

Zusammenfassung
Dynamik

Rafael Ostertag

5. Dezember 2004

Zusammenfassung

Das vorliegende Dokument gibt eine Zusammenfassung der Kapitel 10 bis 15.3 in [PHYSIK1] wieder. Es versucht ausführlicher als die bereits in [PHYSIK1] enthaltene Zusammenfassung zu sein, und doch den Inhalt kompakter zu behandeln als die einzelnen Kapitel des Lehrmittels selbst.

Im Kapitel 6 dieses Dokuments sind alle relevanten Gleichungen des Stoffes nochmals aufgeführt und kurz erläutert.

An dieser Stelle möchte ich noch Stefan Guggenbühl für das Korrekturlesen und die Ratschläge danken.

Inhaltsverzeichnis

1 Kräfte	2
1.1 Die Federkraft	3
1.2 Die Gewichtskraft	4
1.3 Die Normalkraft	4
1.4 Die Reibungskraft	5
2 Kraftwirkungsgesetz (2. Newton'sche Gesetz)	6
3 Trägheitsgesetz (1. Newton'sches Gesetz)	7
4 Wechselwirkungsgesetz (3. Newton'sches Gesetz)	8
5 Kräfte bei geradlinigen Bewegungen	9
5.1 Der freie Fall	9
5.2 Die Vollbremsung	9
5.3 Schiefe Kräfte	11
6 Gleichungen	15
6.1 Die Gewichtskraft	15
6.2 Federkraft	15
6.3 2. Newton'sches Gesetz	15
6.3.1 2. Newton'sches Gesetz (Betragsmässig)	15
6.4 Der freie Fall	16
6.5 Schiefe Kräfte	16
Literatur	17

Abbildungsverzeichnis

1	Eigenschaften der Kraft	2
2	F_F - y -Diagramm der Federkraft: Mit verschiedenen Federkonstanten D	4
3	Kräfte die auf das Auto bei einer Vollbremsung wirken.	9
4	Schiefe Kraft	12
5	Zerlegung einer schiefen Kraft in zwei Kräfte	12
6	Zerlegung einer schiefen Kraft in zwei Kraftkomponenten	14

Tabellenverzeichnis

1	Reibungszahlen für verschiedene Situationen	5
---	---	---

1 Kräfte

In der Physik wird der Begriff “Kraft” analog verwendet wie im Alltag. Bei Kräften interessiert uns besonders ihre Wirkung.

Deformierende und beschleunigende Kräfte haben wichtige Gemeinsamkeiten:

- Wenn keine Kraft wirkt, so verändert sich auch nichts an der Form oder am Bewegungszustand eines Körpers. Anders herum formuliert: *Kräfte sind Ursache von Veränderungen.*
- Eine Kraft wirkt immer auf einen Körper und geht immer von einem Körper aus (siehe Abbildung 1).

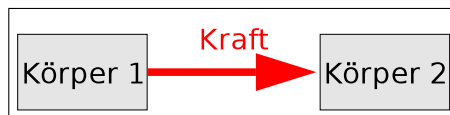


Abbildung 1: Eigenschaften der Kraft

Für die Wirkung einer Kraft gilt:

- Eine Kraft wirkt immer von einem Körper auf einen anderen Körper.¹
- Wirken Kräfte auf einen Körper, so wird er beschleunigt oder deformiert.
- Wirkt keine Kraft auf einen Körper, wird er weder deformiert noch beschleunigt.

Kräfte kann man messen, indem man die Dehnung einer geeichten Federwaage abliest. Die SI-Einheit heisst Newton (abgekürzt N). 1 N entspricht etwa dem Gewicht von 100 g.

Eine Kraft ist vollständig beschrieben, wenn man ihre Stärke, ihre Richtung und ihren Angriffspunkt kennt.

Eine Kraft kann durch einen ortsgebundenen Kraft-Vektor \vec{F} dargestellt werden:²

- Die Richtung des Kraft-Vektors \vec{F} stellt die Richtung der Kraft dar.
- Die Länge (Betrag) des Kraft-Vektors \vec{F} stellt die Stärke der Kraft dar.

