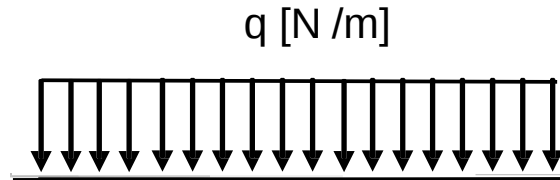
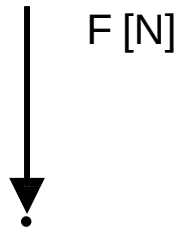


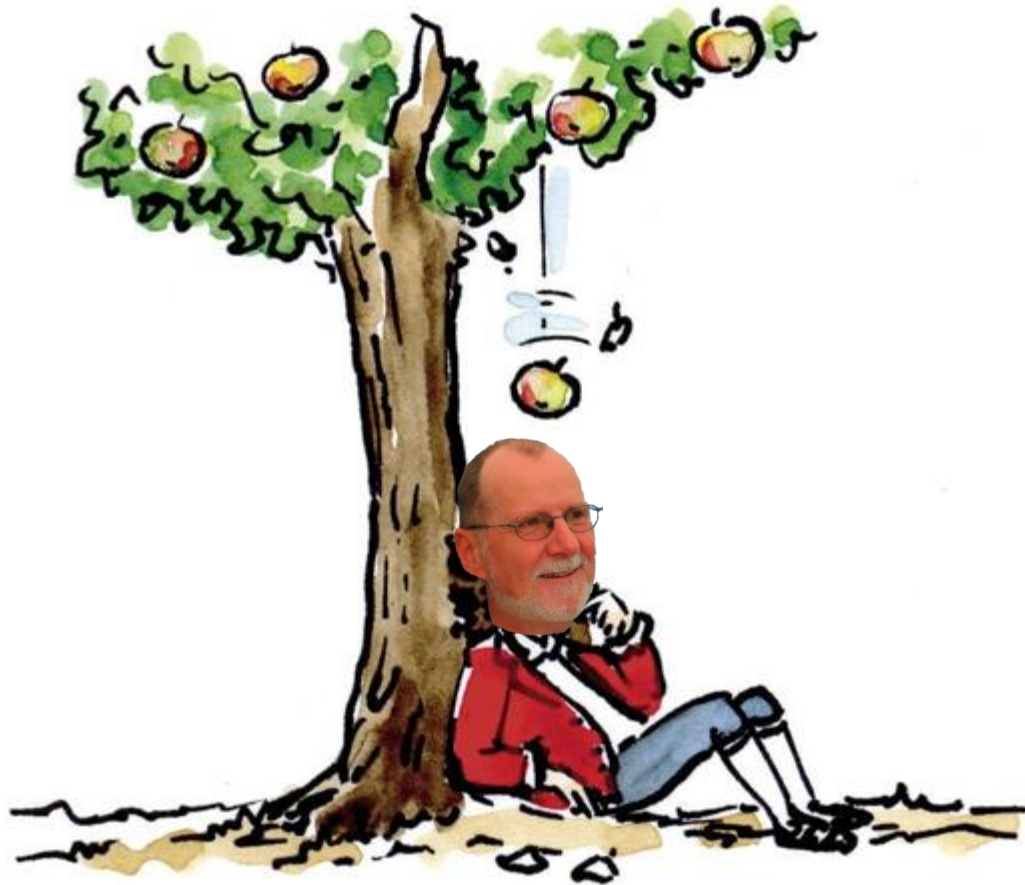
Kräfte und Spannungen am Körper

Kräfte am Körper

Kräfte treten in der Mechanik als punktförmige und linienförmige Belastungen auf. Das ist eine theoretische Annahme, die es in der Praxis nicht gibt. Mit Kräften lassen sich aber verschiedenartige Rechenmodelle darstellen – Drehmomente, Impulse usw.



Newton - Gravitationsgesetz



Quelle: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co.KG

Kraft und Gewichtskraft

$$F = m \cdot a \left(\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

Kraft = Masse · Beschleunigung

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

Auch das Gewicht eines Körpers stellt eine Kraft da.

$$G = m \cdot g \left(\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

Gewichtskraft

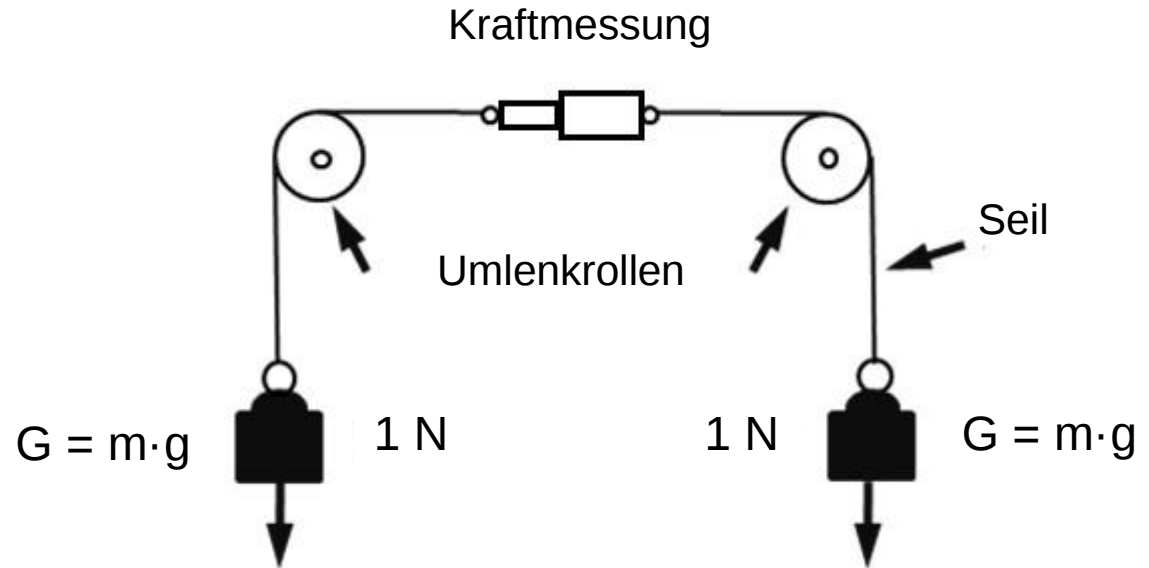
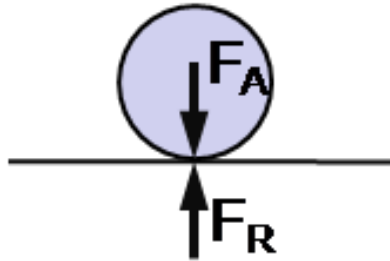
$$g = 9,81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

Erdbeschleunigung

Die Beschleunigung ist eine vektorielle Größe.

Kraft und Reaktionskraft

Kräfte treten paarweise auf – Aktionskraft = Reaktionskraft

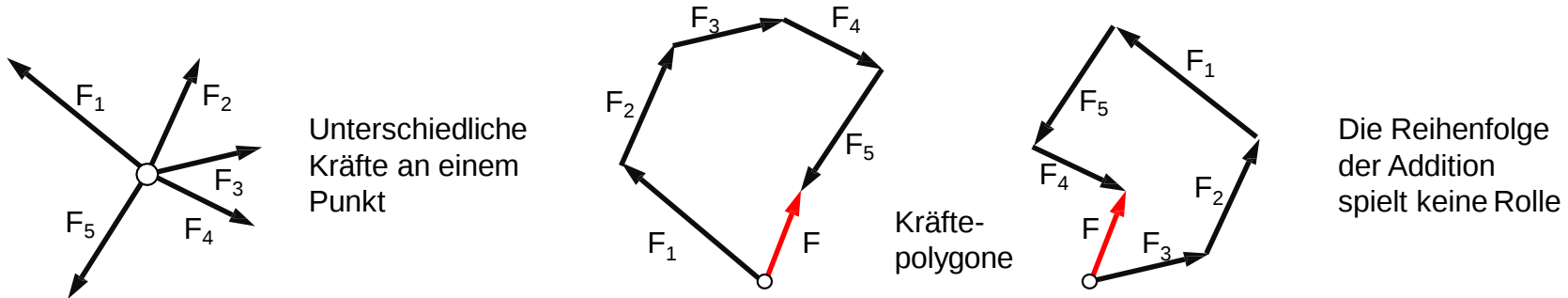


Kraft und Reaktionskraft

Versuch 1

Kraft als vektorielle Größe

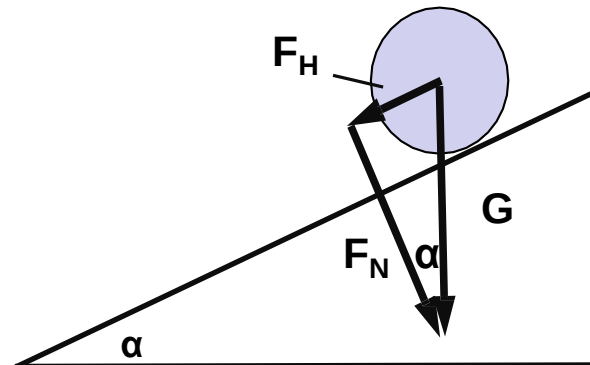
Greifen mehrere Kräfte an einem Punkt an, dann spricht man von Teilkräften oder auch Komponenten, die sich zu einer resultierenden Gesamtkraft F zusammenfassen lassen.



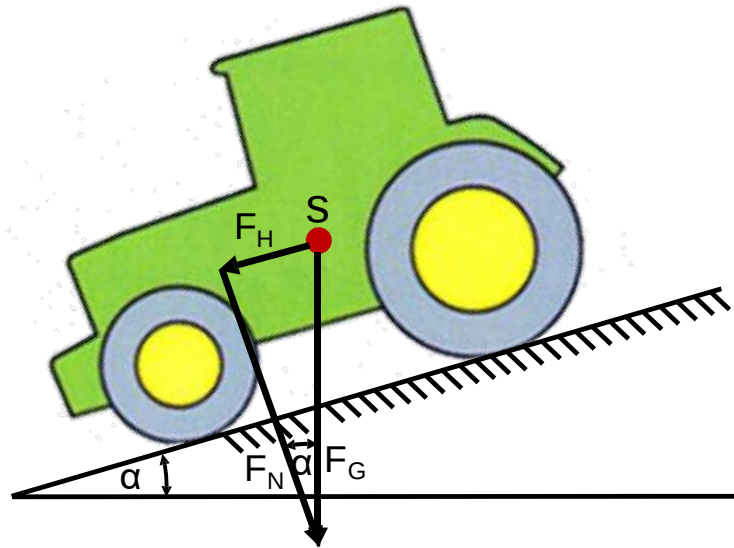
Umgekehrt lässt sich eine Gesamtkraft in Komponenten zerlegen, z.B. um am Hang die (Normalkraft, Bodenkraft) und den Hangabtrieb zu ermitteln.

