

4. Kraftkonzept

4.1. Allgemeine Eigenschaften einer Kraft

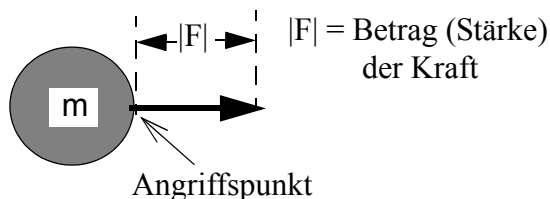
Im Alltag wird der Kraftbegriff in unterschiedlichen Zusammenhängen gebraucht. Jemand hat Kraft, verliert Kraft und ermüdet, schreitet kraftvoll daher u.ä.

In der Physik wird der Kraftbegriff seit Newton in einem klar definierten Sinn gebraucht, um mechanische Vorgänge zu beschreiben und zu verstehen.

Eine so genannte Newtonsche Kraft besitzt im physikalischen Verständnis die folgenden Eigenschaften:

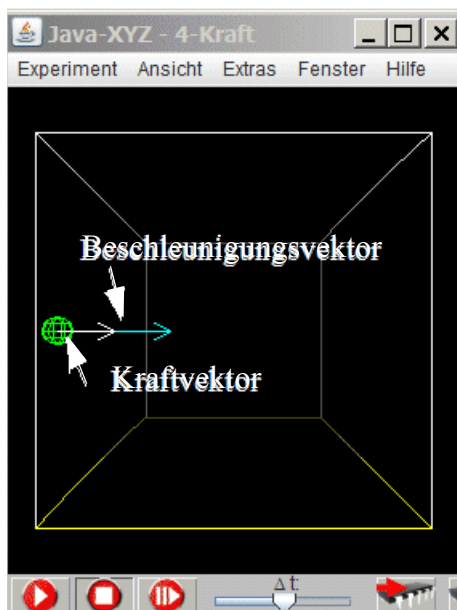
- Eine Kraft gilt als Ursache von Veränderungen, sei es hinsichtlich der Bewegung von Körpern oder hinsichtlich ihrer Form oder ihres Volumens.
- Eine Kraft ist immer das Resultat einer Wechselwirkung zwischen mindestens zwei Körpern. Hieraus folgt, daß eine Kraft niemals allein vorhanden sein, sondern nur paarweise auftreten kann. Diese paarweise auftretenden Kräfte haben stets den gleichen Betrag aber die entgegengesetzte Orientierung.
- Eine Kraft hat neben ihrem Betrag stets eine Richtung mit zwei möglichen Orientierungen, die üblicherweise als positiv oder negativ bezeichnet werden.
- Eine Kraft hat einen Angriffspunkt.

4.2. Kraft als Vektor



Jede Kraft hat zwei Eigenschaften: einen Betrag und eine Richtung. Eine physikalische Größe mit diesen Eigenschaften ist ein Vektor. Ein solcher Vektor wird als Pfeil bildlich dargestellt.

4.3. Kraft und Beschleunigung



Die vorbereitete Simulation "4-kraft" zeigt in Übereinstimmung mit entsprechenden Experimenten die Wirkung einer Kraft auf die Bewegung eines Körper

In der genannten Simulation wird die Kraft simuliert durch die Einwirkung eines elektrischen Feldes in x-Richtung auf ein geladenes Teilchen.

Die Pfeile kennzeichnen die einwirkende Kraft (weiß) und die resultierende Beschleunigung (blau). Die Art der Ladung eines Teilchens (positiv oder negativ) und ihre Größe kann in dem Fenster "Teilchen Inspektor" numerisch eingegeben werden (Abb. 4.4.)

Abb. 4.1. Simulation "4-Kraft" -
Bewegung mit konstanter Beschleunigung

Wie die Simulation eines elektrisches Feldes ermöglicht wird, wird später erläutert.

Wird die Masse m des Teilchens (im "Teilchen Inspektor" Fenster) geändert, so zeigt die Simulation in Übereinstimmung mit der Realität, dass zwischen m und a eine inverse Proportionalität besteht. Wird die Masse verdoppelt, so wird die Beschleunigung halbiert und umgekehrt. Diese Beziehung gilt allgemein und leuchtet auch intuitiv ein: Je mehr Masse ein Körper besitzt, desto schwerer ist er bei Anwendung einer gleich großen Kraft in Bewegung zu setzen.

Mathematisch betrachtet folgt aus einer solchen inversen Beziehung, dass das Produkt von Masse m und Beschleunigung a konstant ist ($m \cdot v = \text{konstant}$).

