

# Der Arm als Hebel

## Der Fall

In der Physiotherapie hält ein Patient eine **2-kg-Hantel** in der Hand, der Unterarm waagrecht. Der Ellbogen ist der **Drehpunkt**. Der Bizeps setzt etwa **4 cm** vom Ellbogen entfernt am Unterarm an, die Hantel liegt **32 cm** vom Ellbogen entfernt. Die Therapeutin erklärt: „Ihr Bizeps zieht dabei viel stärker, als die Hantel wiegt.“

Ein Körper ist im Gleichgewicht, wenn sich sowohl alle **Kräfte** als auch alle **Drehmomente** ausgleichen. Für eine senkrecht wirkende Kraft gilt  $M = F \cdot r$ ; der **Hebelarm  $r$**  ist der senkrechte Abstand zwischen Drehpunkt und Wirkungslinie der Kraft. Für zwei entgegengesetzte Drehmomente gilt im Gleichgewicht das Hebelgesetz  $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$ . Modell: Der Unterarm ist ein waagerechter Hebel, die Bizepskraft wirkt senkrecht nach oben, die Gewichtskraft der Hantel nach unten; Masse des Unterarms und Sehnenwinkel werden vernachlässigt, die Gelenkkraft am Ellbogen erzeugt um den Ellbogen kein Drehmoment. Es gilt  $g \approx 10 \text{ N/kg}$ .

### 1 Kräfte und Hebelarme

Verstehen · 4 Punkte

Skizziere den Unterarm als Balken mit Drehpunkt. Trage die Gewichtskraft der Hantel, die Kraft des Bizeps und beide Hebelarme ein. Auf welcher Seite des Drehpunkts greifen die beiden Kräfte an, und in welche Richtungen wirken sie?

---

---

---

---

### 2 Wie stark zieht der Bizeps?

Rechnen · 4 Punkte

Berechne die Gewichtskraft der Hantel und daraus mit dem Hebelgesetz die Kraft des Bizeps. Wie vielmal größer ist sie als die Gewichtskraft der Hantel? Ohne Taschenrechner.

---

---

### 3 TMSnat-Training: Multiple Choice

eigene Übungsaufgabe · Richtwert 90 Sekunden · ohne Taschenrechner · 2 Punkte

Auf einer Wippe sitzt ein Kind mit 30 kg genau 2,0 m vom Drehpunkt entfernt. In welchem Abstand vom Drehpunkt muss ein Kind mit 40 kg auf der anderen Seite sitzen, damit die Wippe im Gleichgewicht ist?

- (A) 0,5 m                      (B) 1,0 m                      (C) 1,5 m  
(D) 2,0 m                      (E) 2,7 m

### 4 Schraubenschlüssel

Transfer · 5 Punkte

a) Eine festsitzende Schraube löst sich erst bei einem Drehmoment von 40 N·m. Welche Kraft ist nötig, wenn man am Ende eines 20 cm langen Schlüssels senkrecht zieht? Welche bei einem 40 cm langen Schlüssel?

b) Jemand übt eine Kraft genau in *Längsrichtung* des Schraubenschlüssels aus. Warum dreht sich die Schraube nicht, so stark er auch zieht oder drückt?

---

---

---

---

## LÖSUNGEN · DER ARM ALS HEBEL

# Lösungen und Lösungswege

## 1 Kräfte und Hebelarme

Beide Kräfte greifen auf **derselben Seite** des Drehpunkts an (einseitiger Hebel): Die Gewichtskraft der Hantel zieht in 32 cm Abstand nach unten, der Bizeps zieht in 4 cm Abstand nach oben. Hebelarme sind die Abstände vom Ellbogen:  $r_{\text{Hantel}} = 32 \text{ cm}$ ,  $r_{\text{Bizeps}} = 4 \text{ cm}$ . Die Drehmomente wirken gegeneinander und heben sich im Gleichgewicht auf.

**Typischer Fehler:** den Abstand zwischen Bizeps-Ansatz und Hand (28 cm) als Hebelarm nehmen. Der Hebelarm ist der senkrechte Abstand zwischen Drehpunkt und Wirkungslinie der Kraft; weil beide Kräfte senkrecht zum waagerechten Unterarm wirken, sind das hier die Abstände vom Ellbogen.

