

Mechanik

## Flaschenzug

Dirk Fox

*Das Problem kennt ihr zweifellos auch: Ein Motor soll eine Last hochziehen – aber nichts tut sich, weil er zu „schwach auf der Brust“ ist. Was tun? Da lohnt ein Blick in die Technikgeschichte – denn für dieses Problem hatten schon unsere Vorfahren vor über 2.500 Jahren eine wirksame mechanische Lösung.*

Die Entwicklung einer Mechanik, mit der es gelang, die Kraftwirkung zu vergrößern, war eine der wichtigsten Entdeckungen in einer Zeit, in der als Kraftquelle nur die Muskelkraft von Tieren oder Menschen zur Verfügung stand. Neben dem Hebelgesetz, das bereits in der Antike von dem griechischen Mathematiker und Physiker [Archimedes von Syrakus](#) (287-212 v. Chr.) aufgestellt wurde und die Grundlage der Mechanik bildet, war es vor allem die Erfindung des Flaschenzugs, die insbesondere die Bautechnik revolutionierte. Mit dessen Hilfe gelangen vor allem in der Renaissance architektonische Meisterleistungen, die noch heute beeindruckend sind.

Die Funktion eines Flaschenzugs – dessen Bezeichnung übrigens nichts mit Gefäßen für Flüssigkeiten zu tun hat, sondern von den Rollenhalterungen stammt, die dieselbe Bezeichnung trugen – ist schnell erklärt.

Die für eine bestimmte Hubarbeit – das Anheben eines bestimmten Gewichts um eine definierte Höhe – erforderliche Kraft lässt sich über die Länge des zu überwindenden „Hubweges“ steuern, da die Hubarbeit sich als Produkt aus Kraft und Weg bestimmt: Mit einem längeren Hubweg benötigt man weniger Kraft für dieselbe Hubarbeit. Ein Flaschenzug verlängert nun künstlich den Hubweg, genauer: die Länge des für die Leistung der Hub-

arbeit aufzuwickelnden Zugseils. Damit ist weniger Kraft für die Hubarbeit erforderlich. Der Preis, den man für diese „Kraftverstärkung“ zahlt: man muss länger ziehen oder kurbeln.

### Faktorenflaschenzug

Wenn wir heute von einem Flaschenzug sprechen, meinen wir in der Regel einen Faktorenflaschenzug, der die Seillänge durch „Schlingen“ künstlich verlängert.



*Abb. 1: Flaschenzug (aus: Brockhaus' Kleines Konversations-Lexikon, 5. Aufl., Bd. 1, S. 587)*

Schon ein einfacher Flaschenzug mit einer Schlinge verdoppelt die Länge des Zugseils und halbiert damit die benötigte Kraft: Ein Mensch, der maximal 50 kg

bewegen kann, kann mit einem solchen Flaschenzug bis zu 100 kg Last anheben.

In der Antike wurden Flaschenzüge von Griechen und Römern in einfachen Kränen eingesetzt. Der römische Ingenieur [Marcus Vitruvius Pollo](#) (ca. 80-15 v. Chr.) beschrieb den zu seiner Zeit verbreiteten *Trispastos*, einen einfachen Kran mit Drei-Rollen-Flaschenzug, der die Kraft des Bedieners mit einem zusätzlichen Hebel insgesamt etwa verzwölffachte (Abb. 2).

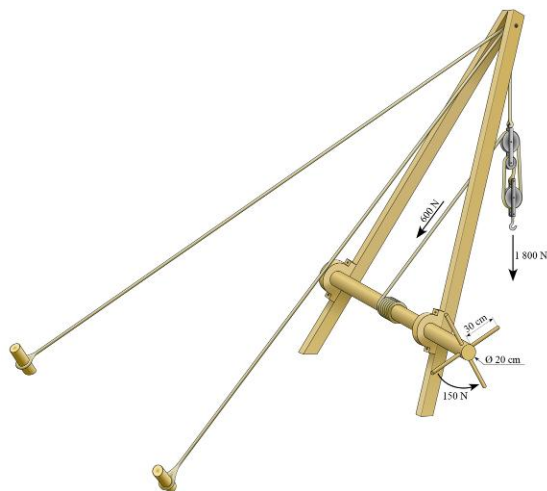


Abb. 2: Römischer Trispastos  
(Quelle: Eric Gaba, Wikipedia [1])

Solche Flaschenzüge waren wahrscheinlich schon seit etwa 750 v. Chr. bekannt und kamen auf Baustellen und im Theater zum Einsatz. Dabei sorgte der einfache Flaschenzug für eine Verdreifung der Kraftwirkung; der Hebel an der Winde bewirkte eine zusätzliche Vervielfachung der Kraft des Bedieners.