Das hier gezeigte Verhalten wird durch die im nächsten Abschnitt behandelten Newtonschen Gesetze beschrieben.

4.4. Newtonsche Kraft, Trägheit und das Machsche Prinzip

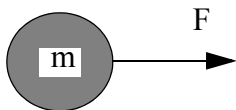
2. Newtonsches Gesetz

Die im vorangegangenen Kapitel aufgestellte Aussage, dass das Produkt von Masse und Beschleunigung bei Einwirkung einer konstanten Kraft konstant ist, wurde experimentell als universell gültig ($m \cdot v = \text{konstant}$) erwiesen, zumindest in all den Fällen, in denen keine extrem hohe Geschwindigkeiten vorkommen.

In der Physik wird das Produkt $m \cdot v$ definiert als Maß einer Kraft. Dies führt zu dem im 17. Jahrhundert von Isaac Newton aufgestellten Gesetz

$$F = m a$$

- F = Summe aller einwirkenden Kräfte
- m = träge Masse
- a = Beschleunigung



In fast allen Lehrbüchern der Physik wird eine solche Situation durch einen einzelnen Vektorpfeil F dargestellt, der an einem Körper der Masse m angreift.

Die tägliche Erfahrung lehrt, daß ein Körper, dessen Geschwindigkeit vergrößert oder verkleinert werden soll, dieser Änderung einen Widerstand entgegengesetzt.

Dieses Widerstandsverhalten wird in der Physik als Trägheit oder träge Masse m bezeichnet und gilt als eine Eigenschaft der Materie.

Als Eigenschaft eines materiellen Körpers kann dieses Widerstandsverhalten jedoch keine Newtonsche Kraft sein, denn eine Newtonsche Kraft ist nur denkbar als Wechselwirkung zweier oder mehrerer Körper. Für die Trägheit als Eigenschaft eines einzelnen Körpers fehlt der wechselwirkende Partner und deshalb wird in traditionellen Lehrbüchern der Physik die Trägheit nicht als Kraft angesehen und somit nicht als Vektor dargestellt. Außerdem kann die Trägheit niemals einen anderen Körper beschleunigen, sie macht sich nur bemerkbar als Reaktion auf eine Beschleunigung. Sie ist also keine Newtonsche Kraft

Machsches Prinzip

Es gibt eine Ausnahme, die auf den Beginn des 20. Jahrhunderts zurückgeht. Zu dieser Zeit verkündete der deutsche Physiker Ernst Mach einige Prinzipien über allgemeine Relativität und äußerte die Idee, daß ein Zusammenhang zwischen der Trägheit eines materiellen Körpers hier auf der Erde und der Masse aller Sterne im Weltraum existieren könnte.

„Die Masse dort beeinflusst die Trägheit hier“ lautete sein Motto.

Diese Idee ist bis heute weder experimentell bewiesen noch widerlegt worden und bleibt somit spekulativ. Sie eröffnet jedoch die spekulative Möglichkeit für die Existenz eines

Wechselwirkungspartners für die Trägheit und macht es somit leichter, das Widerstandsverhalten als eine reale Kraft zu begreifen.

In den folgenden Materialien wird diese Idee der Trägheit als reale Kraft übernommen und in der folgenden Form dargestellt.

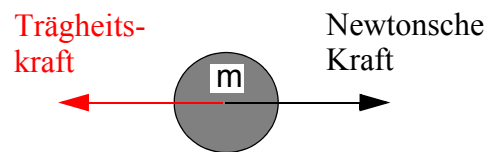


Abb. 4.2.: Visualisierung einer Newtonschen Kraft und einer gleich großen und entgegengesetzt orientierten Trägheitskraft als einer Beschleunigungs-Reaktionskraft.

Bei diesem Vorgehen muß beachtet werden, daß eine Trägheitskraft zwar real ist, aber nicht mit einer Newtonschen Kraft gleichgesetzt werden darf. Letztere kann an einem Körper angreifen und ihn beschleunigen, erstere nicht.

Eine Trägheitskraft ist eine Beschleunigungs-Reaktionskraft, die nur während eines Beschleunigungsvorganges auftritt. Sie kann nicht an einem Körper angreifen und ihn beschleunigen. Wenn jedoch eine Newtonschen Kraft an einem Körper angreift, macht die Trägheitskraft eine Beschleunigung möglich. Sie bietet den erforderlichen Widerstand, ohne den die Newtonsche Kraft auf ein Nichts, eine Art leeren Raum einwirken müßte.

