

Editorial

## Zweiter Streich

Die vielen positiven Reaktionen auf die erste Ausgabe der ft:pedia haben uns sehr gefreut! Inzwischen hat unsere kleine „fischertechnik-Fachzeitschrift“ sogar die Segnung der [Deutschen Nationalbibliothek](#): Wir haben eine [ISSN](#) erhalten. Das ist eine weltweit eindeutige Identifikationsnummer regelmäßig erscheinender Zeitschriften.

Noch mehr hat uns begeistert, dass so viele Fans sich in den Tagen und Wochen nach Erscheinen der Erstausgabe bereit erklärt haben, für diese zweite und spätere Ausgaben Beiträge beizusteuern. So bietet nicht nur dieser „zweite Streich“ viele tolle und lehrreiche Aufsätze, sondern wir haben auch schon einen kleinen Vorrat an halbfertigen, schon sehr weit fortgeschrittenen und angekündigten Beiträgen. Wenn Ihr auch weiterhin so viele interessante Texte einreicht, werden wir die für 2011 geplanten vier spannenden Hefte problemlos voll bekommen. Toll!

Aber damit nicht genug: Die Ausgabe drei der ft:pedia wird es sogar als gedruckte Fassung geben – für alle Aussteller und Besucher der [Convention 2011](#). Dafür schon jetzt ein herzliches und riesiges Dankeschön an Ralf Knobloch, der uns diese Unterstützung angeboten hat!

Geht alle einmal „in Euch“ und überlegt, ob Ihr Einsteigern oder „alten Hasen“ nicht auch etwas Wertvolles zu vermitteln habt – das dürfen gerne Grundlagen aus Themen-

Dirk Fox, Stefan Falk

gebieten sein, die bei fischertechnik-Modellen immer wieder eine Rolle spielen, oder interessante Lösungen aus Statik, Mechanik, Elektronik oder Robotik, die sich mit fischertechnik veranschaulichen lassen.

Im Übrigen darf sich ein ft:pedia-Beitrag auch um ein Modell drehen, das Ihr schon in der ft-Community veröffentlicht habt – hier ist genug Platz, um die feinen Details und wichtigen Konstruktionsideen ausführlicher darzustellen. Wir freuen uns auf Eure Beitragsideen – und natürlich weiterhin über Verbesserungsvorschläge, Anregungen und Tipps.

Ihr erreicht uns am einfachsten unter der E-Mail-Adresse [ftpedia@ftcommunity.de](mailto:ftpedia@ftcommunity.de) – die wird von uns beiden gelesen – oder über die Rubrik „ft:pedia“ im [Forum](#) der ft-Community.

Jetzt wünschen wir Euch erst einmal eine spannende und erkenntnisreiche Lektüre – und dann: Ran an die Baukästen!

Beste Grüße,  
Euer ft:pedia-Team

P.S.: ft:pedia ist unentgeltlich und darf und soll kopiert und verbreitet werden – allerdings unter Beachtung des Urheberrechts: Beiträge dürfen nur ungekürzt und unverändert mit Angabe der Autoren und der Quelle zitiert oder weitergegeben werden.

## Inhalt

Zweiter Streich.....	2	LEDs mit Vorwiderstand .....	14
Termine.....	3	Motorsteuerungen (Teil 2).....	19
Impressum .....	3	Mechanisches Tresorschloss .....	26
Radar und Sonar.....	4	Zahnräder und Übersetzungen (Teil 1) .....	30
Kaulquappen (Teil 2) .....	9		

## Termine

Was?	Wann?	Wo?
fischertechnik Fan-Club-Tag	24.07.2011	Tümlingen
<a href="#">fischertechnik Convention 2011</a>	24.09.2011	Erbes-Büdesheim
20jähriges Clubjubiläum	05.11.2011	Schoonhoven
Modellschau Münster	13.11.2011	<a href="#">HBZ Münster</a>
10jähriges Jubiläum der <a href="#">ft Community</a>	18.11.2011	Im Netz

## Impressum

<http://www.ftcommunity.de/ftpedia>

**Herausgeber** Dirk Fox, Ettlinger Straße 12-14, 76137 Karlsruhe  
Stefan Falk, Siemensstraße 20, 76275 Ettlingen

**Autoren** Stefan Falk (stefalk), Dirk Fox (Dirk Fox), Thomas Habig (Triceratops), Thomas Püttmann (geometer), Harald Steinhaus (Harald), Frederik Vormann (Fredy).

**Copyright** Jede unentgeltliche Verbreitung der unveränderten und vollständigen Ausgabe sowie einzelner Beiträge (mit vollständiger Quellenangabe: Autor, Ausgabe, Seitenangabe ft:pedia) ist nicht nur zulässig, sondern ausdrücklich erwünscht. Die Verwertungsrechte aller in ft:pedia veröffentlichten Beiträge liegen bei den jeweiligen Autoren.

Computing

## Radar und Sonar

Dirk Fox

*In der ersten Ausgabe der ft:pedia wurde am Beispiel des Temperatursensors gezeigt, wie der Robo TX Controller als Messgerät eingesetzt werden kann. Der Abstandssensor erlaubt darüber hinaus nicht nur die Bestimmung von Distanzen – lässt man ihn rotieren, wird er zum einfachen Radargerät (technisch eher einem Sonar) mit einer Reichweite von bis zu 4 m. Damit kann man sogar einen kleinen Raum vermessen.*

Der Begriff Radar ist ein Akronym aus den Anfangsbuchstaben von „**R**adio (**A**ircraft) **D**etection and **R**anging“, auf Deutsch: der Ortung und Abstandsmessung mit Hilfe elektromagnetischer Wellen im Radiofrequenzbereich (*Very High Frequency*, VHF  $\approx$  30-300 MHz) [1]. Dabei wird die Eigenschaft von Radiowellen genutzt, von festen Gegenständen reflektiert zu werden. Aus der Laufzeit zwischen Sendung und Empfang des reflektierten Radar-Signals kann so die Entfernung bis zu einem Gegenstand oder Hindernis bestimmt werden, denn elektromagnetische Wellen breiten sich konstant mit Lichtgeschwindigkeit ( $c_0 \approx 300.000$  km/sec) aus.

Die Berechnung ist sehr einfach: Kennt man die Laufzeit  $t$  des (reflektierten) Signals, dann lässt sich daraus die Distanz  $d$  als die Hälfte der vom reflektierten Signal insgesamt zurückgelegten Strecke (zum Objekt und wieder zurück) bestimmen:

$$d = c_0 \cdot t/2$$

Heute sind Radargeräte sowohl in der Flugüberwachung als auch beim Schiffsverkehr unverzichtbar geworden. Sie verhindern Kollisionen und machen die hohe Verkehrsdichte heutiger Großflughäfen und den Betrieb bei schlechten Wetterverhältnissen und in der Dunkelheit überhaupt möglich. Radartechnik wird heute zu vie-

len weiteren Zwecken und vor allem auch in höheren Frequenzbereichen (3 - 300 GHz) eingesetzt, wie z. B. zur Geschwindigkeitskontrolle von Kraftfahrzeugen.

### Geschichte

Die Erfindung des Radars geht auf den deutschen Ingenieur [Christian Hülsmeier](#) (1881 - 1957) zurück, der am 30.4.1904 sein „Telemobiloskop“ genanntes „System zur Erkennung von entfernten beweglichen Gegenständen“ im Deutschen Reich zum Patent anmeldete (Patent-Nr. [165546](#)) [2].

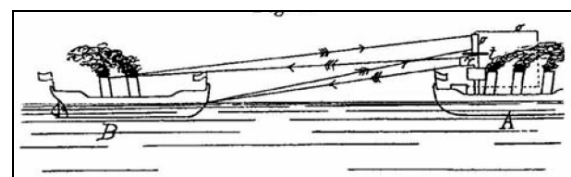


Abb. 1: Aus der Patentschrift des „Telemobiloskops“ vom 30.4.1904

Hülsmeier nutzte die Erkenntnisse von [Heinrich Hertz](#) (1857 - 1894), der 1888 die Existenz elektromagnetischer Wellen und deren Eigenschaft, von metallischen Gegenständen reflektiert zu werden, nachgewiesen hatte. Mit seiner Erfindung wollte Hülsmeier in erster Linie die Sicherheit der See- und Binnenschifffahrt bei schlechter Sicht erhöhen, indem er die Ortung anderer Seefahrzeuge ermöglichte. Beim *Technical Nautical Meeting* in Rotterdam

gelang ihm 1904, ein Schiff auf eine Distanz von 3 km zu detektieren. Dennoch blieb seiner Erfindung der wirtschaftliche Erfolg versagt [3].

Einige Jahre später beschäftigte sich auch der schottische Physiker [Robert Watson-Watt](#) (1892 - 1973) mit der Ortung von Objekten mittels Radiowellen. 1919 ließ er sein Verfahren patentieren. Aber erst mit dem drohenden zweiten Weltkrieg und der Furcht Großbritanniens vor der deutschen Luftwaffe erwachte das Interesse an Verfahren zur Früherkennung feindlicher Flugzeuge. Am 26.2.1935 gelang Watson-Watt nahe Daventry die Ortung eines anfliegenden Bombers [4, 5] mit einer improvisierten Antenne (Abb. 2).

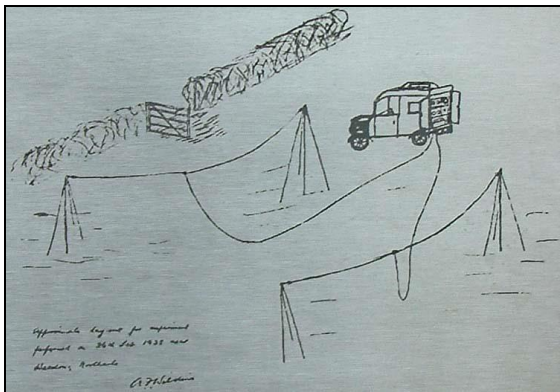


Abb. 2: Skizze des „Daventry-Experiments“ von Watson-Watts Assistenten Arnold Wilkins (Quelle: [Wikipedia](#))

In den folgenden Jahren wurden Radargeräte zügig weiterentwickelt. Die Anzeige der Messergebnisse erfolgte dabei zunehmend auf PPI-Sichtgeräten (*Plan Position Indicator*, Abb. 3). Ausgehend vom eigenen Standort werden dabei geortete Objekte auf einem kreisrunden Bildschirm angezeigt und mit der Drehung des Radars aktualisiert.

Während des zweiten Weltkriegs spielten Radargeräte eine entscheidende Rolle – allerdings weniger in der Luftüberwachung, sondern vor allem im U-Boot-Krieg: Sie erlaubten ab 1943 die Ortung und Bekämpfung deutscher U-Boote bei Überwasserangriffen auf Handelsschiffe, die England

mit überlebenswichtigen Gütern versorgten.

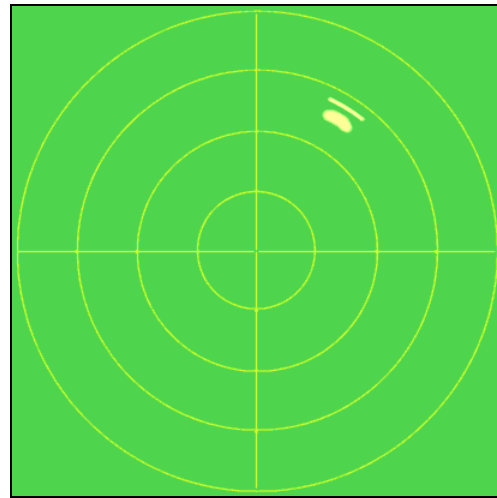


Abb. 3: PPI-Anzeige („Radarschirm“)

## Echoortung

Neben dem Radar setzte sich ein weiteres Verfahren zur Ortung und Abstandsbestimmung von Gegenständen durch, das auch bei nichtmetallischen Objekten funktioniert: die Echoortung. Dabei kommen statt elektromagnetischer Wellen Schallwellen zum Einsatz, meist Frequenzen jenseits des für menschliche Ohren hörbaren Bereichs von ca. 20 kHz (Ultraschall) – eine Technik, die Fledermäuse bereits seit Jahrtausenden erfolgreich zur Orientierung verwenden.

Am 22.7.1913 patentierte der deutsche Physiker [Alexander Brehm](#) (1880 - 1952) das Echolot (Patent-Nr. [282009](#)), ein Gerät zur Messung von Meerestiefen und Entfernungen von Schiffen und Hindernissen durch Schallwellen. Motiviert war diese Entwicklung vor allem durch den Untergang des damals größten Schiffs der Welt am 15.4.1912 nach der Kollision mit einem Eisberg – der Titanic.

Der französische Physiker [Paul Langevin](#) (1872 - 1946) entwickelte 1915 das Echolot zum Sonar (*Sound Navigation and Ranging*) weiter, mit dem U-Boote unter Wasser in 1.500 m Entfernung geortet werden konnten. Weiterentwicklungen des So-

nars kamen vor allem während des zweiten Weltkriegs im Kampf gegen die deutsche U-Boot-Flotte zum Einsatz.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen ist, anders als bei elektromagnetischen Wellen, nicht konstant. Im Wasser hängt sie von der Temperatur, dem Salzgehalt und dem Druck ab – und alle drei Parameter ändern sich mit der Wassertiefe. Sie liegt zwischen ca. 1.450 m/sec in Süßwasser und 1.900 m/sec in tiefem, kaltem und stark salzhaltigen Wasser. Das macht die genaue Abstandsmessung komplizierter, reduziert aber die Komplexität der zur Messung erforderlichen technischen Komponenten.

Ultraschall lässt sich nicht nur im Wasser zur Distanzbestimmung nutzen. In 20°C warmer Luft liegt die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen bei ca. 343 m/sec – also nur etwa einem 1.000stel der Lichtgeschwindigkeit. Sie ermöglicht daher auch die Bestimmung geringer Abstände mit moderatem technischen Aufwand. Allerdings ändert sie sich abhängig von Luftdruck und Temperatur, daher kann ein Ultraschallsensor je nach Umgebung leicht abweichende Messwerte liefern.<sup>1</sup>

## Distanzsensoren

Für das Robo Interface gibt es schon lange einen Distanzsensoren, der mit Ultraschall arbeitet. Inzwischen ist auch für den Robo TX Controller ein Ultraschallsensoren erhältlich (Abb. 4).<sup>2</sup> Dessen Messbereich liegt bei ca. 3 cm bis 4 m.

