



Lernunterlage

Fachgebiet: Fachbezogenen Grundlagen

Titel: Mechanik

Ausgabe: 01.05

Gliederungsziffer: 2.1.2

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Die Physik mit ihrem Teilgebiet Mechanik.....	4
2.1	Die Physik	4
2.2	Die Mechanik	5
2.3	Physikalische Größen und Einheiten	5
3	Die Masse und die Kraft.....	7
3.1	Die Masse und ihre Messung.....	7
3.2	Die Kraft und ihre Wirkungen	10
3.3	Die Kraft als Vektor	10
3.4	Die graphische Darstellung von Kräften.....	11
3.5	Das Zusammenwirken mehrerer Kräfte	12
3.5.1	Gleichgerichtete Kräfte (Additionsverfahren)	12
3.5.2	Entgegengesetzt gerichtete Kräfte (Subtraktionsverfahren).....	13
3.5.3	Gleichgewicht von Kräften	14
3.5.4	Das Kräfteparallelogramm.....	16
	Die Kräftezerlegung	17
3.5.6	Anwendungen: Das Anschlagen von Lasten.....	17
3.6	Die Gewichtskraft (Schwerkraft).....	21
3.7	Die Reibungskraft	22
3.8	Die Newtonschen Axiome	24
4	Einfache Maschinen.....	27
4.1	Der Hebel und das Hebelgesetz	27
4.2	Die feste Rolle.....	30
4.3	Die lose Rolle.....	31
	Der Flaschenzug	32
4.5	Die hydraulische Presse	35
5	Quellennachweis	37

1 Einleitung

Bei der Betrachtung der Tätigkeiten der Feuerwehr fällt auf, dass sie neben der Brandbekämpfung eine Vielzahl weiterer Einsatzaufgaben zu erfüllen hat. So hat die Feuerwehr nach den geltenden Gesetzen bei Notständen und Notlagen, welche nicht im Rahmen der Selbsthilfe beseitigt werden können, Hilfe zu leisten, insbesondere dann, wenn entsprechende Feuerwehrfachkenntnisse und besondere technische Mittel erforderlich sind.

Die Feuerwehr-Dienstvorschrift 13/1 („Die Gruppe im technischen Hilfeleistungseinsatz“) definiert die „Technische Hilfeleistung“ als Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren für Leben, Gesundheit und Sachwerte, die aus Explosionen, Überschwemmungen, Unfällen und ähnlichen Ereignissen entstehen, und mit der zusätzlichen Beladung zur Durchführung technischer Hilfeleistung des LF 16 bzw. der entsprechenden Beladung des LF 8 oder der technischen Ausrüstung von Rüst- und Gerätewagen durchgeführt werden.

Die Einsatzstatistiken der vergangenen Jahre belegen, dass die Einsatzzahlen für die Bekämpfung von Schadenfeuer rückläufig sind, während die Feuerwehr immer häufiger zur Leistung von technischer Hilfe ausrückt.

Die Tätigkeitsbereiche der technischen Hilfeleistung sind sehr vielfältig und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Einsätze zur Rettung und Bergung eingeklemmter Personen bei Verkehrs- oder anderen Arbeitsunfällen
- Befreiung von Personen aus Aufzügen
- Befreiung von Tieren aus Notlagen
- Bergung toter Personen
- Hilfeleistung bei Gasaustritt
- Beseitigung von Ölschäden
- Bergung von Fahrzeugen nach Unfällen
- Wasserunfälle
- Öffnung von Türen
- Einsätze zur Beseitigung von Sturmschäden - usw.

Um diese oft schwierigen Einsätze adäquat durchführen zu können, muss jeder Feuerwehrangehörige einen soliden Grundstock an Kenntnissen aus einer Reihe sachbezogener Grundlagenfächer stets präsent haben. Die Mechanik stellt diesbezüglich einen besonders wichtigen Teilbereich dar.

Diese Arbeit soll in die Grundlagen der Mechanik einführen, indem theoretische physikalische Zusammenhänge mit praxisorientierten (Einsatz-) Beispielen verdeutlicht werden.

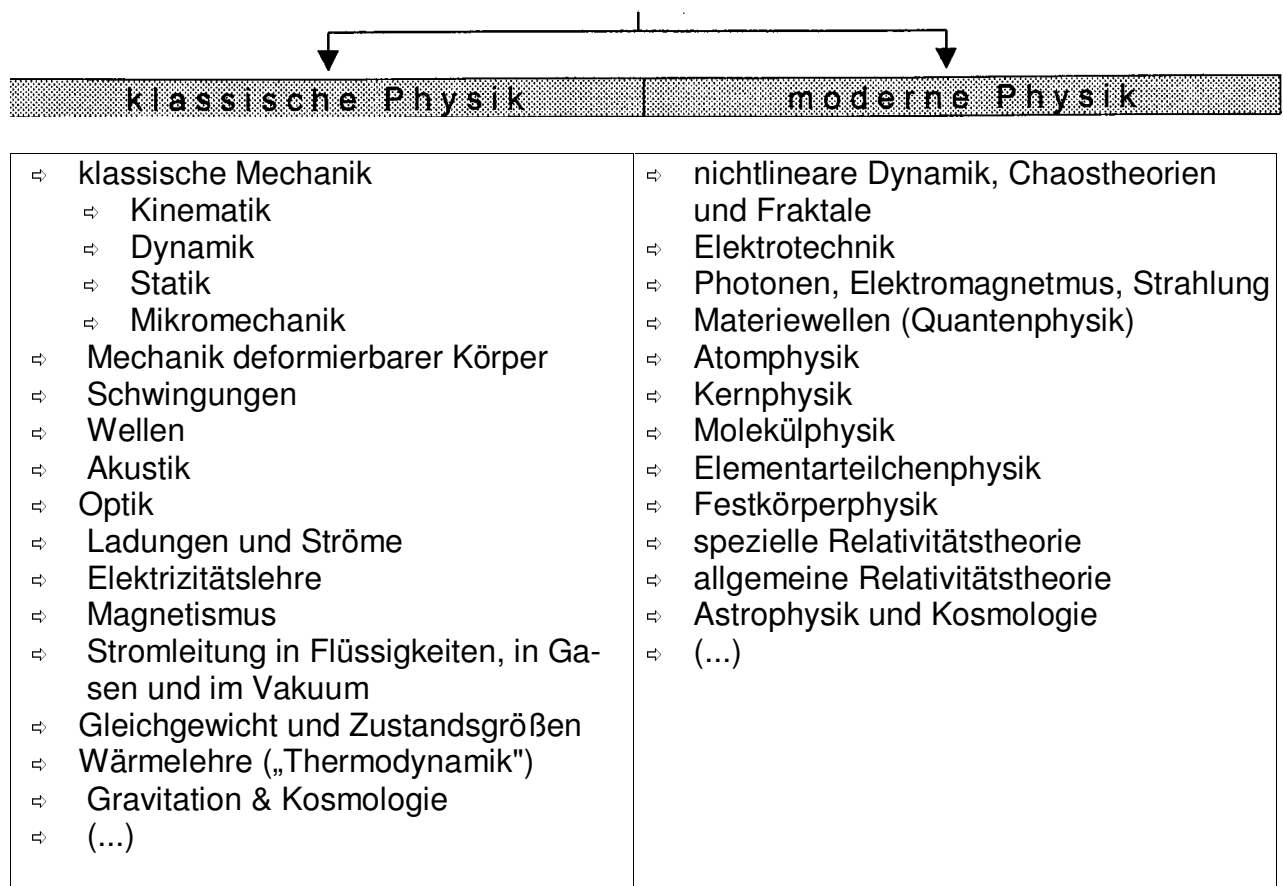
2 Die Physik mit ihrem Teilgebiet Mechanik

2.1 Die Physik

Die Physik ist diejenige Naturwissenschaft, die sich mit der Erforschung aller experimentell und messend erfassbaren Vorgänge in der Natur sowie mit deren mathematischer Beschreibung befasst.

Die Physik ist eine empirische Wissenschaft, d.h. eine Wissenschaft, die nicht aus einigen wenigen Axiomen ableitbar ist, sondern grundsätzlich auf die Beobachtung von Vorgängen angewiesen ist. Aus der Neugier, die Gesetze, nach denen die Natur aufgebaut ist und nach denen Vorgänge in der Natur ablaufen, zu verstehen, auf ihre Gültigkeit zu testen und ihren Geltungsbereich zu bestimmen, entsteht die physikalische Forschung. Hier liegt die enge Berührung zwischen theoretischer und experimenteller Physik.

Die Physik lässt sich in verschiedene Teilgebiete unterteilen, von denen die klassische Mechanik hier im Vordergrund der Betrachtung steht.



2.2 Die Mechanik

Die (klassische) Mechanik ist eines der ältesten Teilgebiete der Physik. Sie beschäftigt sich mit den Bewegungen, den sie verursachenden Kräften sowie mit der Zusammensetzung und dem Gleichgewicht von Kräften.

Das Teilgebiet der Mechanik wird wiederum in drei weitere Bereiche unterteilt:

- Kinematik: Beschreibung von Bewegungsvorgängen, ohne die Kräfte zu berücksichtigen, durch die sie verursacht werden.
- Dynamik: Berücksichtigung der Kräfte als Ursachen der Bewegungen. Sie ermittelt einerseits aus der Kenntnis der auf einen Körper wirkenden Kräfte den Bewegungsablauf des Körpers und schließt andererseits aus der Kenntnis der Bewegung eines Körpers auf die den Körper zu dieser Bewegung veranlassenden Kräfte.
- Statik: Betrachtung ruhender Körper. Sie untersucht die Zusammensetzung und das Gleichgewicht von Kräften, die auf einen ideal starren Körper wirken.

2.3 Physikalische Größen und Einheiten

Die Gesetze der Physik beschreiben Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen wie Länge, Zeit, Kraft, Energie oder Temperatur. Daher besteht eine der wichtigsten Forderungen an die Physik darin, solche Größen eindeutig zu definieren und genau zu messen. Eine physikalische Größe zu messen bedeutet somit immer, sie mit einer genau definierten Einheit dieser Größe zu vergleichen. Beispiel: Um den Abstand zwischen zwei Punkten zu messen, vergleicht man diesen Abstand mit der Einheit der Länge (z.B. dem Meter). Die Behauptung, eine bestimmte Strecke sei „25 Meter“ lang, bedeutet dann, daß ihre Länge 25 mal so groß ist wie die Einheit Meter.

Offensichtlich ist jede physikalische Größe als Produkt aus einer Zahl (im Beispiel: 25) und einer Einheit (im Beispiel: Meter) gegeben.

Die Einheiten sämtlicher physikalischer Größen lassen sich auf exakt sieben fundamentale Einheiten, welche auch als Basiseinheiten bezeichnet werden, zurückführen.

Basiseinheit	Einheitszeichen	Basisgröße
Meter	m	Länge
Kilogramm	kg	Masse
Sekunde	s	Zeit
Ampere	A	elektrische Stromstärke
Kelvin	K	thermodynamische Temperatur
Mol	mol	Stoffmenge
Candela	cd	Lichtstärke

Dieses Einheitensystem legte im Oktober 1954 die 10. Generalkonferenz für Maß und Gewicht fest („SI-Einheiten“; SI = Systeme International d'Unites), welches der Deutsche Bundestag am 02. Juli 1969 mit der Verabschiedung des „Gesetzes über Einheiten im Messwesen“ für den geschäftlichen und amtlichen Verkehr verbindlich vorschreibt. Aus den oben genannten Basiseinheiten werden in der Regel weitere SI-Einheiten abgeleitet, welche zum Teil sogar mit besonderen (Eigen-) Namen und Einheitszeichen benannt werden.

Abgeleitete SI-Einheit	Einheitszeichen	Größe	Formelzeichen
Quadratmeter		Fläche	A
Kubikmeter	m^3	Volumen	V
Hertz	$Hz = \frac{1}{s}$	Frequenz	f
Meter pro Sekunde	$\frac{m}{s}$	Geschwindigkeit	v
Meter pro Quadratsekunde	$\frac{m}{s^2}$	Beschleunigung	a
Newton	$N = kg \cdot \frac{m}{s^2}$	Kraft	F
Pascal	$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$	Druck	p
Joule	$J = N \cdot m = kg \cdot \frac{m^2}{s^2}$	Energie	E
Watt	$W = \frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3}$	Leistung	P
Ohm	$\Omega = \frac{V}{A} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3 A^2}$	elektrischer Widerstand	Ω

Mit der Hilfe des Zehner- oder Dezimalsystems können größere und kleinere Einheiten benutzt werden. Dabei finden in der Regel bestimmte Vorsilben Verwendung, die die einzelnen Multiplikationsfaktoren bezeichnen.

Vergrößerung
(dezimale Vielfache)

Verkleinerung
(dezimale Teile)

10^{18}	Exa	E	10^{-1}	<u>Dezi</u>	d
10^{15}	Peta	P	10^{-2}	Zenti	c
10^{12}	Tera	T	10^{-3}	Milli	m
10^9	Giga	G	10^{-6}	Mikro	μ

10^6	Mega	M	10^{-9}	Nano	n
10^3	Kilo	k	10^{-12}	Pico	p
10^2	Hekto	h	10^{-15}	Femto	f
10^1	Deka	da	10^{-18}	Atto	a

Beispiele: 1 Kilometer = 1 km = $1 \cdot 10^3 m$ = 1.000 m
 1 Mikrometer = 1 μm = $1 \cdot 10^{-6} m$ = 0,000001 m
 1 Megawatt = 1 MW = $1 \cdot 10^6 W$ = 1.000.000 W

3 Die Masse und die Kraft

Im Sprachgebrauch des täglichen Lebens werden die beiden Begriffe Masse und Kraft sehr häufig für die Beschreibung einer Eigenschaft verwendet bzw. sogar vertauscht.

