

Technik - Geschichte

## Wie hoben Römer und Griechen schwere Lasten?

*Die SchülerInnen erforschen, wie mit Hilfe des Flaschenzug-Prinzips schwere Lasten mit geringem Kraftaufwand schon in der Antike gehoben werden konnten.*

**Zyklus:** 3-4

**Dauer:** 50 Minuten

### Benötigtes Material:

- Dünner Nylonfaden
- Besenstiel
- Stoffbeutel
- 1-2 schwere Bücher (dienen als Gewicht)



Das aufgelistete Material reicht für ein einzelnes Experiment. Je nach Vorgehensweise (SchülerInnenanzahl, Einzel- oder Gruppenarbeit, o.ä.) musst Du die angegebenen Mengen anpassen.

### Sicherheitshinweise

Dieses Experiment ist ungefährlich.

### Praktische Tipps

Die Stiele und das Seil sollten eine glatte Oberfläche haben.

Hast Du praktische Tipps, kannst Du uns [hier](#) kontaktieren.

### Ablauf

Um Dich mit dem Ablauf und dem Material vertraut zu machen, ist es wichtig, dass Du das Experiment im Vorfeld einmal durchführst.

Möchtest Du die SchülerInnen das Experiment dokumentieren lassen? Am Ende dieses Artikels (über der Infobox) findest Du ein Forschertagebuch (PDF mit zwei A4 Seiten), welches deine SchülerInnen hierfür nutzen können.

#### **Schritt 1: Stell eine Frage und formuliert Hypothesen**

Die Frage, die Ihr euch in dieser Einheit stellt, lautet:

Wie hoben Römer schwere Lasten?

Zeige den SchülerInnen Bilder bekannter Bauwerke aus der Antike, wie z. B. die Akropolis oder das Kolosseum. Zeige ihnen auch Nahaufnahmen von Säulen, auf denen man gut erkennen kann, dass diese aus einzelnen riesigen, aufeinandergestapelten Steinen bestehen. Aus welcher Zeit stammen diese Bauwerke? Aus welchen Gründen werden diese Bauwerke heute noch bestaunt? Können die Schüler sich vorstellen wie die Menschen damals diese Gebäude

errichtet haben? Mit welchen Mitteln haben sie gearbeitet, um die schweren Steine aufeinanderzuschichten? Halte die Hypothesen an der Tafel fest. Die richtige Antwort zu finden ist hier nebensächlich. Es geht vielmehr darum Ideen zu entwickeln und herauszufinden, was die SchülerInnen bereits wissen.



Antike Tempelruine im archäologischen Park von Paestum und Velia in Süditalien. Foto: FNR

### **Schritt 2: Führt das Experiment durch**

Um herauszufinden, wie man mit geringem Kraftaufwand schwere Lasten in Bewegung bringen kann, lernen die SchülerInnen bei dem folgenden Experiment das Prinzip des Flaschenzugs kennen. Gehe folgende Schritte gemeinsam mit den Schülerinnen durch, aber lasse sie das Experiment selbst durchführen:

- 1) Lege den Besenstiel zwischen 2 Tische, so, dass eine Brücke entsteht.
- 2) Lege das Gewicht (die Wörterbücher) in den Stoffbeutel.
- 3) Befestige nun ein Fadenende am Stoffbeutel und lege den Faden über den Besen.
- 4) Ziehe am freien Ende, bis du den Beutel mitsamt Gewicht hochhebst.
- 5) Löse nun wieder den Knoten am Beutel und befestige das Fadenende mit Hilfe eines neuen Knotens am Stiel.
- 6) Fahre mit dem Faden durch die Tragelassen des Beutels, dann wieder hoch und über den Besenstiel und lasse das Fadenende frei hängen.
- 7) Ziehe am freien Fadenende, bis du den Stoffbeutel mitsamt Gewicht hochhebst.
- 8) Wiederhole Schritte 6, 7 und 8. Pass auf, dass der Faden sich nicht kreuzt.
- 9) Wiederhole nun noch mal Schritte 6, 7 und 8.