Normalkraft $F_N = G \cdot \cos \alpha$

Hangabtrieb $F_H = G \cdot \sin \alpha$



Schiefe Ebene und Kraftzerlegung

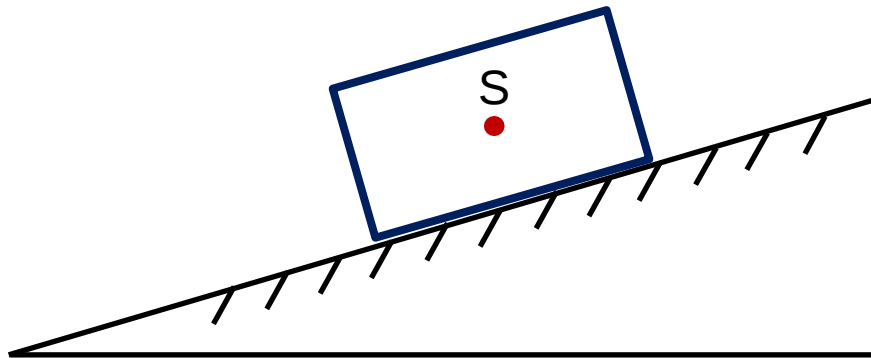


$$F_G = m \cdot g$$

$$F_N = F_G \cdot \cos \alpha$$

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha$$

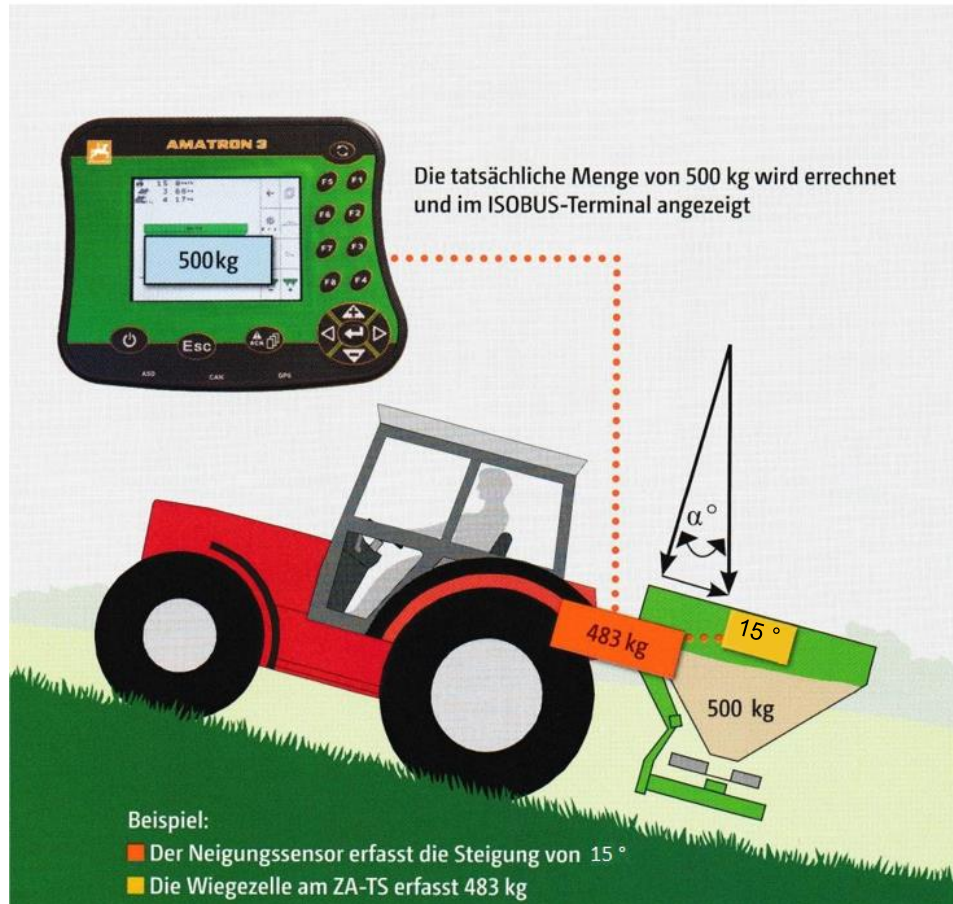
Zerlegung von Kräften



$m = 2500 \text{ kg}$

Maßstab $10 \text{ kN} = 2 \text{ cm}$

Neigungskorrektur



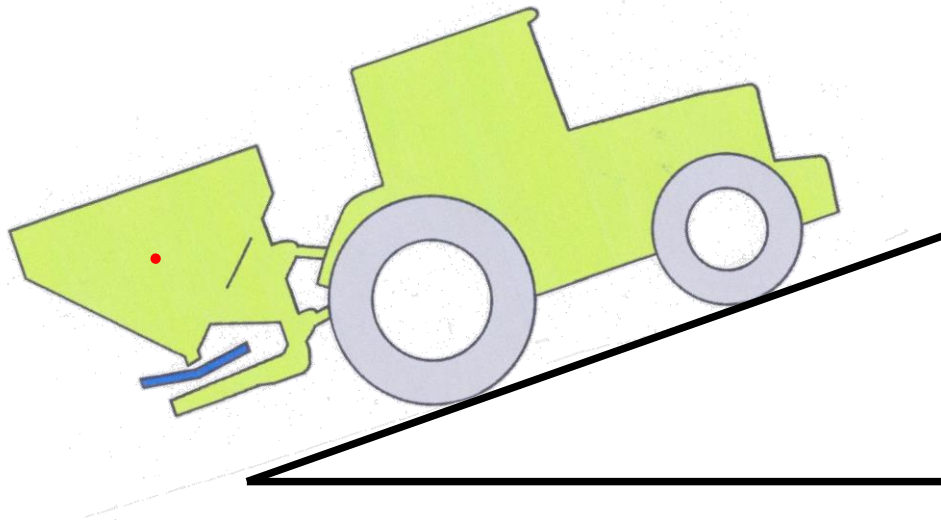
Die Kombination aus Neigungssensorik und Wiegealgorithmus erhöht die Präzision und die Schlagkraft der Wiegesteuer ZA-TS Profis. Dabei werden mögliche Einflüsse durch Schwerkraftverlagerungen während der Fahrt mit Hilfe einer Neigungssensorik bei den Messungen berücksichtigt: Ein zweiachsiger Neigungssensor, der die Neigung nach vorne und hinten sowie nach links und rechts erfasst, korrigiert Messfehler, die bei Bergauf- und Bergabfahrt oder beim Fahren am Seitenhang entstehen können.

In Kombination mit einem intelligenten Wiegealgorithmus werden so Abweichungen im Fließverhalten bei heterogenen Mineraldüngern noch besser erkannt und der Steuer stellt sich automatisch über die elektrischen Dosierschieber neu ein.

Schiefe Ebene – Aufgabe

Mineraldüngerstreuer sind häufig mit Wiegevorrichtungen ausgerüstet, damit die gewünschte Ausbringmenge exakt eingehalten wird. Diese Wiegevorrichtungen können nur senkrecht zum Streuer gerichtete Kräfte aufnehmen. Beim Streuen in Hanglage treten deshalb Messfehler auf. Diese lassen sich ausgleichen, wenn ein Neigungssensor integriert ist.

Der auf dem Bild dargestellte Traktor mit einem Düngerstreuer fährt hangaufwärts. Es gelten die folgenden Angaben:



Steigung 15%

Füllgewicht $m = 1500 \text{ kg}$

Schiefe Ebene – Aufgabe

Bestimme den Neigungswinkel α zeichnerisch und rechnerisch
(Das Bild ist nicht maßstabsgerecht)

$\alpha =$ °

Wie groß ist die Gewichtskraft F_G ?

Wie groß ist die von der Wiegevorrichtung gemessene Gewichtskraft F_M ?
zeichnerische und rechnerische Lösung

Maßstab 10 kN = 3 cm

$F_G =$ kN

$F_M =$ kN

Schiefe Ebene – Aufgabe

Wie groß ist der prozentuale Messfehler?

%

Nach 30 s Streuarbeit beträgt die gemessene Gewichtskraft nur noch $F_M = 13,5$ kN. Wie groß ist die tatsächliche Füllmenge m , wenn man den Neigungsfehler berücksichtigt

$F_G =$ kN

$m =$ kg

Kraftzerlegung – Aufgabe

Mit einem Schrägaufzug soll eine Last mit der Masse $m_Q = 1\text{ t}$ befördert werden.

Welche Belastung F_s muss das Zugseil aufnehmen?

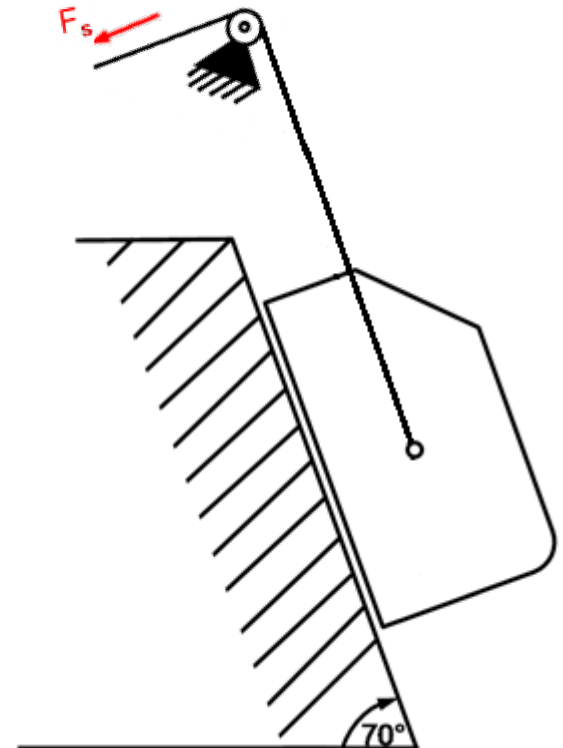
Rechnerische und zeichnerische Lösung.

$F_s =$ kN

Mit welcher Kraft F_N stützt sich der Schrägaufzug auf der schrägen Wand ab?

$F_N =$ kN

Maßstab: $10\text{ kN} \triangleq 5\text{ cm}$



Aufprallkraft – Aufgabe

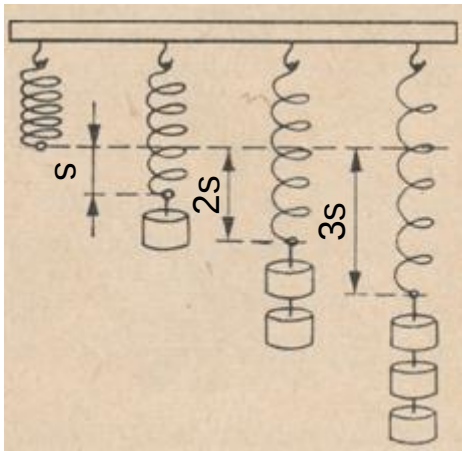
Bei einem Unfall kommt ein Fahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 108 km/h auf 2m Weg zum stehen. Welche Beschleunigung wirkt auf den angeschnallten Fahrer?

a = m/s²

F = kN

Hookesches Gesetz

Das Hookesche Gesetz beschreibt das elastische Verhalten von Körpern, bei denen die Dehnung proportional zur Belastung ist. Das ist z.B. bei Drähten der Fall (kleine Dehnlängen) oder Schraubenfedern (große Dehnlängen)



Dehnung einer Schraubenfeder

Es gilt die mathematische Formulierung

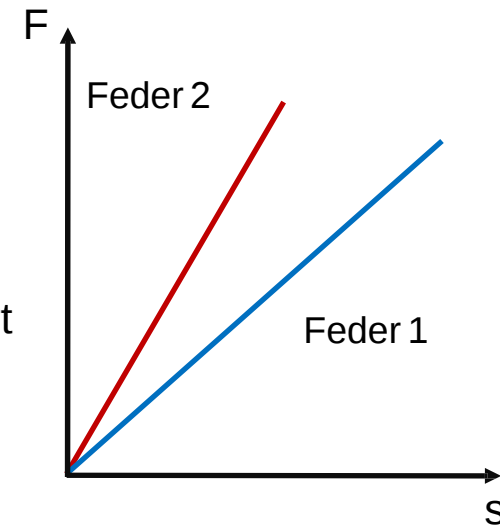
$$F = D \cdot s \text{ (N)}$$

Federkraft

$$D = \frac{F_{\max}}{s_{\max}}$$

Federkonstante / Richtwert

$D = 20 \text{ N/cm}$ heißt, dass eine Kraft von 20 N notwendig ist, um diese Feder um eine Länge von 1 cm zu verlängern



Schraubenfedern mit unterschiedlichen Federkonstanten

Arten der Reibung

Coulombsche Reibung

Reibkräfte entstehen, wenn sich Körper lose berühren und sich zwischen den Kontaktflächen keine Flüssigkeit befindet.

Die auftretende Reibkraft ist proportional zu der Normalkraft und einem Reibungskoeffizienten.

$$F_R = \mu_0 \cdot F_N$$

Newtonsche Reibung

Reibkräfte entstehen, wenn sich zwei Platten zueinander bewegen und sich dazwischen eine Flüssigkeit befindet.