Der Ultraschallsensoren wird am TX Controller an die Stromversorgung (rot: +9V; grün: Masse) und das schwarze Kabel an

einen der Eingänge I1 bis I8 angeschlossen.



Abb. 4: Ultraschallsensoren

Zur Abstandsmessung verwendet man in Robo Pro den Universaleingang mit der Eingangsart „Ultraschall“ und dem Sensortyp „Abstandssensoren“. Er liefert den Abstand als ganzzahligen Wert in cm; wird kein Objekt in der Reichweite des Sensors detektiert, gibt der Sensor den Wert 1.023 zurück.

## Radarfahrzeug

Wir möchten nun ein Fahrzeug mit einem „Ultraschall-Radar“ (genauer einem Sonar) ausstatten, mit dem der Abstand zu allen umliegenden Hindernissen bestimmt wird. Dabei geht es uns zunächst nur um die Abstandsbestimmung – unabhängig davon, ob die Messwerte anschließend für einen Alarm, die Steuerung des Fahrzeugs oder andere Zwecke genutzt werden.

Um den Sensor rotieren zu lassen, muss er mittig auf einer von einem Motor angetriebenen Stange montiert werden. Dazu eignet sich besonders gut die Achsenverschraubung (38843, siehe Abb. 6).

Der Sensorausgang lässt sich leicht mit zwei Klemmkontakten (31338) über die (Metall-) Stange übertragen. Will man den rotierenden Ultraschallsensoren jedoch nicht mit einer eigenen (mitrotierenden) Stromversorgung versehen, benötigt man außerdem einen Schleifring (31301) und zwei

<sup>1</sup> Bei 0°C sinkt die Ausbreitungsgeschwindigkeit auf 331 m/sec, bei 35°C steigt sie auf 352 m/sec [6] – eine Abweichung von bis zu 3,6 %.

<sup>2</sup> Online-Shop der Knobloch GmbH, Einzelteil-Bestellung (Best.-Nr. 133009) <http://www.knobloch-gmbh.de/shop/>

Kontaktstifte (31305) aus den alten Elektromechanik-Kästen (Abb. 5).



Abb. 5: Schleifring, Klemmkontakt, Kontaktstift

Damit die vom Ultraschall-Sonar gemessenen Werte später auch ausgewertet werden können, muss die jeweilige Position, also der Drehwinkel des Sensors bekannt sein.

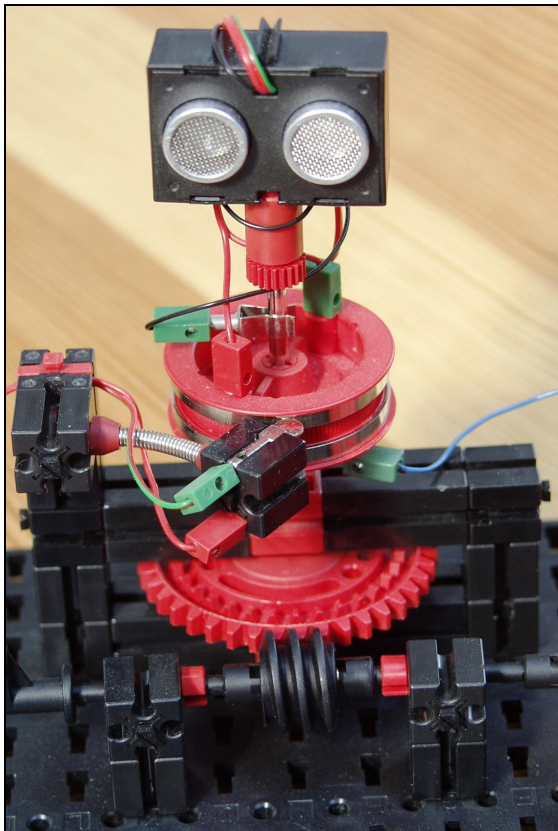


Abb. 6: Konstruktion des Radars mit Schleifring und Klemmkontakten

Das erreicht man am einfachsten, indem die Rotation des Sonars durch einen Impulszähler (37157) oder über einen Encodermotor gesteuert wird. Damit lässt sich der Sensor Schritt für Schritt um exakt denselben Winkel weiterdrehen.

Tests mit unterschiedlichen Drehwinkeln je Motorschritt zeigen, dass die Genauigkeit der Messungen ab 120 Messwerten je Rotation nicht mehr steigt. Den dafür erforderlichen Drehwinkel von  $3^\circ$  je Messpunkt erreicht man mit der folgenden Übersetzung:

- Verwendung eines Z40-Zahnrads, das von einer Rastschnecke angetrieben wird;
- Aufteilung der für eine komplette  $360^\circ$ -Drehung des Encodermotors benötigten 75 Impulse in drei gleiche Teile (also jeweils 25 Impulse).

Der Encodermotor wird in Robo Pro über das Befehlselement „Erweiterte Motorsteuerung“ angesprochen. Dazu muss die Stromzufuhr an einen Motorausgang (hier: M1), der Impulsausgang (schwarz) an den entsprechenden Counter (hier: CD1) und die Stromzufuhr des Encodermotors an Masse (grün) und +9 V out (rot) angeschlossen werden.



Abb. 7: Konfiguration der Encodermotor-Steuerung

Das folgende kleine Robo Pro-Programm (Abb. 8) lässt den Sonar-Sensor einmal um  $360^\circ$  rotieren und trägt die 120 Messwerte in eine Tabelle ein, die nach dem Durchlauf des Programms in einer .csv-Datei gespeichert werden kann (siehe [ft:pedia 1/2011](#)). Die aktuellen Messwerte werden im Online-Betrieb angezeigt.

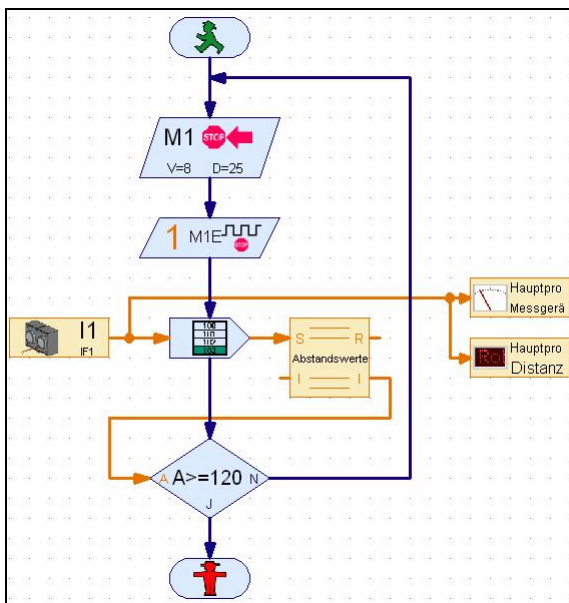


Abb. 8: Robo Pro-Programm zur Steuerung des Radar-Sensors

Die gespeicherten Daten lassen sich anschließend z. B. in Excel so ähnlich wie in einem PPI-Bild darstellen (Abb. 9).

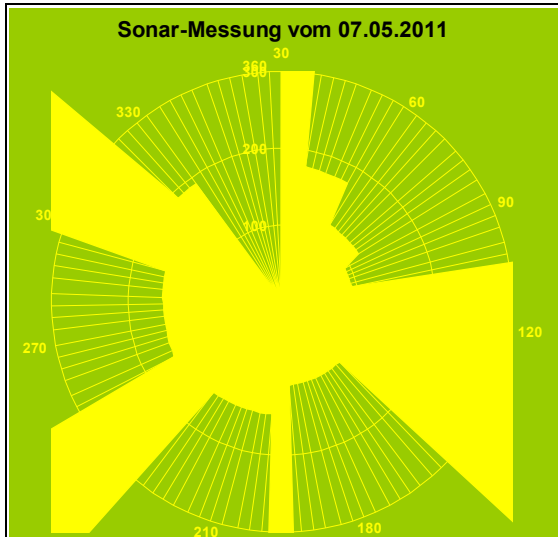


Abb. 9: Radarbild (Sonar); helle Flächen: kein Hindernis

Aus den gemessenen Distanzwerten  $d$  zu einem Drehwinkel  $\alpha$  lassen sich aber auch leicht die zugehörigen  $x$ - und  $y$ -Koordinaten für eine Online-Darstellung auf einem „Radarschirm“ gewinnen (Abb. 10):

$$x = d \cdot \sin(\alpha); y = d \cdot \cos(\alpha)$$

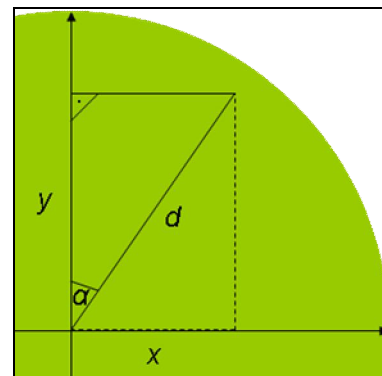


Abb. 10: Berechnung der  $x$ -/ $y$ -Koordinaten

Robo Pro erlaubt die Berechnung von Sinus und Cosinus, lässt aber leider keine Ansteuerung einzelner Punkte im Bedienfeld über Koordinatenangaben zu, daher ist eine Online-Sonar-Darstellung nur mit anderen Programmierumgebungen möglich.

### Literatur

- [1] Wikipedia: *Radar*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Radar>
- [2] Wikipedia: *Christian Hülsmeier*. [http://de.wikipedia.org/wiki/Christian\\_H%C3%BClsmeier](http://de.wikipedia.org/wiki/Christian_H%C3%BClsmeier)
- [3] Holpp, Wolfgang: *Das Jahrhundert des Radars*. Veröffentlichung anlässlich der 100-Jahr-Feier der Erfindung des Radars 2004. [http://www.100jahreradar.de/vortraege/Holpp\\_Das\\_Jahrhundert\\_des\\_Radars.pdf](http://www.100jahreradar.de/vortraege/Holpp_Das_Jahrhundert_des_Radars.pdf)
- [4] Wikipedia: *Robert Watson-Watt*. [http://de.wikipedia.org/wiki/Robert\\_Watson-Watt](http://de.wikipedia.org/wiki/Robert_Watson-Watt)
- [5] von Schumann, Uwe; Knoll, Jürgen A.: *Robert Watson-Watt und das Radar*. Film (15 min.) aus der Sendereihe ‚Meilensteine der Naturwissenschaft und Technik‘ des Schulfernsehens der ARD, 1992. <http://www.youtube.com/watch?v=uwP3LcDdU7w>
- [6] Wikipedia: *Schallgeschwindigkeit*. <http://de.wikipedia.org/wiki/Schallgeschwindigkeit>



Tipps &amp; Tricks

## Kaulquappen (Teil 2)

Harald Steinhaus

*Wir rekapitulieren: Kaulquappen sind Entwürfe, die noch etwas heranreifen müssen, bis sie zu Fröschen werden. Davon muss man viele küssen (als technische Problemlösung ausprobieren). Das alles in der Hoffnung, dass ein paar davon zu Prinzen werden und nicht gar zu viele bitter schmeckende Kröten darunter sind. Im Haraldschen Froschteich herrschte reges Treiben und Blubbern, so dass wir hier einige weitere Exemplare vorstellen können.*

1. Mit den ft-Freilaufnaben können Lagerung und Antrieb eines Rades getrennt erfolgen. Hier kommt der Antrieb über die Kegelerzahnung (rechts) bzw. den Zahnkranz an der Kurbel 35071 (links). Die Kurbel muss ggf. noch abgetrennt werden.

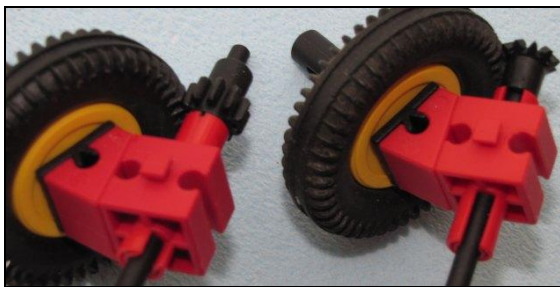


Abb. 1: Bauteil-Nr. 32928/68535/129697

2. Die Kegelerzahnräder können auch stirnseitig noch etwas Kraft übertragen.

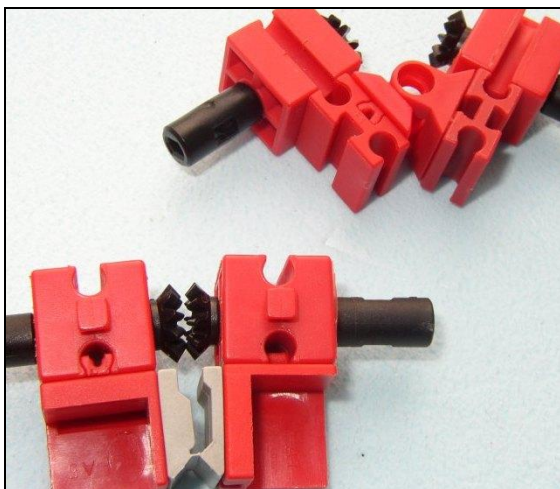


Abb. 2: Bauteil-Nr. 35061

Mit einem zusätzlichen Gelenk wird daraus ein Antrieb, den man beiseite klappen kann. Diese Idee hatte auch jemand anderes; im Bilderpool gibt es ein Foto davon.

3. Die Kegelerzahnräder passen auch in die Winkelträger 15. Damit kann man einen Antrieb sehr kompakt um 90° abknicken.



Abb. 3: Bauteil-Nr. 35061

4. Hier dient die Kurbel als Mitnehmer für einen Hebel.

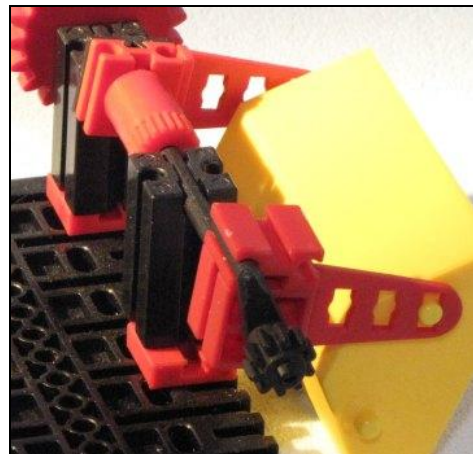


Abb. 4: Bauteil-Nr. 35071

Der Kurbelarm steckt in der Mittelbohrung des BS15-Loch.