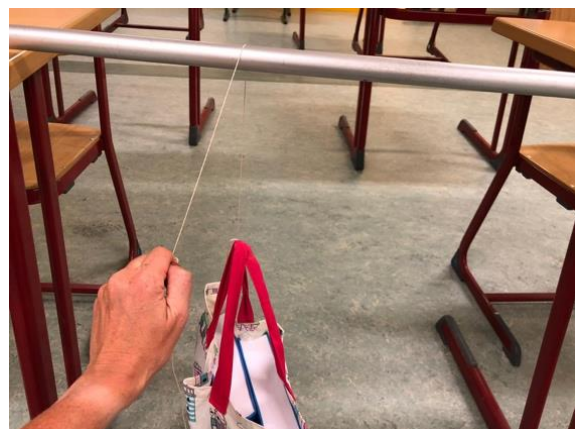
1) Lege den Besenstiel zwischen zwei Tische.



2) Lege das Gewicht in den Stoffbeutel.



3) Befestige nun ein Fadenende am Stoffbeutel und lege den Faden über den Besen.



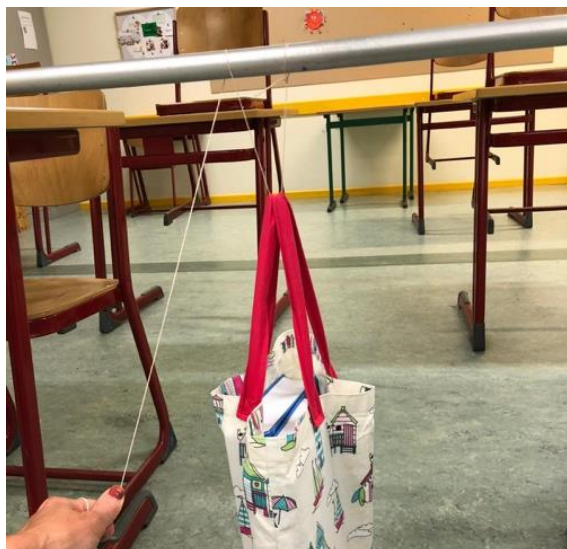
4) Ziehe am freien Ende und hebe das Gewicht hoch.



5) Befestige das Fadenende am Stiel.



6) Fahre mit dem Faden durch die Tragelassen, dann wieder hoch und über den Besen.



7) Ziehe den Beutel hoch.



8) Wiederhole Schritte 6, 7 und 8. Pass auf, dass der Faden sich nicht kreuzt.

### Schritt 3: Beobachtet was passiert

Lasse die SchülerInnen nach jedem Hochheben berichten, was sie beobachtet haben. Wie verändert sich die Kraft von Mal zu Mal, die man anwenden muss, um das Gewicht hochzuziehen? Wie sieht es mit der Seillänge aus, die Du zu dir ziehen musst, um das Gewicht dieselbe Strecke anzuheben?

Sind diese Veränderungen konstant?

