



<u>Veranstaltung:</u>	F-TH-VU
<u>Ausbildungseinheit:</u>	Kapitel 2 Mechanik (Physikalische Grundlagen) - Lernunterlage -
<u>Thema:</u>	
<u>Ausgabe:</u>	02.12.2015
<u>Zuständig:</u>	Abteilung T
<u>Bearbeitet von:</u>	Volker Heerdt
<u>Literaturhinweis:</u>	Technische Hilfe, Dubig Technische Hilfeleistung, Rodenberg Mechanik für die Feuerwehrpraxis, Zimmermann

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Masse.....	1
3	Kraft	1
4	Zusammenhang Kraft - Masse	2
5	Gewichtskraft	2
6	Einfache Maschinen	3
7	Reibung	5
8	Rollen.....	7
8.1	Feste Rolle	7
8.2	Lose Rolle	7
8.3	Zusammenfassung feste und lose Rolle	8
9	Flaschenzüge	8
9.1	Faktorenflaschenzug.....	9
9.2	Potenzflaschenzug.....	11
10	Druck	11
11	Lösungen.....	13
12	Quellenverzeichnis	14

2 Einleitung

Die Mechanik ist ein Teilgebiet der Physik und behandelt die Bewegung und das Gleichgewicht von Körpern unter dem Einfluss von Kräften.

Im Feuerwehrdienst wird die Mechanik, speziell im Bereich der Technischen Hilfeleistung, beim Heben und Bewegen von Lasten eingesetzt. Sobald die eigene Muskelkraft eines Feuerwehrangehörigen nicht mehr ausreicht, wird es notwendig, so genannte einfache Maschinen einzusetzen. Hierzu gehören Hebel, Rollen und Flaschenzüge.

Feuerwehrangehörige müssen die notwendigen physikalischen Grundlagen für die Technische Hilfeleistung kennen und erklären, sowie diese in der Praxis richtig anwenden können.

3 Masse

Die Masse ist die in einem Körper enthaltene Materiemenge. Sie ist eine charakteristische Größe eines Körpers, die die zwei Eigenschaften Schwere und Trägheit beschreibt.

Schwere ist die Eigenschaft eines Körpers, von der Erde angezogen zu werden.

Trägheit ist die Eigenschaft eines Körpers, sich einer Geschwindigkeitsänderung zu widersetzen.

Die Masse ist überall gleich, sie ist ortsunabhängig. Ihre Maßeinheit ist **Kilogramm [kg]**.

4 Kraft

Kräfte sind nicht sichtbar. Die Wirkungen von Kräften sind jedoch zu erkennen.

Kräfte bewirken:

- bei fest eingespannten Gegenständen eine Formänderung.
- bei losen Gegenständen eine Lageänderung, Bewegungsänderung.

Die Wirkung einer Kraft ist abhängig von:

- ihrer Größe (Betrag)
- ihrer Richtung
- ihrem Angriffspunkt

5 Zusammenhang Kraft - Masse

Die Ursache für eine Lage-, Form- oder Bewegungsänderung ist immer eine Kraft. Als Maßeinheit für die Kraft wird das **Newton [N]** verwendet. Die Kraft ergibt sich aus dem Produkt von Masse und Beschleunigung.

$$\text{Kraft [N]} = \text{Masse [kg]} \cdot \text{Beschleunigung [m/s}^2\text{]}$$

$$F = m \cdot a$$

Mit diesem Zusammenhang lassen sich alle Kräfte beschreiben.

6 Gewichtskraft

Auf der Erde wirkt auf alle Massen die Erdbeschleunigung, auch Gravitation genannt. Die Gravitation, mit dem Formelbuchstaben **g** bezeichnet, ist fest definiert und ihr Wert beträgt im Mittel $9,81 \text{ m/s}^2$.

