01 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Kräfte beschreiben und zusammenfassen

Zwei Kinder ziehen an einem Wagen. Seine Bewegungsänderung hängt davon ab, wie stark und in welche Richtung beide ziehen. Zur Erklärung betrachten wir alle Kräfte, die auf denselben Wagen wirken.



Kräfte auf denselben Wagen: 8 N nach rechts und 3 N nach links ergeben 5 N nach rechts. Die resultierende Kraft ist separat als Zusammenfassung gezeichnet.

1 · Kraft ist eine Wechselwirkung

Eine **Kraft** beschreibt eine Wechselwirkung zwischen Körpern. Sie kann eine Form verändern oder eine Bewegung ändern: Ein Körper wird schneller, langsamer oder ändert seine Richtung. Die Einheit der Kraft heißt **Newton**, abgekürzt N.

Kräfte können bei Berührung entstehen, etwa zwischen Hand und Ball. Die Erde zieht Körper auch aus der Entfernung an. Für eine Erklärung benennst du zuerst den betrachteten Körper und dann die anderen Körper, die auf ihn einwirken. So bleibt klar, welche Kraft wohin gehört.

2 · Ein Pfeil zeigt drei wichtige Angaben

Ein **Kraftpfeil** beschreibt Angriffspunkt, Richtung und Betrag. Der Pfeil beginnt am gewählten Angriffspunkt. Seine Spitze zeigt die Wirkungsrichtung. Seine Länge steht nach einem festgelegten Maßstab für den Kraftbetrag. Bei einem Maßstab von 1 cm für 5 N ist ein 10-N-Pfeil 2 cm lang.

Zum Vergleichen brauchst du denselben Maßstab. Die **resultierende Kraft** fasst mehrere Kräfte auf denselben Körper zusammen. Wirken 8 N nach rechts und 3 N nach links, bleiben 5 N nach rechts übrig. Gleichgerichtete Kräfte werden addiert.

3 · Die Gesamtkraft verändert die Bewegung

Bei resultierender Kraft 0 N bleibt ein ruhender Körper in Ruhe. Ein bereits bewegter Körper bewegt sich geradlinig mit gleichbleibender Geschwindigkeit weiter. Diese Eigenschaft hängt mit seiner **Trägheit** zusammen.

Beim Rollen und Gleiten wirken oft Reibung und Luftwiderstand. Sie erklären, warum ein Wagen ohne weiteren Antrieb langsamer wird. Gleiche entgegengesetzte Kräfte können sich am Wagen ausgleichen. Kraft und Gegenkraft einer Wechselwirkung liegen dagegen auf zwei verschiedenen Körpern, zum Beispiel Hand und Wagen.

Das gehört zusammen: Wähle zuerst den Körper. Trage seine Kräfte mit Richtung ein und fasse sie zusammen. Die resultierende Kraft bestimmt seine Bewegungsänderung.

Wähle „Kräfte & Kraftpfeile“. Stelle zwei entgegengesetzte Richtungen ein und verändere die Beträge. Beobachte die resultierende Kraft.

01 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Vom Kraftbild zur Bewegungsänderung

Drei Kraftbilder am selben Wagen

Gleiche Richtung
10 N nach rechts und 6 N nach rechts ergeben 16 N nach rechts.

Gegeneinander
10 N nach rechts und 6 N nach links ergeben 4 N nach rechts.

Gleichgewicht
10 N nach rechts und 10 N nach links ergeben zusammen 0 N.

Die Beträge gelten für Kräfte auf denselben Körper entlang einer gemeinsamen Linie.

Ein Kraftbild beginnt mit einer Entscheidung: **Welchen Körper untersuchen wir?** Bei einer Kiste betrachten wir etwa den Zug eines Seils, die Reibung am Boden, die Gewichtskraft und die Stützkraft des Bodens. Zeichne nur Kräfte ein, die auf die Kiste wirken. Die Kiste zieht ihrerseits am Seil und drückt auf den Boden. Diese anderen Kräfte gehören in die Bilder der jeweiligen Partner. So verhinderst du, dass gleich große Kräfte auf verschiedenen Körpern versehentlich gegeneinander aufgerechnet werden.

