



Dirk Fox  
Thomas Püttmann

Bauen, erleben, begreifen:

# Technik- geschichte mit fischertechnik

16 Meilensteine zum Nachbauen

edition **Make:**



dpunkt.verlag





Dirk Fox ist Informatiker, Gründer und Geschäftsführer eines Beratungsunternehmens für IT-Sicherheit, Herausgeber einer Fachzeitschrift für Datenschutz und Datensicherheit, Vorstand eines großen IT-Netzwerks – und begeisterter »fischertechniker«. Er gibt die fischertechnik-Zeitschrift »ft:pedia« heraus und setzt sich für den Ausbau des Technikunterrichts an deutschen Schulen ein – mit fischertechnik.



Thomas Püttmann ist außerplanmäßiger Professor für Mathematik an der Ruhr-Universität Bochum. Zur Vermittlung von Themen aus den Bereichen Mathematik, Technik und Naturwissenschaften entwickelt er gezielt lehrreiche Modelle, wenn möglich aus Fischertechnik. Als echter Mathematiker optimiert er seine Konstruktionen so lange, bis man keinen Stein mehr weglassen oder verschieben kann. Regelmäßig schreibt er Beiträge für die ft:pedia.

Papier  
plus  
PDF

Zu diesem Buch – sowie zu vielen weiteren dpunkt.büchern – können Sie auch das entsprechende E-Book im PDF-Format herunterladen. Werden Sie dazu einfach Mitglied bei dpunkt.plus+.

[www.dpunkt.de/plus](http://www.dpunkt.de/plus)

# **Bauen, erleben, begreifen: Technikgeschichte mit fischertechnik**

**16 Meilensteine zum Nachbauen**

**Dirk Fox  
Thomas Püttmann**



**dpunkt.verlag**

**Dirk Fox**                    **E-Mail: dirk.fox@secorvo.de**  
**Thomas Püttmann** **E-Mail: Thomas.Puettmann@rub.de**

Lektorat: Dr. Michael Barabas  
Copy-Editing: Sandra Gottmann, Münster-Nienberge  
Herstellung: Susanne Bröckelmann, Heidelberg  
Satz: Ulrich Borstelmann, Dortmund  
Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, [www.exclam.de](http://www.exclam.de)  
Druck und Bindung: M. P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN:

Buch 978-3-86490-296-3

PDF 978-3-86491-791-2

ePub 978-3-86491-792-9

mobi 978-3-86491-793-6

1. Auflage 2015

Copyright © 2015 dpunkt.verlag GmbH

Wieblinger Weg 17

69123 Heidelberg

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, ist ohne die schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und daher strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Buch verwendeten Soft- und Hardware-Bezeichnungen sowie Markennamen und Produktbezeichnungen der jeweiligen Firmen im Allgemeinen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz unterliegen.

Alle Angaben und Programme in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt kontrolliert. Weder Autor noch Verlag können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.

5 4 3 2 1

# Inhaltsverzeichnis

## 1 Der Flaschenzug

- Faktorenflaschenzug
- Potenzflaschenzug
- Differenzialflaschenzug
- Differenzialwinde
- Krane mit Wellrad
- Tretradkrane
- Literatur

## 2 Das Getriebe

- Sakijen und Mühlen
- Steinsägemühlen
- Kraftverstärkung
- Übersetzungen
- Das Hodometer
- Der Antikythera-Mechanismus
- Literatur und Links

## 3 Das Differenzialgetriebe

- Angetriebene Fahrzeuge
- Das White'sche Dynamometer
- Das White'sche Differenzialrad
- Mathematische Beschreibung
- Äquationsuhren
- Kompasswagen
- Literatur und Links

## **4 Die Uhr**

Einleitung

Uhren und Zeiteinteilung

Spindel mit Waagbalken

Frühe Uhren mit Schlagwerk

Das Pendel

Die Ankerhemmung

Die Unruh

Ruhende Hemmungen

Das Turmuhr-Modell

Aufbau und Funktion

Die Antriebseinheit (Gehwerk)

Die Spindelhemmung

Stabpendel

Gewichte und Seile

Die Anzeigeeinheit

Der Antrieb des Schlagwerks

Die Auslösung des Schlagwerks

Die Schlossscheibe

Das Schlagrad

Laufzeit und Genauigkeit

Literatur und Links

## **5 Das Planetarium**

Armillarsphären

Astronomische Uhren

Mondphasen

Epizykel

Wechsel des Weltbilds

Tellurien

Planetarien

Merkur, Venus, Erde

Der Aufbau

Merkur- und Venusgetriebe

Sonne und Planeten

Bahngeschwindigkeiten

Konjunktionen und Transite

Sternbilder

Venus- und Merkurphasen

Motorisierung

Literatur und Links

## **6 Die Rechenmaschine**

Einleitung

Geschichte

Der Abakus

Uhren und Zählwerke

Die Rechenuhr

Ein zweiter Anfang

Leibniz

Planetengetriebe

Das Rechenmaschinenmodell

Addierwerk

Eingaberegister

Koppeln mehrerer Maschinen

Bedienung

Literatur und Links

## **7 Der Sextant**

Warnung

- Geschichte
- Der Quadrant
- Geografische Breite
- Mittagshöhe der Sonne
- Geografische Länge
- Standlinien
- Der Sextant
  - Aufbau
  - Handhabung und Funktion
  - Nachbau
  - Anbringen der Skalen
  - Messungen
- Literatur und Links

