

Arbeitsblatt: Messgrößen

Basisgrößen

Größe	Formelzeichen	Einheit	Einheitenzeichen
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Lichtstärke	I_v	Candela	cd
Stoffmenge	n	Mol	mol

Zehnerpotenzen

Bedeutung	Vorsatz		Faktor als	
	Name	Zeichen	Zehnerpotenz	Dezimalzahl
Trillionstel	Atto...	a...	10^{-18}	0,000 000 000 000 000 001
Billiardstel	Femto...	f...	10^{-15}	0,000 000 000 000 001
Billionstel	Piko...	p...	10^{-12}	0,000 000 000 001
Milliardstel	Nano...	n...	10^{-9}	0,000 000 001
Millionstel	Mikro...	μ ...	10^{-6}	
Tausendstel		m...	10^{-3}	0,001
Hundertstel	Zenti...		10^{-2}	0,01
Zehntel	Dezi...	d...		0,1
Zehnfache		da...	10	10
Hundertfache	Hekto...		10^2	100
Tausendfache	Kilo...	k...		1 000
Millionenfache	Mega...		10^6	1 000 000
Milliardenfache	Giga...	G...	10^9	
Billionenfache	Tera...	T...	10^{12}	1 000 000 000 000
Billiardenfache	Peta...	P...	10^{15}	1 000 000 000 000 000
Trillionfache	Exa...	E...	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000

Übung: Umrechnung von Messgrößen

1	12 mm=	m	15	99 kg/m ³ =	t/m ³
2	4 cm=	m	16	12 bar=	N/m ²
3	23 dm=	m	17	367 Pa=	N/m ²
4	0,8 km=	m	18	800 N/mm ² =	mbar
5	7 m=	km	19	360 km/h=	m/s
6	4 cm ² =	mm ²	20	3600 m/h=	m/s
7	2 dm ² =	cm ²	21	20 m/s=	km/h
8	9 m ² =	dm ²	22	13,33 l/s=	l/min
9	2 cm ³ =	mm ³	23	1600 l/min=	l/s
10	100 mm ³ =	ml	24	1600 l/min=	m ³ /h
11	5 dm ³ =	cm ³	25	786 Nm=	J
12	234 dm ³ =	l	26	0 °C=	K
13	2 t/dm ³ =	kg/dm ³	27	100 °C=	K
14	7,8 t/m ³ =	kg/dm ³	28	300 K=	°C

Arbeitsblatt: Masse, Kraft, Gewichtskraft

Masse

- Formelzeichen:
- Maßeinheit:
- Messgerät: Balkenwaage
- Definition: Die Masse ist die Stoffmenge eines Körpers.
Sie gibt an, wie und wie ein Körper ist.
- Abhängigkeit vom Ort: Die Masse ist .
- Beschreibung: Die Masse ist eine Größe, die allein durch ihren Betrag beschrieben wird (skalare Größe).

Kraft

- Eine Kraft ist die Ursache dafür, dass ein Körper seinen Bewegungszustand (Richtung und/oder Geschwindigkeit) ändert.
- Wird einer Masse m die Beschleunigung a zuteil, dann ist dazu eine Kraft F erforderlich, die sich aus ergibt.
- Die Einwirkung einer Kraft kann auch dazu führen, dass ein Körper verformt wird.
- Kräfte sind unsichtbar, nur ihre Wirkungen lassen sich beobachten.
- Die Wirkung einer Kraft hängt ab von:
- Formelzeichen: F
- Maßeinheit:

Gewichtskraft

- Formelzeichen: F_G ($F_G = \text{}$)
- Maßeinheit: N (Newton)
- Messgeräte: Federwaage
- Definition: Die Gewichtskraft ist die Kraft,
- Abhängigkeit vom Ort: Aufgrund der Ortsabhängigkeit der Erdbeschleunigung ist die Gewichtskraft vom Standort.
- Beschreibung: Die Gewichtskraft ist eine vektorielle Größe.
Sie wird beschrieben durch:
 und .

Arbeitsblatt: Reibungskraft

Überlässt man einen auf einer horizontalen Unterlage in Bewegung gesetzten Körper sich selbst, so kommt er nach einer gewissen Zeit zur Ruhe. Die Ursache dieser Geschwindigkeitsabnahme ist eine Kraft, die entgegengesetzt der Bewegungsrichtung wirkt. Da der Körper nur mit der Unterlage in Berührung kommt, kann die Kraft nur beim „Reiben“ an der Unterlage entstehen. Man bezeichnet sie deshalb als **Reibungskraft** „ F_R “.

