

Wichtige Informationen zum Versuch

Allgemeine Hinweise:

Sie können in dieser Anleitung alle Überlegungen, Messwerte und Rechnungen festhalten.

Werden Sie gebeten, eine Vermutung anzustellen, geht es nicht um die „richtige“ Antwort; Sie sollen tatsächlich Ihre eigene Vorhersage notieren. Vermutungen werden in der Regel zu einem späteren Zeitpunkt in den Versuchsteilen noch einmal aufgegriffen und überprüft, sodass Ihnen am Ende auch die korrekte Antwort bekannt ist.

Symbole in der Anleitung:

	<u>Sicherheitshinweis:</u> Dieser ist sorgfältig zu lesen und <u>unbedingt zu befolgen</u> .
	Umbauanweisung
	Infobox
	Hilfekarte
	Kontrollkarte

I. Zur Erinnerung

Formulieren Sie eine physikalische Definition von Hebeln.

Tipp: Wie wird Kraft auf den Hebel ausgeübt und wie wird Kraft über den Hebel auf einen Gegenstand ausgeübt?

Worin unterscheiden sich einseitige von zweiseitigen Hebeln? Notieren Sie in Stichpunkten.

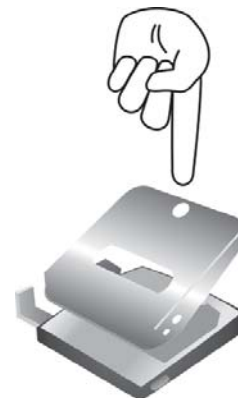
I. Zur Erinnerung

Zeichnen Sie in die beiden folgenden Bilder jeweils die Drehachse (bzw. eine Stirnseite der Drehachse) sowie Kraft- und Lastarm(e) ein. Beschriften Sie die Arme mit KA (für Kraftarm) und LA (für Lastarm).

Schere



Locher



Wie müssen Sie bei einer **Schere** den Lastarm im Verhältnis zum vorgegebenen Kraftarm wählen, damit das Schneiden möglichst einfach geht?

Formulieren Sie dazu eine „Je..., desto...“-Regel:

Wie müssen Sie bei einem Locher den Kraftarm im Verhältnis zum vorgegebenen Lastarm wählen, damit das Lochen möglichst einfach geht?

Formulieren Sie dazu eine „Je..., desto...“-Regel:

II. Chirurgische Instrumente erkunden

Auf den nächsten Karten (7 und 8) sind chirurgische Instrumente abgebildet.

Führen Sie folgende Schritte für die abgebildeten Instrumente durch:

1. Nehmen Sie das abgebildete Instrument zur Hand und erkunden Sie die Funktionsweise.
2. Zeichnen Sie in die Abbildung jeweils Drehachse (bzw. eine Stirnseite der Achse), Kraft- und Lastpunkt(e), Kraft- und Lastarm(e) ein.
Benennen Sie die Lastarme mit LA und die Kraftarme mit KA.

II. Chirurgische Instrumente erkunden

1. Erkunden des Instrumentes
2. Einzeichnen und Beschriften: Drehachse, Kraft- und Lastpunkt(e), Kraft- und Lastarm(e) [KA, LA]

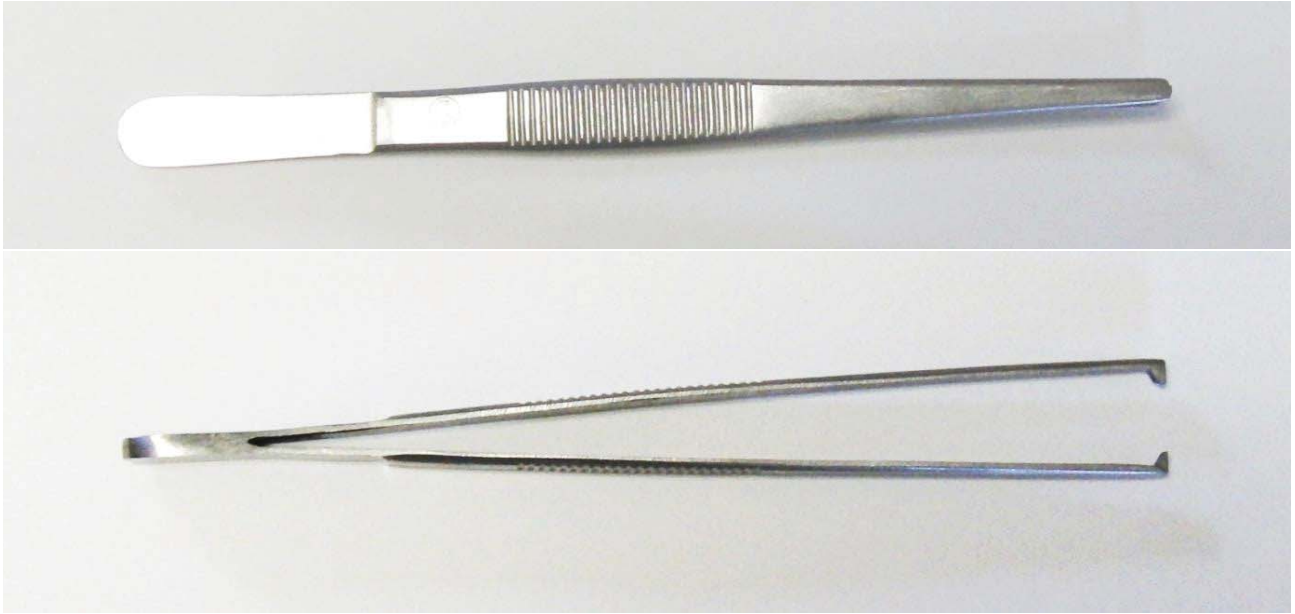


Abbildung 1: Chirurgische Pinzette

II. Chirurgische Instrumente erkunden

1. Erkunden des Instrumentes
2. Einzeichnen und Beschriften: Drehachse, Kraft- und Lastpunkt(e), Kraft- und Lastarm(e) [KA, LA]