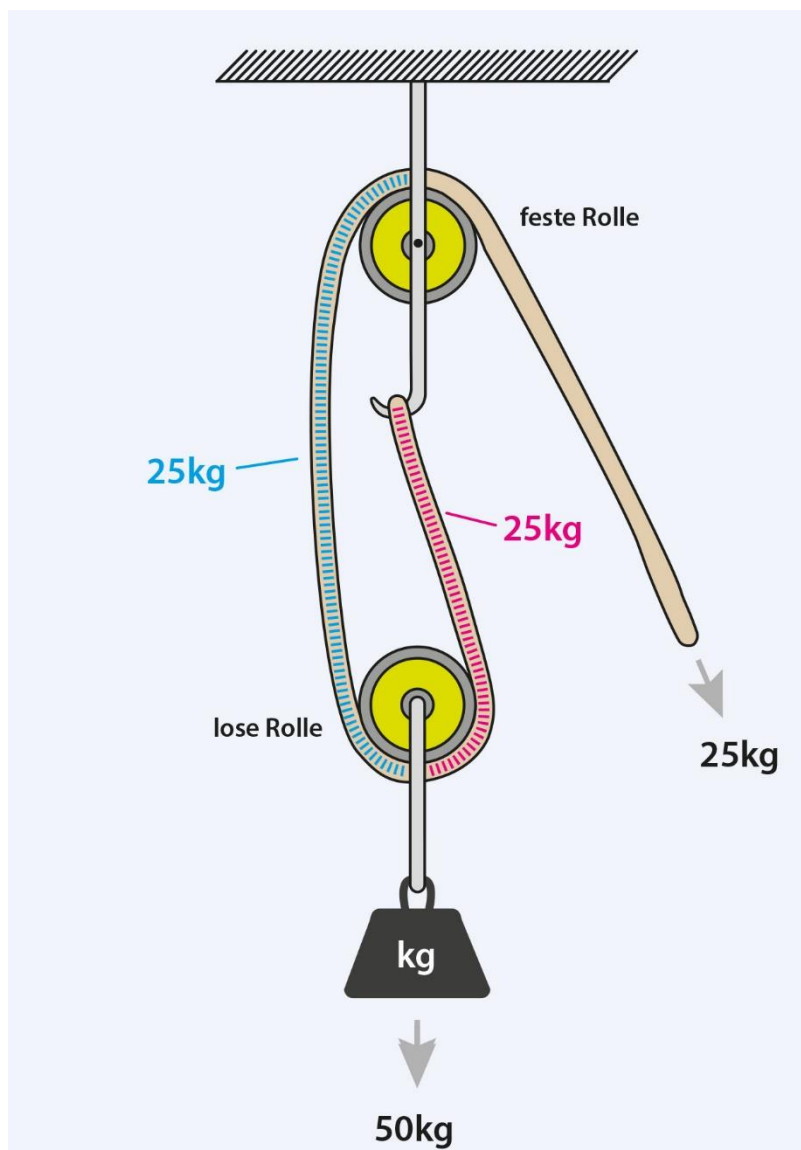
Die SchülerInnen werden feststellen, dass der Kraftaufwand von Versuch zu Versuch geringer wird. Je öfter der Faden den Stiel und die Tragelassen umfasst, desto „leichter“ erscheint die Last. Natürlich wird von Mal zu Mal ein längerer Faden benötigt.

Allerdings wird ihnen auch auffallen, dass nach mehreren Umdrehungen der Unterschied nicht mehr so groß wirkt.

### Schritt 4: Erklärt das Ergebnis

In unserem Experiment besteht der Flaschenzug aus Besenstiel und Tragelassen. Normalerweise werden hier aber Rollen benutzt. Dabei unterscheidet man zwischen festen Rollen (Umlenkrollen) (*Besenstiel*) und losen Rollen (*Tragelassen*). An letzteren hängt das Gewicht. Ein Seil wird unterhalb der festen Rolle angebracht, führt dann nach unten über die lose Rolle und von da aus wieder nach oben über die feste Rolle. Will man das Gewicht hochheben, wird die Kraft, die man ohne Flaschenzug anwenden müsste, auf zwei Seilstücke aufgeteilt und somit halbiert. Eigentlich kann man die Anzahl der Rollen beliebig erweitern. Hier gilt die Regel, dass die Kraft, die man zum Aufheben anwenden muss, durch die Anzahl der tragenden Seilstücke geteilt wird. Bei unserem Experiment kann man diese Regel aber nicht ganz bestätigen: es entsteht viel Reibung beim Ziehen des Fadens durch die Laschen und über den Stiel. Deshalb scheint es auch so, dass nach mehreren Umdrehungen der Unterschied beim Aufheben nicht mehr so groß ist.

Ein anderes Merkmal des Flasenzugs ist, dass die Seillänge, die man zum Aufheben eines Gewichtes braucht, mit der Anzahl der Rollen ansteigt. (Goldene Regel der Mechanik: Was man an Kraft spart, muss man an Weg zusetzen, *Galileo Galilei*).



Eine detailliertere Erklärung und weitere Infos findest Du in der **Infobox**.

