassen $v \approx 10\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ beträgt (also $36\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$) und dass sie nach jeder weiteren Sekunde immer um $10\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ steigt.



Nach 2 Sekunden ist die Geschwindigkeit also $20\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, nach 3 Sekunden beträgt sie $30\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$; die Geschwindigkeitsänderung, also die Beschleunigung, ist demnach

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

(genauer eigentlich $9{,}81\frac{m}{s^2}$, aber hier kommt es nicht soo genau drauf an!)

Die seltsame „Quadratsekunde“ im Nenner kommt dadurch zustande, dass die Strecke erst einmal durch die Zeit geteilt wird, um die Geschwindigkeit zu erhalten. Das Ergebnis wird nun noch einmal durch die Zeit geteilt – wenn man eine Zahl erst durch 3 und das Ergebnis anschließend erneut durch 3 teilt, kann man sie auch gleich durch 9 teilen ($3 \cdot 3 = 9 = 3^2$).

Die Beschleunigung bekommt beim freien Fall den Namen **Fallbeschleunigung** und wird mit g abgekürzt; es ist also

$$g \approx 10\frac{m}{s^2}$$

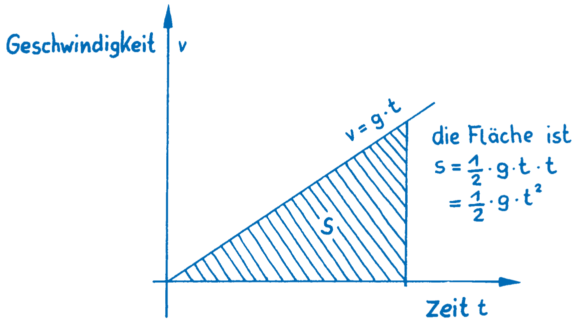
Damit lässt sich die Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt t nach dem Abwurf berechnen:

$$v = 10\frac{m}{s^2} \cdot 3s = 30\frac{m}{s}$$

Bei anderen gleichmäßig beschleunigten Bewegungen wird die Beschleunigung mit dem Buchstaben a („acceleration“) abgekürzt:

$$v = a \cdot t$$

Weil die Geschwindigkeit während des Fallens wächst, ist die Fallstrecke in der zweiten Sekunde größer als in der ersten und in der dritten noch größer. Um sie allgemein zu berechnen, greifen wir auf das bewährte Flächenkonzept aus dem 1. Kapitel zurück.



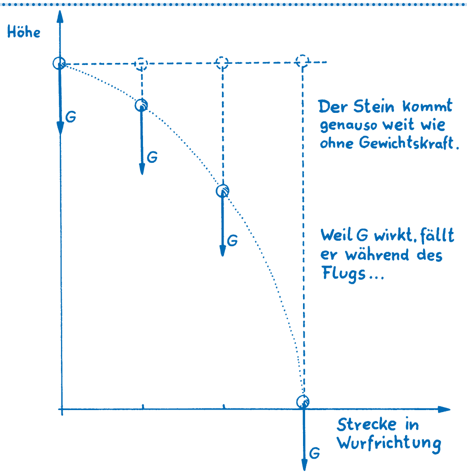
Allgemein gilt für die zurückgelegte Wegstrecke bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung:

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

Der waagerechte Wurf als zusammengesetzte Bewegung

Nun können wir endlich Joulies Kopfrechenkünste vom Beginn des Kapitels nachvollziehen: Der Stein, der vom Turm zunächst waagerecht weggeworfen wird und dann auf einer gekrümmten Bahn nach unten fällt, ist ein gutes Beispiel dafür, dass es in der Physik oft darum geht, kompliziert aussehende Probleme in einfachere Teilprobleme aufzuteilen und sie damit begreifbar, berechenbar und lösbar zu machen.

