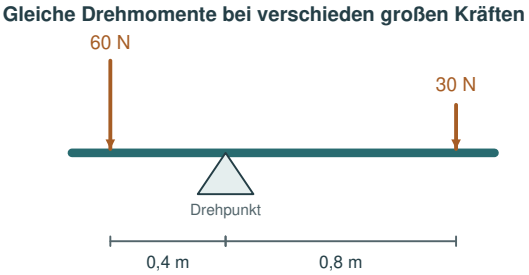
01 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Am Hebel zählt auch der Abstand

Eine Wippe kann mit verschieden großen Lasten im Gleichgewicht stehen. Dafür müssen ihre Abstände zum Drehpunkt passen. Kraft und Abstand wirken bei einer Drehung gemeinsam.



Idealer waagrechter Hebel: Die gezeichneten Abstände stehen im Verhältnis 1 : 2. Beide Drehmomente betragen 24 N · m; das Eigengewicht ist vereinfacht.

1 · Ein Hebel dreht sich um einen Punkt

Ein **Hebel** ist ein Körper, der sich um einen Drehpunkt bewegen kann. Bei einer Wippe liegt dieser zwischen den beiden Sitzplätzen. Die Gewichtskräfte der Personen wirken nach unten und können die Wippe in entgegengesetzte Richtungen drehen.

Zum Untersuchen markierst du Drehpunkt, Angriffspunkte und Kraftrichtungen. Das Lager übt ebenfalls eine Kraft auf den Hebel aus. Im vereinfachten Modell wirkt diese direkt am Drehpunkt und erzeugt deshalb dort kein zusätzliches Drehmoment.

2 · Das Drehmoment beschreibt die Drehwirkung

Das **Drehmoment** verbindet Kraftbetrag und Hebelarm. Der Hebelarm ist der senkrechte Abstand zwischen Drehpunkt und Wirkungslinie der Kraft. Bei senkrecht auf einen geraden waagrechten Hebel wirkenden Kräften kannst du ihn direkt entlang des Hebels messen.

Beispiel: 20 N wirken mit einem senkrechten Hebelarm von 0,5 m. Das Drehmoment bezeichnen wir mit M.

$M = F \cdot l$
$M = 20\ N \cdot 0{,}5\ m$
$M = 10\ N \cdot m$

Derselbe Kraftbetrag wirkt am längeren Arm stärker drehend. Die Richtung entscheidet über den Drehsinn.

3 · Gleichgewicht bedeutet gleiche Drehwirkungen

Bei einer ruhenden waagrechten Wippe gleichen sich die entgegengesetzten Drehmomente aus. Wir betrachten hier einen idealen Hebel und berücksichtigen seine Eigengewichtswirkung nicht. Beispiel: Links wirken 60 N in 0,4 m Abstand, rechts 30 N in 0,8 m Abstand.

$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$
$60\ N \cdot 0{,}4\ m = 30\ N \cdot 0{,}8\ m$
$24\ N \cdot m = 24\ N \cdot m$

Beide Seiten haben dasselbe Drehmoment. Die kleinere Kraft kann somit durch einen längeren Hebelarm ausgeglichen werden.

Das gehört zusammen: Die Drehwirkung hängt von Kraft, Richtung und senkrechtem Hebelarm ab. Im Gleichgewicht sind die entgegengesetzten Drehmomente gleich groß.

Öffne „Hebel erkunden“ und wähle „Wippe“ oder „Balkenwaage“. Verschiebe die Angriffspunkte und suche ein Gleichgewicht bei verschiedenen Kräften.

01 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Der Drehpunkt macht den Unterschied

So prüfst du ein Hebelgleichgewicht

1. Drehpunkt markieren
Von hier misst du die senkrechten Hebelarme.

→

2. Drehmomente vergleichen
Kraft × Hebelarm für beide Drehrichtungen bestimmen.

→

3. Gleichgewicht beurteilen
Gleiche entgegengesetzte Drehmomente gleichen sich aus.

Für den waagrechten Modellhebel wirken die Kräfte senkrecht auf den Balken.

Eine Tür lässt sich am Griff leichter aufdrücken als direkt neben den Scharnieren. Das erklärt der **Hebelarm**: Entscheidend ist der senkrechte Abstand der Wirkungslinie deiner Kraft zur Drehachse. Schiebst du parallel zur Türfläche in Richtung der Scharniere, ist die Drehwirkung klein oder null. Drückst du senkrecht zur Türfläche am äußeren Rand, wird derselbe Kraftbetrag besonders wirksam. Kraftbetrag, Richtung und Angriffspunkt müssen deshalb gemeinsam betrachtet werden.