Abb. 3: fischertechnik-Modell eines Trispastos

Die beeindruckende Wirkung eines solchen „Kraftverstärkers“ lässt sich durch einen [Nachbau des Trispastos in fischertechnik](#) demonstrieren. Abb. 3 zeigt ein Modell, das etwa denselben Verstärkungsfaktor besitzt. Problemlos kann diese einfache Konstruktion eine mit kurzen Gewindestangen gefüllte Kiste hochziehen. Die Kräfteinsparung lässt sich mit weiteren ‚Schlingen‘ verstärken: Die für die Hubarbeit benötigte Kraft  $F_Z$  sinkt bei  $n$  Seilwegen auf ein  $n$ -tel der Gewichtskraft der Last  $F_L$ :

$$F_Z = \frac{F_L}{n} \quad (1)$$

Daher liegt es nahe, die von einem Kran oder einer Seilwinde leistbare Hubarbeit zu vergrößern, indem man den Flaschenzug um weitere Rollen ergänzt.

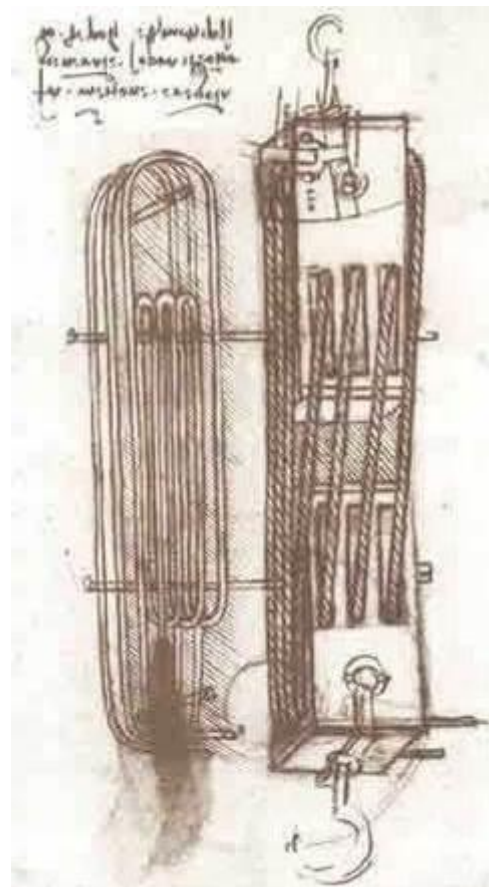


Abb. 4: Flaschenzug von Leonardo Da Vinci

Dafür gibt es im Wesentlichen zwei Ansätze: die Anordnung der Rollen nebenein-

ander (horizontal) und die Anordnung übereinander (vertikal). Mit letzterer lässt sich der Flaschenzug schlanker realisieren; dafür reduziert sich konstruktionsbedingt die maximale Hubhöhe, da ein Teil für die vertikale Anordnung der Rollen benötigt wird. Eine kompakte Konstruktion eines sowohl horizontalen als auch vertikalen Flaschenzugs mit 12 Rollen, bei der die Rollen sowohl nebeneinander als auch übereinander angeordnet sind, ist von dem Universalgenie der Renaissance, [Leonardo Da Vinci](#) (1452-1519) überliefert (Abb. 4).

Flaschenzüge aus fischertechnik finden sich schon in der Anleitung zum [Grundkasten](#) (S. 20) aus dem Jahr 1966 (Abb. 5).

