

Physik-Praktikum

für Studierende des Studiengangs
Staatsexamen Medizin

Versuch 2: Biomechanik

Wintersemester 2014/15

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Institut für Physik
D-26111 Oldenburg

25. September 2014

Namen:

Tutor:

2 Biomechanik

2.1 Grundlagen

Ziel dieses Versuchs ist es, grundlegende Zusammenhänge zwischen Kräften und Massen kennenzulernen, wie sie für die Biomechanik (z.B. wirksame Kräfte bei Belastung von Armen und Beinen) relevant sind. Dabei wird nur auf statische Situationen eingegangen, d.h. es findet keine dynamische Bewegung statt, der Aufbau ist im Kräftegleichgewicht. Bei bewegten Massen wirken weitere dynamische Kräfte, die hier nicht berücksichtigt sind. Diese sind selbstverständlich relevant in der Biomechanik, sollen aber zunächst nicht im Praktikum behandelt werden. Im Folgenden werden die grundlegenden physikalischen Gesetze kurz vorgestellt, die für das Verständnis der Versuche benötigt werden. Weitere Informationen dazu entnehmen Sie der Vorlesung sowie den Lehrbüchern.

Zusammenhang Gewicht und Masse:

Ein jeder Körper auf der Erde erfährt eine gewisse Anziehungskraft, die sogenannte Gewichtskraft F_G . Diese hängt von der Masse m des Körpers sowie der ortsabhängigen Fallbeschleunigung g ab. Für die späteren Versuche sei $g=9.81 \text{ m/s}^2$.

$$\vec{F}_G = m\vec{g} \quad (1)$$

Dies entspricht dem 2. Newtonschen Axiom, wobei sich die Erdbeschleunigung aus der Gravitationskraft zwischen dem Körper und der Erde ergibt. Beachten Sie, dass die Kraft und die Erdbeschleunigung Vektoren sind, d.h. sie sind mit einer Richtung behaftet. Die Kraft zeigt gemäß Gleichung 2.1 immer in Richtung der Erdbeschleunigung und diese zeigt gemäß den Gesetzen der Gravitation in Richtung des Erdmittelpunkts (Abweichungen bei großen Massen in der Nähe, z.B. Bergen). Da die Oldenburger Gegend recht flach ist und die Gebäude der Universität im Vergleich zur Erde „nichts“ wiegen, können wir davon ausgehen, dass die Erdbeschleunigung und damit die Gewichtskraft im Labor in Richtung des Erdmittelpunktes zeigen.

Hookesches Gesetz: $\vec{F} = D\vec{s}$ (2)

Dem Hookeschen Gesetz nach erfährt eine Feder durch eine angreifende Kraft \vec{F} eine gewisse Dehnung \vec{s} . Anzumerken ist, dass dies nur bei elastischen Dehnungen gilt und die Feder bei $\vec{F}=0$ auf die Ausgangsposition zurückkehrt. Die Kraft zeigt dabei vom Endpunkt auf den Aufhängepunkt der Feder.

Feste Rolle:

Feste Rollen oder auch Umlenkrollen werden zur Umlenkung von Kräften verwendet. Es wird dabei die Richtung der Zugkraft geändert, was für viele Anwendungen von Vorteil ist. Rolle und Seil sollten dabei möglichst reibungsarm gelagert sein. Es gibt im Gegensatz zur losen Rolle keine Kraftaufteilung.

Reibung:

Reibung tritt als eine zur Bewegung eines Körpers entgegen gerichteten Kraft auf. Die **Haftreibungskraft** entspricht der Kraft die überwunden werden muss, um einen Körper in Bewegung zu setzen. Im Alltag erweist sich die Haftreibung als

recht nützlich, da die sie die Kraft ist, die dafür sorgt, dass die Möbel (oder auch wir) an ihrem vorgesehenen Platz stehenbleiben.

Wurde die Haftreibung überwunden, setzt die **Gleitreibung** (Mensch, Computermaus) oder **Rollreibung** (z.B. Fahrrad, Auto) ein.