## 2 Wie stark zieht der Bizeps?

$F_{\text{Hantel}} = 2 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 20 \text{ N}$ . Hebelgesetz:  $F_{\text{Bizeps}} \cdot 4 \text{ cm} = 20 \text{ N} \cdot 32 \text{ cm} \rightarrow F_{\text{Bizeps}} = 20 \text{ N} \cdot 32 / 4 = \mathbf{160 \text{ N}}$ , also das **Achtfache** der Gewichtskraft. Damit auch die Kräfte im Gleichgewicht sind, drückt das Ellbogengelenk im Modell zusätzlich mit  $160 \text{ N} - 20 \text{ N} = 140 \text{ N}$  nach unten auf den Unterarm; um den Ellbogen erzeugt diese Kraft kein Drehmoment. Bei einer Beugung des Arms tauscht der Körper Kraft gegen Weg: Der Bizeps verkürzt sich nur wenig, die Hand bewegt sich weit und schnell.

**Typischer Fehler:** Hebelarm und Kraft „falsch herum“ ansetzen und  $20 \text{ N} \cdot 4 / 32 = 2,5 \text{ N}$  erhalten. Kurzer Hebelarm bedeutet große Kraft.

## 3 TMSnat-Training: Multiple Choice

**Richtig ist (C) 1,5 m.**  $30 \text{ kg} \cdot 2,0 \text{ m} = 40 \text{ kg} \cdot r \rightarrow r = 60 / 40 = 1,5 \text{ m}$ . Die Erdbeschleunigung kürzt sich heraus; man darf direkt mit Massen rechnen, weil beide Kräfte Gewichtskräfte sind.

- (A) 0,5 m entsteht, wenn man die Differenz der Massen mit dem Abstand verrechnet ( $2,0 \text{ m} - 1,5 \text{ m}$  oder „10 kg mehr, also 0,5 m“); Hebelarme richten sich nach dem Verhältnis, nicht nach der Differenz.
- (B) 1,0 m ist die Schätzung ohne Rechnung („deutlich näher, also halbe Strecke“); das Hebelgesetz verlangt den Faktor 30/40, nicht 1/2.
- (D) 2,0 m: gleicher Abstand bei verschiedenen Massen, kein Gleichgewicht.
- (E) 2,7 m entsteht, wenn man die Abstände im Verhältnis der Massen statt umgekehrt setzt ( $2,0 \cdot 40/30$ ).

Im Test hilft eine Plausibilitätsprüfung: Das schwerere Kind muss *näher* am Drehpunkt sitzen. Damit bleiben nur (A), (B) und (C); eine kurze Rechnung entscheidet.

## 4 Schraubenschlüssel

a)  $F = M / r$ . Bei 20 cm = 0,2 m:  $F = 40 \text{ N} \cdot \text{m} / 0,2 \text{ m} = \mathbf{200 \text{ N}}$ . Bei 40 cm:  $F = 40 / 0,4 = \mathbf{100 \text{ N}}$ . Doppelte Länge, halbe Kraft. Die Einheit des Drehmoments ist N·m; sie wird nicht in Joule angegeben, obwohl N·m auch die Einheit der Arbeit ist.

b) Ein Drehmoment entsteht nur durch den Anteil der Kraft **senkrecht** zum Hebelarm ( $M = r \cdot F \cdot \sin \theta$ ). Wirkt die Kraft genau in Längsrichtung des Schlüssels, verläuft ihre Wirkungslinie durch den Drehpunkt; der Winkel zwischen Kraft und Ortsvektor beträgt  $0^\circ$  oder  $180^\circ$ , je nach Richtung, und in beiden Fällen ist  $\sin \theta = 0$ , das Drehmoment also null.

**Typische Fehler:** Drehmoment in Joule angeben; annehmen, eine Kraft entlang des Hebelarms drehe „am stärksten“.

### Quellen und Lehrplanbezug

- OpenStax, College Physics 2e, Kap. 9.1 und 9.2 „Conditions for Equilibrium“: Drehmoment, Hebelarm, Wippe (CC BY 4.0): <https://openstax.org/books/college-physics-2e/pages/9-2-the-second-condition-for-equilibrium>
- OpenStax, College Physics 2e, Kap. 9.6 „Forces and Torques in Muscles and Joints“: Unterarm und Bizeps als Hebel (Zahlenwerte hier vereinfacht): <https://openstax.org/books/college-physics-2e/pages/9-6-forces-and-torques-in-muscles-and-joints>
- KMK-Bildungsstandards Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020): [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2020\\_06\\_18-BildungsstandardsAHR\\_Physik.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf); KMK-Bildungsstandards Physik für den Ersten und Mittleren Schulabschluss (2024); die Zuordnung zu Klasse 9/10 oder EF richtet sich nach dem jeweiligen Landeslehrplan (z. B. Kernlehrplan NRW Physik Sek. I, Mechanik).
- Weitere Übungsfragen zum Thema: [tmsnat-trainer.de/tmsnat/physik](https://tmsnat-trainer.de/tmsnat/physik)