Für die Bewegung zählt die **Summe der Kräfte** auf denselben Körper. Ein größerer Pfeil nach rechts als nach links bedeutet eine resultierende Kraft nach rechts. Das verrät zunächst die Richtung der Beschleunigung: Die Bewegung verändert sich nach rechts. Eine bereits nach links fahrende Kiste kann dabei zuerst langsamer werden. Die Kraft zeigt deshalb nicht automatisch die momentane Bewegungsrichtung. Beim gleichmäßigen Geradeausfahren sind Antrieb und Widerstände insgesamt ausgeglichen. Richtung und Betrag sind getrennte Eigenschaften einer Kraft. Erst ihr Zusammenspiel erklärt die resultierende Kraft. Die Pfeile sind eine Darstellung der Kräfte, keine sichtbaren Dinge am Gegenstand.

Wie stark sich eine Bewegung ändert, hängt auch von der Masse ab. Dieselbe resultierende Kraft beschleunigt einen leichten Wagen stärker als einen schweren. Für einen Körper mit gleichbleibender Masse gilt $F = m \cdot a$: Die resultierende Kraft ist Masse mal Beschleunigung. Dabei steht F in N, m in kg und a in m/s^2. Beschleunigung umfasst sowohl schneller oder langsamer werden als auch eine Richtungsänderung. Deshalb braucht auch eine gleich schnelle Kreisfahrt eine resultierende Kraft zur Kreismitte.

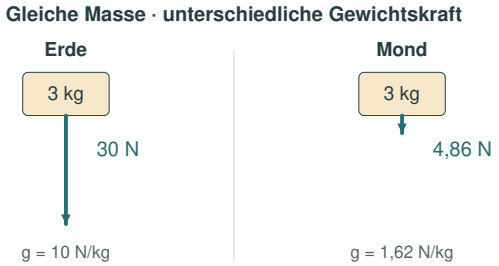
Ein Wagen rollt schon
Ein Wagen bewegt sich nach links. Nun wirkt insgesamt eine Kraft nach rechts. Zunächst wird seine Fahrt nach links langsamer. Hält die Kraft ausreichend lange an, kann der Wagen anhalten und danach nach rechts schneller werden. Kraftbild und Bewegungsbeschreibung ergänzen sich.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Ohne resultierende Kraft muss ein Körper stillstehen.
So stimmt es: Bei 0 N resultierender Kraft bleibt die Geschwindigkeit unverändert: Ruhe bleibt Ruhe, eine geradlinige Bewegung bleibt gleichförmig.

02 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Masse und Gewichtskraft unterscheiden

Dieselbe Tasche besitzt auf Erde und Mond dieselbe Masse. Ihre Gewichtskraft ist verschieden. Der Ortsfaktor verbindet diese beiden Größen und erklärt, weshalb sich das Heben unterschiedlich anfühlt.



Dieselbe Masse von 3 kg an zwei Orten. Die Pfeillängen vergleichen die Gewichtskräfte; für die Erde wird die Schulnäherung 10 N/kg verwendet.

4 · Masse gehört zum Körper

Die **Masse** wird in Kilogramm angegeben. Sie beschreibt unter anderem, wie träge ein Körper auf eine resultierende Kraft reagiert. Bei gleicher Kraft lässt sich ein Wagen mit größerer Masse weniger stark beschleunigen.

Die Masse einer unveränderten Tasche bleibt bei einem Ortswechsel praktisch gleich. Die **Gewichtskraft** beschreibt dagegen die Anziehung zwischen der Tasche und einem Himmelskörper. Nahe der Erdoberfläche zeigt sie zum Erdmittelpunkt. Sie wird wie jede Kraft in Newton angegeben.

5 · Der Ortsfaktor verbindet Masse und Kraft

Der **Ortsfaktor g** sagt, wie viel Gewichtskraft auf ein Kilogramm Masse wirkt. Für einfache Schulrechnungen verwenden wir auf der Erde ungefähr 10 N/kg. Genauer liegt der Wert hier etwa bei 9,81 N/kg; Ort und Höhe beeinflussen ihn etwas.

Beispiel: Eine Tasche hat 3 kg Masse. Gesucht ist ihre Gewichtskraft mit der Schulnäherung.

$F_G = m \cdot g$
$F_G = 3\ kg \cdot 10\ N/kg$
$F_G = 30\ N$

Bei gleichem Ort verdoppelt sich die Gewichtskraft, wenn sich die Masse verdoppelt. Gramm werden vor dem Einsetzen in Kilogramm umgerechnet.

