

## Das Hebelgesetz am Fahrrad erkunden

Stefan Völker und Eric Ackermann, Jena

Kraftumformende Einrichtungen und das damit verbundene **Hebelgesetz** sind fester Bestandteil der **Mechanik** im Physikunterricht der Sekundarstufe 1. Aber auch im Alltag stößt man ständig auf Hebel (z. B. beim Öffnen einer Tür mit einer Türklinke). Alle wenden das Hebelgesetz unbewusst, aus dem Bauch heraus, richtig an.

Im Physikunterricht formalisieren Sie dieses Wissen und fassen es als physikalisches Gesetz. Dieses wenden Sie dann auf weitere Alltagsbeispiele an, um so die enge Verzahnung zwischen Physik und Realität aufzuzeigen.

Das Fahrrad bietet Ihnen hierfür den geeigneten Kontext. Das Material lädt dazu ein, einige der Hebel am Fahrrad zu untersuchen. Durch die unterschiedlichen Bauformen und Aufgaben der Hebel können Ihre Schüler ihr Wissen zum Hebelgesetz anwenden und vertiefen – und das an einem wirklich alltäglichen Objekt!



Foto (ohne Pfad): Pixland/Thinkstock

Abb. 1: Zahlreiche Kräfte spielen beim Fahrradfahren eine Rolle.

**Bremssgriff, Bremse, Pedal –  
das Fahrrad ist voller Hebel!**

### Der Beitrag im Überblick

**Klasse:** 7/8

**Dauer:** 2–4 h

**Ihr Plus:**

- ✓ Alltagsnaher Kontext
- ✓ Gruppenarbeit
- ✓ Schülervorträge

**Inhalt:**

- Das Hebelgesetz an verschiedenen Bauteilen des Fahrrades (Bremssgriff, Bremse, Pedale und Hinterrad) festigen
- Verknüpfung zur Goldenen Regel der Mechanik
- Verknüpfung zu Reibungskräften
- Die Gangschaltung mit dem Hebelgesetz verstehen
- Experimente mit Fahrradbauteilen

## Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

### Fachlicher Hintergrund

Greift eine Kraft  $\vec{F}$  an einem drehbar gelagerten, ausgedehnten Körper an, so wird dieser dadurch in **Rotation** versetzt. Entscheidend ist dafür neben der Kraft auch der Abstand  $\vec{r}$  zwischen Drehachse und Angriffspunkt der Kraft (vgl. Abb. 2).

Das Drehmoment  $\vec{M}$  ist das Kreuzprodukt der Vektoren  $\vec{r}$  und  $\vec{F}$

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}. \quad (1)$$

Es hat für die Rotation die gleiche Bedeutung wie die Kraft für die Translation. Mithilfe des Winkels  $\varphi$  kann der Betrag des Drehmoments als

$$M = r \cdot F \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

berechnet werden ( $M = |\vec{M}|$ ,  $r = |\vec{r}|$  und  $F = |\vec{F}|$ ).

Im Falle von  $\varphi = 90^\circ$  und damit  $\sin \varphi = 1$  vereinfacht sich Gleichung (2) zu

$$M = r \cdot F. \quad (3)$$

Greifen an einem Körper mehrere Drehmomente an, lassen sich diese gemäß den Gesetzen der Vektorrechnung zum resultierenden Drehmoment addieren.

Ein Hebel ist beispielsweise sich ein ausgedehnter, drehbar gelagerter Körper, an dem in der Regel, mindestens zwei Kräfte angreifen (Kraft und Last) und damit zwei Drehmomente wirken.

Sind beide Drehmomente gleich groß, aber entgegengerichtet, heben sie sich auf und der Hebel ist im **Gleichgewicht**.

Betrachtet man zudem den einfachen Fall, dass Kraft und Hebelarm aufeinander senkrecht stehen ( $\varphi = 90^\circ$ ), folgt aus der Gleichheit der Drehmomente das bekannte Hebelgesetz

**„Kraft mal Kraftarm = Last mal Lastarm“**

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2. \quad (4)$$

Kraft- und Lastarm sind dabei die Abstände zwischen dem Drehzentrum und den Angriffspunkten der jeweiligen Kraft. Es ist nicht notwendig, dass der eigentliche Hebelarm diese beiden Punkte direkt miteinander verbindet (vgl. **M 1**), auch wenn dies beim klassischen Demonstrationshebel aus der Physiksammlung der Fall ist.

In vielen Alltagssituationen findet man, dass Kraft und Kraftarm nicht senkrecht aufeinander stehen, so auch beim **Bremssgriff** eines Fahrrades (vgl. Abb. 3 auf der nächsten Seite). Da die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  zudem unterschiedlich sind, muss Gleichung (2) zur Berechnung des Drehmoments verwendet werden. Um diese zusätzliche Komplikation zu umgehen, wurden alle Skizzen der Fahrradbauteile in diesem Beitrag geringfügig angepasst, sodass stets  $\varphi = 90^\circ$  gilt, und Ihre Schüler das bereits bekannte Hebelgesetz verwenden können (vgl. Sie hierzu Abb. 3 mit Abb. 14).