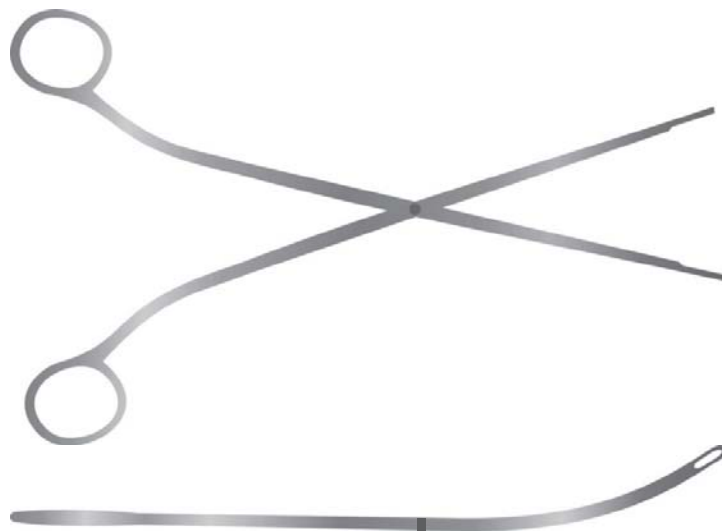


Abbildung 2: Gallensteinfasszange



Lassen Sie sich die Kontrollkarte 1 zur Überprüfung Ihrer Zeichnungen geben.

Weshalb sind die Hebelarme in Abbildung 3 richtig eingezeichnet? Halten Sie Ihre Begründung fest.

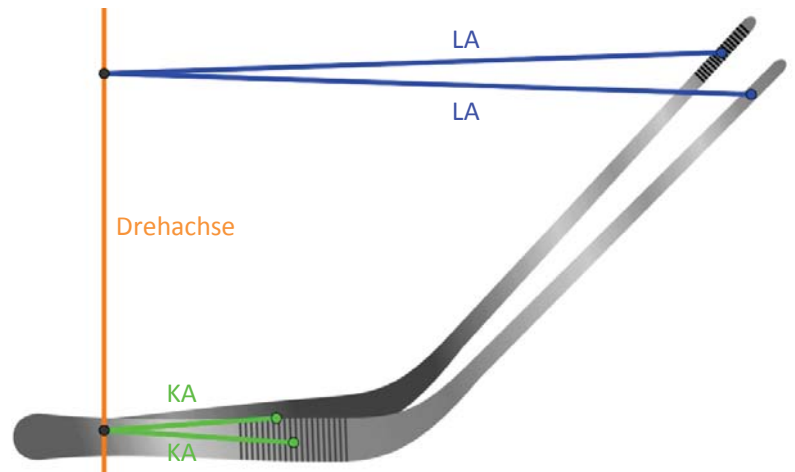
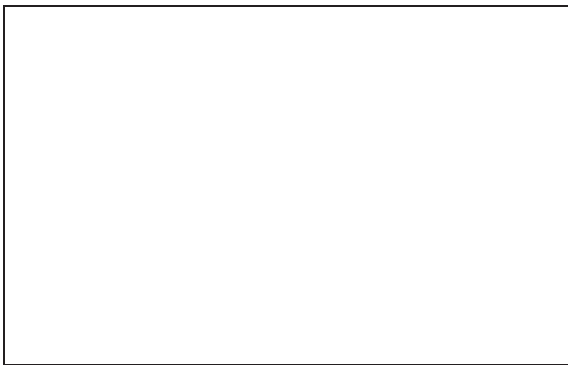


Abbildung 3: Kniebogenpinzette



Wenn Ihnen keine Begründung einfällt, lassen Sie sich Hilfekarte 1 geben.



Lassen Sie sich Kontrollkarte 2 zur Überprüfung Ihrer Überlegungen geben.



Vorsicht!

Einige Instrumente haben scharfe Schneiden!
Es besteht **Schnittgefahr!**

Führen Sie folgende Schritte für jedes bisher noch nicht betrachtete Instrument durch:

1. Überlegen Sie: Für welchen Zweck wurde das Instrument entworfen und wie funktioniert es?
2. Diskutieren Sie: Wie verläuft die Drehachse und wo liegen Kraft- und Lastarm(e)?
3. Sortieren Sie das Instrument in das zum Instrument passende Fach.

einseitiger Hebel	zweiseitiger Hebel	kein Hebel bzw. unsicher



Lassen Sie sich Kontrollkarte 3 zur Überprüfung Ihrer Zuordnung geben.

Stellen Sie sich vor, Sie müssen festes Gewebe schneiden.