Bei der Feuerwehr kann für die Berechnungen dieser Wert auf 10 m/s^2 aufgerundet werden. Ersetzt man in der Formel zur Berechnung einer Kraft die Beschleunigung durch die Erdbeschleunigung ergibt sich somit:

$$\text{Gewichtskraft [N]} = \text{Masse [kg]} \cdot \text{Erdbeschleunigung [m/s}^2\text{]}$$

$$F_G = m \cdot g$$

Ein Körper mit einer Masse von 80 kg hat somit eine Gewichtskraft von:

$$F_G = m \cdot g$$

$$F_G = 80 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 800 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$F_G = 800 \text{ N}$$

Merke:

Eine Masse von 1 kg entspricht einer Gewichtskraft von 10 N.

7 Einfache Maschinen

Zu den einfachen Maschinen gehört der Hebel. Durch den Einsatz eines Hebels lässt sich mit relativ wenig Aufwand eine große Kraft erzeugen.

Der Hebel ist ein um eine Achse drehbarer starrer Körper (z. B. Brechstange), der zum Heben oder Verschieben von Lasten eingesetzt werden kann.

Der Hebel ist:

- **einseitig:** wenn Kraft und Last auf einer Seite des Drehpunktes angreifen.

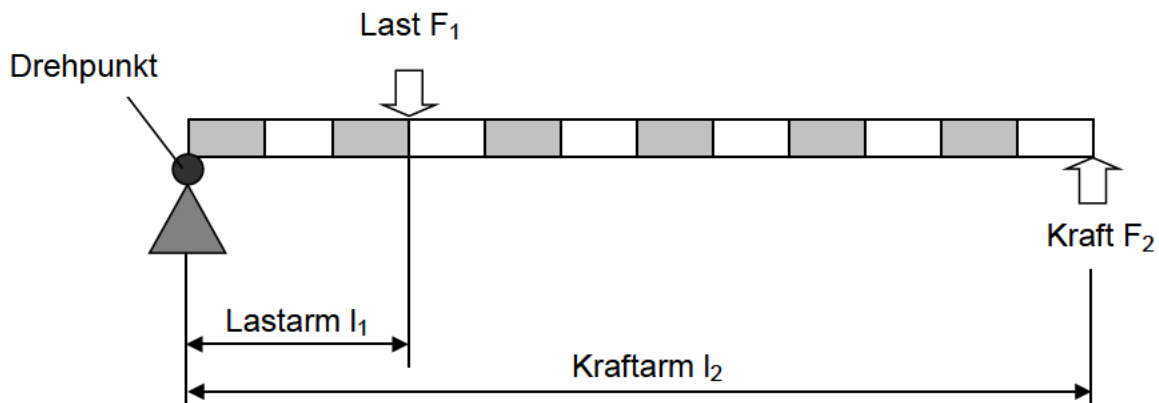


Abb. 1: Einseitiger Hebel

- **zweiseitig:** wenn Kraft und Last auf verschiedenen Seiten des Drehpunktes angreifen.

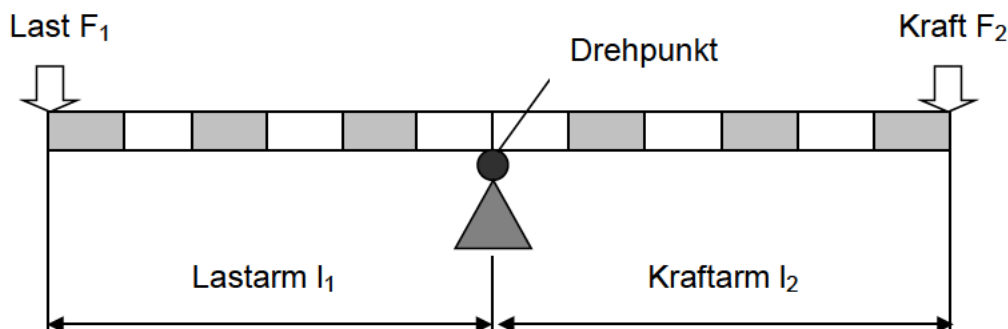


Abb. 2: Zweiseitiger Hebel

Ob ein Hebel ein einseitiger oder zweiseitiger Hebel ist, hängt nicht von seiner Form, sondern allein von der Art seines Einsatzes ab.