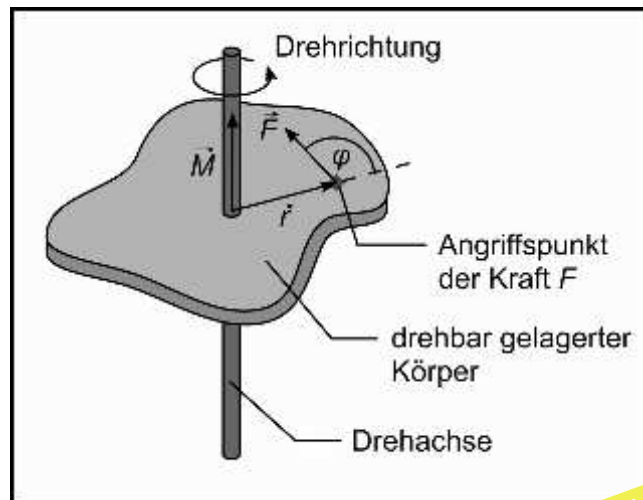


Abb. 2: Skizze zum Drehmoment  $\vec{M}$

Skizze:

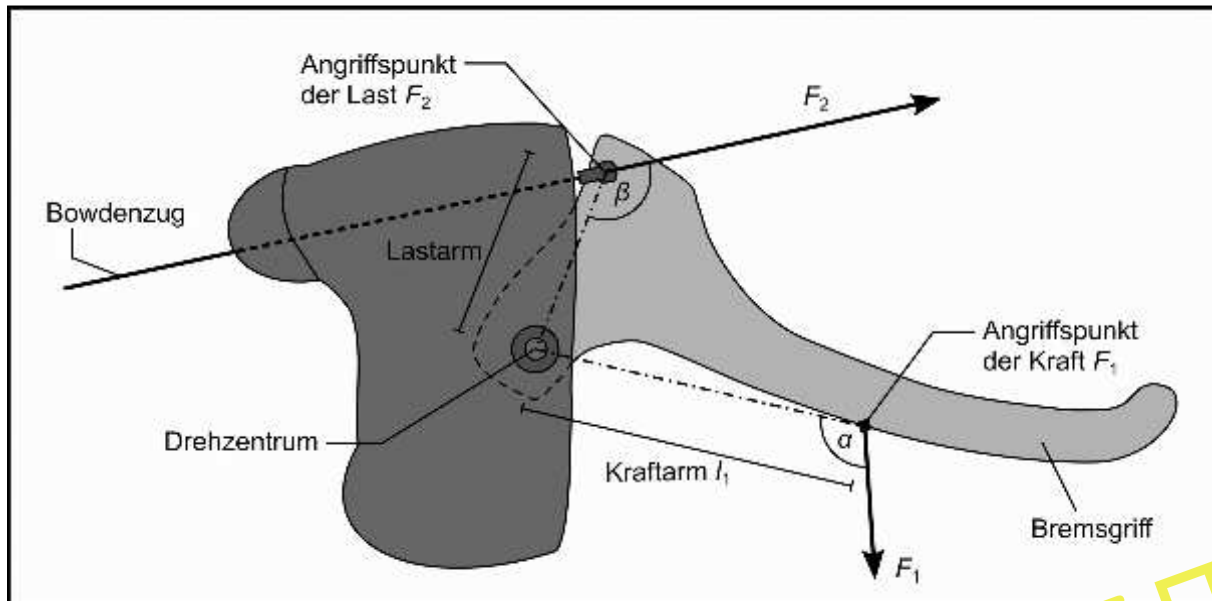


Abb. 3: Schemazeichnung eines Bremsgriffes. Die Kraft  $F_1$  der Hand wird auf den Bowdenzug übertragen. Auf diesen wirkt dann die Kraft  $F_2$ . Kraft und Kraftarm stehen in beiden Fällen nicht senkrecht aufeinander.

## Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Dieser Beitrag baut auf bereits vorhandenem Wissen Ihrer Schüler zum Thema „Hebelgesetz“ auf und stellt durch das Objekt „Fahrrad“ die Verbindung zwischen deren Lebenswelt und dem Physikunterricht her. Er ist nicht dazu konzipiert, das Hebelgesetz im Unterricht neu einzuführen. Kombinieren Sie diese Materialien mit Ihrem Unterricht zum Thema **Lehrpläne** informelle Einrichtungen oder dem Beitrag von Jost Baum **„Der Hebel – ein fundamentales Werkzeug“**<sup>1</sup> (I/B, Reihe 28, erschienen EL 41 Nov. 2015, siehe **CD-ROM 49**). Da Sie die Materialien ergänzend einsetzen, ist der zeitliche Rahmen mit zwei bis vier Schulstunden eng gefasst.

### Ablauf

Im Material **M 1** „Das Hebelgesetz – frische dein Wissen auf!“ sind alle wesentlichen Aspekte für Ihre Schüler zusammengefasst. Teilen Sie dieses Blatt als Hausaufgabe aus und starten Sie die nachfolgende Unterrichtseinheit mit einem Brainstorming zum Thema „Hebel am Fahrrad“. Hierfür können Sie die Folie (**M 2**) verwenden.