Beispiele: - „Die maschinell betriebene Zugeinrichtung des RW 1 hat eine Zugkraft von fünf Tonnen.“

richtig: „Die maschinell betriebene Zugeinrichtung des RW 1 hat eine Zugkraft von 50 kN.“

- „Ein Faß Bier wiegt etwa 60 Kilogramm.“

richtig: „Ein Faß Bier hat eine Masse von etwa 60 Kilogramm.“

In der Physik muss man jedoch die beiden Begriffe Masse und Kraft streng voneinander trennen, da sie zwei vollkommen unterschiedliche Eigenschaften beschreiben.

3.1 Die Masse und ihre Messung

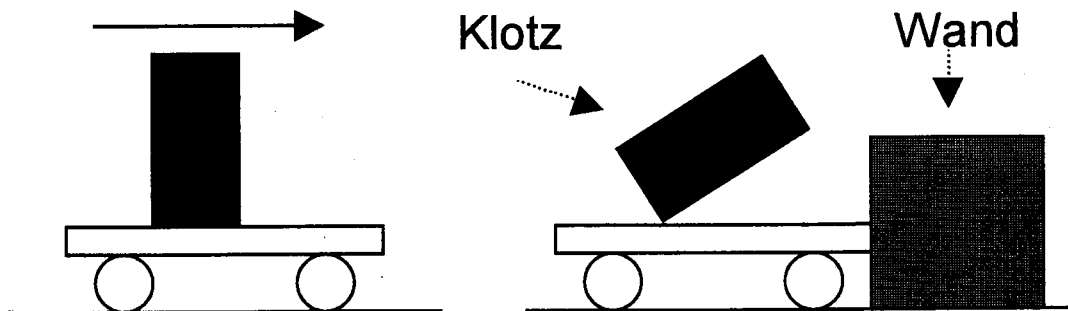
Die physikalische Größe Masse stellt eine wichtige Grundeigenschaft aller materiellen Körper dar. Beispielsweise hat ein Kubikmeter Eisen eine ganz bestimmte Masse, zwei Kubikmeter Eisen haben die doppelte Masse und zehn Kubikmeter Eisen haben die zehnfache Masse. Jedoch hat ein Kubikmeter Wasser eine kleinere Masse als ein Kubikmeter Eisen. Wie diese Beispiele zeigen, hängt die Masse eines einheitlichen (homogenen) Körpers zum einen von seinem Volumen und zum anderen von der Art (man spricht hier auch von der Dichte) des vorliegenden Stoffs ab.

Wenn der Begriff Masse für die Physik brauchbar sein soll, so müssen geeignete Verfahren zu ihrer Messung existieren. Aus diesem Grund macht man bei der Massenmessung von zwei Eigenschaften aller Körper Gebrauch, der Trägheit und der Schwere. Alltägliche Erfahrungen zeigen nämlich, daß jeder Körper „träge“ (er zeigt Widerstand gegen Änderungen seines Bewegungszustandes) und auch „schwer“ ist. Diese Eigenschaften hat bereits der englische Physiker Sir Isaac Newton (1643 - 1727) erkannt und beschrieben.

- Die Trägheit eines Körpers:

Unter der Trägheit oder dem Beharrungsvermögen eines Körpers versteht man dessen Eigenschaft, jeder Geschwindigkeitsänderung einen Widerstand entgegenzusetzen. Diese Eigenschaft wird durch eine physikalische Größe erfaßt, die man als träge Masse m_T eines Körpers bezeichnet.

Beispiel:

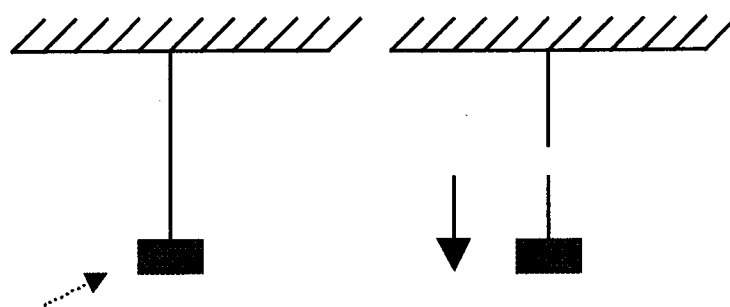


Auf einem mit der Geschwindigkeit v rollenden Wagen befindet sich ein Klotz mit der Masse m . Stößt der Wagen gegen ein Hindernis (z.B. eine Wand), wird er schlagartig abgebremst. Der auf ihm befindliche Klotz versucht aber zunächst aufgrund seiner Trägheit die Geschwindigkeit v beizubehalten, d.h. er zeigt einen Widerstand gegen die abrupte Geschwindigkeitsänderung. Die Folge ist, daß der Klotz umfällt.

- Die Schwere eines Körpers:

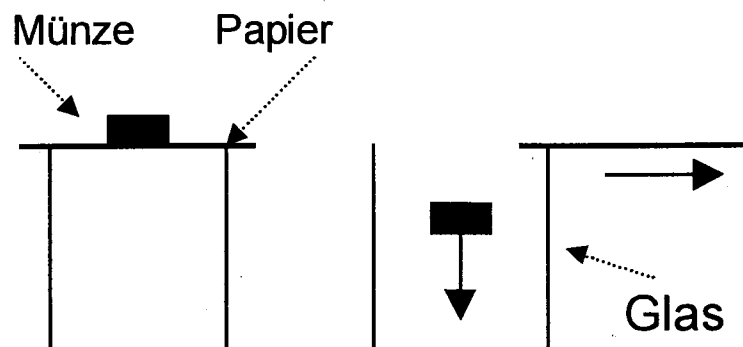
Unter der Schwere eines Körpers versteht man dessen Eigenschaft, von der Erde angezogen zu werden. Es handelt sich um einen Sonderfall der Gravitation, die bewirkt, daß sich zwei Körper stets gegenseitig anziehen. Die schwere Masse m_s eines Körpers ist demnach ein Maß für die Anziehung, die er durch einen andern Körper (z. B. Erde) erfährt.

Beispiel:



Ein Massstück hängt an einem Faden, welcher wiederum an einer Decke befestigt ist. Wird nun der Faden durchgeschnitten, wird das Massstück aufgrund der Gravitation zur Erde hin beschleunigt.

Beispiel:



Eine Münze liegt auf einem Stück Pappe, welches sehr schnell nach rechts weggezogen wird. Aufgrund der Trägheit der Münze wird sich ihre Geschwindigkeit nicht so schnell der des Stücks Pappe anpassen können. Da so die Pappe nicht mehr als Auflage zur Verfügung steht, wird die Münze aufgrund der Erdanziehung in das darunter befindliche Glas fallen.

Aus diesen Festlegungen folgt, daß die träge und die schwere Masse eines Körpers zwei verschiedene Körpereigenschaften beschrieben. Präzisionsmessungen haben jedoch gezeigt, daß beide proportional zueinander sind. Der Proportionalitätsfaktor wird vernünftigerweise gleich 1 gesetzt, so daß gilt:

$$M_T = m_s = m$$

Im Allgemeinen spricht man daher von der Masse eines Körpers.

Die Maßeinheit der Masse (Formelzeichen: m) ist das Kilogramm (Einheitszeichen: kg). Diesbezüglich stellt ein im Bureau International des Poids et Mesures im Pavillon de Breteuil in Sevre bei Paris seit 1872 aufbewahrter Platin-Iridium-Zylinder von 39 mm Durchmesser und 39 mm Höhe den Normkörper der Masse 1 Kilogramm dar. Dieses Urkilogramm sollte ursprünglich genau gleich der Masse von $1\text{ dm}^3 = 1 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$ Wasser der Temperatur $\theta = 4^\circ\text{C}$ sein. Spätere genauere Messungen ergaben jedoch, daß die Masse des Zylinders der Masse von $1,000028\text{ dm}^3$ Wasser entspricht. Trotzdem blieb man zur Vereinfachung bei der obigen Festlegung der Masseneinheit.

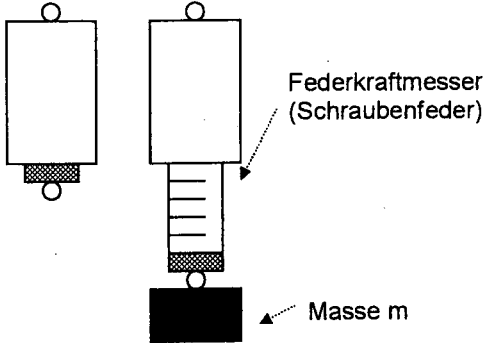
Alle dem SI-Einheitensystem angehörigen Staaten haben eine Kopie des internationalen Kilogrammprototyps erhalten. Für die Bundesrepublik Deutschland verwahrt die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig die Kopie auf, welche die fortlaufende Nummer 52 hat.

3.2 Die Kraft und ihre Wirkungen

Die alltägliche Umgangssprache kennt viele Kraftbegriffe, wie zum Beispiel Arbeitskraft, Überzeugungskraft, wirtschaftliche oder politische Kraft. Da sich diese Kräfte jedoch schlecht bzw. gar nicht messen lassen, handelt es sich um keine Kräfte im physikalischen Verständnis. Die Definition einer physikalischen Größe besteht nämlich in der Angabe eines Verfahrens zu ihrer Messung. Da es aber keine Möglichkeiten zur unmittelbaren Messung von Kräften gibt, muß sich jede Kraftmessung auf die Wirkung der Kräfte stützen.

Beispiel: Ein in der Wiese eingesunkenes LF 16/12 soll mit der Hilfe der maschinell betriebenen Zugeinrichtung des RW 1 herausgezogen werden. Solange sich das Löschgruppenfahrzeug nicht bewegt, ist keinerlei Wirkung des Seilzuges und somit der in ihm wirkenden Kräfte direkt erkennbar. Erst wenn sich das LF 16/12 in Bewegung, gesetzt hat, wird die von der Zugeinrichtung aufgebrachte Kraft deutlich sichtbar.

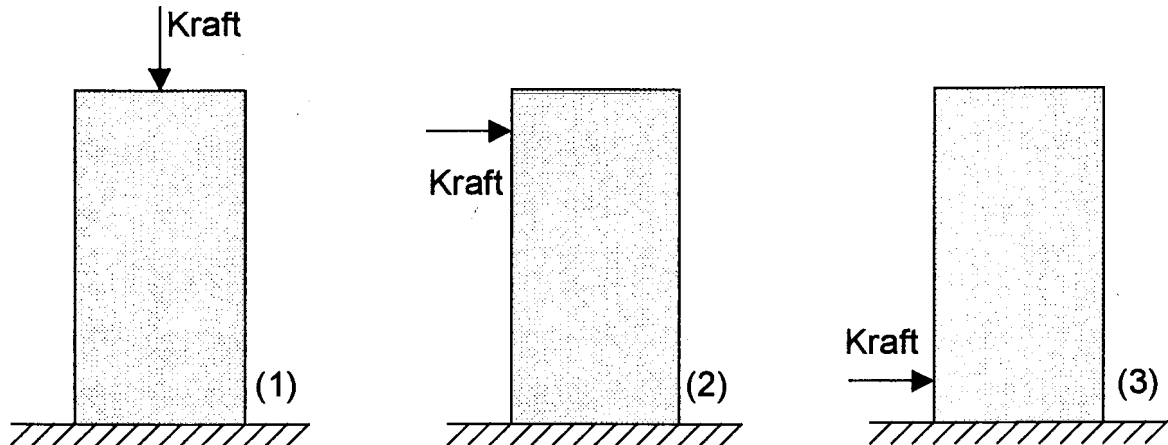
Es läßt sich also festhalten, daß man Kräfte nur an ihren Wirkungen erkennen kann. Man unterscheidet in diesem Zusammenhang zwei Arten von Kraftwirkungen:

- Kräfte sind die Ursache für Formänderungen. Wirkende Kräfte können einen Körper verformen, z. B. einen Gummiball zusammendrücken, einen elastischen Stab verbiegen oder eine Schraubenfeder dehnen
- 
- Kräfte sind die Ursache für Bewegungsänderungen. Wirkende Kräfte können den Bewegungszustand eines Körpers verändern, z. B. einen in Ruhe befindlichen RTW in Bewegung setzen, eine rollende Kugel aufhalten, einen fliegenden Fußball in eine andere Richtung lenken oder zum schnelleren bzw. langsameren Flug veranlassen.

3.3 Die Kraft als Vektor

Wie bereits oben beschrieben, sind Kräfte nur an ihren Wirkungen zu erkennen. Die Angabe einer Maßzahl in Verbindung mit einer Einheit genügt deshalb für eine eindeutige Darstellung einer wirkenden Kraft nicht aus.

Beispiel: Die Aussage „Auf ein Bücherregal wirkt eine Kraft.“ hat einen geringen Aussagewert. Denn die Wirkung dieser Kraft auf das Regal wird erheblich verschieden sein, je nachdem ob die Kraft von oben, am oberen Ende von der Seite oder am unteren Ende von der Seite wirkt.



Situation 1: Keine Veränderung der Lage des Regals.

Situation 2: Das Regal wird umkippen.

Situation 3: Das Regal wird seitlich verschoben.