Bei gleicher Länge des Hebels ist beim Einsatz als einseitiger Hebel eine größere Kraft zu erreichen.

Die Berechnung eines Hebels erfolgt mit dem Hebelgesetz:

$$\text{Last [N]} \cdot \text{Lastarm [m]} = \text{Kraft [N]} \cdot \text{Kraftarm [m]}$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

Übungsaufgabe 1

Mit einer Brechstange (70 cm lang) soll eine Masse von 975 kg angehoben werden.
Der Drehpunkt ist 5 cm von der Last entfernt.

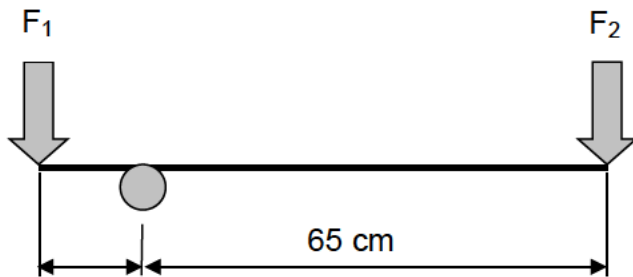


Abb. 1: Hebel

Gegeben: $m_1 = 975 \text{ kg}$
 $l_1 = 5 \text{ cm}$
 $l_2 = 65 \text{ cm}$

Gesucht: $F_1 = ? \text{ [kN]}$
 $F_2 = ? \text{ [kN]}$
 $m_2 = ? \text{ [kg]}$

Frage A: Welche Kraft F_2 wird zum Anheben benötigt?

Frage B: Welcher Masse entspricht diese Kraft?

Lösung: siehe Seite 14

8 Reibung

Die Reibung wirkt zwischen den Oberflächen zweier sich berührender Körper und hemmt die Bewegung der Körper gegeneinander. Reibungskräfte sind unentbehrlich, denn sie halten z. B. den Nagel in der Wand, verhindern das Ausrutschen beim Gehen und ermöglichen Fortbewegung und Bremsen eines Fahrzeuges.

Beim Ziehen von Lasten sollte man eine möglichst geringe Reibung zwischen Last und Auflagefläche haben, um schwere Lasten Kraft sparend bewegen zu können.

Man unterscheidet folgende Reibungsarten:

1. Haftreibung

Sie tritt auf, wenn ein Körper auf einer Unterlage ruht und in Bewegung gebracht werden soll.

2. Gleitreibung

Sie wirkt bei bereits bestehender Bewegung eines Körpers und ist erheblich kleiner als die Haftreibung.

3. Rollreibung

Sie tritt auf, wenn ein Körper auf einer Oberfläche rollt und ist noch wesentlich geringer als die Gleitreibung.

Merke:

Die Reibungskraft wirkt stets parallel zur Berührungsfläche und ist der Bewegung entgegengerichtet.

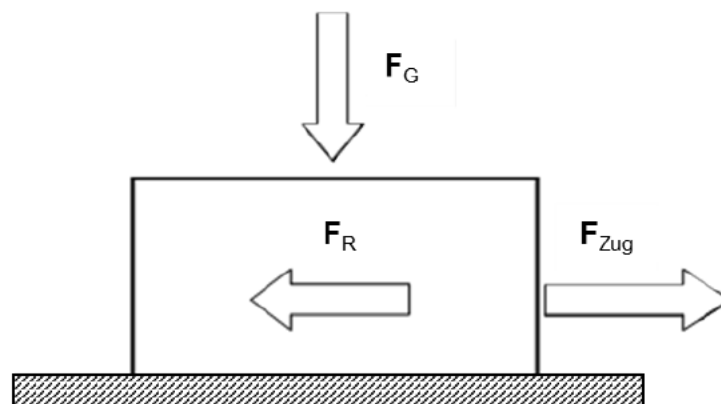


Abb. 2: Reibung

F_G = Gewichtskraft; F_R = Reibungskraft

F_{Zug} = Zugkraft zum Bewegen des Körpers

$F_{Zug} > F_R$ (Die Zugkraft F_{Zug} muss größer als die Reibungskraft F_R sein, damit sich der Körper in Zugrichtung bewegt.)