Die Reibungskraft ist

- abhängig von

- abhängig von

- abhängig von

- unabhängig von

Reibungskraft:

Mittelwerte für Reibungszahlen bei Haftreibung, bei Gleitreibung und bei Rollreibung (Im Einzelfall können Abweichungen auftreten)

Stoffe	Haftreibung	Gleitreibung		Rollreibung; Fahrtwiderstandszahl ¹⁾
		trocken	geschmiert	
Stahl auf Stahl	0,25	0,15	0,06	
Stahl auf Grauguss	0,25	0,20	0,08	
Stahl auf Bronze (Gleitlager)	0,25	0,20	0,05	
Stahl auf Holz	0,5	0,4	0,1	
Stahl auf Stein oder Beton	0,8	0,7		
Stahl auf Eis (Schlittschuh)			0,013 (nass)	
Stahl auf Leder (Treibriemen)	0,6	0,3		
Holz auf Holz (senkrecht zur Faser)	0,4	0,3	0,2	
Holz auf Holz (parallel zur Faser)	0,5	0,4	0,2	
Holz auf Stein oder Beton	0,9	0,75		
Stein auf Beton	1,0	0,9		
Gummi auf Asphalt	0,9	0,85	0,45 (nass)	
Gummi auf Glatteis	0,15			
Gummi auf Schneeglätte	0,25			
Eisenbahn (Stahl auf Stahl)				0,003
Straßenbahn (Stahl auf Stahl)				0,006
Auto auf Asphalt oder Teer				0,03
Auto auf Pflaster				0,04

1) Die Rollreibung ist u. a. auch abhängig vom Radius des rollenden Körpers. Aus diesem Grund gibt man experimentell ermittelte Fahrtwiderstandszahlen für konkrete Beispiele an.

Arbeitsblatt: Dichte und Achslasten

Unter der Dichte ρ eines homogenen Stoffes versteht man den Quotienten aus der Masse m und dem Volumen V von Körpern, die aus diesem Stoff bestehen. Die Dichte ist eine Eigenschaft von Stoffen (Materialkonstante), während die Masse m eine Eigenschaft von Körpern ist.

Dichte:

Typische Einheitenangaben in Tabellenwerken für die Dichte sind : $\frac{\text{t}}{\text{m}^3}, \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}, \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Diese Einheitenangaben sind gleichwertig, da $\frac{\text{t}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Einige Beispiele in kg/dm^3 :

Aluminium	2,7	Benzin	0,7	Beton	1,8 .. 2,8	Blei	11,3
Getreide	0,5...0,8	Holz	0,4...0,9	Heizöl	0,8...0,9	Kies	1,2...1,5
Kork	0,24	Kunststoffe	1,0 .. 1,8	Messing	8,4	Sand	1,4...2,0
Stahl	7,8	Teer	1,2	Wasser (20 °C)	0,998	Zement	1,0...1,4

Für das Abschätzen von Lasten, z. B. beim Ziehen und Anheben von Fahrzeugen, ist zu berücksichtigen, wie die Stoffe transportiert werden. Beim Transport in „lockerer“ Schüttung ist die Dichte um etwa 20 % - 40 % niedriger als in obiger Tabelle.

Im Bereich der Feuerwehr wird die Dichte hauptsächlich benötigt, um die Masse eines Körpers, der gezogen oder angehoben werden soll, zu ermitteln, so dass hieraus dann die aufzuwendenden Zug- oder Hubkräfte abgeleitet werden können. Eine Abschätzung von Achslasten in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp findet man im Roten Heft „Mechanik-Beispiele aus der Praxis“. Hier einige Beispiele:

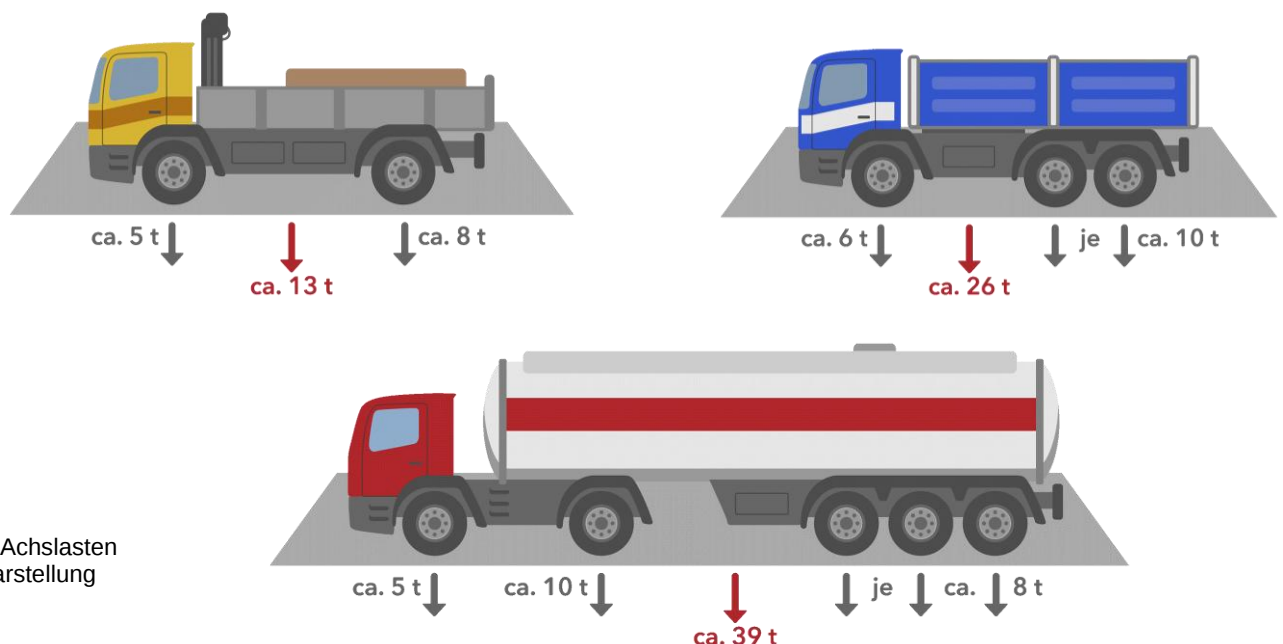
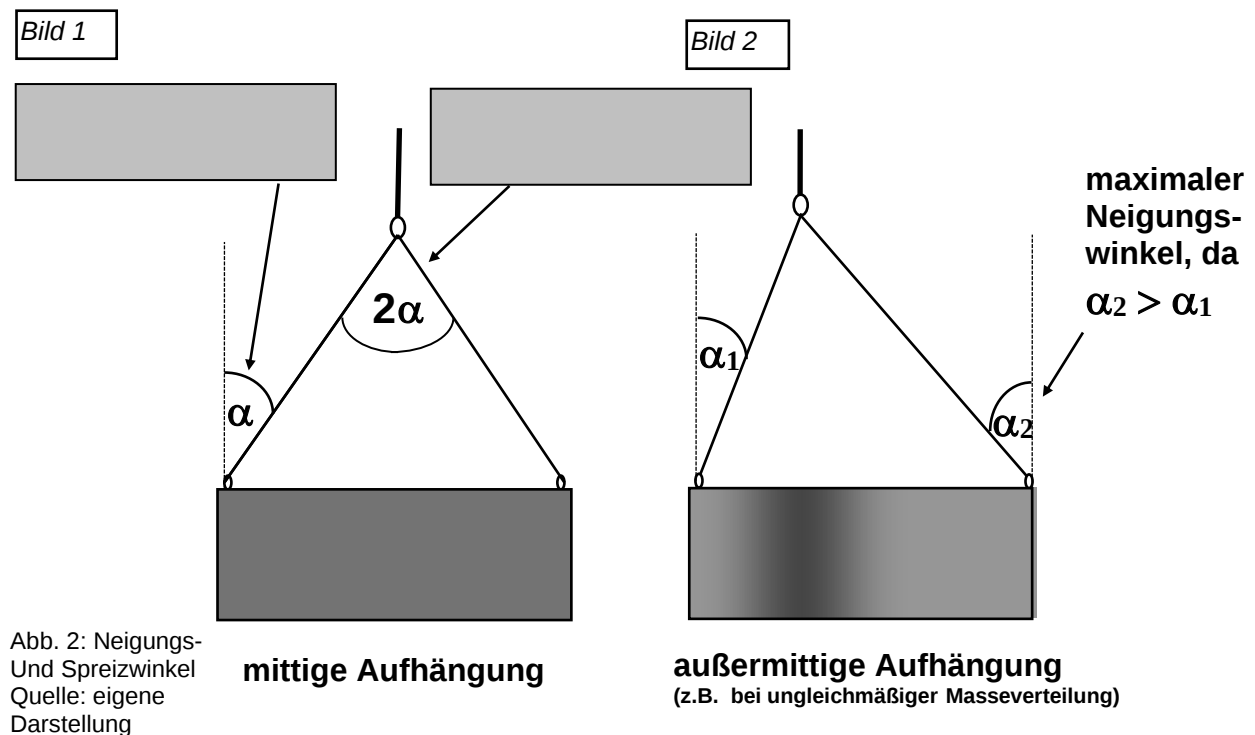


Abb. 1: Beispiele Achslasten
 Quelle: eigene Darstellung

Arbeitsblatt: Neigungs- und Spreizwinkel

Wenn zum Ziehen oder Heben von Lasten Anschlagmittel eingesetzt werden, ist darauf zu achten, dass die Anschlagmittel möglichst parallel verlaufen und kein Winkel zur Lotrechten auftritt.

