

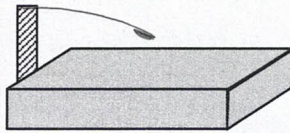
Viele Vorgänge im täglichen Leben können mit dem physikalischen Teilgebiet Mechanik beschrieben und analysiert werden. Die Kraft ist ein zentraler Begriff in diesem neuen Teilgebiet.

In Experimenten untersuchen wir die Wirkung einer vorbereiteten Trickkiste auf verschiedene Gegenstände.

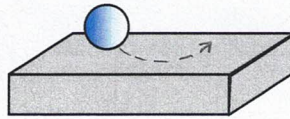
## 1. Statik

### 1.1 Kraftbegriff, Gewichtskraft und Kräftegleichgewicht

#### Intro: Die Magic-Box und der Kraftbegriff



Die Blattfeder wird über der Magic-Box nach unten gebogen.



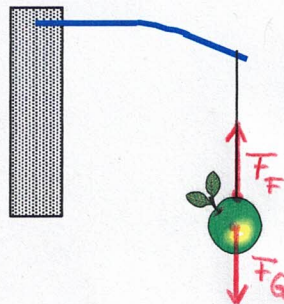
Eine rollende Kugel wird auf der Magic-Box abgelenkt.

#### Begriff:

Wenn wir beobachten, dass Körper verformt werden  
oder sich ihr Bewegungszustand ändert,  
dann sagen wir, es wirkt eine Kraft.

Das Experiment mit der Blattfeder schauen wir uns nochmal genauer an. Statt der Magic-Box verwenden wir jetzt einfach einen Apfel, den wir an die Feder hängen. **Woher kommt die Kraft, die die Feder verbiegt und warum bewegt sich der Apfel eigentlich nicht?**

#### Gleichgewicht von Kräften

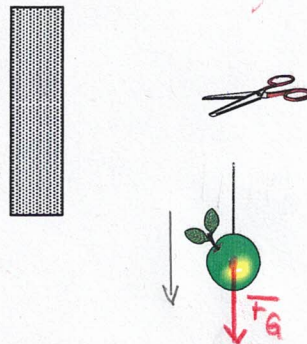


In diesem Experiment wird die Feder durch die Gewichtskraft des Apfels verformt. Diese Kraft zieht auch den Apfel

nach unten. Er bleibt aber hängen, weil die Feder eine gleich große Kraft nach oben ausübt.

#### Tipp:

In Zeichnungen stellen wir Kräfte mit Pfeilen dar. Das ist praktisch, weil wir damit zeigen können, in welche Richtung die Kräfte wirken und wie groß sie sind (Länge des Pfeils!).



Nach dem Durchschneiden wirkt auf den Apfel

nur noch seine Gewichtskraft,  
er beginnt deshalb zu fallen.  
(kein Kräftegleichgewicht mehr).

Im nächsten Experiment schneiden wir den Faden durch. **Beschreibe das Verhalten des Apfels und erkläre es! Nutze auch wieder die Kraftdarstellung mit Pfeil.**

Wirken auf einen Körper zwei Kräfte mit gleichem Betrag  
in entgegengesetzten Richtungen,  
so heben sie sich gegenseitig auf (Gleichgewicht).



Auf der Vorderseite haben wir uns schon intensiv mit der Gewichtskraft von Körpern beschäftigt. An dieser Stelle ist eine genaue Begriffsbestimmung nötig, da der Alltagsbegriff Gewicht nicht der Gewichtskraft, sondern der Masse entspricht.

## Gewichtskraft

Unterscheide:

Masse:  $m$  mit der Einheit:  $1 \text{ kg}$

Kraft:  $F$  (Force) mit der Einheit:  $1 \text{ N}$  (Newton)

Die Zahlenwerte der Gewichtskraft und der Masse unterscheiden sich. Allerdings führt eine größere Masse auch zu einer größeren Gewichtskraft.

Für die Gewichtskraft verwendet man die Namen  $F_G$  oder  $G$ .

## Berechnung der Gewichtskraft

Mit einer Waage bestimmen wir die Masse eines Körpers in kg. Daraus können wir seine Gewichtskraft berechnen mit der Formel:

$$F_G = m \cdot g$$

Der Ortsfaktor  $g$  ist ein Wert, der davon abhängt, wo man sich gerade befindet. Auf der Erde unterliegt er nur sehr geringen Schwankungen, der Ortsfaktor auf anderen Planeten kann davon aber stark abweichen.

### Tipp:

Auf der Erde rechnen wir immer mit  $g = 9,81 \text{ N/kg}$ , auch wenn der Wert zwischen Äquator und Polen etwas schwankt (weniger als 1 %).

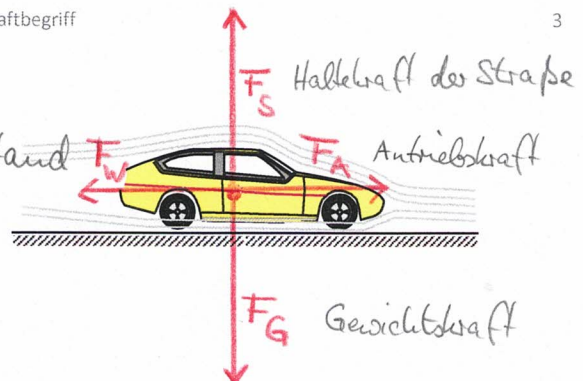
Probiere die neue Formel gleich aus, indem Du die Gewichtskraft berechnest, die auf einen Schülers mit 40 kg Masse wirkt.

$$F_G = m \cdot g = 40 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = \underline{\underline{392 \text{ N}}}$$

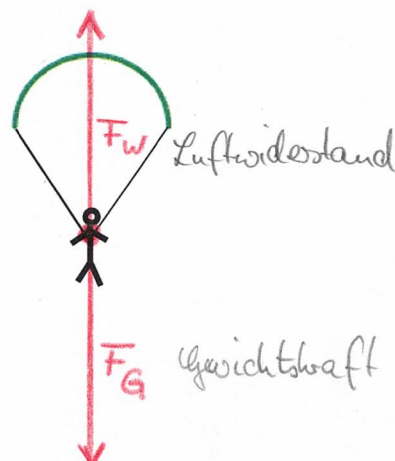
Das erste Bild zeigt ein Auto, das mit konstanter Geschwindigkeit auf der Straße fährt. **Zeichne alle auftretenden Kräfte ein, achte auf die korrekte Darstellung ihrer Beträge.**

### Training: Kräfte einzeichnen

Fahrtwiderstand  
Je zwei Kräfte sind hier in Gleichgewicht.



Ein typisches Beispiel ist der Fallschirmspringer, der mit konstanter Geschwindigkeit am Schirm hängend nach unten fällt. **Warum beschleunigt er nicht mehr?**



Luftwiderstand (-skraft) und Gewichtskraft sind beim Fallschirmspringer in Gleichgewicht. Deshalb ändert sich seine Geschwindigkeit nicht mehr.

### Selbst-Check:

- woran erkennt man Kräfte?
- Kräftegleichgewicht
- Gewichtskraft
- Kräfte einzeichnen

### Übungsmöglichkeiten:

Auf Leifiphysik findest Du ein sehr gut geeignetes Quiz zur Berechnung der Gewichtskraft unter Teilgebiet Mechanik - Kraft und Masse, Ortsfaktor - Quiz zu Masse, Gewichtskraft und Ortsfaktor sowie auch kleinere Rechenaufgaben (grün).