Bei einer waagrechten Wippe wirken die Gewichtskräfte senkrecht auf den Balken. Hier entspricht der Hebelarm einfach dem Abstand zum Drehpunkt. Das Produkt aus Kraft und Hebelarm beschreibt die **Drehwirkung**. Ein Gleichgewicht verlangt gleiche entgegengesetzte Drehmomente, nicht unbedingt gleiche Kraftbeträge. Das Lager hält den Balken zusätzlich fest und trägt Kräfte. Für einen Vergleich veränderst du nur einen Angriffspunkt und lässt Drehpunkt sowie Last unverändert. Du kannst dann vorhersagen, wie die Gegenkraft angepasst werden muss. Die Formel ist dabei die kurze Zusammenfassung einer anschaulichen Beobachtung: Weiter außen kann eine kleinere Kraft dieselbe Drehwirkung erzeugen.

Für einen ruhenden Körper müssen zwei Bedingungen gemeinsam passen: Die Kräfte müssen sich insgesamt ausgleichen und ebenso die Drehmomente. Ein Kräftepaar kann beispielsweise insgesamt 0 N ergeben und trotzdem eine Drehung bewirken, wenn die Kräfte an verschiedenen Wirkungslinien angreifen. Denke an ein Lenkrad, das mit beiden Händen gedreht wird. Die Summe der Kraftbeträge allein reicht deshalb zur Beurteilung eines ausgedehnten Körpers nicht aus.

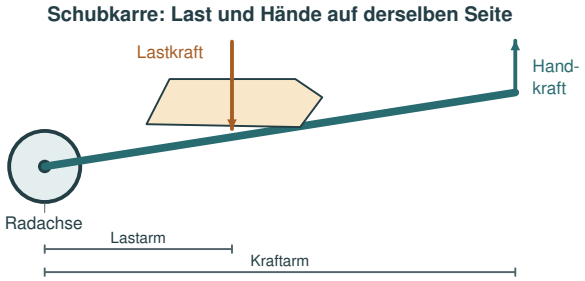
Zwei verschiedene Kräfte
Links wirken 40 N bei 0,3 m Hebelarm.
Rechts wirken 20 N bei 0,6 m.
Grundgleichung: $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$
Einsetzen: $40\ \text{N} \cdot 0{,}3\ \text{m} = 20\ \text{N} \cdot 0{,}6\ \text{m}$
Ergebnis: $12\ \text{N} \cdot \text{m} = 12\ \text{N} \cdot \text{m}$
Der ideale Hebel ist im Gleichgewicht.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Im Gleichgewicht müssen beide Kräfte gleich groß sein.
So stimmt es: Gleich groß müssen die entgegengesetzten Drehmomente sein. Verschiedene Kraftbeträge können sich bei passenden unterschiedlichen Hebelarmen ausgleichen.

02 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Werkzeuge nutzen unterschiedliche Hebel

Eine Schubkarre, eine Schere und ein Nussknacker sehen verschieden aus. Mit denselben Fragen erkennst du ihre Mechanik: Wo liegt der Drehpunkt, wo wirken die Kräfte und wie lang sind ihre Hebelarme?



Schubkarre als einseitiger Hebel: Last und Handkraft greifen auf derselben Seite der Radachse an und erzeugen entgegengesetzte Drehmomente. Form und Maßstab sind vereinfacht.

4 · Einseitig und zweiseitig beschreiben die Anordnung

Beim **zweiseitigen Hebel** liegen die betrachteten Angriffspunkte auf verschiedenen Seiten des Drehpunkts, wie bei der Wippe. Beim **einseitigen Hebel** liegen sie auf derselben Seite. Entscheidend sind ihre Lage und die Kraftrichtungen.

Bei der Schubkarre ist die Radachse der Drehpunkt. Die Last befindet sich zwischen Rad und Händen. An den Griffen wirken die Hände mit größerem Abstand zur Radachse. So können sie mit einer kleineren Kraft eine größere Lastkraft ausgleichen. Das Rad trägt dabei einen Teil der Belastung.

5 · Lange Griffe erleichtern das Drehen

Beim Nussknacker sitzt die Nuss nahe am Gelenk, während die Hand weiter außen drückt. Der lange Kraftarm ermöglicht eine große Kontaktkraft an der Nuss. Bei einer Schere bestehen zwei verbundene Hebel; beim Schneiden nahe am Gelenk ist der Lastarm kürzer.