Die Kräfte der Haftreibung, Gleitreibung und Rollreibung hängen von ihren Reibungskoeffizienten und der angreifenden Normalkraft F_N ab:

$$F_{\text{Haftreibung}} = \mu_H F_N \quad (3)$$

$$F_{\text{Gleitreibung}} = \mu_G F_N \quad (4)$$

$$F_{\text{Rollreibung}} = \mu_R F_N \quad (5)$$

mit $\mu_H > \mu_G > \mu_R$.

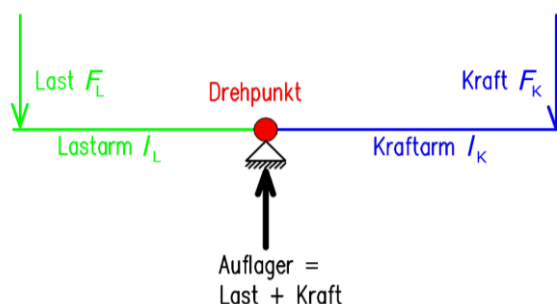
Zur Überwindung der Haftreibung ist also die größte Kraft erforderlich.

Hebelgesetz:

Für einen Hebel im Gleichgewicht gilt:

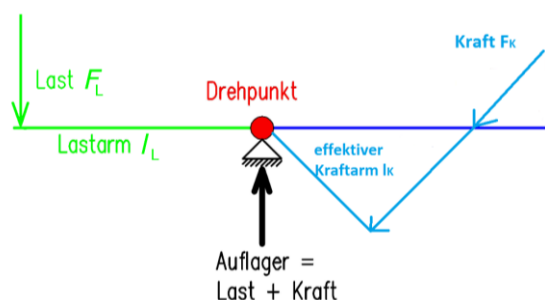
$$F_L l_L = F_K l_K \quad (6)$$

Der Betrag der angreifenden Kraft mal Kraftarm entspricht dem Betrag der Last mal Lastarm. Dies bedeutet, dass bei einer Verdoppelung des Kraftarms lediglich die halbe Kraft aufgewendet werden muss um das Hebelgleichgewicht beizubehalten.



Zweiseitiger Hebelarm (entnommen aus Wikipedia)

Greift die Kraft nicht senkrecht am Hebelarm an (*Abb. Zweiseitiger Hebelarm, schräg angreifende Kraft*), so verringert sich der effektive Hebelarm (der dann tatsächlich senkrecht zur Kraft steht), da dieser der kürzeste Abstand zwischen der Drehachse und der Kraftwirkungslinie darstellt. Der effektive Hebelarm kann über die Winkelfunktionen eines rechtwinkligen Dreiecks berechnet werden.

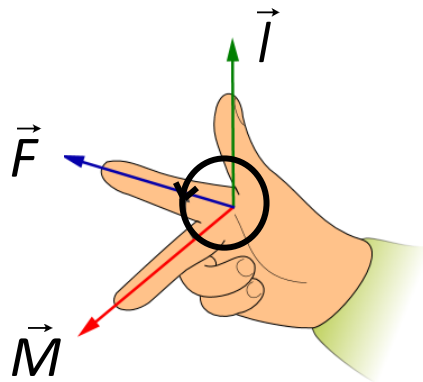


Zweiseitiger Hebelarm, schräg angreifende Kraft (entnommen aus Wikipedia)

Namen:

Tutor:

Drehmoment



Drehmoment – Vektorprodukt (entnommen aus Wikipedia mit Modifikationen)

Das Drehmoment kann allgemein als Vektorprodukt von angreifender Kraft \vec{F} und Hebelarm \vec{l} geschrieben werden, wobei die Richtung des Hebelarms von dessen Drehpunkt aus definiert wird:

$$\vec{l} \times \vec{F} = \vec{M} \tag{7}$$

Mit Hilfe der Rechten-Hand-Regel (siehe Abb. Drehmoment - Vektorprodukt) kann die Richtung des Momentes bestimmt werden:

- Daumen: Richtung des ersten Faktors des Vektorprodukts \vec{l}
- Zeigefinger: Richtung des zweiten Faktors des Vektorprodukts \vec{F}
- Mittelfinger: Richtung des Ergebnisvektors \vec{M}