In der Physik wollen wir Größen nicht nur beschreiben, sondern auch messen und vergleichen. Wenn Angler ihren Fang untereinander vergleichen wollen, nutzen sie ein ganz handliches Messgerät.

## 1.2 Wie messen wir Kräfte?

### Intro: Angel-Wettbewerb im Fischerei-Verein

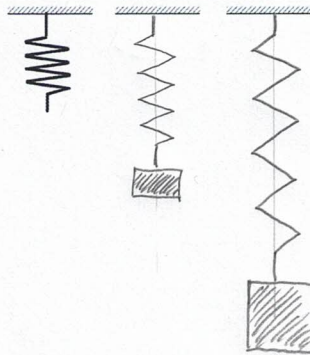
Man hängt den Fisch an den unteren Haken. Im Gerät wird dabei eine Feder gedehnt und man kann den Betrag der Gewichtskraft an einer Skala ablesen.



aus leifiphysik.de

Im Experiment befestigen wir eine Schraubenfeder mit ihrem oberen Ende und hängen an das untere Ende verschiedene Gegenstände. Beschreibe Deine Beobachtung.

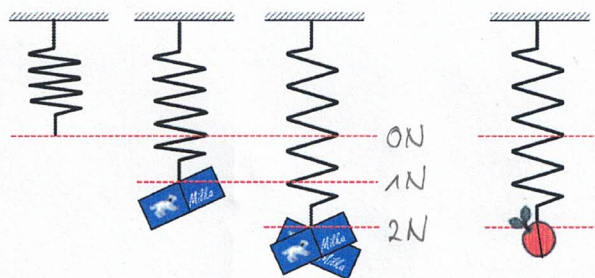
### Experiment: Gegenstände an einer Schraubenfeder



Durch einen schwereren Körper wird die Feder stärker gedehnt.

Um mehrere Gegenstände leichter miteinander vergleichen zu können, benötigen wir eine Skala. Diese basiert wiederum auf einer Einheit, in unserem Fall auf der Einheit für die Kraft.

### Einheit und Skala



In diesem Fall hat der Apfel eine Gewichtskraft von 2N.

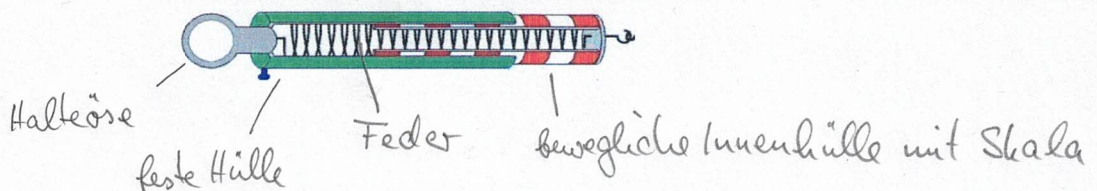
Eine endgültige und physikalisch exakte Festlegung der Einheit erfolgt später.

### Vorläufige Festlegung:

Die Gewichtskraft, die auf eine normale Tafel Schokolade wirkt, hat den Betrag 1N.

### Messgerät für den Betrag der Kraft: Der Kraftmesser

Abb. aus leifiphysik.de

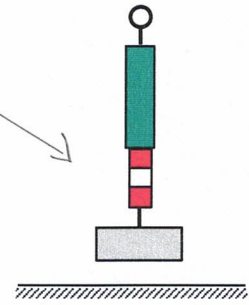
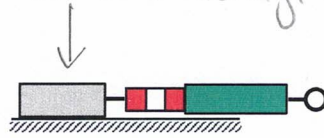




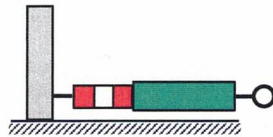
Bei den Wirkungen von Kräften kommt es nicht nur auf deren Betrag (Stärke) an. Zwei weitere wichtige Eigenschaften einer Kraft findest Du hier.

### Richtung der Kraft:

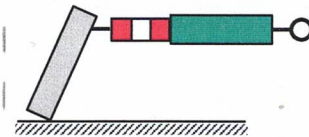
Wirkt die Kraft nach oben,  
hebt sie den Körper hoch.  
Wirkt sie seitwärts,  
so beschleunigt sie den Körper.



### Angriffspunkt der Kraft:



Setzt die Kraft tief an,  
so beschleunigt sie den  
Körper zu Seite.



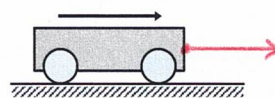
Setzt die Kraft hoch an,  
so kippt sie den Körper.

Damit wir nicht aufwändig Kraftmesser zeichnen müssen, verwenden wir für die Darstellung von Kräften den schon eingeführten Kraftpfeil. **Zeichne in jedes Bild den Pfeil für eine Kraft, die die angegebene Wirkung hat.**

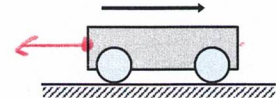
Beachte:

Mit der Länge des Kraftpfeils stellen wir die Stärke (den Betrag) der Kraft dar.

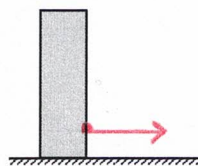
### Training: Kräfte einzeichnen



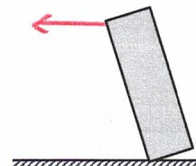
Wagen wird stark beschleunigt



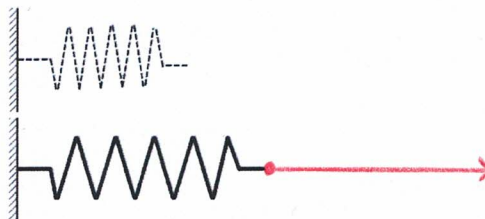
Wagen wird leicht abgebremst



Klotz wird nach rechts gezogen



Klotz wird nach links umgekippt



Feder wird stark gedehnt

### Selbst-Check:

- Dehnen von Federn
- Prinzip Kraftmesser
- Betrag einer Kraft
- Richtung einer Kraft
- Angriffspunkt einer Kraft

### Übungsmöglichkeiten:

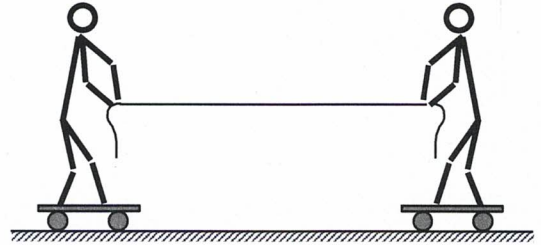
Auf Leifiphysik kannst Du unter **Mechanik - Kraft und das Gesetz von Hooke - Ablesen von Kraftmessern - Aufgaben** kannst Du die Verwendung dieses neuen Geräts üben. Unter **Mechanik - Kraft und Kraftarten - Beschreibung von Kräften - Aufgaben** findest Du eine Aufgabe zur praktischen Anwendung dieses Kapitels (Pfadfinderwissen).

Das Wechselwirkungsprinzip ist einer der Kernbausteine von Newtons Lehre über die Mechanik. Wir können es in einem einfachen Experiment darstellen.