Wie müsste das Verhältnis von Kraft- zu Lastarm eines Instrumentes gestaltet sein, damit die Verwendung möglichst leicht geht?

Kraftarm besonders lang
 besonders kurz

Lastarm besonders lang
 besonders kurz

Obwohl diese Regel auch Entwicklern und Herstellern von chirurgischen Instrumenten bekannt ist, wird bei manchen Instrumenten „auf den letzten Rest“ der Kraftersparnis verzichtet.

Nennen Sie medizinische oder praktische Gründe für die vorliegende, physikalisch nicht optimale, Bauform. (stichpunktartig)

Rippenschere zum Zerteilen von Rippen

Wundspreizer zum Öffnen bzw. Offenhalten einer OP-Wunde

Stellen Sie sich vor, Sie müssen tief im Körper durch einen kleinen Zugang arbeiten.

Welche medizinischen Gründe sprechen *dagegen*, ein Instrument mit einem physikalisch günstigen Kraft- zu Lastarmverhältnis zu realisieren?

Suchen Sie ein Instrument, das sich dafür eignet. Welche Mechanismen sorgen für die Schonung des umliegenden Gewebes?



Sind Sie sich unsicher? Dann lassen Sie sich Hilfekarte 2 geben.



Lassen Sie sich Kontrollkarte 4 zur Überprüfung Ihrer Überlegungen geben.

Verwendung des Knochenhebels

Nehmen Sie an, Sie wollen eine Speiche nach einer Fraktur reponieren, dazu wollen Sie das Elevatorium (Knochenheber) durch einen offenen Zugang verwenden.



Nutzen Sie das Elevatorium, um den herabgesenkten Speichenteil im Modell des Unterarmabschnitts anzuheben.



Falls Sie Schwierigkeiten haben, den Knochenheber anzusetzen, lassen Sie sich Hilfekarte 3 geben.

Diskutieren Sie: Wo liegen Drehachse, Kraft- und Lastarm?

III. Wie groß ist die Kraft, die ausgeübt wird?

Haben Sie zur Reposition des Knochens das Elevatorium als

einseitigen oder als zweiseitigen Hebel verwendet?

Wäre nicht die einfachste Variante gewesen, den Knochen einfach kurz vor der Bruchstelle (mit den Fingern) anzuheben und in seine Position zu bringen?

Versuchen Sie das!

Vermutlichen bemerken Sie, dass die Reposition mit einem Elevatorium einfacher (und auch kontrollierter) geht. Je länger Sie dabei den Kraftarm wählen, umso leichter lässt sich der Knochen reponieren.

In den folgenden Versuchen sollen Sie die aufzuwendenden Kräfte für verschiedene Längen des Kraftarms vergleichen.

Wie groß war die Kraft, die direkt auf den „Knochen“ ausgeübt werden musste?

Um obige Frage beantworten zu können, heben Sie den „Knochen“ direkt mit dem Kraftmesser senkrecht nach oben in die richtige Position. Am Kraftmesser kann dann der Betrag der Kraft in Newton abgelesen werden.



Verwenden Sie immer zuerst den Kraftmesser mit dem größten Messbereich.

Dies vermeidet, dass Sie die Feder eines Kraftmessers mit zu kleinem Messbereich überdehnen und den Kraftmesser dadurch zerstören.

Geben Sie den Betrag der Kraft F_L in Newton an.

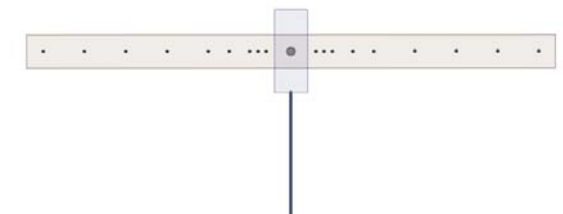


Falls Sie Schwierigkeiten haben, den Kraftmesser anzusetzen, lassen Sie sich die Hilfekarte 4 geben.

Wie groß war die Kraft, die Sie auf das Elevatorium ausüben mussten?

Die Kraftmessung direkt am Elevatorium gestaltet sich schwierig, daher ist es hilfreich, das reale Szenario in ein vereinfachtes Modell zu überführen und anhand des Modells kontrollierte Messungen vorzunehmen.

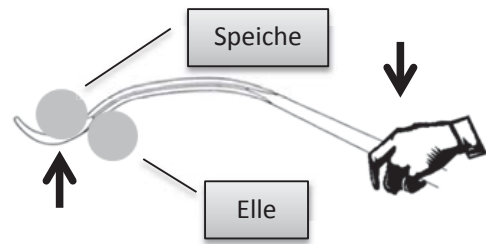
Für die Modellierung von Hebeln eignet sich eine **Balkenwaage** besonders gut, da sowohl einseitige als auch zweiseitige Hebel simuliert werden können.



Überlegen Sie, wie Sie die Verwendung des Elevatoriums an der Balkenwaage modellieren könnten.