## **8 Die Dampfmaschine**

- Geschichte
- Das Dampfmaschinenmodell
  - Das Getriebe
  - Das Schwungrad
  - Die Geradföhrung
  - Die Druckluftzufuhr
- Literatur

## **9 Die Achsschenkelenkung**

- Die Entwicklung der Lenkung
  - Schwenkachslenkung
  - Knicklenkung
  - Einzelradlenkung
- Die Achsschenkelenkung
  - Entwicklung

Konstruktion  
Lenkfehler  
Spurkreis  
Varianten und Alternativen  
Funktionsmodelle  
    Spezialteile für Lenkungen  
Literatur

## **10 Der Elektromotor**

Funktionsweise  
Jakobi-Motor  
fischertechnik-Elektromotor  
Synchronmotor  
Synchronuhr  
Literatur

## **11 Der Telegraf**

Optische Telegrafen  
Erster elektrischer Telegraf  
Nadeltelegrafen  
Zeigertelegrafen  
Morsetelegraf  
Literatur

## **12 Die Normalzeit**

Die gesetzliche Zeit  
Das Zeitsignal  
    Funksignal  
    Referenzzeit  
    Vollständige Zeitinformation

- DCF77-Zeitcode
- DCF77-Empfänger
  - Die Hardware
  - Die Software
  - Weitere Funktionen
- Literatur

## **13 Der Film**

- Lichtbilder
- Bewegte Bilder
- Fotografie
- Projektoren
- Literatur

## **14 Das Raupenfahrzeug**

- Geschichte
- Raupenkette
- Lenkung
  - Getrennter Antrieb
  - Kupplungen
  - Schaltung
  - Differenzial mit Bremse
  - Kontrollierte Differenzialsteuerung
  - Überlagerungsgetriebe
  - Gleichlaufgetriebe
- Einsatz von Raupenantrieben
  - Einbau in Raupenfahrzeuge
  - Einbau in Wasserfahrzeuge
  - Einbau in autonome Fahrzeuge
- Literatur

## **15 Das Radar**

Geschichte

Echoortung

Ultraschallsensor

Funktionsmodelle

    Fahrzeugradar

    Radarfalle

Literatur

## **16 Der Hubschrauber**

Dynamischer Auftrieb

Drehflügler

Entwicklung

Igor Sikorsky

Funktionsmodell

    Der Heckrotor

    Hauptrotor mit Taumelscheibe

Literatur

**Zeitleiste**

**Bildnachweise**

# Zur Einführung

Die Geschichte der Entwicklung der Menschheit ist vor allem eine Geschichte der Entwicklung der Technik.

Denn dass ein biologisch wenig spezialisiertes und angepasstes Lebewesen wie der Mensch bis heute überlebt hat, verdankt er in erster Linie seiner (technischen) Erfindungsgabe. Technische Errungenschaften erlauben es dem Menschen, Arbeiten zu verrichten, die weit über seine physischen Kräfte hinausgehen, sich Energien dienstbar zu machen, Distanzen zu überwinden, sich von Temperatur und Wetter weitgehend unabhängig zu machen und über große Entfernungen mit anderen Menschen in Kontakt zu treten.

In den vergangenen 2000 Jahren haben technische Entwicklungen das Leben der Menschheit grundlegender und umfassender verändert als Millionen von Jahren davor.

Dennoch ist die Geschichte der jüngsten 2000 Jahre, die heute in der Schule gelehrt wird, in erster Linie eine Geschichte von Macht und Krieg, von Herrschaft und sozialen Verhältnissen. Bis auf die Phase der industriellen Revolution, in der sich der Einfluss von Technik nicht ignorieren lässt, spielt die Geschichte der Technik darin keine Rolle.

Wer aber hat – auf lange Sicht – die Entwicklung der Welt wohl nachhaltiger beeinflusst: Ludwig XIV. oder Christiaan Huygens' Pendeluhr? Napoleon Bonaparte oder die Erfindung der Dampflokomotive durch seinen Zeitgenossen Richard Trevithick? Karl Marx oder die von Samuel Morse entwickelte Telegrafie?