**Zwei Schüler stehen sich auf Skateboard gegenüber und halten ein Seil. Im ersten Experiment ziehen beide am Seil, im zweiten Experiment nur einer. Welche merkwürdige Beobachtung machst Du?**

### 1.3 Das Wechselwirkungsprinzip

Intro: Ein verblüffendes Experiment

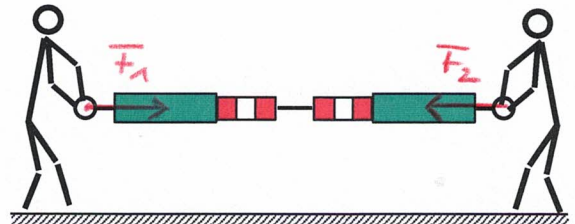


Die beiden Skateboardfahrer bewegen sich immer gegenseitig aufeinander zu, egal ob beide gleichzeitig oder nur der linke oder nur der rechte zieht.

Verwendet man zwei Kraftmesser zur Messung der auftretenden Kräfte, so wird die Beobachtung aus dem Einstiegsexperiment schnell verständlich.

**Was lässt sich über die Kräfte sagen, die auf die beiden Schüler wirken? Welche Bedeutung hat dabei der Schüler, der aktiv zieht?**

#### Erklärung des Experiments



Auch wenn nur einer aktiv zieht, wirkt auf jeden Schüler eine gleich große Kraft. Der aktive Schüler bestimmt den Betrag der Kraft.

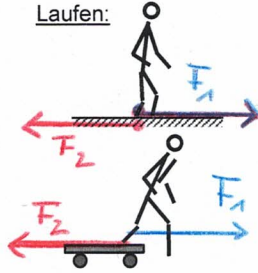
#### Wechselwirkungsprinzip:

Zwei Körper können aufeinander Kräfte nur wechselweise ausüben, dabei ist die Kraft, die Körper A auf Körper B ausübt genauso groß wie die Kraft, die Körper B auf Körper A ausübt, aber entgegengesetzt gerichtet.  
kurz:  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

Jegliche Form der Fortbewegung beruht auf dem Wechselwirkungsprinzip. Das bedeutet aber auch, dass zur Fortbewegung stets ein zweiter Körper vorhanden sein muss, an dem man sich abstößt (in den meisten Fällen ist das der Erdboden). Fehlt dieser zweite Körper (z.B. im Weltall), dann muss man ihn selbst mitnehmen, bei der Rakete in Form von Abgasen aus der Verbrennung.

### Anwendungen: Fortbewegung und Wechselwirkungsprinzip

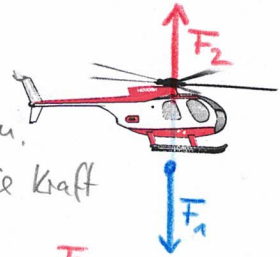
#### Laufen:



Die Person setzt zum Laufen eine Kraft  $F_1$  ein. Dadurch entsteht auf einen Untergrund eine entgegengesetzte gerichtete Kraft  $F_2$ . Steht er auf einem Skateboard, so wird dieses nach hinten gedrückt.

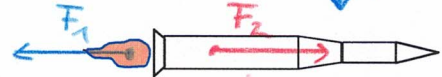
#### Schweben beim Hubschrauber:

Das Rotorsystem übt auf die Luft eine Kraft  $F_1$  aus und drückt sie nach unten. Dadurch wirkt auf den Hubschrauber eine Kraft  $F_2$ , die ihn schweben lässt.



#### Rakete - Rückstoßprinzip:

Die Rakete stößt die heißen Verbrennungsgase nach hinten aus dem Triebwerk ( $F_1$ ). Dadurch wirkt auf die Rakete selbst eine Kraft  $F_2$ , die sie nach vorn beschleunigt.

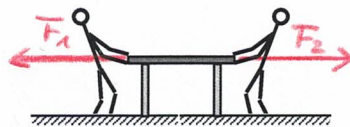


Häufig werden diese beiden Begriffe durcheinander geworfen, da bei beiden zwei gleich große Kräfte mit entgegengesetzten Richtungen vorkommen. Es kommt bei den Beispielen immer darauf an, welche Kräfte wir betrachten.

### Verwechslungsgefahr: Kräftegleichgewicht und Wechselwirkungsprinzip

Das Kräftegleichgewicht beschreibt die Situation an einem Körper. Das Wechselwirkungsprinzip beschreibt das Zusammenspiel von zwei Körpern.

#### Kräftegleichgewicht:



Zwei Personen ziehen mit gleich großen, entgegengesetzten Kräften am Tisch. Dieser bleibt in Ruhe, weil sich die Kräfte gegenseitig aufheben.

#### Wechselwirkungsprinzip:



Die Person zieht mit der Kraft  $F_1$  am Tisch, dadurch wirkt auf die Person automatisch eine gleich große Kraft in entgegengesetzter Richtung. Der Tisch kann dabei verschoben werden.

Im ersten Beispiel betrachten wir die Situation, die sich für den Tisch ergibt, im zweiten Beispiel das Wechselspiel zwischen Person und Tisch.

Auf Leifiphysik findest Du diesen Unterschied unter **Mechanik - Kraft und Bewegungsänderung - Wechselwirkung ungleich** Gleichgewicht - Grundwissen nochmals erklärt.

#### Selbst-Check:

- actio - reactio
- Anwendung auf die Fortbewegung
- Abgrenzung zu Kräftegleichgewicht

#### Übungsmöglichkeiten:

Finde weitere Beispiele zum Wechselwirkungsgesetz, siehe auch Leifiphysik unter **Mechanik - Kraft und Bewegungsänderung - 3. Newtonsches Gesetz - Aufgaben - Beispiele zum Wechselwirkungsgesetz**. Das Quiz an gleicher Stelle ist ganz schön knackig, die Aspekte zur Beschleunigung und zum Druck haben wir noch nicht behandelt.



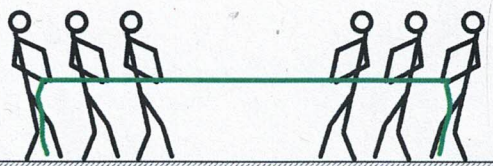
Wie funktioniert das eigentlich, wenn mehrere Leute gleichzeitig am Tau ziehen. Kann ein Einzelner gegen eine ganze Gruppe auf der anderen Seite bestehen?

## 1.4 Addition von Kräften

### Intro: Tauziehen

Die Kräfte addieren sich innerhalb jeder Gruppe.

Ein einzelner hat deshalb geringe Chancen.

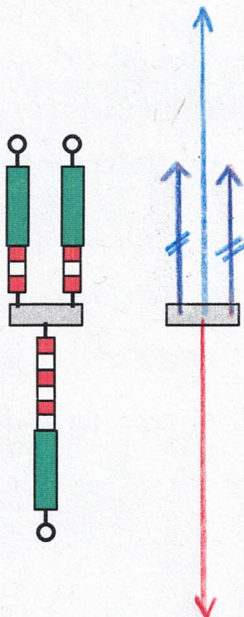


### Experiment: Kombination von Kraftmessern

Hier kombinieren wir auf einer Seite zwei Kraftmesser. Stelle die Situation mit Pfeilen dar.

#### Methode:

Wenn man zwei Kräfte addiert, zeichnet man einen neuen Pfeil (Ersatzkraft) mit geeigneter Länge in einer anderen Farbe und markiert die ursprünglichen Kräfte mit dieser Farbe.



Zwei Kräfte mit gleicher Richtung, die an derselben Stelle angreifen, können durch

eine Kraft ersetzt werden

Diese zeigt in die gleiche Richtung wie die ursprünglichen Kräfte.