Welche Größen beeinflussen die Reibungskraft?

Je größer die Masse des aufliegenden Körpers ist, umso größer ist die auf die Fläche wirkende Gewichtskraft F_G .

Die Reibungszahl μ und somit die Reibungskraft ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Untergrundes und von der Beschaffenheit des Materials.

In der nachfolgenden Tabelle ist ein Auszug aus Stoffpaarungen und Reibungswerten dargestellt:

Stoffpaar	Haftreibung μ_H	Gleitreibung μ_G	Rollreibung μ_R
Stahl/Stahl	0,15...0,30	0,10...0,12	0,005...0,01
Stahl/Holz	0,55...0,70	0,40...0,50	0,01...0,08
Gummi/Asphalt	0,70...0,80	0,50...0,60	0,01...0,03
Gummi/Beton	0,65	0,35...0,50	0,015...0,02
Gummi/Pflaster	0,60	0,50	0,012...0,025

Tab. 1: Reibungszahlen

Bei der Feuerwehr können für die Berechnung folgende Werte angenommen werden:

Haftreibung μ_H	ca. 0,7
Gleitreibung μ_G	ca. 0,3
Rollreibung μ_R	ca. 0,01

Tab. 2: Reibungszahlen für die Feuerwehr

Die Reibungskraft ist unabhängig von der Größe der Berührungsfläche des Körpers mit dem Untergrund und somit auch unabhängig von den Abmessungen des Körpers.

In der Ebene gilt folgende Gleichung:

Reibungskraft

$$F_R = F_G \cdot \mu$$

Übungsaufgabe 2

Eine Stahlbetonplatte mit einer Masse von $m = 6.000 \text{ kg}$ soll auf einem Holzuntergrund verschoben werden. Die Haftreibung wird mit $\mu_H = 0,7$ angenommen.

Gegeben: $m = 6.000 \text{ kg}$
 $\mu_H = 0,7$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

Gesucht: $F_G = ? \text{ [kN]}$
 $F_R = ? \text{ [kN]}$
 $F_{\text{Zug}} = ? \text{ [kN]}$

Frage: Welche Zugkraft ist hierfür erforderlich?

Lösung: siehe Seite 14

9 Rollen

9.1 Feste Rolle

Wird eine Rolle an einem Festpunkt angeschlagen, bezeichnet man sie als feste Rolle. Die Zugkraft wird durch diese Rolle umgelenkt. Bei der festen Rolle ist Kraft gleich Last. Der Festpunkt, an dem die Rolle angeschlagen ist, wird mit der doppelten Zugkraft beaufschlagt. Die feste Rolle kann mit einem gleicharmigen zweiseitigen Hebel verglichen werden. Die Länge l_1 auf der Seite der Last F_1 und die Länge l_2 auf der Seite der Kraft F_2 sind gleich.

9.2 Lose Rolle

Befestigt man eine Rolle an der Last und führt das eine Seilende durch die Rolle zu einem Festpunkt und das andere Seilende zu einer Zugeinrichtung, so hat man eine Rolle als lose Rolle eingesetzt. Dadurch wird die Last auf zwei Seilstränge verteilt. Somit ist die aufzuwendende Kraft zum Bewegen nur noch halb so groß wie die Last. Jede lose Rolle halbiert somit die aufzuwendende Kraft. Betrachtet man die lose Rolle nach dem Prinzip des Hebels, stellt man fest, dass der Kraftarm l_2 gleich dem Durchmesser der Rolle ist. Die Last F_1 hängt in der Mitte der Rolle und der zugehörige Radius ist gleich dem Lastarm l_1 der Rolle. Somit ergibt sich ein einseitiger Hebel mit dem Verhältnis Kraftarm zu Lastarm gleich zwei zu eins, welches zu einer Halbierung der Kraft führt. Die Länge des über die Rolle zu ziehenden Seiles wird dabei verdoppelt.