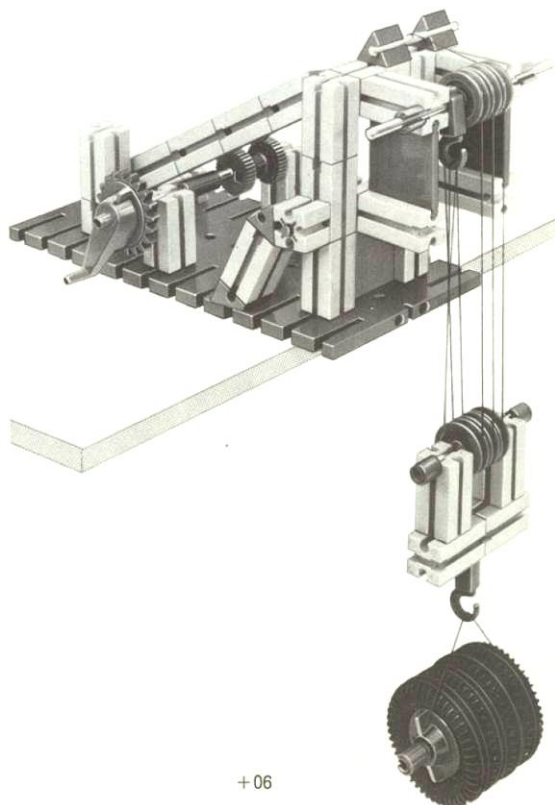


Abb. 5: ft-Flaschenzug von 1966  
(aus: *Bauanleitung Grundkasten*)

Im hobby1 Band 1 wurde dem Flaschenzug 1972 ein eigenes Kapitel gewidmet [2]. Wirken die ersten Flaschenzüge noch etwas plump und eher wie grobe Funktionsmodelle, gelingt unter Verwendung von Statik-Komponenten wie z. B. den S-Laschen ([36327](#)) eine deutlich elegantere

Konstruktion (linke Variante in Abb. 6) – zu finden z. B. in der Anleitung zum [Aufbau-Statikkasten 50S/3](#) aus dem Jahr 1975. Auch die Kreuzknotenplatten ([36322](#)) aus den frühen Statikkästen von 1970 erlauben eine ansprechende Konstruktion wie die zweite Variante von rechts in Abb. 6, zu finden z. B. in [3] (S. 18, 20, 49).

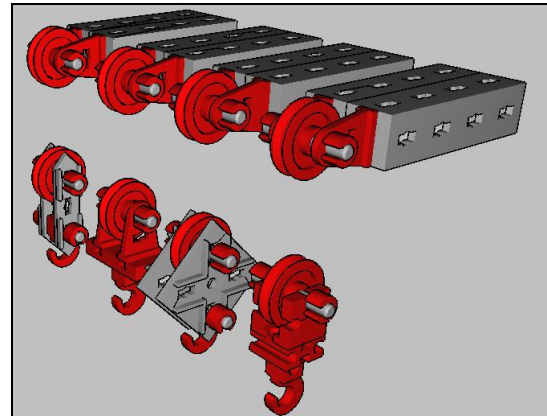


Abb. 6: Konstruktionsvarianten einfacher fischertechnik-Flaschenzüge

Das Rollenlager ([37636](#)) aus dem [Modellkasten Starlifters](#) von 1990 eignet sich ebenfalls zur Konstruktion eines Flaschenzugs, siehe die rechte Variante in Abb. 6.

Dasselbe gilt für die Kupplungsstücke ([38253](#)) aus dem Universal-Baukasten von 1997, verwendet in der zweiten Variante von links in Abb. 6; siehe auch die [Bauanleitung des Universal-Baukastens](#) (Abb. 7).

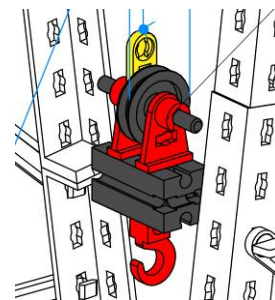


Abb. 7: Flaschenzug  
(aus: *Bauanleitung Universal-Baukasten*)

Bei allen Varianten wird das Seilende jeweils mit einer der Klemmbuchsen an der oberen Achse befestigt, über die untere Rolle geführt und von dort über die obere Umlenkrolle zu einer Seilwinde.

Will man mehr als eine Verdoppelung der Kraftwirkung erreichen, benötigt man einen Flaschenzug mit weiteren Führungsrollen. Auch mit fischertechnik lassen sich die zusätzlichen Rollen sowohl vertikal als auch horizontal anordnen. Abb. 8 zeigt vier Realisierungsalternativen für  $n$ -fache Flaschenzüge.