Ihr Betrag ergibt sich aus

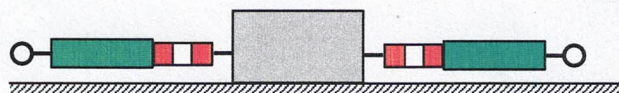
der Summe der Beträge der ursprünglichen Kräfte.

Im ersten Experiment ziehen wir mit zwei gleich großen Kräften an einem ruhenden Klotz. Welche Auswirkung hat dies auf den Klotz? Durch welche Gesamtkraft können also die beiden Kräfte ersetzt werden?

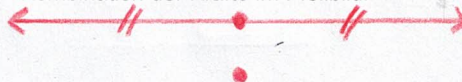
### Kräfte mit entgegengesetzten Richtungen

gleich große Kräfte:

Der Klotz bleibt liegen, die Gesamtkraft ist Null.



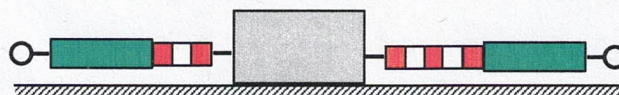
Kombination der Kräfte im Pfeilbild:



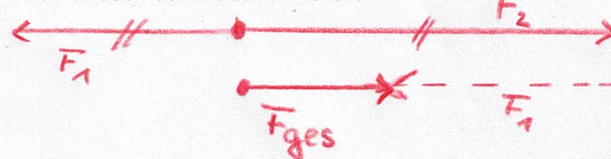
Nun erhöht man die rechte Zugkraft im Vergleich zu vorher. Wie wirkt sich dies auf den Klotz aus?

### verschieden große Kräfte:

Ein Teil der rechten Kraft bleibt übrig → der Klotz wird nach rechts beschleunigt



Kombination der Kräfte im Pfeilbild:



#### Regel:

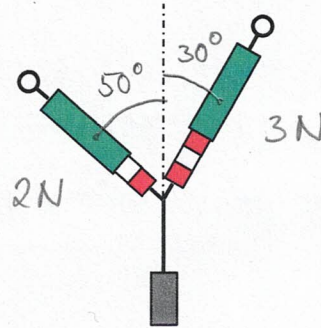
Greifen an einem Körper zwei Kräfte an, die in entgegengesetzte Richtungen zeigen, so ist der Betrag der Ersatzkraft gerade

die Differenz der Beträge der beiden Kräfte. Dabei müssen die mit ihren Angriffspunkten gezeichneten Kraftpfeile auf einer gemeinsamen Linie (Wirkungslinie) liegen.



Um auch Kräfte zu addieren, die in beliebigen Richtungen wirken (das ist in der Praxis eher der Normalfall), haben die Physiker ein einfaches geometrisches Verfahren gefunden, das Dir hier erklärt wird.

### Kräfte mit beliebigen Richtungen



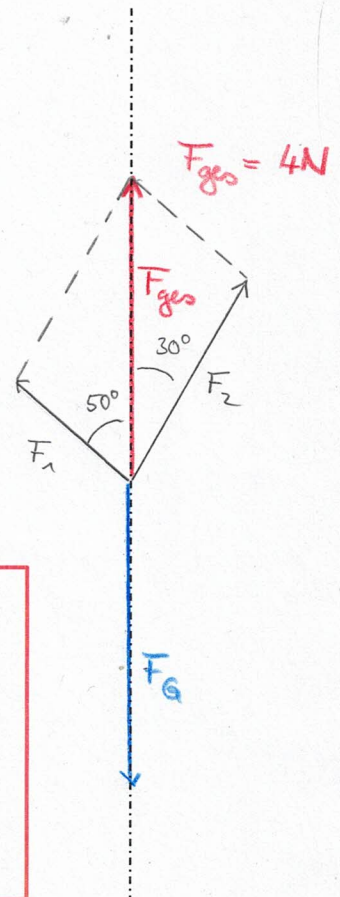
Bei der Durchführung dieses Verfahrens erhältst Du ein Dreieck. Mit einer zusätzlichen Hilfslinie wird daraus ein Parallelogramm, dessen Diagonale die Ersatzkraft darstellt. In unserem Fall steht diese mit der Gewichtskraft im Kräftegleichgewicht.

### Addition von Kraftpfeilen:

Um zwei beliebige Kräfte zu addieren, hängt man deren Kraftpfeile

unter Beibehaltung ihrer Richtung aneinander

und verbindet Anfangs- und Endpunkt der so entstandenen "Pfeilkette".



Andrea zieht mit 250 N am Seil, Bernd mit 330 N, Claudia mit 220 N und Daniel mit 380 N. Welche Kraft bringt die Gruppe AB auf, welche die Gruppe CD? Welche Gruppe gewinnt?

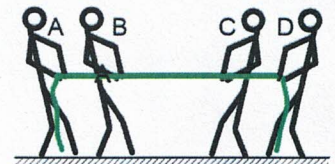
### Training: Addition von Kräften

#### Tauziehen:

$$AB: 250 \text{ N} + 330 \text{ N} = 580 \text{ N}$$

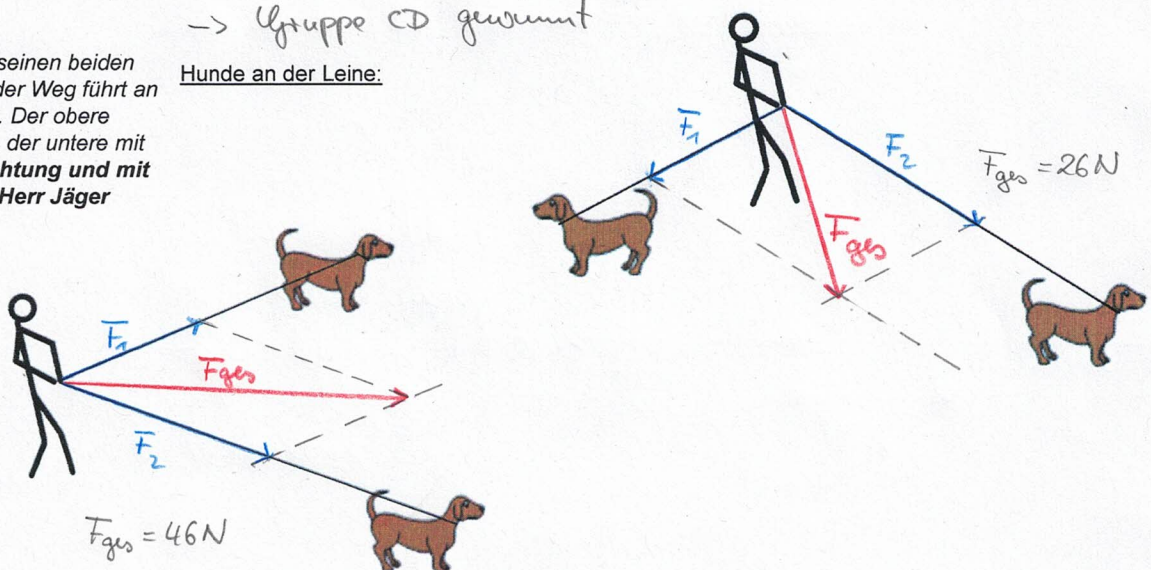
$$CD: 220 \text{ N} + 380 \text{ N} = 600 \text{ N}$$

→ Gruppe CD gewinnt



Herr Jäger geht mit seinen beiden Hunden spazieren, der Weg führt an einem Hang entlang. Der obere Hund zieht mit 20 N, der untere mit 30 N. In welche Richtung und mit welcher Kraft wird Herr Jäger jeweils gezogen?

