

Themen von Heute:

> Teil 1: Fragen & Inputs zu Themen / Aufgaben von letzter Woche

> Teil 2: Recap der Theorie für die aktuelle Serie:

neues Thema: **Dynamik**!

1. Beschleunigung
2. kinematische Relationen
3. Feder
4. Impuls
5. Newton'sches Bewegungsgesetz ($\hat{=}$ Impulssatz)
6. Differenzialgleichungen

> Teil 3: Übungsaufgaben lösen (Serie 10)

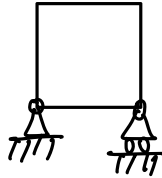
↳ viele Aufgaben zu Reibung & Kippen

↳ nur 2 Dynamik-Aufgaben: $\rightarrow$ nächste Woche mehr!

Teil 1: Fragen zu Themen/Aufgaben von letzter Woche?

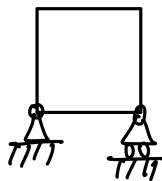
Input ①: Bei Statik-Aufgaben kann man beim Freischnitt die Koordinaten so einführen, wie man möchte:

"Normal":



Freischnitt
~~~~~>

Man könnte sie aber auch so einführen:

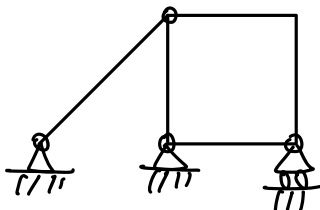


Freischnitt  
~~~~~>

Man muss dann einfach alle Kräfte, Distanzen, Momente usw. mit den eingeführten Koordinaten beschreiben & v.a. wichtig, dass man dabei konsistent bleibt!

Ausserdem: Wenn man mehrere Starrkörper hat, kann man für jeden Starrkörper ein eigenes Koordinatensystem einführen!

z.B.