Für den Vergleich zeichnest du jeweils einen betrachteten Hebelteil und die auf ihn wirkenden Kräfte. Die Kraft des Werkzeugs auf den Gegenstand und die Gegenkraft des Gegenstands auf das Werkzeug gehören zu verschiedenen Körpern. Diese Trennung hält das Kräftebild eindeutig.

6 · Kraftvorteil und Bewegung gehören zusammen

Ein größerer Kraftarm bedeutet bei gleicher kleiner Drehung auch einen längeren Weg am Griff. Der Angriffspunkt nahe am Gelenk bewegt sich dabei kürzer. Ein Werkzeug tauscht deshalb einen kleineren Kraftbetrag gegen einen größeren Weg ein.

Für ein reales Werkzeug kommen Reibung, Eigengewicht und Verformung hinzu. Seine Form muss außerdem zum Zweck passen: Eine Schere braucht geeignete Schneiden, eine Schubkarre einen stabilen Stand. Liegt die Wirkungslinie der Gewichtskraft innerhalb der unterstützenden Standfläche, kann ein Körper stabil stehen. Mechanik und Bauform erklären gemeinsam seine Funktion.

Das gehört zusammen: Bei Werkzeugen verbindest du Bauform und Wirkung: Drehpunkt finden, Kräfte zuordnen, Hebelarme vergleichen und die zugehörigen Wege betrachten.

Wähle „Einseitiger Hebel · Alltagsbeispiele“ und vergleiche „Schubkarre“ mit „Nussknacker“. Prüfe danach bei „Schere“, wie der Abstand der Schnittstelle zum Gelenk wirkt.

02 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Ein Werkzeug passend zur Aufgabe einsetzen

Drei Werkzeuge, dieselbe Hebelidee

Schere
Gelenk zwischen Griff und Schneide: zweiseitiger Hebel.

Nussknacker
Nuss zwischen Gelenk und Hand: kurzer Lastarm.

Schubkarre
Last zwischen Radachse und Händen: langer Kraftarm.

Die Lage von Drehpunkt und Wirkungslinien entscheidet über die Hebelarme.

Beim Schneiden ist nicht nur wichtig, wie fest du drückst. Auch der Ort des Materials zwischen den Schneiden zählt. Liegt es nahe am Scherengelenk, ist der **Lastarm** kurz. Bei gleichem Handabstand lässt sich dort eine größere Schneidkraft erzeugen. Nahe der Spitze ist der Lastarm länger: Die Schneide bewegt sich weiter, aber für dieselbe Schneidkraft brauchst du mehr Handkraft. So erklärt der Hebel, warum grobes Material oft nahe am Gelenk geschnitten wird.

Die beiden Scherenteile sind miteinander verbundene zweiseitige Hebel. Betrachte für die Rechnung zunächst nur einen Teil. Die Kraft am zugehörigen Griff und die Kontaktkraft an seiner Schneide gehören zusammen. Bei einem Nussknacker liegen Nuss und Hand dagegen auf derselben Seite des Gelenks. Bei einer Schubkarre ist die Radachse der Drehpunkt.

Warum nahe am Gelenk schneiden?
Stell dir zwei gleich feste Materialstücke vor. Eines liegt nahe am Gelenk, eines nahe an der Scherenspitze. Bei gleicher Handkraft ist die mögliche Schneidkraft nahe am Gelenk größer. Dafür bewegt sich dieser Teil der Schneide bei derselben Drehung über einen kürzeren Weg.

Trotz verschiedener Formen gilt dieselbe Denkfolge: **Drehpunkt finden, Kraftlinien markieren, Hebelarme vergleichen**. Aus der äußeren Gestalt allein lässt sich die nötige Kraft nicht ablesen. Außerdem bleiben Materialfestigkeit, Reibung und sichere Handhabung für echte Werkzeuge wichtig. Das Hebelmodell erklärt einen ausgewählten mechanischen Zusammenhang, nicht alle Eigenschaften eines Werkzeugs.