Die auftretende Reibkraft ist proportional zu der Viskosität der Flüssigkeit, der Bewegungsgeschwindigkeit und geometrischen Abmessungen.

$$F_R = \eta \cdot v \cdot \frac{A}{d}$$

Arten der Reibung

Stokessche Reibung

Reibkräfte entstehen, wenn Gegenstände in Flüssigkeiten bewegt werden. Die auftretende Reibkraft ist proportional zur Viskosität der Flüssigkeit, der Bewegungsgeschwindigkeit und der Geometrie des Gegenstandes.

$$F_R = \eta \cdot v \cdot 6 \pi \cdot r$$

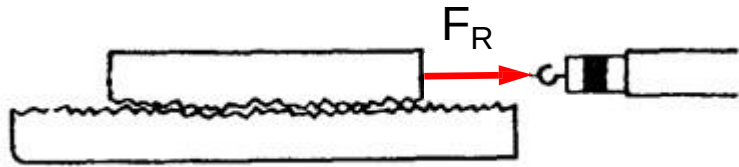
Bzgl. des Gegenstandes gibt es einen Äquivalentdurchmesser.

Mit der Stokesschen Gleichung lässt sich die Sedimentationsgeschwindigkeit berechnen.

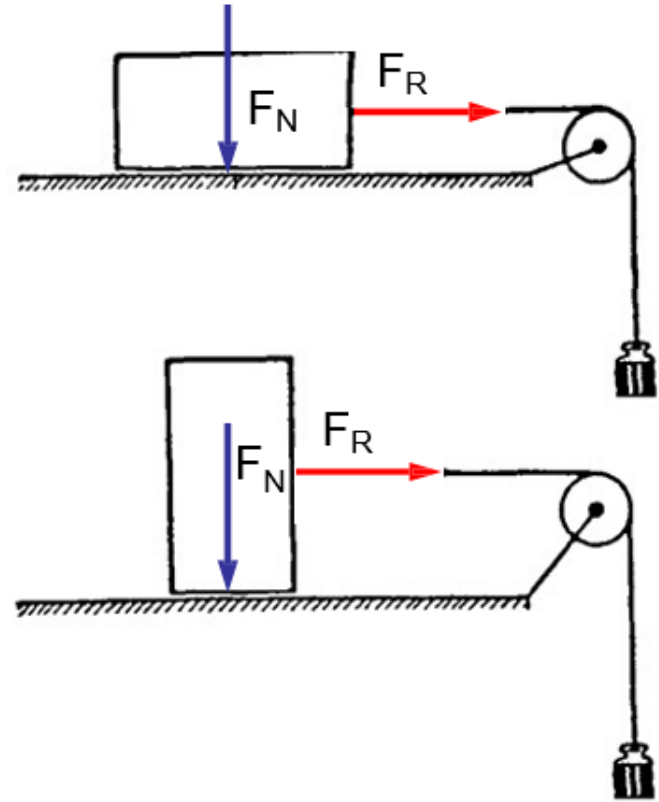
Stokessche Reibung

Versuch 2

Coulombsche Reibung



Reibung kommt durch die Rauigkeit der Oberfläche zustande



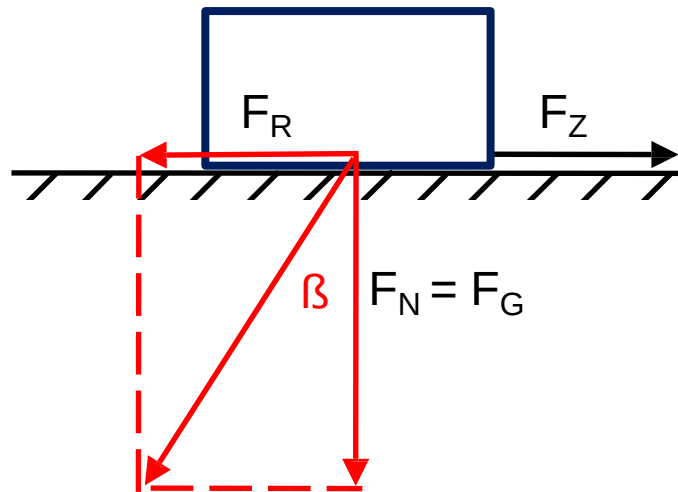
Auf einem flach liegenden oder hoch aufgestellten Klotz wirken die gleichen Reibkräfte. Es kommt nur auf die Normalkräfte an, diese sind in beiden Fällen gleich

Reibungsgesetz von Coulomb

Reibkräfte sind den bewegenden Kräften entgegen gerichtet. Sie wirken immer parallel zur Kontaktfläche.

Die Reibungskraft ist bei gleichem Gewicht von der Größe der berührenden Oberfläche unabhängig. Sie hängt nur von der Beschaffenheit der berührenden Fläche ab. Es gilt das Coulombsche Reibungsgesetz

$$F_R = \mu_0 \cdot F_N$$



F_R	Reibkraft	N
F_N	Normalkraft	N
F_Z	Zugkraft	N
F_G	Gewichtskraft	N
β	Reibungswinkel	
μ	Reibungskoeffizient Gleitreibung	
μ_0	Reibungskoeffizient Haftreibung	

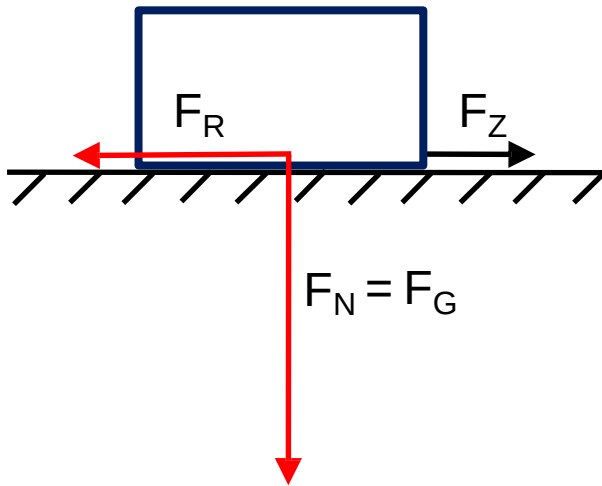
$$\mu = \tan \beta = \frac{F_R}{F_N}$$

Reibungskoeffizient

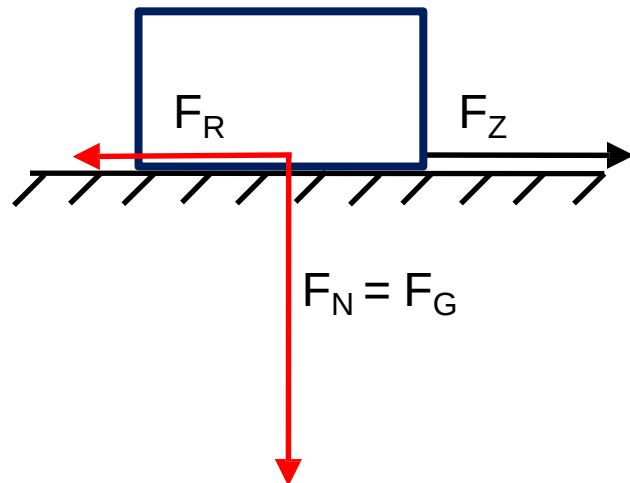
Reibung und Auflagekraft

Versuch 3

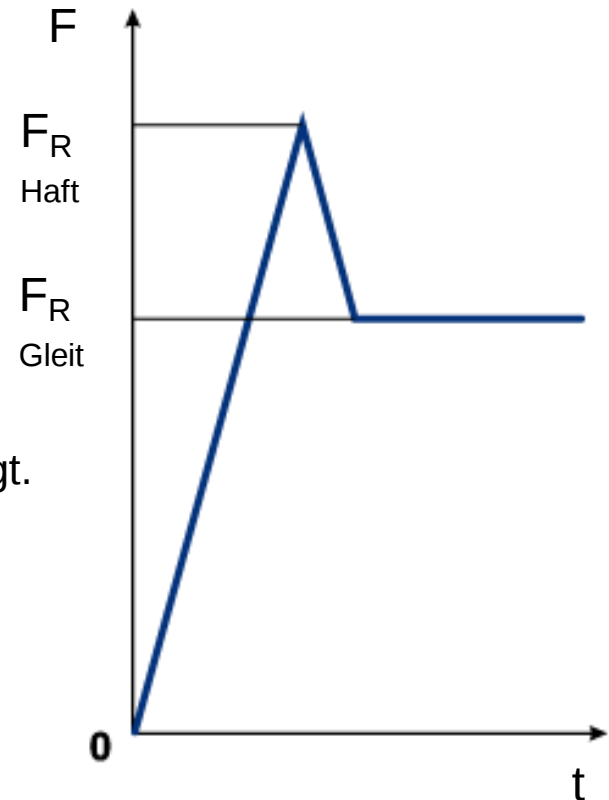
Haftreibung / Gleitreibung



Die Haftreibung ist wirksam, solange sich der Körper nicht auf der Oberfläche bewegt.
Der Körper bleibt in Ruhe, solange die Zugkraft die Haftreibung nicht übersteigt.



Gleitreibung tritt auf, wenn sich der Körper auf der Oberfläche bewegt.



Reibungskoeffizienten

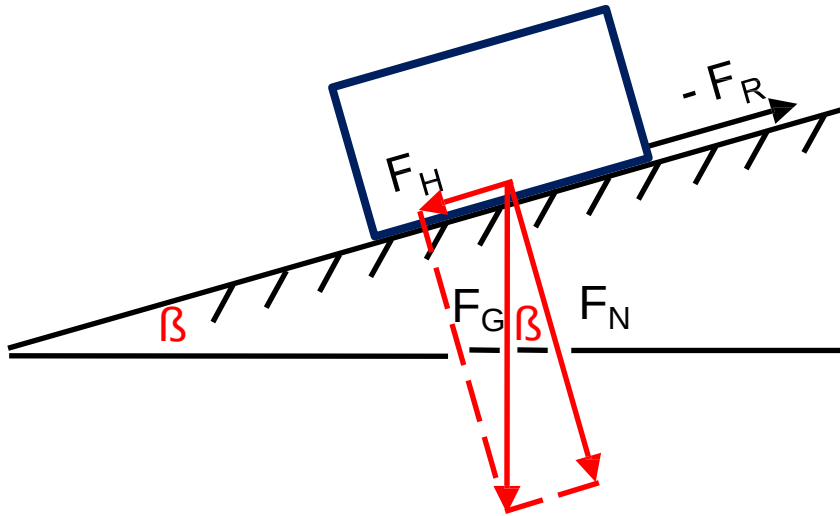
Stoffe	Haftreibung	Gleitreibung
Stahl auf Stahl	0,1 – 0,3	0,1 – 0,2
Gleitlager	-	–
Stahl auf Holz	0,5	0,25 – 0,5
Holz auf Holz	0,5 – 0,6	0,2 – 0,4
Gummi auf Asphalt	0,9	0,8 -0,9
Mauerwerk auf Beton	1,0	0,7 – 1,0

Reibung und Auflagekraft

Versuch 4

Schiefe Ebene

In der schiefen Ebene wirkt die Gewichtskraft auf die Oberfläche mit der Normalkraft.



$$F_H = F_G \cdot \sin \beta$$

$$F_N = F_G \cdot \cos \beta$$

$$F_R = \mu_0 \cdot F_N$$

Der Körper beginnt zu rutschen, wenn die Hangabtriebskraft F_H größer als die Haftreibungskraft F_R wird.