#### Hunde an der Leine:



#### Selbst-Check:

- Kräfte in gleicher Richtung
- Kräfte in entgegengesetzter Richtung
- Kräfte in beliebigen Richtungen

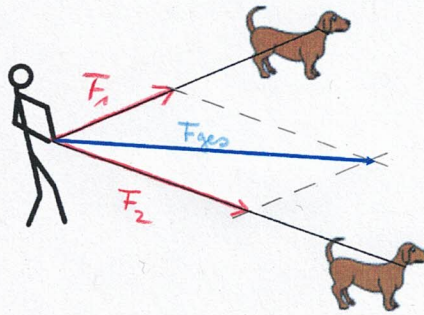
#### Übungsmöglichkeiten:

Passende Aufgaben zum selbständigen Üben findest Du auf Leifiphysik unter Teilgebiet Mechanik - Kräfteaddition und zerlegung - Kräfteaddition Aufgaben - Tauziehen und Treideln eines Schleppekahns.



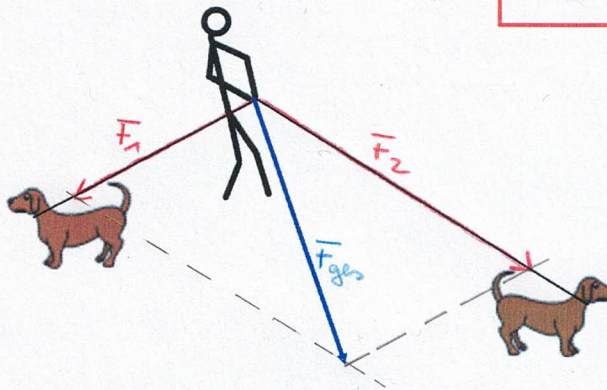
In diesem Kapitel geht es um die Umkehrung des Additionsverfahrens für Kräfte. Kann man aus der Gesamtkraft wieder die ursprünglichen Kräfte ermitteln, aus denen diese Kraft entstanden ist? Herr Jäger spürt die **Gesamtkraft**, mit der die beiden Hunde gemeinsam ziehen. Er möchte wissen, mit welcher Kraft jeder Hund einzeln zieht.

## 1.5 Zerlegung von Kräften Umkehrung des Additionsverfahrens



1. Trage am Fuß des Pfeils die Richtungen ein, in die die Kraft zerlegt werden soll.
2. Zeichne Parallelen zu diesen Richtungen durch die Spitze des Pfeils.
3. Die Kanten des Parallelogramms stellen die gesuchten Kräfte dar.

Trainiere das Verfahren im zweiten Beispiel.



8 Mechanik - 1.5 Zerlegung von Kräften

1

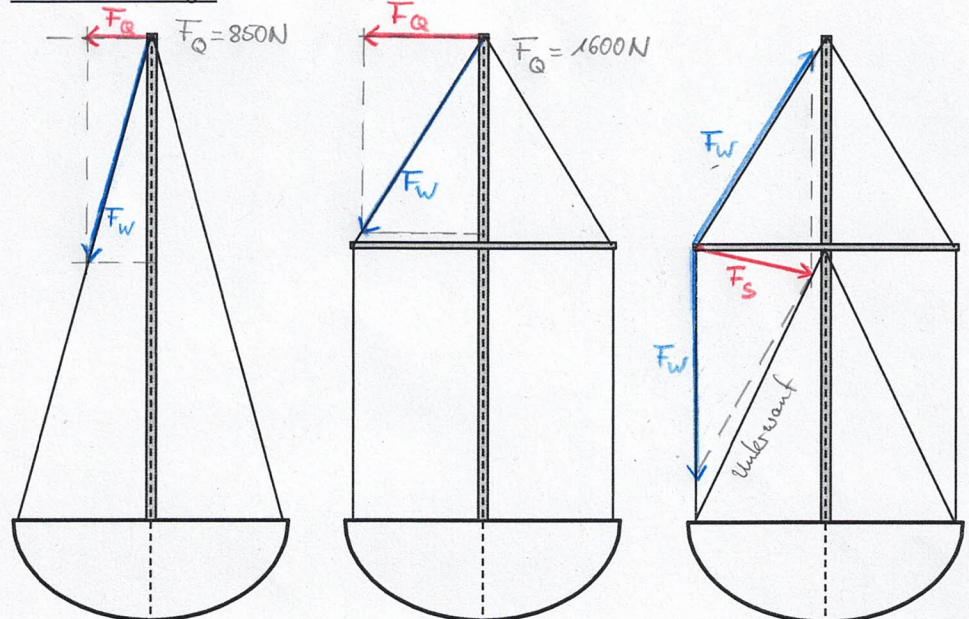
Addition und Zerlegung von Kräften begegnen uns täglich, meist allerdings unbemerkt. Besonders schön sind die auftretenden Effekte bei der Takelung von Segelschiffen zu erkennen. Seitliche Wanten aus Seil halten den Mast und verhindern, dass er durch den Wind, der in das Segel drückt, abbricht. Durch Einbau eines Querrohrs am Mast (Saling) erreicht man einen anderen Verlauf der Wanten. (Bild 2)

a) Bestimme in den ersten beiden Fällen die Kraft quer zur Mastspitze, wenn die Wanten mit 3000 N gespannt sind.

Wenn man sich die Situation an der Saling genau anschaut, wird's kompliziert.

b) Zeige, dass durch die Wanten eine Kraft entsteht, durch die die Saling gegen den Mast drückt. Dieser muss durch Unterwanten entgegen gewirkt werden. (Bild 3)

### Anwendung: Takelage von Segelschiffen Wanten und Salinge:



a) Durch die Saling verläuft der Want schräger zur Mastspitze und kann diese mit einer größeren Querkraft abstützen.

b) Die Seilspannung führt am Ende der Saling zu einer Kraft nach innen, die auf Höhe der Saling gegen den Mast drückt. Die Unterwant hält hier (wie bei der Mastspitze) dagegen.

8 Mechanik - 1.5 Zerlegung von Kräften

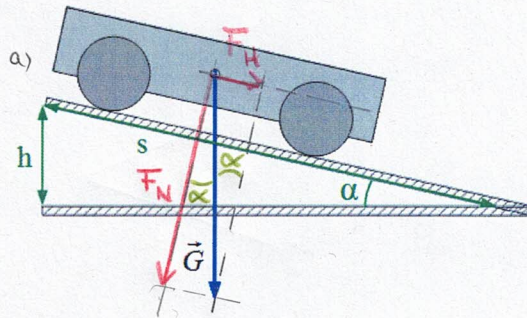
2



Der Klassiker schlechthin bei der Kräftezerlegung ist die am Hang bzw. an der schiefen Ebene. Wir werden auf Ski oder auf dem Schlitten aber auch beim Radfahren immer den Hang hinunter getrieben, obwohl die Gewichtskraft ja zum Erdmittelpunkt hin gerichtet ist.

- Zerlege die Gewichtskraft in zwei sinnvolle Richtungen.
- Der Neigungswinkel des Hanges taucht auch in der Kräftezerlegung auf. Ermittle daraus eine Formel für das Verhältnis von Hangabtriebskraft und Gewichtskraft.
- Erläutere die Wirkung der Hangneigung auf die Hangabtriebskraft und ermittle diese im zweiten Bild für den Radfahrer mit 50 kg Masse.