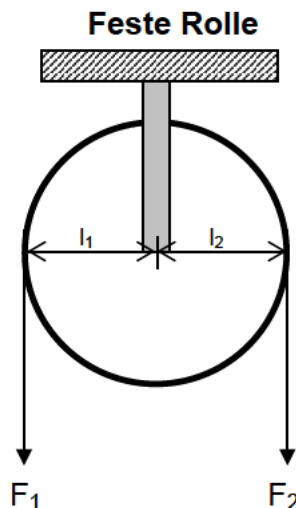


Abb. 3: Feste Rolle

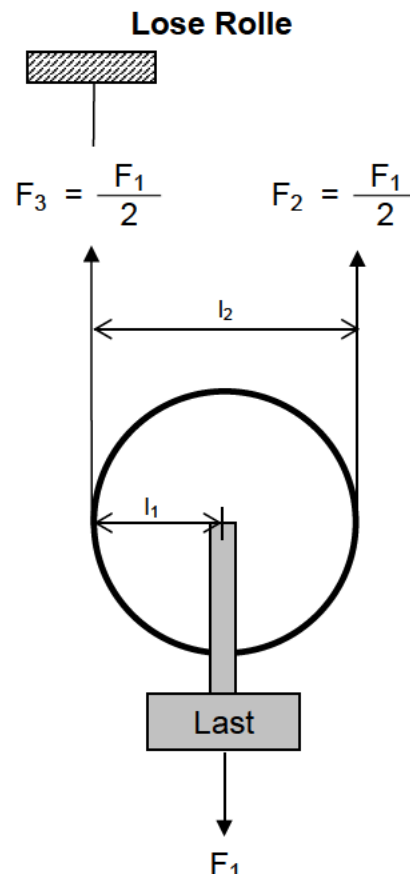


Abb. 4: Lose Rolle

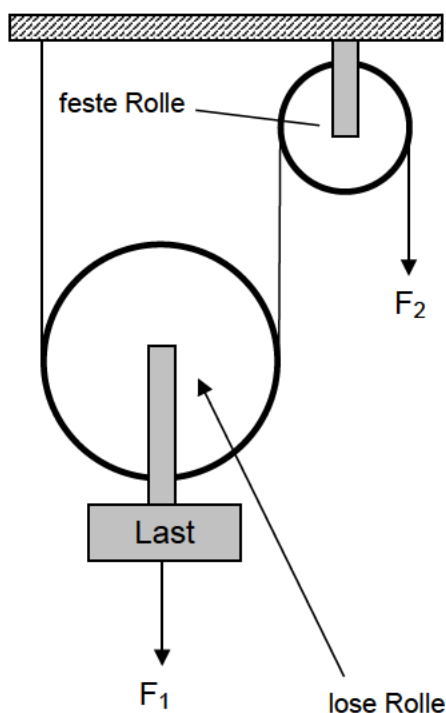
9.3 Zusammenfassung feste und lose Rolle

	feste Rolle	lose Rolle
Ort der Befestigung	am Festpunkt	an der Last
Aufzuwendende Kraft	Umlenkung	Halbierung
Zugweg	bleibt gleich	verdoppelt sich
Prinzip	zweiseitiger Hebel	einseitiger Hebel

Tab. 3: Zusammenfassung

10 Flaschenzüge

Beim Bewegen von Lasten ist es oftmals nicht möglich, Festpunkt und Zugvorrichtung an einer Position in Stellung zu bringen.



In diesem Fall verwendet man zusätzlich eine feste Rolle zur Umlenkung der Kraft. Diese Verbindung von loser und fester Rolle wird als Flaschenzug bezeichnet. Die aufzuwendende Kraft bleibt auch beim Einsatz der zusätzlichen festen Rolle gleich der halben Gewichtskraft der Last, da die eingesetzte feste Rolle lediglich als Umlenkrolle dient.

$$F_2 = \frac{F_1}{2}$$

Abb. 5: Kombination lose und feste Rolle

10.1 Faktorenflaschenzug

Kombiniert man feste und lose Rollen so, dass sie sich gegenüber liegen, verteilt sich die aufzubringende Zugkraft auf die an der Last angreifenden Seilstränge. Dadurch erhält man einen Faktorenflaschenzug.