¹Gilt nur in der Mechanik – in der Elektrizitätslehre können Felder eine Kraftwirkung erzeugen (Magnetfeld).

²Eine physikalische Grösse, die nicht allein durch ihre Stärke charakterisiert ist, sondern auch noch einen Richtungssinn hat, ist eine vektorielle Grösse. Die Kraft wird deshalb mithilfe von Vektoren, so genannten Kraft-Vektoren \vec{F} dargestellt. Man bezeichnet Vektoren mit einem ortsgebundenen Anfangspunkt als ortsgebundene Vektoren.

- Der Anfangspunkt des Kraft-Vektors \vec{F} stellt den Angriffspunkt der Kraft dar.

Um zu wissen, welche Wirkung mehrere Kräfte auf einen Körper haben, zählen wir alle Kräfte, die auf den Körper wirken, zur resultierenden Kraft F_{res} zusammen. Dazu denken wir uns alle Kräfte am *Massenpunkt* angreifend. Wir berechnen die resultierende Kraft F_{res} , indem wir die Kraft-Vektoren aller Kräfte vektoriell zusammenzählen:

$$F_{res} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n$$

Wir berücksichtigen also dabei nicht, dass Kräfte meist an verschiedenen Orten am Körper angreifen. Der Nachteil dieser Vereinfachung: Wir können nicht sagen, ob ein Körper durch die ansetzenden Kräfte in Drehung versetzt wird.

Bei der Berechnung der resultierenden Kraft darf man dabei nur Kräfte zusammenzählen, die auf den gleichen Körper wirken. Deshalb sollten wir uns immer erst klar machen, welcher Körper betrachtet wird, bevor wir überlegen, welche Kräfte zur resultierenden Kraft beitragen.

Wenn die resultierende Kraft auf einen Körper null ist, so wird der Körper nicht beschleunigt. Wenn die resultierende Kraft auf einen Körper ungleich null ist, so wird er beschleunigt.

Für die unter dieser Vereinfachung berechnete resultierende Kraft F_{res} gilt:

- Die Stärke der resultierenden Kraft ist durch die Länge³ von F_{res} gegeben.
- Die Richtung der resultierenden Kraft ist durch die Richtung von F_{res} gegeben.
- Wenn die Kräfte, die summiert wurden, eigentlich nicht den gleichen Angriffspunkt haben, bleibt der wahre Angriffspunkt der resultierenden Kraft F_{res} *unbekannt*.

1.1 Die Federkraft

Das Hooke'sche Gesetz beschreibt die Kraft, die elastische Körper bei Dehnung oder Stauchung ausüben. Die Federkraft F_F einer Schraubenfeder ist proportional zur Dehnung oder Stauchung y (siehe auch Kapitel 6 auf Seite 15):

$$F_F = D \cdot y$$

Dabei ist D die Federkonstante (siehe Abbildung 2 auf der nächsten Seite). Sie beschreibt die Steifheit der Feder oder allgemein die Steifheit des elastischen Körpers.

³Der Betrag.