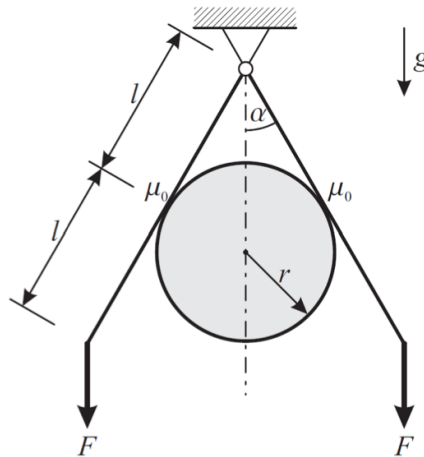


Freischnitt
~~~~~>

↳ Wozu das Ganze?  $\Rightarrow$  Manchmal ist die Aufgabe leichter/schneller lösbar, wenn man die Koordinaten schlau einführt.

### Beispiel: Serie 10 Aufgabe 1:

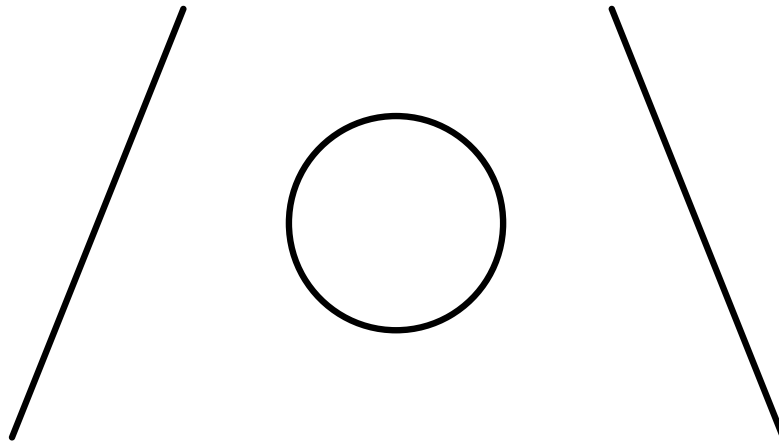
1. <sup>1</sup> Eine Kugel mit dem Gewicht  $F_G$  wird von zwei um  $\alpha = 30^\circ$  geneigten gewichtslosen Platten laut Abbildung festgehalten. Die dabei aufgewendeten Kräfte vom Betrag  $F$  seien  $5F_G$ .



1. Wie gross muss der zwischen Platte und Kugel auftretende Haftreibungskoeffizient  $\mu_0$  mindestens sein, damit die Kugel nicht hinunterfällt?

*Hinweis: Der Rollwiderstand ist vernachlässigbar.*

Freischnitt:



Input ②:

Wichtig! Aufgaben mit einer konstanten Geschwindigkeit (d.h. keine Beschleunigung) kann man als Statik-Aufgaben sehen!

"Beweis":  
Wikipedia:

## Statik (Mechanik)

---

Die **Statik** ist ein Teilgebiet der **Mechanik**, das sich mit unbewegten, ruhenden **Körpern** befasst. Bei diesen befinden sich alle Kräfte im **Gleichgewicht**; die Statik wird daher auch als „Lehre vom Gleichgewicht“ bezeichnet. Mit beschleunigten Körpern befasst sich die **Kinetik**. Die Methoden und Erkenntnisse der Statik sind auch auf Körper anwendbar, die sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegen, da diese keine Beschleunigung erfahren.

Keine Beschleunigung  $\hat{=}$  im Gleichgewicht  $\hat{=}$  Statikaufgabe



# Teil 2: Recap der Theorie für die aktuelle Serie

## Dynamik

### Definition in Physik:

#### Dynamik (Physik)

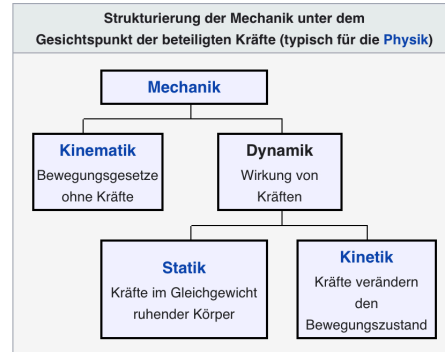
Die **Dynamik** (altgriechisch δύνάμις ‚Kraft‘) ist das Teilgebiet der **Mechanik**, das sich mit der Wirkung von **Kräften** befasst. In der **Physik** wird unter Dynamik die Beschreibung der **Bewegung** von Körpern in ihrer Abhängigkeit von den einwirkenden Kräften verstanden.

Im allgemeineren Sinn bezeichnet Dynamik in der Physik das (zeitliche) Verhalten eines **dynamischen Systems** und der **Bewegungsgleichungen**, die ihm zugrunde liegen.

Es existieren unterschiedliche Einteilungen der Dynamik.

##### Inhaltsverzeichnis [Verbergen]

- 1 Physik
- 2 Technische Mechanik
- 3 Begriffsgeschichte
- 4 Weblinks
- 5 Einzelnachweise



#### Physik [Bearbeiten | Quelltext bearbeiten]

In der Physik wird die Dynamik eingeteilt in die **Statik**, die den Fall des **Kräftegleichgewichts** behandelt (unbeschleunigte Körper) und in die **Kinetik**, die sich mit beschleunigten Körpern befasst. Im Unterschied dazu beschränkt sich die **Kinematik** als weiteres Gebiet der Mechanik auf eine geometrische Beschreibung der Bewegungen, ohne dabei Kräfte zu berücksichtigen.