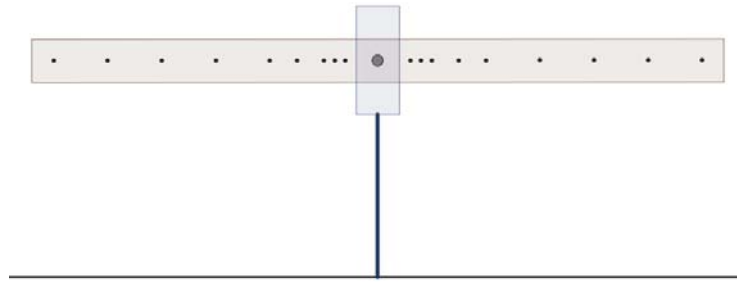
Diskutieren Sie: Wo müssten im Bild der Balkenwaage Drehpunkt, Kraft- und Lastarm liegen, damit die Balkenwaage der Verwendung des Elevatorium entspricht?

Im Folgenden wird das Elevatorium **als zweiseitiger Hebel** angenommen. Haben Sie es so verwendet?



Übertragen Sie Drehpunkt, Kraft- und Lastarm für die Verwendung des Elevatoriums als zweiseitigen Hebel maßstabsgetreu in die Abbildung der Balkenwaage.

Messen Sie die Länge des Last- und Kraftarms und tragen Sie diese unten ein.



Kraftarm r_K in m		Lastarm r_L in m	
---------------------	--	--------------------	--

Legen Sie diese Karte 17 separat ab.

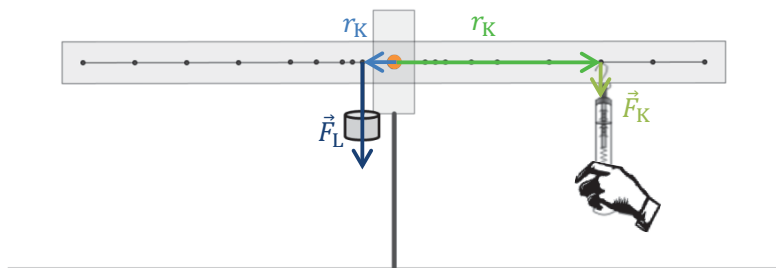
Im Modell der Balkenwaage soll jetzt die Kraft, die zum direkten Anheben des Knochens benötigt wurde - also der Größe der Last entspricht - durch ein Massestück ausgeübt werden.

Suchen Sie das Massestück, das auf den Kraftmesser näherungsweise die gleiche Kraft ausübt, wie Sie zum direkten Anheben des Knochens benötigt haben (vgl. Karte 15).



Diskutieren Sie:

- Wo müssen Sie das Massestück hinhängen, damit Sie die das Anheben des „Knochens“ mit dem Elevatorium angemessen auf das Modell der Balkenwaage übertragen haben?
- Warum repräsentiert ein hängendes Massestück die Kraft, die zum Anheben des Knochens benötigt wurde?

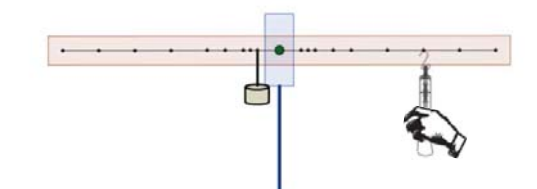


Legen Sie diese Karte 19 separat ab, da Sie auf den folgenden Karten gebeten werden, die hier aufgeführte Tabelle zu vervollständigen.

Kraft	Kraftarm	Produkt	Last	Lastarm	Produkt
F_K [N]	r_K [m]	$F_K \cdot r_K$ [Nm]	F_L [N]	r_L [m]	$F_L \cdot r_L$ [Nm]



Hängen Sie das von Ihnen gewählte Massestück und den Kraftmesser entsprechend der von Ihnen auf Karte 17 notierten Werte ein.



Ziehen Sie senkrecht am Kraftmesser, bis sich die Balkenwaage in der Waagerechten befindet. (Sie haben jetzt den „Knochen“ in seine richtige Position gebracht.)

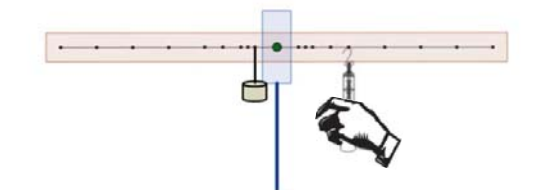
Tragen Sie den Betrag der Kraft F_K in die Tabelle auf Karte 19 ein und berechnen Sie das Produkt aus Kraft und Kraftarm sowie aus Last und Lastarm.



Falls Sie Schwierigkeiten haben, den Kraftmesser anzusetzen, lassen Sie sich die Hilfekarte 5 geben.



Hängen Sie nun den Kraftmesser so ein, dass der Kraftarm halbiert ist.



Ziehen Sie senkrecht am Kraftmesser, bis sich die Wippe in der Waagerechten befindet. Lesen Sie anschließend den Betrag der Kraft F_K ab.

Tragen Sie alle notwendigen Werte in die Tabelle auf Karte 19 ein.

Stellen Sie eine Vermutung an, welchen Betrag die Kraft F_K aufweisen muss, wenn die Länge des Kraftarms gegenüber der ursprünglichen Lage des Kraftpunktes verdoppelt wird und die Balkenwaage wieder in die Waagerechten gebracht werden soll.

Überprüfen Sie Ihre Vermutung, in dem Sie die den Versuch durchführen, die Werte in der Tabelle auf Karte 19 eintragen und die Produkte vergleichen.