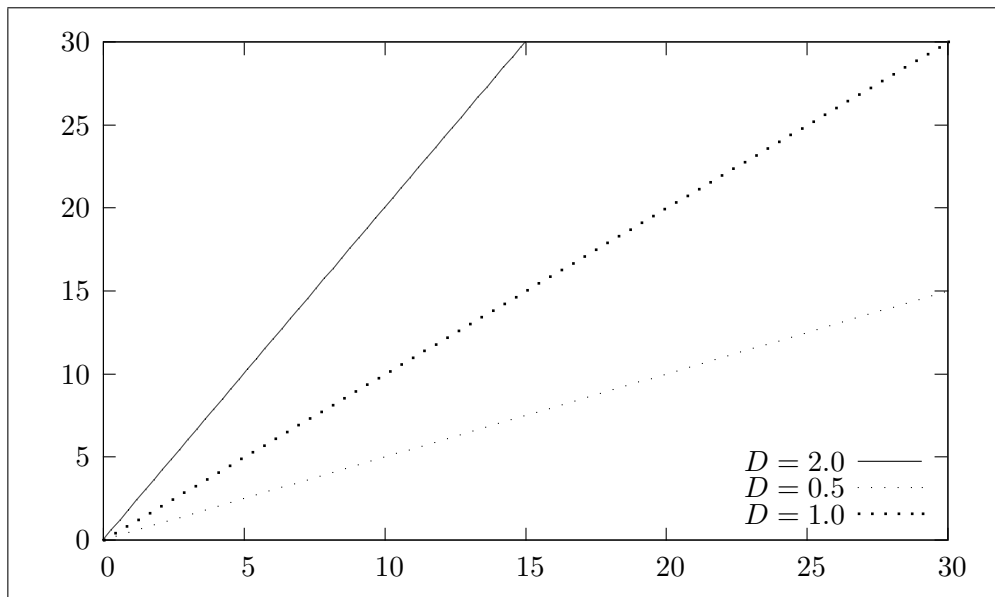


Abbildung 2: F_F - y -Diagramm der Federkraft: Mit verschiedenen Federkonstanten D .

Bei Stauchungen ist die Grösse y die Stauchung. Auch hier gilt das Hooke'sche Gesetz für die Federkraft.

1.2 Die Gewichtskraft

Die Gewichtskraft F_G , die auf jeden Körper wirkt, kommt auf der Erdoberfläche durch die Erdanziehung zustande. Die Gewichtskraft ist an jedem Punkt auf der Erdkugel immer gegen den Erdmittelpunkt gerichtet. Wenn man die Stärke der Gewichtskraft eines Körpers genau misst, zeigt sich jedoch, dass sie auf der Erde nicht an jedem Ort gleich stark ist.

Die Gewichtskraft F_G lässt sich durch folgende Gleichung ermitteln:

$$F_G = m \cdot g$$

Dabei ist g die Fallbeschleunigung und wirkt auf der Erde mit $9.81 \frac{m}{s^2}$.

Die Masse ist eine reine Körpereigenschaft und ist deshalb überall gleich gross. Die Masse wird in kg angegeben und ist eine skalare Grösse.⁴

1.3 Die Normalkraft

In Situationen, wo ein Körper auf einer horizontalen Unterlage liegt, wird der Körper von der Gewichtskraft nach unten gezogen. Die Normalkraft sorgt

⁴Skalare sind ungerichtete physikalische Grössen, die durch eine Zahl und eine Einheit vollständig beschrieben werden, z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit Energie, Leistung. (gemäss [WEB1])

hier dafür, dass der Körper nicht nach unten beschleunigt wird. Bei horizontalen Unterlagen, bei denen die Normalkraft die Gewichtskraft *kompensieren* muss, gilt für die Normalkraft:

$$F_N = F_G$$

Die Normalkraft der Unterlage hält Körper in Ruhe. Sie ist stets rechtwinklig zur Unterlage.

1.4 Die Reibungskraft

Wenn zwei Körper Fläche an Fläche aneinander entlang gleiten, wirkt eine bremsende Reibungskraft. Paradoxe Weise ist die Reibung aber auch nötig, damit alltägliche Bewegungen wie "Gehen" erst zustande kommen können.

Die Stärke der Reibungskraft beim Gleiten, die Gleitreibung also, berechnet man mit dem Reibungsgesetz:

$$F_R = \mu_G \cdot F_N$$

F_N ist dabei Normalkraft. Die Gleitreibungszahl μ_G ist eine dimensionslose Zahl⁵ (siehe Tabelle 1). Sie hängt von der Beschaffenheit der beiden reibenden Flächen ab.

Wenn die Kontaktflächen noch nicht aneinander gleiten, ist die maximal mögliche Haftreibung:

$$F_R = \mu_H \cdot F_N$$

Ganz allgemein versucht die Haftreibungskraft so lange wie möglich den Zustand der Ruhe beizubehalten. Die Haftreibungskraft passt ihre Stärke dabei der Zugkraft so an, dass Gleichgewicht herrscht.

Die Richtung der Reibungskraft ist immer so, dass sie Bewegungen verhindert oder bremst.