Merkmale:

- ein durchgehendes Seil
- feste und lose Rolle liegen sich gegenüber
- Kraft ist gleich Last geteilt durch Anzahl der tragenden Seilstränge

Beispiel:

Faktorenflaschenzug, dreisträngig unter Verwendung eines Mehrzweckzuges MZ 16 mit Angabe der Kräfte in den Seilen.

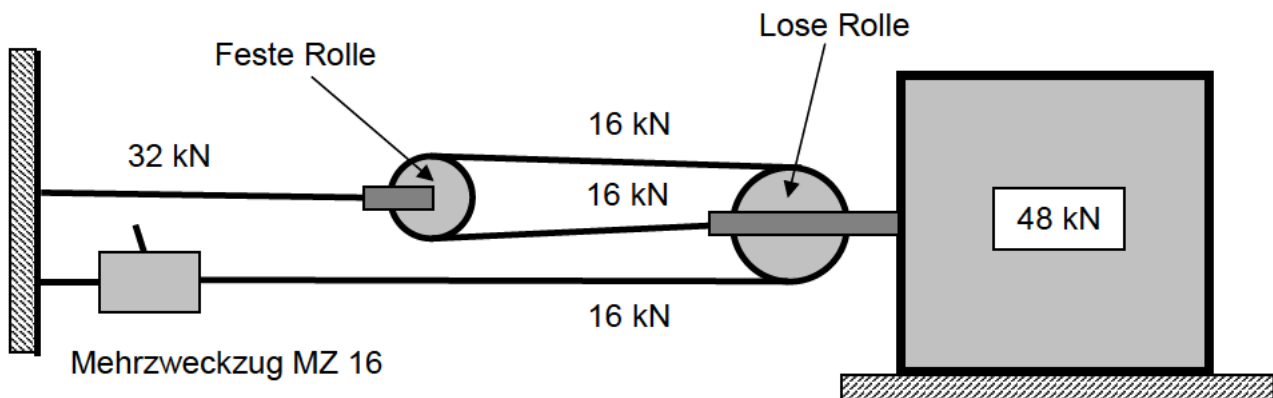


Abb. 6: Faktorenflaschenzug

Übungsaufgabe 3

Faktorenflaschenzug, dreisträngig unter Verwendung eines Mehrzweckzuges MZ 16 mit Angaben der Kräfte in den Seilen.

Gegeben: Masse m = 6,0 t = 6.000 kg
Haftreibung μ_H = 0,60
Mehrzweckzug MZ 16 = 16 kN Zugkraft

Gesucht: F_G = ? [kN]
 F_R = ? [kN]
 F_{Zug} = ? [kN]
 F_{S1} = ? [kN]
 F_{S2} = ? [kN]
 F_{S3} = ? [kN]
 F_{S4} = ? [kN]