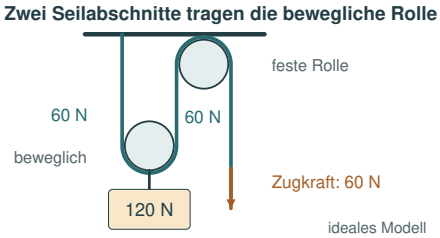
Auch im Körper wirken Hebel. Beim Beugen des Unterarms ziehen Muskeln über Sehnen an Knochen; das Ellenbogengelenk bildet einen Drehbereich. Der Muskel greift oft nahe am Gelenk an. Dadurch kann eine große Muskelkraft nötig sein, während die Hand einen weiten und schnellen Weg zurücklegt. Ein kurzer Kraftarm ist deshalb nicht einfach ein schlechter Hebel: Bauform und Übersetzung müssen zur gewünschten Bewegung passen.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Ein längerer Hebel spart gleichzeitig Kraft und Weg.
So stimmt es: Ein größerer Kraftarm kann die nötige Kraft verringern. Dafür legt die Hand bei derselben Drehung einen längeren Weg zurück.

03 | WISSEN IM ZUSAMMENHANG

Rollen verteilen die Last auf Seilabschnitte

Mit einem Flaschenzug kannst du eine Last mit kleinerer Zugkraft heben. Dafür ziehst du mehr Seil durch deine Hände. Das Modell verbindet Kräftegleichgewicht und Energieübertragung.



Eine feste Umlenkrolle und eine lose Rolle: Zwei Seilabschnitte tragen den beweglichen Lastblock. Im idealen Modell trägt jeder 60 N einer Last von 120 N.

7 · Feste und lose Rollen übernehmen verschiedene Aufgaben

Eine **feste Rolle** bleibt am Aufhängepunkt. Sie lenkt die Zugrichtung um. Eine **lose Rolle** bewegt sich mit der Last. Ein **Flaschenzug** verbindet Rollen und Seil so, dass mehrere Seilabschnitte den beweglichen Teil tragen.

Im idealen Modell ist das Seil leicht, dehnt sich kaum und läuft reibungsfrei. Seine Spannung ist überall gleich. Zähle deshalb die Seilabschnitte, die den beweglichen Lastblock nach oben tragen. Für die Zugkraft zählt die tatsächliche Zahl der tragenden Abschnitte.

8 · Mehr tragende Abschnitte verringern die Zugkraft

Bei n gleich belasteten, senkrecht tragenden Seilabschnitten verteilt sich die Lastkraft auf n Anteile. Beispiel: Eine Lastkraft von 120 N wird durch vier tragende Abschnitte gehalten.

$F_{Zug} = F_{Last} : n$
$F_{Zug} = 120\ N : 4$
$F_{Zug} = 30\ N$

Das gilt für ruhiges Halten oder gleichförmiges Heben im idealen Modell. Bei schrägen Seilabschnitten zählen nur ihre nach oben gerichteten Kraftanteile. Reale Rollen benötigen wegen Reibung und Eigengewicht meist eine größere Zugkraft.

9 · Weniger Kraft bedeutet mehr Seilweg

Steigt die Last um 0,5 m, verkürzt sich jeder der vier tragenden Abschnitte um 0,5 m. Der Zugweg ergibt sich aus:

$s = n \cdot h$
$s = 4 \cdot 0{,}5\ m$
$s = 2\ m$

Für die Arbeit der Zugkraft folgt:

$W = F \cdot s$
$W = 30\ N \cdot 2\ m$
$W = 60\ J$

Zum Vergleich die Arbeit beim direkten Heben:

$W_{Hub} = F_{Last} \cdot h$
$W_{Hub} = 120\ N \cdot 0{,}5\ m$
$W_{Hub} = 60\ J$

Kraft und Weg verändern sich gemeinsam. Reibung überträgt zusätzlich Energie in innere Energie der Teile und Umgebung.

Das gehört zusammen: Hebel und Flaschenzug verändern Kraft und Weg gemeinsam. Ideale Maschinen übertragen dieselbe Arbeit; reale Maschinen benötigen zusätzliche Energieübertragung.

Fachbücher und Quellen stehen auf Seite 7. Die Onlinefassung verlinkt außerdem die passenden Lehrbuchkapitel.

03 | ZUSAMMENHÄNGE VERTIEFEN

Warum weniger Zugkraft mehr Seilweg braucht

120 N Last um 0,5 m heben

Ein tragender Abschnitt
120 N Zugkraft · 0,5 m Zugweg

Zwei tragende Abschnitte
60 N Zugkraft · 1 m Zugweg

Vier tragende Abschnitte
30 N Zugkraft · 2 m Zugweg

Alle drei idealen Anordnungen benötigen 60 J Arbeit für denselben Hub.