Die folgenden Simulationen zeigen verschiedene beschleunigte Bewegungen und bieten die Möglichkeit, jeweils sowohl die Newtonschen als auch die Trägheitskräfte unabhängig von einander anzeigen zu lassen.

4.5. Trägheitskraft

Mit dem Konzept der Trägheit als einer Beschleunigungs-Reaktionskraft läßt sich die dynamische Situation, in der ein Körper durch eine Newtonsche Kraft beschleunigt wird, interpretieren als ein Gleichgewicht zweier Kräfte, einer Newtonschen Kraft und einer Trägheitskraft - einer Beschleunigungs-Reaktionskraft.

Beide Kräfte lassen sich unabhängig von einander als Vektorpfeile ein- bzw. ausblenden.

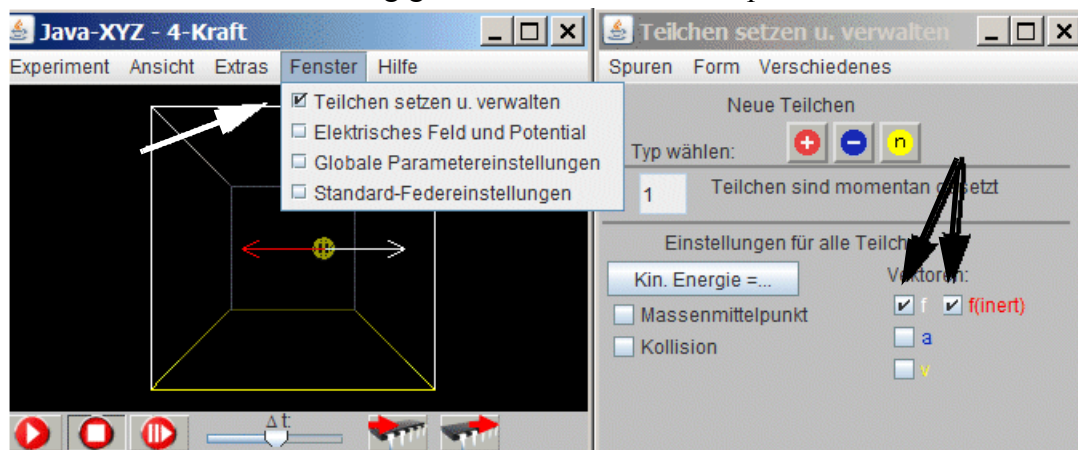


Abb. 4.3.: Simulation "4-Kraft-Trägheit".

Die Visualisierung von einwirkender Newtonschen Kraft und Trägheitskraft erfolgt im Fenster "Teilchen setzen und verwalten", gültig für alle Teilchen.

Die Visualisierung dieser beiden Kräfte kann auch in dem Fenster "Teilchen setzen und verwalten" initiiert werden, allerdings nur gültig für das ausgewählte Teilchen. .

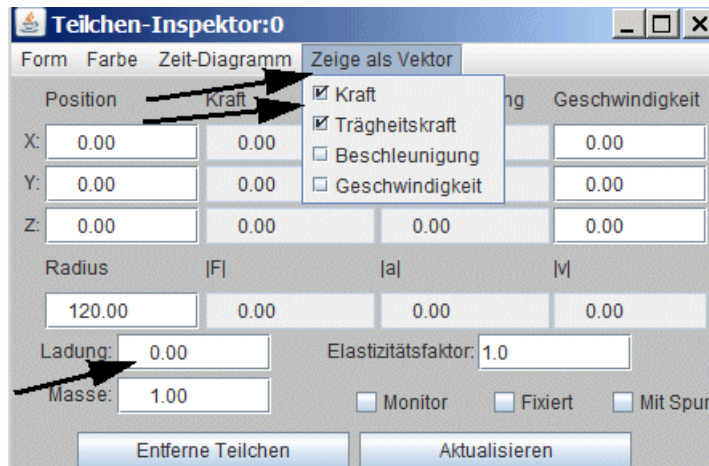


Abb. 4.4.: <Visualisierung einer Newtonischen und einer Trägheitskraft, wirksam nur für das ausgewählte Teilchen

Wie oben schon erwähnt kann eine beschleunigte Bewegung aufgefaßt werden als ein Gleichgewicht zwischen einer einwirkenden Newtonschen Kraft und einer Trägheitskraft als Beschleunigungs-Reaktionskraft. Diese Beschreibung einer solchen Bewegung gilt unabhängig von der Masse des Körpers.

Die Übereinstimmung der Simulation mit dieser Aussage läßt sich durch Änderung der masse oder der Stärke des elektrischen Feldes überprüfen.