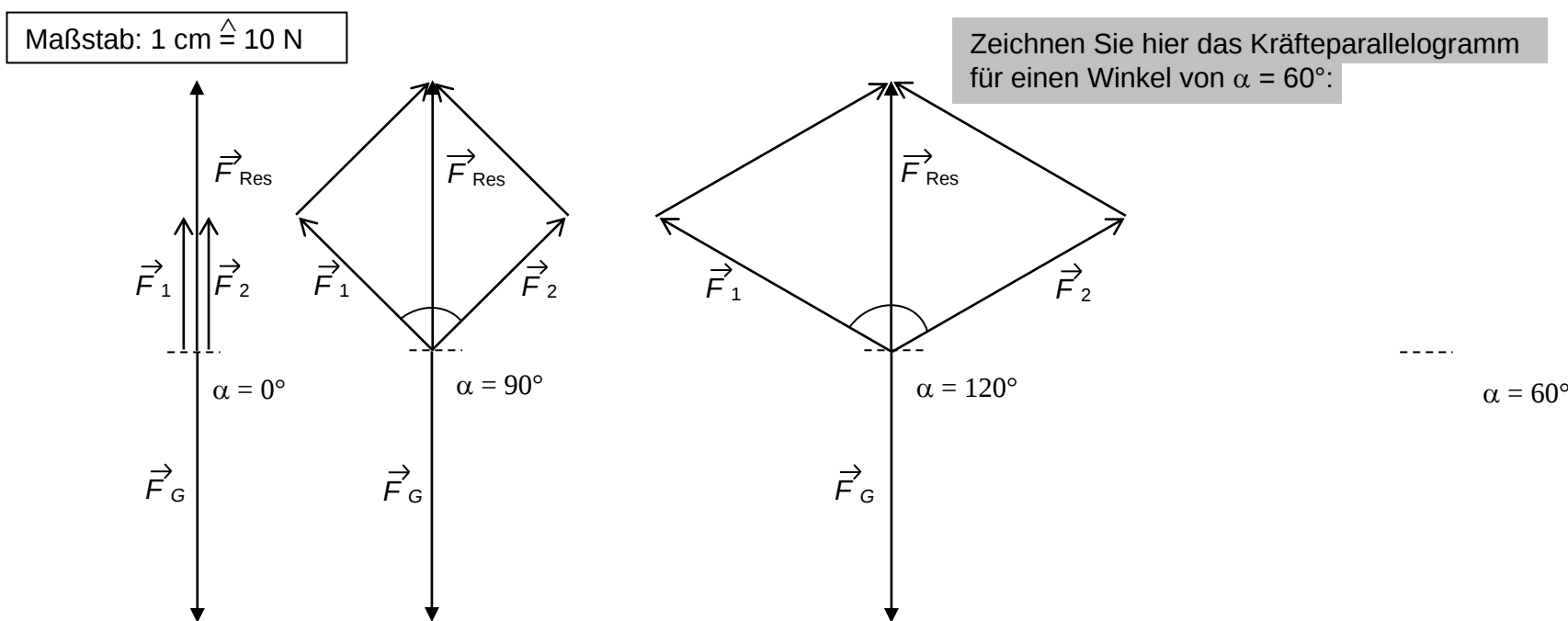
Dieser Winkel zwischen der Lotrechten und dem Anschlagmittel wird als Neigungswinkel bezeichnet. Falls dennoch ein Neigungswinkel nicht zu vermeiden ist, ist zu beachten, dass die Belastbarkeit der einzelnen Stränge umso kleiner wird, je größer der Neigungswinkel wird.



Besondere Bedeutung hat hierbei ein Neigungswinkel von 60° (bzw. ein Spreizwinkel von 120°). Ab diesem Neigungswinkel muss das betreffende Anschlagmittel eine Kraft aufnehmen, die die Gesamtkraft, welche zum Ziehen oder Heben der Last notwendig ist, übersteigt. Die Folge kann ein Bruch des Anschlagmittels sein. Diese Gefahr besteht insbesondere dann, wenn eine Last außermittig angeschlagen wird (vergleiche Bild 2). In diesem Fall kann der Spreizwinkel kleiner als 120° und der Neigungswinkel auf einer Seite der Aufhängung kleiner als 60° (z. B. im Bild 2 der Winkel α_1) sein, trotzdem kann es zum Bruch der Anschlagmittel kommen. Dies ist dann möglich, wenn der Neigungswinkel auf der anderen Seite der Aufhängung (im Bild 2 der Winkel α_2) größer als 60° ist. Aus diesem Grund muss man bei außermittigen Aufhängungen insbesondere den größeren der beiden Neigungswinkel, den sogenannten maximalen Neigungswinkel beachten.

Arbeitsblatt: Anschlagen von Lasten

Ein Massestück von $m = 4 \text{ kg}$ Masse wird an zwei Seilen aufgehängt. An beiden Seilen sind Kraftmesser angebracht. Wenn beide Seile vertikal nach oben ausgerichtet sind, zeigt jeder Kraftmesser die halbe Gewichtskraft an, also $F_1 = F_2 = 0,5 \cdot F_G = 20 \text{ N}$. Werden die Seile auseinander gezogen, dann werden die Kräfte F_1 und F_2 größer. Schließen die beiden Kräfte einen Winkel von $\alpha = 90^\circ$ ein, dann betragen die Kräfte $F_1 = F_2 = 28 \text{ N}$, bei einem Winkel von $\alpha = 120^\circ$ betragen sie schon 40 N , also $F_1 = F_2 = F_G$. Wenn noch weiter auseinander gezogen wird, wird jede Einzelkraft größer als die Gewichtskraft.