5. Es fing damit an, dass eine V-Platte 15 in die Nut des Z30 hinein geriet. Davon drei im Kreis und ein zweites Z30 als Deckel obendrauf, und man hat drei Arme, die mit etwas Bewegungsfreiheit ausgestattet sind.



Abb. 5: Bauteil-Nr. 36264

6. Wenn man ein Hubgetriebe und ein U-Getriebe hintereinander schaltet, kommt ein sehr langsamer Antrieb mit Leerlauf an beiden Enden heraus. Mit zwei Gummiringen kann man dafür sorgen, dass die Zahnstange an den Enden immer unter Zug nach innen steht und deshalb in Gegenrichtung wieder ins Getriebe eingreift.

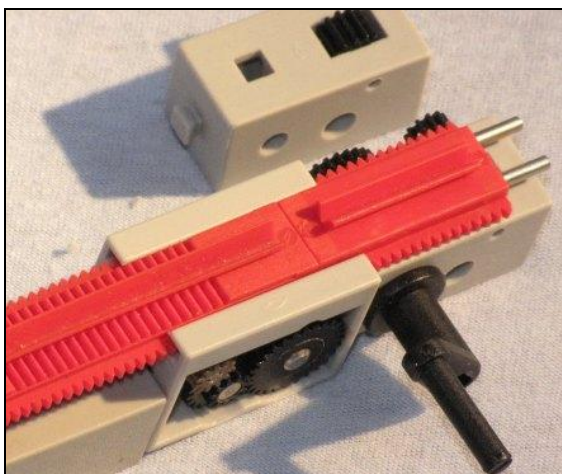


Abb. 6: Bauteil-Nr. 37271/31078

7. Der Adapter 38203 erlaubt beim grauen M-Motor, die Vorsatzgetriebe um 90° verdreht aufzusetzen. Es gibt ihn in zwei Varianten: mit und ohne querliegenden

Federverbinder. Mit zwei Federnocken als Achsen wird daraus eine Schubkarre oder ein leichtes Bugfahrwerk.

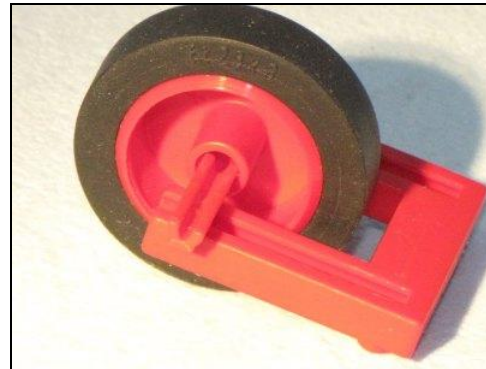


Abb. 7: Bauteil-Nr. 38203

8. Regelmäßige Fünfecke bekommt man mit BS7,5 und Kettengliedern. Für ein Achteck eignet sich der Rollenbock.

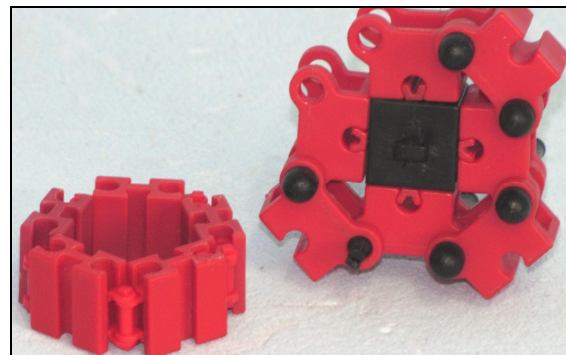


Abb. 8: Bauteil-Nr. 37468, 32085

9. Die Öffnungen in den Trägern der ft-Feuerwehrleiter passen zu den Klemmbuchsen und Hülsen 15 (links), den Verschlussriegeln (mitte) und den Griffen der S-Riegel 4/6/8 (rechts).

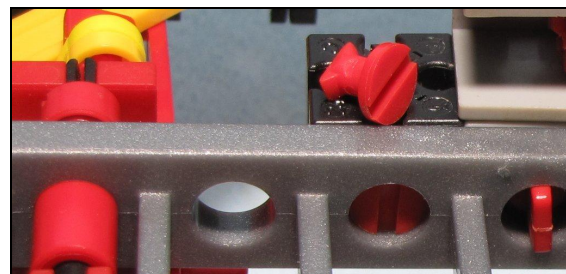


Abb. 9: Bauteil-Nr. 130925

10. Die Bohrungen in der Sternlasche (das ist die sechseckige) haben die richtigen Abstände, um mit einem Z10 von innen drei außen angeordnete Z15 anzutreiben.



Abb. 10: Bauteil-Nr. 31673

**11.** Der „Schalthebel“ war bisher nur ein einziges Mal zu etwas Sinnvollem zu gebrauchen (als [Leitersprosse](#)). Nimmt man aber zwei davon, könnte das mal eine Flugzeugtür werden. Die Lenkklaue stellt ein Stück Schiebetür dar.



Abb. 11: Bauteil-Nr. 31994/35998

**12.** Der Kugelkopf am Spurstangengelenk gleitet in einer ft-Nut. Dieses Gelenk für eine Tür oder Luke erreicht über 90° Öffnungswinkel.



Abb. 12: Bauteil-Nr. 35068

**13.** A propos ‚Türen‘: mit dem Rollenbock als Zwischenstück sollte doch etwas zu machen sein. Zumindest bleiben diese Anordnungen schön im ft-Raster. Irgendwie fehlt aber noch etwas.

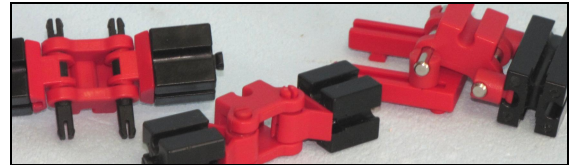


Abb. 13: Bauteil-Nr. 32085

**14.** Der Reedkontakthalter (mit zwei Abstandsringen drin) als Türscharnier, das den Drehpunkt weit genug außen hat, so dass die V-Platte beim Öffnen nirgends anstößt. Der Spalt lässt sich aber nur schlecht verkleiden.

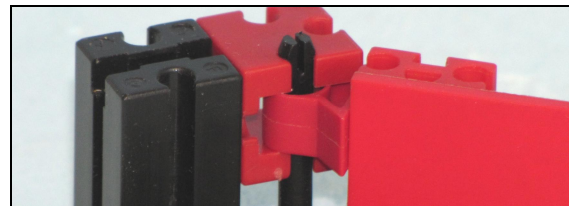


Abb. 14: Bauteil-Nr. 35969/31597

**15.** Eine Tür mit BS7,5 als Zwischenteil. Sie ist im Raster und wird erst nach außen und dann zur Seite geschwenkt. Durchgehendes Verkleiden geht hier aber auch nicht. Sehr elegant wird diese Bauart, wenn man einen BS7,5 quer zu den Nuten halbiert, so dass er in die Rollenlager *hinein* passt. Das wäre aber Teile-Modding und gehört hier nicht zum Thema.

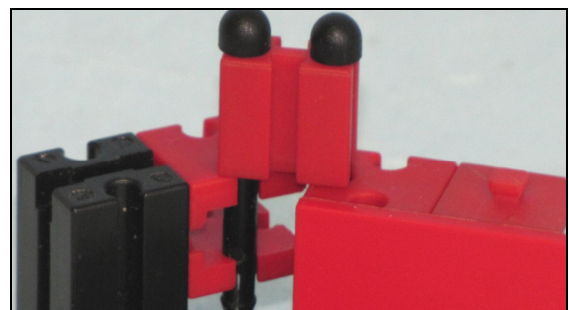


Abb. 15: Bauteil-Nr. 37468/37636

**16.** Rund um den Statikadapter und den U-Träger-Adapter herum lassen sich auch schöne Gelenke aufbauen.

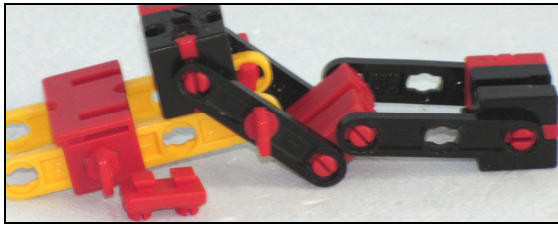


Abb. 16: Bauteil-Nr. 35975/35979

**17.** Nach vielerlei Tändelei mit Kaulquappen und Kröten kommen wir nun zu einem Exemplar, das es zum Prinzen geschafft hat: mit dem „alten“ Statik-Scharnier gibt es hier eine Tür, die komplett versenkt eingebaut ist und damit voll in der Verkleidung verschwindet. Man kann sie nach innen öffnen (dann schwenkt nur das S-Scharnier) oder nach außen (dann klappt das S-Scharnier etwas auf, und die Tür dreht um die Rastachse herum).

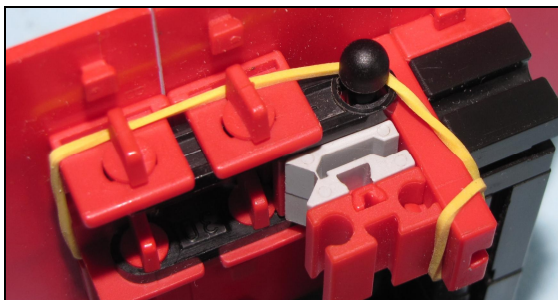


Abb. 17: Bauteil-Nr. 36329/35979

**18.** Die halb nach außen geöffnete Tür. Der Gummiring hält die Endlagen „zu“ und „nach außen auf“ stabil. Außerdem zieht er die Tür wieder zu, wenn sie nach innen geöffnet ist.

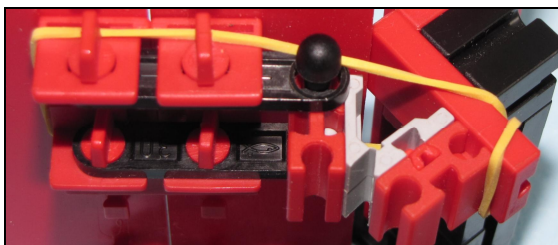


Abb. 18: Bauteil-Nr. 36329/35979

**19.** Im Froschtümpel treiben sich auch Schnecken herum. Diese vier hier bilden den Anfang einer Hubvorrichtung. Es müssen nur noch die drei schwarzen gleichsinnig angetrieben werden.

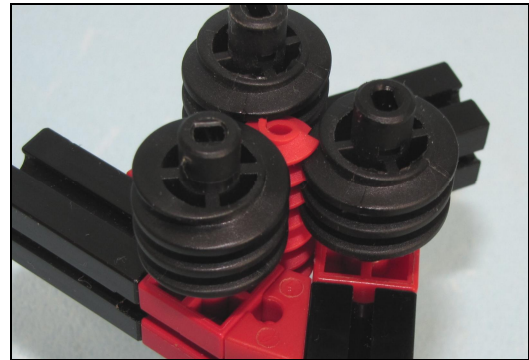


Abb. 19: Bauteil-Nr. 37926/35072

**20.** Hier haben wir auch einen „Prinzen“: eine Säule aus ‚Hülsen mit Scheibe‘ kann ebenfalls als Mittelteil der Hubvorrichtung dienen.

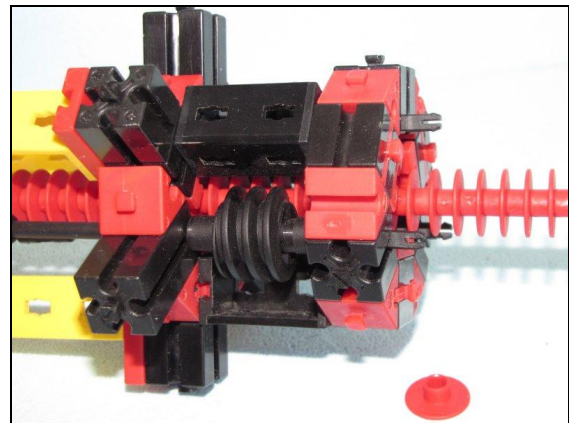


Abb. 20: Bauteil-Nr. 35981/35072

**21.** Ein weiteres adliges Fundstück: Ein pneumatischer Greifer.

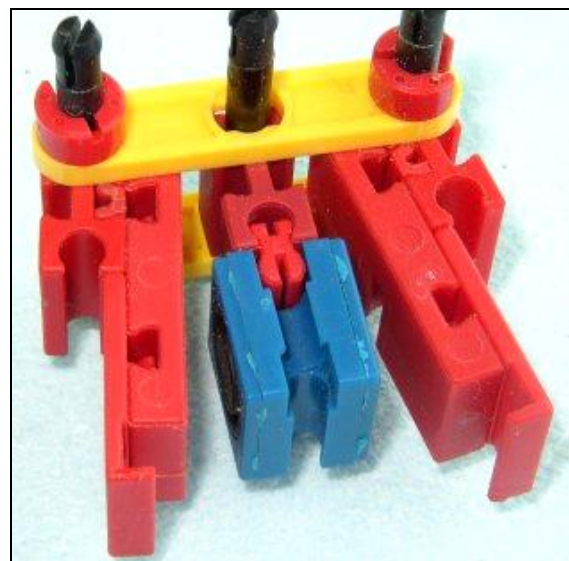


Abb. 21: Bauteil-Nr. 32455/36076

Das blaue Teil ist ein P-Doppelbetätiger. Er dient nur zum Öffnen; das Schließen erledigt ein Gummiring.

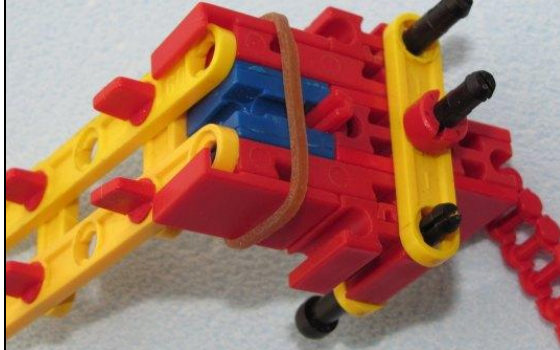


Abb. 22: Bauteil-Nr. 32455/36076

**22.** Die S-Streben haben den richtigen Abstand voneinander, so dass der Greifer sie festhalten kann.

So viel zu den Ergebnissen der diesjährigen Kaulquappenzucht.