Mathematische Beschreibung

Gegeben sei ein Körper der Masse m , an den eine Newtonschen Kraft F angreift und eine Beschleunigung a bewirkt.

Mit dem Konzept von der Trägheit als einer Beschleunigungs-Reaktionskraft gilt für diesen Vorgang in mathematischer Form:

$$F_{\text{Newton}} = - F_{\text{Trägheit}}$$

Es gilt: $F_{\text{Newton}} = m a$ (2. Newtonsches Gesetz)

Daraus folgt: $F_{\text{Trägheit}} = - m a$;

Die Gleichung $F_{\text{Newton}} = - F_{\text{Trägheit}}$ entspricht einem Gleichgewicht, darf aber nicht mit einer statischen oder stationären Situation gleichgesetzt werden, in der zwei Newtonsche Kräfte an einem Körper angreifen.

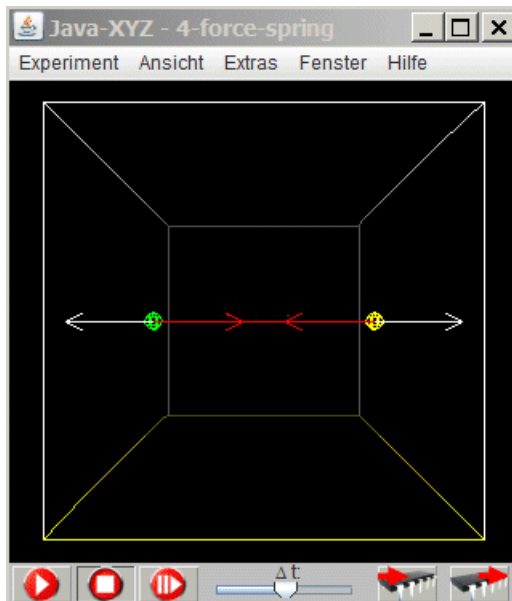
Ist in einem solchen Gleichgewichtsfall die Summe aller angreifenden Newtonschen Kräfte gleich Null, so bleibt der Körper in Ruhe oder bewegt sich gleichförmig geradlinig (1. Newtonsches Gesetz).

Ein Gleichgewicht zwischen einer Newtonschen Kraft und einer Trägheitskraft existiert nur **während des Vorganges der Beschleunigung**.

Mit dem Konzept von der Trägheit als einer Beschleunigungs-Reaktionskraft gilt die einfache Merkregel:

Sowohl im statischen oder stationären als auch im dynamischen Fall gilt immer ein Gleichgewicht und zwar entweder zwischen Newtonschen Kräften oder zwischen einer Newtonschen und einer Trägheitskraft.

4.6. Elastische Wechselwirkung und Trägheitskraft



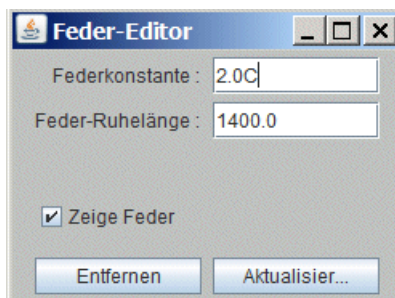
Die vorgegebene Simulation "4-Kraft-Feder" stellt die Bewegung zweier Körper dar, die durch eine elastische Feder miteinander verbunden sind. Wiederum kann das Gleichgewicht zwischen den durch die Feder aufgebracht Kräften und den Trägheitskräften dargestellt werden.

In jedem Augenblick ist die Trägheitskraft F_T als Beschleunigungs-Reaktionskraft gleich groß wie die durch die Feder aufgebrachte Newtonsche Kraft F_N .

Die beiden Kräfte wirken in der selben Richtung aber mit entgegengesetzter Orientierung.
 $F_{\text{Newton}} = - F_{\text{Trägheit}}$

Abb. 4.5. Simulation "Kraft-Feder"

Eine zusammengedrückte Feder wird rot, eine auseinandergezogenen Feder wird blau dargestellt.



Um eine elastische Feder zwischen zwei gesetzten Teilchen zu simulieren, muß bei gedrückter Shift-Taste eines der Teilchen mit der linken Maustaste angewählt und der Mauszeiger bei gedrückter linken Maustaste zu dem zweiten Teilchen bewegt werden. Wird dieser Vorgang über einer schon vorhandenen Feder wiederholt, so öffnet sich das "Feder-Editor"-Fenster in dem die Federkonstante D und Ruhelänge l_0 eingegen werden können.