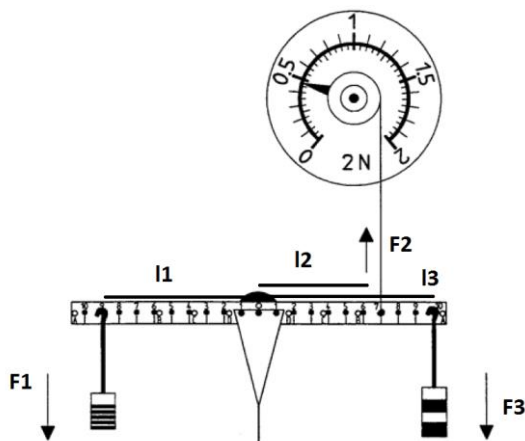
Die Rotationsrichtung können Sie einfach überprüfen, indem Sie die Position des Daumens in Richtung des Mittelfingers (Drehmoment) drehen und die restlichen Finger zu Faust ballen. Die Richtung der 4 Finger gibt Ihnen nun die Drehrichtung des Moments an (in diesem Fall linksdrehend).

Drehmomentengleichgewicht:

Ein Drehmomentengleichgewicht stellt sich ein, wenn die Summe aller angreifenden Drehmomente und Kräfte gleich Null ist:

$$\sum_i \vec{M}_i = 0 \text{ und } \sum_i \vec{F}_i = 0 \tag{8}$$

Das bedeutet, dass sich die linksdrehenden und rechtsdrehenden Drehmomente kompensieren müssen. Bei der Kräftebedingung dürfen die Auflagerkräfte nicht vergessen werden. Die folgende Abbildung zeigt ein praktisches Beispiel.



Zweiseitiger Hebel mit mehreren angreifenden Kräften.

Linksdrehende Momente: $\vec{l}_1 \times \vec{F}_1$ und $\vec{l}_2 \times \vec{F}_2$; rechtsdrehende Momente: $\vec{l}_3 \times \vec{F}_3$

Die Beträge der links- und rechtsdrehenden Momente müssen dabei übereinstimmen. Ebenso müssen sich die angreifenden Kräfte kompensieren.

2.2 Aufgaben

Masse und Gewichtskraft

Materialien

- 1 x Kraftmesser
- 1 x Gewichtsteller (10 g)
- 4 x 50 g Gewicht
- 10 x 10 g Gewicht



Versuchsaufbau und Durchführung

1. Bringen Sie den Kraftmesser an die Demo-Tafel an. Vergewissern Sie sich bitte, dass der Zeiger des Kraftmessers auf Null steht. Ist dies nicht der Fall, lösen Sie das obere graue Rädchen am Kraftmesser und drehen die Scheibe bis der Zeiger auf Null zeigt.
2. Bestücken Sie nun den Gewichtsteller mit unterschiedlichen Gewichten (z.B. 20 g, 40 g, 90 g und 150 g) und hängen dann den Gewichtsteller an den Kraftmesser. Lesen Sie die entsprechenden Werte für die Gewichtskraft F_G ab (**schwarze Skala benutzen!**) und tragen diese in die Tabelle ein. Vorsicht, beim Eintragen der Gesamtmasse m muss zusätzlich zur Masse der Gewichte die Masse des Gewichtstellers (10 g) berücksichtigt werden.

m in g	F_G in N	m in kg	$\frac{F_G}{m}$ in N/kg

3. Vervollständigen Sie nun die Tabelle und stellen die Ergebnisse mittels Diagramm (Masse $m \Rightarrow x$ -Achse, Gewichtskraft $F_G \Rightarrow y$ -Achse) graphisch dar. Welchen Zusammenhang erkennen Sie?

Namen:

Tutor:

Platz für Ihr Protokoll

4. Vergleichen Sie die gemessene Fallbeschleunigung \vec{g} mit Literaturwerten. Gibt es Abweichungen? Woran könnte dies liegen?