Dieses Buch erzählt daher eine andere Geschichte. Es ist die Geschichte einiger großer Erkenntnisse und Innovationen, die unser heutiges Leben geprägt haben. Es ist eine Geschichte, die nicht werten, aber würdigen will. Sie erzählt von Erfindern und Machern, die sich nicht mit dem theoretischen Verständnis von Zusammenhängen zufrieden gegeben haben, sondern so lange an ihrer praktischen

Umsetzung und Nutzbarmachung getüftelt haben, bis sie eine funktionierende Lösung vor sich hatten.

Unsere Auswahl von 16 Meilensteinen ist subjektiv, und zweifellos lassen sich mit guten Argumenten weitere nennen, die in einer Geschichte der Technik eigentlich nicht fehlen dürfen. Unstrittig dürfte aber sein, dass den von uns ausgewählten Innovationen der Ehrentitel »Meilenstein« gebührt.

Wir erzählen unsere Geschichte mit der Unterstützung von prototypischen Modellen. Sie sollen zum Nach- und Weiterbauen anregen, denn erst durch die eigene Konstruktion wird die Genialität vieler Innovationen nachvollziehbar, manchmal geradezu haptisch erlebbar. Wir haben die Modelle mit einem Baukastensystem nachkonstruiert, das eine äußerst schnelle Entwicklung von Prototypen erlaubt und zugleich realen Verhältnissen sehr nahe kommt: mit Fischertechnik.

In diesem Jahr feiert das Fischertechnik-Baukastensystem, das nach unserer festen Überzeugung in keinem Kinderzimmer der Welt fehlen sollte, seinen 50sten Geburtstag. Wie kein zweites technisches Spielzeug vermittelt es technisches Grundverständnis und begeistert zugleich für technische Zusammenhänge.

Entwickelt wurde es von dem genialen Tüftler Artur Fischer, mit weit über 1000 Patenten ein zweiter Thomas Alva Edison.

Ihm widmen wir dieses Buch – zum Dank für die ungezählten wunderbaren, faszinierenden und erkenntnisreichen Stunden, die seine Erfindung uns und unseren Kindern beschert hat.

Dirk Fox und Thomas Püttmann

## Hinweise

- Im Anhang haben wir eine Zeitleiste mit den in diesem Buch genannten technischen Innovationen beigelegt – eingebettet in den historischen Kontext. Sie gibt einen Eindruck davon, mit welcher

Macht und Geschwindigkeit technische Entwicklungen vor allem die jüngsten 200 Jahre unserer Zeitrechnung geprägt haben.

- Ein Buch ist in der heutigen Zeit schon fast ein Anachronismus. Tatsächlich lassen sich viele Informationen (wie z. B. Onlinequellen, Bauanleitungen oder Programmdateien) viel leichter über ein Onlinemedium vermitteln. Daher gibt es eine Webseite zu diesem Buch mit weiterführenden Materialien: <http://www.technikgeschichte-mit-fischertechnik.de>
- Die Modelle in diesem Buch können alle mit heute noch käuflich zu erwerbenden fischertechnik-Bauteilen nachgebaut werden. Wem einzelne Bauteilbezeichnungen, die wir verwenden, nicht geläufig sind, kann sie in der offiziellen Bauteilliste von fischertechnik nachschlagen, die wir auf der Webseite zum Buch verlinkt haben. Dort finden sich auch Bezugsquellen für fischertechnik-Baukästen und Einzelteile.
- Zu allen Modellen, die sich nicht so leicht anhand der Fotos in diesem Buch nachbauen lassen, haben wir eine 3D-Bauanleitung mit Bauteilliste erstellt und zum Download auf der oben angegebenen Webseite bereitgestellt. Die 3D-Bauanleitungen wurden mit dem Programm *fischertechnik designer* von Michael Samek entworfen. Auf der Webseite <http://3dprofi.de> gibt es ein kostenloses Demo-Programm für Windows und einen Apple-Reader zum Download, mit dem die Anleitungen genutzt werden können.
- Einige wenige Modelle verwenden einen fischertechnik-Controller (ROBO TX oder ROBOTICS TXT). Die Programme in der Programmiersprache ROBO Pro können ebenfalls von der Webseite zum Buch heruntergeladen werden.
- Alle Literaturhinweise, die über eine Internetquelle erreichbar sind, finden sich ebenfalls auf der Webseite zum Buch und können dort direkt angeklickt werden.

# 1 Der Flaschenzug

Schon in der Frühzeit der Menschheitsgeschichte war die Überwindung der Begrenztheit menschlicher Kraft eine der großen Herausforderungen. Vor über 2000 Jahren entdeckten die Menschen eine technische Lösung, um selbst tonnenschwere Gegenstände, wie z. B. große Steinblöcke, mit Menschenkraft anzuheben.