Dieses Beispiel verdeutlicht die Abhängigkeit einer wirkenden Kraft von drei Bestimmungsmerkmalen:

- 1.) Größe der Kraft (Betrag, „Zahlenwert“)
- 2.) Angriffspunkt der Kraft
- 3.) Richtung der Kraft

Physikalische Größen, die sowohl durch einen Betrag als auch durch eine Richtung gekennzeichnet sind, heißen Vektoren, die mit einem Pfeil auf dem jeweiligen Formelzeichen dargestellt werden. Die Kraft (Formelzeichen: \vec{F} ; von engl. force = Kraft) ist auch ein solcher Vektor.

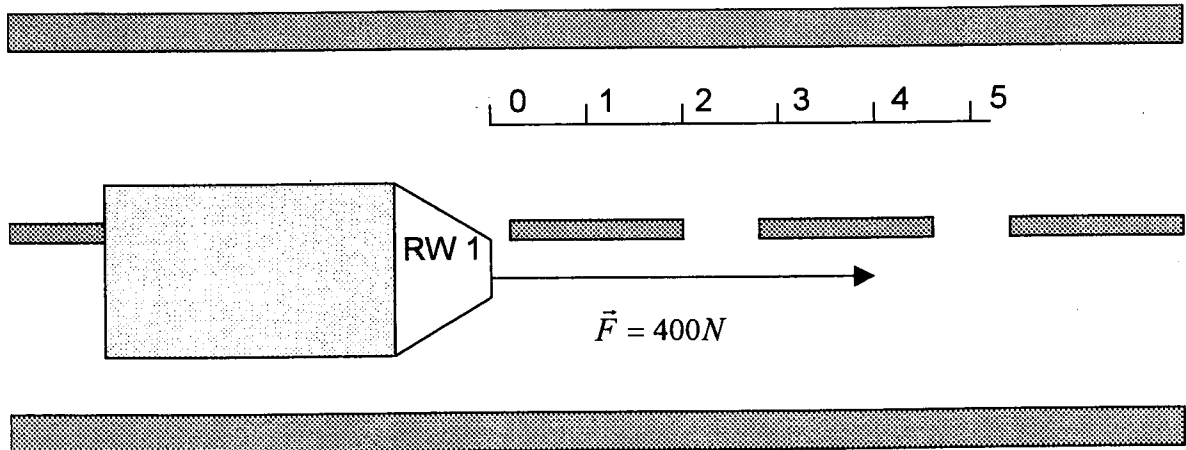
3.4 Die graphische Darstellung von Kräften

Kräfte werden am einfachsten zeichnerisch veranschaulicht. Dazu verwendet man Pfeile, deren Länge den Betrag („Zahlenwert“) der wirkenden Kraft darstellen. Der Fuß eines solchen Pfeils kennzeichnet den Angriffspunkt der jeweils wirkenden Kraft. Ferner ist es in der Regel notwendig, einen entsprechenden Maßstab zu wählen.

Beispiel: Es ist eine Kraft von 400 N graphisch darzustellen, die am Schäkel eines RW 1 angreift und parallel zur Straße nach rechts wirkt.

Kräftemaßstab: 1 Längeneinheit entspricht 100 Newton (1 LE = 100 N)

Zeichnung:



Die Länge des Kraftpfeils beträgt in der Zeichnung vier Längeneinheiten.

Verwendet man in einer Zeichnung mehrere Kraftpfeile, so ist auf die Einheitlichkeit des Kraftmaßstabes zu achten.

Zusammenfassend kann man festhalten, daß der Kraftpfeil Auskunft über Größe, Richtung und Angriffspunkt der Kraft gibt.

3.5 Das Zusammenwirken mehrerer Kräfte

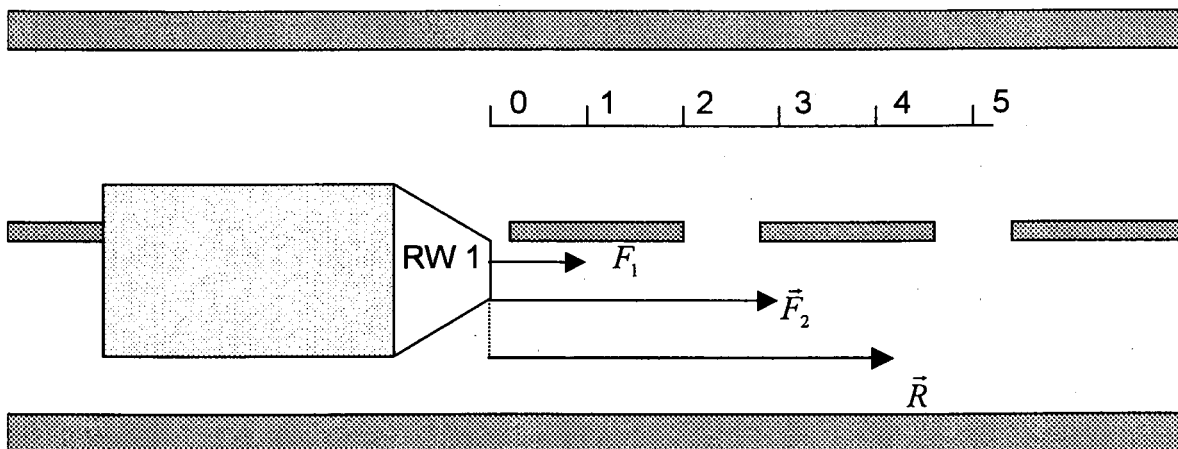
Wirken zwei oder mehrere Kräfte auf einen Punkt, so können diese sowohl rechnerisch als auch zeichnerisch zusammengesetzt bzw. voneinander abgezogen werden.

3.5.1 Gleichgerichtete Kräfte (Additionsverfahren)

Mehrere in einem Punkt angreifende Kräfte können durch eine einzige Kraft, die sogenannte Resultierende (von lat. resultatum = Ergebnis) \vec{R} ersetzt werden. Die Ersatzkraft \vec{R} hat dieselbe Wirkung wie die Einzelkräfte.

Beispiel: Am Schäkel eines RW 1 greifen zwei Kräfte, $\vec{F}_1 = 100\text{N}$ und $\vec{F}_2 = 300\text{N}$, an, die parallel zur Straße nach rechts wirken.
Kräftemaßstab: 1 Längeneinheit entspricht 100 Newton (1 LE = 100 N)

Zeichnung:



Rechnung: $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 100N + 300N = 400N$

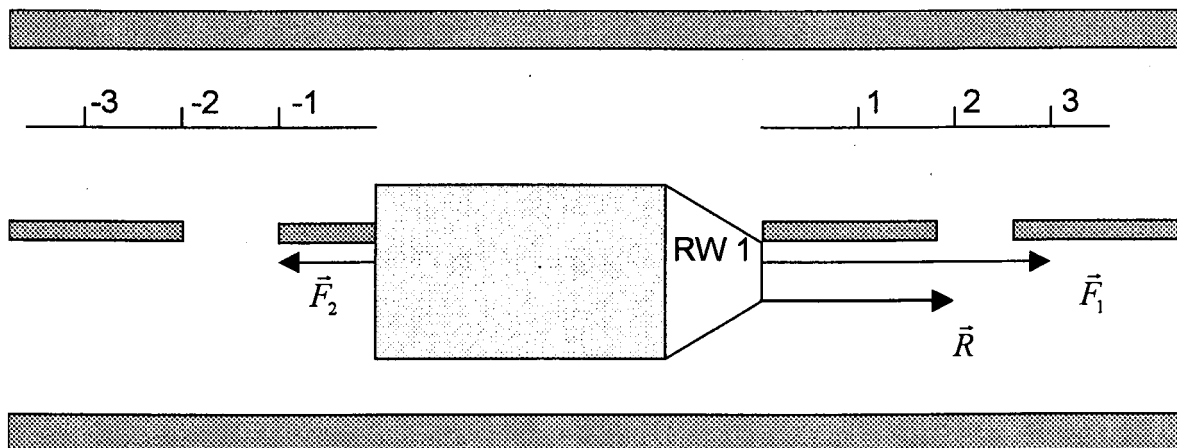
Der RW 1 wird demnach mit einer Gesamtkraft von $\vec{R} = 400N$ nach rechts gezogen. Man kann also zusammenfassen, daß sich zwei oder mehrere Kräfte, die in derselben Richtung wirken und an demselben Punkt angreifen, verstärken. Die Resultierende ergibt sich als Summe der Einzelkräfte.

3.5.2 Entgegengesetzt gerichtete Kräfte (Subtraktionsverfahren)

Entgegengesetzt gerichtete parallele Kräfte, die in einem Punkt angreifen, schwächen sich gegenseitig ab. Die Resultierende ergibt sich durch Subtraktion der wirkenden Kräfte.

Beispiel: Am vorderen Schäkel eines RW 1 greift die Kraft $\vec{F}_1 = 300N$ an. Am Heck greift jedoch eine entgegengesetzt gerichtete Kraft $\vec{F}_2 = 100N$ an.
 Kräftemaßstab: 1 Längeneinheit entspricht 100 Newton (1 LE = 100 N)

Zeichnung:

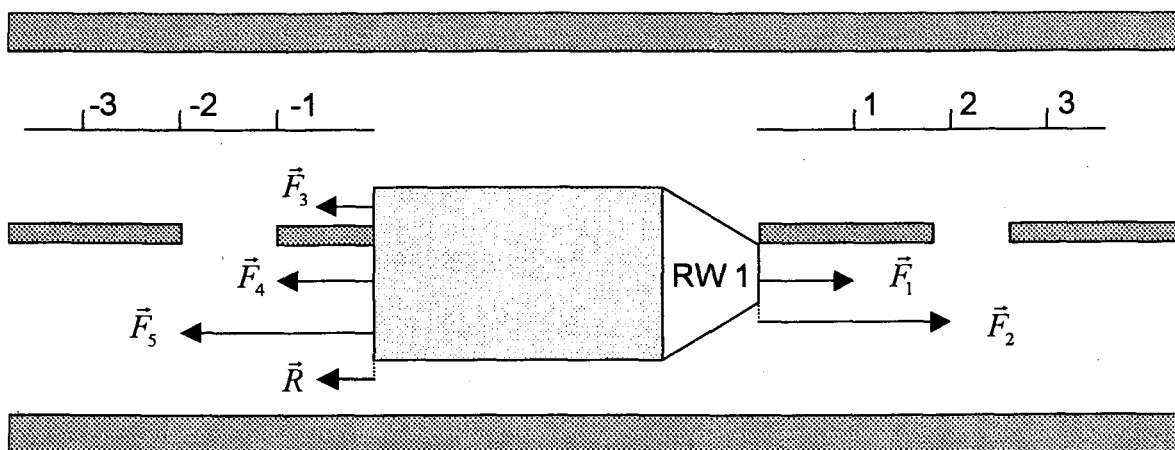


Rechnung: $\vec{R} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 = 300N - 100N = 200N$

Der RW 1 wird demnach mit einer resultierenden Kraft von $R= 200N$ nach rechts gezogen.
 Wirken mehrere Kräfte in einer Richtung („Wirkungslinie“) an einem Punkt, so erhält man die resultierende Kraft \vec{R} , wenn man von der Summe der nach links wirkenden Kräfte die Summe der nach rechts wirkenden Kräfte subtrahiert.

Beispiel: Am vorderen Schäkel eines RW 1 wirken zwei Kräfte, $\vec{F}_1= 100N$ und $\vec{F}_2 = 200N$, ein. Am Heck greifen jedoch drei Kräfte, $\vec{F}_3 = 50N$, $\vec{F}_4 = 100N$ und $\vec{F}_5 = 200N$, an.
 Kräftemaßstab: 1 Längeneinheit entspricht 100 Newton (1 LE - 100 N)

Zeichnung:



Rechnung :

Kräfte, die nach links wirken	Kräfte, die nach rechts wirken
$\vec{F}_3 = 50 N$	$\vec{F}_1 = 100 N$
$\vec{F}_4 = 100 N$	$\vec{F}_2 = 200 N$
$\vec{F}_5 = 200 N$	
$\vec{F}_{links} = 350 N$	$\vec{F}_{rechts} = 300 N$

$$\vec{R} = \vec{F}_{links} - \vec{F}_{rechts} = 350 N - 300 N = 50 N$$

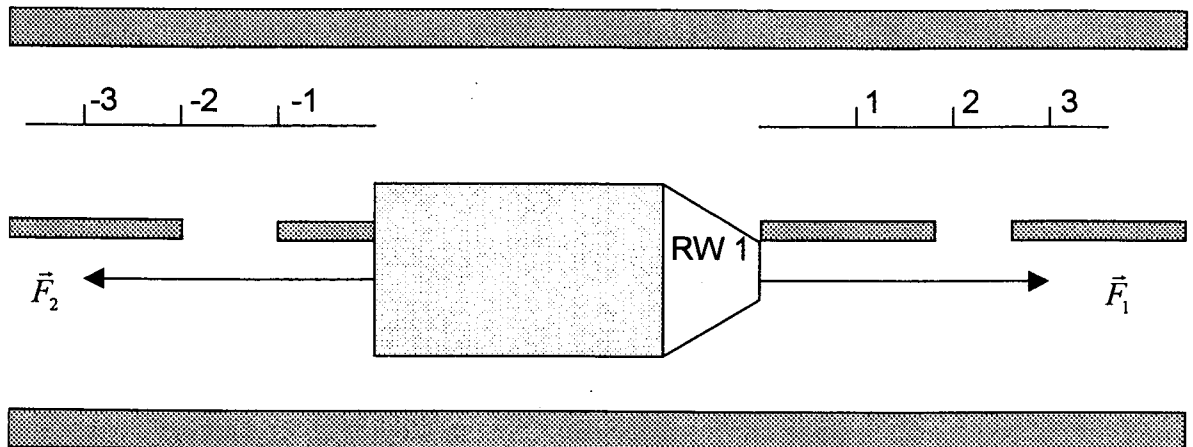
Der RW 1 wird mit der resultierenden Kraft von $\vec{R} = 50 N$ nach links gezogen.