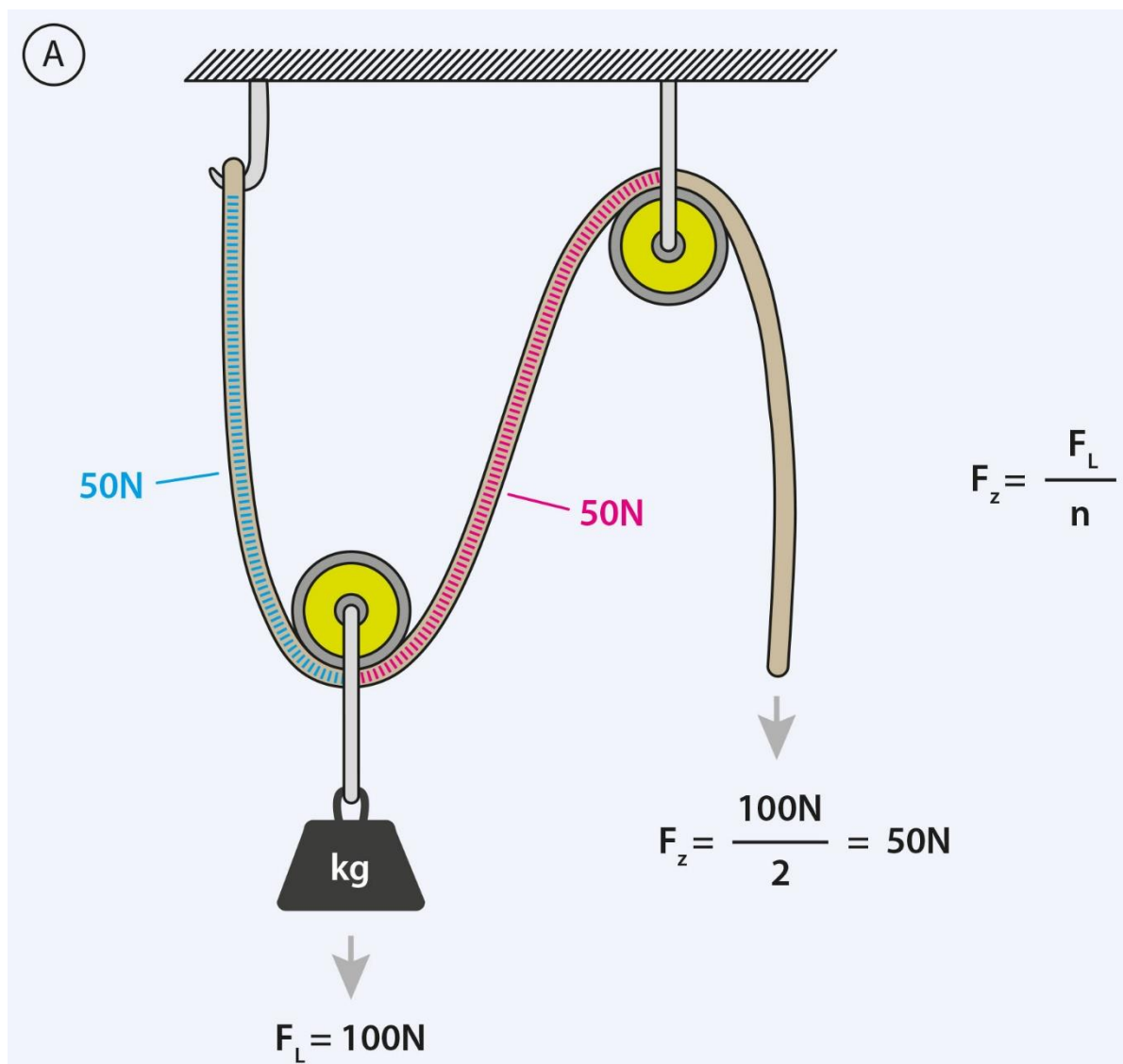
Anmerkung: Du musst als LehrerIn nicht alle Antworten und Erklärungen bereits kennen. Es geht in dieser Rubrik „Ideen für den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Grundschule“ vielmehr darum den SchülerInnen die wissenschaftliche Methode (Frage - Hypothese - Experiment - Beobachtung/Fazit) näher zu bringen, damit sie lernen diese selbstständig anzuwenden. Ihr könnt die Antwort(en)/Erklärung(en) in einem weiteren Schritt gemeinsam in Büchern, im Internet oder durch Experten-Befragung erarbeiten.