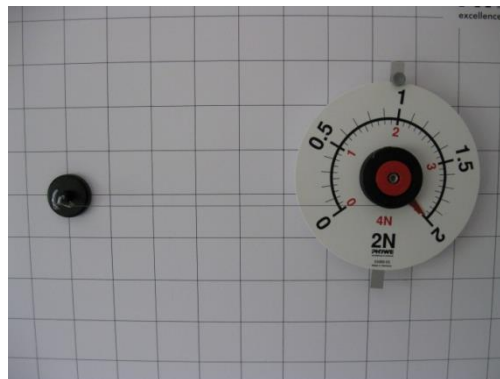
Platz für Ihr Protokoll

Kraft und Gegenkraft

Materialien

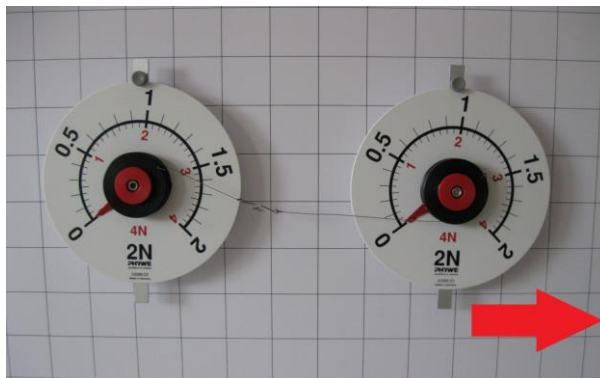
2 x Kraftmesser

1 x Haken



Versuchsaufbau und Durchführung

1. Setzen Sie zunächst Haken und Kraftmesser auf die Tafel und befestigen Sie dann die Zugschnur des Kraftmessers am Haken.
2. Ziehen Sie nun den Kraftmesser so weit nach rechts bis der Zeiger 2 N anzeigt. Welche Kraft setzt der Haken den 2 N entgegen? Dies wird in Aufgabe 3. deutlich.



3. Der Haken soll jetzt durch einen zweiten Kraftmesser ersetzt werden. Haken Sie beide Zugschnüre ein und verschieben Sie den rechten Kraftmesser bis erneut 2 N angezeigt werden.

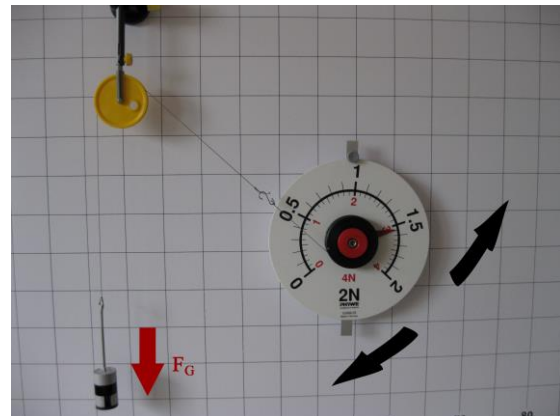
Was zeigt der linke Kraftmesser an? Welche Gesetzmäßigkeit liegt dem zugrunde? Welche Kraft lag in 2. am Haken an und was würde irgendwann passieren, wenn Sie den Kraftmesser immer weiter nach rechts verschieben würden (also die Kraft die auf den Haken einwirkt erhöhen)? Warum?

Platz für Ihr Protokoll

Feste Rolle

Materialien

- 1 x Kraftmesser
- 1 x Rolle
- 1 x Angelschnur
- 1 x Gewichtsteller
- 4 x 50 g Gewicht
- 10 x 10 g Gewicht



Versuchsaufbau und Durchführung

1. Bringen Sie den Kraftmesser an die Tafel an. Vergewissern Sie sich bitte, dass der Zeiger des Kraftmessers auf Null steht. Ist dies nicht der Fall, lösen Sie das obere graue Rädchen am Kraftmesser und drehen die Scheibe, bis der Zeiger auf Null zeigt.
2. Bestücken Sie den Gewichtsteller mit Gewichten von 140 g und haken diesen an die Zugschnur des Kraftmessers ein. Notieren Sie sich die Gewichtskraft.
3. Bringen Sie nun eine Rolle wie in der Abbildung zu sehen auf der linken Tafelseite an und legen die bereits vorbereitete Angelschnur über die Rolle. Danach kann der Gewichtsteller am linken Ende der Angelschnur und der Kraftmesser am rechten Ende der Angelschnur befestigt werden.
4. Welche Kraft zeigt der Kraftmesser an? Gibt es eine Kräfteinsparung durch die feste Rolle? Ändern Sie den Position des Kraftmessers (angedeutet durch die schwarze Pfeile in der Abbildung) und somit den Winkel der angreifenden Kraft. Können Sie eine Kraftänderung feststellen? Welchen praktischen Vorteil hat die feste Rolle?