3.5.3 Gleichgewicht von Kräften

Ein beweglicher Körper kann sich im Zustand der Ruhe befinden, obwohl starke Kräfte auf ihn einwirken. In diesem Fall müssen die Kräfte miteinander im Gleichgewicht stehen, d.h. sich gegenseitig aufheben.

Beispiel: Am vorderen Schäkel eines RW 1 greift die Kraft $\vec{F}_1 = 300\text{ N}$ an. Am Heck greift jedoch eine entgegengesetzt gerichtete Kraft $\vec{F}_2 = 300\text{ N}$ an.
 Kräftemaßstab: 1 Längeneinheit entspricht 100 Newton (1 LE = 100 N)

Zeichnung:



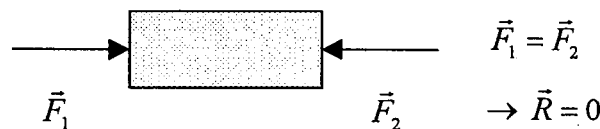
Rechnung: $\vec{R} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 = 300\text{ N} - 300\text{ N} = 0\text{ N}$

Der RW 1 wird sich nicht bewegen, da wegen $\vec{F}_1 = \vec{F}_2$ ein Kräftegleichgewicht vorliegt.

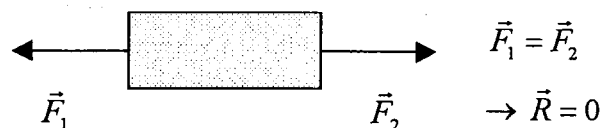
Zwei gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kräfte in derselben Richtung („Wirkungslinie“) stehen miteinander im Gleichgewicht.

Beim Gleichgewicht von Kräften unterscheidet man zwei Fälle:

- Druckkraft:



- Zugkraft

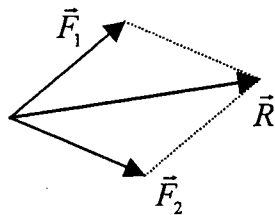


Während beispielsweise Seile, Ketten o.ä. ausschließlich Zugkräfte aufnehmen können, sind Metallstangen o.ä. auch für Druckkräfte ausgelegt.

3.5.4 Das Kräfteparallelogramm

In den meisten Fällen liegen jedoch weder gleichgerichtete noch entgegengesetzt gerichtete Kräfte vor, sondern Kräfte, die unter einem Winkel auf einen Punkt einwirken.

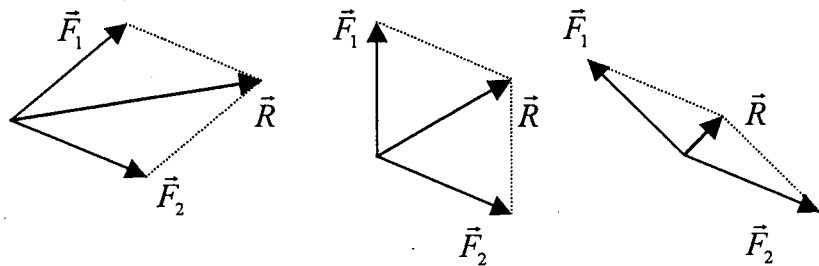
Da, wie bereits oben erwähnt, Kräfte durch Richtung und Größe charakterisiert sind, kann in solchen Fällen das Additions- bzw. Subtraktionsverfahren nicht angewendet werden. Aus diesem Grund verwendet man hier das sogenannte Kräfteparallelogramm, ein Konstruktionsverfahren für die zeichnerische Addition von zwei oder mehreren am selben Punkt eines Körpers angreifenden Kräften.



Sind zwei Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 gegeben, welche gemeinsam unter einem Winkel an einem Punkt angreifen, konstruiert man ein von diesen beiden Kräften aufgespanntes Parallelogramm. So kann man die resultierende Kraft $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ leicht bestimmen, die nach Richtung und Betrag gleich der vom gemeinsamen Angriffspunkt der beiden Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 ausgehenden Diagonalen des

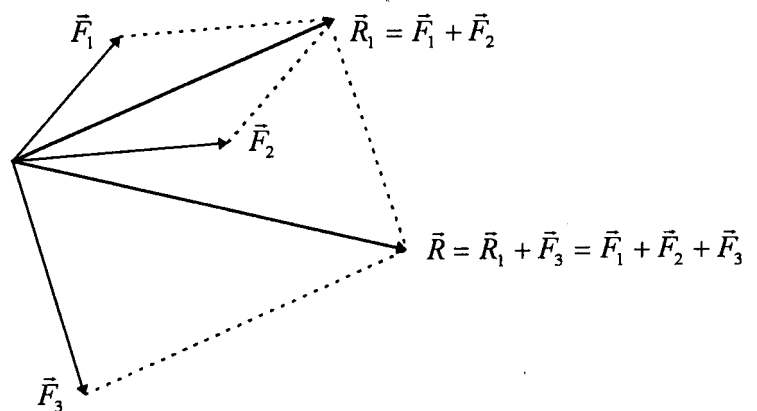
Parallelogramms ist.

Beispiele:



Man erkennt, daß die Zunahme des Winkels zwischen den beiden Kräften \vec{F}_1 und \vec{F}_2 eine Verringerung der Größe der wirkenden Ersatzkraft \vec{R} verursacht. Demnach kann die Resultierende größer oder kleiner als jede der beiden Teilkräfte sein.

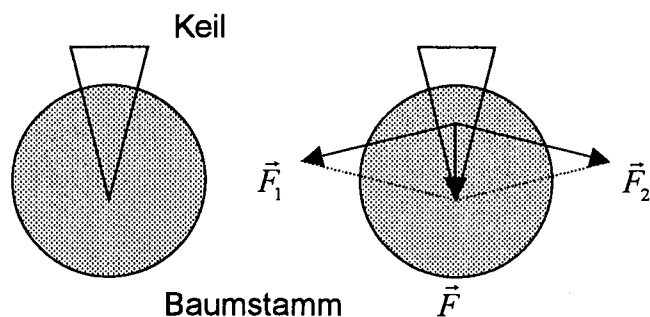
Bei der zeichnerischen Addition von mehr als zwei am selben Punkt eines Körpers angreifenden Kräfte geht man schrittweise vor. Zuerst bildet man die Resultierende zweier Kräfte. Zu dieser wird dann die dritte Kraft addiert, dann die so erhaltende Resultierende zu der vierten Kraft addiert usw.



3.5.5 Die Kräftezerlegung

Ist eine Kraft \vec{F} gegeben, so kann diese stets durch zwei oder mehrere Teilkräfte (Komponenten) ersetzt werden, wobei die Summe dieser Komponenten gleich der ursprünglichen Kraft ist. Wie beim Kräfteparallelogramm geht man bei der Zerlegung einer Kraft \vec{F} in zwei Teilkräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 so vor, daß man ein Parallelogramm zeichnet, in dem die zu zerlegende Kraft \vec{F} die Diagonale ist. Die beiden vom Angriffspunkt des Kraftpfeils \vec{F} ausgehenden Parallelogrammseiten sind dann nach Richtung und Betrag den beiden Teilkräften \vec{F}_1 und \vec{F}_2 gleich.

Beispiel: Spaltung von Holz mittels eines Keils



(\vec{F}_1 und \vec{F}_2 stehen senkrecht auf den Seiten des Keils.)

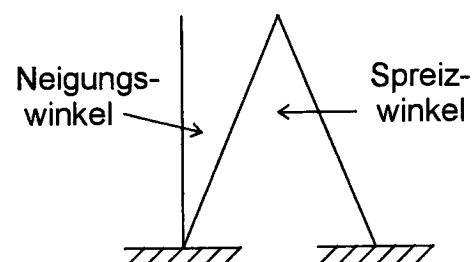
Wie die Abbildung zeigt, sind die auf die Spaltflächen wirkenden Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 größer als die Kraft \vec{F}_1 , mit der der Keil in den Baumstamm geschlagen wird.

3.5.6 Anwendungen: Das Anschlagen von Lasten

Für die Durchführung von technischen Hilfeleistungen sind Grundlagenkenntnisse der Kräftezusammensetzung bzw. Kräftezerlegung oft von Vorteil.

Zum Heben und Ziehen von Lasten werden an den zu hebenden bzw. zu ziehenden Gegenstand in der Regel Drahtseile oder Ketten angeschlagen, die wiederum an der Zugeinrichtung befestigt werden. In diesem Zusammenhang ist besonders darauf hinzuweisen, daß die Anschlagmittel, welche nicht in einer geraden Linie zwischen der Last und der Zugeinrichtung, sondern in einem Winkel, angeschlagen werden, durch zusätzlich auftretende mechanische Spannungen stärker beansprucht werden.

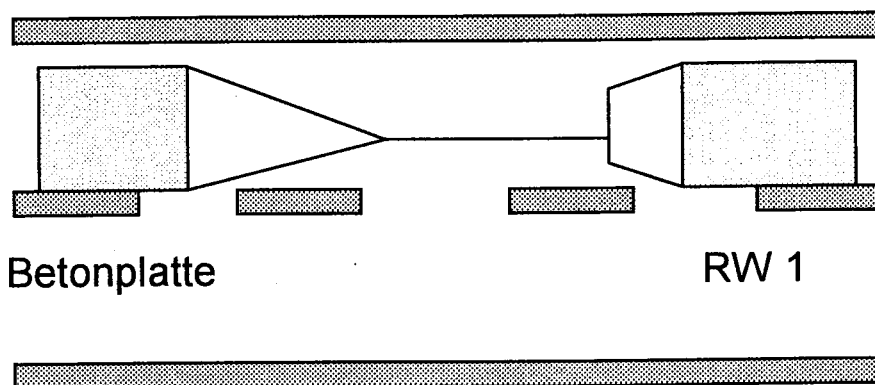
Den Winkel zwischen zwei Strängen nennt man Spreizwinkel. Der Winkel zwischen schräger und gerader Zugeinrichtung wird als Neigungswinkel bezeichnet. Je größer dieser Neigungswinkel wird, desto größer ist der Verlust an Tragfähigkeit.



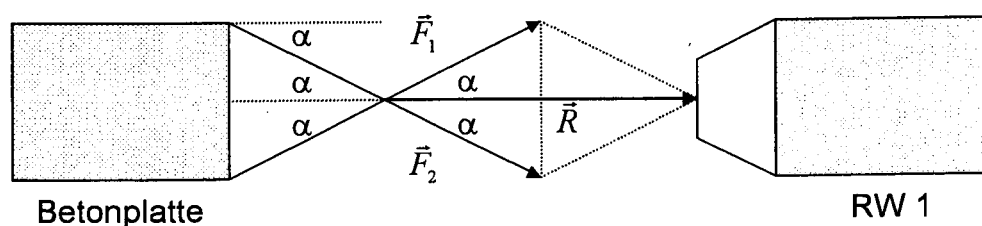
In speziellen Tabellen, die die Stärke, die Anschlagsart und die Anzahl der verwendeten Stränge berücksichtigen, kann man die jeweiligen Neigungswinkel mit den dazugehörigen Angaben zur Tragfähigkeit ablesen. Als Faustwert für die Feuerwehrpraxis gilt jedoch, daß der Neigungswinkel bei Seilen, Ketten und Hebebändern 60° nicht überschreiten darf, da anderenfalls die in den Anschlagmitteln wirkenden Kräfte zu groß werden.