Oft werfen das Experiment und die Beobachtung (Schritt 2 & 3) neue Fragen auf. Nimm Dir die Zeit auf diese Fragen einzugehen und Schritt 2 und 3 mit Hinblick auf die neugewonnenen Erkenntnisse und mit anderen Variablen zu wiederholen.

### Hintergrundwissen

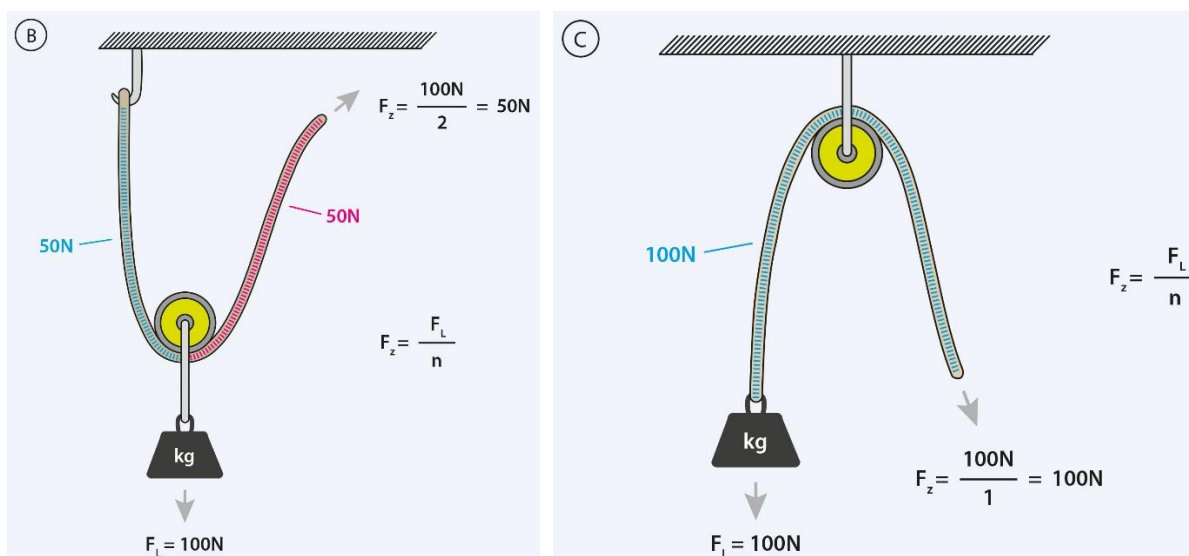
Ein einfacher Flaschenzug besteht aus einem Seil mit einem befestigten Ende, einer losen Rolle, an der das Gewicht hängt und einer festen Rolle. Die Halterung der festen Rolle wird als Flasche bezeichnet. Vom befestigten Ende ausgehend, wird das Seil unter der losen Rolle mit dem Gewicht entlanggeführt und dann nach oben über die feste Rolle gelegt (Abbildung A). Am anderen Ende des Seils kann nun nach unten gezogen werden, um das Gewicht an der losen Rolle anzuheben. Im einfachsten Fall - eine lose Rolle und eine feste Rolle - wird die Kraft, die für das zu hebende Gewicht aufgewendet werden muss, halbiert. Abbildung A entspricht den Schritten 5-7 in dem Experiment, das die SchülerInnen durchführen. Das feste Ende des Seils (am Besenstiel) wird über eine lose Rolle (die Schlaufen des Beutels) geführt und dann über eine feste Rolle (der Besenstiel) gelegt. Das Seil wird dann nach unten gezogen.



Das Prinzip eines Flasenzuges basiert auf der Gewichtsverteilung über die tragenden Seilabschnitte. Im grade beschriebenen Fall sind dies die zwei Seilabschnitte, in deren Schlaufe die lose Rolle liegt. Der Seilabschnitt, an dem gezogen wird, ist selbst nicht tragend. Auf ihn wird über die feste Rolle das Gewicht übertragen, das auf dem davorliegenden Seilabschnitt (zwischen loser und fester Rolle) liegt.