Bei einem Flaschenzug folgt die Rechnung dem **beweglichen Lastblock**. Zeichne gedanklich eine Grenze um Last und lose Rollen. Nun zählst du die Seilabschnitte, die diesen Block von oben tragen. Eine feste Rolle außerhalb dieser Grenze lenkt das Seil lediglich um. Sie kann das Ziehen bequemer machen, erhöht aber nicht automatisch die Zahl der tragenden Abschnitte. Darum ist die Gesamtzahl sichtbarer Rollen keine zuverlässige Rechengröße.

Im idealen Seil ist die Zugspannung überall gleich. Tragen vier senkrechte Abschnitte den Lastblock, liefert jeder ein Viertel der erforderlichen Stützkraft. Hebt sich der Block, werden alle vier Abschnitte kürzer. Damit sich jeder um denselben Hubweg verkürzen kann, muss am freien Ende insgesamt viermal so viel Seil nachgezogen werden. **Kraft und Weg gehören zusammen.** Die kleinere Handkraft entsteht also nicht kostenlos. Für denselben Höhengewinn bleibt die ideale Hubarbeit gleich. Bei echten Geräten kommen Eigengewicht der beweglichen Rollen, Lagerreibung und Seilreibung hinzu. Die tatsächliche Zugkraft kann deshalb größer sein als der einfache Rechenwert. Eine ideale Rechnung beschreibt zunächst den Grundzusammenhang; für ein reales Gerät ergänzt man die zusätzlichen Einflüsse.

Der ideale Kraftgewinn heißt **mechanischer Vorteil**. Er vergleicht Lastkraft und benötigte Zugkraft. Ein großer Vorteil ist hilfreich, wenn die eigene Kraft begrenzt ist; dafür müssen genügend Seilweg und Platz vorhanden sein. Bei einem wirklichen Hebezeug zählen zusätzlich zulässige Last, sichere Befestigung und Zustand des Seils. Aus einer richtigen Modellrechnung allein lässt sich deshalb nicht ableiten, ob ein selbst aufgebautes Gerät sicher benutzt werden kann.

Seilweg vorhersagen
Vier tragende Abschnitte sollen eine Last um 0,5 m heben.
Grundgleichung: s = n · h
Einsetzen: s = 4 · 0,5 m
Ergebnis: s = 2 m
Jeder tragende Abschnitt wird um 0,5 m kürzer; am freien Ende werden insgesamt 2 m Seil gezogen.

Genau unterscheiden
Häufige Verwechslung: Eine zusätzliche feste Rolle halbiert immer die Zugkraft.
So stimmt es: Eine feste Rolle kann nur die Richtung ändern. Der Kraftgewinn hängt von den tragenden Abschnitten am beweglichen Lastblock ab.

Wissen anwenden und weiterdenken

Drei ergänzende Entdeckeraufträge. Erkläre deine Beobachtungen mit den Zusammenhängen aus dem Wissenstext.

1 · Hebel erkunden

Ausprobieren: Wähle „Wippe“. Verändere einen Angriffspunkt und nutze danach „Gleichgewicht herstellen“.

Beobachten: Vergleiche die nötige Gegenkraft bei kurzem und langem Kraftarm.

Erklären: Warum kann die größere Entfernung die kleinere Kraft ausgleichen?

Modellgrenze: Eigengewicht und Reibung des Hebels werden vereinfacht; die dargestellten Kräfte wirken senkrecht.

2 · Schere

Ausprobieren: Öffne „Hebel erkunden“, dann „Schere“. Halte Handabstand und gewünschte Schneidkraft fest; vergrößere den Abstand der Schnittstelle zum Gelenk.

Beobachten: Beobachte, wie sich die nötige Handkraft pro Griff verändert.

Erklären: Warum kann dieselbe Schere nahe am Gelenk kräftiger schneiden?

Modellgrenze: Die Anzeige betrachtet Kräfte pro Scherenteil; Reibung und Verformung des Materials werden vereinfacht.

3 · Flaschenzug erkunden

Ausprobieren: Vergleiche „Feste Rolle“, „2 tragende Abschnitte“ und „4 tragende Abschnitte“ bei gleicher Last und gleichem Hubweg.

Beobachten: Vergleiche Zugkraft, Zugweg und Arbeit in der Tabelle.

Erklären: Welche Angabe verändert sich umgekehrt zur Anzahl der tragenden Abschnitte?

Modellgrenze: Leichte reibungsfreie Rollen und ein ideales Seil; reale zusätzliche Lasten und Verluste fehlen.

Interaktive Werkstatt öffnen →

Fachliche Quellen und weiterführende Literatur

College Physics 2e