6 · Derselbe Körper an verschiedenen Orten

Auf dem Mond beträgt der Ortsfaktor ungefähr 1,62 N/kg. Für dieselbe Tasche von 3 kg berechnen wir:

$F_G = m \cdot g$
$F_G = 3\ kg \cdot 1{,}62\ N/kg$
$F_G = 4{,}86\ N$

Sie lässt sich dort mit weniger Kraft halten. Ihre Masse bleibt 3 kg und damit auch ihre Trägheit.

Im Alltag zeigt eine Personenwaage häufig Kilogramm an. Viele Waagen messen zunächst eine Stützkraft und rechnen mit einem eingestellten Ortsfaktor auf die Masse zurück. Ein Federkraftmesser ist unmittelbar in Newton beschriftet. Achte deshalb bei jedem Messgerät auf Größe und Einheit.

Das gehört zusammen: Masse beschreibt eine Eigenschaft des Körpers. Gewichtskraft entsteht durch Anziehung und hängt zusätzlich vom Ort ab: $F_G = m \cdot g$.

Öffne „Masse & Gewichtskraft“. Halte die Masse fest und wechsle zwischen Erde, Mond und Mars. Vergleiche die Kraftangaben mit den Ortsfaktoren.

02 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Warum derselbe Körper unterschiedlich schwer wirkt

Eine Kiste mit 2 kg an zwei Orten

Erde · Schulnäherung
g = 10 N/kg → Gewichtskraft 20 N

Mond
g = 1,62 N/kg → Gewichtskraft 3,24 N

Masse bleibt
In beiden Fällen enthält die Kiste dieselbe Materie: 2 kg.

Der Ortswechsel verändert die Gewichtskraft. Der Vergleich verwendet Näherungswerte nahe der Oberfläche.

Beim Ortsvergleich trennen wir zwei Fragen. **Wie träge ist der Körper?** Das hängt von seiner Masse ab. **Wie stark zieht ein Himmelskörper an ihm?** Das beschreibt seine Gewichtskraft. Eine Werkzeugkiste bleibt auf dem Mond dieselbe Kiste mit derselben Masse. Du brauchst dort weniger Kraft, um sie ruhig zu halten. Eine seitliche Bewegung zu beschleunigen oder zu stoppen wird dadurch aber nicht im gleichen Verhältnis leichter: Die Trägheit der Kiste bleibt bestehen.

Der **Ortsfaktor** verbindet die beiden Größen. Seine Einheit N/kg bedeutet „Newton je Kilogramm“. Multiplizierst du ihn mit einer Masse in kg, erhältst du eine Kraft in N. Deshalb ist die Einheitenkontrolle ein Teil der Erklärung. Die Schulnäherung 10 N/kg auf der Erde erleichtert das Rechnen; sie ist kein überall exakter Naturwert. Für einen sauberen Vergleich veränderst du entweder nur den Ort oder nur die Masse. So erkennst du zwei getrennte Zusammenhänge: Am gleichen Ort führt mehr Masse zu mehr Gewichtskraft. Bei gleicher Masse entscheidet der gewählte Ortsfaktor über den Kraftbetrag.

Beim **freien Fall** beschleunigt die Gewichtskraft den Körper. Ohne Luftwiderstand fallen am selben Ort unterschiedlich schwere Körper gleich stark beschleunigt: Mit der Masse wachsen sowohl Gewichtskraft als auch Trägheit. Eine Feder und ein Stein fallen in Luft unterschiedlich, weil der Luftwiderstand verschieden stark ins Gewicht fällt. Auch Raumstationen stehen unter Gravitation. In der Umlaufbahn fallen Station und Inhalt gemeinsam; dadurch entsteht das Gefühl der Schwerelosigkeit.