Beispiel: Ein RW 1 soll eine Betonplatte mit der maschinell angetriebenen Zugeinrichtung ziehen. Dafür werden Drahtseile verwendet.
 Vom RW 1 aufzubringende Kraft: $R = 10.000\text{ N}$
 Tragfähigkeit der Anschlagmittel: $TF = 1.050\text{ kg} (= F_{T,,} = 10.300\text{ N})$

Skizze:

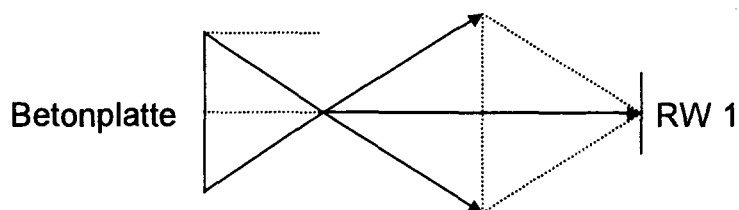
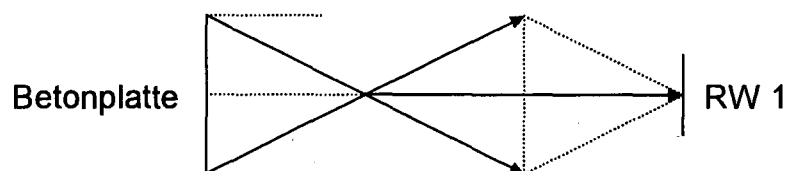
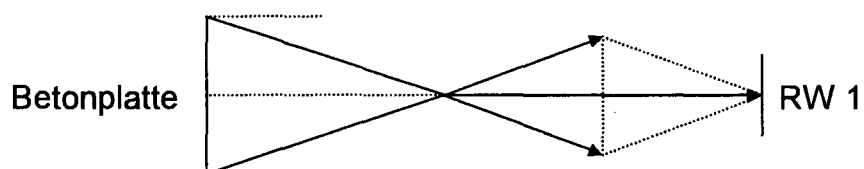
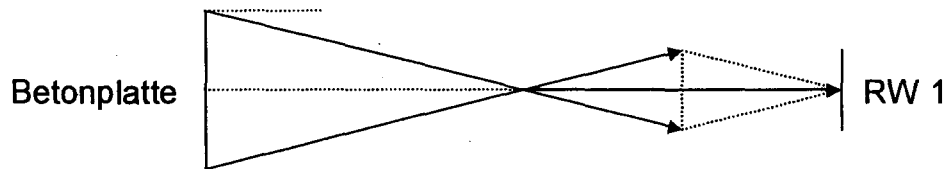


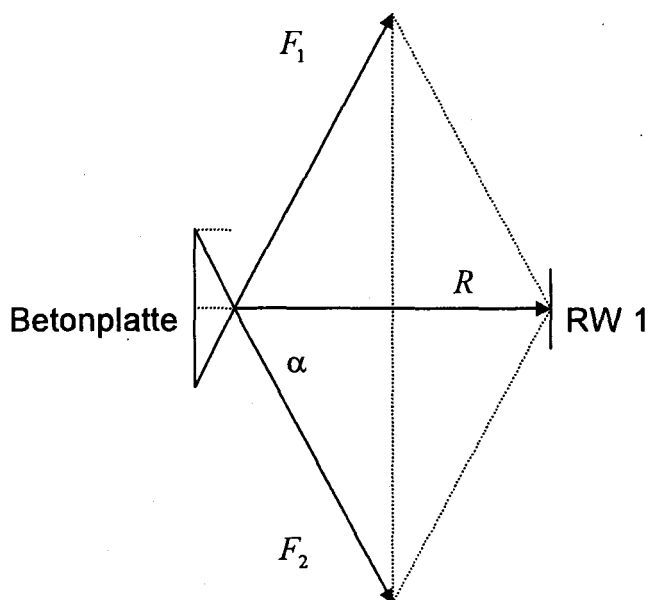
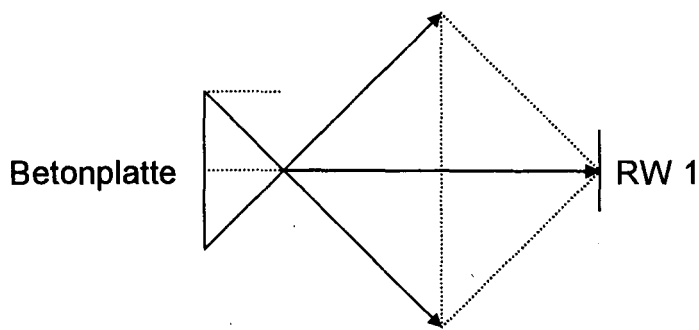
Kräftezerlegung:



(Aus Symmetriebetrachtungen folgt: $F_1 = F_2$)

Um zu verdeutlichen, daß die in den Anschlagmitteln wirkenden Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 sehr stark vom jeweiligen Neigungswinkel α abhängen, wird nachfolgend der Winkel α variiert. Die vom RW 1 aufzubringende Zugkraft R bleibt bei allen Fällen gleich groß ($R = \text{const.}$).





Wie man an den Zeichnungen erkennen kann, nehmen mit zunehmenden Neigungswinkel α die Zugkräfte F_1 und F_2 in den Anschlagmitteln zu, obwohl die Zugkraft R der maschinell angetriebenen Zugeinrichtung des RW 1 bei allen Fällen konstant ist.

Der letzte Fall wird nun noch ein wenig näher betrachtet. In der Grafik wird die vom RW 1 aufzubringende Kraft $R = 10.000 \text{ N}$ durch einen Kraftpfeil mit der Länge $l_R = 4,2 \text{ cm}$ dargestellt. Die Kraftpfeile für die in den Anschlagmitteln wirkenden Kräfte haben eine Länge von $l_{F_1, F_2} = 4,5 \text{ cm}$. Da es sich hier um ein Kräfteparallelogramm handelt, kann man die Kräfte F_1 und F_2 zeichnerisch bestimmen.

Es ist:

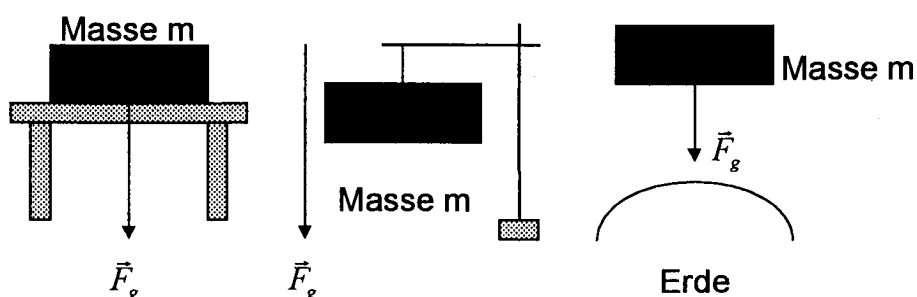
$$\begin{array}{l} R \quad \rightarrow \quad 4,2 \text{ cm} = 10.000 \text{ N} \\ F_1, F_2 \quad \rightarrow \quad 4,5 \text{ cm} = x \end{array}$$

$$x = \frac{4,5 \text{ cm} \cdot 10.000 \text{ N}}{4,2 \text{ cm}} = 10.714 \text{ N}$$

In den Anschlagmitteln wirkt demnach eine Kraft $F_1 = F_2 = 10.714 \text{ N}$. Diese Kraft übersteigt jedoch die zulässige Tragfähigkeit der Anschlagmittel ($F_{TF} = 10.300 \text{ N}$). Unter Umständen kann also wegen $F_1 > F_{TF}$ bzw. $F_2 > F_{TF}$ das Anschlagmittel reißen, obwohl $R < F_{TF}$ ist. Da der Neigungswinkel in der Grafik $\alpha = 62^\circ$ beträgt, ist der oben genannte Faustwert ($\alpha_{\max.} < 60^\circ$) somit bestätigt worden.

3.6 Die Gewichtskraft (Schwerkraft)

Die Gewichtskraft (Formelzeichen: \vec{F}_g) ist diejenige Kraft, mit der ein Körper infolge der Anziehung der Erde auf seiner Unterlage lastet, an seiner Aufhängung zieht oder, falls beides nicht vorhanden, zur Erde hin beschleunigt wird.



Messungen zeigen, daß die Gewichtskraft \vec{F}_g eines Körpers proportional zu seiner Masse m ist. Es gilt daher:

$$F_g = m \cdot \vec{g}; [F] = \frac{\text{kg} \cdot \text{N}}{\text{kg}} = \text{N}$$

Den in der Formel verwendeten Proportionalitätsfaktor \vec{g} bezeichnet man als Ortsfaktor, da die Gewichtskraft ortsabhängig ist. Bei diesem Ortsfaktor handelt es sich wie bei der Kraft auch um einen Vektor, dessen Richtung zum Erdmittelpunkt zeigt. In Deutschland beträgt der Ortsfaktor im Mittel $\vec{g} = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

Beispiel: Ein LF 16/12 hat die Masse $m=12.000\text{kg}$. In Deutschland übt dieses Fahrzeug eine Gewichtskraft F_g auf den Erdboden aus. Die Größe dieser Kraft errechnet sich wie folgt:

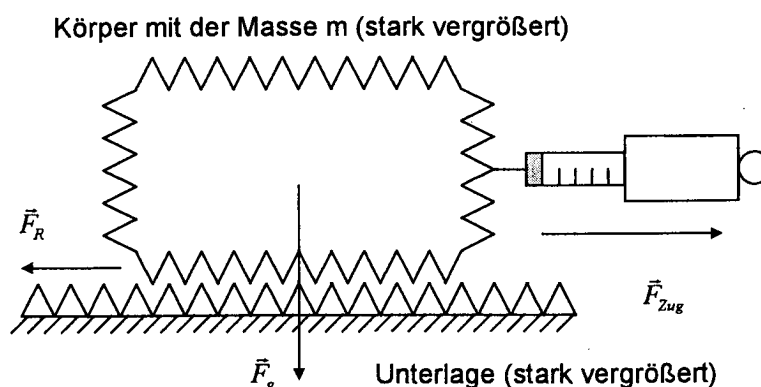
$$F_g = m \cdot g = 12.000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 117.720 \text{ N}$$

Läßt man von dem ausgefahrenen Hubrettungssatz einer DLK 23/12 einen Körper mit der Masse m fallen, so wird dieser zur Erde hin beschleunigt. Es ist experimentell nachweisbar, daß die Fallbeschleunigung dem Ortsfaktor entspricht. Für die Einheit von \vec{g} folgt somit:

$$[\vec{g}] = \frac{N}{kg} = \frac{m}{s^2}$$

3.7 Die Reibungskraft

Bei den bisherigen Betrachtungen und Beispielen wurde stets ein wichtiges physikalisches Phänomen vernachlässigt, welches für die Feuerwehrpraxis jedoch eine gewisse Relevanz hat. Es handelt sich um das Erscheinungsbild der Reibung. Die Reibung zwischen einem Körper mit der Masse m und seiner Unterlage bezeichnet den auf diesen Körper wirkenden Widerstand (Reibungswiderstand, Reibungskraft). Jeder auf einer Unterlage bewegte Körper erfährt einen derartigen Widerstand, dessen Richtung der Bewegungsrichtung entgegengesetzt ist, der also die Bewegung zu hemmen versucht. Ursache für diese Reibung sind die stets vorhandenen Unebenheiten der Berührungsf lächen.



Ein Kraftmesser, mit dem man einen Körper mit konstanter Geschwindigkeit auf einer waagerechten Unterlage zieht, zeigt: Solange sich der Körper nicht bewegt, ist die Reibungskraft \vec{F}_R größer als beim Gleiten, da sich die Unebenheiten der nicht bewegten Last und des Untergrundes einander angleichen können, während sie bei der Bewegung „keine Zeit“ dazu haben. Man unterscheidet daher zwischen der Haftreibungskraft \vec{F}_H und der Gleitreibungskraft \vec{F}_{GL} . Haft- und Gleitreibungskraft sind proportional zur Gewichtskraft \vec{F}_g , die der Körper senkrecht zur Unterlage ausübt. Ferner hängen beide Reibungskräfte von der Beschaffenheit der reibenden Flächen ab. Diese Gegebenheit erfaßt man durch die Haftreibungszahl f_H bzw. durch die Gleitreibungszahl f_{GL} .

Für die Haftreibungskraft gilt:

$$\vec{F}_N = f_H \cdot \vec{F}_g$$

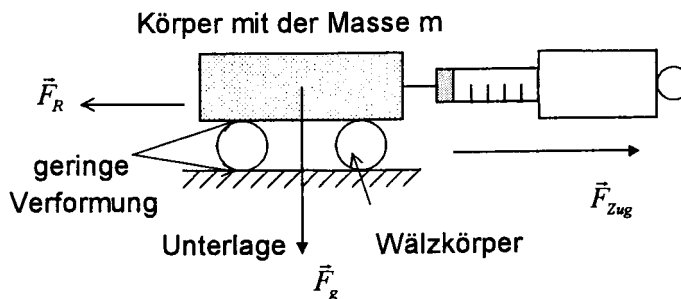
Für die Gleitreibungskraft gilt entsprechend:

$$\vec{F}_{GL} = f_{GL} \cdot \vec{F}_g$$

Stoffpaar	Haftreibungszahl f_H	Gleitreibungszahl f_{GL}
Stahl,	0,15-0,30	0,10 - 0,20
Stahl auf Stahl, geschmiert	0,12-0,14	0,03-0,08
Stahl auf Eis	0,028	0,014
Stahl auf Holz, trocken	0,58	0,05
Stahl auf Holz, naß	0,11	0,08
Holz auf Holz, trocken	0,40-0,60	0,20-0,40
Holz auf Holz, naß	0,20-0,40	0,15-0,20
Gummi auf Asphalt, trocken	0,55	0,40-0,50
Gummi auf Asphalt, naß	0,20-0,30	0,15-0,20

Durch einen Versuch läßt sich zeigen, daß eine Last mit einer beliebigen Grundfläche (z.B. $2m \cdot 3m = 6m^2$) und beliebiger Höhe (z.B. $0,5m$), ganz gleich, welche Fläche am Boden aufliegt, den gleichen Reibungswiderstand hat.

Eine weitere Form von Reibung stellt die rollende Reibung dar. Läßt man eine Fläche nicht über die andere hinweggleiten, sondern hinwegrollen, so ist die zur Bewegung notwendige Zugkraft erheblich geringer. Die Rollreibung beruht auf der Tatsache, daß durch die Gewichtskraft F_g sowohl an den Wälzkörpern als auch am Körper geringfügige Verformungen auftreten, die ihrerseits zu Reibungswiderständen führen.



Für die Rollreibung gilt:

$$\vec{F}_{Rol} = f_{Rol} \cdot \vec{F}_g$$

Jedoch hängt die Rollreibungszahl f_{Rol} vom Radius des jeweiligen Wälzkörpers ab. Die nachfolgende Tabelle gibt die Rollreibungszahlen für einige herkömmliche Fahrzeuge wieder.