Berührungsflächen	μ_G	μ_H
Holz auf Holz	0.4	0.6
Stahl auf Stahl	0.1	0.15
Stahl auf Eis	0.014	0.027
Pneu auf trockener Asphaltstrasse	0.6	1.0

Tabelle 1: Reibungszahlen für verschiedene Situationen

⁵Eine Zahl ohne Einheit.

2 Kraftwirkungsgesetz (2. Newton'sche Gesetz)

Soll ein Körper eine Beschleunigung erfahren, so ist dafür eine Kraft nötig:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Für den Betrag der Kraft und den Betrag der Beschleunigung gilt entsprechend:

$$F = m \cdot a$$

Das Kraftwirkungsgesetz steht im Zentrum der Mechanik. Es gibt an, welche Wirkung eine Kraft auf die Beschleunigung eines Körpers hat.

Wenn mehrere Kräfte auf einen Körper wirken, so steht im Kraftwirkungsgesetz die resultierende Kraft:

$$\vec{F}_{res} = m \cdot \vec{a}$$

Die Beschleunigung findet immer in die Richtung der resultierenden Kraft statt.

Betragsmässig lautet das Kraftwirkungsgesetz:

$$F_{res} = m \cdot a$$

Das Kraftwirkungsgesetz kann auf zwei Arten verwendet werden:

- Wenn wir die wirkenden Kräfte kennen, erlaubt uns das Kraftwirkungsgesetz den Bewegungsablauf zu berechnen.
- Wenn wir den Bewegungsablauf kennen, erlaubt uns das Kraftwirkungsgesetz die resultierende Kraft zu berechnen.

In der Dynamik benutzen wir immer Bezugssysteme, die unbeschleunigt sind, das heisst, wir betrachten die zu analysierende Situation immer in einem *Inertialsystem*.

3 Trägheitsgesetz (1. Newton'sches Gesetz)

Das Trägheitsgesetz beschreibt einen wichtigen *Spezialfall* des Kraftwirkungsgesetz, nämlich:

$$\vec{F}_{res} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{a} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v} = \text{konstant}$$

- Wenn die resultierende Kraft null ist, wird ein Körper nicht beschleunigt, behält also seine Geschwindigkeit bei.
- Bei einem Körper, der sich mit konstanter Geschwindigkeit, d.h. unbeschleunigt bewegt, heben sich alle Kräfte gegenseitig auf, d.h., die resultierende Kraft auf ihn ist null.

Der “Grund” für das Trägheitsgesetz: Körper sind träge, d.h. Körper verändern nicht ohne äussere Einflüsse ihre Geschwindigkeit.

Das Trägheitsgesetz bespricht eine Eigenschaft der *Masse*: Körper, auf die keine Kraft wirkt, behalten ihren Bewegungszustand bei, Körper sind also *träge*. Die Messgrösse für die *Trägheit* ist die Masse. Je “massiger” ein Körper ist, umso schwieriger lässt sich seine Bewegung ändern.

4 Wechselwirkungsgesetz (3. Newton'sches Gesetz)

“Actio gleich Reactio”: Geht von einem Körper 1 eine Kraftwirkung \vec{F}_1 auf einen anderen Körper 2 aus, so wirkt gleichzeitig immer eine Gegenkraft \vec{F}_2 von Körper 2 auf Körper 1. Dabei gilt:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Kraft und Gegenkraft wirken immer auf *verschiedene* Körper.

Die Beschleunigung, die aus Kraft und Gegenkraft resultieren, sind meist nicht gleich, da Körper 1 (m_1) und Körper 2 (m_2) meist nicht die gleiche Masse haben.

Das Wechselwirkungsgesetz besagt also, dass Kräfte nur als *Wechselwirkung* auftreten, d.h., dass Kräfte immer paarweise auftreten. Kraft und Gegenkraft wirken aber immer auf verschiedene Körper. Deshalb heben sich Kraft und Gegenkraft nicht auf. Ferner sind Kraft und Gegenkraft entgegengesetzt gerichtet.