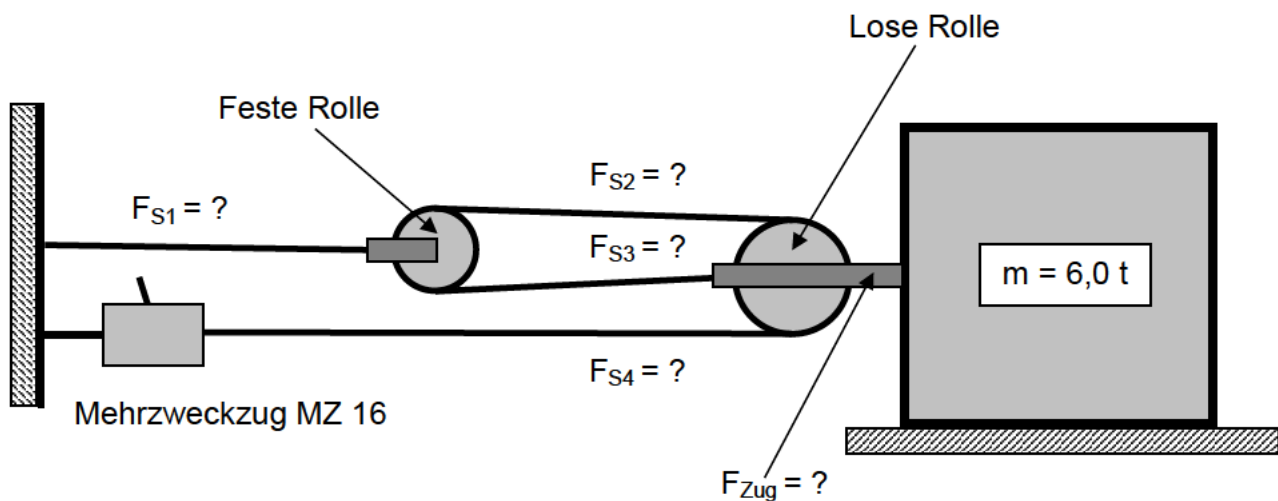


Abb. 7: Faktorenflaschenzug

Frage: Welche Zugkraft und welche Seilkräfte müssen aufgebracht werden, um einen Stahlklotz mit einer Masse von 6,0 t auf einem Holzboden zu ziehen?

Lösung: siehe Seite 15

10.2 Potenzflaschenzug

Setzt man zwei Rollen hintereinander als lose Rollen ein, erhält man einen Potenzflaschenzug, mit dem man die Zugkraft auf ein Viertel reduzieren kann. Hierbei ist das Einscheren eines zweiten Zugseiles notwendig.

Merkmale:

- mehrere Seile
- die Rollen sind hintereinander angebracht
- jede Rolle halbiert die Zugkraft

Beispiel:

Potenzflaschenzug mit zwei Rollen unter Verwendung eines Mehrzweckzuges MZ 16 mit Angabe der Kräfte in den Seilen.

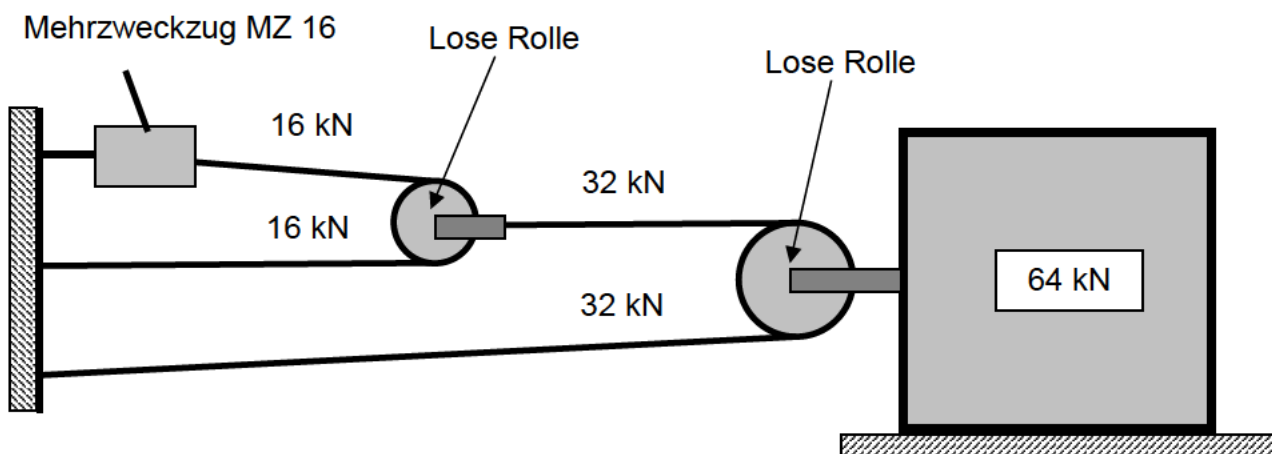


Abb. 8: Potenzflaschenzug

11 Druck

Druck entsteht immer dann, wenn eine Kraft auf eine Fläche wirkt. Die Maßeinheit des Druckes ist das Pascal. 1 Pa Druck entsteht, wenn eine Kraft von 1 N auf eine Fläche von 1 m² wirkt.