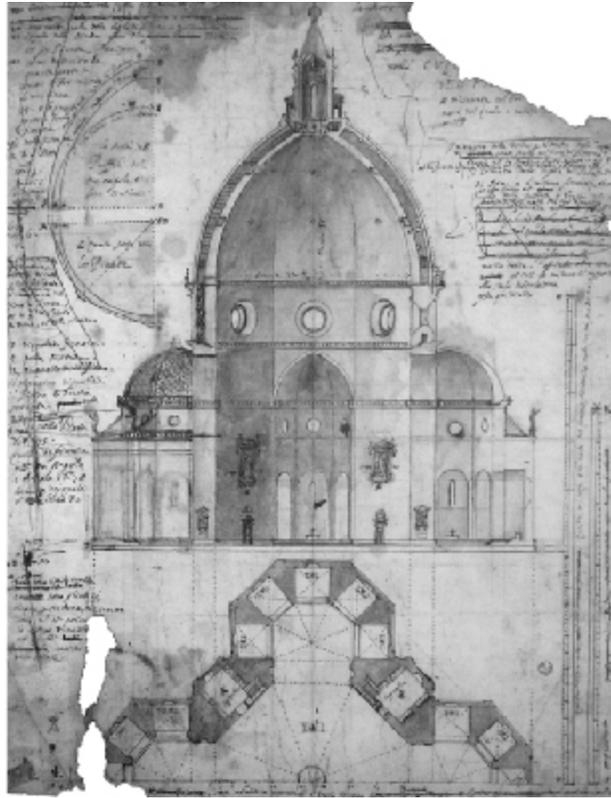


Abb. 1–1 Kuppel des Doms von Florenz, Zeichnung von Filippo Brunelleschi (um 1419)

In einer Zeit, in der als Kraftquelle nur die Muskelkraft von Mensch und Tier zur Verfügung stand, war die Entdeckung einer Mechanik, mit der es gelang, die Kraftwirkung zu vergrößern, von größter Bedeutung. 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, revolutionierte die Erfindung des Flaschenzugs die Bautechnik. Mit Flaschenzügen gelangen in der Antike und Renaissance architektonische Leistungen wie das Colosseum in Rom oder die Kuppel des Florenzer Doms von *Filippo Brunelleschi* (1377–1446), bis heute beeindruckende Meisterwerke.

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 *Hubwegs* steuern, da die Hubarbeit als Produkt aus Kraft und Weg berechnet wird: 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 Hubarbeit aufzuwickelnden Zugseils. Damit ist weniger Kraft für die Hubarbeit erforderlich. Der Preis, den man für diese »Kraftverstärkung« zahlt: Man muss länger ziehen oder kurbeln.



Abb. 1–2 Flaschenzug

## Faktorenflaschenzug

Wenn wir heute von einem Flaschenzug sprechen, meinen wir in der Regel einen *Faktorenflaschenzug*, der die Seillänge durch »Schlingen« und Seilrollen künstlich verlängert.

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.

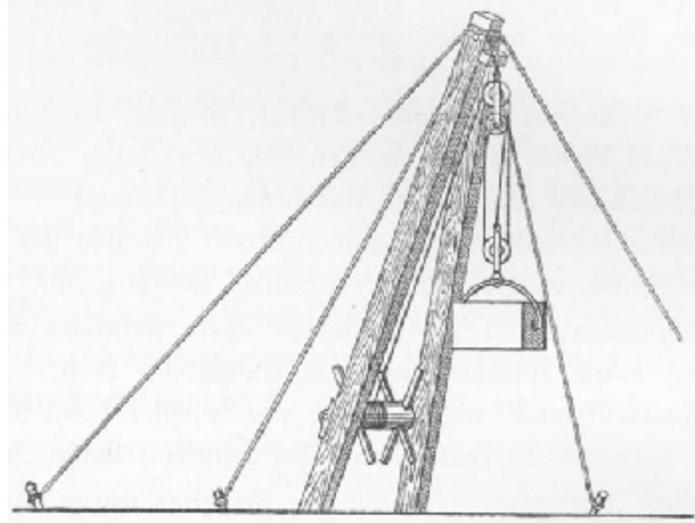


Abb. 1–3 Römischer Trispastos nach Vitruv

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 an der Winde insgesamt etwa verzwölffachte (Abb. 1–3).

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



Abb. 1–4 fischertechnik-Modell eines Trispastos

Die beeindruckende Wirkung eines solchen »Kraftverstärkers« lässt sich durch einen Nachbau des Trispastos in fischertechnik demonstrieren. Abb. 1–4 zeigt ein Modell, das einen Verstärkungsfaktor von etwa 18 besitzt. Problemlos kann man mit dieser einfachen Konstruktion eine mit Gewindestangen gefüllte Kiste (450 g) hochziehen.