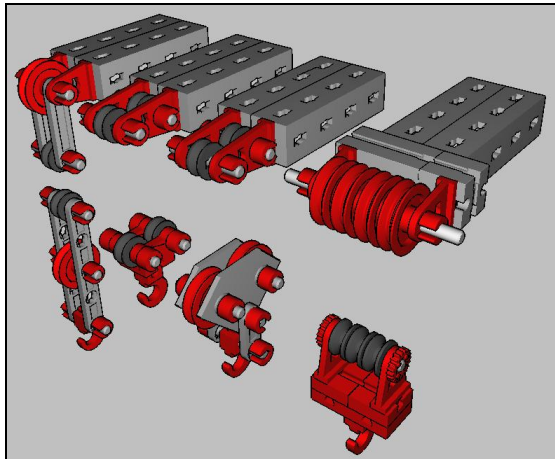


Abb. 8: Realisierungsalternativen für  $n$ -fache Flaschenzüge

Die drei linken Varianten sind auf jeweils vier Rollen beschränkt; damit lässt sich die Kraftwirkung vervierfachen. In der Anleitung zum [Teleskop-Mobilkran](#) von 1983 (S. 45) findet sich eine vertikale Konstruktion.



Abb. 9: 7-facher Flaschenzug (aus: Abenteuer-Bau-Buch [4])

Ein Flaschenzug mit horizontal angeordneten Rollen wird im hobby2 Band 4 (S. 10) vorgestellt. Er verwendet Statikstreben, um Haken und Rollenachse miteinander zu

verbinden [3]. Die rechte Variante in Abb. 8 erreicht eine Verachtfachung der Kraftwirkung; sie kann zudem leicht um weitere Führungsrollen erweitert werden. Sie findet sich z. B. im [Abenteuer-Bau-Buch](#) (S. 50 ff.) aus dem Jahr 1985 [4] (Abb. 9).

### Potenzflaschenzug

Eine andere Flaschenzugkonstruktion ist der Potenzflaschenzug (Abb. 10). Dabei wird mit jeder zusätzlichen Rolle ein weiteres Zugseil eingeführt und damit die erforderliche Kraft halbiert.

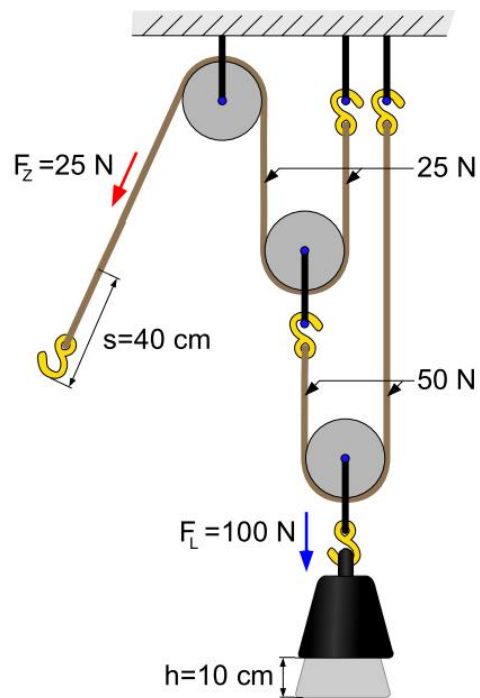


Abb. 10: Potenzflaschenzug (Quelle: Wikipedia [1])

Die für die Hubarbeit erforderliche Zugkraft liegt bei  $n$  ‚losen‘ Rollen also bei einem  $2^n$ -tel der Gewichtskraft der Last:

$$F_z = \frac{F_L}{2^n} \quad (2)$$

Die Wirkung ist größer als bei einem Faktorenflaschenzug: mit fünf losen Rollen erreicht man eine Verstärkung von 32. Dennoch findet man diesen Flaschenzug-Typ eher selten.

## Differenzialflaschenzug

Ein dritter Flaschenzug-Typ ist der Differenzialflaschenzug. Er besteht aus zwei auf einer Achse fest miteinander verbundenen Rollen mit unterschiedlichem Radius und einer dritten, losen Rolle. Die Seilführung erfolgt wie bei einem Faktorenflaschenzug, allerdings werden die Seilenden miteinander verbunden (Abb. 11).

