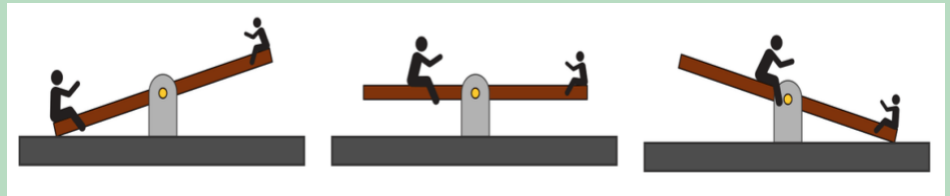


Hebel



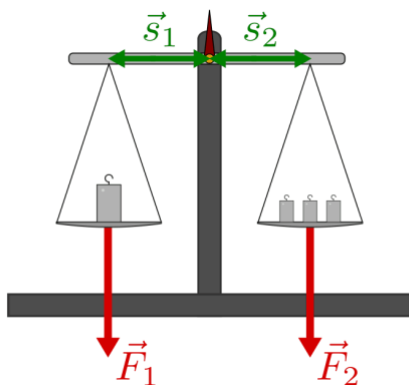
Ein Hebel ist ein starrer, meist stabförmiger Körper, der sich um eine feste Achse drehen lässt (z.B. eine Wippe). Die Wippe als zweiseitiger Hebel: Nicht nur die wirkende Kraft, auch der Abstand zur Drehachse ist von Bedeutung.

Die Stelle, an der eine Kraft \vec{F} am Hebel wirkt, heisst Angriffspunkt der Kraft, der Abstand ihrer Wirkungslinie zur Drehachse wird Kraftarm \vec{s} genannt.

Wirken auf einen Hebel zwei Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 , so ist der Hebel dann im Gleichgewicht, wenn das Produkt aus der ersten Kraft \vec{F}_1 mit ihrem Kraftarm \vec{s}_1 gleich dem Produkt aus zweiter Kraft \vec{F}_2 mit ihrem Kraftarm \vec{s}_2 ist: $\vec{s}_1 \times \vec{F}_1 = \vec{s}_2 \times \vec{F}_2$ oder $\vec{a}_1 \cdot \vec{F}_1 = \vec{a}_2 \cdot \vec{F}_2$

Die obige Formel, die formal eine Gleichheit zweier Drehmomente beschreibt, wird auch als Hebelgesetz bezeichnet. Es gilt für alle Hebelformen gleichermassen.

Zweiseitige Hebel



An einem zweiseitigen Hebel liegen die Angriffspunkte der Kräfte, von der Drehachse aus betrachtet, auf verschiedenen Seiten des Hebels.

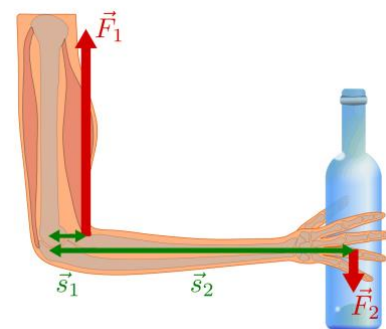
Der Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Drehmoment $\vec{s}_1 \times \vec{F}_1$ auf der linken Seite des Hebels dem Drehmoment $\vec{s}_2 \times \vec{F}_2$ auf der rechten Seite des Hebels entspricht. Ist das wirkende Drehmoment auf der einen Seite grösser als auf der anderen, so führt die Hebelstange eine entsprechende Rotation um die Drehachse aus.

Die Balkenwaage als zweiseitiger Hebel.

Einseitige Hebel

An einem einseitigen Hebel liegt die Drehachse am Rand der Hebelstange, so dass die Angriffspunkte aller wirkenden Kräfte, von der Drehachse aus betrachtet, auf der gleichen Seite des Hebels liegen.

Damit an einem einseitigen Hebel ein Gleichgewicht herrschen kann, muss wiederum die Summe der linksdrehenden Drehmomente gleich der Summe der rechtsdrehenden Drehmomente entsprechen. Dazu müssen die auf einen einseitigen Hebel einwirkenden Kräfte in entgegengesetzte Richtungen zeigen.



Der Unterarm als einseitiger Hebel.