Die Resultierende $\vec{F}_{\text{Res}}$ aus den beiden Kräften $\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$ hält der Gewichtskraft $\vec{F}_G$ das Gleichgewicht: $\vec{F}_{\text{Res}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = -\vec{F}_G$. Wegen der symmetrischen Anordnung sind die beiden Kräfte $\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$ betragsmäßig gleich groß. Deshalb sind die Winkel zwischen $\vec{F}_1$ und $\vec{F}_{\text{Res}}$ bzw. zwischen $\vec{F}_2$ und $\vec{F}_{\text{Res}}$ gleich groß und damit halb so groß wie der Winkel α zwischen $\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$. Wenn dieser Winkel α immer größer wird, so müssen die Beträge von $\vec{F}_1$ und $\vec{F}_2$ immer größer werden, damit sie sich zu einem Kräfteparallelogramm ergänzen können, denn die Größe der resultierenden Kraft steht ja fest, sie ist gleich der Gewichtskraft.

Arbeitsblatt: Drehmoment

Wenn ein Körper um eine feste Achse drehbar ist, können angreifende Kräfte bei ihm keine Längsbewegung, sondern nur eine Drehung um die Achse hervorrufen. Dabei beschreibt jeder Punkt einen Kreisbogen, der in einer auf der Achse senkrecht stehenden Ebene liegt. Daher können auch nur Kräfte eine Drehung hervorrufen, die in einer solchen Ebene wirksam sind. Kräfte parallel zur Drehachse können dies nicht und erzeugen nur Reaktionskräfte in den Achslagern.

Aus Versuchen z. B. mit einem Drehmomentschlüssel ergibt sich, dass die Drehwirkung wächst, wenn die Größe der angreifenden Kraft erhöht wird und wenn die Entfernung des Angriffspunktes vom Drehpunkt zunimmt. Wenn die Kraft auf der Verbindungslinie von ihrem Angriffspunkt zum Drehpunkt senkrecht steht, ist das Produkt aus der Kraft und der Entfernung des Angriffspunktes vom Drehpunkt ein Maß für die Drehwirkung. Man bezeichnet das Produkt als **Drehmoment**.

Drehmoment:

Greift aber die Kraft F nicht senkrecht zur Verbindungslinie zwischen dem Angriffspunkt und dem Drehpunkt an, so kann nur die tangentielle Komponente der Kraft zur Wirkung kommen. Da nur diese Kraftkomponente eine Drehwirkung hervorruft, wird sie F_{Dreh} genannt. Dieser Teil der Kraft kann mathematisch bestimmt werden.

Alternativ kann zur Bestimmung des Drehmomentes bei nicht rechtwinklig angreifender Kraft der Hebelarm l ermittelt werden.

Der Hebelarm l ist die Länge des Lotes vom Drehpunkt auf die Wirkungslinie der Kraft.

Es gibt zwei Möglichkeiten, das Drehmoment bei nicht tangential angreifender Kraft zu bestimmen.

1. aus der Tangentialkomponente F_{Dreh} der Kraft F und dem Radius $r \rightarrow$ *Bild 1*
2. aus der Kraft F und dem Abstand der Wirkungslinie der Kraft F von der Drehachse (Hebelarm l) $\rightarrow$ *Bild 2*

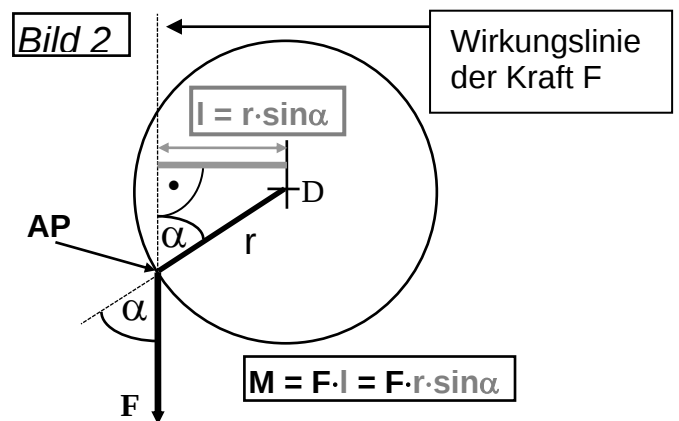
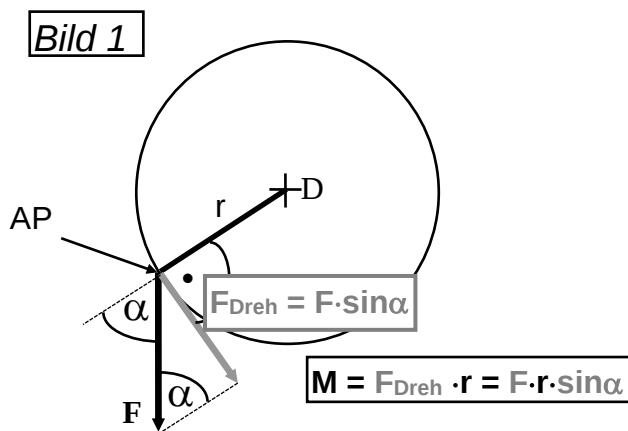