Fahrzeug	Rollreibungszahl f_{Rol}
Straßenbahn	0,006
Eisenbahn	0,002
Kfz. auf Asphalt	0,02-0,025
Kfz. auf Pflaster	0,04

Beispiel: Ein falsch geparkter Klein-LKW mit einer Masse $m=10.000 \text{ kg}$ behindert die Arbeit der Feuerwehr. Die maschinell angetriebene Zugeinrichtung des RW 1 hat eine maximale Zugkraft $\vec{F}_{\text{Zug}} = 50.000 \text{ N}$. Kann der geparkte LKW weggezogen werden? ($f_H = 0,55$, $f_{\text{Ro}} = 0,04$)

→ Berechnung der Gewichtskraft:

$$\vec{F}_g = 10.000 \text{ kg} \cdot \frac{9,81 \text{ N}}{\text{Kg}} = 98.100 \text{ N}$$

→ Berechnung der zu überwindenden Haftreibungskraft:

$$\vec{F}_H = f_H \cdot \vec{F}_g = 0,55 \cdot 98.100 \text{ N} = 53.955 \text{ N}$$

Der RW 1 wird den LKW nicht bewegen können. Entweder muß die Straße befeuchtet werden, um die Haftreibungszahl zu vermindern oder der Federspeicher des LKW muß gelöst werden, so daß nur noch die Rollreibung zu überwinden ist.

→ Berechnung der Rollreibung:

$$\vec{F}_{\text{Ro}} = f_{\text{Ro}} \cdot \vec{F}_g = 0,04 \cdot 98.100 \text{ N} = 3.924 \text{ N}$$

Die Reibung ist oft sehr nützlich und technisch von einer großen Bedeutung. Andererseits ist die Reibung bei Maschinen in der Regel unerwünscht, da zu ihrer Überwindung Kraft und somit Energie unnützlich eingesetzt werden muß. Dennoch würde ohne Reibung beispielsweise ein Feuerwehrmann beim Gehen keinen festen Halt finden und hinfallen (Rutschgefahr bei frisch gewachstem Boden).

3.8 Die Newtonschen Axiome

Sämtliche Bewegungsvorgänge in der Natur und in der Technik beruhen auf der Wirkung von Kräften auf die zu bewegenden Körper. Der Physiker Isaac Newton erkannte, daß die Kraft von einer besonderen Bedeutung ist und formulierte drei Axiome, die ein System von Grundprinzipien der klassischen Mechanik darstellen.

1. Newtonsches Axiom („Trägheitssatz“):

Jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung (behält also seine Geschwindigkeit nach Betrag und Richtung bei), sofern er nicht durch äußere einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Bewegungszustand zu ändern.

Beispiel: Ein Feuerwehrmann, der während einer Einsatzfahrt in einem stark beschleunigenden LF 16/12 sitzt, wird in den Sitz gedrückt, weil sein Körper mit der Masse m infolge seiner Trägheit (träge Masse) der Geschwindigkeitsänderung einen Widerstand entgegengesetzt. Bremsst der Maschinist das Fahrzeug heftig ab, so wird der Brandrat nach vorne geschleudert, da sein Körper die Geschwindigkeit beizubehalten versucht.

2. Newtonsches Axiom („Grundgleichung der Mechanik“):

Um einer Masse m die Beschleunigung \vec{a} zu erteilen, ist eine Kraft \vec{F} erforderlich, die gleich dem Produkt aus der Masse und der Beschleunigung ist. Es gilt die Grundgleichung der Mechanik:

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

Nach diesem Axiom leitet sich die SI-Einheit für die Kraft, das Newton (Einheitszeichen: N) her. Demnach entspricht 1 Newton (N) gleich der Kraft, die einen Körper der Masse

1 Kilogramm (kg) die Beschleunigung $1 \frac{m}{s^2}$ erteilt.

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

3. Newtonsches Axiom („Actio = Reactio“):

Wirkt ein Körper A auf einen Körper B mit der Kraft \vec{F}_1 , so wirkt der Körper B auf den Körper A mit der Kraft \vec{F}_2 , die zwar den gleichen Betrag, aber die entgegengesetzte Richtung wie \vec{F}_1 hat. Es gilt:

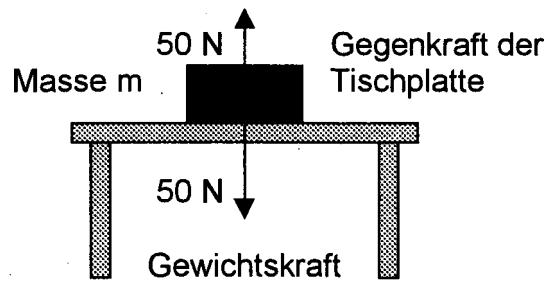
$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Dieses dritte Newtonsche Axiom wird auch als das Prinzip von Actio und Reactio, von Kraft und Gegenkraft oder als das Wechselwirkungsprinzip bezeichnet. Es besagt, daß Kräfte immer nur paarweise auftreten, so daß zu jeder wirkenden Kraft eine Gegenkraft wirkt. Kraft und Gegenkraft greifen jedoch stets an verschiedenen Körpern an.

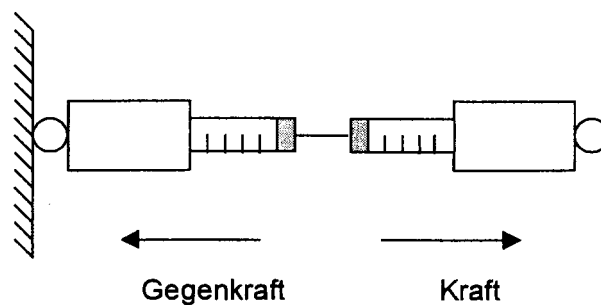
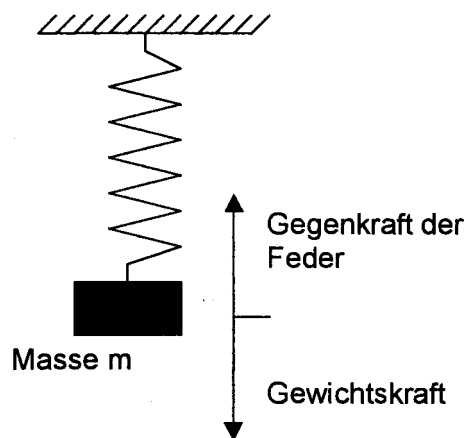
Beispiel: Die Bewegung eines Feuerlöschbootes kommt dadurch zustande, daß die Antriebsschraube eine Kraft auf das Wasser ausübt und dieses nach

hinten beschleunigt. Die Gegenkraft, die das Wasser auf die Antriebs schraube und somit auf das Boot ausübt, treibt dieses wiederum nach vorne.

Beispiel: Eine Tischplatte „reagiert“ gegen eine weitere Verformung durch die Erzeugung einer nach oben gerichteten Gegenkraft.



Beispiel: Jeder Kraft wirkt eine gleich große Kraft in umgekehrter Richtung entgegen (Kraft = Gegenkraft).



4 Einfache Maschinen

In der Physik bezeichnet man Vorrichtungen, die eine Kraft von einem Körper direkt auf einen anderen übertragen, als „einfache Maschinen“.

Zur Durchführung von technischen Hilfeleistungen „benötigt“ die Feuerwehr in der Regel Kraft. Die menschliche Muskelkraft reicht allerdings in den meisten Fällen nicht aus, so daß es erforderlich ist, Maschinen einzusetzen, welche die zur Verfügung stehende Kraft möglichst zweckmäßig ausnutzen. Der Vorteil aller Maschinen liegt also lediglich in einer günstigeren Verteilung von Kraft und Weg, und zwar in einem Verhältnis, das den Kraftaufwand entsprechend niedrig hält. Anders formuliert heißt das, daß mit technischen Mitteln mittels einer bestimmten Kraft eine bestimmte Arbeit W über einen bestimmten Weg s verrichtet wird.

Es gilt:

$$W = F \cdot s \quad ; [W] = N \cdot m$$

Einfache Maschinen, d.h. Maschinen ohne einen externen Kraftantrieb, können dadurch jedoch keine Arbeit einsparen, denn was an Kraft gespart wird, muß entsprechend an Weg zugegeben werden.

„Goldene Regel“ der Mechanik:

Wenn man Kraft einsparen will, muß man Weg zugeben. Will man Weg einsparen, so muß man entsprechend Kraft hinzusetzen.

Beispiel: Wenn man den Gipfel eines hohen Berges erreichen möchte, hat man zwei Möglichkeiten:

(1) Erreichung des Gipfels über die langen Windungen einer Straße (Serpentinen):

- ➔ Nachteil: Der Weg zum Gipfel ist länger.
- ➔ Vorteil: Man spart erheblich an Kraft.

(2) Erreichung des Gipfels über den steilen Direktweg:

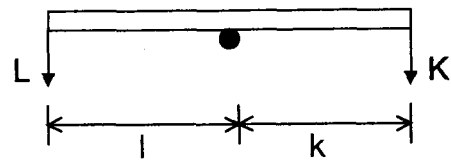
- ➔ Vorteil: Der Weg zum Gipfel ist kürzer.
- ➔ Nachteil: Man muß erheblich viel Kraft aufbringen.

In beiden Fällen ist die zu leistende Arbeit jedoch gleich!

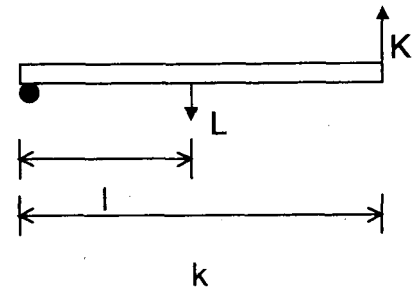
4.1 Der Hebel und das Hebelgesetz

Der Hebel ist eine einfache Maschine in Form eines starren, meist stabförmigen, um eine Achse drehbaren Körpers, an dem in einer zur Drehachse senkrechten Ebene Kräfte angreifen. Er dient hauptsächlich zum Heben und Verschieben von Lasten, da man mit einem solchen Hebel unter Umständen Kraft einsparen kann.

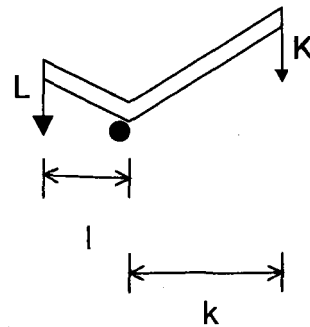
Man spricht von einem zweiseitigen (zweiar-
migen) Hebel, wenn Kraft **K** und Last **L** auf
verschiedenen Seiten der Achse (Drehpunkt)
angreifen.



Der Hebel ist einseitig (einarmig), wenn Kraft
K und Last **L** auf einer Seite des Drehpunk-
tes liegen.



Stehen Kraftarm **k** und Lastarm **l** in einem
Winkel zueinander, spricht man von einem
Winkelhebel. Hier wirken Kraft **K** und Last **L**
ebenfalls auf verschiedenen Seiten des
Hebelarms.



Am Hebel herrscht ein Gleichgewicht, wenn das Produkt aus Last **L** und Lastarm **l**
gleich dem Produkt aus Kraft **K** und Kraftarm **k** ist. Somit lautet das Hebelgesetz:

$$L \cdot l = K \cdot k$$

Diese Gleichung verdeutlicht zudem, daß auch für den Hebel die „Goldene Regel“
der Mechanik gilt. Verlagert man zum Beispiel den Drehpunkt zu Gunsten des Kraft-
aufwandes, muß ein größerer Weg zurückgelegt werden.

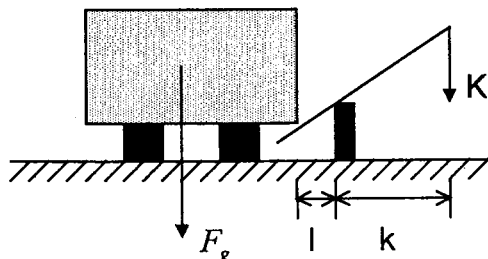
In der Feuerwehrpraxis sind Brechstangen und Hebebäume bewährte Hebeegeräte
für Sofortmaßnahmen im technischen Hilfeleistungseinsatz. Die Voraussetzung für
einen sicheren und ergonomischen Einsatz ist jedoch die Kenntnis des
Hebelgesetzes.

Beispiel: Eine Person ist mit einem Bein unter einer Betonplatte eingeklemmt. Die
Platte hat eine Masse von $m = 214\text{kg}$ und übt somit eine Gewichtskraft
von $F_g = 2.100\text{N}$ auf den Boden aus. Um diese Betonplatte anzuheben,
soll die genormte Brechstange mit einer Länge von 1.200 mm als
zweiseitiger Hebel eingesetzt werden.

Ein gut ausgebildeter Feuerwehrmann löst die Aufgabe wie folgt:

Ein schlecht ausgebildeter Feuerwehrmann löst die Aufgabe wie folgt:

Betonplatte mit der Masse m



Ein Kantholz wird so platziert, daß die Auflage (Drehpunkt) in der Nähe vom angreifenden Brechstangenende ist.

Sei $l = 300\text{mm}$ und $k = 900\text{ mm}$

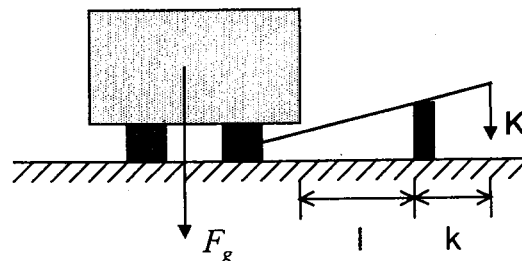
$$F_g \cdot l = K \cdot k$$

$$K = F_g \cdot l = \frac{2.100\text{N} \cdot 300\text{mm}}{900\text{ N}} = 700\text{ N}$$

Fazit:

Drehpunkt dicht an der Last = weniger Kraft & längerer Weg

Betonplatte mit der Masse m



Ein Kantholz wird so platziert, daß die Auflage (Drehpunkt) weiter vom angreifenden Brechstangenende entfernt ist.