Abb. 4.6. "Feder Editor"-Fenster

Da die Visualisierung der Trägheitskraft unterdrückt werden kann, ist es jederzeit möglich, den Bewegungsvorgang mit dem Konzept der Trägheit als einer Eigenschaft der Materie zu beschreiben.

Die obige Simulation kann dazu dienen, den Einfluß der Masse der beiden Körper auf die Bewegung zu untersuchen. Die Masse eines Teilchens kann in dem "Teilchen Inspektor" Fenster gesetzt werden. Nähere Erläuterungen folgen im nächsten Kapitel

4.7. Elastische Wechselwirkung - Hooksches Gesetz

Eine Feder, an der keine Kraft angreift, besitzt eine so genannte Ruhelänge l_0 .

Wenn an beiden Enden der Feder zwei gleich große Kräfte angreifen, wird die Feder entweder gedehnt oder gestaucht und ändert ihre Länge zu l .

Auf Grund dieser Längenänderung reagiert die Feder an beiden Enden jeweils mit einer Gegenkraft elastischen Ursprungs $F_{\text{elastisch}}$, die - in bestimmten Grenzen - proportional ist zu zwei Größen:

- der Differenz von l und l_0 .
- einer Konstanten D , die spezifisch für jede Feder angibt, wie weich oder hart die Feder ist. Je größer D desto härter ist die Feder.

Diese Beziehung lautet in mathematischer Form:

$F_{\text{elastisch}} = s D$ ($l - l_0 = s$). Dies ist das so genannte Hooksche Gesetz.

Während der Beschleunigung, die in der obigen Simulation dargestellt wird, ändert sich beständig die Länge der Feder und damit auch die von der Feder aufgebrachte Kraft.

Die Federkraft wirkt stets in eine solche Richtung, daß die Teilchen zu einer so genannten Ruhelage hin beschleunigt werden, in der die Feder ohne Spannung ist.

Je größer die träge Masse m der Körper, je kleiner ist die Beschleunigung durch die Federkraft. Letztere ist ja nicht von der Masse der Körper abhängig.

Daraus folgt, daß bei einer Vergrößerung der Masse der Körper die Dauer für eine Hin- und Herbewegung vergrößert wird.

4.8. Kraft und konstante Geschwindigkeit

Bewegt sich ein Körper mit konstanter Geschwindigkeit, so lehrt uns die tägliche Erfahrung, daß hierzu eine konstante, antreibende Kraft notwendig ist. Wollen zum Beispiel Autofahrer ihre Geschwindigkeit verändern, dann müssen sie die Antriebskraft des Motors verändern, in dem sie entweder mehr Gas geben oder den Fuß vom Gashebel nehmen.

Daraus könnte man schließen: Um eine konstante Geschwindigkeit aufrecht zu halten, benötigt man eine konstante Antriebskraft. Weiterhin könnte man folgern: Ohne eine Antriebskraft kommt jeder Körper zur Ruhe.

Aus physikalischer Sicht sind diese Folgerungen problematisch, denn sie stehen im Widerspruch zu einem grundlegenden Gesetz der Mechanik, dem 2. Newtonschen Gesetz.

Dieses besagt, daß eine konstante Kraft eine konstante Beschleunigung bewirkt, eine Bewegung mit linear ansteigender oder abnehmender Geschwindigkeit, je nach Orientierung der Kraft.

Daraus folgt, daß wenn die Summe aller auf einen Körper einwirkenden Kräfte gleich Null ist, dieser Körper keine Beschleunigung erfährt, sondern seine einmal vorhandene Geschwindigkeit unverändert beibehält.

Die folgenden Videos zeigen Vorgänge aus dem Alltag, in denen sich die unterschiedlichsten Körper mit konstanter Geschwindigkeit bewegen.

In allen Fällen treten immer mehrere Kräfte auf. Aus der Tatsache, daß die Geschwindigkeit konstant ist, kann stets gefolgert werden, daß die Summe aller Kräfte gleich Null ist.

Auto auf einer Landstraße <http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/vehicle.htm>

Gleitendes Flugzeug <http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/flugzeug.htm>

Schiff in einer Hafeneinfahrt <http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/schiff.htm>

Boot auf einem Fluß <http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/boot.htm>

Fallschirmspringer am offenen Fallschirm

<http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/fallschirm.htm>

Im Wind treibender Ballon <http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/ballon.htm>

In einer Flüssigkeit aufsteigende Blasen

<http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/blasen.htm>

Schlitten auf einer Luftkissenbahn <http://www.astrophysik.uni-kiel.de/~hhaertel/CGA/Flv/luftkissen.htm>