5 Kräfte bei geradlinigen Bewegungen

5.1 Der freie Fall

Bei der Fall-Bewegung ist die Gewichtskraft \vec{F}_G die beschleunigende Kraft. Die Gewichtskraft eines Körpers der Masse m ist:

$$\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$$

Der Betrag der Fallbeschleunigung hat bei uns den Wert $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$.

Den Begriff der Masse haben wir bisher in zwei unterschiedlichen Zusammenhängen angetroffen:

- Im Kraftwirkungsgesetz beschreibt die Masse die Trägheit des betrachteten Körpers. Hier bestimmt die Masse, wie stark sich der Körper der Beschleunigung widersetzt.⁶
- In der Gleichung für die Gewichtskraft beschreibt die Masse die Schwere des Körpers. Hier bestimmt die Masse, wie stark der Körper von der Erde angezogen wird.⁷

5.2 Die Vollbremsung

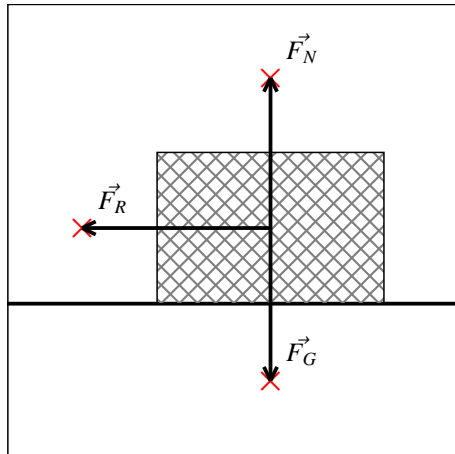


Abbildung 3: Kräfte die auf das Auto bei einer Vollbremsung wirken.

Betrachten wir ein Auto, das eine Vollbremsung macht. Auf das Auto wirken bei einer Vollbremsung die Gleitreibungskraft \vec{F}_R , die Gewichtskraft

⁶“Träge Masse”.

⁷“Schwere Masse”.

\vec{F}_G und die Normalkraft \vec{F}_N . Die resultierende Kraft ist die vektorielle Summe dieser drei Kräfte:

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_R + \vec{F}_G + \vec{F}_N$$

Da das Auto langsamer wird, muss die resultierende Kraft beim Bremsen entgegengesetzt zur Fahrtrichtung wirken. Der Abbildung 3 auf der vorherigen Seite entnehmen wir, dass \vec{F}_N und \vec{F}_G rechtwinklig zur resultierenden Kraft stehen. Diese beiden Kräfte heben sich gegenseitig auf:

$$\vec{F}_G + \vec{F}_N = \vec{0} \quad (1)$$

Die Gleichung (1) bedeutet aber, dass die Gleichung für die resultierende Kraft vereinfacht werden kann:

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_R$$

Wir überlegen uns also immer zuerst, in welche Richtung die resultierende Kraft zeigt. Anschliessend überlegen wir uns, welches die zur resultierenden Kraft parallelen Kräfte und welches die dazu rechtwinkligen Kräfte sind. Wie nennen diese Kräfte *p-Kräfte* und *r-Kräfte*. Es gilt dann immer:

- Die vektorielle Summe der p-Kräfte = \vec{F}_{res} .
- Die vektorielle Summe der r-Kräfte = $\vec{0}$.

Beim Summieren können wir dann die Richtung der Kräfte statt mit Vektoren einfach mit Vorzeichen berücksichtigen.⁸ Bei den p-Kräften steht das Plus-Zeichen für Kräfte in Richtung der resultierenden Kraft, das Minus-Zeichen steht für die entgegengesetzten Kräfte.⁹

Bei der Vollbremsung bedeutet das für die p-Kräfte: Die bremsende Reibungskraft ist gleich der resultierenden Kraft. Wir erhalten somit die *p-Gleichung*:¹⁰

$$F_{res} = F_R$$

Bei einer Vollbremsung bedeutet das für die r-Kräfte: Die Gewichtskraft minus die Normalkraft ist $0N$. Wir erhalten somit die *r-Gleichung*:¹¹

$$F_G - F_N = 0N$$

Für die Normalkraft gilt wie schon im Kapitel 1.3 auf Seite 4 erwähnt:

$$F_N = F_G = m \cdot g$$

⁸In beiden Summen kommen jeweils nur Kräfte in die gleiche oder in entgegengesetzte Richtung vor.