IV. Hebelgesetz



Befindet sich die Balkenwaage (bzw. irgendein Hebel) in Ruhe, führt also keine Drehbewegung aus, dann gilt das Hebelgesetz:

$$\text{Kraftarm} \cdot \text{Kraft} = \text{Lastarm} \cdot \text{Last}$$

bzw.

$$r_K \cdot F_K = r_L \cdot F_L$$

Prüfen Sie, ob die aus Ihren Messwerten auf Karte 19 ermittelten Produkte dieser Gesetzmäßigkeit zumindest näherungsweise entsprechen.

Achtung! Das Gesetz gilt nur, wenn die die Kräfte (von der Last bzw. einer Person oder einem Gegenstand ausgeübt) senkrecht auf den Hebel wirken (vgl. Karten 26 - 29).

Gedankenexperiment zur Balkenwaage: Ein Massestück hängt in einer Bohrung, die 0,075 m von der Drehachse entfernt ist ($r_L = 0,075 \text{ m}$) und übt eine Kraft $F_L = 4 \text{ N}$ auf die Wippe aus. In welcher Entfernung müssten Sie den Kraftmesser einhängen, um die Wippe mit der Kraft $F_K = 3 \text{ N}$ in der Waagrechten zu halten?

$r_K =$

Nehmen Sie an, ein Massestück hängt in der Bohrung, die 0,15 m von der Drehachse entfernt ist ($r_L = 0,15 \text{ m}$) und übt eine Kraft $F_L = 6 \text{ N}$ auf die Wippe aus.

Wie groß ist die Kraft F_K , die 0,05 m von der Drehachse entfernt auf die Wippe ausgeübt werden muss ($r_K = 0,05 \text{ m}$), damit diese in der Waagerechten verbleibt?



Lassen Sie sich die Kontrollkarte 5 zur Überprüfung der Ergebnisse geben.

V. Hebel am menschlichen Körper

Der menschliche Unterarm kann als Hebel verwendet werden.

Um welche Art von Hebel handelt es sich?

- Einseitiger Hebel Zweiseitiger Hebel

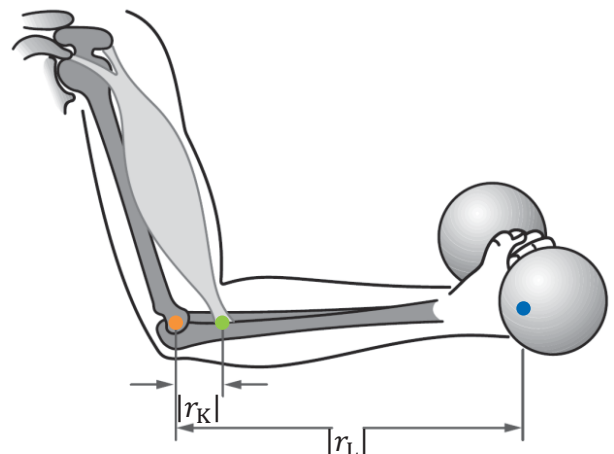
Die Drehachse verläuft dabei durch das Ellbogengelenk (Articulatio cubiti). Der Bizeps, der die zum Anheben des Unterarms nötige Kraft durch Kontraktion der Muskelfasern ausübt, übt diese etwa $r_K = 0,03 \text{ m}$ vom Ellbogengelenk entfernt auf die Speiche aus.

Die Länge des Lastarms beträgt im Mittel etwa $r_L = 0,3 \text{ m}$.

Muss F_K größer oder kleiner als F_L sein?

- größer kleiner

Um welchen Faktor muss F_K zum Halten der Hantel größer / kleiner als F_L sein?

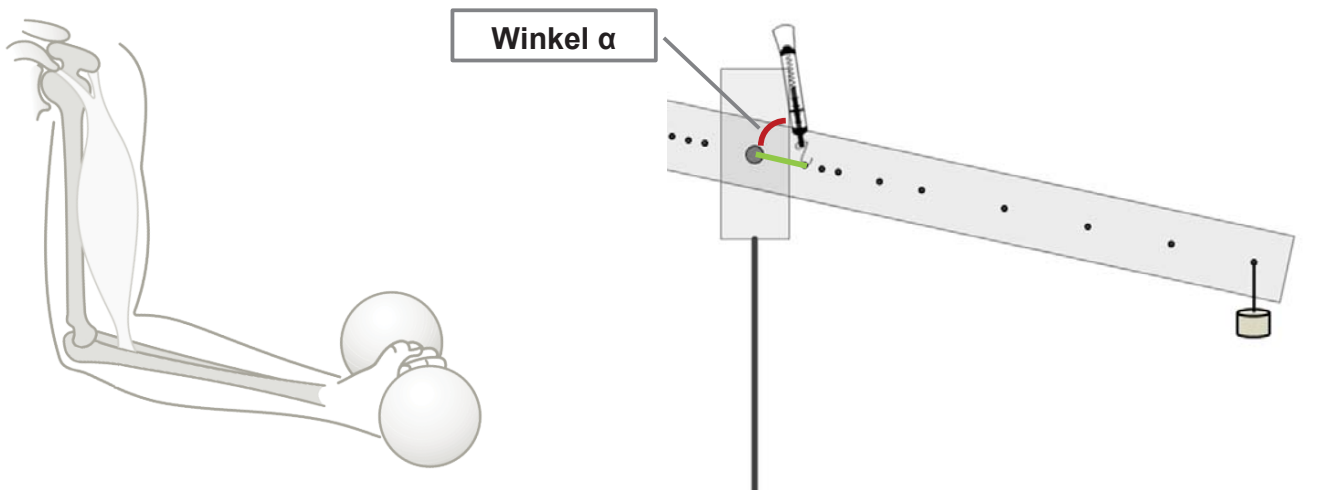


Übertragen Sie die Situation sachgerecht auf das Modell der Balkenwaage und überprüfen Sie Ihre Antwort von der letzten Frage experimentell für eine Last von $F_L = 0,4 \text{ N}$.