Die Krafteinsparung (oder -verstärkung) lässt sich mit weiteren »Schlingen« vergrößern: Die für die Hubarbeit benötigte Kraft  $F_Z$  sinkt bei  $n$  Seilwegen (= Seilrollen) auf ein  $n$ -tel der Gewichtskraft der Last  $F_L$ :

$$F_Z = \frac{F_L}{n}$$

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

Rollen ergänzt.

Dafür gibt es im Wesentlichen zwei Ansätze: die Anordnung der Rollen nebeneinander (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.

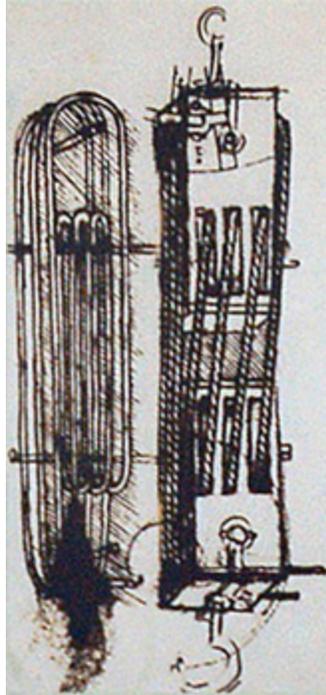


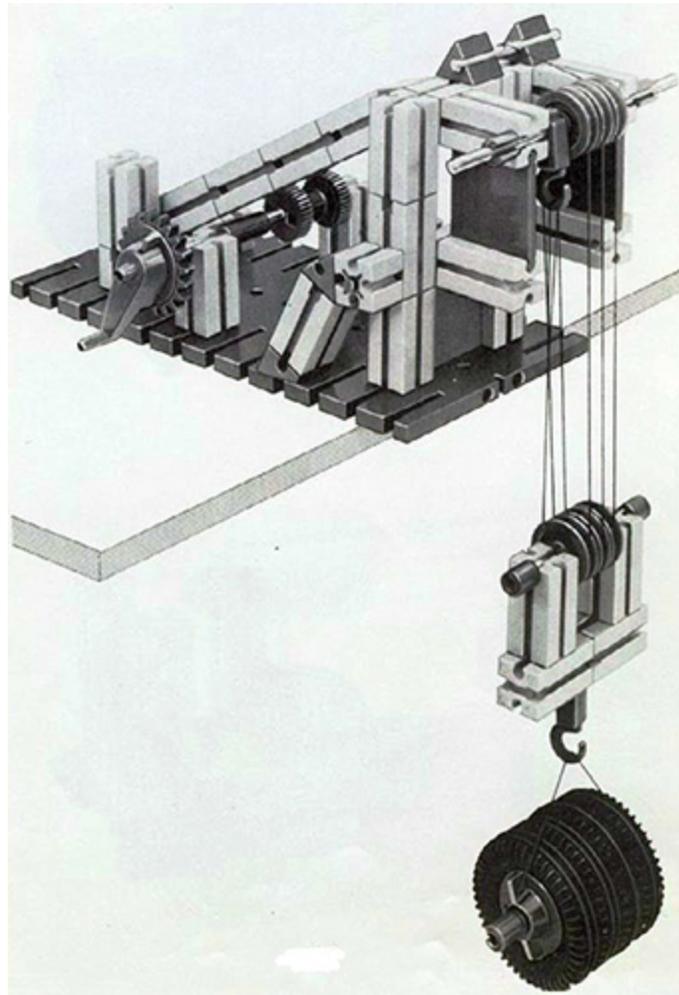
Abb. 1–5 Flaschenzug von Leonardo da Vinci

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 vom Universalgenie der Renaissance, *Leonardo Da Vinci* (1452–1519), überliefert (Abb. 1–5).

Flaschenzüge aus fischertechnik finden sich schon in der Anleitung zum *Grundkasten* aus dem Jahr 1966 (S. 20, Abb. 1–6).

In hobby 1, Band 1 [4] wurde dem Flaschenzug 1972 ein eigenes Kapitel gewidmet. Wirken die frühen fischertechnik-Flaschenzüge noch etwas plump und eher wie grobe Funktionsmodelle, gelingt unter Verwendung von Statikkomponenten wie z. B. den S-Laschen (oder den