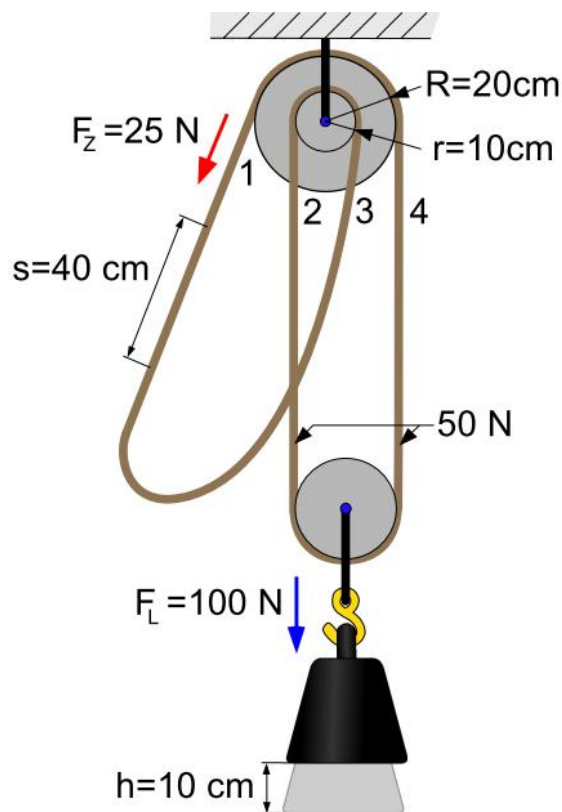


Abb. 11: Differenzialflaschenzug  
(Quelle: Wikipedia [1])

Die Kraftverstärkung berechnet sich hier aus der Differenz der Radien der beiden Rollen. Denn während über die kleinere Rolle mit Radius  $r$  je Umdrehung eine Seillänge von  $2\pi \cdot r$  abrollt, verkürzt sich die Seilschlinge zugleich um die an der großen Rolle mit Radius  $R$  aufgerollte Seillänge  $2\pi \cdot R$ . Die erforderliche Zugkraft berechnet sich daher aus der Last mit:

$$F_Z = \frac{F_L \cdot (R - r)}{2 \cdot R} \quad (3)$$

Ist der Radius  $R$  wie in Abb. 11 doppelt so groß wie  $r$ , genügt ein Viertel der Kraft für die nötige Hubarbeit. Da der Seilzug auf den Rollen nicht durchrutschen darf, werden meist eine Kette statt des Seils und statt der Rollen Zahnräder verwendet. Ein fischertechnik-Modell eines Differenzialflaschenzugs mit Kette findet sich in hobby2 Band 4 auf S. 19 [3] (Abb. 12).



Abb. 12: Differenzialflaschenzug  
(aus: hobby2 Band 4 [3])

Nach demselben Prinzip arbeitet die **Differenzialwinde**. Sie kommt allerdings ohne Rollen (bzw. Zahnräder) aus. Stattdessen verwendet sie zwei Winden mit unterschiedlichem Durchmesser, auf denen die beiden Enden des Zugseils in einander entgegengesetzter Richtung aufgewickelt

sind. Beim Drehen wird das eine Ende des Zugseils auf einer der Winden ab- und das andere auf der anderen Winde aufgewickelt – wegen des unterschiedlichen Durchmessers mit unterschiedlichen Seillängen (Abb. 13).

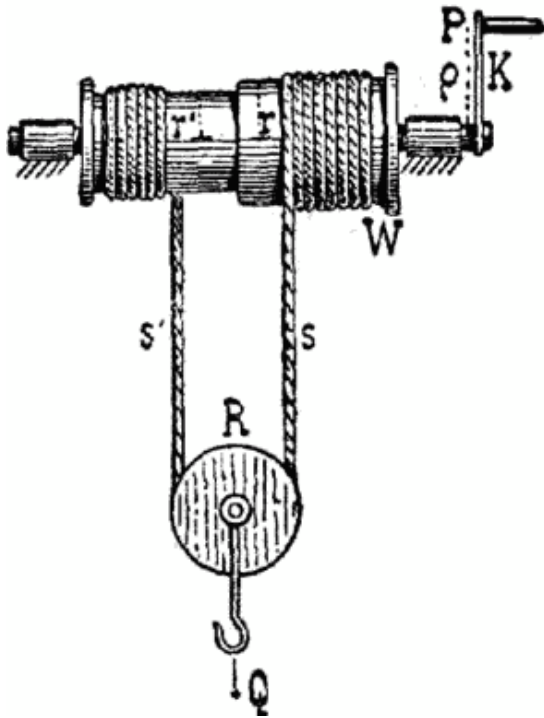


Abb. 13: Prinzip der Differentialwinde



Abb. 14: Differentialwinde  
(aus: hobby2 Band 4 [3])

Das Verhältnis der Zugkraft zur Gewichtskraft der Last berechnet sich wie in Formel (3) für den Differenzialflaschenzug. Ein Konstruktionsbeispiel für eine solche Differenzialwinde findet sich z. B. im hobby2 Band 4, S. 18 (Abb. 14).