Bisher waren alle Entwürfe „naturbelassen“, also so wie Artur Fischer sie schuf. Es gibt aber auch eine Hexenküche, in der sich mittels mehr oder weniger sanfter Gen-Manipulationen (sprich: „Modding“) weitere Prinzen züchten lassen. Dazu kommen wir im nächsten Beitrag.

Elektronik

## LEDs mit Vorwiderstand

Thomas Habig

*Leuchtdioden (LEDs) sind eine sehr attraktive Alternative zu den originalen fischertechnik-Leuchtmitteln – sie benötigen deutlich weniger Strom und verlängern damit die „Lebenszeit“ Akku betriebener Modelle. Einige haben sogar eine deutlich höhere Lichtleistung. Allerdings sind bei der Nutzung ein paar Grundregeln zu beachten – will man die Lebensdauer der LEDs nicht künstlich verkürzen.*

Oft wird das Thema „Vorwiderstand und LED“ angesprochen, und stets wird dann auf die allgemein gültige Formel zur Berechnung verwiesen:

$$(U_{ges.} - U_{LED}) : I_{LED} = R_V \text{ (mind.)}$$

Zu wählen ist i. d. R. der nächst größere Wert für  $R_V$ .

Allerdings darf man annehmen, dass vor allem Bastler mit eher wenig Kenntnissen in Elektronik sich oft diese Frage stellen, wenn sie die Experimentierfreude packt, sich aber mit der korrekten Berechnung eines Vorwiderstandes (im Folgenden nur noch  $R_V$ ) schwertun. Kompliziert wird die Suche dadurch, dass eine LED stets eine individuelle Schwellspannung (im Folgenden nur noch  $U_{LED}$ ) hat, die nicht immer bekannt ist. Als Faustformel kann man aber zumeist von etwa 2 Volt und einem maximalen Strom von 20 mA ausgehen, auch wenn die Bandbreite an erhältlichen Bautypen heute recht groß ist. Hilfreich ist es daher, zumindest den jeweiligen Typen zu kennen und ob es sich um eine „normale“ LED handelt oder um eine sogenannte „Low-current“ mit deutlich niedrigerem Strombedarf. Letztere darf nämlich nur mit maximal 2 mA betrieben werden.

Die meisten LEDs in den gängigen Farben rot, gelb, orange, grün arbeiten gewöhnlich mit maximal 20 mA. Daneben gibt es die

neuen LEDs in den Farben blau, weiß und pink, die nicht nur eine höhere  $U_{LED}$  haben, sondern oft auch mit deutlich mehr als 20 mA betrieben werden dürfen. Die dritte Gruppe bilden spezielle LEDs in infrarot oder ultraviolett, die zum Teil mit bis zu 100 mA belastet werden dürfen.

Viele LED-Typen sind auch in „superhell“ zu bekommen. Diese LEDs sind besonders lichtintensiv.

### Berechnungsbeispiele

In der Tabelle auf der letzten Seite sind alle gängigen  $R_V$  der Reihe E24 in Relation zur „Restspannung“ ( $U_{ges.} - U_{LED}$ ) aufgeführt. Die genannten Werte beziehen sich jeweils auf 20 mA und 50 mA. Für andere Ströme (z. B. 40 mA) braucht der dazugehörige  $R_V$  (20 mA) lediglich halbiert zu werden.

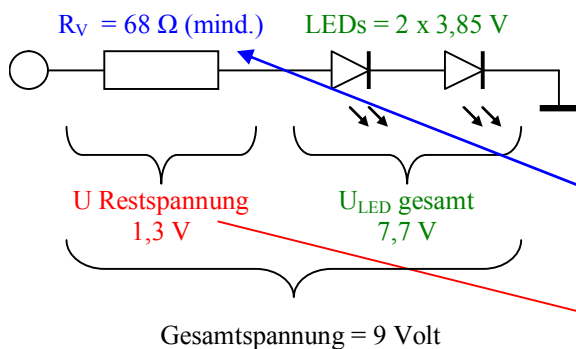
Für „Low-current“-LEDs gilt daher: Wert  $R_V$  für 20 mA multipliziert mit 10. Damit sind gut 90 % aller in „unseren Kreisen“ denkbaren LED-Schaltungen abgedeckt.

Allerdings sollte man dabei bedenken, dass auch eine stabilisierte Versorgungsspannung in gewissen Grenzen schwanken kann. Dieser Umstand sollte bei der Auswahl für  $R_V$  berücksichtigt werden. Für Dauerbetrieb wird daher mindestens der jeweils nächst höhere Wert für  $R_V$

empfohlen. Das betrifft auch Reihenschaltungen mit LEDs, bei denen die addierten  $U_{LED}$  identisch sind mit der Versorgungsspannung oder nur geringfügig größer als diese. Sicherheitshalber sollte hier wenigstens ein kleiner  $R_V$  gesetzt werden; dieser könnte in manchen Fällen nämlich rein rechnerisch entfallen.

Vermeiden sollte man aber eine Mischung von LEDs unterschiedlicher Stromstärken. Denn die maximal zulässige Stromstärke orientiert sich immer an dem schwächsten Glied einer solchen Kette. Vor allem Low-current-LEDs können dann schnell kaputt gehen. Eine Kombination unterschiedlicher Farben derselben Baureihe ist jedoch ohne weiteres zulässig.

**Beispiel 1:** An einer Spannung von 9 Volt sollen 2 in Reihe geschaltete weiße LEDs (je 3,85 V/ 20 mA) betrieben werden.

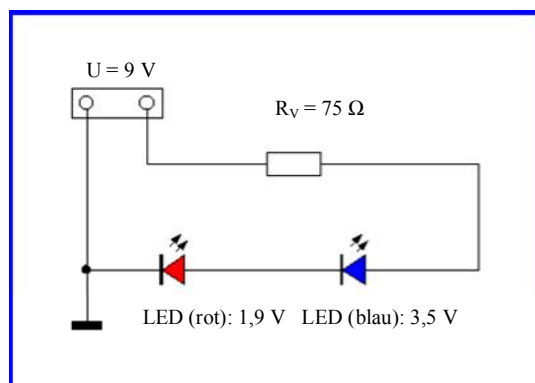


mA	20	50
	V	
30	0,6	1,5
33	0,7	1,7
36	0,7	1,8
39	0,8	2,0
43	0,9	2,2
47	0,9	2,4
51	1,0	2,6
56	1,1	2,8
62	1,2	3,1
68	1,4	3,4
75	1,5	3,8
82	1,6	4,1

- max. zulässiger Strom (mA)
- $R_V$  ( $\Omega$ ) mind.
- nächst höherer Wert der Restspannung (V)
- sicherer  $R_V$  ( $\Omega$ )

**Ergebnis:** Die Restspannung über der LED beträgt hier 1,3 Volt. Der Tabelle kann nun der nächst höhere Wert für  $R_V$  bei 1,4 Volt – also  $68 \Omega$  – abgelesen werden. Die Versorgungsspannung darf in diesem Beispiel aber nicht allzu groß schwanken. Deshalb ist die Restspannung eher großzügig zu bemessen und für  $R_V$  besser  $82 \Omega$  oder noch höher zu wählen.

**Beispiel 2:** An einer Spannung von 9 Volt sollen zwei superhelle „Jumbo“-LEDs (blau und rot/ je 50 mA) im maximal zulässigen Bereich (also bis 50 mA) betrieben werden.

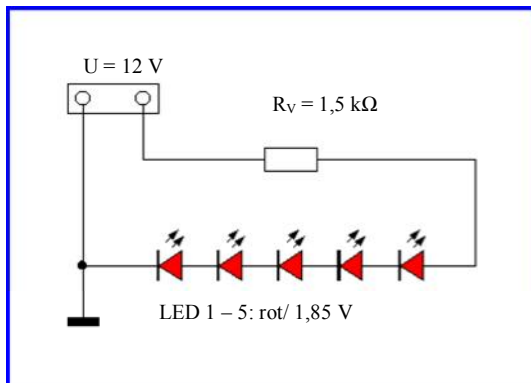


mA	20	50
	V	
30	0,6	1,5
33	0,7	1,7
36	0,7	1,8
39	0,8	2,0
43	0,9	2,2
47	0,9	2,4
51	1,0	2,6
56	1,1	2,8
62	1,2	3,1
68	1,4	3,4
75	1,5	3,8

- max. zulässiger Strom (mA)
- $R_V$  ( $\Omega$ ) mind.
- nächst höherer Wert der Restspannung (V)

**Ergebnis:** Die Restspannung beträgt hier 3,6 Volt ( $9 - 3,5 - 1,9$ ). In der Tabelle finden wir bei 3,8 Volt für  $R_V$  den Wert  $75 \Omega$ , mit dem die beiden LEDs noch betrieben werden dürfen. Hier fließen dauerhaft etwa 48 mA. Ein sicherer Wert wäre also eher  $82 \Omega$  oder mehr.

**Beispiel 3:** An einer Spannung von 12 Volt sollen fünf in Reihe geschaltete rote Low-current-LEDs (1,85 V/ 2 mA) betrieben werden.



mA	20	50
Ω		V
82	1,6	4,1
91	1,8	4,6
100	2,0	5,0
110	2,2	5,5
120	2,4	6,0
130	2,6	6,5
150	3,0	7,5
160	3,2	8,0
180	3,6	9,0
200	4,0	10,0
220	4,4	

max. zulässiger Strom (mA) – hier durch 10 zu teilen

nächst höherer Wert der Restspannung (V)

analoger  $R_V$  (Ω) – hier mit 10 zu multiplizieren

**Ergebnis:** Die Restspannung beträgt 2,75 Volt. Der Tabelle kann nun der (nächst höhere) Wert für  $R_V$  bei 3 Volt entnommen werden. Dieser muss aber noch in Bezug zum weitaus geringeren Strombedarf von maximal 2 mA um den Faktor 10 multipliziert werden. Der korrekte Wert für  $R_V$  lautet daher 1500 Ω bzw. 1,5 kΩ. Ein sicherer Wert für  $R_V$  in dieser Variante wäre natürlich 1,8 kΩ oder höher.

## Weitere Tipps & Anwendungen

### LED-Betrieb an Wechselspannung

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass LEDs stets eine verhältnismäßig geringe Sperrspannung (verkehrt herum gepolt) haben und bei falscher Polung – bei Wechselspannung unvermeidlich – schnell zerstört werden können. Abhilfe schafft hier eine antiparallel geschaltete normale Diode (z. B. 1n4148), damit der Strom ungehindert in beide Richtungen fließen kann.

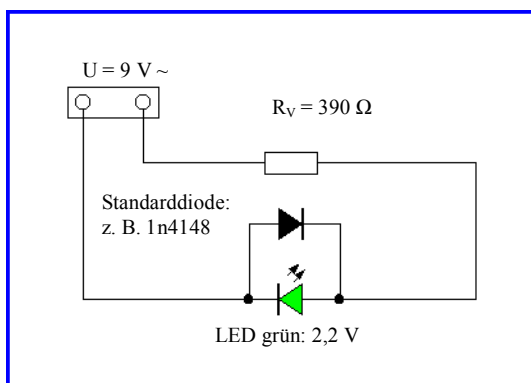


Abb. 1: LED-Schaltung „Wechselspannung“

Alternative ist eine zweite LED für die Gegenrichtung, was bei so genannten Zweifarb-LEDs, die oft als Stromrichtungsan-

zeige verwendet werden, automatisch geschieht. Als Faustformel kann auch für diesen Fall dieselbe Tabelle verwendet werden. Das Ergebnis zeigt für 6,8 Volt Restspannung ebenfalls auf den nächst höheren Wert für  $R_V$  von 360 Ω mindestens oder 390 Ω als empfohlener Wert. Die möglichen Feinheiten bezüglich Impulsstroms u. ä. in dieser Betriebsart lasse ich einmal außen vor.

### LED-Kaskaden

Will man eine große Anzahl LEDs betreiben, so kommt man vielleicht auf die Idee, hier ggf. mit nur einem  $R_V$  zu arbeiten.

Bezogen auf eine doppelte Leistung von 40 mA käme man hier bei 0,6 Volt Restspannung auf rechnerisch 15 Ω insgesamt. Und genau darin liegt die Crux. Denn aufgrund so genannter Streuungen zwischen den beiden Ketten wird die Sache äußerst riskant. Und sollte nur eine LED ausfallen oder würde der Kontakt irgendwo unterbrochen, so würde der dann nicht betroffene Zweig sofort mit einem zu hohen Strom belastet und diese LEDs nach kürzester Zeit zerstören.



Natürlich muss hier jeder einzelne Zweig separat betrachtet und immer mit einem eigenen  $R_V$  wie gehabt versorgt werden. Für das Beispiel 3 (siehe Kasten) gilt daher: je  $30\ \Omega$  pro Vierer-Reihe mindestens bzw.  $33\ \Omega$  bis  $39\ \Omega$  als sicherer Wert.

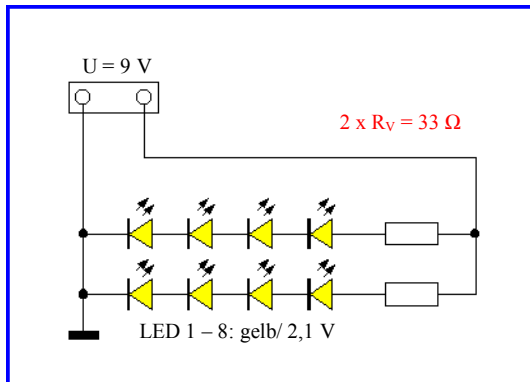


Abb. 2: LED-Schaltung „Kaskade“

### Mindestspannung

Versuche mit LEDs zeigen, dass eine LED stets auch eine Mindestspannung benötigt, um minimal zu leuchten. Diese Mindestspannung liegt in etwa bei 80 % von  $U_{LED}$ . Der maximal zulässige Strom einer LED hat darauf zunächst keinen Einfluss.

Der Grund hierfür liegt in der Arbeitsweise eines Halbleiterkristalls. Bei sehr geringer Spannung (z. B.  $U = 1,5\ \text{V}$  für Batterien) kann noch kein Strom fließen. Erst bei höherer Spannung werden ausreichend freie Elektronen aus dem inneren Kristallgitter des Halbleitermaterials gelöst, so dass ein Strom in der LED fließen kann.