$$F_H > F_R$$

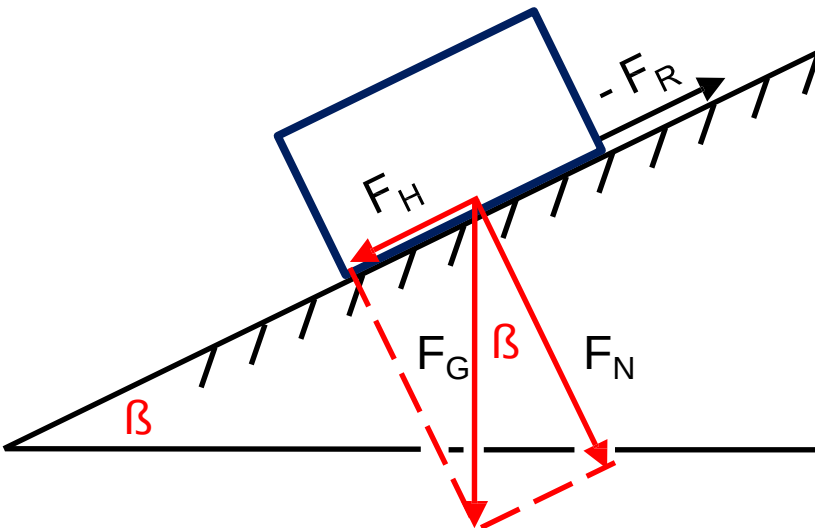
$$F_G \cdot \sin \beta > \mu \cdot F_N$$

$$F_G \cdot \sin \beta > \mu \cdot F_G \cdot \cos \beta$$

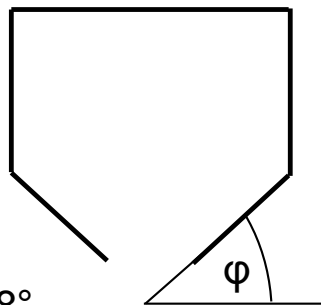
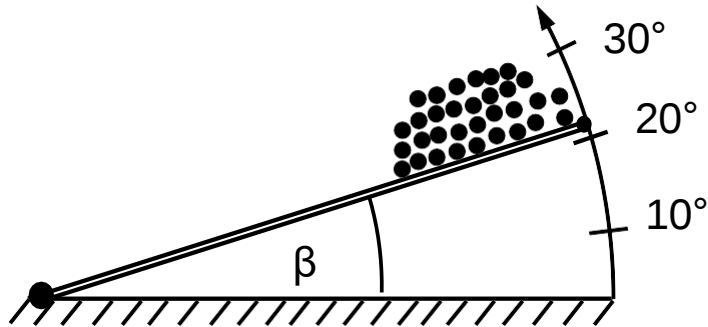
$$\frac{\sin \beta}{\cos \beta} > \mu$$

$$\tan \beta > \mu$$

$$\sin \beta = \frac{G}{H} \quad \cos \beta = \frac{A}{H}$$
$$\frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{G}{H} \cdot \frac{H}{A} = \frac{G}{A} = \tan \beta$$



Rutschwinkel bei landwirtschaftlichen Gütern



Empfehlung: $\varphi \geq \beta + 8^\circ$

$8^\circ \rightarrow 14\%$ Steigung

Saatgut	μ_a	β [°]
Weizen	0,38	20,8
Roggen	0,42	22,8
Gerste	0,38	20,8
Hafer	0,42	22,8
Mais	0,26	14,6
Erbsen	0,26	14,6
Bohnen	0,37	20,3

β : Rutschwinkel (äußere Reibung)

Rutschwinkel bei landwirtschaftlichen Gütern

Versuche 5 und 6

Reibungsverhältnis zwischen Behälterwand und Schüttgut - Beispiel

Eine Getreideschüttung wiegt 0,3 kg. Sie drückt also mit folgender Gewichtskraft auf die Unterlage:

$$F_N = m \cdot g$$

$$F_N = 0,3 \text{ kg} \cdot 9,81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$F_N = 2,9 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} = 2,9 \text{ N}$$

Zum Verschieben der Schüttung muss zuerst die Haftreibung überwunden werden. Es wird dafür aufgewendet eine Reibkraft von

$$F_{RH} = 1,8 \text{ N}$$

Die Reibungskoeffizient für die Haftreibung beträgt

$$\mu_0 = \frac{F_{RH}}{F_N} = \frac{1,8 \text{ N}}{2,9 \text{ N}} = 0,62$$

Der Reibungswinkel beträgt somit

$$\mu_0 = \tan \beta_0 = 0,62$$

$$\beta_0 = \arctan \mu_0 = \arctan 0,62 = 31,8^\circ$$

Reibungsverhältnis zwischen Behälterwand und Schüttgut - Beispiel

Die Kraft zum Verschieben des Schüttguts ist mit $F_{RG} = 1,0 \text{ N}$
niedriger als die Kraft zur Überwindung der Haftreibung mit $F_N = 2,9 \text{ N}$

Die Reibungskoeffizient für die Gleitreibung beträgt

$$\mu = \frac{F_{RG}}{F_N} = \frac{1,0 \text{ N}}{2,9 \text{ N}} = 0,34$$

Der Reibungswinkel beträgt somit

$$\mu = \tan \beta = 0,34$$

$$\beta = \arctan \mu = \arctan 0,34 = 18,8^\circ$$

Reibungsverhältnis zwischen Behälterwand und Schüttgut - Beispiel

andere Aufgabenstellung

Zwischen der Behälterwand und Weizenschüttung beträgt die Reibungszahl für die Gleitreibung

$$\mu = 0,38$$

Die Schüttung rutscht dann bei einer Neigung der Behälterwand von

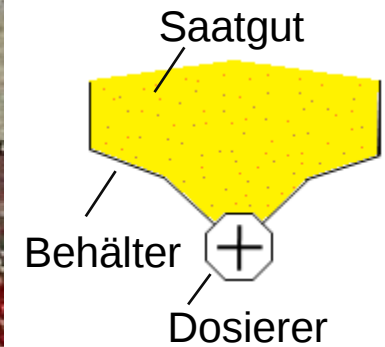
$$\beta = \arctan \mu = \arctan 0,38$$

$$\beta = 20,8^\circ$$

Saatgutbehälter



Behälterwand
mit abgestuften
Rutschwinkeln



Rollwiderstand, Rollreibung

Der **Rollwiderstand / Rollreibung** ist die Kraft, die beim Abrollen eines Rades oder Wälzkörpers entsteht. Sie ist der Bewegung entgegen gerichtet.

Der Rollwiderstand ist proportional zur Normalkraft .

$$F_R = c_R \cdot F_N$$

Rollwiderstand

$$c_R = \frac{F_R}{F_N}$$

Rollwiderstandskoeffizient

Die Werte für die Rollwiderstandskoeffizienten sind verglichen mit den Werten für Gleitreibung deutlich kleiner.

Der Rollwiderstandskoeffizient c_R hängt neben der Material-Paarung auch von der Geometrie (Radius des Rollkörpers) ab.

Beispiel: Rennrad, Mountain-Bike.

Rollwiderstandskoeffizient

Durch die Verformung von Wälzkörpern und Unterlage beim Abrollen wird die Kontaktkraft zwischen Körper und Unterlage asymmetrisch. Der Ersatz der Kontaktkräfte durch Einzelkräfte ergibt eine Normalkraft F_N , welche um die Strecke f verschoben ist und eine Reibungskraft F_R entgegen der Bewegungsrichtung.

Es ergibt sich

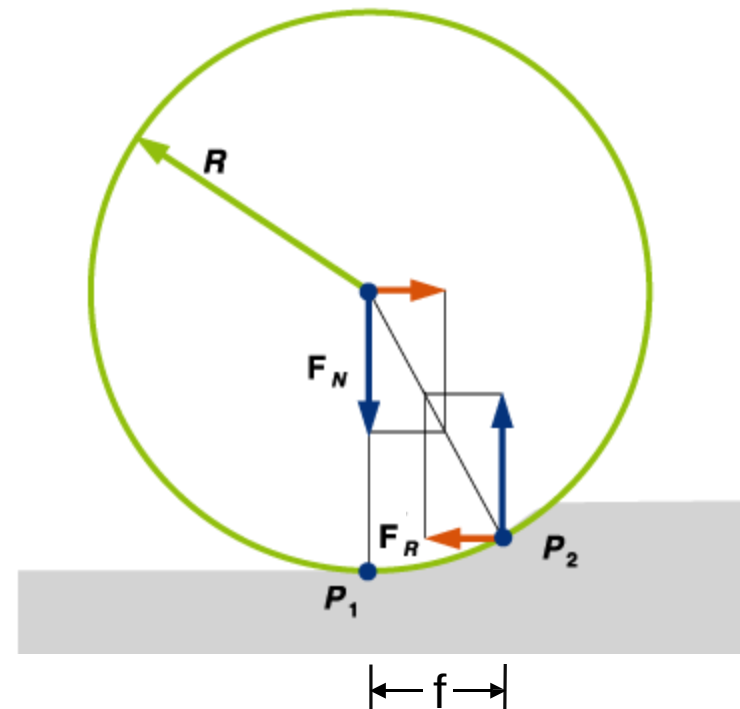
$$F_R = \frac{f}{R} \cdot F_N$$

mit

$$c_R = \frac{f}{R}$$

Beispiele für Rollwiderstandskoeffizienten

Kugellager	0,0005 - 0,001
Autoreifen aus Asphalt	0,01 - 0,015
Autoreifen auf Sand	0,1 - 0,4



Seilreibungsformel

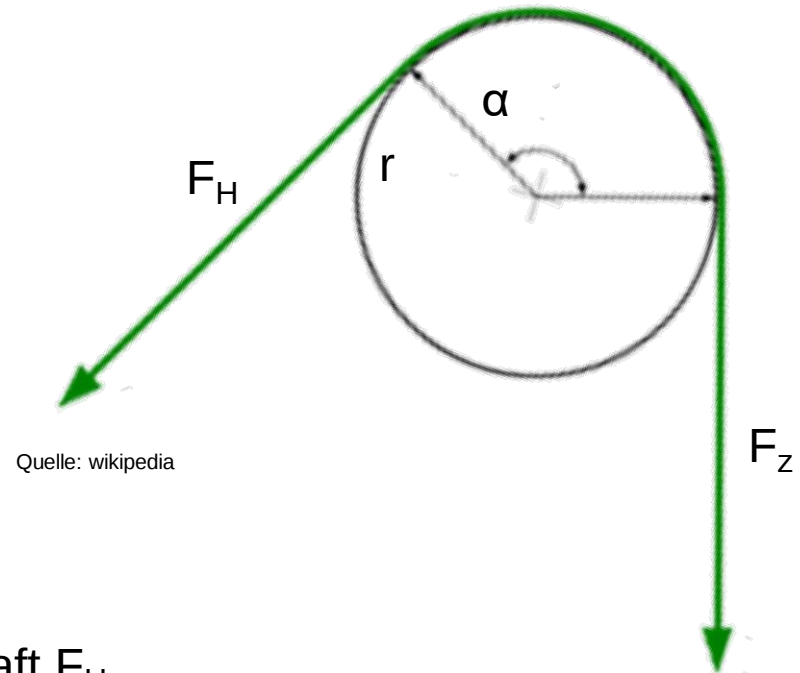
$$F_H = F_Z \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$$

α : Umschlingungswinkel

μ : Reibungskoeffizient

Die übertragbaren Kräfte steigen sehr schnell mit dem Umschlingungswinkel an.

Bei 3 Umschlingungen beträgt die Haltekraft F_H weniger als 10% der Zugkraft F_Z .