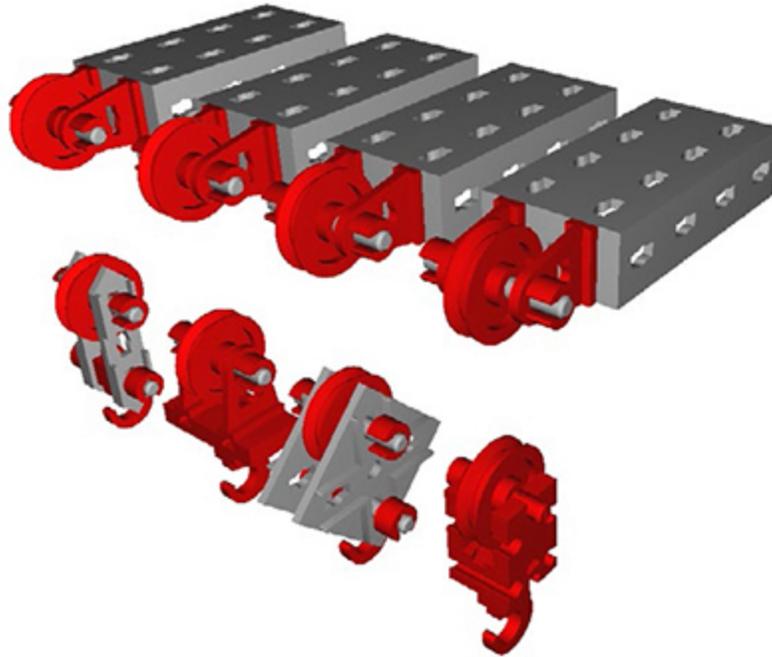
heutigen Laschen 21,2) eine deutlich elegantere Konstruktion (linke Variante in Abb. 1–7) – zu finden z. B. in der Anleitung zum *Aufbau-Statikkasten 50S/3* aus dem Jahr 1975. Auch die Kreuzknotenplatten aus den frühen Statikkästen von 1970 erlauben eine ansprechende Konstruktion wie die zweite Variante von rechts in Abb. 1–7, zu finden z. B. in *hobby 2 Band 4* [5], (S. 18, 20, 49).



*Abb. 1–6 fischertechnik-Flaschenzug von 1966 (aus: Bauanleitung Grundkasten)*

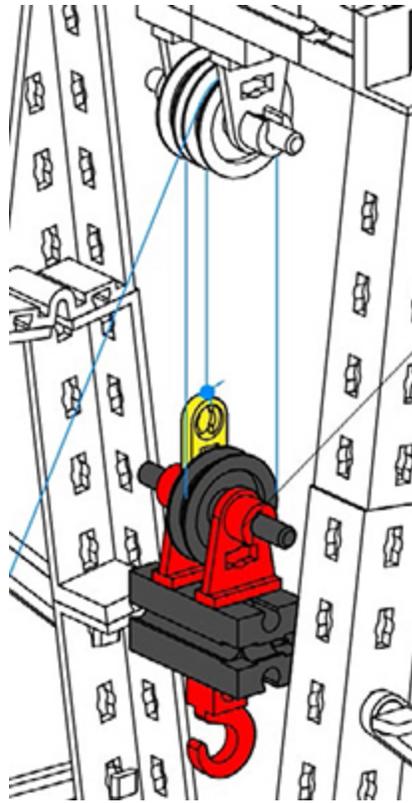
Das Rollenlager, 1990 eingeführt mit dem Modellkasten *Starlifters*, eignet sich ebenfalls zur Konstruktion eines Flaschenzugs (rechte Variante in Abb. 1–7).

Auch mit den Kupplungsstücken aus dem *Universal*-Baukasten von 1997, verwendet in der zweiten Variante von links in Abb. 1–7, lässt sich ein Flaschenzug konstruieren, siehe die zugehörige Bauanleitung (Abb. 1–8).



*Abb. 1–7 Konstruktionsvarianten einfacher fischertechnik-Flaschenzüge*

Bei der Montage der Seilrollen muss man darauf achten, dass die Rollen nicht eingeklemmt werden, sondern möglichst widerstandsarm frei rotieren.