### Basic: Kräftezerlegung am Hang



Ein ungebremstes Fahrzeug setzt sich an einem Hang von selbst in Bewegung, da durch die Gewichtskraft eine Kraft entsteht, die den Hang hinunter wirkt, die

Hangabtriebskraft  $F_H$

Bei der Kräftezerlegung zeigt sich eine weitere Kraft, die das Fahrzeug auf die Fahrbahn drückt, die

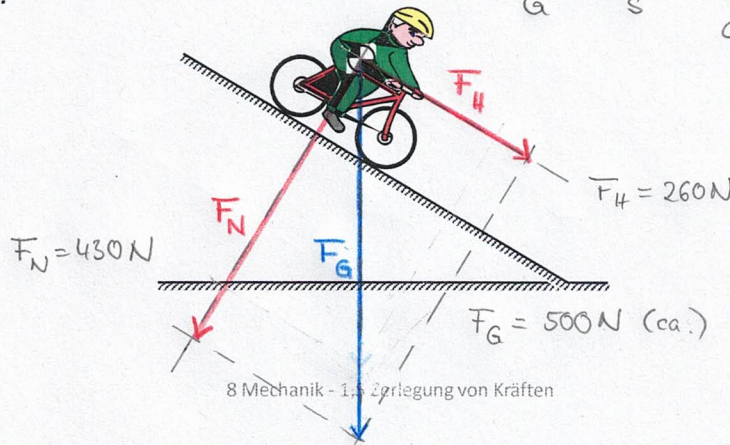
Normalkraft  $F_N$

b) Die Dreiecke in der Kräftezerlegung sind „ähnlich“ zum Hangdreieck, da sie in den Winkeln übereinstimmen.

Mathematik  $\rightarrow$  die Seitenverhältnisse sind gleich, also

$$\frac{F_H}{G} = \frac{h}{s}$$

c) je größer  $h$  (je steiler der Hang), desto größer  $F_H$  (also die Beschleunigung den Hang hinunter)

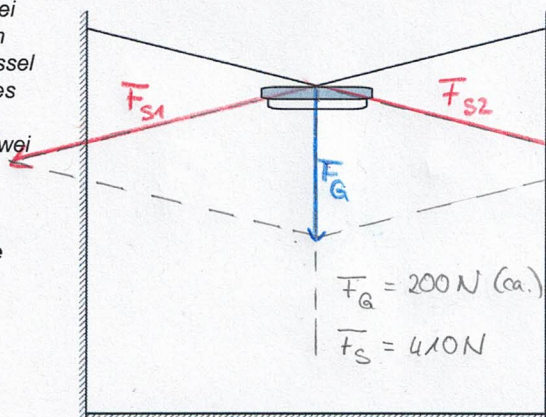


Seilspannsysteme begegnen uns an vielen Stellen im Alltag. Bei Spanndrähten für Vorhänge oder Halogenleuchten ebenso wie bei den gespannten Stahlseilen, an denen die Liftgondeln oder -sessel aufgehängt sind. Ein klassisches Beispiel ist die gezeichnete Straßenlaterne, die zwischen zwei Häuserzeilen mitten über der Straße positioniert ist.

Bestimme die Kräfte im Seil, wenn der Lampenkörper eine Masse von 20 kg hat. Interpretiere das Ergebnis.

### Training: Seilspannsysteme

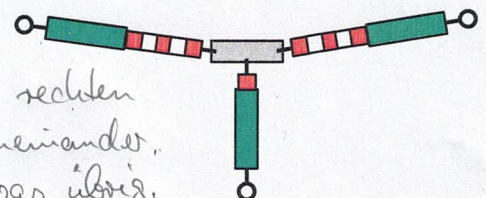
#### Straßenlaterne:



Die Kräfte in den Seilen sind deutlich größer als die Gewichtskraft der Lampe, da durch sie das Seil gespannt werden muss. Je weniger das Seil durchhängen soll, umso größer müssen die Seilkräfte werden.

#### Freihandversuch:

In diesem Versuch wirken die Kräfte im linken und rechten Kraftmesser vor allem gegeneinander. Zum Anheben bleibt kaum etwas übrig.



#### Übungsmöglichkeiten:

Eine Menge Aufgaben zum selbständigen Üben findest Du auf leifiphysik unter Teilgebiet Mechanik - Kräfteaddition und zerlegung - Zerlegung einer Kraft in zwei Komponenten Aufgaben. Die Wirtshaus schilder sind Klassiker, die auch das Thema "ziehen" oder "drücken" weiter vertiefen. Spannend sind auch die Aufgaben zu den Seilbahnen und zum Skifahren.

#### Selbst-Check:

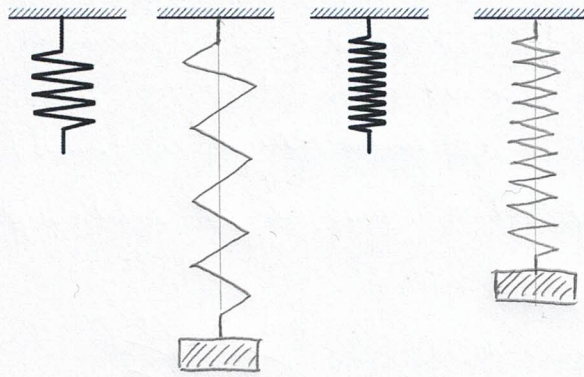
- Kräftezerlegung
- Konstruktionsprinzip
- Kräftezerlegung am Hang
- technische Anwendungen



Im Kapitel 1.2 haben wir die Dehnung von Federn dazu eingesetzt, einen Kraftmesser zu konstruieren. In diesem Experiment vergleichen wir das Verhalten von verschiedenen Federn bei Belastung. **Vergleiche das Verhalten der beiden Federn, wenn wir sie jeweils mit einer Tafel Schokolade belasten. Welche Auswirkung hat dies auf den Bau von Kraftmessern? Wie könnte man das unterschiedliche Verhalten durch geeignete Adjektive beschreiben?**

## 1.6 Kraft und Verformung

### Intro: Vergleich von Federn



Die breite Feder wird durch die Gewichtskraft der Schokoladentafel stärker gedehnt als die schmale Feder. Die breite Feder in diesem Versuch ist weicher, die schmale Feder ist härter (das hängt vom verwendeten Draht ab, etc.). Bei Verwendung in Kraftmessern bräuchten wir unterschiedlich große Skalen.

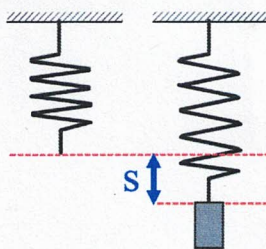
In diesem Versuch kommen wir dem Begriff "Härte einer Feder" näher. Hierzu belasten wir eine Feder mit Massestückchen und messen deren Verlängerung  $s$  (die heißt dann auch Dehnung). Die Darstellung eines vergleichbaren Versuches mit einer Fotodokumentation der Messreihe gibt's auf Leifphysik unter Teilgebiet Mechanik - Kraft und das Gesetz von Hooke - Versuche - Dehnung zweier Federn und eines Gummis.

Die Messwerte hängen von der verwendeten Feder ab!

Häufig gibt man dem Quo-tient zweier Messgrößen eine eigene Bezeichnung, er ist aber nicht zwingend konstant. Die Konstanz ist vielmehr eine besondere Eigenschaft der Natur an dieser Stelle. Das hatten wir z.B. auch beim elektrischen Widerstand.