Namen:

Tutor:

Platz für Ihr Protokoll

5. Lenken Sie nun den Gewichtsteller aus, und lassen den Zeiger langsam einpendeln und notieren sich den Wert des Kraftmessers. Wiederholen Sie diesen Vorgang fünfmal und berechnen anschließend den Mittelwert. Warum kommt der Zeiger manchmal an unterschiedlichen Positionen zum Stillstand?

Platz für Ihr Protokoll

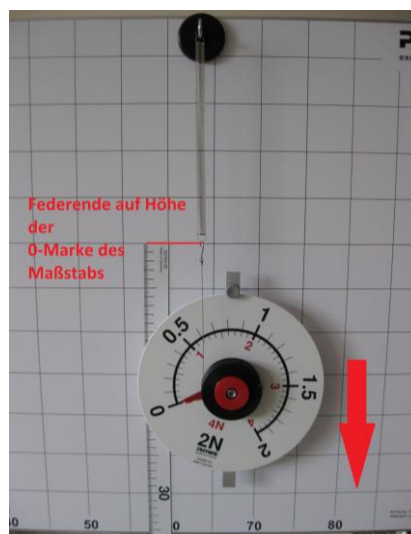
6. Wie weit können Sie den Zeiger des Kraftmessers nach rechts bzw. links verschieben, ohne dass dieser wieder zurück in seine Ausgangsposition pendelt? Welche Kraft ist dafür verantwortlich? In welche Richtung wirkt diese Kraft.

Platz für Ihr Protokoll

Hookesches Gesetz

Materialien

- 1 x Kraftmesser
- 1 x Haken
- 1 x Maßstab
- 2 x Schraubfedern (1 x 3 N/m, 1 x 20 N/m)



Versuchsaufbau und Durchführung

1. Bringen Sie den Haken möglichst dicht an der oberen Kante der Tafel an und haken dann eine der beiden Federn ein. Setzen Sie nun etwas tiefer den Kraftmesser auf die Tafel und befestigen Sie die Zugschnur mit der Feder. Justieren Sie dann den Zeiger des Kraftmessers auf Null. Danach wird der Maßstab angebracht. Platzieren Sie diesen so, dass Maßstabsanfang (0 cm) und Federende aufeinander liegen. Achten Sie darauf, dass Maßstab und Zugschnur senkrecht nach unten verlaufen.
2. Ziehen Sie den Kraftmesser so weit nach unten, bis die in der Tabelle stehende Federkraft erreicht ist, und tragen die Strecke in das entsprechende Tabellenfeld (weiche oder harte Feder) ein.
3. Wiederholen Sie den Vorgang nun mit der anderen Feder.
4. Vervollständigen Sie beide Tabellen und werten Sie die Ergebnisse über ein Diagramm ($F \Rightarrow x$ -Achse, $s \Rightarrow y$ -Achse) graphisch aus. Welchen Zusammenhang zwischen Federkraft F und Federdehnung s erkennen Sie? Stimmen die experimentell ermittelten Werte der Federkonstante mit den vorgegebenen Materialdaten (3 N/m bzw. 20 N/m) überein? Falls nein, welche Fehlerquellen sind zu identifizieren?

Weiche Feder, 3 N/m

F in N	s in cm	s in m	$\frac{F}{s}$ in N/m
0.2			
0.3			
0.4			
0.5			
0.6			

Harte Feder, 20 N/m

F in N	s in cm	s in m	$\frac{F}{s}$ in N/m
0			
0.2			
0.4			
0.6			
0.8			
1.0			
1.2			

Namen:

Tutor:

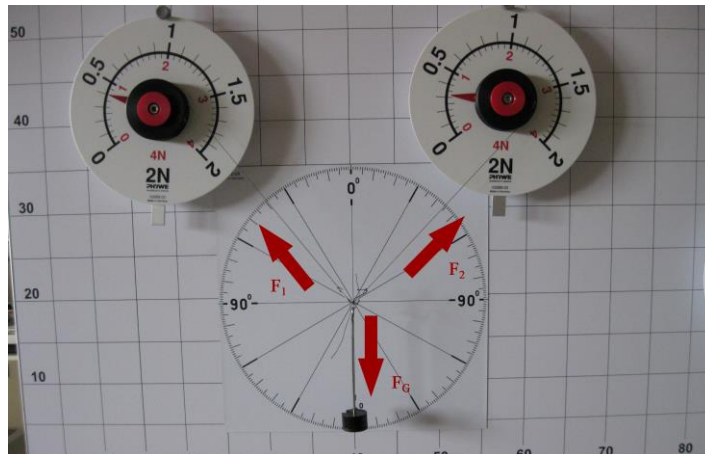
5. *Optional.* Anstelle des hier verwendeten Schemas zur Bestimmung der Federkonstanten könnten Sie diese alternativ, falls kein Kraftmesser zur Hand ist, auch über Gewichte und Ihrem Wissen über die Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ bestimmen. Beschreiben Sie kurz, wie Sie dies anstellen würden.

Platz für Ihr Protokoll

Zerlegung einer Kraft in zwei nicht parallele Kräfte (Kräfteparallelogramm)

Materialien

- 2 x Kraftmesser
- 1 x Gewichtsteller
- 1 x Angelschnur
- 1 x 50 g Gewicht
- 4 x 10 g Gewicht
- 1 x Maßstab
- 1 x Winkelscheibe



Versuchsaufbau und Durchführung

1. Setzen Sie den Kraftmesser auf die Tafel und justieren Sie den Zeiger auf Null.
2. Befestigen Sie zunächst am Haken des Gewichtstellers eine kleine Schlaufe aus Angelschnur. Bestücken Sie dann den Gewichtsteller mit 4 x 10 g und 1 x 50 g Gewichten und messen dann mittels Kraftmesser die Gewichtskraft F_G des Tellers.
3. Setzen Sie den zweiten Kraftmesser auf die Tafel und justieren sie ihn.
4. Haken Sie die Zugschnur des zweiten Kraftmessers in die Angelschnurschleife und verschieben Sie die beiden Kraftmesser, so dass die beiden Zugschnüre einen beliebigen Winkel einschließen.
5. Bringen Sie jetzt die Winkelscheibe an. Platzieren Sie diese so, dass sich ihr Mittelpunkt hinter dem Angriffspunkt (Schleife) der Kräfte befindet.
6. Lesen Sie nun an beiden Kraftmessern die dem Gewicht entgegenwirkenden (Seil-)Kräfte F_1 (linker Kraftmesser), F_2 (rechter Kraftmesser), sowie die von F_1 und F_2 mit der Senkrechten der Winkelscheibe eingeschlossenen Winkel α_1 und α_2 ab und tragen die Werte in die Tabelle ein.

7. Wiederholen Sie diesen Ablauf für unterschiedliche Kraftmesserpositionen und tragen auch hierfür F_1 , F_2 , α_1 und α_2 in die Tabelle ein.

F_1 in N	α_1 in Grad	F_2 in N	α_2 in 1°	$(F_1 + F_2)$ in N	$(\alpha_1 + \alpha_2)$ in N

8. Wie verhält sich die Summe der Beträge von $(F_1 + F_2)$ und die Summe ihres einschließenden Winkels zur zerlegenden Kraft F_G ? Konstruieren Sie ein Kräfteparallelogramm und zeigen Sie, dass die Resultierende der beiden Teilkräfte F_1 und F_2 mit F_G übereinstimmt.

Platz für Ihr Protokoll

Zweiseitiger Hebel

Materialien

- 1 x Kraftmesser
- 1 x Hebelachse
- 1 x Hebel
- 1 x Zeiger für Hebel
- 2 x Gewichtsteller
- 4 x 50 g Gewicht
- 10 x 10 g Gewicht
- 1 x Maßstab
- 1 x Winkelscheibe



Versuchsaufbau und Durchführung

1. Platzieren Sie zunächst die Hebelachse in der Mitte der Tafel und befestigen dann Hebel, sowie Hebelzeiger wie in der oberen Abbildung dargestellt. Ist der Hebel im Gleichgewicht, zeigt der Hebelzeiger senkrecht nach unten.