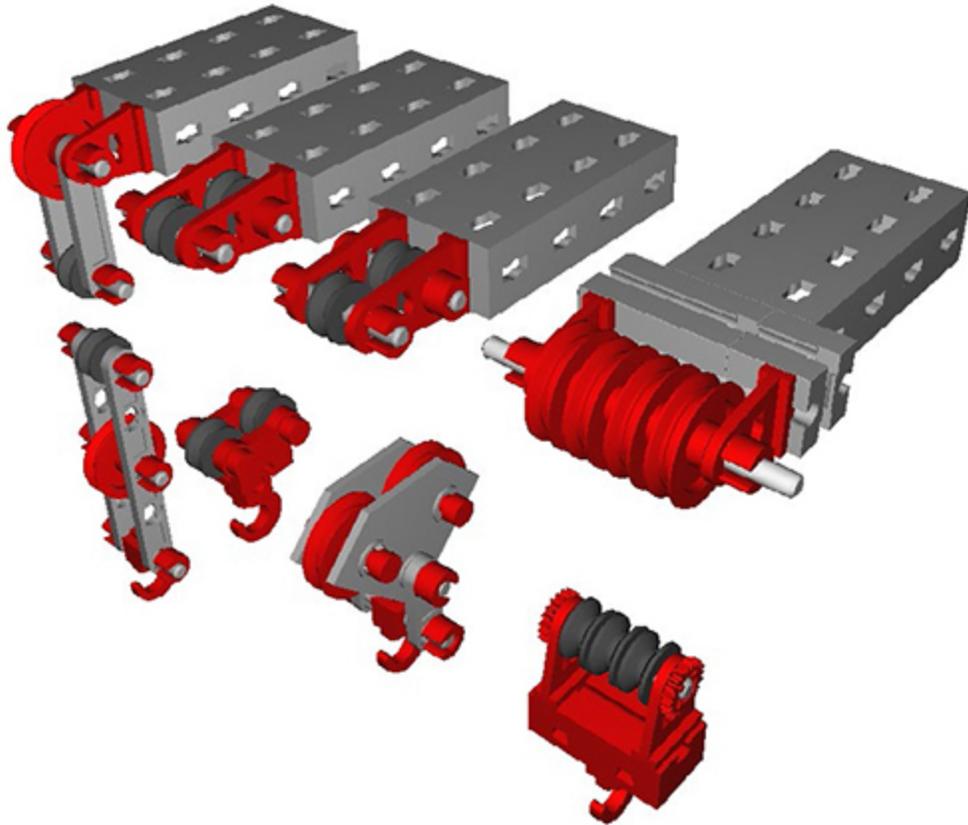


*Abb. 1–8 Flaschenzug im Baukasten Universal*

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

Will man mehr als eine Verdoppelung der Kraftwirkung erreichen, benötigt man einen Flaschenzug mit weiteren Seilrollen. Auch mit fischertechnik lassen sich die zusätzlichen Rollen sowohl vertikal als auch horizontal anordnen. Abb. 1–9 zeigt vier 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 kompakte vertikale Konstruktion.



*Abb. 1–9 Realisierungsalternativen für n-fache Flaschenzüge*

Ein Flaschenzug mit horizontal angeordneten Rollen wird im hobby 2, Band 4 [5], (S. 10) vorgestellt. Er verwendet I-Streben, um Haken und Rollenachse miteinander zu verbinden. Die rechte Variante in Abb. 1–9 erreicht eine Verachtfachung der Kraftwirkung; sie kann zudem leicht um weitere Führungsrollen erweitert werden.



*Abb. 1–10 7-facher Flaschenzug*

Eine ähnliche Konstruktion findet sich im Abenteuer-Bau-Buch [6], (S. 50 ff.) aus dem Jahr 1985 (Abb. 1–10).

Zu weit sollte man es aber nicht treiben, denn auch mit einem fischertechnik-Flaschenzug lassen sich nicht beliebig große Gewichte anheben – die Hubarbeit geht irgendwann nicht mehr spurlos am Material vorüber.

Spätestens wenn am Antrieb (Schnecke, Zahnrad) Abrieb entsteht, sollte man das Gewicht reduzieren.

## **Potenzflaschenzug**

Der Faktorenflaschenzug ist zwar der einfachste, aber keineswegs der einzige Flaschenzugtyp.

Eine andere Konstruktion liegt dem *Potenzflaschenzug* (Abb. 1–11) zugrunde. Man kann sich ihn als eine Art »Hintereinanderschaltung« mehrerer einfacher Faktorenflaschenzüge vorstellen. Dabei wird mit jeder zusätzlichen Rolle ein weiteres Zugseil eingeführt und damit die erforderliche Kraft halbiert.

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

$$F_Z = \frac{F_L}{2^n}$$

Die Wirkung ist größer als bei einem Faktorenflaschenzug, denn mit nur fünf losen Rollen erreicht man eine Verstärkung von 32. Dennoch findet man diesen Flaschenzugtyp eher selten.