Das Prinzip der Differentialwinde wird auch für eine ebenfalls bereits in antiken Kränen verwendeten, heute als **Wellrad** bezeichneten Konstruktion genutzt. Dabei werden zwei Räder mit unterschiedlichem Durchmesser auf derselben Achse montiert. Um das größere Rad wird ein langes Zugseil gewickelt, um das kleinere das die Last haltende Seil bspw. eines Krans. Die Verstärkung der Zugkraft berechnet sich hier unmittelbar aus dem Verhältnis der beiden Winden-Radien zueinander:

$$F_z = \frac{F_L \cdot r}{R} \quad (4)$$

Solche Wellräder wurden bereits in der Antike in Kränen mit Flaschenzügen kombiniert (Abb. 15).

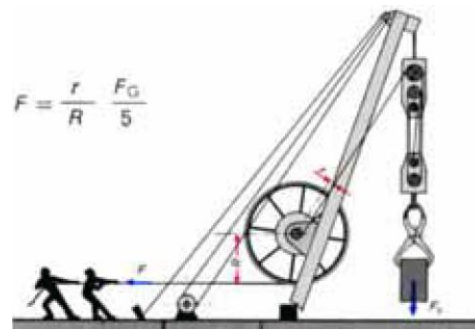


Abb. 15: Historischer Kran mit Wellrad  
(aus: hobby2 Band 4 [3])

Ersetzt man im Modell des Trispastos die Winde durch ein Speichenrad, wird das Funktionsprinzip anschaulich (Abb. 16).

In römischen (und später mittelalterlichen) Kränen wurde statt eines Speichenrads ein Tretrad verwendet, in dem Sklaven oder Arbeiter die Hubarbeit nicht mehr nur mit Armkraft, sondern durch Einsatz ihres gesamten Körpergewichts verrichteten.



Abb. 16: Trispastos mit Wellrad

Von Kränen mit Tretrad gibt es zahlreiche Nachbauten, z. B. im Limesmuseum bei Aalen (Abb. 17) oder im [Technoseum](#) in Mannheim.



Abb. 17: Römischer Baukran mit Tretrad (Limesmuseum bei Aalen)

Ein Modell mit Tretrad findet sich auch im hobby2 Band 4, S. 10 [3] (Abb. 18).



Abb. 18: Historischer Kran mit Laufgrad (aus: hobby2 Band 4 [3])

## Fazit

Flaschenzüge, Differentialwinden und Wellräder sind einfache mechanische Maschinen, mit denen eine Zugkraft verstärkt oder auch abgeschwächt werden kann. Bei Motorantrieben sind sie eine Alternative zu Über- oder Untersetzungen durch Getriebe.

Flaschenzüge haben zudem einen positiven Nebeneffekt: Sie stabilisieren das Zugseil, indem sie Verdrillungen erschweren: Ein Objekt lässt sich damit gerade nach oben ziehen. Je mehr Seilstränge, desto widerstandsfähiger ist ein Flaschenzug gegen Torsion.

Beliebig große Gewichte lassen sich mit einem Flaschenzug allerdings nicht heben – die Hubarbeit geht irgendwann nicht mehr spurlos am Material vorüber. Spätestens, wenn am Antrieb (Schnecke, Zahnrad) Abrieb entsteht, sollte man das Gewicht reduzieren.

Das Zugseil hingegen wird entlastet, da auf den einzelnen Seilstrang nur ein Bruchteil der Gewichtskraft des zu hebenden Gegenstands wirkt. So kann man mit einem Flaschenzug auch sehr schwere Gegenstände mit einem dünnen Seil anheben.

## Quellen

- [1] Wikipedia: [Flaschenzug](#).
- [2] Artur Fischer: *Der Flaschenzug*. In: fischertechnik hobby, Experimente und Modelle, [hobby1 Band 1](#), Fischer-Werke, 1972, S. 40-43.
- [3] Artur Fischer: *Krane*. fischertechnik hobby, Experimente und Modelle, [hobby2 Band 4](#), Fischer-Werke, 1975.
- [4] Artur Fischer: *Das Abenteuer-Bau-Buch*. Fischer-Werke, 1985.
- [5] Heribert Keh: *Der Flaschenzug*. Unterrichtshilfe Technik (u-t). Fischer-Werke, 1980.