Die Materialien **M 3** bis **M 8** gehören zu einer Gruppenarbeit und sind der Kern dieses Beitrags. Ihre Schüler untersuchen einen Hebel am Fahrrad genauer und stellen ihren Mitschülern die gewonnenen Ergebnisse vor. Für das Material **M 8** müssen sich die Gruppen neu zusammensetzen und die Erkenntnisse aus der vorherigen Arbeit zusammen anwenden.

Schließen Sie die Unterrichtseinheit entweder mit weiterführenden Aufgaben (**M 9**) oder mit einigen Demonstrationsexperimenten (**M 10**) ab.

Stellen Sie unbedingt immer wieder den Bezug zum **realen Objekt** her. Bringen Sie hierfür ein Fahrrad mit in den Unterricht, oder verwenden Sie Demonstrationsmodelle wie in **M 10**, und lassen Sie Ihre Schüler zu Hause deren eigenes untersuchen.

<sup>1</sup> Falls Sie RAAbits Physik zu diesem Zeitpunkt noch nicht bezogen haben, finden Sie den vollständigen Beitrag von Jost Baum als PDF-Datei auf der CD-ROM 49.

### Querverbindungen

An vielen Stellen des Beitrags können Sie Anknüpfungspunkte zu anderen Themen der Mechanik finden, beispielsweise zu Reibungskräften (**M 8**), der Goldenen Regel der Mechanik oder den Kräften an der schiefen Ebene (beides **M 9**). Wenn Sie in Aufgabe 1 des Materials **M 8** die Kraft berechnet haben, welche das Fahrrad abbremst, können Sie diese bei den kinematischen Betrachtungen der gleichförmig beschleunigten Bewegung wieder aufgreifen. Wählen Sie statt des in Material **5** gezeigten Bremsentyps, der *V-Bremse*, eine sog. *Cantilever-Bremse*, können Sie an dieser die Kräftezerlegung thematisieren. Auch energetische Betrachtungen des Fahrradfahrens sind möglich. Das Thema Fahrrad lässt sich dann letztlich – im Sinne eines Spiralcurriculums – wieder in der Oberstufe bei der Behandlung der Physik des starren Körpers aufgreifen.

Selbstverständlich kann man am Fahrrad auch Themen der Elektrizitätslehre (Dynamo, Parallelschaltung von Vorder- und Rücklicht) oder der Optik (Reflexion am Katzenauge, Parabolspiegel bei der Fahrradlampe) und viele weitere besprechen.

### Bezug zu den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz

Allg. physikalische Kompetenz	Inhaltsbezogene Kompetenzen Die Schüler ...	Anforderungsbereich
F 1, F 4	... wiederholen das Hebelgesetz und wenden dieses in einem neuen Kontext an,	I, II
F 2, E 1, E 2, K 1, K 2, K 6	... präsentieren vor der Klasse einen Hebel am Fahrrad,	I, II
F 4, E 4	... berechnen die Kraftübertragung durch Hebel an konkreten und alltagsnahen Beispielen,	II
F 1, F 2, E 2, K 1, K 7	... kombinieren die Ergebnisse mehrerer Gruppen, um gemeinsam ein komplexes Problem zu lösen,	II, III
E 7, E 10	... untersuchen das Hebelgesetz anhand von funktionsfähigen Modellen der Hebel am Fahrrad,	II
F 4, E 3, E 5, K 7	... übertragen ihr Wissen zum Hebelgesetz (aus der Gruppenarbeit) auf die Gangschaltung eines Fahrrads,	III
F 1, E 3, E 5,	... erkennen Querverbindungen zu verwandten Themengebieten wie Reibungskräften, Kräften an der schiefen Ebene und der Goldenen Regel der Mechanik.	I

Für welche Kompetenzen und Anforderungsbereiche die Abkürzungen stehen, finden Sie auf der beiliegenden CD-ROM 49.

## Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit    SV = Schülerversuch    Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt

⌚ D = Durchführungszeit    LV = Lehrerversuch    Fo = Folie

<b>M 1</b>	<b>Ab</b> ⌚ D: 15 min	<b>Das Hebelgesetz – frische dein Wissen auf!</b>	
<b>M 2</b>	<b>Fo</b> ⌚ D: 5 min	<b>Übersichtsfolie „Hebel am Fahrrad“</b>	<input type="checkbox"/> Fahrrad (wenn möglich)
<b>M 3</b>	<b>Ab</b> ⌚ D: 5 min	<b>Das Hebelgesetz am Fahrrad erkunden</b>	
<b>M 4</b>	<b>Ab</b> ⌚ D: 40 min	<b>Der Bremsgriff</b>	<input type="checkbox"/> Bremsgriff (wenn möglich) <input type="checkbox"/> Lineal
<b>M 5</b>	<b>Ab</b> ⌚ D: 40 min	<b>Die Bremse</b>	<input type="checkbox"/> Bremse (wenn möglich) <input type="checkbox"/> Lineal
<b>M 6</b>	<b>Ab</b> ⌚ D: 40 min	<b>Das Pedal</b>	<input type="checkbox"/> Pedal mit Tretkurbel und Kettenblatt (wenn möglich) <input type="checkbox"/> Lineal
<b>M 7</b>	<b>Ab</b> ⌚ D: 40 min	<b>Das Hinterrad</b>	<input type="checkbox"/> Hinterrad mit Nitzel (wenn möglich) <input type="checkbox"/> Lineal
<b>M 8</b>	<b>Ab</b> ⌚ D: 20 min	<b>Kraftübertragung: von der Hand zum Reifen ...</b> ... wenn mehrere Hebel zusammenwirken!	
<b>M 9</b>	<b>Ab</b> ⌚ D: 20 min	<b>Mit dem Hebelgesetz die Gangschaltung verstehen</b>	
<b>M 10</b>	<b>LV/SV</b> ⌚ V: 60 min ⌚ D: 20 min	<b>Experimente zum Hebelgesetz</b>	<input type="checkbox"/> Demonstrationsmodelle der Hebel <input type="checkbox"/> Ausrangiertes Fahrrad <input type="checkbox"/> Kraftplatte (z. B. von Leybold®) mit Anzeigeelement oder Personenwaage <input type="checkbox"/> Modelle verschiedener Hebel (z. B. passend zu Abb. 4c und 4d) <input type="checkbox"/> Funktionsmodell eines Bremsgriffs, einer Bremse und eines Kettenblattes <input type="checkbox"/> Diverse Federkraftmesser für horizontale Benutzung (Zug- und Druckkraftmesser: 2,5 N, 5 N, 10 N, 20 N) <input type="checkbox"/> Kofferwaage (bis 30 kg) <input type="checkbox"/> Kleiner Hocker <input type="checkbox"/> Stuhl <input type="checkbox"/> Tisch

**Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 19.**

**Minimalplan:** Lassen Sie die Schüler bereits zu Hause überlegen, welche Hebel man am Fahrrad finden kann, und besprechen Sie dann einen der Hebel (**M 4**, **M 5** oder **M 6**) ausführlich im Unterricht.

## M 1 Das Hebelgesetz – frische dein Wissen auf!

„Gibt mir einen festen Punkt, und ich hebe die Welt aus den Angeln!“

Archimedes von Syrakus (Zitat)

### Hebelgesetz:

„Kraft mal Kraftarm ist gleich Last mal Lastarm“:  $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$

Kraft und Kraftarm sowie Last und Lastarm stehen jeweils senkrecht zueinander.

### Zweiseitiger Hebel:

Beim zweiseitigen Hebel (vgl. Abb. 4a) greift auf jeder Seite des Drehzentrums eine Kraft am Hebel an.

### Einseitiger Hebel:

Beim einseitigen Hebel (vgl. Abb. 4b) greifen die beiden Kräfte auf derselben Seite des Drehzentrums am Hebel an.

### Im Alltag:

Hebel findest du im Alltag an vielen Stellen: Türklinken, Flaschenöffner, Schubkarren, Zangen, Scheren, Schraubenschlüssel, Wippen u. v. m.

### Kraft-/ Lastarm:

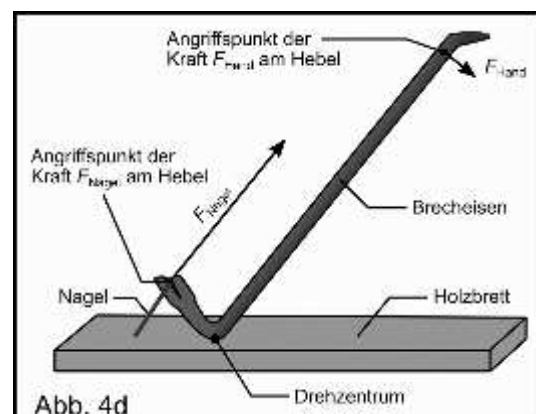
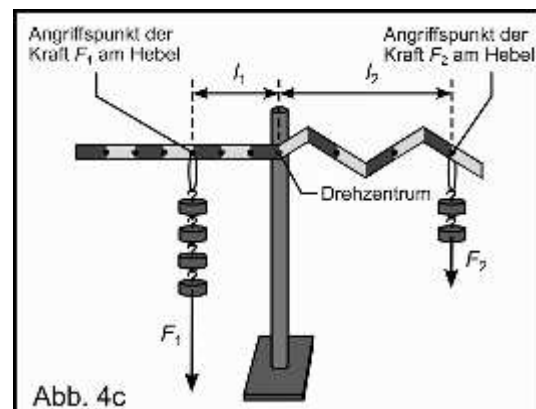
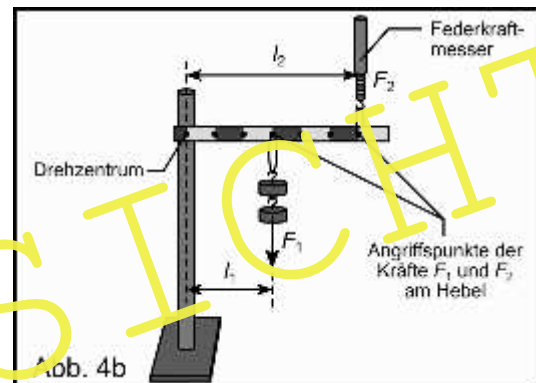
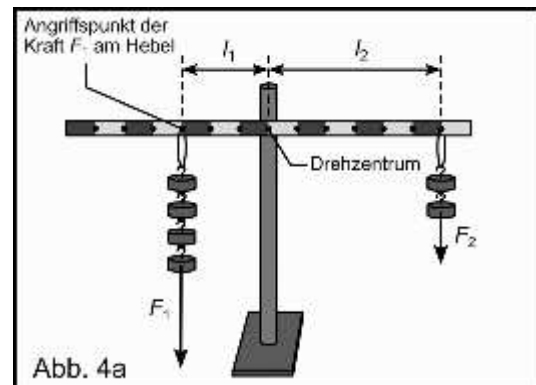
Als Kraft- bzw. Lastarm bezeichnet man die Strecke zwischen Drehzentrum und Angriffspunkt der wirkenden Kraft. Der Hebelarm kann dabei aber ganz unterschiedlich geformt sein, z. B. als Zickzack-Linie (vgl. Abb. 4c).