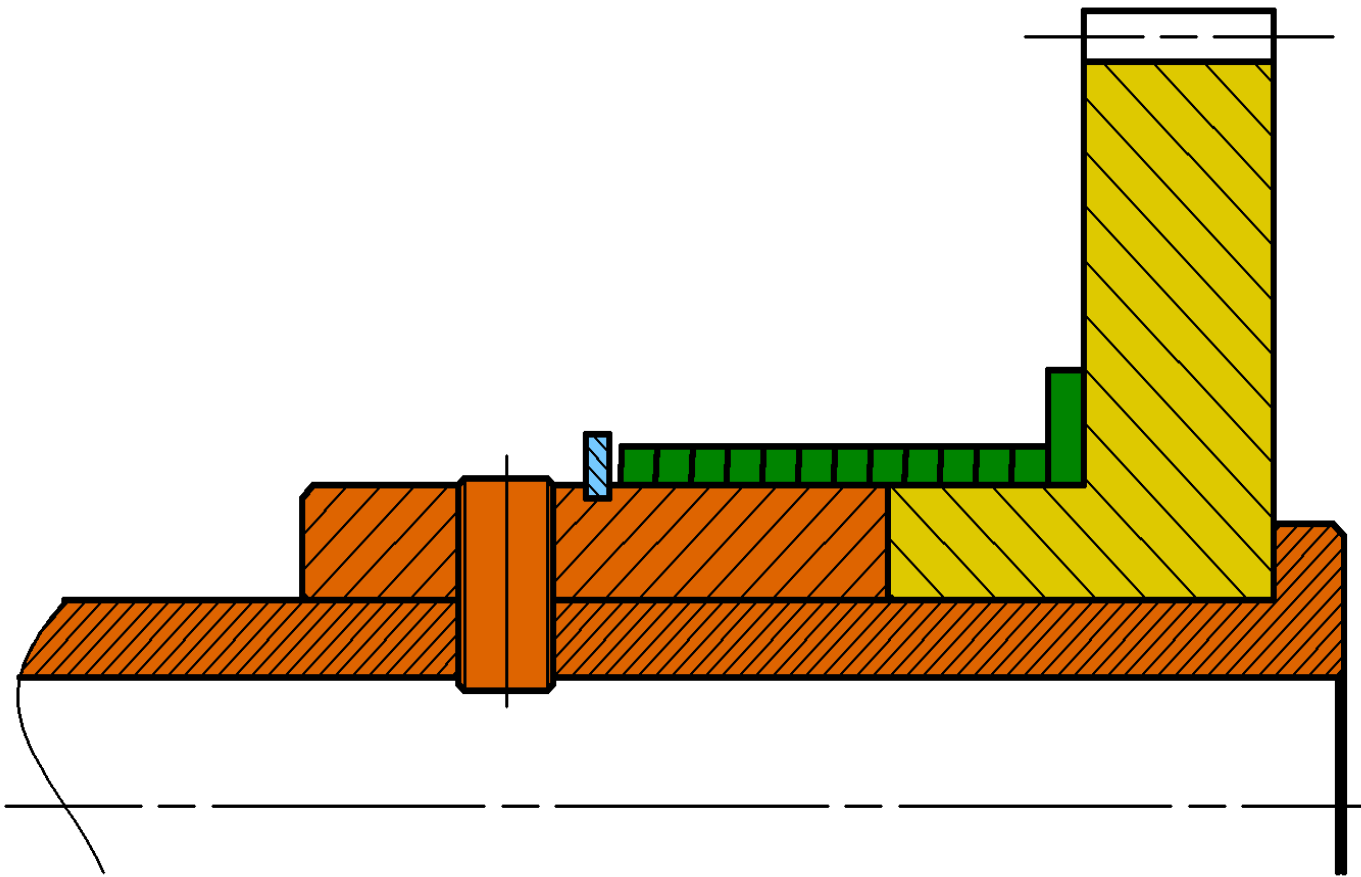
Seilumschlingung

Versuch 7

Schlingfederkupplung



Schlingfederkupplung



Einsetzbar als Freilauf oder Kupplung. Bei Verwendung als Kupplung ist eine zusätzliche Schaltklaue erforderlich, die die Schlingfeder festhält, damit diese entspannt.

Schlingfedern: interessante mechanische Servoelemente

A 4.93

PETER ILEN, LAURENT MÜLLER

Servosysteme beschränken sich heute mehrheitlich auf hydraulische oder mechanisch-hydraulische Lösungen. Weniger bekannt sind rein mechanische Servosysteme, obwohl mit der Seiltrommel bereits in der Antike ein noch heute übliches, mechanisches Servo- oder Verstärkersystem angewendet wurde. Ein Beispiel eines in der Technik wenig bekannten, mechanischen Verstärkers ist die Schlingfeder. Obwohl in ausgesuchten Lösungen Schlingfedern in großen Stückzahlen Anwendung finden (z. B. in der Mechanik von Fensterhebern oder in Sitzlehnenverstellungen bei Automobilen), sind deren Wirkungsweise und Anwendungsmöglichkeiten nahezu unbekannt. Eine starke Verbreitung fand die Schlingfeder in der Zeit der mechanisch-elektrischen Schreibmaschine der 60er und 70er Jahre. Die technische Literatur beschreibt dieses Element der Antriebstechnik kaum, ebenso wenig die meisten Lehrbücher einschlägiger Schulen und Institute. Mit dem nachfolgenden Beitrag soll das Prinzip erläutert, die Berechnung dargestellt und anwenderspezifische Hinweise gegeben werden.

1 Prinzip der Schlingfeder

Das Prinzip der Schlingfeder ist ebenso einfach wie einleuchtend und von der bekannten Seiltrommel (Bild 1) abgeleitet: Durch mehrmaliges Umrwickeln eines Seils um eine drehbare Trommel (sich mit wenig Kraftaufwand eine wesentlich größere Last heben oder Kraft (Drehmoment) erzeugen, als angewendet werden muß. Die Anzahl Umschlingungen geht dabei in der Berechnung in den Exponenten von e ein:

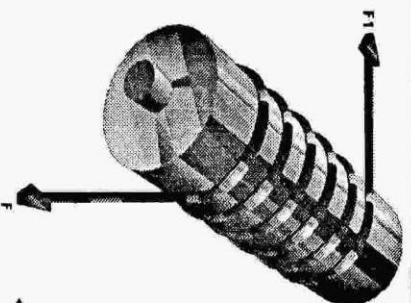
$$F_1 = \frac{F}{e^{\mu \cdot \alpha}}$$

mit μ als Reibungszahl und α als Umschlingungswinkel.

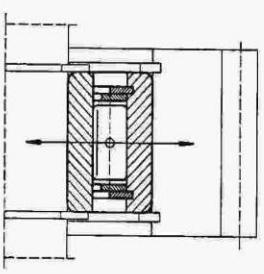
Genau gleich verhält es sich mit der Schlingfeder. An die Stelle der Anzahl Umschlingungen des Seils treten die Anzahl wirksamer Windungen der Schlingfeder. Anstelle der kleinen Kraft am einen Seilende weist die Schlingfeder eine Vorspannung auf, d. h. der Durchmesser der ungespannten Schlingfeder ist kleiner als derjenige der Trommel.

Als weiterer Wert im Exponenten von e erscheint in der Berechnung die Reibungszahl μ . Damit wird auch bereits klar, daß es sich bei diesem Element um eine reibschlüssige Übertragung handelt.

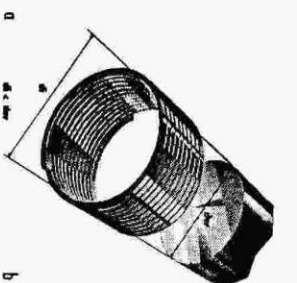
Im Gegensatz zur Seiltrommel wirken Schlingfedern nicht nur auf Außendurchmessern, sondern auch in Hohlwellen oder Bohrungen (Bild 2). Eine wesentliche Eigenschaft ist die Drehrichtungsabhängigkeit der Schlingfeder. Mit Ausnahme einer Sonderausführung (s. a. Abschnitt 2.3) weisen Schlingfedern immer nur in einer Drehrichtung die gewünschten Eigenschaften auf.



◀ 1: Prinzip einer Seiltrommel

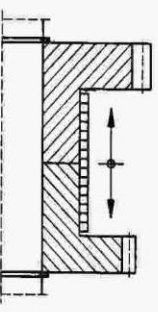


3: Klemmkörper-Freilauf mit radialer Spertrichtung



2: Schlingfeder auf einer Welle (a) und in einer Hohlwelle (b)

4: Schlingfeder-Freilauf mit axialer Spertrichtung



2 Bauformen

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen passiv und aktiv eingesetzten Schlingfedern. Als passive Schlingfedern bezeichnet man all jene Anwendungen, in welchen diese – vergleichbar mit einem Freilauf – eine Drehbewegung übertragen oder sperren. Aktive Schlingfedern sind eigentliche Kupplungselemente, mit denen eine Drehbewegung zu- und weggekuppelt wird.

2.1 Passive Schlingfedern

Die einfachste Anwendung einer Schlingfeder ist die passive Schlingfeder, welche ähnlich eines Freilaufs eine Drehbewegung überträgt oder ein Überholen oder Zurückdrehen verhindert. Die Übertragung bzw. Sperre ist permanent und kann nicht aufgehoben/ausgekuppelt werden. Im Gegensatz zu Klemmkörper-Freilaufen ist die Wirkungsrichtung nicht radial (z. B. von innen nach außen oder umgekehrt), sondern axial (vergleiche Bild 3 mit Bild 4).

Passive Schlingfedern erfüllen grundsätzlich drei verschiedene Funktionen:

- Drehmoment übertragen (Minimalfeder),
- Überholen des Abtriebs verhindern (Überholsperr) und
- Zurückdrehen des Abtriebs verhindern (Rücklaufsperre).

2.2 Aktive Schlingfedern

Der Unterschied zwischen aktiver und passiver Schlingfeder besteht darin, daß der Reibschluß nach Bedarf aufgehoben werden kann. Zu diesem Zweck wird das Federende auf der Antriebsseite der Schlingfeder abgelenkt (in der Regel radial nach außen). Wird nun bei einer sich drehenden Schlingfeder von außen ein Anschlag in den Bereich des Federendes gebracht, wird im Augenblick des Auftreffens des Federendes an diesem Anschlag der Reibschluß aufgehoben und damit die Drehbewegung des Abtriebs unterbrochen. Umgekehrt erfolgt der Reibschluß wieder, wenn der Anschlag entfernt wird.

Damit sind die minimalen Eigenschaften vorhanden, welche für eine Schaltkupplung (Bild 5) notwendig sind. Zur besseren Betrachtung des Federendes wird in der Regel über die Schlingfeder eine Schaltölse gelegt, welche formschlüssig mit dem Federende verbunden ist. Die Schaltölse kann mit einem oder mehreren Nocken versehen werden, um eine ganze Umdrehung oder den Bruchteil einer Umdrehung auszuführen. Aus konstruktiven Gründen sind Lösungen von aktiven oder schaltbaren Schlingfedern in Hohlwellen äußerst selten.

2.3 Sonderausführungen

Zu den Sonderbauformen gehören die eingangs erwähnten Schlingfedern, welche z.B. in den Fensterhebern der Automobile Verwendung finden. Bei dieser Anwendung wird nicht die Servowirkung der Schlingfeder genutzt. Vielmehr besteht der Zweck dieser Lösung darin, daß einerseits ein Drehmoment in beide Drehrichtungen übertragen wird und andererseits ein abtriebsseitig entstehendes Drehmoment in beiden Richtungen sperrt. Anwendung findet diese Art von Schlingfedern nicht nur in den erwähnten Fensterhebern sondern auch in Störungstrieben (Markisen- und Jalousienantrieben), Schwenkantrieben von großen Behältern etc. Diese Arten von Maschinenelementen werden in der Fachliteratur als Lastmomentsperren (Bild 6) bezeichnet. Die zu übertragenden oder zu sperrenden Drehmomente werden vollständig über die Federenden eingeleitet.

2.3.1 Funktion

Die Schlingfeder A liegt mit Vorspannung auf einer fixierten Achse B. An den beiden Federenden der Schlingfeder greift je nach Drehrichtung das Segment C des Antriebs an. Die Last am Abtrieb wird durch Formschluß über das Federende und das Segment D mitgedreht. Entsteht am Abtrieb ein Drehmoment, welches den Antrieb überholen will, blockiert Segment D über das Federende der Schlingfeder.

Dieses System bedingt ein minimales Spiel zwischen den Flanken der Segmente und den Federenden und ist drehrichtungsunabhängig. Die Windungsrichtung der Schlingfeder hat ebenfalls keinen Einfluß auf die Funktion.