Hier ist es so, dass wir zwei Bewegungsformen haben: den Abwurf in waagerechter Richtung und den Fall senkrecht dazu nach unten. Man kann beide Bewegungen für sich betrachten, so als sei die andere gar nicht vorhanden, und erkennt hinterher, dass sie tatsächlich von der jeweils anderen unabhängig ablaufen. Die waagerechte Bewegung wird während des Falls ständig unverändert beibehalten – oder andersherum: Der sich waagerecht bewegende Körper fällt gleichzeitig. Es handelt sich also hier um eine Bewegung, die zusammengesetzt ist aus einer gleichförmigen Bewegung waagerecht und einer gleichmäßig beschleunigte Bewegung senkrecht dazu. Die Bahnkurve ist eine Parabel.



Um die Höhe des Turms zu ermitteln, reicht es, die Fallbewegung zu betrachten. Wegen der Fallzeit von 3 Sekunden bis zum Aufschlagen des Steins ergibt sich

$$s = \frac{10}{2}\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot(3\text{s})^2 = 5\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 9\text{s}^2 = 45\text{m}$$

So schwer war das also gar nicht, was Joulie im Kopf gerechnet hatte!

Zum Schluss können wir auch noch ausrechnen, mit welcher Geschwindigkeit der Stein abgeworfen wurde, wenn wir die Entfernung zwischen Turm und Auftreffstelle messen können:

Während des Fallens bewegt sich der Stein waagerecht ja mit gleichbleibender Geschwindigkeit. Ist die Auftreffstelle 20 m vom Turm entfernt, dann hatte der Stein waagerecht folgende Geschwindigkeit:

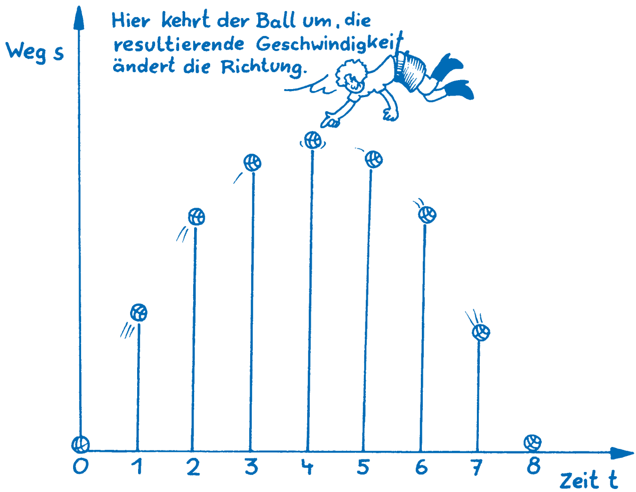
$$v = \frac{20\,\text{m}}{3\,\text{s}} \approx 6{,}7\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Das Prinzip, einen Sachverhalt in einfachere Komponenten zu zerlegen, finden wir bei vielen anderen Arten der Bewegung, wobei fast immer die beiden einfachsten Arten auftreten, die wir schon beim waagerechten Wurf kennen gelernt haben:

Wenn ein Schiff durch eine Strömung von dem gesteuerten Kurs abkommt, dann haben wir zwei gleichförmige **Bewegungen**, die meist **nicht senkrecht zueinander** sind: die durch den Schiffsmotor und die durch die Strömung verursachte.

An diesem Beispiel sieht man auch noch deutlicher als beim waagerechten Wurf, dass die eine Bewegung (die durch den Schiffsmotor verursachte) **ungestört** von der anderen (die Abdrift durch den Golfstrom) beibehalten wird.

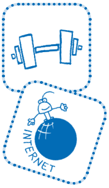
Vom Prinzip her gleich sind die Bewegungen eines nach oben geworfenen Gegenstands, z.B. eines Balls, und die **Bremsbewegung** eines Autos oder eines Schiffs. Beide setzen sich aus einer gleichförmigen Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit und einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung mit wachsender Geschwindigkeit zusammen, die aber im Unterschied zu den vorherigen Beispielen genau entgegengesetzt gerichtet sind.



Da die Geschwindigkeit der „bremsenden" Fallbewegung beständig wächst, wird von der Anfangsgeschwindigkeit ein immer größerer Betrag abgezogen. Die resultierende Geschwindigkeit v_{res} wird kleiner, bis sie beim Halte- bzw. Umkehrpunkt Null wird und dann in Richtung der Bremsbewegung zunimmt.