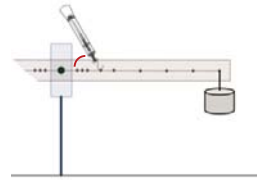
Notieren Sie, wo am menschlichen Körper weitere Hebel zu finden sind. Nehmen Sie sich dafür etwa 3 min Zeit.

VI. Anderer Winkel \rightarrow Anderer Betrag der Kraft?

Nur selten übt der Bizeps Kraft senkrecht auf den Unterarm aus. Die folgende Abbildung stellt den Übertrag des Hebels am menschlichen Arm auf das Modell der Balkenwaage dar. **Diskutieren Sie, welche reale Entsprechung die Variation des Winkels α hat, den der Kraftmesser mit dem Balken einschließt.**



Notieren Sie den Betrag der Kraft, die Sie ausüben müssen, damit die Balkenwaage für die unten genannten Winkel in der Waagerechten gehalten werden kann.



eingestellter Winkel α in $^\circ$	30	50	70	90
abgelesener Betrag der Kraft \vec{F}_K in N				

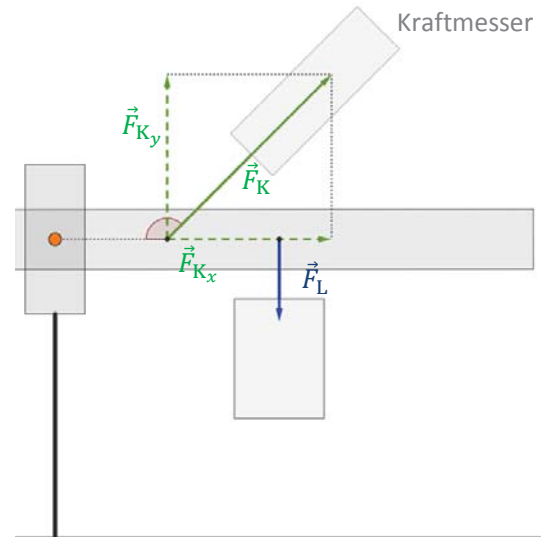
Formulieren Sie eine „Je..., desto...“-Regel zum Zusammenhang zwischen eingestelltem Winkel und abgelesener Kraft.

Bringen Sie die Wippe durch Ziehen am Kraftmesser in die Waagerechte. Vergrößern Sie jetzt den Winkel α von 90° ausgehend und messen Sie den Betrag der Kraft.

eingestellter Winkel α in $^\circ$	90	110	130	150
abgelesener Betrag der Kraft \vec{F}_K in N				

Gilt die von Ihnen auf Karte 27 aufgestellte Regel immer noch?
 Falls nicht, formulieren Sie erneut eine Regel für Zusammenhang zwischen eingestelltem Winkel und abgelesener Kraft.

In der Grafik sind die durch die Last auf die Wippe ausgeübte Kraft \vec{F}_L (blau) und die durch das Ziehen am Kraftmesser auf die Wippe ausgeübte Kraft \vec{F}_K (grün) als Vektorpfeile eingezeichnet. Die beiden Komponenten \vec{F}_{K_x} und \vec{F}_{K_y} (grün gestrichelt) der Kraft \vec{F}_K sind ebenfalls eingezeichnet.

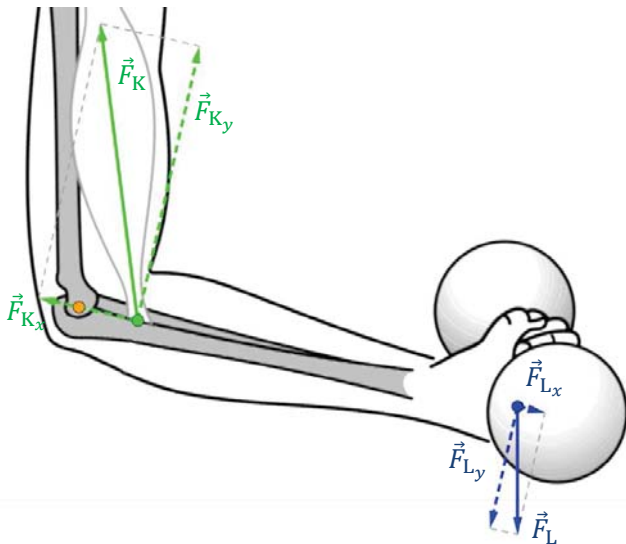


Welche der Komponenten wirkt der Kraft \vec{F}_L entgegen? \vec{F}_{K_x} \vec{F}_{K_y}

Diskutieren Sie:

Ist es in der Realität am leichtesten, einen Gegenstand zu halten, wenn der Winkel α zwischen Bizeps und Speiche 90° beträgt?

Wird beim Halten im 90° Winkel nur der Bizeps beansprucht?