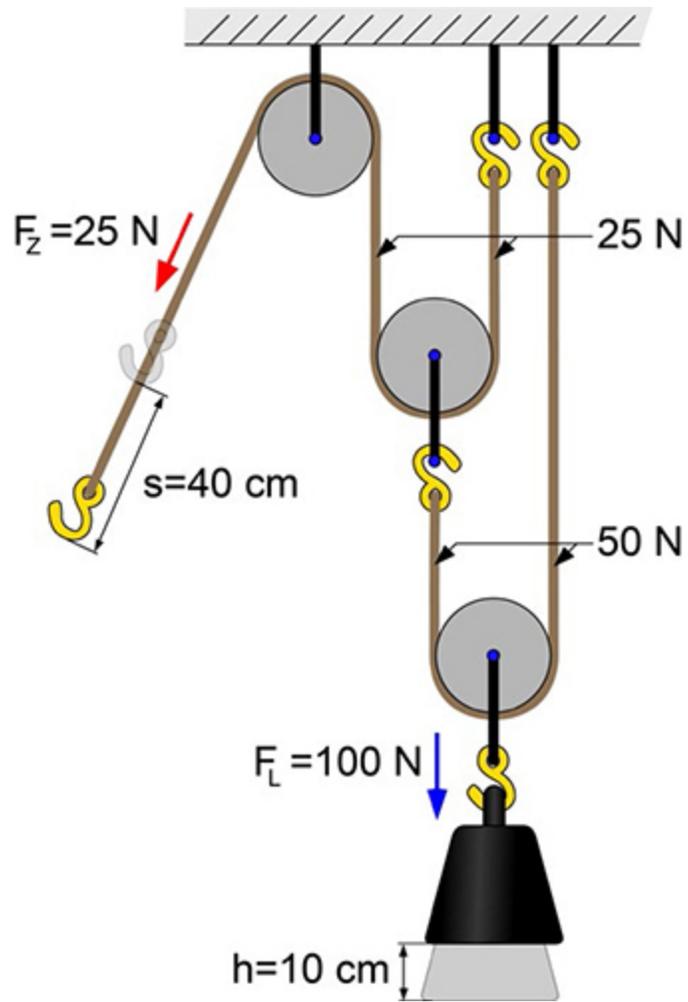


Abb. 1-11 Potenzflaschenzug

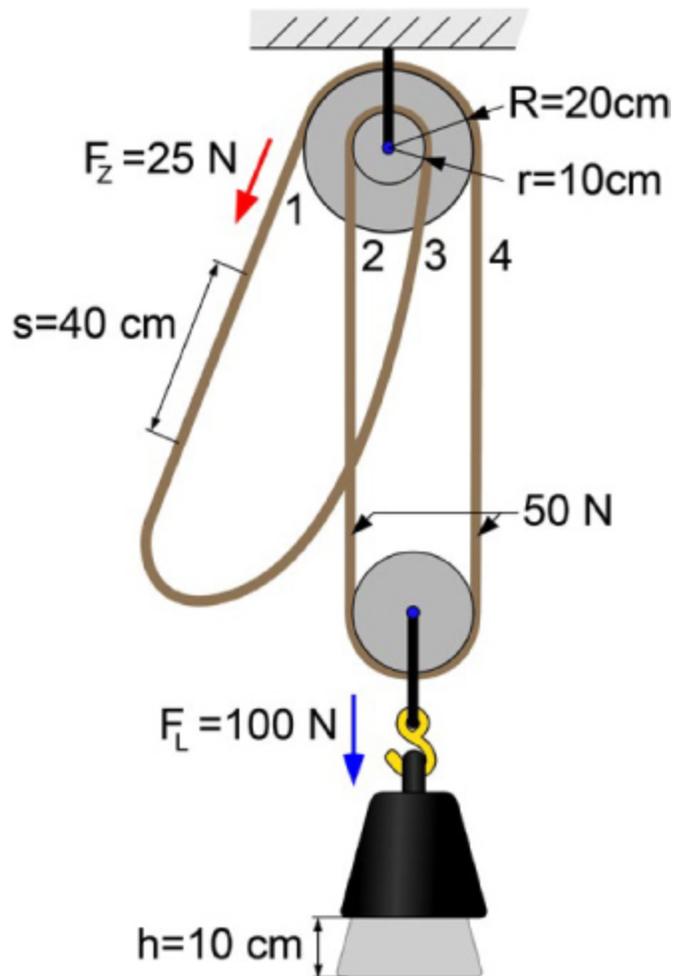


Abb. 1–12 Differenzialflaschenzug

## Differenzialflaschenzug

Ein dritter Flaschenzugtyp 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 zu einer großen »Schleife« verbunden (Abb. 1–12). 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:

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

Ist der Radius  $R$  wie in Abb. 1–12 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 statt eines Seils eine Kette und statt der Rollen Zahnräder verwendet.

Ein fischertechnik-Modell eines Differenzialflaschenzugs mit Kette findet sich in hobby 2, Band 4 [5] auf S. 19 (Nachbau in Abb. 1–13). Das Z20 hat einen Innenradius von  $R = 1,5$  cm, beim Z10 ist  $r = 0,75$  cm. Statt der Radien können wir auch mit der Anzahl der Zähne rechnen und kommen zu demselben Ergebnis: Die Kraftverstärkung liegt in unserem Modell bei vier. Wir sehen: Je enger die Radien der beiden Zahnräder zusammen liegen, desto größer ist die Kraftverstärkung des Differenzialflaschenzugs. Ersetzen wir das Z10 durch ein Z15, bewirkt der Flaschenzug eine Kraftverstärkung von acht.