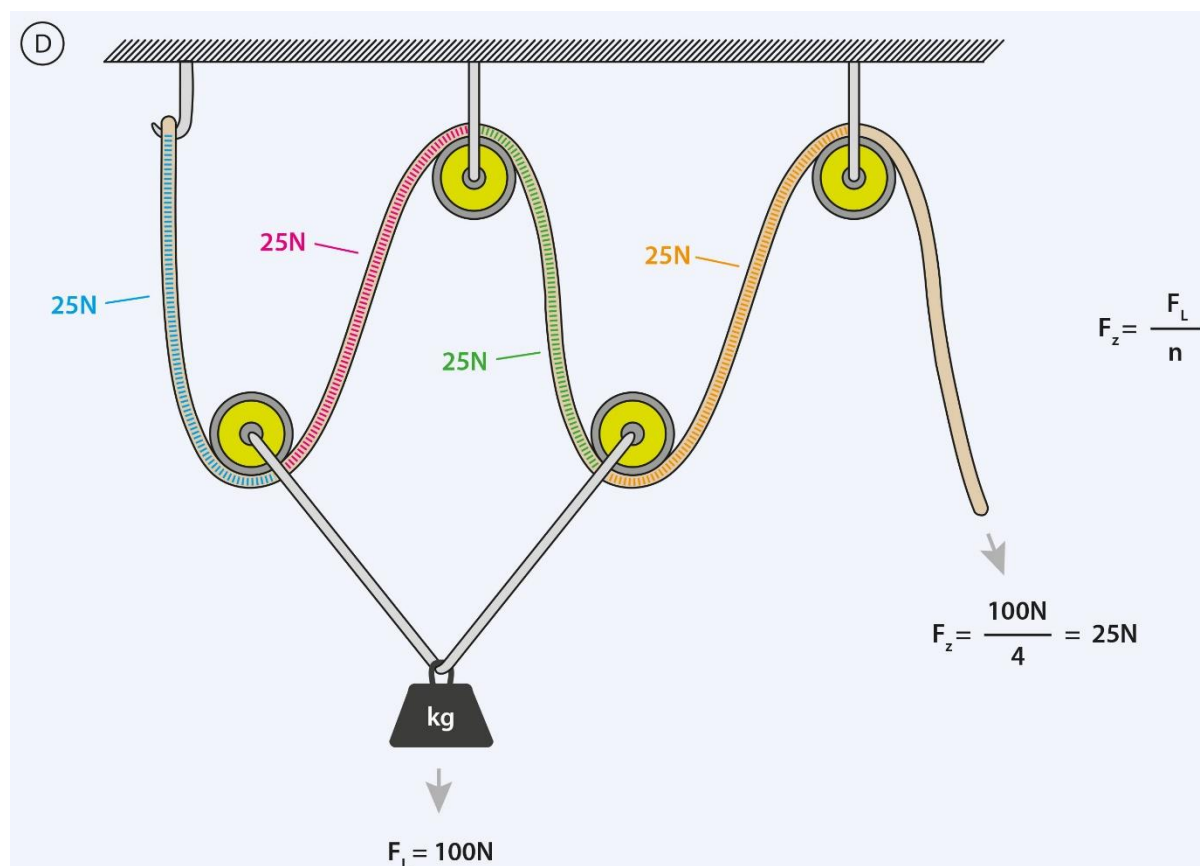
Beträgt die Gewichtskraft ( $F_L$ ) eines Gewichtes 100 Newton, muss bei der Verteilung der Gewichtskraft auf zwei tragende Seilabschnitte ( $n=2$ ) eine Zugkraft ( $F_Z$ ) von 50 Newton aufgebracht werden, um das Gewicht zu heben. Newton ist die Einheit für die physikalische Größe Kraft. Ein Newton muss aufgebracht werden, um einen Körper mit der Masse 1kg in einer Sekunde auf die Geschwindigkeit 1 Meter pro Sekunde zu bringen. Für Flasenzüge gilt:  $F_Z = F_L / n$ .