In der linken Grafik sind \vec{F}_K und \vec{F}_L jeweils in Komponenten zerlegt. Eine Komponente ist parallel und eine ist senkrecht zum Hebelarm. **Angenommen der Arm befindet sich in Ruhe**, dann gilt nach dem Hebelgesetz:

$$r_K \cdot F_{K_y} = r_L \cdot F_{L_y}$$

Die Komponenten \vec{F}_{K_x} und \vec{F}_{L_x} gleichen sich nicht aus und werden somit auf den Oberarm ausgeübt. Die Schultermuskulatur muss dafür sorgen, den Ausgleich zu schaffen.

Diskutieren Sie:

Was würde mit der Balkenwaage passieren, wenn Sie bei einem Winkel von 0° oder 180° sehr fest am Kraftmesser ziehen?

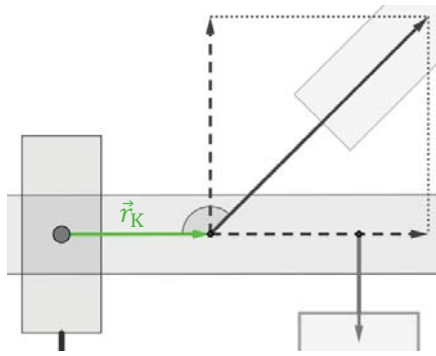


Lassen Sie sich Kontrollkarte 6 zur Überprüfung Ihrer Überlegungen geben.

VII. Drehmoment

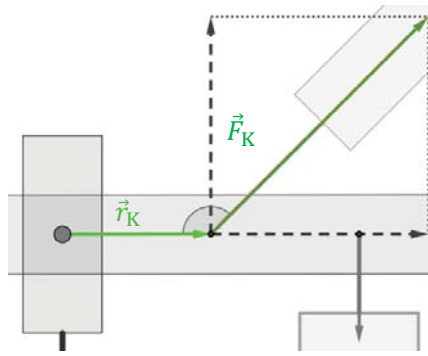
Für die Änderung einer Drehbewegung (z. B. aus der Ruhe in Drehbewegung versetzen oder die Geschwindigkeit der Drehung verändern) muss ein Drehmoment \vec{M} auf die Drehachse wirken.

Das Vektorprodukt aus Hebelarm \vec{r}_K ...



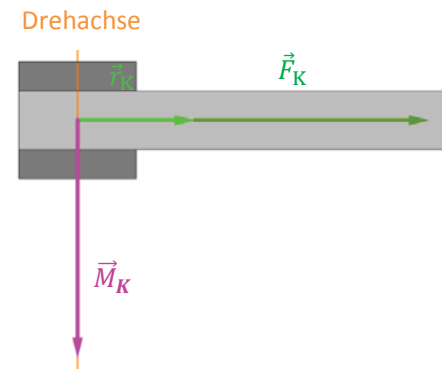
Seitenansicht

...und der Kraft \vec{F}_K wird...



Seitenansicht

...Drehmoment \vec{M}_K genannt.



Vogelperspektive

VII. Drehmoment

In welcher der unteren Grafiken ist das Drehmoment \vec{M}_K am größten?

<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> C



Das Drehmoment \vec{M} wird vektoriell über das Kreuzprodukt (Vektorprodukt) berechnet.

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Liegen \vec{r} und \vec{F} in einer zur Drehachse senkrechten Ebene, kann der Betrag von \vec{M} über den Winkel α zwischen Kraft \vec{F} und Kraftarm \vec{r} berechnet werden.

$$|\vec{M}| = |\vec{r}| \cdot |\vec{F}| \cdot \sin \alpha$$

Der Betrag eines Drehmoments $|\vec{M}|$ wird in Nm (Newtonmeter) angegeben.

Bei welchem Winkel α ist das Drehmoment \vec{M} maximal?

Überprüfen Sie Ihre Antwort auf Karte 32.

Angaben zu Drehmomenten sind häufig bei Verschraubungen zu finden (bspw. Autoreifen, Zahnimplantaten oder Verschraubungen von Frakturen).

Um eine Schraube einzudrehen, muss ein Drehmoment \vec{M}_K auf die Schraube wirken. Diesem wirkt durch Reibungskräfte eine Vielzahl von Drehmomenten

$$\sum_i^n \vec{M}_{L_i} = \vec{M}_{L_1} + \vec{M}_{L_2} + \dots + \vec{M}_{L_n} = \vec{M}_L$$

entgegen.

Wann wird die Schraube nicht eingedreht?

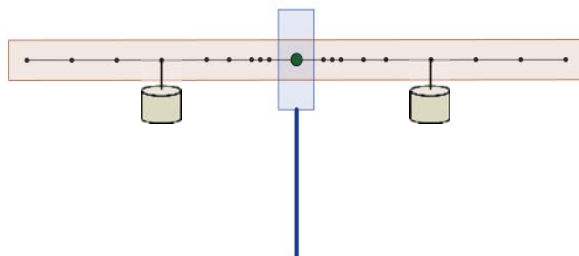
<input type="checkbox"/> $\vec{M}_K < \vec{M}_L$	<input type="checkbox"/> $\vec{M}_K = \vec{M}_L$	<input type="checkbox"/> $\vec{M}_K > \vec{M}_L$
--	--	--

Wann wird die Schraube eingedreht?