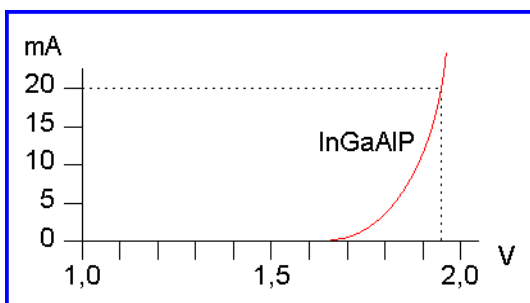


Abb. 3: typische  $U/I$ -Kennlinie einer LED

Das Diagramm (siehe Kingbright Datenblatt, Teile-Nr.: L-59SURKSGC-CA, S. 3) zeigt klar den Zusammenhang zwischen

Spannung und Strom an einer typischen LED. Das Buchstabenkürzel benennt zudem die Elemente des Halbleiterkristalls (u. a. In = Indium). An der steilen Kurve ist so leicht zu erkennen, warum eine LED auch immer einen  $R_V$  zur Strombegrenzung benötigt.

Das bedeutet natürlich im Umkehrschluss, dass eine LED nicht mehr ausreichend mit Strom versorgt wird, falls z. B. an einer einzelnen Batterie von 1,5 Volt eine grüne LED (2,2 V) betrieben werden soll.  $U_{GES}$  liegt dann bei ca. 68 % von  $U_{LED}$ . Die LED leuchtet in dieser Kombination nicht.

### LED-Leuchtsteine

Leuchtdioden haben den großen Vorteil, dass sie gegenüber normalen Lämpchen weitaus weniger Strom benötigen. Dann können bereits mit kleinen Stromversorgungen (z. B. der 9V-Block) interessante und vielseitige Lichteffekte erzielt werden.

Ein entscheidender Nachteil aber ist, dass LEDs grundsätzlich mit einem Vorwiderstand betrieben werden müssen. Das bedeutet für jegliche Anwendungen einen gewissen Mehraufwand, und LEDs sind stets auf die korrekte Polung angewiesen. Daher verwundert es auch nicht, wenn eine LED Fehlschaltungen, die in der Vergangenheit auch mir unterlaufen sind, nicht verzeiht. Vor allem bei Spezial-Ausführungen kann so etwas schnell ins Geld gehen.

Auf der letzten Seite zeige ich an einem realen Beispiel, wie man eine LED in einen FT-Leuchtstein sauber einfasst und diesen korrekt anschließt. Außerdem steht hier die komplette Tabelle  $R_V$  zur Verfügung.

In den Leuchtstein werden wie in Abb. 4 zu sehen zunächst zwei einzelne Drähte (keine Litze!) eingelötet und danach auf ca. 1 cm gekürzt – ebenso die Anschlüsse der LED. Der Kathodenanschluss kann bei Bedarf mit einem Edding markiert werden (grüner Pfeil). Danach werden beide Teile

vorsichtig miteinander verlötet (unbedingt Temperatur beachten!).

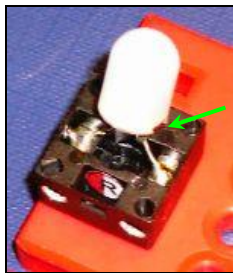


Abb. 4: Leuchtstein

Abbildung 5 zeigt eine simple Anwendung, wie LED und Widerstand zu kombinieren sind.

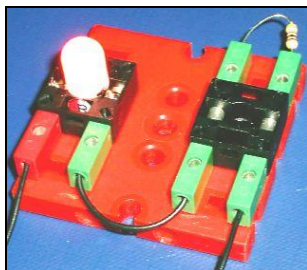


Abb. 5: Anwendung

Übrigens: Die hier gezeigte LED ist natürlich purer Luxus (8 mm, 360° Abstrahlwinkel, rot – Conrad-Nr.: 184433 für

2,49 €). Um später alle LEDs leichter unterscheiden zu können, kann in den Freiraum ein kleiner Aufkleber (mit Pinzette) eingefügt werden.

Abschließend wird die fertig verlötete LED leicht drehend nach unten gedrückt (hält ab jetzt von alleine). Und eine Rastleuchtekappe passt auch noch drüber!

### Die Tabelle

Aufgeführt sind hier alle Widerstände der Reihe E24 (inklusive „Zwischenwerte“) von 10 - 620 Ω in Relation zur jeweiligen Restspannung für 20 mA und 50 mA.

Wie die Tabelle anzuwenden und zu lesen ist, ist ausführlich in den Beispielen 1-3 beschrieben und illustriert. Natürlich ließe sich die Tabelle erheblich erweitern. Doch letztlich reicht der dargestellte Ausschnitt für die meisten Schaltvarianten mit LEDs.

Wer die Tabelle trotzdem nochmal für sich am eigenen Rechner generieren möchte, um z. B. weitere Werte einzubinden, muss sich nur an folgender Formel orientieren:

$$R (\Omega) \times I (mA) / 1000 = \text{Restspannung}$$



mA	20	50	mA	20	50	mA	20	50	mA	20
Ω	V		Ω	V		Ω	V		Ω	V
10	0,2	0,5	30	0,6	1,5	82	1,6	4,1	240	4,8
11	0,2	0,6	33	0,7	1,7	91	1,8	4,6 <sup>1</sup>	270	5,4
12	0,2	0,6	36	0,7	1,8	100	2,0	5,0 <sup>1</sup>	300	6,0
13	0,3	0,7	39	0,8	2,0	110	2,2	5,5 <sup>1</sup>	330	6,6
15	0,3	0,8	43	0,9	2,2	120	2,4	6,0 <sup>1</sup>	360	7,2
16	0,3	0,8	47	0,9	2,4	130	2,6	6,5 <sup>1</sup>	390	7,8
18	0,4	0,9	51	1,0	2,6	150	3,0	7,5 <sup>1</sup>	430	8,6
20	0,4	1,0	56	1,1	2,8	160	3,2	8,0 <sup>1</sup>	470	9,4
22	0,4	1,1	62	1,2	3,1	180	3,6	9,0 <sup>1</sup>	510	10,2
24	0,5	1,2	68	1,4	3,4	200	4,0	10,0 <sup>1</sup>	560	11,2 <sup>1</sup>
27	0,5	1,4	75	1,5	3,8	220	4,4		620	12,4 <sup>1</sup>

<sup>1)</sup> R<sub>V</sub> – mind. 0,5 W



Abb. 6: Tabelle R<sub>V</sub> (Vorwiderstand)

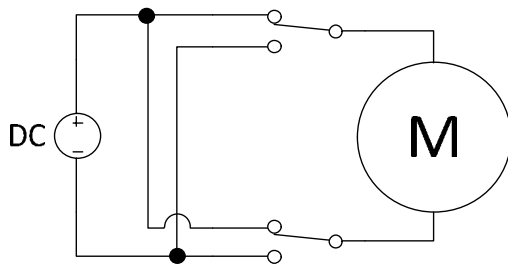
Schaltungstechnik

## Motorsteuerungen (Teil 2)

Stefan Falk

Im ersten Teil dieses Artikels – siehe [ft:pedia Ausgabe 1/2011](#) – führten wir einfache Schaltungen für Motorsteuerungen ein, die nur Taster benötigen. In der heutigen Folge erweitern wir diese Schaltung um eine Endlagenabschaltung und einen Überlastschutz.

In der vorherigen Ausgabe der [ft:pedia](#) stellten wir eine Schaltung vor, die es erlaubt, einen Motor mit zwei Tastern getrennt für Links- und Rechtslauf zu steuern. Hier nochmal das Schaltbild zur Erinnerung:



Schaltung 1: Getrennte links/rechts-Taster

Für die Erweiterung dieser Schaltung wollen wir ein konkretes Modell als Beispiel nutzen: einen kleinen Hafenkran:

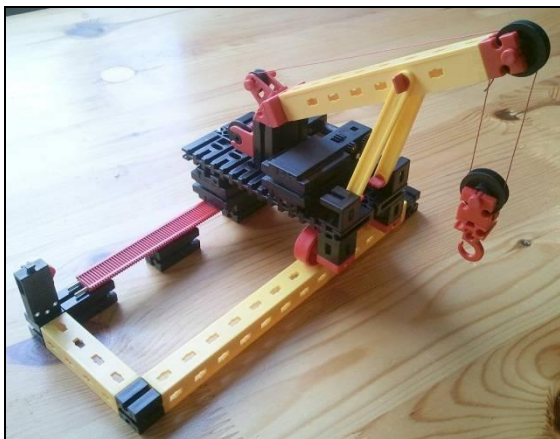


Abb. 1: Ein kleiner Hafenkran

Wem mehr Bauteile zur Verfügung stehen, kann den Kran natürlich nach Belieben vergrößern oder ausbauen.

Am Ende dieses Artikels soll der Kran die folgenden Forderungen erfüllen:

1. Wir wollen das Verfahren des Krans auf den Schienen mit zwei Tastern wie in *Schaltung 1* steuern können.
2. Am Ende der Schienen soll der Motor automatisch stoppen. Eine Bewegung soll dann nur noch in die andere Richtung möglich sein.
3. Ebenso soll das Kranseil über je einen Taster für hoch/herunter komfortabel gesteuert werden.
4. Das Kranseil soll automatisch stoppen, sobald der Haken oben an der Spitze des Auslegers ankommt. Das Seil soll dann nur noch herabgelassen werden können.
5. Das Kranseil soll gegen eine Überlastung geschützt sein. Sollte eine zu schwere Last angehängt werden, soll das Seil ebenfalls nur noch gesenkt werden können.

Für all dies brauchen wir nichts weiter als einige zusätzliche Taster und ein paar fischertechnik-Teile! Aber eins nach dem anderen.

## Zum Bau des Modells

Wir beginnen mit einem einfachen Rahmen, auf dem ein S-Motor mit Hubgetriebe hin- und herfahren kann. An den Enden der Strecke sind Endlagen-Taster angebracht, die einfach direkt vom Motor betätigt werden, wenn er dort ankommt. Wir versuchen, mit einem Minimum an Bauteilen auszukommen:

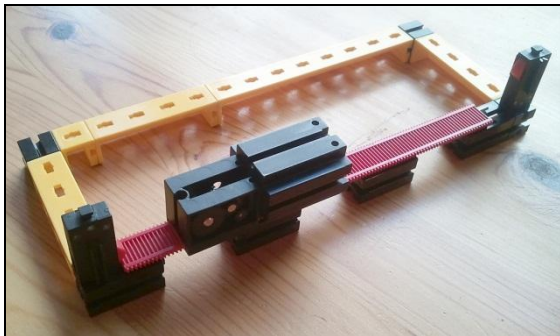


Abb. 2: Der Verfahrentrieb

Schon mit dieser Baustufe können wir – noch ohne die Endlagentaster anzuschließen – *Schaltung 1* ausprobieren. Dazu dient eine Steuereinheit, die die Taster zur Bedienung des Krans enthält. *Abbildung 3* zeigt einen Vorschlag unter Verwendung der älteren fischertechnik-Taster. Ihr könnt diese oder auch die aktuellen Taster verwenden – sie funktionieren genau gleich.

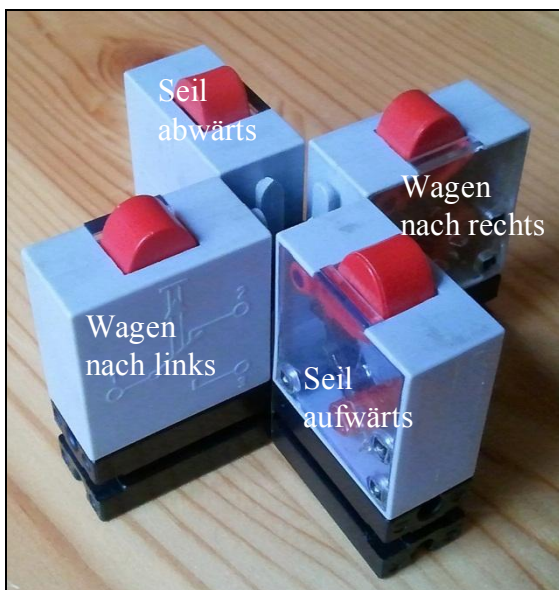
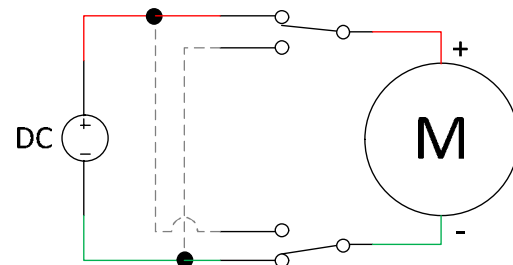


Abb. 3: Die Steuereinheit

Wie Ihr seht, haben wir gleich vier Taster vorgesehen – wir wollen ja später auch noch das Kranseil heben und senken können. Für den Augenblick genügen jedoch noch die beiden Taster für die Steuerung des Wagens. In Ergänzung zu *Schaltung 1* wollen wir zunächst erreichen, dass der Motor an den Endlagen automatisch ausgeschaltet wird.

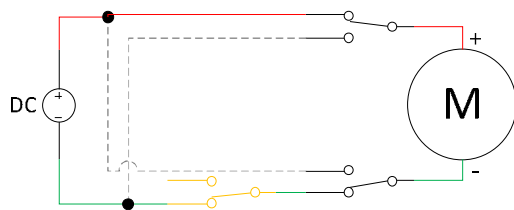
## Wann muss welche Leitung unterbrochen werden?