Sei $l = 500\text{mm}$ und $k = 700\text{ mm}$

$$F_g \cdot Z = K \cdot k$$

$$K = F_g \cdot l = \frac{2.100\text{ N} \cdot 500\text{ mm}}{700\text{ N}} = 1500\text{ N}$$

Fazit:

Drehpunkt weiter entfernt = mehr Kraft & kürzerer Weg

Wenn man davon ausgeht, daß ein durchschnittlicher Feuerwehrmann in der Lage ist, eine Kraft von etwa 700 N aufzubringen, so kann der gut ausgebildete Feuerwehrmann die Betonplatte ohne Schwierigkeiten anheben, während sein schlecht ausgebildeter Kollege versagt.

Beispiel: Nach einem Verkehrsunfall ist eine Person unter einem Kleintransporter eingeklemmt. Diese soll mit dem Hebebaum eines RW 1, welcher eine Länge von 3 m hat, befreit werden. Der Hebebaum wird als einseitiger Hebel eingesetzt, bei dem sich ein Lastarm von $l = 0,20\text{ m}$ einstellt. Um den Kleintransporter ohne Hilfsmittel anheben zu können, müßte eine Kraft von $F_g = 10.000\text{ N}$ aufgebracht werden. Welche Kraft K muß jedoch ein Feuerwehrmann aufbringen, wenn er den oben genannten Hebebaum verwendet?

Es gilt:

$$F_g \cdot l = K \cdot k$$

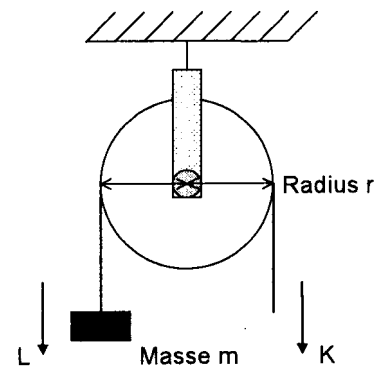
$$K = \frac{F_g \cdot l}{k} = \frac{10.000\text{ N} \cdot 0,20\text{ m}}{3,00\text{ m}} = 6667\text{ N}$$

4.2 Die feste Rolle

Will man eine Last senkrecht anheben, so muß die aufzubringende Kraft mindestens genauso groß sein, wie die nach unten wirkende Gewichtskraft. Da der menschliche Körper jedoch Lasten von unten nach oben weniger gut ziehen kann, benötigt man zur Erleichterung bestimmte Vorrichtungen, die es ermöglichen, Lasten von oben nach unten zu ziehen. Eine solche Vorrichtung ist die Rolle, die unter anderem die Richtung der Kraft verändern kann.

Bei der Feuerwehr gehören Rollen zum Zubehör der manuellen und maschinellen Zugeinrichtungen. Eine Rolle besteht aus einer kreisförmigen Scheibe, in deren Rand eine Nut (Rille) eingeschnitten ist, über die ein Seil läuft. Durch den Mittelpunkt der Rolle verläuft eine Achse, die in einer gabelförmigen „Schere“ gelagert ist. Die Rolle dreht sich um ihre eigene Achse. An den beiden Enden des um die Rolle gelegten Seils wirkt am einen Ende die Kraft **K** und am anderen Ende die Last **L**.

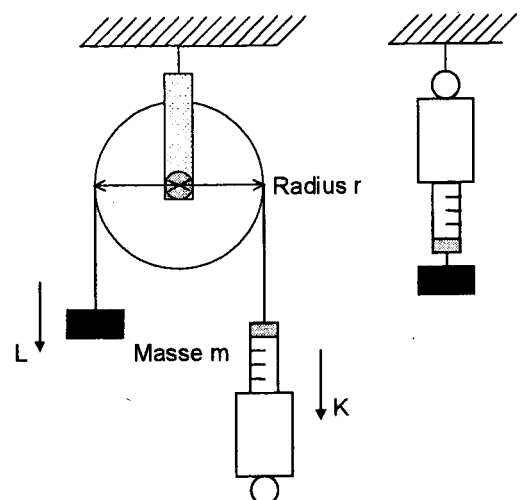
Wird eine Rolle an einem festen Punkt, also nicht an der zu bewegendenden Last, angeschlagen, so spricht man von einer festen Rolle. Diese wird in Kombination mit einem Seil ausschließlich zur Änderung der Krafrichtung eingesetzt. Vergleicht man eine feste Rolle mit einem zweiseitigen Hebel, bei dem die Hebelarme durch den Radius *r* (Halbmesser) der Rolle gegeben sind, kann man erkennen, daß keinerlei Vorteile hinsichtlich der aufzubringenden Kraft zu erwarten sind, da beide Hebelarme gleich groß sind. Somit ist die aufzubringende Kraft **K** gleich groß wie die Last **L**.



An der festen Rolle herrscht Gleichgewicht, wenn die Beträge der auf beiden Seiten angreifenden Kräfte **L** und **K** gleich groß sind. Das Hebelgesetz für die feste Rolle lautet somit:

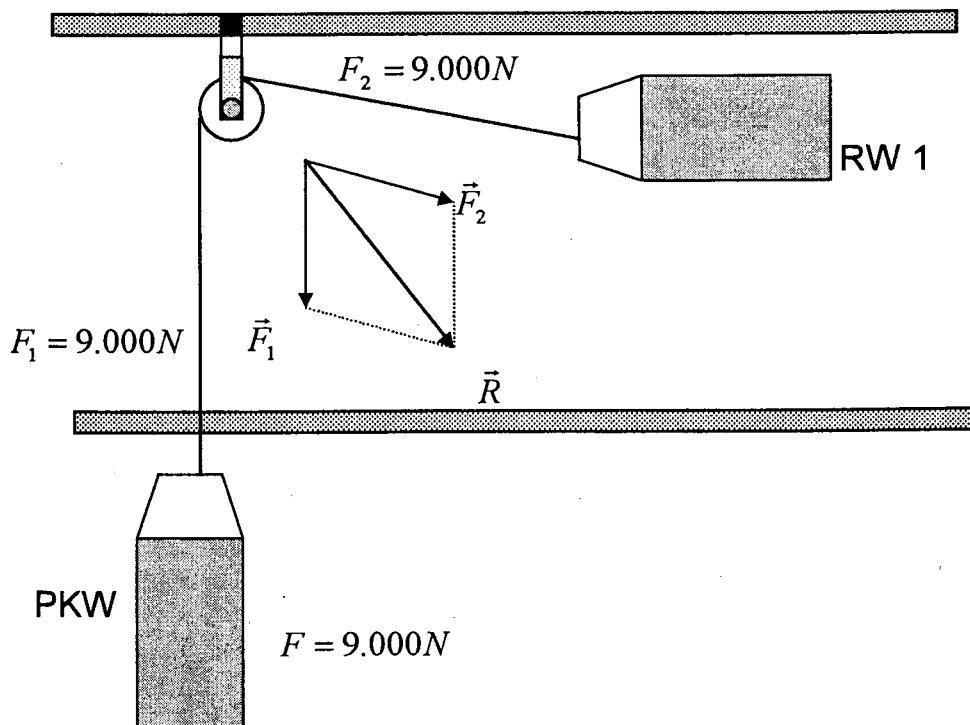
$$\begin{array}{l|l} K \cdot k = L \cdot l & 1 \cdot k = 1 \cdot r \\ K \cdot r = L \cdot r & : r \\ K = L & \end{array}$$

Die Kräfte **K** und **L** wirken gemeinsam über die Rolle auf den Festpunkt, der in der Lage sein muß, diese Kräfte auch aufzunehmen. Ferner muß auch die Rolle für die entsprechende Belastung ausgelegt sein, d.h., der Rollendurchmesser muß mindestens dem 25-fachen des Zugseildurchmesser entsprechen. In der Feuerwehrpraxis verwendet man die feste Rolle zum Umlenken von Kräften. Aus diesem Grund wird sie meistens als Umlenkrolle bezeichnet.



Beispiel: Um ein von der Straße abgekommenes Fahrzeug zu bergen, muß eine Kraft $F = 9.000N$ aufgebracht werden. Da der zur Verfügung stehende RW 1 jedoch nur auf der Straße in Stellung gebracht werden kann, muß eine Umlenkrolle, welche fest an ihrem Platz verbleibt, verwendet werden. (Von Reibungskräften soll abgesehen werden.)

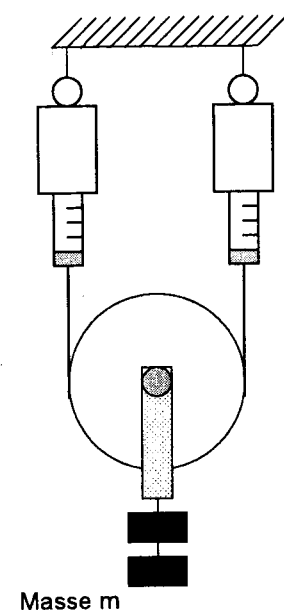
Festpunkt (Abschätzung): $F_{FP} \leq F_1 + F_2 = 9.000N + 9.000N = 18.000N$



4.3 Die lose Rolle

Wenn eine Rolle direkt an einer Last, ein Ende des umlaufenden Zugseils an einem Festpunkt und das andere Ende an einer Zugvorrichtung befestigt wird, dann bezeichnet man diese Rolle als „lose Rolle“. An ihrer Schere hängt die Last **L**, die mithin von zwei Seilabschnitten getragen wird. Diese beiden Seilstränge nehmen jeweils die Hälfte der Last **L** auf. Daraus folgt also, daß sowohl der Festpunkt als auch die Zugvorrichtung nur durch die Hälfte der Last beaufschlagt wird.

Die Rolle wandert beim Zug an dem feststehenden Seilstrang entlang. Aus diesem Grund bildet die Berührungsstelle der Rolle mit dem feststehenden Seilstrang



stets den Drehpunkt des Hebels. Die Kraft **K** am ziehenden Seilstrang wirkt an der gegenüberliegenden Seite der Rolle auf den Drehpunkt. Der Kraftarm **k** ist demzufolge gleich dem Rollendurchmesser ($2 \cdot r$). Die Last **L** wirkt über die Rollenbefestigung auf die Mitte der Rolle. Somit ist der Lastarm **l** gleich dem Rollenradius (r). Da der Kraftarm **k** doppelt so lang ist wie der Lastarm **l**, wird die benötigte Zugkraft **K** nach dem Hebelgesetz halbiert.

Die lose Rolle ist mit dem einseitigen Hebel vergleichbar. Demnach herrscht an ihr ein Kräftegleichgewicht, wenn die Kraft **K** halb so groß ist wie die Last **L**.

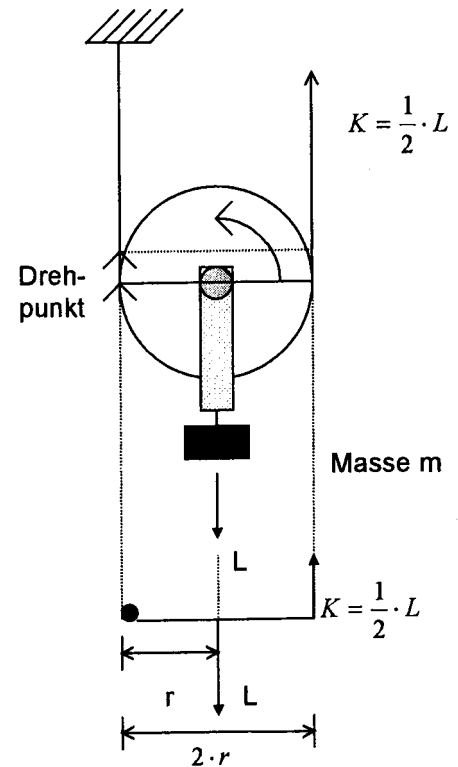
Es gilt:

$$K \cdot k = L \cdot l \quad l=r \text{ \& } k=2 \cdot r$$

$$K \cdot (2 \cdot r) = L \cdot r \quad :r \quad :2$$

$$K = \frac{1}{2} \cdot L$$

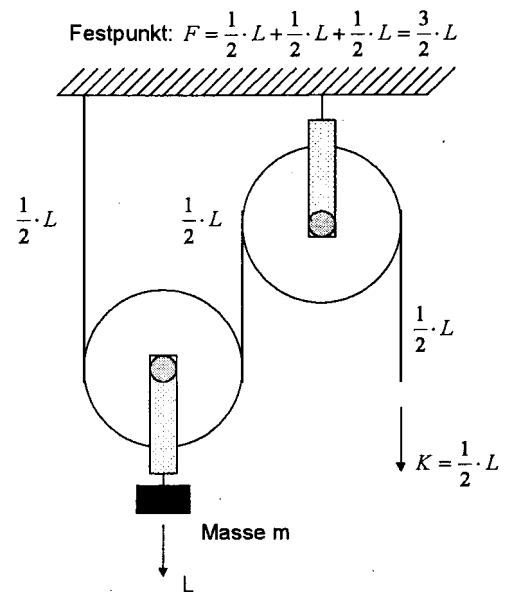
Mit der Hilfe einer losen Rolle kann man also die Zugkraft einer maschinell angetriebenen Zugeinrichtung verdoppeln. Da aber mit keiner Vorrichtung Arbeit gespart werden kann, muß bei einem abnehmenden Kraftaufwand zwangsläufig der Weg zunehmen („Goldene Regel“ der Mechanik). Bewegt sich beispielsweise die Last um einen Meter, so muß die Seilwinde zwei Meter Seil aufspulen.