Namen:

Tutor:

2. Bestücken Sie die beiden Gewichtsteller mit Gewichten (z.B. 150 g und 130 g) und messen Sie jeweils die Gewichtskraft F_1 und F_2 . Notieren Sie sich die Ergebnisse.
3. Die beiden Gewichtsteller (inkl. Gewichte) sowie die Zugschnur des Kraftmessers sind nun an beliebigen Hebelpositionen einzuhaken. Verschieben Sie den Kraftmesser so, dass sich der Hebel im Gleichgewicht befindet und der Zeiger senkrecht nach unten zeigt (achten Sie darauf, dass die Zugschnur des Kraftmessers senkrecht zum Hebelarm verläuft). Tragen Sie die Marken, an denen die Gewichte bzw. der Kraftmesser eingehakt wurden, sowie deren Kräfte in die entsprechende Tabelle (*linke Hebelseite, rechte Hebelseite*) ein. Ferner ist das Drehmoment $M=l \cdot F$ für jede der angreifenden Kräfte, sowie deren Drehrichtung (über das Vektorprodukt $\vec{M}=\vec{l} \times \vec{F}$) zu bestimmen. Wie hängen Hebelarm, Kraft und Drehmoment zusammen? Wie muss sich bei gleichbleibendem Drehmoment die Kraft verändern, wenn sich der Hebelarm verkürzt?

linke Hebelseite

Teilversuch	Teilversuch	Marke Nr.	l in cm	F in N	$l \cdot F$ in N cm	Drehrichtung
1	Gewichte					
	Kraftmesser					
2	Gewichte					
	Kraftmesser					
3	Gewichte					
	Kraftmesser					

rechte Hebelseite

Teilversuch	Teilversuch	Marke Nr.	l in cm	F in N	$l \cdot F$ in N cm	Drehrichtung
1	Gewichte					
	Kraftmesser					
2	Gewichte					
	Kraftmesser					

3	Gewichte					
	Kraftmesser					

- Wiederholen Sie Schritt 3, verändern aber mindestens eine Position einer angreifenden Kraft (z.B. Kraftmesser von Position 8 rechts auf Position 10 rechts). Sie dürfen nun auch gerne den zweiten Kraftmesser als vierte angreifende Kraft hinzunehmen. Die Messwerte sind erneut in die entsprechende Tabelle einzutragen.
- Nachdem der Versuch 3 mal durchgeführt wurde, können Sie aus den beiden Tabellen die Summe für die rechts- bzw. linksdrehenden Kräfte bestimmen. Tragen Sie die Berechnungen in Tabelle *Drehmomentengleichgewicht* ein. Welche (Drehmoment-)Bedingung ist zu erfüllen, damit sich ein Gleichgewicht am zweiseitigen Hebel einstellt?

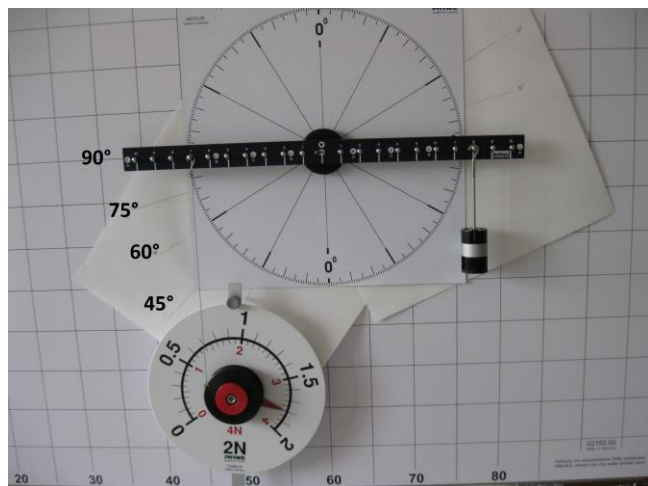
Drehmomentengleichgewicht

Teilversuch	Summe der Produkte $l \cdot F$ für die	
	Linksdrehende Kräfte	Rechtsdrehende Kräfte
1		
2		
3		

Drehmoment (optional)

Materialien

- 1 x Kraftmesser
- 1 x Hebelachse
- 1 x Hebel
- 1 x Zeiger für Hebel
- 1 x Gewichtsteller
- 4 x 50 g Gewicht
- 10 x 10 g Gewicht
- 1 x Maßstab
- 1 x Winkelscheibe