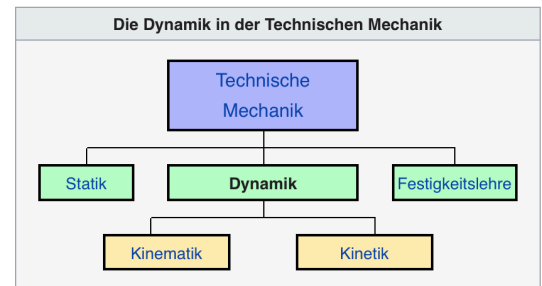
### Definition in TechMech:

#### Technische Mechanik [Bearbeiten | Quelltext bearbeiten]

In der **Technischen Mechanik** wird die Dynamik als Lehre von den Bewegungen fester Körper verstanden. Mit Gasen und Flüssigkeiten befasst sich dagegen die **Fluiddynamik**. In der Technischen Mechanik wird die Dynamik meist eingeteilt in<sup>[1][2][3]</sup>

- die **Kinematik**, die keine Kräfte berücksichtigt, sondern nur geometrisch die Bahnen der bewegten Körper beschreibt und
- die **Kinetik**, die auch Kräfte berücksichtigt.

Die Dynamik ist somit neben der Statik und der **Festigkeitslehre** eines der drei Hauptgebiete der Technischen Mechanik. Zum Teil wird auch die Auffassung vertreten, dass die Dynamik aus den beiden Gebieten der Statik und der Kinetik besteht.<sup>[4][5][6]</sup> Die entsprechenden Werke sind jedoch bei allen Autoren in drei Bände oder Kapitel unterteilt, von denen je eines die Statik und die Festigkeitslehre behandeln und ein weiteres Kinetik und Kinematik. Zum Teil werden diese Bände als **Dynamik** bezeichnet, teils auch als **Kinetik und Kinematik**<sup>[7]</sup> oder nur **Kinetik**<sup>[8]</sup> bezeichnet. Zu den Inhalten zählen die Kinematik und Kinetik von einzelnen Punktmassen, von mehreren Punktmassen und von starren Körpern sowie **Schwingungen**. Wenn in Problemstellungen die **Trägheitskräfte** mit einbezogen werden, lassen sie sich mit Methoden der Statik lösen. Insofern baut die Dynamik methodisch auf der Statik auf und wird daher erst nach der Statik gelehrt.<sup>[9][10]</sup>



↳ D.h. also: In der Dynamik sind die Körper im Gegensatz zur Statik **nicht in Ruhe**, sondern **bewegen sich**!

Dynamik beschreibt die **von** Körpern unter dem **.**

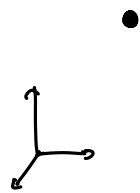
→ Ab Heute bis Ende Semester: Dynamik! :)

Wichtige Definitionen / Konzepte, die in Dynamik vorkommen:

### 1. Beschleunigung:

Die Beschleunigung gibt an, wie schnell sich die Geschwindigkeit eines Körpers ändert.

Sie ist die Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit (bzw. 2. Ableitung der Bewegungsfkt.)



In kartesischen Koordinaten:



In Polarkoordinaten:

$$\vec{v} = \dot{\rho} \vec{e}_\rho + \rho \dot{\varphi} \vec{e}_\varphi + \dot{z} \vec{e}_z$$



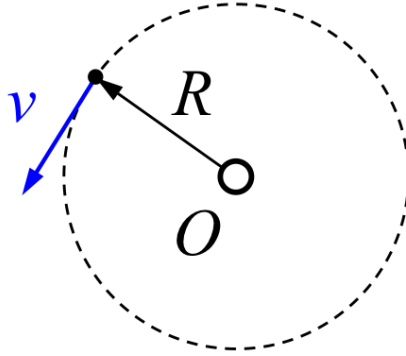
Falls  $\rho$  konstant ist:  
(z.B. bei einem Pendel)

$$\dot{\vec{\rho}} = \ddot{\vec{\rho}} = 0$$



## Beispielaufgabe: Serie 10 Aufgabe 7:

7. Ein Teilchen bewegt sich auf einer Kreisbahn mit dem Radius  $R$  (siehe Skizze). Die Geschwindigkeit des Teilchens ist gegeben als  $|\mathbf{v}| = at$ , wobei  $a$  eine Konstante ist.