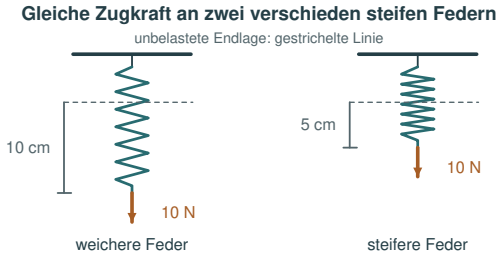
Auf dem Mond rechnen
Eine Kiste hat 2 kg Masse. Gesucht ist ihre Gewichtskraft auf dem Mond.
Grundgleichung: $F_G = m \cdot g$
Einsetzen: $F_G = 2\ kg \cdot 1{,}62\ N/kg$
Ergebnis: $F_G = 3{,}24\ N$
Die Masse bleibt dabei 2 kg.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Auf dem Mond verliert die Kiste einen Teil ihrer Masse. **So stimmt es:** Der kleinere Kraftbetrag entsteht durch den kleineren Ortsfaktor. Die unveränderte Kiste behält ihre Masse und ihre Trägheit.

03 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Kräfte messen und Modelle beurteilen

Eine Feder verlängert sich, wenn an ihr gezogen wird. Mit einer passenden Skala wird daraus ein Messgerät. Die Messung verbindet eine sichtbare Formänderung mit einer unsichtbaren Kraft.



Zwei ideale Federn bei gleicher Zugkraft. Die steifere Feder verlängert sich weniger; die gestrichelte Markierung bezeichnet die gemeinsame unbelastete Endlage.

7 · Eine Feder stellt sich der Verformung entgegen

Wird eine Feder gedehnt, übt sie eine rückstellende Kraft aus. Im **elastischen Bereich** kehrt sie nach der Entlastung ungefähr in ihre Ausgangsform zurück. In einem geeigneten begrenzten Bereich ist die Verlängerung proportional zum Kraftbetrag.

Die **Federkonstante** beschreibt die Steifigkeit. Eine steifere Feder braucht für dieselbe Verlängerung mehr Kraft. Bei gleichem Zug verlängert sie sich weniger. Das einfache Federmodell gilt nur im passenden Messbereich; reale Federn können dauerhaft verformt werden.

8 · Eine Messung braucht Vergleich und Kontrolle

Ein **Federkraftmesser** nutzt die Verlängerung einer Feder. Bekannte Kräfte helfen beim Einteilen der Skala. Vor der Messung kontrollierst du Nullpunkt, Messbereich und Einheit. Die Zugrichtung muss zum Gerät passen. Lies die Skala aus geeigneter Blickrichtung ab.

Hängt ein Körper ruhig an einer Feder, zieht seine Gewichtskraft nach unten und die Federkraft nach oben. Die beiden Kräfte auf den Körper sind dann gleich groß. Die Skala zeigt ihren Betrag. Bei einer beschleunigten Bewegung kann sich die Anzeige gegenüber diesem ruhigen Zustand verändern.

9 · Vom Messwert zur Erklärung

Ein einzelner Messwert wird aussagekräftig, wenn du die Bedingungen kennst. Vergleiche dieselbe Feder bei verschiedenen Kräften oder verschiedene Federn bei gleicher Kraft. Ändere jeweils eine Größe und halte die übrigen Einstellungen fest.

Verbinde die Beobachtung mit dem Kraftbild: Welche Körper wirken aufeinander? Welche Kräfte greifen am untersuchten Körper an? Welche Richtung haben sie? Eine schematische Zeichnung vereinfacht Form und Größe, macht aber die gewählten Beziehungen sichtbar. So kannst du Gewichtskraft, Federwirkung und Gleichgewicht gemeinsam erklären.

Das gehört zusammen: Eine Kraft lässt sich über eine passende Wirkung messen. Einheiten, Nullpunkt, Messbereich und das Kräftegleichgewicht machen die Anzeige verständlich.

Fachbücher und Quellen stehen auf Seite 7. Die Onlinefassung verlinkt außerdem die passenden Lehrbuchkapitel.

03 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Eine Feder als Übersetzer zwischen Kraft und Länge

Gleiche Kraft, andere Verlängerung

Weich · 20 N/m
Bei 4 N Zug verlängert sich die Modellfeder um 20 cm.

Steif · 40 N/m
Bei 4 N Zug verlängert sich die Modellfeder um 10 cm.

Gleicher Messwert
Beide passenden Kraftskalen zeigen 4 N an.

Die Zahlen gelten nur im idealen linearen Federbereich.