Abb. 3: Drehmoment
Quelle: eigene Darstellung

In beiden Fällen folgt: $M = F \cdot r \cdot \sin \alpha$

mit r : Abstand der Kraft vom Drehpunkt

AP: Angriffspunkt der Kraft

α : Winkel α zwischen der Wirkungslinie der Kraft und r

D : Drehpunkt

Arbeitsblatt: Druck

Druck:

Für die Umrechnung der Maßeinheiten gelten folgende Beziehungen:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 100\,000 \text{ N/m}^2 = 100\,000 \text{ Pa} = 1\,000 \text{ hPa (Hekto-Pascal)}$$

$$1 \text{ bar} = 10 \text{ N/cm}^2$$

Große Bedeutung hat der Druck im Bereich der Hydraulik und Pneumatik, denn der Druck breitet sich in Flüssigkeiten und Gasen nach allen Seiten gleichmäßig aus. Eine Anwendung aus dem Bereich der Feuerwehr sind die Luftheber. Aus der Definition des Druckes folgt, dass die Hubkraft, die durch einen Luftheber aufgebracht werden kann, mit abnehmender Auflagefläche des Druckkissens geringer wird. Dies ist bei Lufthebern ohne stabile Seitenwand zu beobachten. Das folgende Hubkraft-Lastweg-Diagramm zeigt diesen Sachverhalt für drei verschiedene Luftheber:

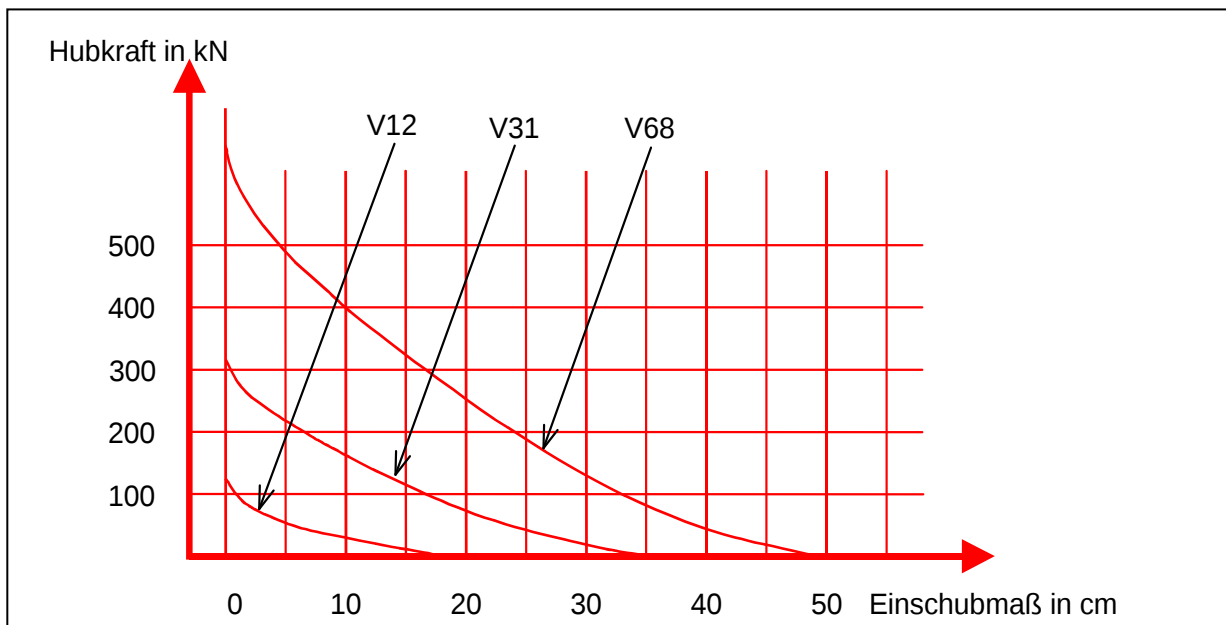


Abb. 4: Hubkraft- Lastweg- Diagramm

Quelle: eigene Darstellung

Eine weitere Anwendungen sind die Druckkrafthebezeuge (z. B. hydraulische Winde, Hebesatz), für die folgende Beziehung gilt:

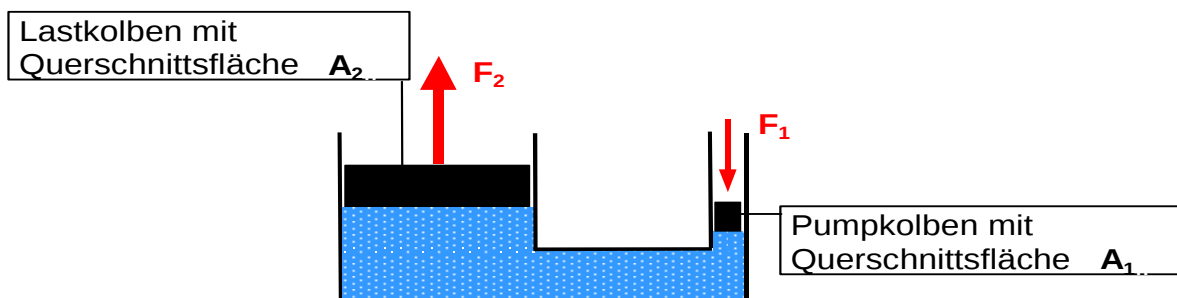


Abb. 5: Funktionsprinzip Druckkrafthebezeuge

Quelle: eigene Darstellung

Arbeitsblatt: Schiefe Ebene

Eine **Schiefe Ebene** ist eine Ebene, die gegen die Horizontale geneigt ist (Alltags-sprache: Rampe). Die schiefe Ebene wird benutzt, um den Kraftaufwand zur Höhenveränderung einer Masse zu verringern.

Durch die Errichtung einer Rampe dieser Art erkaufte man sich einen kleineren Kraftaufwand im Gegenzug für einen weiteren Weg. Je geringer die Steigung der Schiefen Ebene hierbei ist, desto weniger Kraft wird benötigt, aber umso länger wird der Weg.

Anwendungen dieses Prinzips finden sich zuhauf: Serpentinstraßen in Bergen, Rampen, die im Altertum zur Errichtung von Gebäuden benutzt wurden, Rollstuhlauffahrten etc.. Schrauben kann man alternativ auch als Nägel mit einer aufgewickelten Schiefen Ebene betrachten.



Abb. 6: Abladen von Fässern mittels Schrottleiter
Quelle: eigene Darstellung

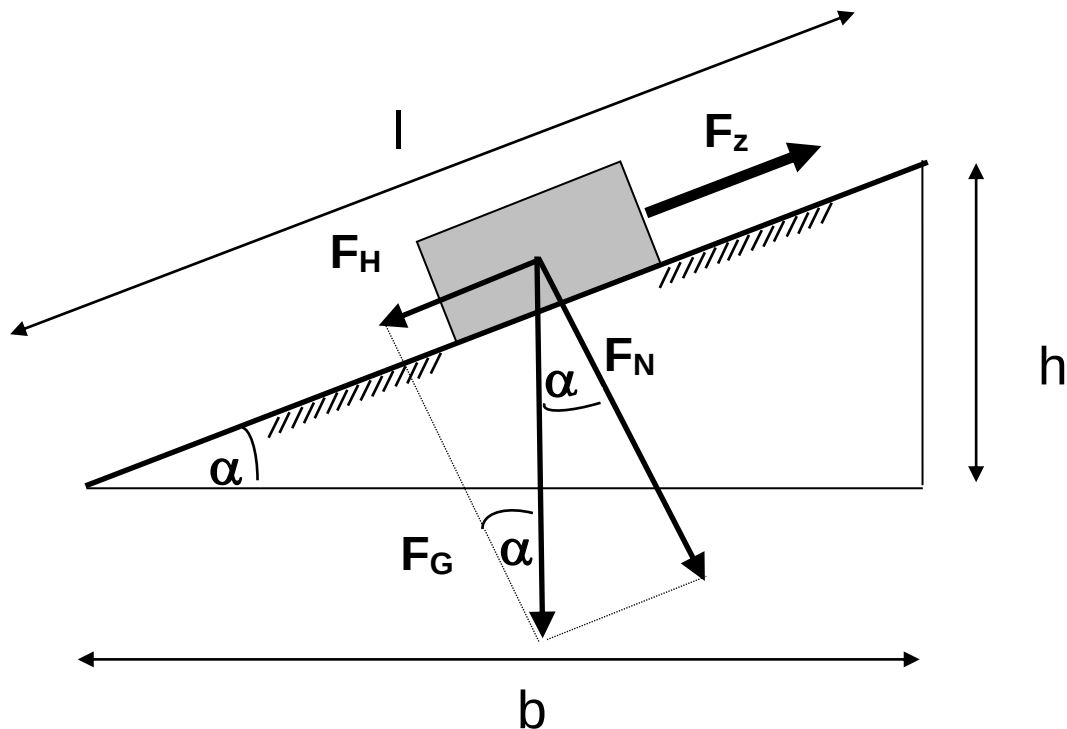
Abladen von Fässern mittels Schrottleiter

Physikalische Grundlagen

Die Gewichtskraft F_G einer Masse, die sich auf einer Schiefen Ebene befindet, wird in zwei Komponenten zerlegt, die Hangabtriebskraft F_H und die Normalkraft F_N . Da die Normalkraft bereits von der Schiefen Ebene selbst getragen wird, muss, um die Masse im Gleichgewicht zu halten, lediglich die Hangabtriebskraft ausgeglichen werden. Unter

realen Bedingungen ist dies bei niedrigen Winkeln oft bereits allein durch die Reibungskraft F_R der Masse der Fall.