Derselbe Effekt kann auch ohne feste Rolle erreicht werden (Abbildung B). Wird das Seil oben befestigt und unten um eine lose Rolle geführt (an der das Gewicht befestigt ist) und dann nach oben gezogen, muss auch nur die halbe Kraft aufgewendet werden. Der Seilabschnitt, an dem gezogen wird, ist in diesem Fall selbst ein tragender Seilabschnitt. Wird allerdings die lose Rolle weggelassen und das Gewicht befindet sich am Ende eines Seiles, das über eine oben befestigte, feste Rolle geführt wird, muss der letzte Seilabschnitt nach unten gezogen werden (Abbildung C). Um das Gewicht zu heben, muss die volle Kraft aufgewendet werden. Am tragenden Seilabschnitt vor der festen Rolle befindet sich das gesamte Gewicht und die aufzuwendende Kraft wird über die feste Rolle auf den Seilabschnitt übertragen, an dem gezogen wird ( $F_Z = F_L$ ).



Wird der erste Aufbau verdoppelt, lastet die Gewichtskraft auf insgesamt vier Seilteilen und die aufzuwendende Kraft halbiert sich ein weiteres Mal, wird also geviertelt (Abbildung D). Das Gewicht ist nun an zwei losen Rollen befestigt, die in Seilschlaufen liegen und das Seil wird über zwei feste Rollen geführt. Die Gewichtskraft verteilt sich über: den Abschnitt zwischen der Seilbefestigung und der ersten losen Rolle, den Abschnitt zwischen der ersten losen Rolle und der ersten festen Rolle, den Abschnitt zwischen der ersten festen Rolle und der zweiten losen Rolle und dem Abschnitt zwischen der zweiten losen Rolle und der zweiten festen Rolle. Die benötigte Zugkraft, die auf den letzten Seilabschnitt aufgewendet werden muss, um das Gewicht anzuheben beträgt:  $F_Z = F_L / n$  (im Beispiel mit einer

Gewichtskraft von 100 Newton:  $25 = 100/4$ ). Schritt 8 des Experimentes, das die SchülerInnen durchführen, entspricht in etwa diesem Fall. Das Seil wurde - ausgehend vom befestigten Ende - erst an einer losen Rolle (den Schlaufen des Beutels) entlanggeführt, dann über eine feste Rolle (den Besenstiel), dann wieder an der losen Rolle (den Schlaufen des Beutels) und schließlich ein weiteres Mal über eine feste Rolle (den Besenstiel).



Die sogenannte Goldene Regel der Mechanik besagt, dass bei Flaschenzügen die gesparte Kraft als Weg zugesetzt werden muss. Damit ist gemeint, dass das Seil umso weitergezogen werden muss, je stärker das Gewicht reduziert wurde. Verteilt sich das Gewicht auf zwei tragende Seile, verdoppelt sich die Strecke um die das Seil gezogen werden muss, um das Gewicht auf dieselbe Höhe zu bringen, wie ohne Flaschenzug (Abbildung C). Ist die aufzuwendende Kraft nur ein Viertel so viel, ist die Strecke viermal so lang. Galileo Galilei formulierte die Goldene Regel der Mechanik 1594.

Bei Rollenkombinationen werden die Rollen in der Regel nicht nebeneinander, sondern hintereinander befestigt, so dass die einzelnen Seilabschnitte parallel verlaufen. Flaschenzüge werden beispielsweise bei Kränen verwendet. Eine Variante des Aufbaus wie in Abbildung A (Gewicht und loses Seilende befinden sich unten) kann für die Selbstrettung am Berg verwendet werden. Der zu Rettende ist allerdings auf ein weiter oben befestigtes Seil, das zu ihm herabhängt, angewiesen. An diesem kann er sich mit einem zweiten Seil und einfachen Karabinerhaken selbst hochziehen. Die Karabinerhaken ersetzen in diesem Fall die losen und festen Rollen.



*Autoren: Olivier Rodesch (script), Marianne Schummer (script), Michèle Weber (FNR), scienceRelations (Insa Gülzow)*  
*Konzept: Jean-Paul Bertemes (FNR), Michelle Schaltz (FNR); Joseph Rodesch (FNR), Yves Lahur (script)*