### Messreihe: Kraft und Dehnung an einer Feder

F in N	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
s in cm	0	2,5	5,2	8,0	10,7	13,2	16	18,5	21
$\frac{F}{s} \text{ in } \frac{\text{N}}{\text{cm}}$	-	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19

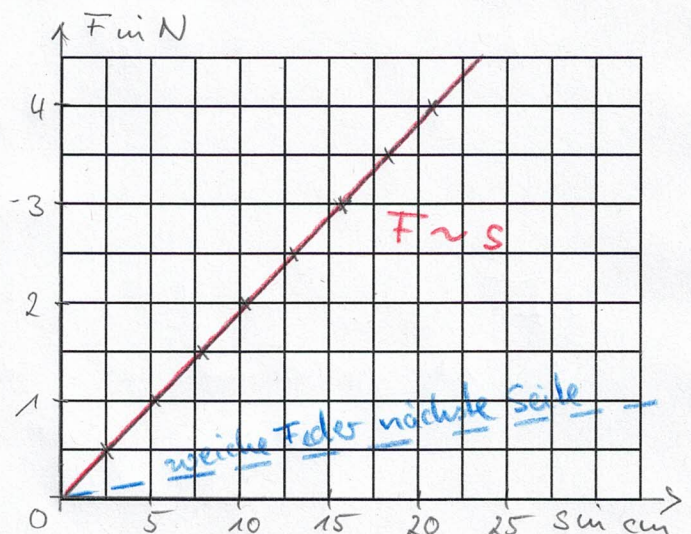


Bezeichnung:

$$D = \frac{F}{s}$$

heißt  
Federhärte

Ergebnis:



Kraft und Dehnung sind zueinander proportional. Der Quotient  $D = \frac{F}{s}$  ist konstant.

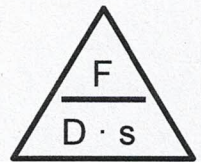


Genauso wie früher beim Widerstand können wir die Formel für die Federhärte in einem Dreieck darstellen und uns so die Berechnung der auftretenden Größen erleichtern. Hier ein paar Aufgaben:

**Eine Feder verlängert sich bei 1,5 N Last um 50 cm.**

- Berechne die Federhärte  $D$ !
- Wie groß wird die Verlängerung  $s$  bei 1 N Last?
- Welche Kraft verlängert die Feder um 20 cm?
- Was würde passieren, wenn man die Feder mit 15 N belastet?
- Skizziere die Kennlinie für diese Feder in das Diagramm auf der Seite zuvor. Was fällt auf?

### Training: Berechnungen mit dem Hooke'schen Gesetz



$$a) D = \frac{F}{s} = \frac{1,5 \text{ N}}{0,5 \text{ m}} = \underline{\underline{3,0 \frac{\text{N}}{\text{m}}}}$$

$$b) s = \frac{F}{D} = \frac{1 \text{ N}}{3 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \underline{\underline{0,33 \text{ m}}} = \underline{\underline{33 \text{ cm}}}$$

$$c) F = D \cdot s = 3,0 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,20 \text{ m} = \underline{\underline{0,60 \text{ N}}}$$

$$d) s = \frac{F}{D} = \frac{15 \text{ N}}{3 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \underline{\underline{5,0 \text{ m}}} \quad \begin{array}{l} \text{↯ zu weit gedehnt} \\ \text{→ Feder kaputt} \end{array}$$

e) siehe vorn

Bei der weicheren Feder verläuft die Kennlinie flacher.

Folgende Aufgabe aus dem Lastwagenbau samt Graphik ist der Seite leifiphysik.de entnommen:

**Manche Lastwagen haben an der Achse doppelte Federn. Die innere Feder wird erst zusammengedrückt, wenn sich der Wagen um 5 cm gesenkt hat. Die äußere Feder hat die Härte  $D_1 = 50 \text{ N/cm}$ , die innere  $D_2 = 150 \text{ N/cm}$ .**

- Berechne und zeichne ein  $s$ - $F$ -Diagramm bis  $s = 15 \text{ cm}$ .
- Erläutere den Zweck der Konstruktion!

### Anwendung: Federung an einem Lastwagen

$$a) s = 5 \text{ cm:}$$

$$F_1 = D \cdot s = 50 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \cdot 5 \text{ cm} = \underline{\underline{250 \text{ N}}}$$

$$s = 10 \text{ cm:}$$

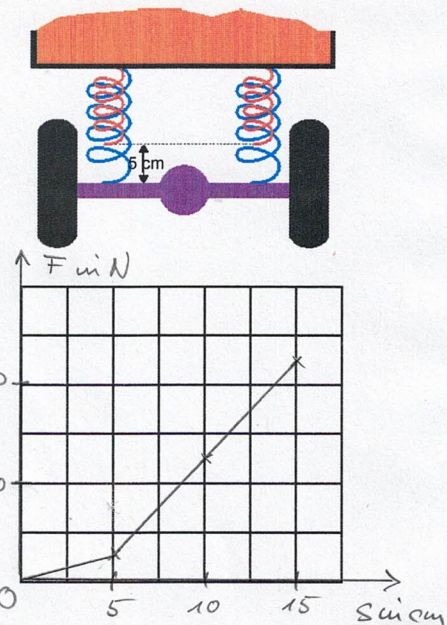
$$\left. \begin{array}{l} F_1 = 50 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \cdot 10 \text{ cm} = 500 \text{ N} \\ F_2 = 150 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \cdot 5 \text{ cm} = 750 \text{ N} \end{array} \right\} \text{zus. } \underline{\underline{1250 \text{ N}}}$$

$$s = 15 \text{ cm:}$$

$$\left. \begin{array}{l} F_1 = 50 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \cdot 15 \text{ cm} = 750 \text{ N} \\ F_2 = 150 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \cdot 10 \text{ cm} = 1500 \text{ N} \end{array} \right\} \text{zus. } \underline{\underline{2250 \text{ N}}}$$

Die zweite Feder wird immer 5 cm weniger eingedrückt, da sie die ersten 5 cm "leer geht".

↳ Unbeladen ist das System weich (komfortabel)  
beladen hart (belastbar)



### Selbst-Check:

- Zusammenhang von Kraft und Dehnung
- Umformungen der Formel
- Kombination von Federn

### Übungsmöglichkeiten:

Einen passenden Test zum Üben findest Du auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Mechanik - Kraft und das Gesetz von Hooke - Gesetz von Hooke Aufgaben**. Gut eignen sich hier auch die Aufgaben "Grundversuch zur Dehnung" und "Federung bei Fahrzeugen".



Bungee-Springen ist eine sehr beliebte Fun-Sportart. Dabei springt man in ein Gummiseil, der Sturz wird erst kurz vor dem Boden durch die elastische Kraft des Seiles aufgefangen.

Verwendet wird ein 8,0 m langes Gummiseil, mit konstanter Seilhärte  $D = 200 \text{ N/m}$ .

- a) Eine Person mit 80 kg Masse fällt in das Seil und dehnt dieses auf 20 m Länge. Berechne die Kraft in diesem Moment.  
b) Vergleiche mit der Gewichtskraft der Person. Diskutiere den Unterschied zwischen den beiden Kräften.