Formeln



Mit

F_N : Normalkraft
 F_H : Hangabtriebskraft
 F_G : Gewichtskraft der Masse
 F_R : Reibungskraft oder Haftkraft
 F_z : Zugkraft, um den Körper zu Ziehen

α : Neigungswinkel der schiefen Ebene
 μ : Haftreibungszahl
 h : Höhe der schiefen Ebene
 b : horizontale Basis der schiefen Ebene
 l : Länge der schiefen Ebene

Abb. 7: Schiefe Ebene
Quelle: eigene Darstellung

ergeben sich folgende Gleichungen:

$$F_N = F_G \cos(\alpha) = F_G b/l$$

$$F_H = F_G \sin(\alpha) = F_G h/l$$

$$F_R = \mu F_N = \mu F_G \cos(\alpha) = \mu F_G b/l$$

$$\begin{aligned}
 F_Z = F_R + F_H &= \mu F_G \cos(\alpha) + F_G \sin(\alpha) \\
 &= \mu F_G b/l + F_G h/l
 \end{aligned}$$

Hinweis: Das Verhältnis $h:b = \tan(\alpha)$ wird häufig auch als Anstieg und das Verhältnis $h:l = \sin(\alpha)$ als Steigung bezeichnet wird.

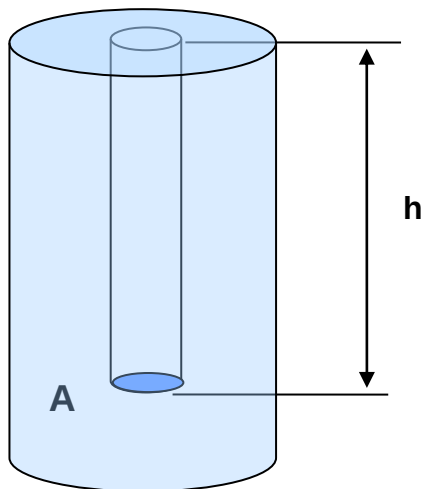
Arbeitsblatt: Schweredruck und Auftrieb

Schweredruck

Der Schweredruck in der Tiefe h entsteht durch die Gewichtskraft der Flüssigkeit, die sich über der gegebenen Tiefe h befindet. Hierzu kann man eine fiktive Flüssigkeitssäule der Höhe h und der Basis A betrachten.

Die Gewichtskraft des Flüssigkeitszylinders lässt sich berechnen, wenn die Masse bekannt ist.

Da bekannt ist, in welcher Flüssigkeit man den Schweredruck bestimmen will, kann man die Masse des fiktiven Zylinders mit Hilfe der Dichte der Flüssigkeit und des Volumens des Zylinders berechnen:



$$p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot h \cdot g$$

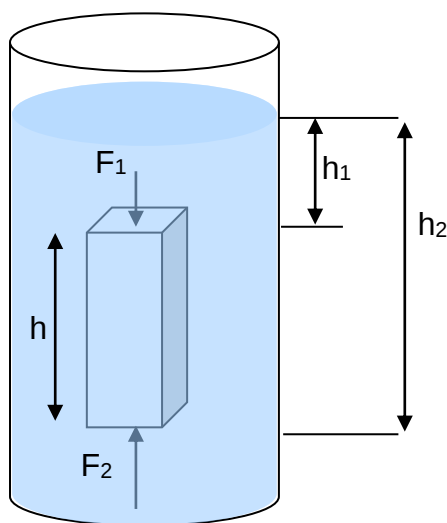
$$p = \rho \cdot h \cdot g$$

Der Schweredruck ist nur von der Tiefe, nicht jedoch von der Gefäßform abhängig. Diese Tatsache wird als hydrostatisches Paradoxon bezeichnet.

Abb. 8: Schweredruck
Quelle: eigene Darstellung

Auftrieb

Wird ein Körper in eine Flüssigkeit gebracht, so ist der Schweredruck an der Unterseite höher als an der Oberseite. Die resultierende Kraft weist nach oben und heißt Auftrieb. Die Auftriebskraft entspricht dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit (Archimedisches Prinzip).



$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} \Leftrightarrow F_1 = p_1 \cdot A_1 = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h_1 \cdot A_1$$

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2} \Leftrightarrow F_2 = p_2 \cdot A_2 = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h_2 \cdot A_2$$

$$F_A = F_2 - F_1 = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h_2 \cdot A_2 - \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot h_1 \cdot A_1 = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot A \cdot (h_2 - h_1) \quad \text{mit: } h = h_2 - h_1$$

$$F_A = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot A \cdot h = \rho_{\text{Fl}} \cdot g \cdot V$$

Abb. 9: Auftrieb
Quelle: eigene Darstellung

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beispiele Achslasten	4
Abb. 2: Neigungs-	5
Abb. 3: Drehmoment.....	7
Abb. 4: Hubkraft- Lastweg- Diagramm.....	8
Abb. 5: Funktionsprinzip Druckkrafthebezeuge	8
Abb. 6: Abladen von Fässern mittels Schrotleiter	9
Abb. 7: Schiefe Ebene.....	10
Abb. 8: Schweredruck.....	11
Abb. 9: Auftrieb	11