### Brecheisen – ein gewinkelter Hebel:

Kraftarm und Lastarm müssen nicht zwangsläufig eine durchgängige Linie bilden. Im Drehzentrum kann der Hebel, wie bei einem **Brecheisen**, gewinkelt sein (vgl. Abb. 4d). Das Hebelgesetz gilt in gewohnter Art und Weise.

### Aufgabe

1. Nenne Beispiele aus dem Alltag, bei denen ein Arm des Hebels ungewöhnlich geformt ist, also nicht der direkten Verbindung zwischen Drehzentrum und Angriffspunkt der Kraft entspricht!
2. Nenne Beispiele für gewinkelte Hebel aus deinem Alltag!



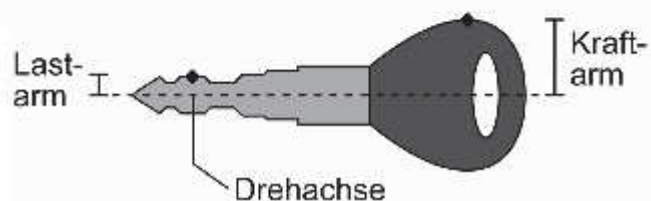


M 2 Übersichtsfolie „Hebel am Fahrrad“

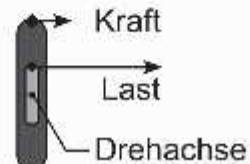
I/B



Von der Seite



Von vorne



### M 3 Das Hebelgesetz am Fahrrad erkunden

„Kraft mal Kraftarm ist gleich Last mal Lastarm!“ Kaum ein anderes physikalisches Gesetz nutzt du in deinem Alltag so häufig wie das Hebelgesetz: beim Öffnen einer Tür, beim Drehen eines Schlüssels, beim Schneiden mit einer Schere u. v. m. Häufig bemerkt man erst auf den zweiten Blick, dass im Hintergrund physikalische Gesetze wirken.



I/B

Auch beim Fahrradfahren spielt das Hebelgesetz eine wichtige Rolle. Diese sollst du an einem der Bauteile

Bremsgriff (M 4), Bremse (M 5), Pedal (M 6) oder Hinterrad (M 7) genauer untersuchen!

#### Aufgaben



Foto: Pixland/Thinkstock

Auf Tour

1. Bildet Dreiergruppen und bearbeitet eines der Materialien M 4, M 5, M 6 oder M 7!
2. Stellt eure Ergebnisse mündlich den anderen Gruppen vor!
3. Bildet neue Dreiergruppen, sodass darin je ein Experte zu jedem Bauteil vertreten ist, und bearbeitet gemeinsam das Material M 8!



### M 3 Das Hebelgesetz am Fahrrad erkunden

„Kraft mal Kraftarm ist gleich Last mal Lastarm!“ Kaum ein anderes physikalisches Gesetz nutzt du in deinem Alltag so häufig wie das Hebelgesetz: beim Öffnen einer Tür, beim Drehen eines Schlüssels, beim Schneiden mit einer Schere u. v. m. Häufig bemerkt man erst auf den zweiten Blick, dass im Hintergrund physikalische Gesetze wirken.



Auch beim Fahrradfahren spielt das Hebelgesetz eine wichtige Rolle. Diese sollst du an einem der Bauteile

Bremsgriff (M 4), Bremse (M 5), Pedal (M 6) oder Hinterrad (M 7) genauer untersuchen!

#### Aufgaben



Foto: Pixland/Thinkstock

Auf Tour

1. Bildet Dreiergruppen und bearbeitet eines der Materialien M 4, M 5, M 6 oder M 7!
2. Stellt eure Ergebnisse mündlich den anderen Gruppen vor!
3. Bildet neue Dreiergruppen, sodass darin je ein Experte zu jedem Bauteil vertreten ist, und bearbeitet gemeinsam das Material M 8!