⁹Bei den r-Kräften ist nicht wichtig, in welche Richtung Plus und Minus festgelegt werden. Einmal festgelegt muss man sich aber für alle r-Kräfte daran halten.

¹⁰Die Gleichung für die p-Kräfte.

¹¹Die Gleichung für die r-Kräfte.

Die Reibungskraft F_R ist dann:

$$F_R = \mu_G \cdot F_N = \mu_G \cdot m \cdot g$$

Somit haben wir die resultierende Kraft F_{res} , die auf das Auto während einer Vollbremsung wirkt:

$$F_{res} = F_R = \mu_G \cdot m \cdot g$$

Berechnung der geradlinigen, gleichmässig beschleunigten Bewegung in Stichworten:

1. Skizze der Situation anfertigen. Massenpunkt des Körpers einzeichnen.
2. Welche Kräfte wirken auf den Körper? Alle Kraft-Vektoren beim Massenpunkt einzeichnen.
3. Kraft-Vektor der resultierenden Kraft in Skizze einzeichnen.
4. Summe der p-Kräfte = F_{res} . Summe der r-Kräfte = 0.
5. Gleichung für die p-Kräfte nach der resultierenden Kraft F_{res} auflösen.
6. Mit dem Kraftwirkungsgesetz den Betrag der Beschleunigung $a = \frac{F_{res}}{m}$ berechnen.
7. Kinematisch den Ort s aus der Beschleunigung a berechnen. Dabei Richtung von a mit dem Vorzeichen berücksichtigen.

5.3 Schiefe Kräfte

Nach dem Prinzip “Gleiche Kraft bedeutet gleiche Wirkung” können wir die Kraft \vec{F} (siehe Abbildung 4 auf der nächsten Seite) durch die beiden Kräfte \vec{F}_{\parallel} und \vec{F}_{\perp} , wie Abbildung 5 auf der nächsten Seite zeigt, ersetzen. Man nennt diese Zerlegung der Kraft in zwei Teilkräfte: *Komponentenzerlegung* der Kraft. Die *Kraftkomponenten* \vec{F}_{\parallel} und \vec{F}_{\perp} nennt man *Ersatzkräfte* für die Kraft \vec{F} .

Betrachten wir das Dreieck aus den drei Kraft-Vektoren \vec{F}_{\parallel} , \vec{F}_{\perp} und \vec{F} in Abbildung 6 auf Seite 14. Es handelt sich um ein rechtwinkliges Dreieck. \vec{F}_{\perp} ist die Länge der Gegenkathete, \vec{F}_{\parallel} ist die Länge der Ankathete und \vec{F} die Länge der Hypotenuse:

$$\sin \alpha = \frac{F_{\perp}}{F}$$

$$\cos \alpha = \frac{F_{\parallel}}{F}$$

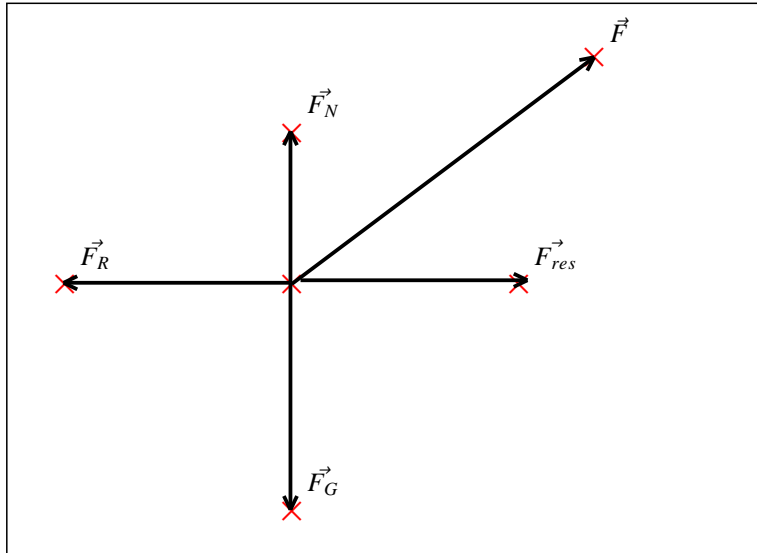


Abbildung 4: Schiefe Kraft

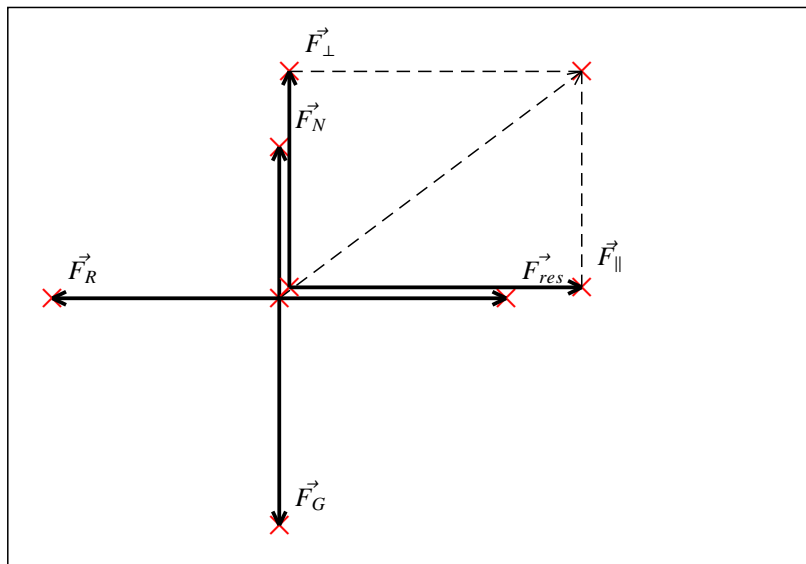


Abbildung 5: Zerlegung einer schiefen Kraft in zwei Kräfte

Für die Stärke der Ersatzkräfte gilt:

$$F_{\perp} = F \cdot \sin \alpha$$

$$F_{\parallel} = F \cdot \cos \alpha$$

Eine Kraft, die schief zur resultierenden Kraft wirkt, wird durch eine parallele Kraft \vec{F}_{\parallel} und eine rechtwinklige Kraft \vec{F}_{\perp} ersetzt. Dies nennt man Komponentenzerlegung einer Kraft.

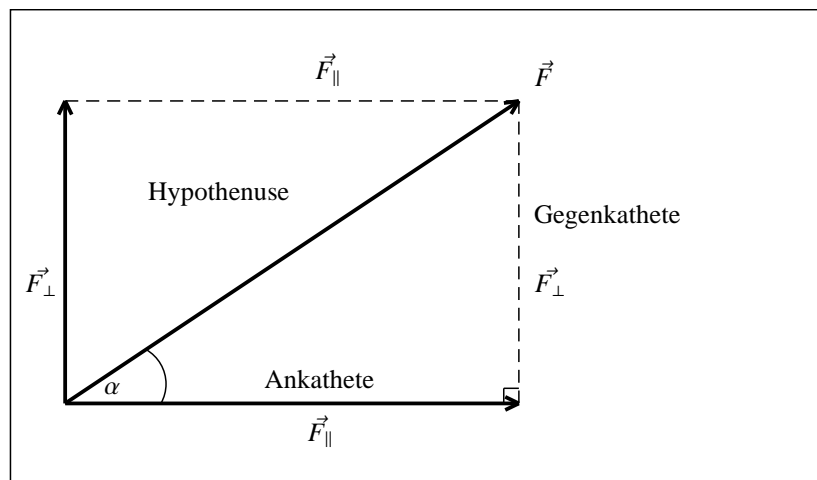


Abbildung 6: Zerlegung einer schiefen Kraft in zwei Kraftkomponenten

6 Gleichungen

6.1 Die Gewichtskraft

$$F_G = m \cdot g \quad (2)$$

F_G Gewichtskraft in N .

m Masse in kg .

g Beschleunigung der Erdanziehung ($9.81 \frac{m}{s^2}$).