An einer Feder können wir eine Kraft über eine sichtbare Längenänderung bestimmen. Dafür muss bekannt sein, **wie diese Feder auf Zug reagiert**. Bei einer weichen Feder reicht eine kleine Kraft für eine große Verlängerung. Bei einer steifen Feder ist für dieselbe Verlängerung mehr Kraft nötig. Eine Zentimeterskala allein ist daher noch keine Kraftskala. Erst die Zuordnung zwischen Zugkraft und Verlängerung macht daraus einen Kraftmesser.

Im linearen Bereich gilt: Doppelter Kraftbetrag bedeutet bei unveränderter Feder doppelte Verlängerung. Für eine andere Federkonstante muss die Kraftskala passend neu eingeteilt werden. Dadurch können zwei unterschiedlich lange Federbilder trotzdem denselben Kraftwert anzeigen. Vergleiche immer **Messwert und Messbedingungen**. Zum sorgfältigen Messen gehören Nullpunkt, Einheit, geeigneter Messbereich und ruhiges Ablesen. Eine überdehnte reale Feder kann ihre Eigenschaften verlieren. Dann passt die frühere Skala nicht mehr zuverlässig. Wiederholte Messungen helfen, schwankende Werte zu erkennen; sie reparieren aber keinen falsch eingestellten Nullpunkt. Der Vergleich mehrerer Federsteifigkeiten bei derselben Kraft zeigt, warum ein Messgerät immer zu seiner Skala passen muss.

Eine Messung ist nie unbegrenzt genau. Liegt ein Zeiger zwischen zwei Strichen, lässt sich nur innerhalb der Skalenauflösung ablesen. Ein schiefer Blick kann den scheinbaren Zeigerstand verschieben. Wiederholt ähnlich abweichende Werte können auf einen systematischen Fehler hindeuten, etwa einen falschen Nullpunkt. Deshalb sind sehr viele Nachkommastellen allein kein Beweis für eine gute Messung. Zur Zahl gehören Messgerät, Einheit und eine passende Genauigkeit.

Eine steifere Feder berechnen
Bei 4 N Zug und einer Federkonstante von 40 N/m gilt:
Grundgleichung: x = F : k
Einsetzen: x = 4 N : 40 N/m
Ergebnis: x = 0,1 m = 10 cm
Die Verlängerung wird vom unbelasteten Zustand aus gemessen.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Die längere Feder zeigt immer die größere Kraft.
So stimmt es: Das stimmt nur beim Vergleich derselben unveränderten Feder. Verschiedene Steifigkeiten ergeben bei gleicher Kraft unterschiedliche Verlängerungen.

Wissen anwenden und weiterdenken

Drei ergänzende Entdeckeraufträge. Erkläre deine Beobachtungen mit den Zusammenhängen aus dem Wissenstext.

1 · Kräfte & Kraftpfeile

Ausprobieren: Wähle nacheinander „Gleiche Richtung“, „Gegeneinander“ und „Gleichgewicht“. Blende die Resultierende ein.

Beobachten: Vergleiche Richtung und Betrag des resultierenden Pfeils.

Erklären: Warum lässt sich aus 0 N allein nicht ablesen, ob der Körper schon fährt?

Modellgrenze: Die Werkstatt zeigt Kraftpfeile; sie berechnet hier keine zeitliche Fahrt eines Wagens.

2 · Masse & Gewichtskraft

Ausprobieren: Stelle 2 kg ein. Vergleiche Erde mit Schulnäherung und Mond; lasse die Masse unverändert.

Beobachten: Lies Masse, Ortsfaktor und Gewichtskraft jeweils mit ihrer Einheit ab.

Erklären: Welche Größe blieb gleich, und welche erklärt den kleineren Kraftbetrag?

Modellgrenze: Die Ortsfaktoren gelten näherungsweise nahe der Oberfläche; die Werkstatt simuliert keine Raumfahrt.

3 · Federkraftmesser

Ausprobieren: Stelle die Zugkraft auf 4 N. Vergleiche Federkonstanten von 20 N/m und 40 N/m.

Beobachten: Beobachte die Verlängerung und die dazugehörige Newton-Skala.

Erklären: Warum bleibt die Kraftanzeige gleich, obwohl die Feder kürzer wird?

Modellgrenze: Das Modell zeigt ruhende Zustände und berücksichtigt weder Überdehnung noch Schwingungen.

Interaktive Werkstatt öffnen →

Fachliche Quellen und weiterführende Literatur

College Physics 2e
NASA · Physikalische Grundlagen