## M 4 Der Bremsgriff

Beim Bremsen überträgt der Bremsgriff die Kraft  $F_1$  der Hand auf den Bowdenzug (vgl. Abb. 5). Dieser ist mit der Bremse verbunden. Der Bremsgriff gibt die Kraft aber nicht einfach weiter – durch seine Bauform verstärkt er sie auch!

*Schau dir die Schemazeichnung genau an! Bearbeite dann die Aufgaben!*

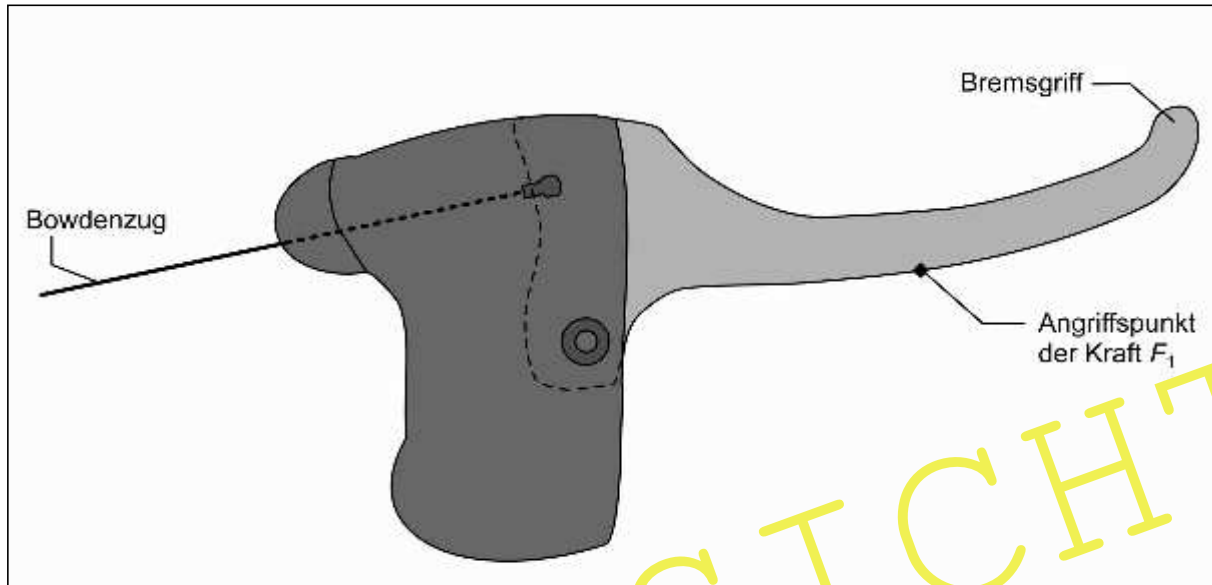


Abb. 5: Schemazeichnung eines Bremsgriffes. Die Kraft  $F_1$  der Hand wird auf den Bowdenzug übertragen.

### Aufgaben

1. Kennzeichne, ausgehend vom gegebenen Angriffspunkt der Kraft,
  - Drehzentrum,
  - Kraftarm und
  - Lastarm!
2. Kreuze an! Beim Bremsgriff handelt es sich um einen ...
  - einseitigen Hebel.
  - zweiseitigen Hebel.
3. Zeichne die Wirkungslinien der Kräfte auf den Bremsgriff und auf den Bowdenzug ein!
4. Miss die Längen von Kraftarm  $\ell_1$  und Lastarm  $\ell_2$  in der Skizze und berechne den Quotienten  $\ell_1/\ell_2$ !
5. Schätze die Kraft  $F_1$  ab, mit welcher der Bremsgriff bei einer Vollbremsung gezogen wird!
6. Berechne die Kraft  $F_2$ , welche bei dieser Vollbremsung über den Bowdenzug auf die Bremse übertragen wird!
7. Zeichne beide Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  unter Verwendung eines geeigneten Maßstabes in die Skizze ein!

## M 5 Die Bremse

Beim Bremsen wird die Kraft der Hand über den Bowdenzug auf die Bremse übertragen und so der Bremsklotz gegen die Felge gedrückt (vgl. Abb. 6). Je größer die Kraft auf die Felge ist, desto schneller kommt das Fahrrad zum Stehen. Die Bremse gibt die Kraft aber nicht einfach weiter – durch ihre Bauform verstärkt sie diese auch!