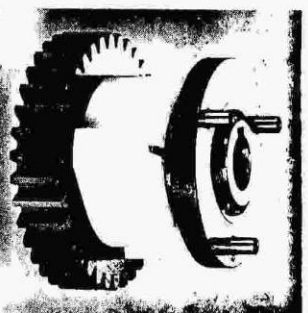
Anstelle einer fixierten Achse kann ein entsprechender Aufbau in einer Hülse in einem Gehäuse gewählt werden. Die Enden der Schlingfeder müssen dann entsprechend nach innen gebogen werden.

3 Berechnung von Schlingfedern und Schlingfeder-Schaltkupplungen

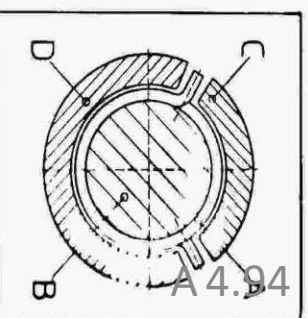
Die größte Beanspruchung von Schlingfedern entsteht in der Übergangswindung zwischen Antriebs- und Abtriebsabse. Der Materialquerschnitt wird dabei ausschließlich auf Zug belastet. Die durch die Montage verursachte Biegespannung infolge Aufwickelns der Feder aus dem ungespannten Zustand wird vernachlässigt. Das für die Berechnung notwendige Drehmoment wird aufgrund der dynamischen Belastung berechnet, wird in Versuchen ermittelt oder basiert auf einer Annahme.

3.1 Berechnung der Schlingfeder

Die Berechnung des übertragbaren Drehmoments einer Schlingfe-



5: Schlingfeder-Schaltkupplung als aktives Element für eine Verpöckungsmaschine
Schlüssel mit zwei Nocken auf 90°



6: Aufbau einer Lastmomentsperre einer Schlingfeder
A = Schlingfeder, B = festst. Achse, C = Antriebsseil, D = Last

der beruht auf den Formeln für die Seilreibung. Ungenauigkeit ergibt sich die Formel

$$M = \frac{2 \cdot a \cdot l \cdot E}{d_m^2 \cdot 1000} \cdot (e^2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot l - 1) \quad [\text{Nm}]$$

mit:

- a = Interferenz, Durchmesserunterschied zwischen Schlingfeder und Wellendurchmesser in mm,
- l = Flächenträgheitsmoment des Drahts in mm⁴,
- E = Elastizitätsmodul des Federwerkstoffs in N/mm²,
- d_m = mittlerer Federdurchmesser, auf Welle montiert, in mm,
- μ = Reibungszahl und
- i = Anzahl der aktiven Windungen der Schlingfeder, in der Regel die Hälfte der totalen Windungszahl.

Die bei der Übertragung eines Drehmoments auftretende Zugspannung im Querschnitt des Federdrahts berechnet sich nach der Formel

$$\sigma_z = \frac{2 \cdot M \cdot 1000}{d_m \cdot b \cdot h} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

mit:

- M = zu übertragendes Drehmoment in Nm,
- d_m = mittlerer Federdurchmesser, auf Welle montiert, in mm,
- b = Breite des Federdrahts in mm und
- h = Höhe des Federdrahts in mm.

Die zulässige Zugbeanspruchung liegt im Bereich von 400 bis 600 N/mm² bei einem Sicherheitsfaktor gegenüber der Bruchfestigkeit von etwa 3–4, je nach Drahtquerschnitt.

3.2 Berechnung von Schlingfeder-Schaltkupplungen

Schlingfeder-Schaltkupplungen weisen kurze Schaltzeiten auf. Ein Sanftanlauf ist nicht möglich. Die auftretenden Spitzendrehmomente müssen in der Berechnung der Schlingfeder berücksichtigt werden. Als Richtwert für die Einschalzeit einer Schlingfeder-Schaltkupplung wird eine Zeit von 2 bis 4 ms angenommen. Diese Zeit kann in der Praxis stark variieren. Sie ist abhängig vom dynamischen Drehmoment, vom Wikelverhältnis und der Anzahl Windungen der Schlingfeder, den Reibungsverhältnissen etc. Das beim Einkuppeln einer Last entstehende Drehmoment errechnet sich nach der Formel

$$M = \frac{J \cdot n}{9,55 \cdot t}$$

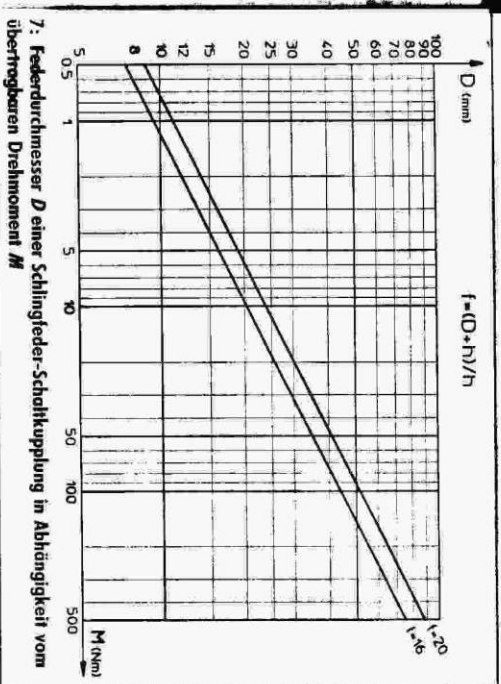
M = zu übertragendes Drehmoment in Nm,

J = Massenträgheitsmoment der Last in kgm²,

n = maximale Drehzahl, auf welche die Last beschleunigt werden muß, in min⁻¹,

t = Einschalzeit der Kupplung (ca. 2–4 ms).

Das beim Einkuppeln einer Last entstehende Spitzendrehmoment kann durch die kurze Einschalzeit sehr groß werden. Von Vorteil ist in diesen Fällen, wenn bei reduzierter Drehzahl gekuppelt oder das Massenträgheitsmoment möglichst tief gehalten wird. In Fällen, bei denen nicht eine zu beschleunigende Masse drehmomentbestimmend ist (z.B. bei einem Kurbeltrieb), wird das statisch zu messende Drehmoment als Richtwert herangezogen.



7. Federdurchmesser D einer Schlingfeder-Schaltkupplung in Abhängigkeit vom übertragbaren Drehmoment M

3.3 Verhältnis von Federdurchmesser zu übertragbarem Drehmoment

In der Praxis haben sich die im Diagramm nach Bild 7 dargestellten R - Werte ergeben. Diese Werte können bei einer optimalen Auslegung mit entsprechenden Tests variieren (D = Wellendurchmesser, h = Drahthöhe der Schlingfeder, $f = (D + h)/h$ = mittleres Wickleverhältnis der Schlingfeder).

4 Besondere Eigenschaften von Schlingfedern und Schlingfeder-Schaltkupplungen

Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, haben Schlingfedern und Schlingfeder-Schaltkupplungen eine Reihe besonderer Eigenschaften, welche für einen erfolgreichen Einsatz berücksichtigt werden müssen. Die nachfolgende Beschreibung deckt die wesentlichsten Besonderheiten ab. Je nach Anwendung können weitere Eigenschaften Bedeutung erlangen, die eventuell in Versuchen ermittelt werden müssen.

4.1 Minimale Windungszahl

In der allgemeinen Formel zur Berechnung des Drehmoments erscheint die Anzahl der aktiven Windungen i im Exponenten von e . In der Praxis besteht eine untere Grenze für die Anzahl aktiver Windungen von ca. 6,5 pro Seite. Total muß die Schlingfeder somit mindestens 13 Windungen aufweisen. Dieser Wert sollte für eine sichere Übertragung des berechneten Drehmoments nicht unterschritten werden. Im Bereich darüber wird ein Drehmoment in der Regel bis zum Bruch des Federdrahts übertragen.

4.2 Wickelverhältnis

Das optimale Wickelverhältnis (Durchmesser der auf der Welle oder in der Hülse montierten Schlingfeder im Verhältnis zur Drahthöhe) einer Schlingfeder in bezug auf deren Herstellbarkeit und Funktion liegt im Bereich zwischen 15 und 20.

4.3 Drahtquerschnitt

Zur Reduktion des Verschleißes an der höchstbelasteten Stelle durch Flächenpressung werden in der Regel nicht runde Drahtquerschnitte, sondern Profildrähte verwendet. Der Bauraum wird dadurch besser genutzt, weil das Flächenträgheitsmoment einer Schlingfeder aus quadratischem Profildraht ca. 70% höher ist, als dasjenige einer Schlingfeder aus Runddraht. Weitere Möglichkeiten in der Wahl des Materialquerschnittes bestehen darin, Rechteckprofile hoch- oder flachkant zu verwenden. Damit können Eigenschaften wie Flächenpressung oder Schließkraft der Schlingfeder beeinflusst werden.

4.4 Reibungszahl

Die Reibungszahl ist mit einer der wichtigsten, aber auch unsichersten Faktoren in der Berechnung von Schlingfedern, weil sie im Exponenten von e erscheint. Die Werkstoffpaarung Schlingfeder/

Welle oder die Wahl der Schmierung beeinflusst die gewählte Übertragung entscheidend. In der Regel bestätigen sich in der Praxis Reibungszahlen von 0,1, bis 0,15.

4.5 Restreibung

Eine Besonderheit bei Schlingfederkupplungen ist die sogenannte Restreibung. Auch bei optimaler Auslegung einer Schlingfeder bleibt im ausgekuppelten Zustand einer Schlingfeder immer eine mehr oder weniger große Restreibung bestehen, welche die Lebensdauer einer Schlingfederkupplung beeinflusst. Allgemein kann gesagt werden, daß eine Schlingfederkupplung ungeeignet ist für Einsätze, bei welchen die ununterbrochene Dauer des ausgekuppelten Zustands lang ist im Verhältnis zur Dauer des Einkuppelns. Hohe Schallschälle wirken sich wesentlich weniger negativ auf die Lebensdauer aus als selten eingekuppelte Schlingfedern.

4.6 Wirkungsrichtung

Schlingfedern sind drehrichtungsabhängig, d.h. sie übertragen oder sperren ein Drehmoment nur in die eine oder andere Richtung. Ausnahme: die in Abschnitt 2.3 beschriebene Schlingfeder als Lastmomentsperre.

4.7 Schmierung

Als Reibungskupplung hat die Schmierung einen wesentlichen Einfluß. In der Regel genügt die geeignete Befettung der Schlingfeder. Bei leichten Einsätzen erzeugt das Einölen der Schlingfeder auch bereits einen dauerhaften Schmierfilm.

5 Konstruktive Hinweise für Schaltkupplungen

Schaltkupplungen in der Ausführung einer Schlingfederkupplung müssen in konstruktiver Hinsicht verschiedene Bedingungen erfüllen, welche auf entsprechenden Erfahrungswerten beruhen oder aufgrund von Versuchen ermittelt wurden. Im Normalfall legt der Lieferant die Einzelheiten aufgrund von Kundenangaben fest. Wesentliche Angaben sind neben den rein geometrischen Randbedingungen die geforderte Lebensdauer, die Präzision der Schaltung, die Schalttauglichkeit, das zu übertragende Drehmoment, die Einbaubedingungen und anderes mehr.

Die Fertigung einer auf spezifische Anwendung ausgelegten Kupplung anstelle der Verwendung einer Standardkupplung lohnt sich bereits ab Serien von 50 Stück, weil dann in allen Einzelheiten eine optimale (anwendungsspezifische) Lösung definiert wird. Die Dimensionierung der Komponenten, deren Oberflächenbehandlung sowie die Montage der Kupplung muß mit der notwendigen Sachkenntnis erfolgen.

6 Fazit

Schlingfedern sind einfache und kostengünstige Bauelemente, um Drehbewegungen zu übertragen oder zu sperren. In vielen Fällen sind sie echte Alternativen zu Klemmkörper-Freiläufen. Als Lastmomentsperren erfüllen sie ihren Zweck in unzähligen Fahrzeugen und verschiedenen anderen Einsätzen (Fensterheber, Lehnensperren).