Ein markantes Beispiel für einen einseitigen Hebel ist der menschliche Unterarm. Der Ellenbogen wirkt als Drehachse, die Gewichtskraft des zu tragenden Gegenstands wirkt nach unten, die Muskelkraft des Biceps nach oben. Da der Biceps-Muskel um ein Vielfaches näher an der Drehachse am Unterarm angreift als das zu tragende Gewicht, muss die dort wirkende Kraft um ein entsprechendes Vielfaches grösser sein.

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung} \quad \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = \text{N (Newton)}$$

Versuche zum Anbeissen



vorne

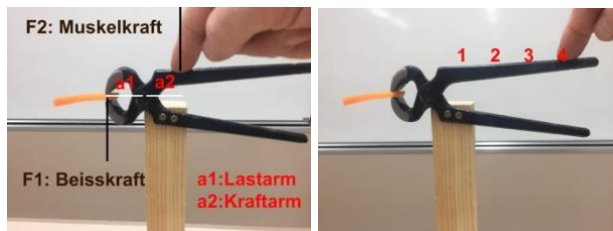


hinten

1. Im übertragenen Sinne könnte man sagen, die **Schere** beisst sich durch den Karton. Wo gelingt ihr dies besser, vorne oder hinten? Probiere es aus und kreuze an:

Bei der **Beisszange** bleiben die Zähne immer an der gleichen Stelle. Veränderlich ist die Stelle wo ich die Muskelkraft ansetze.

2. Mit der Zunge beissen wir eine Karotte durch. Setze den Druck bei den Lochpositionen an und teste selber. Welche Aussagen treffen zu:



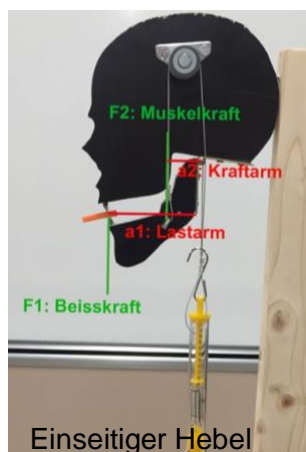
- Vorne geht es leichter.
- Weiter weg vom Drehpunkt braucht es weniger Druck.
- Hinten geht es leichter.
- Bei der vordersten Lochposition entspricht die Beisskraft der Muskelkraft.

3. Nun messen wir die Kräfte mit der Federwaage:



Feststellung:

	Kraftarm Länge in cm	Muskelkraft in N	Kraftarm x Muskelkraft in Ncm
Position 1			
Position 2			
Position 3			
Position 4			



4. Dieses Schädelmodell hat Schneidezähne. Miss mit der Federwaage die notwendige Muskelkraft, um eine Karotte durchzubeissen. Miss zudem die Distanzen a1 und a2.

F2: Muskelkraft in N	
a1: Lastarm in cm	
a2: Kraftarm in cm	

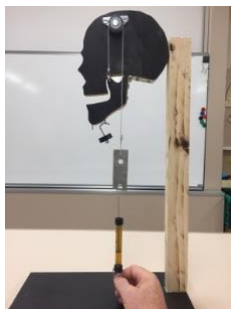
Berechne die Beisskraft F1, wenn gilt:

$$F1 \times a1 = F2 \times a2$$

5. Bei diesem Modell setzt der Kaumuskel am Unterkieferfortsatz an. In Wirklichkeit sind mehrere verschiedene Muskeln beim Beissen verantwortlich. Wir können die unterschiedlichen Kräfte bei Schneide- und Backenzähnen messen und berechnen.



F1: Beisskraft = Gewichtskraft (100g)	1N
F2: Muskelkraft in N	
a1: Lastarm der Schneidezähne in cm	
a2: Kraftarm in cm	



F1: Beisskraft = Gewichtskraft (100g)	1N
F2: Muskelkraft in N	
a1: Lastarm der Backenzähne in cm	
a2: Kraftarm in cm	

6. Der Krokodils-Schädel entspricht einem Erwachsenen Exemplar.



In diesem Modell lassen sich die Beisskräfte an verschiedenen Stellen im Kiefer messen: Hänge ein Gewicht bei a2: 30cm ein. Der Kaumuskel greift bei a1: 10cm an. Wie viele Gewichte sind notwendig, um den Kiefer ins Gleichgewicht zu bringen? Überprüfe auch andere Stellen...