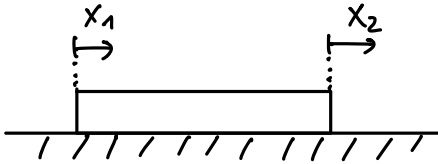


Was ist die Beschleunigung des Teilchens in Polarkoordinaten?

- (a)  $\mathbf{a} = -\frac{a^2 t^2}{R} \mathbf{e}_\rho + a \mathbf{e}_\varphi$
- (b)  $\mathbf{a} = \frac{at}{R} \mathbf{e}_\rho - at \mathbf{e}_\varphi$
- (c)  $\mathbf{a} = \frac{a^2 t^2}{R} \mathbf{e}_\rho$
- (d)  $\mathbf{a} = -a^2 t^2 \mathbf{e}_\rho + at \mathbf{e}_\varphi$
- (e)  $\mathbf{a} = a \mathbf{e}_\varphi$

## 2. kinematische Relationen

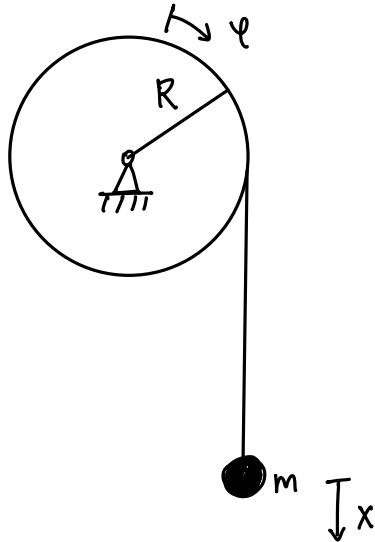
Wenn wir mehr Koordinaten haben als Freiheitsgrade, sind die Koordinaten voneinander abhängig. Man sagt, dass diese Koordinaten eine kinematische Relation haben. Unsere Aufgabe ist es, Gleichungen aufzustellen, welche diese Relationen beschreiben:



$$x_1 = x_2$$

Oft treten kinematische Relationen bei Rollen auf:

Allgemein:



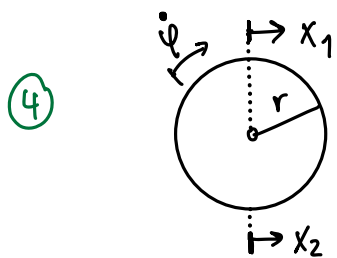
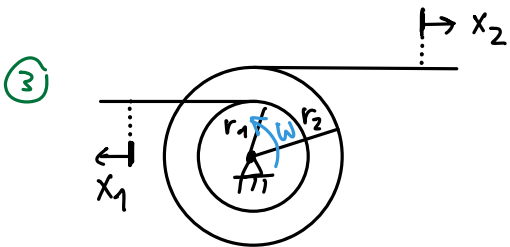
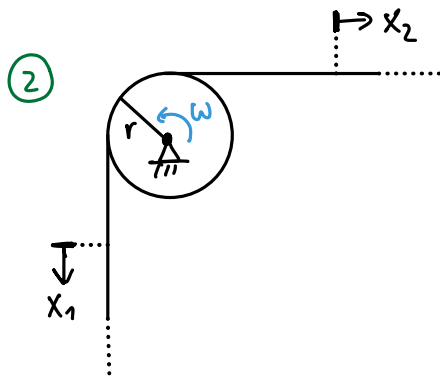
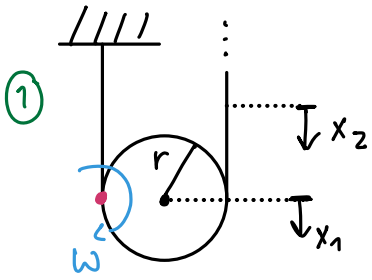
Bem:



$$\omega = \text{Kreisfrequenz} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \dot{\varphi}$$

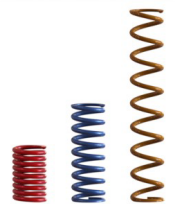
$\hat{=}$  Rotationsgeschwindigkeit

Beispiele: Bestimme die kinematischen Relationen (zwischen den Koordinaten)



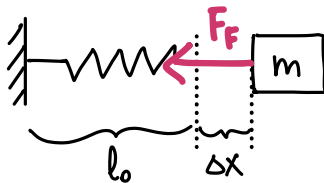
### 3. Feder

Wir zeichnen sie so

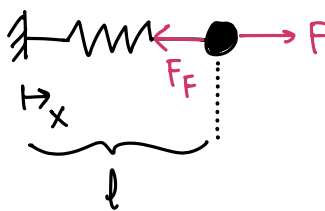


Eine Feder ist ein Bauteil, der sich elastisch verformen lässt:

Wenn sie gezogen / gedrückt wird, übt sie eine Kraft in die entgegengesetzte Richtung aus. ("Sie will in die ursprüngliche Lage zurück"). Diese Kraft kann man nach dem Hookeschen Gesetz bestimmen:

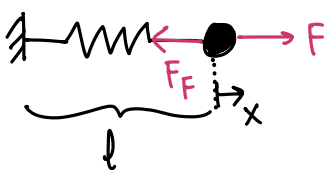


Aufpassen, wo die ungespannte Lage der Feder ist und wo die Koordinate ist:



Ungespannt bei  $x=0$  →

Ungespannt bei  $x=l$  →

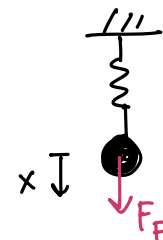
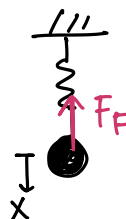


Ungespannt bei  $x=-l$  →

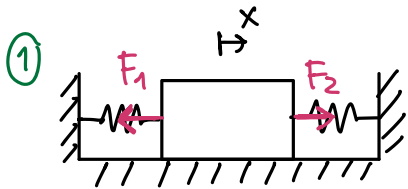
Ungespannt bei  $x=0$  →

Aufpassen mit dem Vorzeichen:

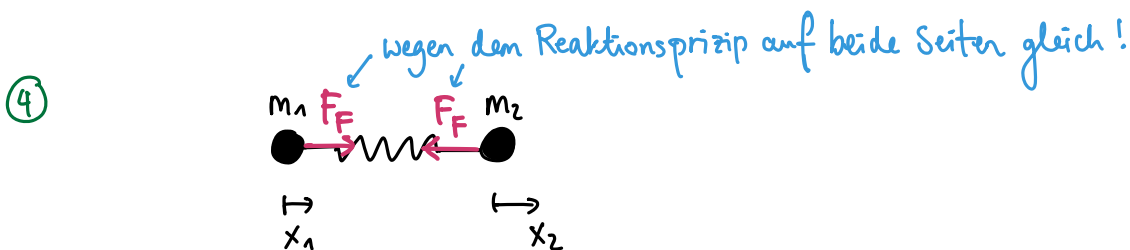
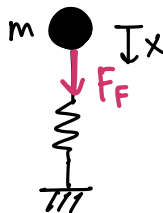
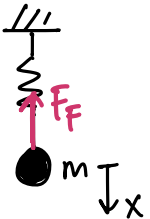
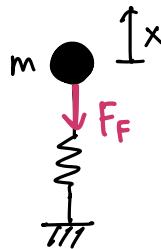
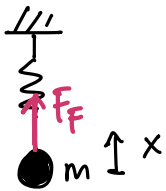
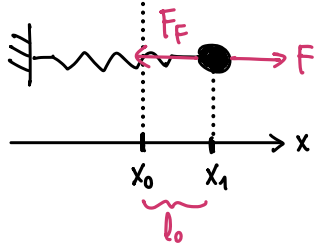
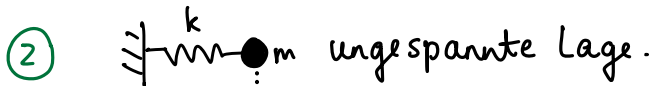
Ungespannt bei  $x=0$ :



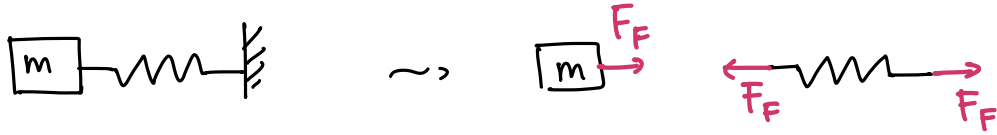
Beispiele: Im folgenden haben alle Feder die Federkonstante  $k$ .



beide Feder sind in ihrer ungespannten Lage.



**Wichtig!** : Beim Freischneiden einer Feder sind die Kräfte auf ihre beiden Enden gleich gross (wegen dem Reaktionsprinzip von Newton)



**Wichtig!** : Federn verringern den Freiheitsgrad eines Systems nicht.



#### 4. Impuls

Der Impuls ist folgendermassen definiert:



Sie beschreibt die "Wucht" oder der "Schwung" eines Körpers.

## 5. Das Newton'sche Bewegungsgesetz ( $\hat{=}$ Impulssatz)

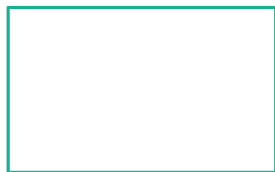
In der Dynamik sind die Körper im Gegensatz zur Statik nicht in Ruhe, sondern bewegen sich. Daher führen wir neue Gleichungen ein, um das System zu beschreiben:



oder



Diese Gleichungen heißen **Bewegungsgleichung** und es sind **Differenzialgleichungen**. Da es sich um physikalische Systeme handelt, haben diese Gleichungen auch gewisse Anfangsbedingungen:



( $\hat{=}$  Werte zu einem gewissen Zeitpunkt, meistens  $t=0$ )

↳ manchmal werden AB's in den Aufgaben gegeben, ansonsten muss man sie selber aufstellen.

Diese werden wir auch brauchen, um die DGL's komplett lösen zu können.

Bem: Falls mehrere Körper/Massepunkte gegeben sind, muss man für jeden Massepunkt das Newton'sche Bewegungsgesetz und Anfangsbedingungen aufstellen.

## 6. Differenzialgleichungen → "Crash Course DGL" auf meine Webseite anschauen :)

Um diese DGL's zu lösen gibt es Lösungsansätze, die in der Prüfung meistens gegeben sind.

Der folgende Ansatz kommt sehr häufig vor:

Falls die DGL in diese Form umgeformt werden kann:

↳ meistens möglich!!

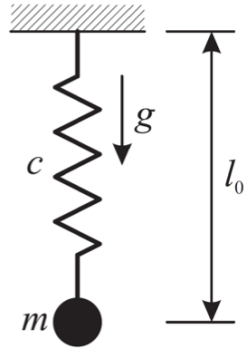
Dann löst dieser Ansatz die DGL:

Wobei  $c_1, c_2 \in \mathbb{R}$  Konstanten sind, die durch das Einsetzen der Anfangsbedingungen bestimmt werden müssen.  $g$  und  $w$  sind Konstanten, die durch die DGL bestimmt sind. Nach dem Bestimmen von  $c_1$  und  $c_2$  können wir die Werte für  $w$  und  $g$  einsetzen und das ist unsere Lösung :)

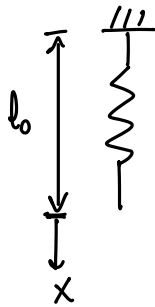
↳ Schauen wir uns das anhand eines Beispiels an!

**Beispielaufgabe:** aus letztes Jahr, kommt wahrscheinlich in der nächsten Serie...

1. <sup>1</sup> Ein Massenpunkt (Masse  $m$ ) hängt an einer Feder. Diese ist in vertikaler Lage am oberen Ende befestigt. Die Federkonstante ist  $c$  und die Feder besitzt die ungespannte Länge  $l_0$ . Finde die Bewegung des Massenpunktes, wenn dieser bei ungespannter Feder aus der Ruhe losgelassen wird.



1. Nehmen Sie an, dass die Feder während der Bewegung vertikal bleibe und führen Sie in einer allgemeinen Lage die Kräfte am Massenpunkt ein.



$l_0$ : Länge der ungespannten Feder

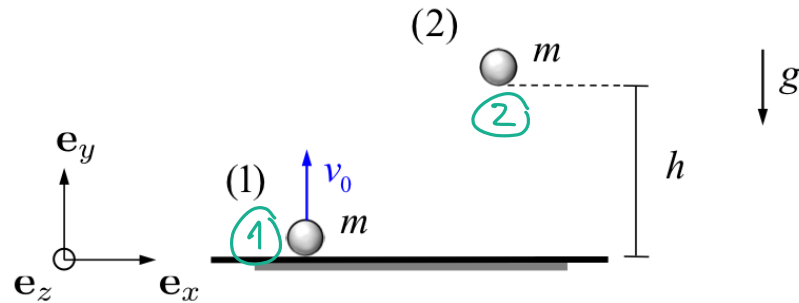
2. Formulieren Sie das Newtonsche Bewegungsgesetz und finden Sie die Bewegungsdifferentialgleichung.

3. Formulieren Sie das Anfangswertproblem für die Bewegung des Massenpunktes.