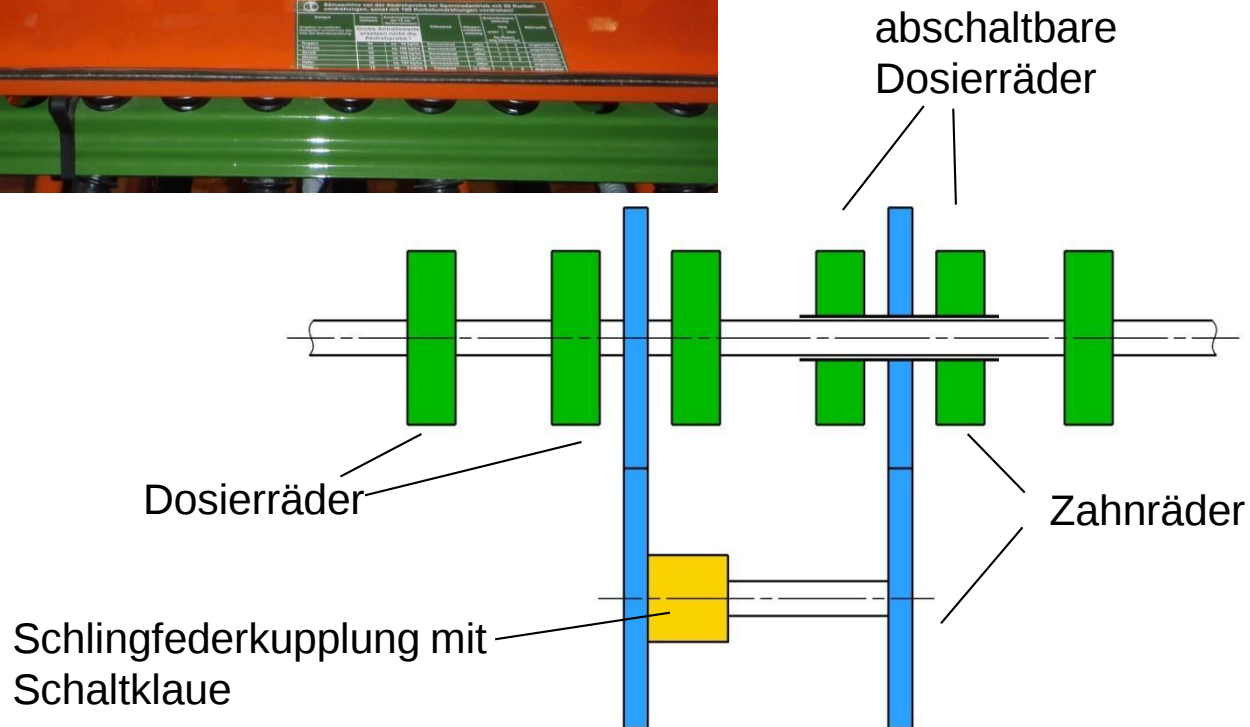
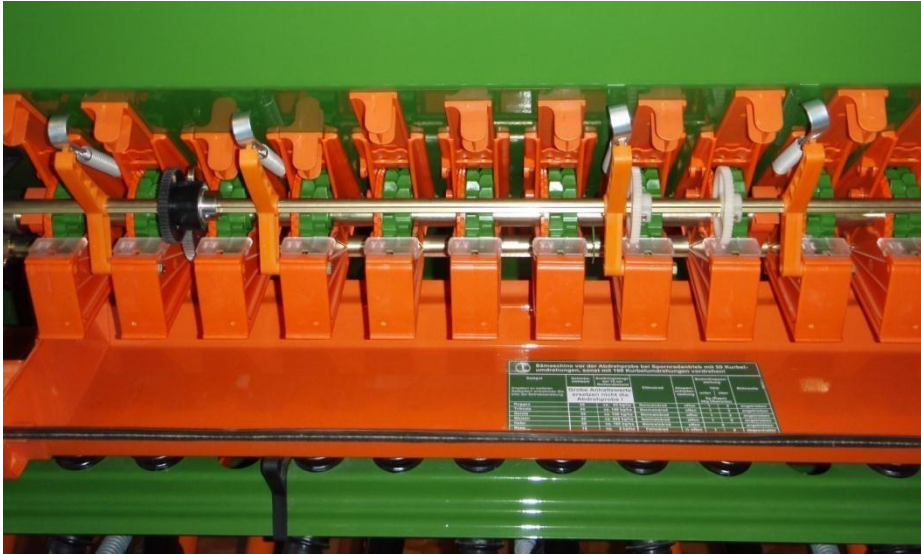
Anwendungen für Schlingfeder-Schaltkupplungen sind vielfältig und in beliebigen Branchen zu finden wie für Büromaschinen (Kopiergeräte, Printer, Schreibmaschinen etc.), Verpackungsmaschinen, Landwirtschaftsmaschinen (Fahrgassenschaltungen, Kettenzüge), und Homowerkmaschinen (Rasenmäher-Fahrantriebe, Heckenscheren). Diese Produkte stehen in direkter Konkurrenz zu Elektromagnetkupplungen. In der Regel sind mit Schlingfeder-Schaltkupplungen kostengünstigere Lösungen möglich. Die Anwendung muß jedoch in allen Fällen sorgfältig geprüft und durch Tests mit praxisnahen Bedingungen bestätigt werden.

Anmerkung der Redaktion

Unsere Leser können weitere Informationen über die beschriebenen Schlingfederkupplungen anfordern, indem sie die folgende Kennzahl in ihre Leserkarte eintragen.

BAUWMANN

Fahrgassenschaltung Einzeldosierer



Corioliskraft

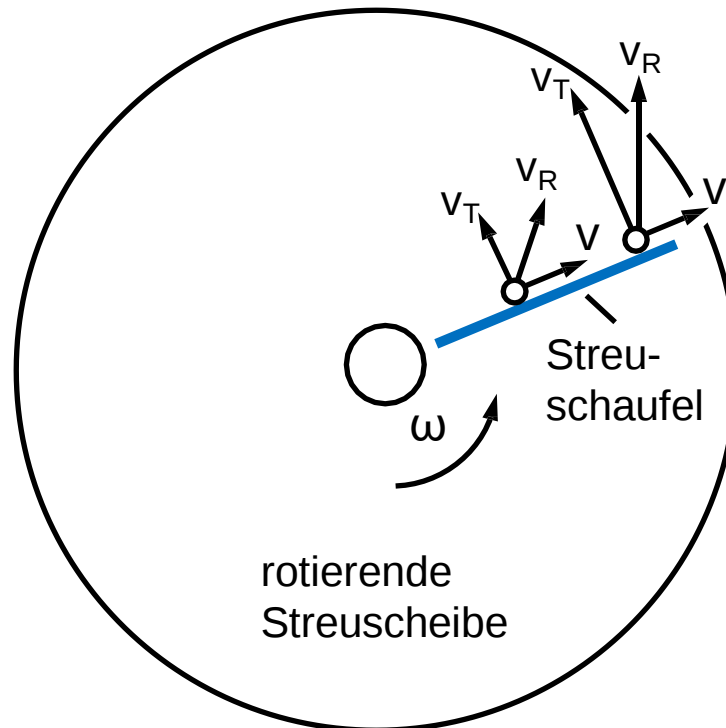
Corioliskräfte treten dann auf, wenn sich eine Masse innerhalb eines rotierenden Bezugssystems bewegt.

Beispiel: Düngerkörner auf der Streuscheibe eines Zentrifugalstreuers.

Angenommen eine Düngermasse bewegt sich mit konstanter Radialgeschwindigkeit v entlang der Streuschaufel nach außen, dann überlagern sich die zunehmenden Tangentialgeschwindigkeiten. Die resultierende Geschwindigkeit v_R vergrößert sich. Diese Geschwindigkeitsänderung wird durch die Corioliskraft bewirkt.

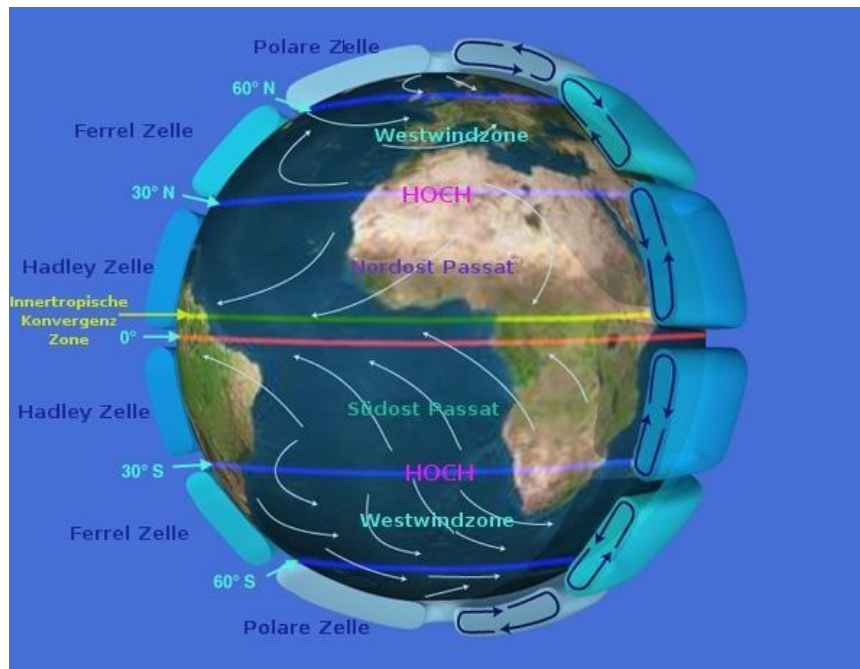
Tatsächlich ändert sich aber auch die Radialgeschwindigkeit infolge der zunehmenden Fliehkraft. Es überlagern sich Corioliskräfte und Fliehkkräfte, die beide die Masse beschleunigen.

$$F_c = 2 m \cdot v \cdot \omega \quad \text{Corioliskraft}$$



Corioliskraft und Passatwinde

Corioliskräfte haben eine große Bedeutung für das Klima der Erde. Hervorgerufen durch die Erdrotation verursachen sie beispielsweise die Westabweichung der Passatwinde. Die unterschiedlichen Umfangsgeschwindigkeiten auf den verschiedenen Breitengraden führen zu beschleunigten Bewegungen innerhalb der Luftmassen.



www.Wikipedia.org - Passatwinde

Fliehkraft bei der Kreisbewegung

Bewegt sich ein Körper auf einer Kreisbahn, dann entsteht an dem Körper eine Fliehkraft. Hervorgerufen wird diese durch die Radialbeschleunigung.

$$a = \frac{v^2}{r} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

Radialbeschleunigung

oder mit $v = r \cdot \omega$

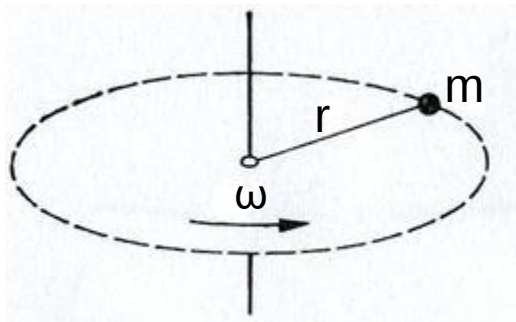
$$a = r \cdot \omega^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