Stellen wir uns zunächst vor, wir würden den unteren Taster von *Schaltung 1* drücken und den Motor damit zum Verfahren des Krans in eine bestimmte Richtung bringen. Die stromführenden Leitungen sind in diesem Zustand die in *Schaltung 2* farblich dargestellt:



Schaltung 2: Der untere Taster ist gedrückt

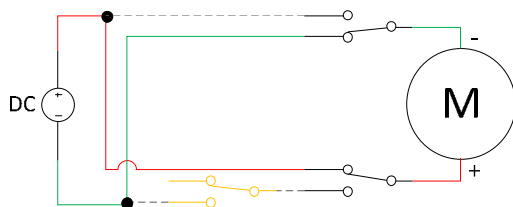
Wenn der Kran am Ende der Schiene angekommen ist, müssen wir die – und nur die! – Leitung unterbrechen, die den Motor *in diese Richtung* laufen lässt. Wir dürfen keine Leitung unterbrechen, die für die entgegengesetzte Bewegungsrichtung benötigt wird, denn der Kran soll ja durchaus noch in die andere Richtung, also weg vom Ende der Schiene, bewegt werden können. Das erreichen wir, indem wir einen *Öffner* wie in *Schaltung 3* gezeigt einsetzen:



Schaltung 3: Endlagentaster 1

Der zusätzliche, in orange eingezeichnete Endlagentaster ist so am Ende der Schiene angebracht, dass der Wagen bzw. der Motor selbst ihn betätigt, wenn er das Ende der Schiene erreicht hat. In diesem Moment unterbricht der Endlagentaster die Stromzufuhr. Sein dritter Kontakt (der Arbeitskontakt) bleibt im Augenblick noch unbeschaltet, wir nutzen nur den Zentral- und den Ruhekontakt.

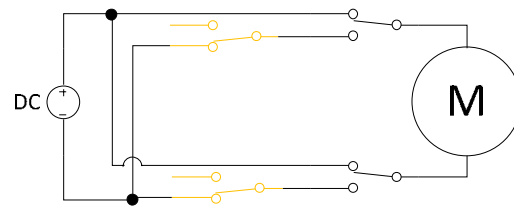
Wenn der Endlagenschalter also erreicht ist, schaltet sich der Motor ab – wie gefordert. Aber lässt er sich noch in die andere Richtung bewegen? Dazu müssen wir den unteren Taster im Schaltbild loslassen und den oberen drücken. Schauen wir uns diese Situation in *Schaltung 4* an:



Schaltung 4: Umsteuern der Bewegungsrichtung bei gedrücktem Endlagentaster

Wie wir sehen, funktioniert die Schaltung soweit schon: Der Motor bekommt wieder Strom, und zwar wie gewünscht andersherum gepolt, sodass er den Kran vom Ende der Schiene wegbewegt. Probiert es aus!

Dasselbe müssen wir natürlich auch für die andere Endlage am anderen Ende der Schiene tun: Wir benötigen einen weiteren Endlagentaster an dieser Seite. *Schaltung 5* zeigt diesen Stand (alle Taster sind wieder in unbetätigter Position eingezeichnet):



Schaltung 5: Beide Endlagentaster sind eingebaut

Voilà! Der Kranwagen hält am Ende der Schienen an und kann dennoch in die andere Richtung eingeschaltet werden.

## Der Kran Aufbau

Der in Abbildung 4 gezeigte Kran aufsatz wird einfach mittels zweier Federnocken direkt auf dem S-Motor angebracht. Zwei Vorstuferräder unter je einem Baustein 15 stützen den Kran auf der vorderen Schiene ab:

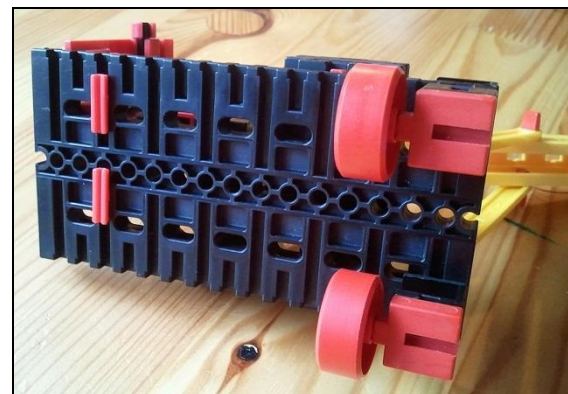


Abb. 4: Die Unterseite des Krans

Abbildung 5 zeigt den Kran aufbau: Auf der Oberseite werden zentral zwei Bausteine 30 eingeschoben. Der S-Motor für das Kranseil wird aus Platzgründen quer eingebaut, indem er einfach mit zwei Federnocken direkt auf der [Grundplatte 120 \\* 60](#) befestigt wird. In der [Seilwindentrommel 30](#) steckt eine Rastachse 30, auf der eines der beiden [Rastkegelzahnräder](#) sitzt.

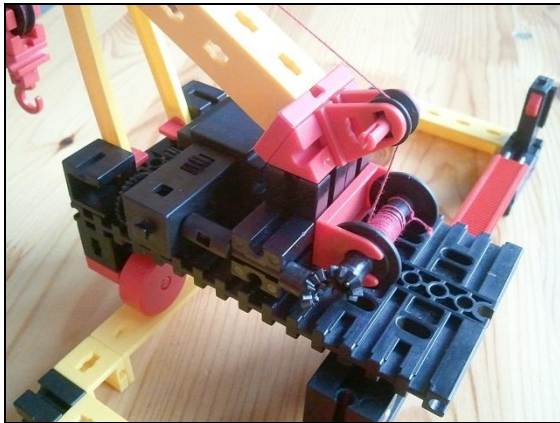


Abb. 5: Der Seilantrieb

Die Seiltrommel und der Baustein 15, der die Antriebsachse führt, müssen alle auf der Höhe des Motorgetriebes sitzen, damit der Seilantrieb leicht läuft. Abbildung 6 zeigt eine andere Sicht auf den Kran:

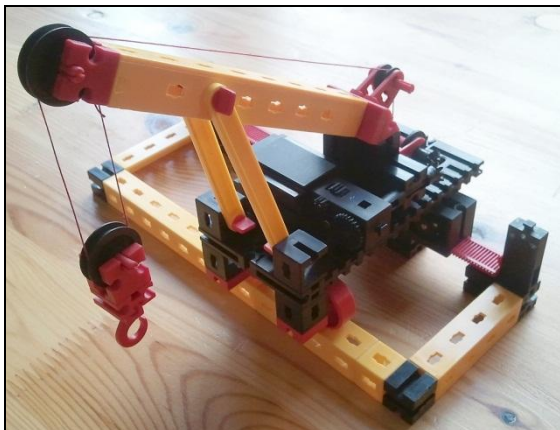


Abb. 6: Die andere Seite

Zur Vergrößerung der Tragkraft verwenden wir einen *Flaschenzug*. Kurz gesagt, verteilen wir die Last auf zwei Abschnitte des Seils, und erreichen damit eine höhere Tragkraft auf Kosten der Geschwindigkeit, mit der der Haken hochgezogen wird. Das Trageil kommt wie in Abb. 6 sichtbar über die obere Umlenckrolle, wird beim Haken um eine weitere solche gelegt, und sein Ende schließlich an der Auslegerspitze befestigt.

Das geht ganz einfach, wenn wir das Seil einmal um den Zapfen des [Rollenlagers 15](#) schlingen, bevor dieser in die Nut des Statikträgers eingeschoben wird. Dadurch wird das Seilende zuverlässig ein-

geklemmt. (Weil sie so nützlich sind, werden wir Flaschenzüge noch ausführlich in der ft:pedia behandeln.)

Der Seilmotor wird zunächst einfach nach *Schaltung 1* an die beiden bisher unbenutzten Taster der Steuerungseinheit angeschlossen. Damit funktioniert schon einiges wie gewünscht:

- Wir können den Wagen nach links und rechts bewegen.
- Er wird an den Endpositionen automatisch stoppen und.
- Das Kranseil kann ebenfalls komfortabel auf und ab bewegt werden.

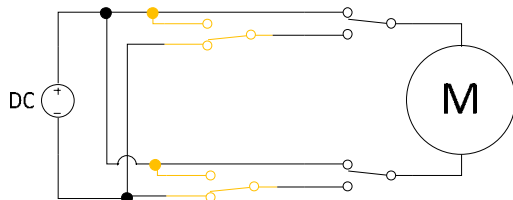
Unsere Anforderungen 1, 2 und 3 haben wir damit bereits erfüllt. So lädt das Modell schon zum Spielen ein, oder?

## Die Wiedereinführung der Kurzschlussbremse

Angespornt durch diesen Erfolg – immerhin ganz ohne Elektronik oder Computer! – wollen wir versuchen, die schon im vorherigen Artikel (siehe [ft:pedia 1/2011](#)) besprochene Kurzschlussbremse auch für die Endlagentaster zu realisieren. Wenn der Kranwagen ein Ende der Schienen erreicht hat, soll der Motor nicht etwa langsam auslaufen, sondern sofort stillstehen. Ansonsten könnte die Endlage durch den Schwung ja doch noch überschritten werden! (Anmerkung: Bei einem schweren Kran möchte man natürlich ein sanftes Auslaufen und keinen ruckartigen Halt erreichen – das realisieren wir in einer späteren Ausgabe der ft:pedia.)

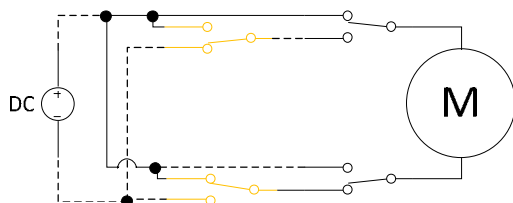
Die Kurzschlussbremse lässt sich überraschend einfach wieder einbauen: Wir brauchen nur dafür zu sorgen, dass die bisher unbeschalteten Arbeitskontakte der Endlagenschalter den Motor mit derselben Leitung verbinden, wie es die Ruhekontakte der Steuerungstaster tun. Mit anderen Worten: Wenn wir den Motor nicht per Kurzschlussbremse dadurch

anhalten, dass wir den Steuerungstaster rechtzeitig loslassen, muss diese Aufgabe eben der Endschalter übernehmen. *Schaltung 6* zeigt, wie's geht. Alles, was wir dazu brauchen, sind zwei zusätzliche Leitungen (in orange eingezeichnet):



*Schaltung 6: Kurzschlussbremse für die Endlagentaster*

Wir wollen kurz überprüfen, ob die Schaltung wirklich korrekt ist. Wir nehmen wieder an, dass der untere Steuerungstaster gedrückt ist. Außerdem soll das betreffende Schienenende bereits erreicht sein, sodass auch der im Schaltbild unten eingezeichnete Endlagentaster bereits gedrückt ist. Damit sieht die Schaltung so aus:



*Schaltung 7: Unterer Steuerungstaster und zugehöriger Endlagentaster sind betätigt*

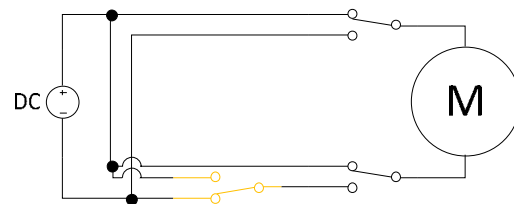
Nur die durchgezogen gezeichneten Leitungen könnten nun von Strom durchfließen werden, alle anderen sind in diesem Zustand bedeutungslos (überlegt selbst, ob das stimmt!). Die beiden Anschlüsse des Motors sind also wieder miteinander verbunden, der Motor ist also kurzgeschlossen und hält schlagartig an. Perfekt!

## Der Kranhaken stoppt automatisch

In Forderung 3 verlangten wir, dass der Motor, der das Kranseil hochzieht, auto-

matisch stoppt, wenn eine zu große Last am Haken hängt. Ebenso soll er sofort anhalten, sobald der Haken ganz oben am Ausleger ankommt. Damit wollen wir eine Überlastung des Seils oder gar das Umfallen des Krans verhindern.

Wenn wir recht überlegen, ist die Forderung, dass der Motor abschalten soll, wenn der Haken oben ankommt, nichts anderes als eine Endlagenabschaltung. Na prima! Die Schaltung dafür kennen wir ja schon. Das ist nichts anderes als *Schaltung 3*, evtl. ergänzt durch die zusätzliche Leitung für eine Kurzschlussbremse, damit der Seilmotor bei Erreichen der Endlage schlagartig anhält. *Schaltung 8* zeigt diese Schaltung:



*Schaltung 8: Endlagentaster für das Kranseil*

## Ein Überlastschutz für das Kranseil

Zusätzlich wollen wir ja aber, dass der Motor auch dann stillgesetzt wird, wenn eine zu große Last am Haken hängt. Dazu brauchen wir also eine Vorrichtung, die erkennt, ob das Seil zu sehr gespannt ist – dann muss wiederum ein Taster betätigt werden, der den Motor abschaltet.

Abbildung 7 zeigt einen Vorschlag für die Konstruktion der Überlast-Erkennung. Wir verwenden die Federkraft einer [Bauplatte 45 \\* 15 mit zwei Zapfen](#) zur Feststellung der Seilspannung. Solange das Seil nicht zu sehr gespannt ist, wird der Taster gedrückt – wir müssen den Taster anders als bisher also so beschalten, dass der Motor stehenbleibt, wenn der Taster *losgelassen* wird.