4. Bestimmen Sie die Bewegung des Massenpunktes. Dieser führt eine Schwingung aus. Wie gross sind die Amplitude und die Kreisfrequenz dieser Schwingung?



## Beispielaufgabe 2: Serie 10 Aufgabe 6

6. Zwei Massen  $m$  befinden sich zum Zeitpunkt  $t = 0$  in der unten skizzierten Ausgangslage. Masse (1) startet am Boden und hat die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  in  $e_y$ -Richtung, Masse (2) fällt aus der Höhe  $h$ .



Anfangsbedingungen: (AB)

Masse 1:  $y_1(t=0) = 0$  ①  $v_{1,y}(t=0) = v_0 = \dot{y}_1(0)$  ②  
 Masse 2:  $y_2(t=0) = h$  ③  $v_{2,y}(t=0) = 0 = \dot{y}_2(0)$  ④

Wie gross muss die Höhe  $h$  gewählt werden, damit beide Massen gleichzeitig (bei  $t > 0$ ) den Boden berühren?

- (a)  $h = \frac{2v_0}{g}$
- (b)  $h = \frac{v_0^2}{g}$
- (c)  $h = 4v_0^2$
- (d)  $h = \frac{2v_0^2}{g}$
- (e)  $h = \frac{v_0^2}{2g}$

↳ wichtigster Schritt: DGL aufstellen (Newton'scher Bewegungssatz)

Masse ①:

(m)

Newton'scher Bewegungsgesetz:

gerade dasselbe machen für Masse ②:

(m)

h

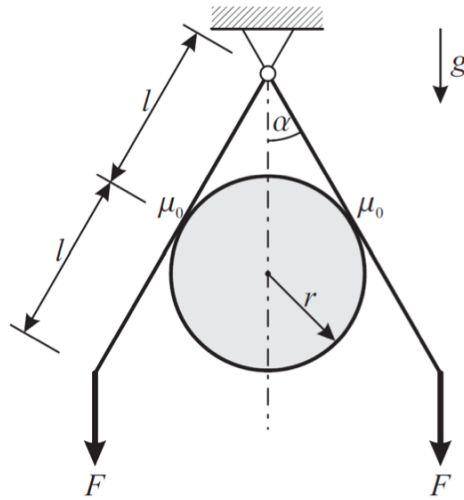
Newton'scher Bewegungsgesetz:





## Teil 3: Übungsaufgaben - Serie 10

1. <sup>1</sup> Eine Kugel mit dem Gewicht  $F_G$  wird von zwei um  $\alpha = 30^\circ$  geneigten gewichtslosen Platten laut Abbildung festgehalten. Die dabei aufgewendeten Kräfte vom Betrag  $F$  seien  $5F_G$ .



1. Wie gross muss der zwischen Platte und Kugel auftretende Haftreibungskoeffizient  $\mu_0$  mindestens sein, damit die Kugel nicht hinunterfällt?

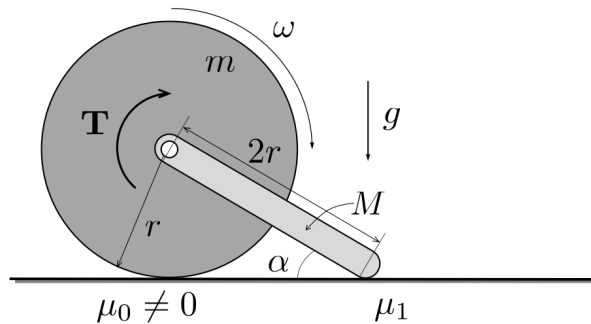
Hinweis: Der Rollwiderstand ist vernachlässigbar.

↳ Was bedeutet das für uns?  
↳ Tipp: siehe slides von Ü letzter Woche

### Tipps:

- Statikaufgabe !
- Verwende Tipp auf Seite 2~3 von dieser Ü.
- HS auf alle 3 SK anwenden um Kräfte zu bestimmen
- Bedingung für Haften aufstellen & nach  $\mu_0$  auflösen.  
↳ auf slides von Ü letzter Woche :)

2. Ein Rad mit Masse  $m$  und Radius  $r$ , auf das ein Moment  $\mathbf{T} = -T\mathbf{e}_z$  wirkt, rollt ohne zu gleiten auf dem Boden mit gegebener Rotationsgeschwindigkeit  $\omega$ . Der Mittelpunkt des Rades ist durch ein Gelenk mit einem Stab mit homogener Masse  $M$  und Länge  $L = 2r$  verbunden, der auf dem Boden gleitet und mit diesem einen Winkel  $\alpha = \pi/6$  einschliesst. Der Boden ist rau mit Haftreibungskoeffizient  $\mu_0 \neq 0$  und Gleitreibungskoeffizient  $\mu_1$ . Die Schwerebeschleunigung  $\mathbf{g}$  wirkt nach unten.



1. Wie gross muss der Gleitreibungskoeffizient  $\mu_1$  sein, damit sich das System mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt?

(a)  $\mu_1 = \frac{T}{\frac{Mgr}{2} + \frac{T}{\sqrt{3}}}$

(b)  $\mu_1 = \frac{\sqrt{3}Tr}{\frac{Mg}{2} - \frac{T}{2\sqrt{3}r}}$