Wurf nach oben	Bremsbewegung
$v = v_0 - g \cdot t$	$v = v_0 - a_{Brems} \cdot t$
$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$	$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a_{Brems} \cdot t^2$

Bei einem Kraftfahrzeug ergibt sich a_{Brems} aus der Bauweise der Bremsen und der Reifenhaftung auf der Straße. Ein Schiff wird dadurch gebremst, dass die Drehrichtung der Schiffsschraube umgekehrt wird. Das führt dazu, dass das Schiff nach dem Stillstand rückwärts fährt, wenn man dann den Motor nicht abstellt – genau wie der nach oben geworfene Ball, der ja auch irgendwann wieder zurückfällt, weil der „Motor" Erdanziehungskraft nicht abgestellt werden kann.



Aufgabe 3: Bremsweg und Reibungskraft

Kreisbewegung

Geschwindigkeitsänderung kann aber nicht nur wie in den bisherigen Beispielen die Änderung des Zahlenwerts bedeuten, z.B. von $0\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ auf $10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$, sondern auch die Änderung der Richtung, wie das bei der Kreisbewegung der Fall ist:

Hier ist die Kraft nicht dafür zuständig, dass ein Gegenstand schneller oder langsamer wird, sondern sie bewirkt eine **Richtungsänderung**, und auch das nennt man **Beschleunigung**. Den Zahlenwert der Geschwindigkeit, ihren „Betrag", berechnet man genauso wie immer als Weg durch Zeit, wobei der Weg der Kreisumfang ist, die zugehörige Zeit T nennt man Umlaufzeit. Weil T im Nenner steht, kann man auch den Begriff Frequenz benutzen, der für sich ständig wiederholende Prozesse zuständig ist $\frac{1}{T} = f$.

Um die „Drehgeschwindigkeit" des ganzen Systems unabhängig von der Entfernung des betrachteten Körpers vom Mittelpunkt zu erfassen, gibt man die **Winkelgeschwindigkeit** ω an:

Geschwindigkeit auf dem Kreis = Kreisumfang durch Umlaufzeit

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f$$

Winkelgeschwindigkeit = Drehwinkel durch Zeit
= Vollwinkel durch Umlaufzeit

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Die Formel zur Berechnung der **Kreisbeschleunigung** ist nicht ganz so einfach wie die bei den geradlinigen Bewegungen. Man kann nämlich nicht „einfach" die Ableitung bilden; es muss auch noch die Richtung auf den Kreismittelpunkt berücksichtigt werden. Anschaulich einleuchtend ist aber, dass die Kraft, die den Körper beständig von der geradlinigen Flugbahn weg in Richtung Kreismittelpunkt zieht, umso größer sein muss, je größer die Geschwindigkeit auf der Kreisbahn ist. Mit der Kraft hängt also auch nach $F = m \cdot a$ die Beschleunigung a von der Bahngeschwindigkeit v ab.

Der zweite Einfluss auf die Beschleunigung ergibt sich aus dem Verhältnis der Bahngeschwindigkeit zum Radius: Beim Karussell hat ein weiter außen fliegender Körper entsprechend dem größeren Radius eine höhere Geschwindigkeit, um in der gleichen Zeit einmal herumzukommen wie der weiter innen fliegende. Damit ist auch die Beschleunigung als Änderung der Geschwindigkeit pro Zeiteinheit größer.

Mit der Abhängigkeit von v und von $\frac{v}{r}$ ergibt sich für die **Kreisbeschleunigung** (sie heißt auch **Zentripetalbeschleunigung**):

$$a = v \cdot \frac{v}{r} = \frac{v^2}{r}$$

Die Geschwindigkeit geht hier also im Quadrat ein. Bei der doppelten Geschwindigkeit ist die vierfache Kraft erforderlich, die eine vierfache Beschleunigung bewirkt.