6.2 Federkraft

$$F_F = D \cdot y \quad (3)$$

F_F Federkraft in N .

D Die Proportionalitätskonstante D nennt man *Federkonstante*. Eine grosse Federkonstante D bedeutet eine harte Feder. Aus der Definition ergibt sich für die Federkonstante die Einheit $\frac{N}{m}$.

y Die Strecke, um die die Feder gedehnt ist.

6.3 2. Newton'sches Gesetz

Wenn mehrere Kräfte auf den Körper wirken, so muss in den Gleichungen (4) und (5) die Kraft F durch die resultierende Kraft F_{res} ersetzt werden.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (4)$$

\vec{F} Kraft-Vektor in N .

m Masse in kg .

\vec{a} Beschleunigungs-Vektor in $\frac{m}{s^2}$.

6.3.1 2. Newton'sches Gesetz (Betragsmässig)

$$F = m \cdot a \quad (5)$$

F Kraft in N .

m Masse in kg .

a Beschleunigung in $\frac{m}{s^2}$.

6.4 Der freie Fall

Die Beschleunigung der Fallbewegung ist konstant, nämlich $a = g = 9.81 \frac{m}{s^2}$. Wenn nur die Gewichtskraft F_G wirkt, so ist die resultierende Kraft $F_{res} = F_G$ und das Kraftwirkungsgesetz (siehe Gleichung (5)) lautet demnach:

$$F_G = m \cdot g \quad (6)$$

F_G Gewichtskraft in N .

m Masse in kg .

g Beschleunigung der Erdanziehung ($9.81 \frac{m}{s^2}$).

Damit liest sich das Kraftwirkungsgesetz so: Die Gewichtskraft eines Körpers ist die Masse des Körpers mal die Fallbeschleunigung. Wir haben die Gleichung für die Gewichtskraft gefunden.

6.5 Schiefe Kräfte

$$\vec{F} = \vec{F}_{\parallel} + \vec{F}_{\perp} \quad (7)$$

Für die Stärke der Ersatzkräfte gilt:

$$F_{\perp} = F \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

$$F_{\parallel} = F \cdot \cos \alpha \quad (9)$$

\vec{F} Kraft-Vektor der schiefen Kraft.

\vec{F}_{\parallel} Kraft-Vektor der parallelen Kraft.

\vec{F}_{\perp} Kraft-Vektor der rechtwinkligen Kraft.

Wir ersetzen eine schiefe Kraft \vec{F} durch eine parallele Kraft \vec{F}_{\parallel} und eine rechtwinklige Kraft \vec{F}_{\perp} geeigneter Stärke.

Literatur

- [PHYSIK1] Urs Mürset und Thomas Dumm, *Physik 1*, Lerntext, Aufgaben mit kommentierten Lösungen und Kurztheorie, 1. Auflage 2002, Compendio Bildungsmedien AG, Zürich, ISBN 3-7155-9041-6
- [WEB1] Institut für Medizinische Physik und Biostatistik, Vet. Univ. Wien, *Physikalische Basisgrößen und abgeleitete Größen*, Grundlagen der Medizinischen Physik, <http://i115srv.vu-wien.ac.at/physik/ws95/w9521dir/w9521110.htm>

Index

- Angriffspunkt, 2
- Ersatzkräfte, 11
- Federkonstante, 3, 15
- Gewichtskraft
 - Gleichung, 16
 - Kompensation, 5
- Haftreibungskraft, 5
- Hooke, *siehe* Hooke'sches Gesetz
- Hooke'sches Gesetz, 3
- Inertialsystem, 6
- Komponentenzerlegung, 11, 13
- Kraft
 - beschleunigende, 2
 - deformierende, 2
 - parallele, 16
 - rechtwinklige, 16
 - resultierende, 3, 6
- Kraftkomponenten, 11
- Masse, 4
- p-Gleichung, 10
- p-Kraft, 10
- r-Gleichung, 10
- r-Kraft, 10
- Reibung
 - Gleit-, 5
 - Haft-, 5
- Reibungsgesetz, 5
- Wechselwirkungsgesetz, 8