(c)  $\mu_1 = \frac{2T}{\frac{Mgr}{2} - \frac{Tr}{\sqrt{3}}}$

(d)  $\mu_1 = \frac{T}{T - \frac{Mgr}{2}}$

(e)  $\mu_1 = \frac{\sqrt{3}T}{\frac{Mgr}{2} + T}$

2. Was ist der minimale Wert von  $\mu_0$ , damit das Rad nicht gleitet?

(a)  $\mu_{0,min} = \frac{2T}{(M+m)gr - T\sqrt{3}}$

(b)  $\mu_{0,min} = \frac{\sqrt{3}T}{(M-m)gr}$

(c)  $\mu_{0,min} = \frac{T}{(\frac{M}{2} + m)gr - \frac{T}{\sqrt{3}}}$

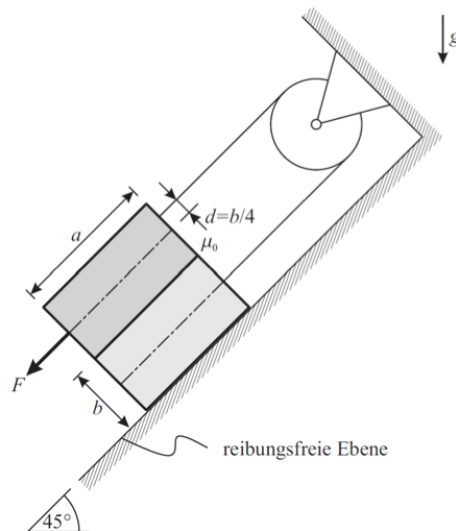
(d)  $\mu_{0,min} = \frac{\sqrt{3}T}{(\frac{M}{2} + m)g}$

(e)  $\mu_{0,min} = \frac{2T}{(\frac{M}{2} - m)gr}$

### Tipps:

- Was heisst konstante Geschwindigkeit? → Seite 4 von dieser Ü
- Danach normale Reibungs-aufgabe. Wendet den HS (auf jeden einzelnen SK) an um die unbekannten Kräfte zu bestimmen.
- Nehmt euch genug Zeit um den Freischnitt korrekt zu machen!  
↳ Normalkräfte, Reibungskräfte usw. nicht vergessen!

3. <sup>2</sup> Zwei identische Quader (je Gewicht  $F_G$ , Länge  $a$ , Höhe  $b$ ) liegen wie skizziert aufeinander und auf einer schiefen Ebene (Neigungswinkel  $45^\circ$ ). Ein Seil verbindet die beiden Quader über eine Umlenkrolle. Am unteren Quader ist das Seil auf Höhe der Mittellinie befestigt, am oberen Quader  $d = b/4$  oberhalb der Mittellinie. Zwischen den Quadern herrscht Haftreibung ( $\mu_0 > 0$ ). Der Kontakt zwischen dem unteren Quader und der schiefen Ebene ist reibungsfrei. Die Gewichtskräfte der Quader und die skizzierte Kraft vom Betrag  $F$  bilden die Belastung.



Gute Aufgabe!

Annahmen: Ebenes System, Quader homogen, Seil undehnbar und masselos, Umlenkrolle reibungsfrei, Seilkräfte parallel zur Unterlage.

1. Schneiden Sie die Quader einzeln frei und führen Sie alle an ihnen angreifenden Kräfte ein.
2. Stellen Sie die Gleichgewichtsbedingungen auf.
3. Berechnen Sie die Reibungskraft, die Seilkraft, die Normalkräfte und deren Angriffspunkte.
4. Gegeben seien  $F_G$  und  $\mu_0$ . Welche Bedingungen muss  $F$  erfüllen, damit das System nicht zu gleiten beginnt?
5. Welche Bedingung muss  $F$  erfüllen, damit das Seil gespannt bleibt?
6. Welche Ungleichungen stellen sicher, dass die Klötze nicht kippen? Diskutieren Sie diese Ungleichungen bei gegebenem  $a$ ,  $b$  und  $F_G$ .

### Tipps:

- Normalkräfte so einführen wie wir letzte Woche besprochen haben (mit Abstandvariable)  $\rightarrow$  genauer siehe Slides von Ü10.
- Dann HS um Kräfte zu bestimmen
- Alle Bedingungen aufstellen (Haften, gespanntes Seil, kein Kippen)

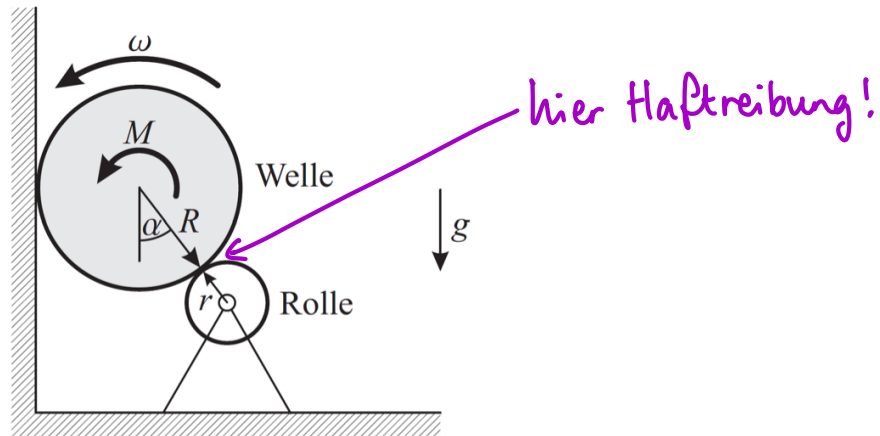
⚠ Die kritischere Bedingung ist die entscheidende Bedingung!

d.h. z.B. Bedingung ①:  $0 \leq \alpha \leq 10$

Bedingung ②:  $2 \leq \alpha \leq 4$