Der Flaschenzug

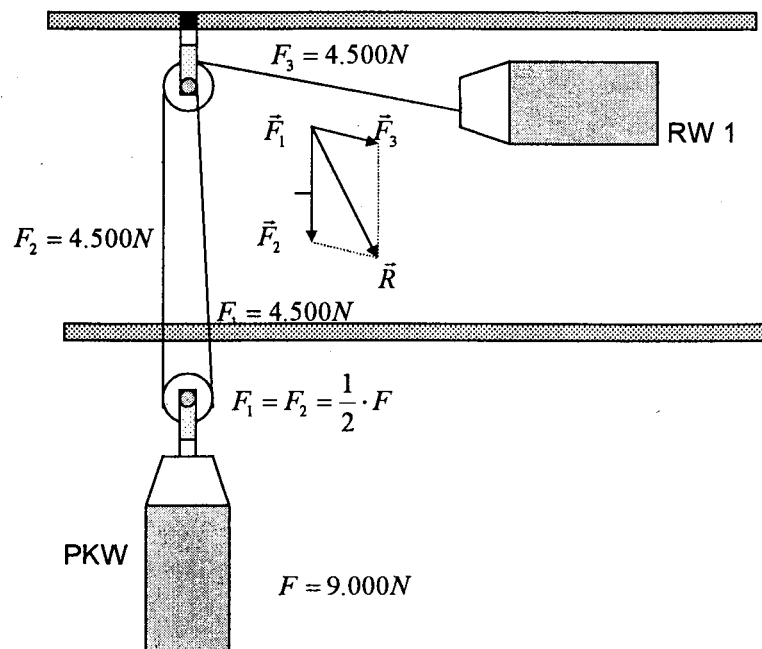
Insbesondere beim Heben von Lasten ist es oft ungünstig und unbequem, wenn die Zugkraft senkrecht nach oben wirken muß. Aber auch beim Bergen von Fahrzeugen ist es in der Regel unmöglich, den Festpunkt und die Zugvorrichtung an einem Ort in Stellung zu bringen. Deshalb verwendet man neben einer losen Rolle zusätzlich noch eine feste Rolle zum Umlenken der Kraft. Eine solche Kombination von Rollen bezeichnet man als Flaschenzug. Die aufzuwendende Zugkraft **K** bleibt auch beim Einsatz dieser zusätzlichen festen Rolle gleich der halben Last **L**. Ferner muß der Festpunkt in der Lage sein, sowohl die Last als auch die Zugkraft aufnehmen zu können.

Beispiel: Um ein von der Straße abgekommenes Fahrzeug mit der Hilfe eines



RW 1 zu bergen, muß eine Kraft $F = 9.000\text{ N}$ aufgebracht werden. Dazu soll ein Flaschenzug verwendet werden. (Von Reibungskräften soll abgesehen werden.)

Festpunkt (Abschätzung): $F_{FP} \leq F_1 + F_2 + F_3 = 4.500\text{ N} + 4.500\text{ N} + 4.500\text{ N} = 13.500\text{ N}$



An jedem Seilstrang wirkt die Hälfte der Last. Am Festpunkt wirkt jedoch zusätzlich die Zugkraft. Die Gesamtbelastung des Festpunktes beträgt Also maximal $\frac{3}{2} \cdot F$.

Natürlich müßte zur exakten Berechnung auch die Kräftezusammensetzung in den unter bestimmten Winkeln wirkenden Seilsträngen berücksichtigt werden. Für die Feuerwehrpraxis gilt jedoch die Faustregel, daß der Festpunkt in jedem Fall in der Lage sein muß, Last und Zugkraft aufnehmen zu können.

Aus dem Alltag kennt man Flaschenzüge, die wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt, aus einer Kombination mehrerer fester und loser Rollen bestehen. An solchen Flaschenzügen herrscht zwischen der Last (L) und der Zugkraft (K) genau dann ein Kräftegleichgewicht, wenn die Zugkraft den um so viel reduzierten Teil der Last beträgt, wie Rollen (n) vorhanden sind.

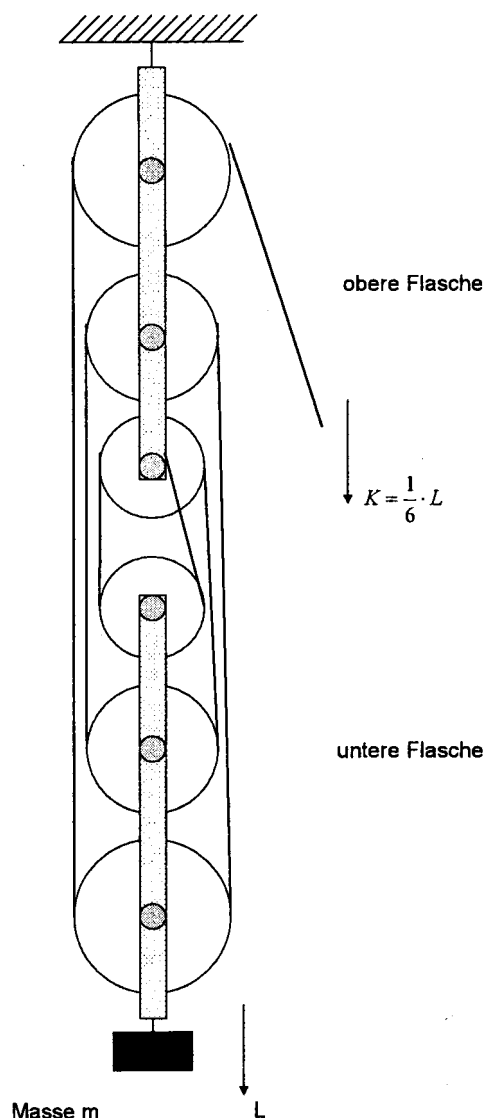
Es gilt:

$$K = \frac{1}{n} \cdot L$$

(Diese Formel gilt jedoch nur für Flaschenzüge mit dem oben genannten Aufbau!)

Nach der „Goldenen Regel“ der Mechanik wird auch hier der Kraftweg entsprechend um den Faktor n länger.

Die festen Rollen in der oberen Flasche bewirken die Umlenkung der Kraftrichtung. Der Zweck der unteren Rollen in der beweglichen Flasche ist die gleichmäßige Verteilung der Last L auf die losen Rollen. Die auf eine Rolle entfallende Teillast wirkt nun je zur Hälfte an den beiden Seilen, die die Rolle tragen.



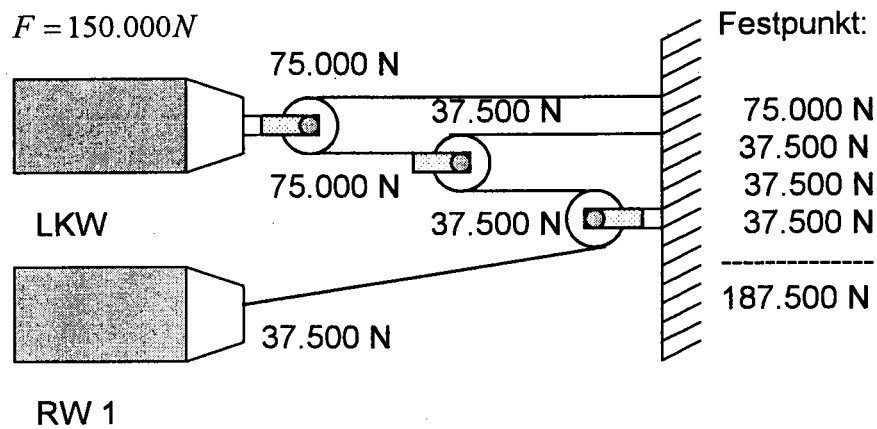
Beispiel: Um einen LKW mit der maschinell angetriebenen Zugeinrichtung eines RW 1 (Zugkraft $F_Z = 50.000\text{N}$) aus einem Graben zu ziehen, muß eine Kraft von $F = 150.000\text{N}$ aufgebracht werden. (Von Reibungskräften soll abgesehen werden.)

➔ normaler Flaschenzug:

Die Kombination aus einer losen und einer festen Rolle (normaler Flaschenzug) reicht hier nicht aus, da die aufzubringende Kraft R die maximale Zugkraft F_Z der Zugeinrichtung des RW 1 übersteigt.

$$R = \frac{1}{2} \cdot F = \frac{1}{2} \cdot 150.000\text{N} = 75000\text{N} > F_Z$$

→ Potenzflaschenzug:



Die feste Rolle lenkt nur die Krafrichtung um. Bei jeder der losen Rollen verteilt sich die an der Drehachse angreifende Last gleichmäßig auf die beiden tragenden Seile, so daß die Zugkraft F_Z der Zugeinrichtung des RW 1 ausreicht, um den LKW zu ziehen. Allerdings wirken auf den Festpunkt entsprechend große Kräfte ein.

4.4 Die hydraulische Presse

Am Druckkolben einer hydraulischen Presse, der einen relativ kleinen Querschnitt A_1 hat, wirkt die Kraft F_1 . Somit wird auf das im Druckzylinder befindliche Hydrauliköl ein Druck ausgeübt.

Für diesen gilt:

$$p = \frac{F_1}{A_1} \quad ; \quad [p] = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \quad (\text{Pa} = \text{Pascal})$$

Dieser Druck wirkt nun im gesamten Flüssigkeitsraum nach allen Seiten. Die Kraft F_2 am Arbeitskolben, der eine größere Fläche A_2 hat, beträgt somit:

$$F_2 = p \cdot A_2 \quad p = \frac{F_1}{A_1}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot A_2}{A_1} \quad \text{oder} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

Diese Gleichung zeigt, daß sich bei einer hydraulischen (von griech. hydor = Wasser) Presse der mittels des kleinflächigen Druckkolbens erzeugte Druck, der auf den großflächigen Arbeitskolben einwirkt, vervielfacht.

Dieses Prinzip findet auch in der Feuerwehrpraxis beispielsweise bei den hydraulischen Winden und den hydraulisch betätigten Rettungsgeräten Anwendung.

Beispiel: Die beiden Stempel einer hydraulischen Presse haben die Flächen $A_1 = 4 \text{ cm}^2$ und $A_2 = 360 \text{ cm}^2$. Am Druckkolben kann eine Kraft $F_1 = 40 \text{ N}$ aufgebracht werden. Somit folgt für die am Arbeitskolben erzielte Kraft F_2 :

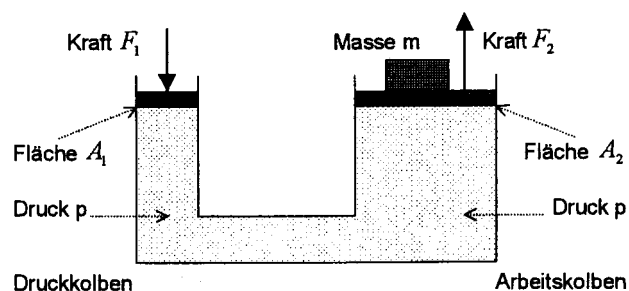
$$F_2 = \frac{F_1}{A_1} \cdot A_2 = \frac{40 \text{ N}}{4 \text{ cm}^2} \cdot 360 \text{ cm}^2$$

Da bei der hydraulischen Presse ebenfalls die „Goldene Regel“ der Mechanik gilt, folgt für die Kolbenwege:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{s_2}{s_1} \rightarrow \frac{40 \text{ N}}{360 \text{ N}} = \frac{s_2}{90}$$

Also wird $s_1 = \frac{90}{s_2}$, d.h. die Wege von Druckkolben (s_1) und Arbeitskolben

(s_2) verhalten sich wie 90 : 1. Der Weg des Druckkolbens ist 90 mal größer als der des Arbeitskolbens.



5 Quellennachweis

- Oliver Wegner IDF Münster
- Deutscher Gemeindeverlag und Verlag W. Kohlhammer: FwDV 13/1. Die Gruppe im technischen Hilfeleistungseinsatz. Köln, 1987.
- Dubig, Manfred und Gabler, Wolfgang (Hrsg.): Handbuch Feuerwehr. Technische Hilfe. Marburg, 1998.
- Lade, Eckhard: Fertig ausgearbeitete Unterrichtsbausteine für das Fach Physik. Eine Ideenbörse für alle Pflicht- und Wahlthemen in den Sekundarstufen 1 und II. Kissing, 1999.
- Mende, Dietmar: Physik. Gleichungen und Tabellen. Köln, 1994.
- Meyers Lexikonredaktion: Schülerduden. Die Physik. Ein Sachlexikon für die Schule. Mannheim, 1989.
- Schneider, Klaus: Feuerschutzhilfeleistungsgesetz Nordrhein-Westfalen. Köln, 1999.
- Schott, Lothar und Ritter, Manfred: Feuerwehr-Grundlehrgang. FwDV 2/2. Marburg, 1997.
- Tipler, Paul A.: Physik. Heidelberg, 1994.
- Wahl, Reinhold und Baumann, Arthur: Physik. Essen, 1975.
- Zimmermann, Georg: Mechanik für die Feuerwehrpraxis. Einführung in die Grundgesetze der Mechanik. Köln, 1993.