	Lastarm x Beisskraft =	Kraftarm x Muskelkraft =
20cm		
30cm		
40cm		
50cm		

Beisskräfte von verschiedenen Tieren


1kg Gewicht entspricht 10N Gewichtskraft

Art	Beisskraft
Ur-Hai <i>Carcharodon megalodon</i>	182'000 N
Tyrannosaurus Rex	31'000 N
Weisser Hai	18'000 N
Alligator	13'000 N
Nilpferd	9'000 N
Afrikanischer Löwe	5'600 N
Jaguar	3'400 N
Tiger	1'525 N
Hund	280 N - 1200N
Mensch	800 N
Gorilla	780 N
Schwarzer Piranha	320 N
Wildkatze	56 N

Weitere Berechnungsaufgaben

Aufgabe

Gut gekaut!

Schwierigkeitsgrad: schwere Aufgabe 

Hinweis: Die Idee zu dieser Aufgabe stammt von Thomas Schulze

Der Unterkieferknochen ist im Kiefergelenk (1) drehbar gelagert. Für das S des Mundes zieht sich der eingezeichnete Muskel zusammen.

- Mit welcher Kraft muss sich der Muskel zusammenziehen, wenn Du ein Stück Brot mit den Schneidezähnen zerbeißen willst und dafür an den Schneidezähnen eine Kraft von 10 N erforderlich ist. (Messe die Kraftarme in der Zeichnung!)
- Wo kaut man einen schwer zu zerbeißenden Gegenstand am kraftsparendsten im Mund?

- 10.23 Am **Unterkiefer** (Abb. 77) ist die Kaukraft $F_1 = 800$ N wirksam. Berechnen Sie
- die **Kraft** an den Schneidezähnen F_2 ,
 - die **Kraft** an den Molaren F_3 .

- 10.24 Auf die Schenkel einer Blechschere wirkt eine **Kraft** von 180 N, der Widerstand an den Schneidebacken beträgt 900 N, und der Lastarm ist 20 mm lang. In welchem Abstand vom Drehpunkt greift die **Kraft** an?

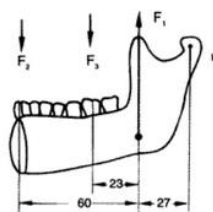
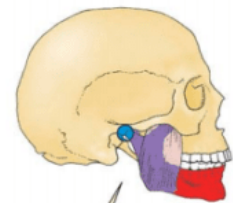
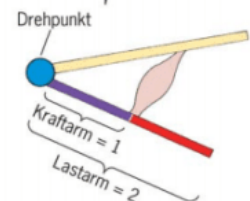


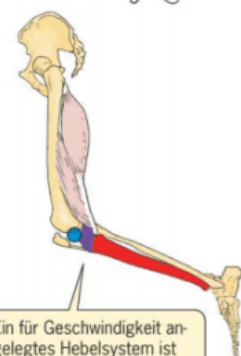
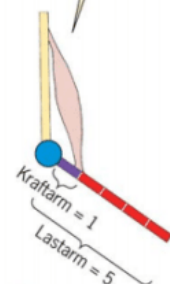
Abb. 77

Ein Hebelsystem für **Kraftentwicklung**
Lastarm : Kraftarm = 2 : 1, wodurch über kurze Entfernungen hohe Kräfte entwickelt werden können.



Ein für Kraftentwicklung angelegtes Hebelsystem ist der menschliche Kiefer. Der Kraftarm ist im Vergleich zum Lastarm relativ lang.

Ein Hebelsystem für die **Entwicklung von Geschwindigkeit**
Lastarm : Kraftarm = 5 : 1, wodurch geringe Lasten rasch große Strecken bewegt werden können.



Ein für Geschwindigkeit angelegtes Hebelsystem ist das menschliche Bein. Der Kraftarm ist im Vergleich zum Lastarm relativ kurz.

Quellen:

<https://bewegungsapparatcyrilleon.wordpress.com/6-5-die-muskulatur/>
<https://www.leifiphysik.de/mechanik/einfache-maschinen/aufgabe/gut-gekau>
<https://books.google.ch/books?id=0aVz2GHxq4QC&pg=PT137&pg=PT137&dq=berechnung+kraft+unterkiefer&source=bl&ots=RC82L6IAi&sig=ACfU3U3n7QgePMrbBZs52yWZ4kZnKnhNZQ&hl=de&sa=X&ved=2ahUKFwiC9-mZzejAbhXO-6QKHZXRciMQ6AEwBXoECACQAQ#v=onepage&q=berechnung%20kraft%20unterkiefer&f=false>
https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/phy_med_mech/kauap_ue.pdf