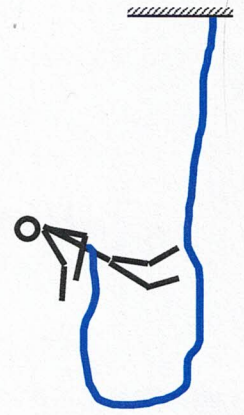
## 1.7 Aufgaben zur Wiederholung

### Bungee-Sprung

$$\begin{aligned} a) \quad s &= l - l_0 \\ &= 20 \text{ m} - 8 \text{ m} = 12 \text{ m} \end{aligned}$$

$$F = D \cdot s = 200 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 12 \text{ m} = \underline{\underline{2400 \text{ N}}}$$

$$\begin{aligned} b) \quad F_G &= m \cdot g \\ &= 80 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = \underline{\underline{800 \text{ N}}} \end{aligned}$$



Durch den Fall in das Gummiseil wirkt eine Kraft, die dreimal so groß ist, wie die Gewichtskraft des Jumpers. Deshalb wird er nach dem Erreichen des tiefsten Punktes wieder nach oben gezogen und kommt dann langsam zum Stillstand.

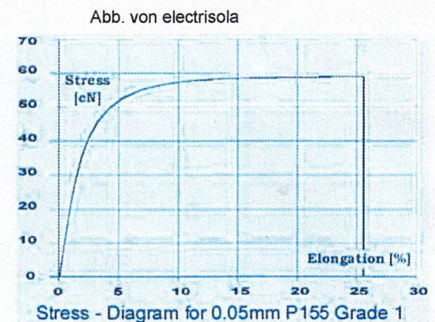
Folgende Aufgabe stammt vom ISB-Bayern (LP Linkebene):

Zur Prüfung der Festigkeit von Bauteilen werden diese einer kontrollierten Zug- oder Druckbelastung ausgesetzt. Das Diagramm zeigt das Resultat solch einer Materialprüfung für einen dünnen Draht.

- a) Was bedeuten die Bezeichnungen auf den Achsen?  
b) Interpretiere den Verlauf des Graphen. Erläutere, was man mit der Formulierung "ein Draht fließt" meint.  
c) Diskutiere die Bedeutung von solchen Versuchen bei der Entwicklung von neuen Materialien und Geräten.

### Materialprüfung an Drähten

- a) Nach oben ist die Kraft angetragen, mit der man am Draht zieht. Nach rechts die relative Dehnung in Prozent.



- b) Zuerst dehnt sich der Draht nur sehr wenig (ist hart). Bei zunehmender Kraft nimmt die Dehnung auf einmal rasch zu. Kurz vor 60 cN wird die Dehnung immer größer obwohl die Kraft kaum noch erhöht wird, der Draht "fließt". Dieser Prozess endet damit, dass der Draht reißt (bei 26% Verlängerung).
- c) Der Bau von Geräten erfordert ein Wissen über die Belastbarkeit der verwendeten Bauteile (z.B. Lift, Seilbahn, Kletterseil). Bei der Entwicklung von neuen Materialien strebt man geringes Eigengewicht und gleichzeitig hohe Belastbarkeit an.



Diese Aufgabe stammt von der leifi-  
website nach einem Vorschlag der Uni  
Essen-Duisburg:

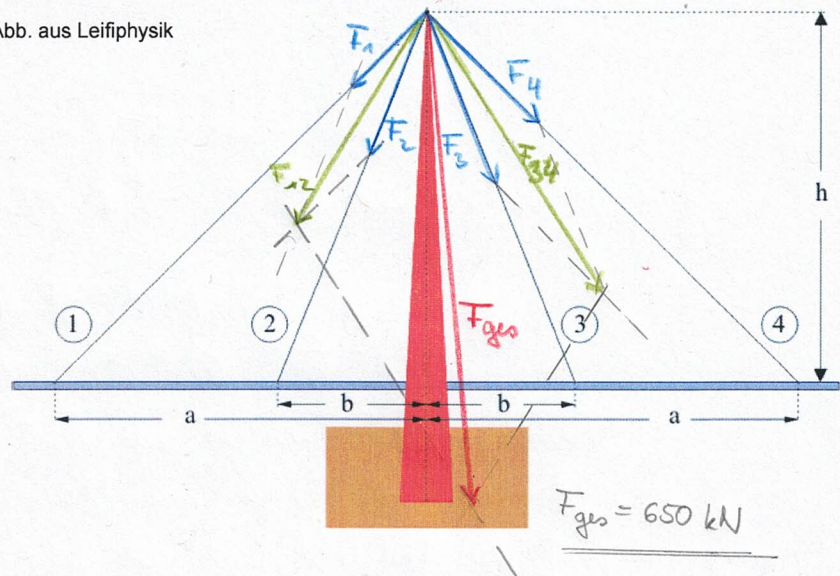
Die Abb. zeigt die Tragekonstruk-  
tion am Pylon einer Brücke.

Die Seile sind mit den Kräften

$F_1 = 140 \text{ kN}$ ,  $F_2 = 200 \text{ kN}$ ,  $F_3 = 240 \text{ kN}$   
und  $F_4 = 200 \text{ kN}$  belastet. Ermittle  
durch Zeichnung Betrag und  
Richtung der Gesamtkraft am  
Pylonkopf. Trage die Kräfte  
zunächst maßstäblich ein, finde  
durch Konstruktion dann die  
Ersatzkräfte  $F_{12}$  und  $F_{34}$  und fasse  
diese schließlich zur Gesamtkraft  
 $F_{\text{ges}}$  zusammen.

### Schrägseilbrücke: Addition von Kräften

Abb. aus Leifiphysik



Die Lösung zu dieser Aufgabe findest  
Du auf Leifiphysik unter Teilgebiet  
Mechanik - Kräfteaddition und  
zerlegung - Gesamtkraft mehrerer  
Kräfte Aufgaben - Schrägseilbrücke.

Diese Aufgabe stammt aus dem  
kurzweiligen und bei Physikern  
berühmten Buch "Epsteins  
Physikstunde": Ein Schwarm  
Fliegen befindet sich in einem  
verschlossenen Glas auf einer  
Waage. Die Waage zeigt das  
größte Gewicht an, wenn die  
Fliegen ...

- auf dem Boden sitzen
- im Glas herumfliegen
- das Gewicht ist in beiden  
Fällen gleich

### Fliegen im Glas

Damit die Fliegen in der Luft bleiben,  
üben sie mit dem Flügelschlag  
eine Kraft nach unten auf die  
Luft aus. Dies führt zu einer  
gleich großen Kraft auf die Fliege  
nach oben (Wechselwirkungsprinzip wie beim Hubschrauber  
in Kap. 1.3). Es spielt also keine Rolle, ob die  
Fliegen am Boden sitzen (Gewichtskraft Glas + Gewichtskraft  
Fliegen) oder im Glas herumfliegen (Gewichtskraft Glas  
+ Kraft, die von der Luft auf den Glasboden ausgeübt  
wird).

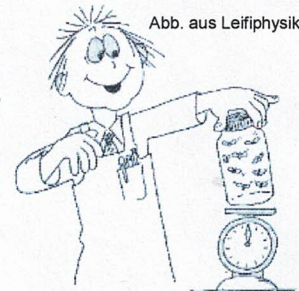


Abb. aus Leifiphysik

### Selbst-Check:

- Kraft und Dehnung
- Addition von Kräften
- Wechselwirkungsprinzip

### Übungsmöglichkeiten:

Eine entsprechende Aufgabe zum Bungee-Sprung findest Du auf Leifiphysik unter Teilgebiet  
Mechanik - Kraft und das Gesetz von Hooke - Gesetz von Hooke Aufgaben -  
Bungeespringer am Gummiseil.