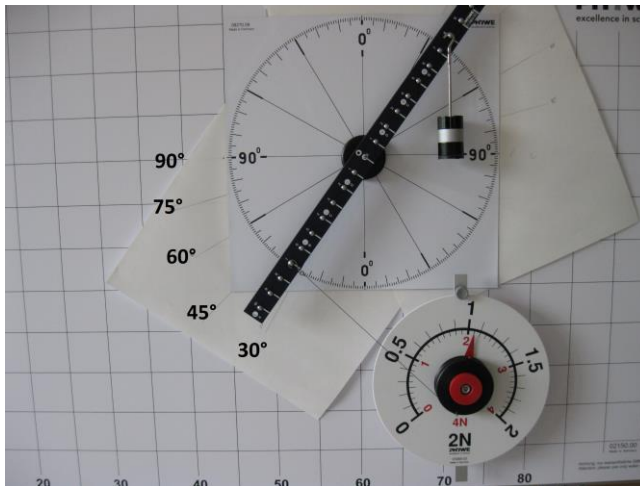
Drehmoment - Ausgangsposition

Namen:

Tutor:

Versuchsaufbau und Durchführung

1. Platzieren Sie zunächst die Winkelscheibe in der Mitte der Tafel und heften, wie in *Abb. Drehmoment - Ausgangsposition* zu sehen, ein DIN A2 Blatt darunter.
2. Zeichnen Sie (auf das DIN A2 - Blatt) mit Hilfe des Maßstabes Linien durch den Scheibenmittelpunkt, die mit der vertikalen Linie einen Winkel von $75^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ und 30° bilden.
3. Setzen Sie nun die Hebelachse auf den Mittelpunkt der Winkelscheibe und befestigen dann den Hebel so, dass er um seinen Schwerpunkt drehbar gelagert ist.
4. Bestücken Sie den Gewichtsteller mit Gewichten von 150 g und messen Sie die Gewichtskraft F_1 . Notieren Sie sich das Ergebnis.
5. Der Gewichtsteller kann jetzt, wie in *Abb. Drehmoment – Ausgangsposition* zu sehen ist, an Position 8 auf der rechten Seite des Hebels eingehakt werden. Haken Sie nun die Zugschnur an Position 7, der linken Seite des Hebels ein. Erhöhen Sie jetzt die am **linken Hebel angreifende Kraft F_2** bis sich der Hebel im Gleichgewicht befindet. Tragen Sie die beiden Kräfte F_1 , F_2 deren Hebelarme l_{F_1} und l_{F_2} sowie den Winkel α ein.



Drehmoment - Drehen des Hebels in 15° Schritten

6. Drehen Sie den Hebel - entsprechend Ihrer Markierungslinien - in 15° Schritten und führen Sie folgende Prozedur durch: Richten Sie den Kraftmesser erneut so aus, dass sich der Hebel im Gleichgewicht befindet. Achten Sie darauf, dass dabei die Zugschnur des Kraftmessers senkrecht zum Hebelarm verläuft. Was passiert wenn die Zugschnur (und somit auch die angreifende Kraft) nicht senkrecht zum Hebelarm verläuft? Notieren Sie sich F_2 . Markieren Sie auf den in Schritt 2 gezeichneten Linien die Position des Angriffspunktes von F_1 (Gewichtsteller).

Platz für Ihr Protokoll

7. Nachdem der Versuch für alle Winkel durchgeführt wurde, können alle Geräte bis auf die Winkelscheibe abgenommen werden. Bestimmen Sie die wirksamen Hebelarme l_{F_1} , indem Sie Lote von den markierten Angriffspunkten auf die waagrechte 90° Linie der Winkelscheibe fallen und die Endpunkte bestimmen. Bestimmen Sie zudem den Winkel γ der von Lastarm l_{F_1} und der Gewichtskraft F_1 eingeschlossen wird.
8. Vervollständigen Sie die Tabelle und interpretieren Sie die Ergebnisse. (z.B. bei welchem Winkel γ ist das Drehmoment $F_1 \cdot l_{F_1}$ am größten?)

α in Grad	F_1 in N	F_2 in N	l_{F_1} in cm	l_{F_2} in cm	$l_{F_1} \cdot F_1$ in N · cm	$l_{F_2} \cdot F_2$ in N · cm	γ in Grad
90							
75							
60							
45							
30							

Platz für Ihr Protokoll