→ Bedingung ② deckt einen kleineren Bereich für  $\alpha$  ab (Wenn ② gilt, gilt ① sowieso.) D.h. die Bedingung ② wird eher verletzt und ist somit kritischer. Wenn also z.B. die Bedingungen die Werte für  $\alpha$  beschreiben, bei dem das System nicht kippt, muss man sicherstellen, dass die kritischere Bedingung (also Bedingung ②) erfüllt ist s.d. das System nicht kippt.

4. <sup>3</sup> Eine Welle rotiert mit konstanter Rotationsschnelligkeit  $\omega$ . Sie ist mit einer vertikalen Wand und einer Rolle abgestützt. Alle Berührungen sind rau. Der Haftreibungskoeffizient ist  $\mu_0$ , der Gleitreibungskoeffizient  $\mu_1$ . Die Rollwiderstandslänge ist  $\mu_2$ . Die Welle hat das Gewicht  $F_G$ . Die Rolle ist reibungsfrei gelenkig gelagert und dreht mit, ihr Gewicht kann vernachlässigt werden. Die Radien von Welle und Rolle sind  $R$  und  $r$ . Es sei  $\alpha = 45^\circ$ .



- Bestimmen Sie alle Kräfte und Momente an Rolle und Welle, insbesondere auch das Antriebsmoment  $M$ .

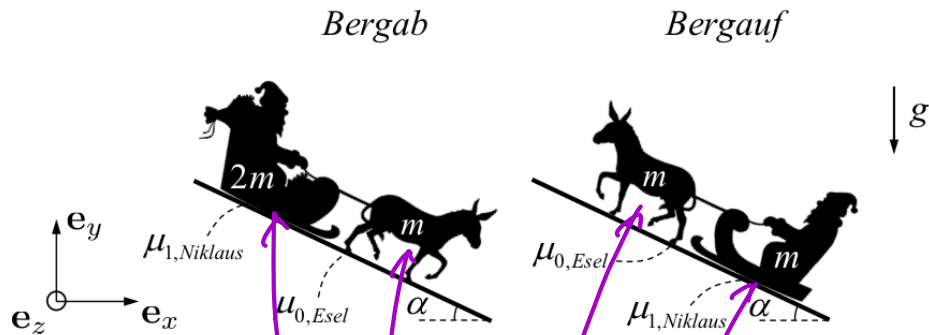
*Hinweis: Die Aufgabe ist als ebenes Problem mit den Methoden der Statik zu lösen.*

### Tipps:

Normale Statikaufgabe mit Reibungskräften.

Erschreckt nicht wenn ihr hässliche Werte als Lösung kriegst diese Aufgabe hat tatsächlich hässliche Lösungen.

5. Es hat frisch geschneit und St. Nikolaus fährt mit seinem Schlitten voller Geschenke (Masse  $2m$ ) zu den Kindern im nächsten Dorf bergab. Am Abend kehrt er mit dem leeren Schlitten (Masse  $m$ ) in die Berge zurück. Die komplexe Iteration der Schlitten im Neuschnee kann durch den sehr hohen Reibungswert von  $\mu_{1,Niklaus} = \sqrt{3}$  beschrieben werden. Dasselbe gilt für die Hufe des Esels im weichen Schnee, für die derselbe sehr hohe Haftreibungswert von  $\mu_{0,Esel} = \sqrt{3}$  gilt.



1. Wie gross muss der Neigungswinkel  $\alpha$  sein, damit der Esel bergab und bergauf immer mit der gleichen Kraft ziehen muss?

- (a)  $\alpha = 0^\circ$
- (b)  $\alpha = 15^\circ$
- (c)  $\alpha = 30^\circ$
- (d)  $\alpha = 45^\circ$
- (e)  $\alpha = 60^\circ$

*alles als Punktmassen betrachten!*

2. Wenn ein Esel bei weichem Schnee die volle Reibungskraft nutzen kann, wie viele Esel wären dann nötig, um den Schlitten mit konstanter Geschwindigkeit bergab bzw. bergauf zu ziehen?

- (a) Bergab: 0 Esel, Bergauf: 1 Esel
- (b) Bergab: 1 Esel, Bergauf: 1 Esel
- (c) Bergab: 1 Esel, Bergauf: 2 Esel
- (d) Bergab: 2 Esel, Bergauf: 2 Esel
- (e) Bergab: 2 Esel, Bergauf: 4 Esel

*Hinweis: Alle Kräfte können auf der Höhe des Schnees angenommen werden.  
Bei konstanter Geschwindigkeit herrschen die Gleichgewichtsbedingungen.*

*↳ Methoden der Statik verwenden.*