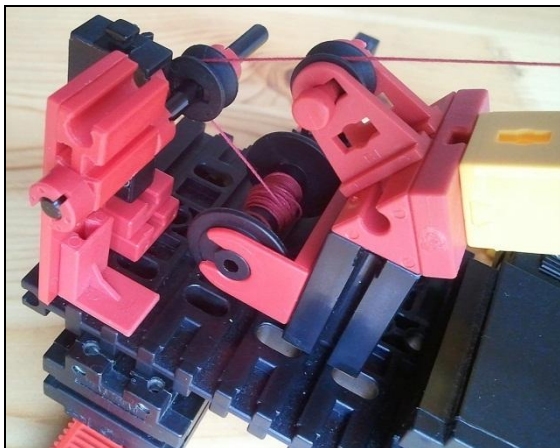


Abb. 7: Erkennung zu hoher Seilspannung

Die Ansprechempfindlichkeit, also die Seilspannung, bei der der Taster losgelassen wird, können wir variieren, indem wir den Taster weiter nach außen oder nach innen justieren. Er muss gerade so weit nach innen geschoben werden, dass er von der federnd gelagerten Achse zuverlässig gedrückt wird, wenn eine zu hohe Seilspannung wieder gering genug wird. Abbildung 8 zeigt die Rückansicht unserer Überlastsicherung:

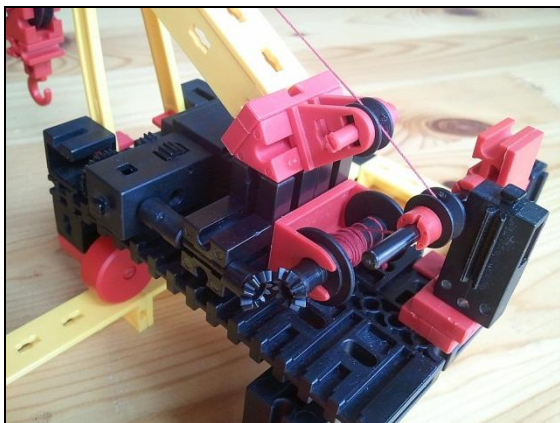


Abb. 8: Rückseite des Überlastschutzes

Viele weitere Varianten einer solchen Mechanik sind natürlich denkbar. Man könnte ein Gewicht anheben lassen, ein Haushaltsgummi als federndes Element einsetzen, eine fischertechnik-Feder verwenden, oder eine Feder aus einem Kugelschreiber (wenn sie gut 4 mm Innendurchmesser hat, können wir sie auf eine fischertechnik-Achse stülpen). Vielleicht wollt Ihr einen sich per eingebauter Feder

selbststrückstellenden Pneumatikzylinder ausprobieren, oder auch einen mit mehr oder weniger Druck beaufschlagten Zylinder, mit dem Ihr die Ansprechempfindlichkeit ebenfalls einstellbar machen könnt. Ihr könnt auch die Seiltrommel mitsamt Motor beweglich lagern und gegen Federdruck den Taster betätigen lassen. Die Grenzen sind nur durch die Phantasie gesetzt! Vielleicht wollt Ihr ja ein paar Varianten selbst ausprobieren. Welche funktioniert am besten für welche Überlast-Grenzen?

## Zwei Fliegen mit einer Klappe

Brauchen wir nun also noch einen Taster, um den Kranhaken sowohl beim oberen Anschlag als auch bei Überlastung zu stoppen? Nein! Wenn der Haken oben ankommt, wird er ja zwangsweise auch blockiert – er stößt ja schließlich oben am Ausleger an. Hier zahlt sich also doppelt aus, dass wir einen Flaschenzug eingebaut hatten. Ein nur einfach geführtes Seil mit einem Haken daran würde ohne weitere Schutzmaßnahmen einfach um die Umlenkrolle an der Auslegerspitze gezogen werden!

Da der Kranhaken nun ganz oben zwangsweise angehalten wird und der Motor weiter am Seil zieht, wird das Seil ja wie bei einer Überlastung sofort gespannt – und unser Überlastschutz wird den Motor sofort stillsetzen.

Wir brauchen also den Endlagentaster aus *Schaltung 8* nur durch den Überlasttaster zu *ersetzen*. Dieser eine Taster übernimmt dann gleichzeitig beide Funktionen, Überlastschutz und Abschaltung des Motors, sobald der Haken ganz oben am Ausleger ankommt.

Damit haben wir alle Forderungen an unser Modell erfüllt! Wir können den Kran gefahrlos bis an die Enden der Schienen fahren lassen – er wird nötigenfalls automatisch anhalten. Außerdem können wir



den Kranhaken nicht über den Ausleger ziehen, und das Kranseil ist gegen zu hohe Last geschützt.

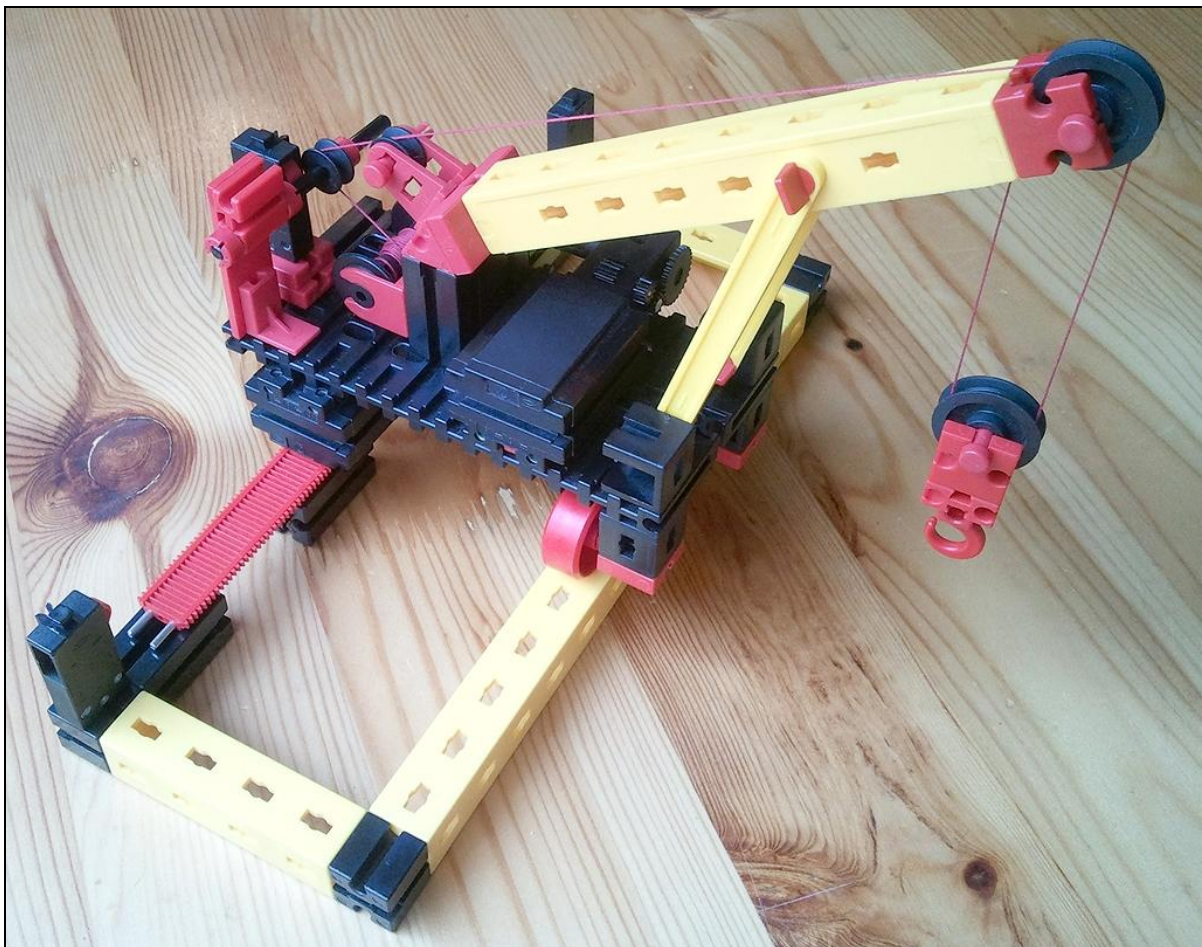
### Und was kommt nun?

Was könnten wir noch an unserem Modell verbessern?

Vielleicht wollen wir den Seilmotor auch dann anhalten lassen, wenn der Haken am Boden ankommt und das Seil also zu locker hängt? Auch das können wir mit einem „Unterlast-Schutz“ und einem weiteren Taster realisieren. Ein Unterlastschutz muss wohl sehr feinfühlig reagieren können – aber das Tüfteln ist ja gerade der Sinn von fischertechnik und macht Euch hoffentlich viel Spaß!

Wenn Ihr den Kran und die Schaltung komplett aufbaut, seht Ihr, dass da eine ganz stattliche Anzahl von Leitungen notwendig ist – insbesondere *zwischen* der Steuereinheit und dem Kran. Im nächsten Artikel dieser Serie werden wir eine Schaltung kennen lernen, die zwar zwei elektronische Bauteile benötigt, dafür aber mit weniger Leitungen auskommt. Und wir lassen einen Motor *langsam* auslaufen – das Gegenteil der Kurzschlussbremse sozusagen.

Und auch damit sind wir noch lange nicht am Ende von „viel Effekt mit wenig Aufwand.“ Es bleibt also spannend!



Modell

## Mechanisches Tresorschloss

Frederik Vormann

*Es gibt einige Tresormodelle, die mit dem fischertechnik-Interface arbeiten, elektronisch verriegeln und durch Eingabe einer Nummernfolge auf Tastern ihre Tür öffnen. Tresoren gab es ja aber schon lange vor Elektronik und Computern – das muss also auch rein mechanisch zu realisieren sein. fischertechnik ist doch ein System mit vielen Möglichkeiten, dachte ich mir, und so entstand das hier beschriebene Modell, welches sich auch auf der ft Community<sup>[1]</sup> und auf youtube<sup>[2]</sup> findet. Dieser Artikel beschreibt die Mechanik im Inneren genauer.*

### Das Tresormodell

Wir beschreiben hier den in *Bild 1* gezeigten Tresor. Er hat auf der rechten Seite eine Tür, die man nur dann öffnen kann, wenn man das Zahlenrad links *nach-einander* und in der *richtigen Reihenfolge* auf die *richtigen Ziffern* eingestellt hat. Die Tür selbst hat nur einen einfachen Griff, aber keine Klinke, mit der sie geöffnet werden könnte.



*Bild 1: Der Tresor von außen*

Der Tresor muss also folgende Eigenschaften haben:

- Seine Tür muss zunächst verriegelt sein und darf sich nicht öffnen lassen.

- Das Zahlenrad muss auf die richtigen Zahlen eingestellt werden, um die Tür zu entriegeln.
- Die Zahlen müssen in der richtigen Reihenfolge eingestellt werden; erst dann darf die Tür freigegeben werden.
- Bei wieder geschlossener Tür muss ein einfaches Verdrehen des Zahlenrades genügen, um die Tür zuverlässig zu verriegeln.

Anforderungen genug also! Und doch gibt es eine raffinierte rein mechanische Lösung dafür. Das Funktionsmodell stellen wir im Folgenden ausführlich dar.

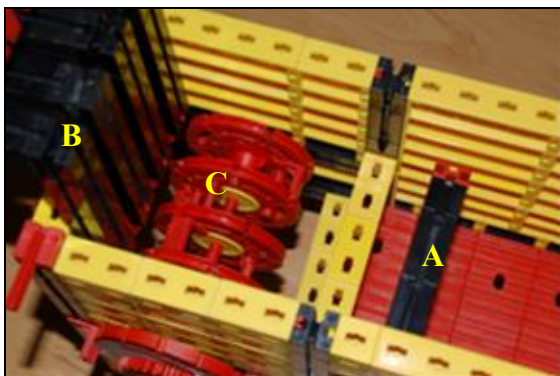
### Blockierung der Tür mit Sperrklinken

Die Grundidee besteht darin, das Öffnen der Tresortür innen durch mehrere verriegelnde Sperrklinken zu verhindern. In *Bild 2* sieht man, dass die Tür zusätzlich einen nach hinten zeigenden Hebel trägt, der sich mit ihr dreht, wenn die Tür geöffnet wird. An diesem Hebel lassen wir Sperrklinken angreifen, die ihn festhalten und so das Öffnen der Tür verhindern.



*Bild 2: Hebel bei halb geöffneter Tür*

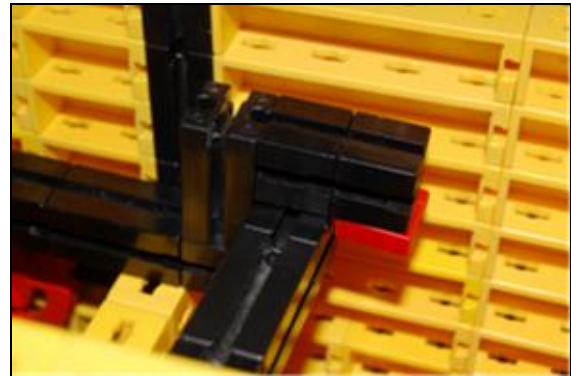
Nur wenn alle Sperrklinken betätigt werden, ist die Tür freigegeben. Die Sperrklinken wiederum werden von je einer drehbaren Scheibe mit einer geeigneten Nocke angehoben – aber nur, wenn die jeweilige Scheibe auch in der richtigen Position sitzt. *Bild 3* zeigt das Innere des Tresors bei abgebautem Deckel und zwecks besseren Einblicks hochgeklappten Sperrklinken:



*Bild 3: Überblick*

Der Hebel (A) ist fest mit der Tresortür verbunden (die in diesem Bild nicht sichtbar rechts vorne sitzt) und dreht sich mit ihr nach rechts, wenn die Tür geöffnet wird. Die Tür ist nur zu öffnen, wenn der Hebel (A) von keinem der vier Sperrklinken (B) festgehalten wird. Diese sind hier nur hochgeklappt, um den Blick auf die Steuerwalzen (C) freizugeben und sind normalerweise nach rechts umgelegt.

*Bild 4* zeigt, wie eine Sperrklinke den Türhebel blockiert. Wenn die Sperrklinke etwas angehoben wird, kann die Tür hingegen geöffnet werden (*Bild 5*).



*Bild 4: Türhebel von Sperrklinke festgehalten*



*Bild 5: Türhebel freigegeben*

Da vier Sperrklinken existieren, müssen sie alle angehoben werden, damit man die Tür öffnen kann. Solange auch nur eine Sperrklinke nicht angehoben ist, hält sie die Tür fest und verhindert so den Zugang zum Tresorinhalt.

## Das Herz – die Steuerscheiben



*Bild 6: Die Steuerscheiben*

Im Inneren des Tresors sind mehrere Scheiben verbaut. Alle bis auf die erste (in *Bild 6* linke) sitzen auf [Freilaufnaben](#). Das Zahlenrad auf der Außenseite des Tresors

ist also nur mit der ersten Scheibe kraftschlüssig verbunden, die restlichen Scheiben sind frei drehbar. Unser Schloss hat vier von diesen Scheiben: Es müssen vier richtige Zahlen eingestellt werden, damit die Tür aufgeht. Die Hebel für die Verriegelung fallen zwischen die Scheiben – die Tür ist verriegelt. Nur wenn eine Scheibe gerade so steht, dass der auf ihr angebrachte [Winkelstein 38423](#) gerade oben steht, wird der jeweilige Sperrhebel dadurch angehoben.



Bild 7: Alle vier Winkelsteine stehen oben

Jede Scheibe trägt außerdem einen Mitnehmer, bestehend aus einer [Achse 20](#), die mit einem Klemmring gesichert ist. Der erste Schritt um das Schloss zu öffnen ist, das Eingaberad so lange zu drehen, bis alle Mitnehmer die nächste Scheibe mit drehen. Im ungünstigsten Fall sind dazu etwa vier Umdrehungen notwendig.