*Schau dir die Schemazeichnung genau an!  
Bearbeite dann die Aufgaben!*

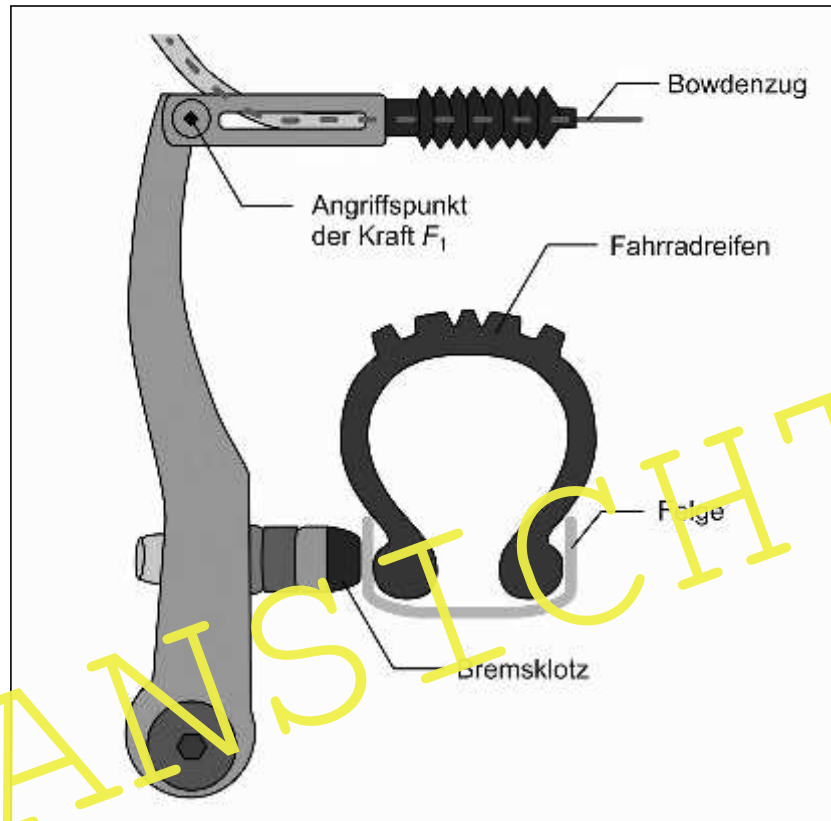


Abb. 6: Schemazeichnung einer Bremse – zu sehen ist nur der linke Teil der Bremse. Die Kraft  $F_1$  wird über den Bowdenzug auf die Bremse und den Bremsklotz übertragen, welcher gegen die Felge gedrückt wird.

### Aufgaben

1. Kennzeichne, ausgehend vom gegebenen Angriffspunkt der Kraft,
  - Drehzentrum,
  - Kraftarm und
  - Lastarm!
2. Kreuze an! Bei der Bremse handelt es sich um einen ...
  - einseitigen Hebel.
  - zweiseitigen Hebel.
3. Zeichne die Wirkungslinien der Kräfte auf die Bremse und auf die Felge ein!
4. Miss die Längen von Kraftarm  $l_1$  und Lastarm  $l_2$  in der Skizze und berechne den Quotienten  $l_1/l_2$ !
5. Beim Bremsen wird z. B. eine Kraft  $F_1 = 180 \text{ N}$  über den Bowdenzug auf die Bremse übertragen. Berechne die Kraft  $F_2$ , mit welcher der Bremsklotz dann auf die Felge drückt!
6. Zeichne beide Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  unter Verwendung eines geeigneten Maßstabes in die Skizze ein!

## M 7 Das Hinterrad

Tritt man in die Pedale, wird die Kraft der Beine über die Kette zunächst auf das Ritzel des Hinterrades weitergeleitet. Diese Kraft  $F_1$  wird über die Speichen auf den Reifen und die Straße übertragen (vgl. Abb. 8). Die Kraft wird aber nicht nur übertragen, sondern durch die Bauform des Ritzels und des Rades auch verringert.