Radialbeschleunigung

Damit berechnet sich die Flieh - oder Zentrifugalkraft zu

$$F_z = m \cdot \frac{v^2}{r} = m r \cdot \omega^2 \text{ (N)}$$

Flieh-, Zentrifugalkraft



rotierender
Massenpunkt

Pendelteller

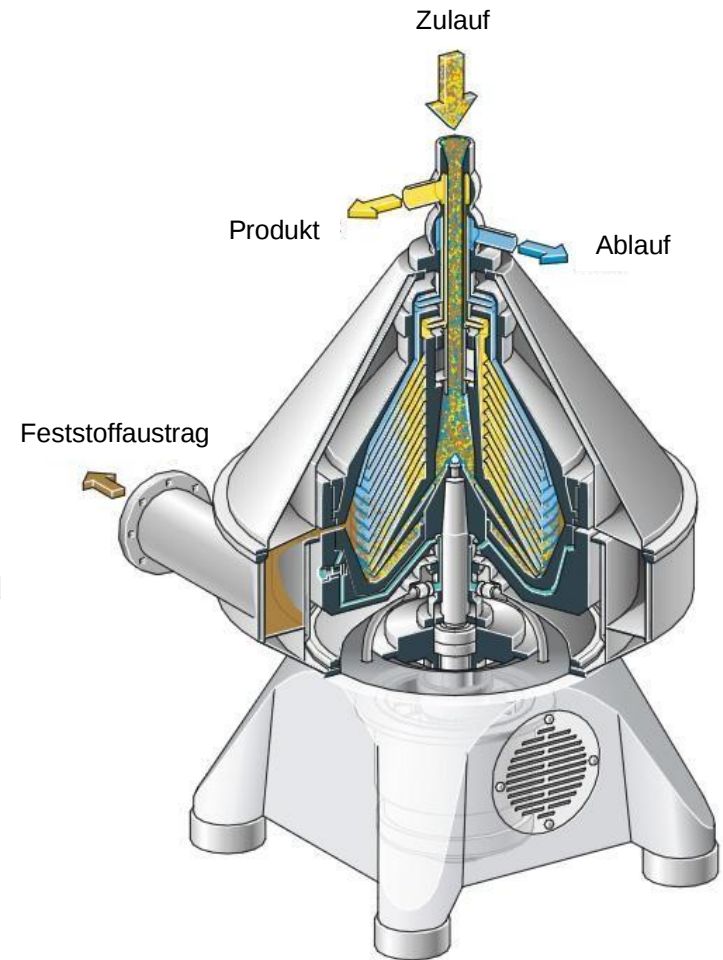
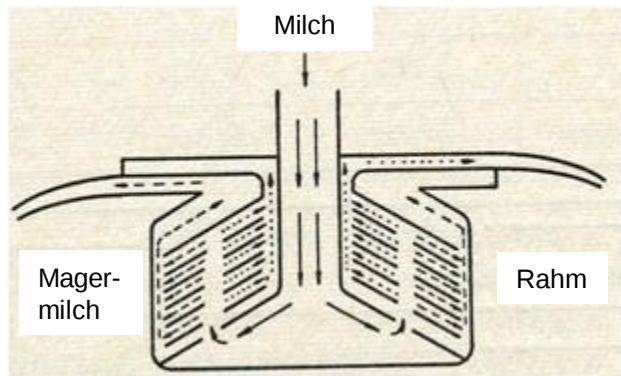
Versuch 8

Fliehkräfte in Zentrifugen

In Zentrifugen wird der physikalische Effekt der Zentrifugalkraft genutzt. Schwerere und leichtere Bestandteile einer Substanz, z.B. gelöstes Fett in Wasser, lassen sich von einander trennen. Die schwereren Bestandteile verlagern sich bei der in Rotation versetzten Substanz in den Außenbereich.

In der Lebensmittelindustrie wird dieser Effekt genutzt bei der Herstellung von Bier, Wein, Fruchtsäften und Milchprodukten.

Zu der Herstellung von Butter wird das in der Milch gelöste Fett in Zentrifugen abgeschieden. Es entsteht Magermilch und Rahm. Der Rahm wird zu Butter weiter verarbeitet.

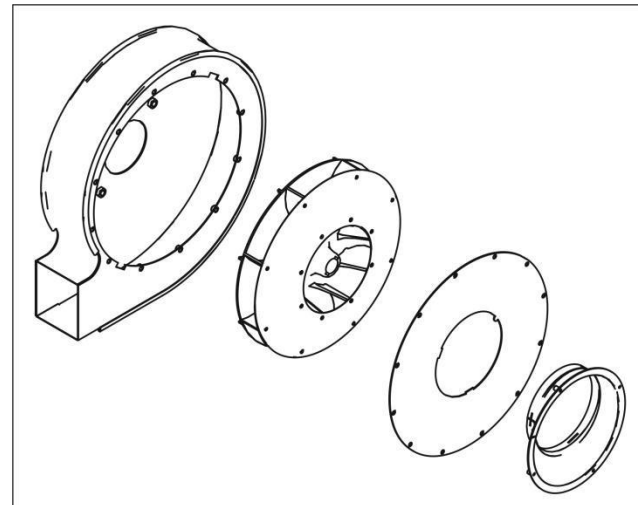
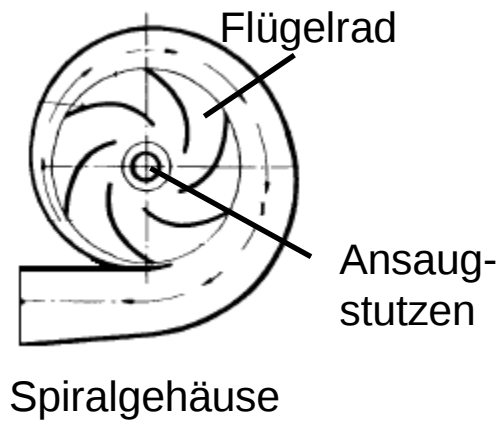


<http://www.westfalia-separator.com>

Fliehkräfte in Kreiselpumpen und Gebläsen

In Kreiselpumpen oder Gebläsen werden die Fliehkräfte genutzt, um Flüssigkeiten oder Gase zu fördern. Die Flüssigkeiten oder Gase werden mittig angesaugt und von einem rotierenden Flügelrad beschleunigt, so dass Fliehkräfte entstehen. Durch den radial angeordneten Auslauf strömt die Flüssigkeit oder das Gas aus dem Pumpengehäuse bzw. Gebläsegehäuse.

Tauchpumpen funktionieren nach dem gleichen Prinzip.



Schleudervorgang

Versuch 9

Fliehkraft – Aufgabe

Die Messerklingen eines Mähwerks sind pendelnd an den Mähscheiben befestigt. Durch die Fliehkraft werden die Messerklingen radial ausgerichtet.

Die Messerklinge wiegt $m = 40\text{g}$.

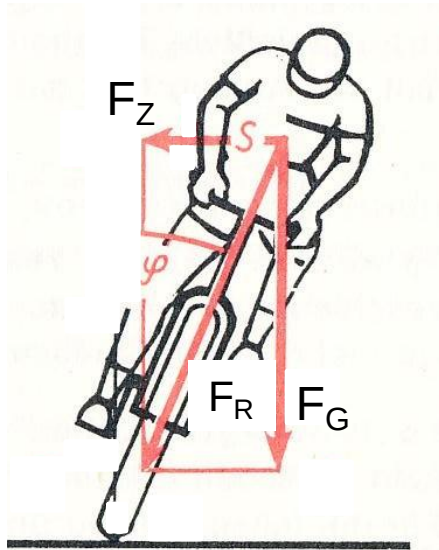
Der Massenschwerpunkt liegt $r = 20\text{ cm}$ außerhalb der Antriebsachse.

Die Mähscheiben werden mit einer Drehzahl von $n = 3800\text{ }^1/\text{min}$ angetrieben.

Wie groß ist die Fliehkraft?

$F_F =$	N
---------	---

Fliehkraft - Aufgabe



Um welchen Winkel muss sich ein Radfahrer gegen die Vertikale neigen, wenn er mit $18 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ein Kreisstück mit Radius 10m durchfährt?

$\varphi =$ °

Wie groß muss der Reibungskoeffizient μ sein, damit das Rad nicht rutscht?

$\mu =$

Welchen Radius hat ein Radfahrer bei $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ mindestens einzuhalten, damit er bei $\mu = 0,5$ nicht wegrutscht?

$r =$ m

Um welchen Winkel muss er sich neigen?

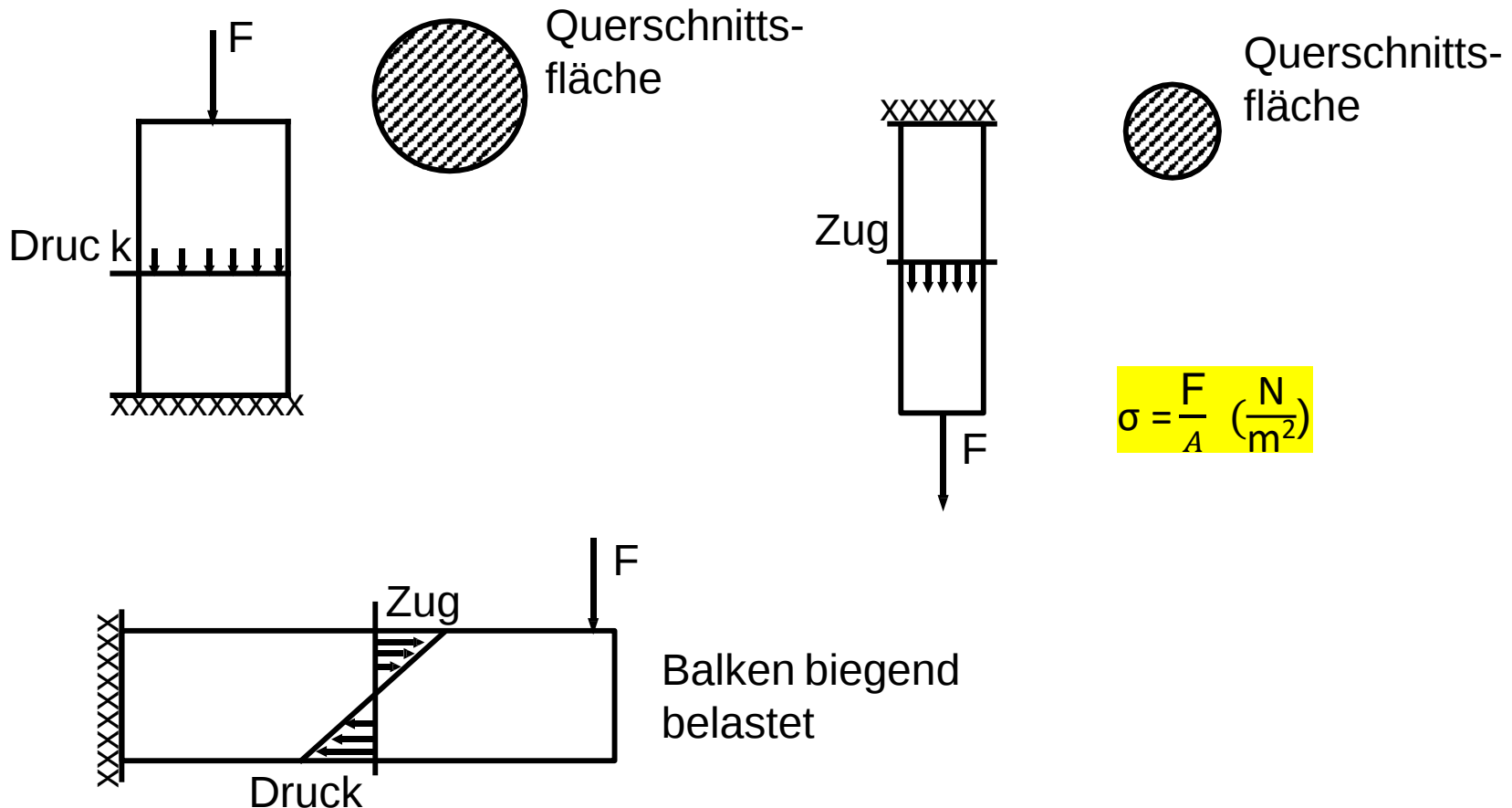
$\varphi =$ °

Fliehkraft



Spannungen im Körper

Spannungen sind Belastungen in festen Körpern. Die Kraft bezieht sich auf eine festgelegte Fläche. Es gibt Zug- und Druckspannungen.



Sprengung Schornstein

Sprengung des
Schornsteins der
ehemaligen Zuckerfabrik
Groß Munzel
7. April 2001 14:00Uhr



Schornstein

Versuch 10

Spannung im Körper



Quelle: www.Claas.de

Der Gutstrom im Förderrohr bildet eine Linienlast. Im oberen Bereich des Förderrohrs entsteht eine Zugspannung im unteren eine Druckspannung.