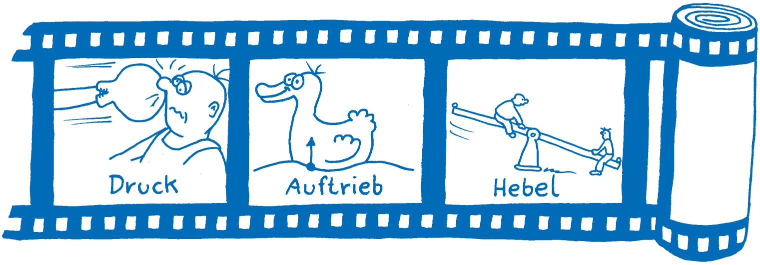
Aufgabe 4: Kraft und Masse

Hier noch einmal der Überblick über die Grundformen der Bewegungen:

	gleichförmig	gleichmäßig beschleunigt	Kreis
Konstant ist	Geschwindigkeit v	Beschleunigung a	Beschleunigung und Betrag der Geschwindigkeit
Formeln zur Berechnung			
Weg s (in m)	$s = v \cdot t$	$s = \frac{a}{2} t^2$	$s = 2\pi r$ (gilt für eine Umdrehung)
Geschwindigkeit v (in $\frac{m}{s}$)	$v = \text{konst} = \frac{s}{t}$	$v = a \cdot t$	$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f$ $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$
Beschleunigung a (in $\frac{m}{s^2}$)	$a = 0$	$a = \text{konst} = \frac{v}{t}$	$a = \frac{v^2}{r}$

Druck und Hebel

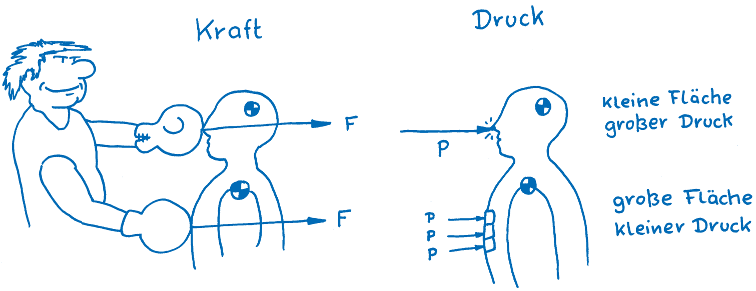
Der längere Hebel ist das beste Druckmittel



Druck

Wenn die Kraft nicht nur an einem Punkt angreift, sondern eine ganze Angriffsfläche hat, kann man sich die Auswirkung so vorstellen, als bestünde die Fläche aus lauter kleinen Einheitsflächen, auf die sich die Kraft verteilt.

Die **Kraft pro Flächeneinheit** ist der Quotient aus Kraft und Fläche; diesen Quotienten nennt man „Druck".



$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}}$$

$$p = \frac{F}{A}$$

Die Einheit ist Pascal (Pa) als Abkürzung für $\frac{N}{m^2}$

Wattson muss also schnell überlegen: Joulie hat ein Gewicht von 500 N, ihr Absatz hat eine Fläche von etwa 4 cm^2 , also beträgt der von ihr ausgeübte Druck

$$p = \frac{500\,\mathrm{N}}{0{,}0004\,\mathrm{m}^2} = 1250000 \ \ \mathrm{Pa}$$

Die Elefantendame Emma hat ein Gewicht von etwa 50000 N und ihr Fuß hat eine Fläche von $\frac{1}{8}\mathrm{m}^2 = 0{,}125\mathrm{m}^2$. Damit übt sie einen Druck aus von

$$p = \frac{50000\mathrm{N}}{0{,}125\mathrm{m}^2} = 400000 \ \mathrm{Pa}$$

Joulies Druck ist also mehr als dreimal so groß wie der von Emma! Es wäre also Emma vorzuziehen – wenn man nicht doch besser auf dieses Kunststück ganz verzichtet.

Überall dort, wo die auf eine Fläche drückende **Kraft** eine **große Wirkung** haben soll, muss man für eine sehr kleine Fläche sorgen. Nadeln und Nägel, die leicht in andere Materialien eindringen sollen, haben deshalb Spitzen. Für eine **geringe Wirkung** wählt man dagegen eine große Angriffsfläche, wie z.B. breite Tragegriffe bei Koffern.