*Schau dir die Schemazeichnung genau an! Bearbeite dann die Aufgaben!*

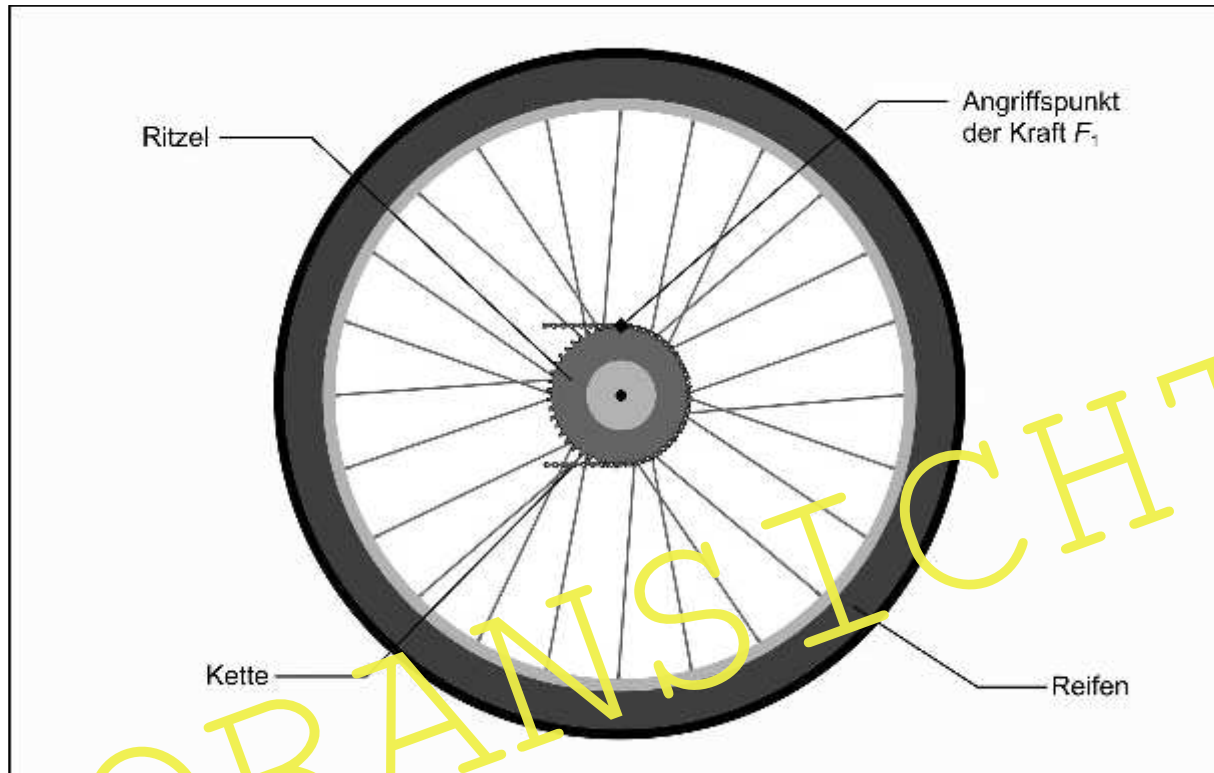


Abb. 8. Schemazeichnung des Hinterrades eines Fahrrades. Über die Kette und das Ritzel wird die Kraft  $F_1$  auf den Reifen und letztlich die Straße übertragen.

### Aufgaben

- Kennzeichne, ausgehend vom gegebenen Angriffspunkt der Kraft,
  - Drehzentrum,
  - Kraftarm und
  - Lastarm!
- Kreuze an! Beim Hinterrad handelt es sich um einen ...
  - einseitigen Hebel.       zweiseitigen Hebel.
- Zeichne die Wirkungslinien der Kräfte auf den Reifen und auf die Kette ein!
- Miss die Längen von Kraftarm  $l_1$  und Lastarm  $l_2$  in der Skizze und berechne den Quotienten  $l_1/l_2$ !
- Durch die Kette wirkt auf die Zähne des hinteren Ritzels eine Kraft von 900 N. Berechne die Kraft  $F_2$ , welche über den Reifen auf die Straße übertragen wird!
- Zeichne beide Kräfte  $F_1$  und  $F_2$  unter Verwendung eines geeigneten Maßstabes in die Skizze ein!

## Erläuterungen und Lösungen

### M 1 Das Hebelgesetz – frische dein Wissen auf!

1. Arm des Hebels ungleich Hebelarm:

- Balkenwaagen verfügen oft über geschwungene Hebelarme.
- Schlüsselreiden, besonders von großen und alten Schlüsseln, sind oft kunstvoll geformt.
- Schwengelpumpen (z. B. auf Spielplätzen) haben oft einen schön geschwungenen Hebel.

2. Gewinkelte Hebel

- Verbandsschere
- Sackkarre
- Spitzhacke (Pickel)
- Rohrzange

### M 2 Übersichtsfolie „Hebel am Fahrrad“

■ Die Folie ist dreigeteilt. Anhand der Abbildung des Fahrrades im oberen Bereich können Sie gemeinsam mit Ihren Schülern Hebel am Fahrrad sammeln (Brainstorming). Im mittleren Bereich sind einige davon beschriftet. Die Hebel Bremsgriff, Bremse, Pedal – Kettenblatt, Ritzel – Reifen werden in den Materialien **M 4** bis **M 7** ausführlich besprochen.

Im unteren Bereich ist ein Fahrradschlüssel aus zwei Blickwinkeln dargestellt: von der Seite und von vorne. Auf diese Weise können Sie das Hebelgesetz noch einmal wiederholen. Der Schlüsselgriff (auch Schlüsselreide genannt) ist der Kraftarm, der Schlüsselbart der Lastarm. Da der äußerste Punkt des Griffs ca. 3,5-mal so weit von der Drehachse entfernt ist wie jener des Bartes, ist die Kraft, die man am Griff aufbringen muss, um etwa den Faktor 3,5 kleiner.

### M 3 Das Hebelgesetz am Fahrrad erkunden

Ihre Schüler bearbeiten in Gruppen je einen Hebel am Fahrrad und präsentieren die Ergebnisse anschließend vor der Klasse. Kopieren Sie hierfür jeder Gruppe den entsprechenden Hebel auf Folie. Kopiervorlagen als PDF-Datei und als JPG-Datei für den Einsatz am interaktiven Whiteboard finden Sie auf der **CD-ROM 49**.

Für die Präsentation sollten die Schüler folgende Informationen mit in die Skizze eintragen:

- Art des Hebels (ein-, zweiseitig, gewinkelt etc.)
- Position des Drehzentrums
- Kraft- und Lastarm (auch deren Länge)
- Wirkungslinie der Kräfte
- Kraftpfeile (dabei auf Verhältnis der Pfeillängen achten!)

#### Tipp

Kombinieren Sie die Gruppenarbeit (**M 3** bis **M 7**) mit dem **Versuch 2** des Materials **M 10**, d. h., Ihre Schüler bearbeiten einen Hebel ausführlich und führen an diesem auch gleich die Messungen der Kräfte durch.