<input type="checkbox"/> $\vec{M}_K < \vec{M}_L$	<input type="checkbox"/> $\vec{M}_K = \vec{M}_L$	<input type="checkbox"/> $\vec{M}_K > \vec{M}_L$
--	--	--

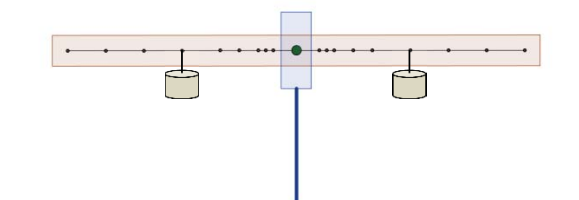
Zwei Studierende haben zwei gleiche Massestücke im gleichen Abstand zur Drehachse an die Wippe gehängt. Die Wippe befindet sich in der Waagrechten in Ruhe. Die Studierenden sollen die Frage beantworten, ob ein Drehmoment wirkt.

...also M ist ja r mal F , weil die Massestücke senkrecht hängen. Damit wirken zwei Drehmomente.



...ja aber die Wippe bewegt sich nicht, also wird die Drehbewegung nicht verändert. Das Drehmoment ist gleich Null.

Welche der Aussagen ist richtig? Begründen Sie Ihre Überlegungen.



Haben Sie für Ihre Entscheidung und Begründung auf Karte 35 folgende Überlegungen bedacht?

Würde die Wippe eine Drehbewegung ausführen, wenn das linke Massestück ausgehängt wäre?

- Nein
 Ja, im Uhrzeigersinn
 Ja, gegen den Uhrzeigersinn

Würde die Wippe eine Drehbewegung ausführen, wenn anstelle des linken das rechte Massestück ausgehängt wäre?

- Nein
 Ja, im Uhrzeigersinn
 Ja, gegen den Uhrzeigersinn



Hängen Sie drei Massestücke ($F_{L_i} = 1 \text{ N}$) so ein, dass sich die Wippe in der Waagerechten in Ruhe befindet. Errechnen Sie die jeweiligen Drehmomente, die durch die angehängten Massestücke auf die Drehachse wirken.

$ M_1 =$	=	Nm
$ M_2 =$	=	Nm
$ M_3 =$	=	Nm

Überlegen Sie, welche Drehmomente die Wippenarme im Uhrzeigersinn beschleunigen und errechnen Sie das Gesamtdrehmoment:

$$|M_{\text{Gesamt}}| = |M_{\text{im Uhrzeigersinn}}| - |M_{\text{gegen Uhrzeigersinn}}|$$

(ist $|M_{\text{Gesamt}}| < 0$ wird die Drehbewegung gegen den Uhrzeigersinn beschleunigt)

$ M_{\text{Gesamt}} =$

Denken Sie noch einmal über Ihre Entscheidung und Begründung auf Karte 35 nach.



Wirkt ein Drehmoment $\vec{M} \neq 0$ auf einen nicht drehbar gelagerten Körper, wird dieser verdreht (tordiert). Bei zu starker Verdrehung kann dies einen Bruch zur Folge haben.

In der Röntgenaufnahme (rechts) ist ein solcher Torsionsbruch (auch Spiralfaktur genannt) der Tibia (Schienbein) abgebildet. Die Tibia bricht durchschnittlich bei einem Drehmoment von 64 Nm.

Eine solche Spiralfaktur resultiert häufig aus Skiunfällen.



VIII. Alles klar?

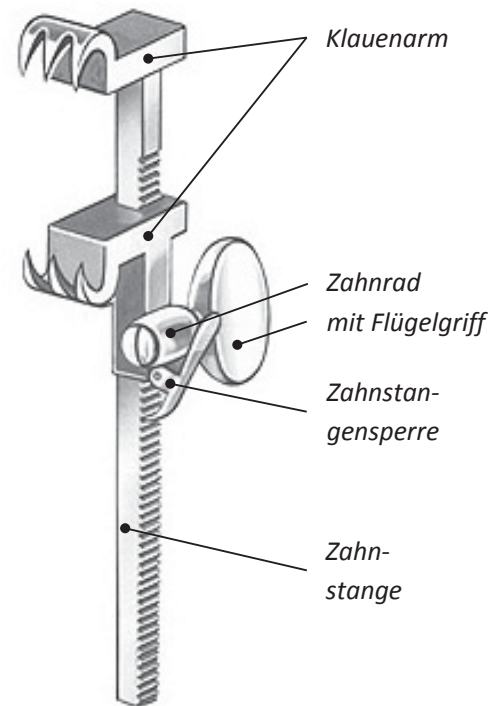
Nehmen Sie den Rippenkontraktor zur Hand.

Welche Bauteile des Kontraktors sind Hebel?

Drücken Sie nur mit einer Fingerspitze auf den Flügelgriff. Wo müssen Sie drücken, damit es besonders einfach geht, die Klauenarme zusammenzubewegen?

- In der Mitte An den äußeren Enden

Wo wirkt bei der Verwendung des Kontraktors ein Drehmoment?



Abschluss

Herzlichen Glückwunsch, Sie haben den Versuch „Mechanik - Hebel“ erfolgreich bearbeitet.

Heften Sie Ihre „Schmierzettel“ und Ihre Vorbereitungsdokumentation hinten an.
Geben Sie dann alle Unterlagen bei Ihrer Betreuerin/Ihrem Betreuer ab.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!