$$\text{Druck [Pa]} = \frac{\text{Kraft [N]}}{\text{Fläche [m}^2\text{]}}$$

$$p = \frac{F}{A}$$

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

Die ältere Einheit des Druckes ist bar. Viele technische Geräte der Feuerwehr werden auch heute noch mit Druckanzeigen mit bar-Skala verwendet. Daher kann eine Umrechnung notwendig werden.

$$100.000 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$$

In einem geschlossenen System ist der Druck an allen Stellen gleich, er kann nicht entweichen. Somit erhöht sich die Kraft, die aufgebracht werden kann, mit Vergrößerung der wirksamen Fläche.

Wird bei gleichbleibendem Druck die Fläche verkleinert, so verringert sich auch die Kraft, die aufgebracht werden kann.

12 Lösungen

Übungsaufgabe 1

Frage A: Welche Kraft F_2 wird zum Anheben benötigt?

$$F_1 = m \cdot g = 975 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 9.750 \text{ N}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} = \frac{9.750 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm}}{65 \text{ cm}}$$

$$F_2 = 750 \text{ N}$$

Antwort: Es wird eine Kraft von $F_2 > 750 \text{ N}$ zum Anheben benötigt.

Frage B: Welcher Masse entspricht diese Kraft?

$$m = \frac{F_2}{g} = \frac{750 \text{ N}}{10 \text{ m/s}^2}$$

$$m = 75 \text{ kg}$$

Antwort: Die Kraft $F_2 = 750 \text{ N}$ entspricht einer Masse von $m = 75 \text{ kg}$.

Übungsaufgabe 2

Frage: Welche Zugkraft ist hierfür erforderlich?

$$F_G = m \cdot g$$

$$F_G = 6.000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2$$

$$F_G = 60.000 \text{ N}$$

$$F_G = 60 \text{ kN}$$

$$F_R = F_G \cdot \mu$$

$$F_R = 60 \text{ kN} \cdot 0,7$$

$$F_R = 42 \text{ kN}$$

$$F_{\text{Zug}} > F_R$$

$$F_{\text{Zug}} > 42 \text{ kN}$$

Antwort: Zum Verschieben der Stahlbetonplatte ist eine Zugkraft von $F_{\text{Zug}} > 42 \text{ kN}$ erforderlich.

Übungsaufgabe 3

Frage: Welche Zugkraft und welche Seilkräfte müssen aufgebracht werden, um einen Stahlklotz mit einer Masse von 6,0 t auf einem Holzboden zu ziehen?

$$\begin{aligned}F_G &= m \cdot g \\F_G &= 6.000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \\F_G &= 60.000 \text{ N} \\F_G &= 60 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_R &= \mu_H \cdot F_G \\F_R &= 0,60 \cdot 60 \text{ kN} \\F_R &= 36 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$F_{\text{Zug}} > 36 \text{ kN}$$

$$F_{S2}, F_{S3}, F_{S4} > \frac{F_{\text{Zug}}}{3}$$

$$F_{S2}, F_{S3}, F_{S4} > \frac{36 \text{ kN}}{3}$$

$$F_{S2}, F_{S3}, F_{S4} > 12 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}F_{S1} &= F_{S2} + F_{S3} \\F_{S1} &= 12 \text{ kN} + 12 \text{ kN} \\F_{S1} &= 24 \text{ kN}\end{aligned}$$

13 Quellenverzeichnis

1. Hessische Landesfeuerwehrschule
Abb. 1 bis 10
2. Hessische Landesfeuerwehrschule
Tabellen 1 bis 3