Zu Beginn des Einstellvorgangs wird das Schloss also ggf. mehrere Umdrehungen – bis zum Anschlag – nach rechts gedreht. Jede Scheibe nimmt dadurch die jeweils nächste mit, weil der Mitnehmer einer Scheibe irgendwann das jeweilige Gegenstück der nächsten Scheibe berührt. In [Bild 6](#) berührt z. B. gerade der nach rechts zeigende Mitnehmerstift von Scheibe 2 den nach links zeigenden von Scheibe 3. Nach einigen Umdrehungen stehen so alle Scheiben bis zum jeweiligen Anschlag nach rechts gedreht.

## Einstellung der Ziffernfolge

Nachdem alle Scheiben so in ihre Grundstellung gebracht wurden, kann der Öffnungsvorgang beginnen. Mein fischertechnik Tresor nutzt die Winkelsteine 38423, um die Sperrklinken anzuheben (bei echten Schlössern hätten die Scheiben Schlitze, in die sich die Hebel senken können, aber das Prinzip ist ansonsten dasselbe). Die Scheiben werden von hinten nach vorne bedient, auf [Bild 6](#) also von rechts nach links. Ziel ist es jetzt, dass bei allen vier Scheiben die Winkelsteine oben stehen und die Tür freigeben:

- Das Schloss wird rechts herum gedreht, bis der Winkel oben steht und die Anzeige draußen am Tresor auf „10“.
- Jetzt wird das Schloss links herum gedreht, und zwar zweimal. Dabei werden die Mitnehmer (31690) der ersten beiden Scheiben auf die andere Drehrichtung eingestellt.
- Bei der dritten Umdrehung wird die dritte Scheibe eingestellt. Am Einstellrad wird dazu die „55“ angefahren, dann steht der Winkel oben.

Dadurch, dass die Scheiben nicht fest verbunden sind, sondern nur durch die Mitnehmer, verdreht sich die letzte Scheibe *nicht* mehr. Die Reibung durch den auf dem Winkelstein aufliegenden Balken genügt, um das Rad festzuhalten. Das gilt entsprechend für alle anderen Scheiben.

- Jetzt einmal rechts herum, bei der nächsten Umdrehung bis zur „25“. Dann liegt auch der Winkel von Scheibe 2 oben.
- Jetzt noch einmal links herum bis zur „50“: Nun ist bei der ersten Scheibe auch der Winkel oben.

Die anzusteuenden Zahlen hängen natürlich von der Einstellung ab (dazu später mehr), und davon, wie das Einstellrad beschriftet wurde.

Damit sind nun alle Winkel oben. Bei meinem fischertechnik-Schloss werden die Hebel nun durch die Winkel hochgedrückt und geben die Tür frei.

## Kann man das Schloss „knacken“?

Jetzt stellt sich die Frage, wieso man nicht einfach so lange am Schloss herumdrehen kann, bis es öffnet. Das klappt aber nicht: Wenn z. B. die hintere Scheibe richtig steht, dann kann diese sich durch die Mitnehmer erst einmal nicht mehr verdrehen. Jetzt geht es an die zweite Scheibe. Wenn diese sich dreht und der Punkt kommt, an dem der Winkel oben steht, bemerkt man das nicht (von ganz leichten Drehmoment-schwankungen abgesehen, die es aber bei echten Tresoren nicht gibt), und die richtige Zahl ist ja unbekannt. Es wird also weiter gedreht. Dadurch kommt der Mitnehmer aber wieder an die hintere Scheibe und verdreht sie – diese wird also die Tür schon wieder verriegeln. So ist es fast unmöglich, das Schloss nur durch Probieren zu öffnen – selbst bei dieser einfachen Variante gibt es immerhin 1.296 mögliche Kombinationen.

Bei echten Tresoren mit Zahlenschlössern hört man übrigens kein Klicken oder Ähnliches – auch nicht mit Abhörgeräten, wie sie in Filmen oft gezeigt werden.

## Wie wird die Kombination geändert?

Bei dem fischertechnik-Schloss kann die Kombination geändert werden, in dem die Winkel an anderen Stellen auf die Scheiben geschoben werden. Dadurch ändern sich die nötigen Drehwinkel zwischen dem Einstellrad am Tresor und den Scheiben, und eine andere Kombination wird benötigt.

Allerdings haben wir dabei nur sechs Stufen zur Verfügung (die sechs Nuten in der fischertechnik-Drehscheibe nämlich). Bei

einem echten Zahlenschloss will man natürlich mehr verschiedene Zahlen einstellen können. Man muss also die Verstellung feiner justierbar machen.

Eine Möglichkeit, wie man das mit fischertechnik machen könnte, zeigt *Bild 8*. Dort sitzt ein ft-Innenzahnrad auf einem Z30, und die beiden Mitnehmer sitzen auf je einem der Zahnräder. Dadurch können die beiden Stifte in 30 Schritten gegeneinander versetzt werden.



*Bild 8: Die beiden Zahnräder können gegeneinander verdreht eingesteckt werden*

Der äußere Mitnehmer spielte dann die Rolle unserer Winkelsteine, der innere dient wie in unserem Modell zur Drehung der jeweils nächsten Scheibe.

Man bräuchte von diesen Elementen nun vier Stück – anstelle der vier Drehscheiben im oben beschriebenen Modell. Wer über genug Material verfügt, kann diese Variante ja einmal testen. Viel Spaß beim Nachbauen und Ausprobieren!

## Quellen

- [1] Der Tresor auf der ft Community: [http://www.ftcommunity.de/categories.php?cat\\_id=2104](http://www.ftcommunity.de/categories.php?cat_id=2104)
- [2] Der Tresor auf einem Video: <http://www.youtube.com/watch?v=UflhHXfaScc>
- [3] Weitere Beschreibungen zu solchen Zahlenschlössern: [http://www.ssdev.axs.de/wissen/tresor\\_schloss/index.htm](http://www.ssdev.axs.de/wissen/tresor_schloss/index.htm)

Getriebe

## Zahnräder und Übersetzungen (Teil 1)

Thomas Püttmann

*Zahnräder sind zentrale Bestandteile des fischertechnik-Systems. In dieser Miniserie werden einige grundlegende Eigenschaften der fischertechnik-Zahnräder zusammengestellt – vor allem unter dem Gesichtspunkt, wie man sie gut kombiniert und welche Übersetzungen man damit realisieren kann. In Teil 1 geht es überwiegend um die Stirnräder. Als Anwendungsmodell dient zum Schluss eine analoge Zeitanzeige mit Stunden- und Minutenzeiger.*

Zahnräder gab es schon in der Antike. Das bedeutendste Fundstück ist der Mechanismus von Antikythera, der auf ca. 100 v. Chr. datiert wird. Es handelt sich dabei um eine astronomische Uhr, die die Positionen der damals bekannten Gestirne im Sonnensystem mit erstaunlicher Präzision vorausberechnen konnte. Dabei geht es vor allem darum, bestimmte gegeneinander verschobene zeitliche Zyklen zu mechanisieren. Einige Prinzipien dazu werden im zweiten Teil behandelt. In diesem ersten Teil stellen wir zunächst einige Grundlagen so zusammen, wie wir sie dann im zweiten Teil benötigen werden.

### Achsen und Wellen

Aus dem fischertechnik-System sind dir Achsen als Bauteile bekannt. Sie bestehen aus Kunststoff oder Metall und haben alle einen Durchmesser von 4 mm. Dir ist sicher schon aufgefallen, dass es einige Räder und Naben gibt, die sich auf den Achsen frei drehen können (z. B. die Seilrolle oder die Freilaufnabe). Andere Räder und Naben werden mit den Achsen fest verbunden und drehen sich mit (z. B. die Rast-Zahnräder). Im Maschinenbau werden Achsen, die sich mitdrehen (Drehmomente übertragen), immer *Wellen* genannt. Wir machen diese Unterscheidung zwischen Achsen (um die sich

etwas dreht) und Wellen (die sich selbst drehen) hier meist nicht, weil es sich im Rahmen des fischertechnik-Systems um die gleichen Bauteile handelt, für die der Name „Achse“ festgelegt ist.

### Zahnradarten

Stell dir ein ft-Männchen vor, durch das von oben (Kopf) nach unten (Füße) eine Achse verläuft und das sich um diese Achse dreht. Stell dir weiter vor, auf der Stirn dieses Männchens befindet sich ein Zahn. Dieser Zahn zeigt senkrecht von der Achse weg. Genau wegen dieser Vorstellung heißen Zahnräder, bei denen die Zähne senkrecht von der Achse weg zeigen, *Stirnräder*. Die meisten fischertechnik-Zahnräder sind Stirnräder. Nun stell dir vor, dass das ft-Männchen eine zackige Krone trägt. Die Zacken zeigen in Richtung der Achse. Zahnräder, bei denen die Zähne in Richtung der Achse zeigen, heißen deshalb *Kronenräder* oder kurz *Kronräder*. Im fischertechnik-System findet sich nur ein Kronenrad, das praktischerweise zugleich auch ein Stirnrad ist. Neben den Stirn- und Kronenrädern gibt es im ft-System auch noch *Kegelzahnrad*er und ein *Innenzahnrad* (genau genommen werden Innenzahnrad er meist zu den Stirnrädern gezählt – wir tun das hier nicht).



Bild 1: Zahnradarten

Die Stirnräder solltest du als erstes anhand der Zahngröße unterscheiden. Einige Stirnräder haben große Zähne, einige kleine. Stirnräder mit großen Zähnen gibt es im fischertechnik-System mit 10, 15, 20, 30 und 40 Zähnen. Man bezeichnet sie dem entsprechend mit Z10, Z15, Z20, Z30 und Z40. Außerdem gibt es noch den Drehkranz mit 58 Zähnen. Den Drehkranz kannst du aber nicht direkt mit einer Achse verbinden. Daher wirst du ihn normalerweise höchstens am Ende eines Getriebes einsetzen.

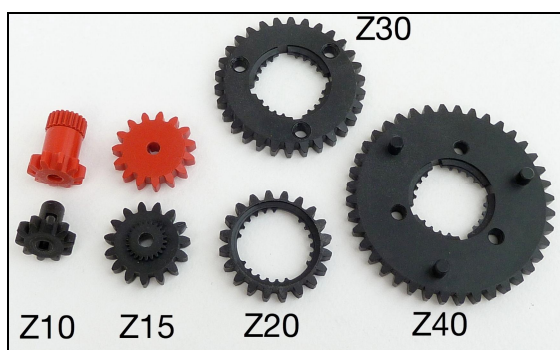


Bild 2: ft-Zahnrad mit großen Zähnen

Stirnräder mit kleinen Zähnen findest du zum Beispiel in den Getrieben vieler alter und neuer Motoren, an der alten Seiltrommel und an den Spannzangen. Diese Stirnräder werden meist *Mini-Zahnrad* genannt. Sie haben 22, 28, 36 oder 44 Zähne. Die Riegelscheibe hat 20 Zähne, kann aber nur eingeschränkt als Stirnrad gelten, da es keine Möglichkeit gibt, sie mit einer Achse fest zu verbinden.

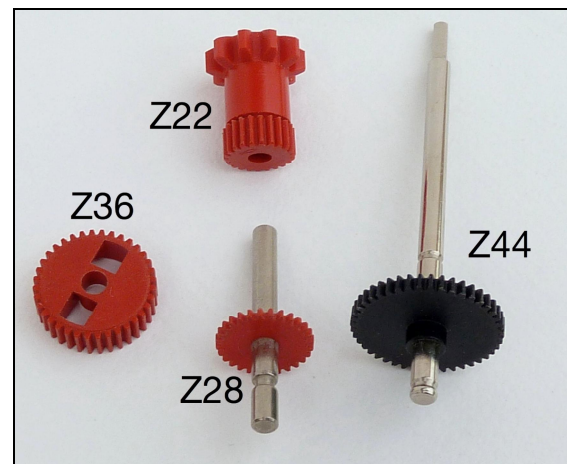


Bild 3: ft-Zahnrad mit feiner Verzahnung

## Abmessungen

Offensichtlich werden die Stirnräder Z10, Z15, Z20, Z30 und Z40 mit zunehmender Zahl der Zähne immer größer. Was aber genau ist die Größe eines Stirnrads? In der Schule hast du gelernt, dass man die Größe eines Kreises durch seinen Radius  $r$  (Abstand vom Mittelpunkt bis zur Kreislinie) oder durch seinen Durchmesser  $d$  (Länge einer Strecke von der Kreislinie durch den Mittelpunkt zur Kreislinie) beschreiben kann. Ein Durchmesser besteht aus zwei Radien: Es gilt also  $d = 2r$ . Wo aber genau ist bei einem Stirnrad die Kreislinie? Verläuft sie außen durch die Spitze der Zähne? Oder eher innen, wo die Zähne aufsetzen? Oder irgendwo in der Mitte? Die Antwort ist: Zu einem Stirnrad gehören mehrere Kreise. Der *Kopfkreis*, der das ganze Stirnrad bis zu den Zahnradspitzen überdeckt, der *Fußkreis*, den du erhältst, wenn du dir die Zähne wegdenkst, und der für uns wichtige *Wälzkreis*, der das Stirnrad etwa bis zur Mitte der Zähne überdeckt. Wenn Du in Gedanken die Stirnräder durch normale Räder ersetzt, die aneinander abrollen, dann müssen diese Räder genauso groß sein wie der Wälzkreis. Mit dem Durchmesser eines Stirnrads meinen wir immer den Durchmesser des Wälzkreises.

Du kannst den Durchmesser auf folgende Weise ermitteln: Kopple zwei parallele Achsen mittels zweier Stirnräder gleicher Art und miss' den Abstand zwischen den Mitten der Achsen. Dazu brauchst du nicht einmal ein Lineal. Du brauchst dich nur daran zu erinnern, dass ein großer Grundbaustein 30 mm lang ist (und daher auch mit BS30 abgekürzt wird) und ein kleiner Grundbaustein 15 mm (und daher mit BS15 abgekürzt wird). Als Beispiel kombinieren wir zwei Z20. Der Achsabstand (Mitte zu Mitte) ist offensichtlich genauso groß, wie ein BS30 lang ist. Also beträgt der Durchmesser eines Z20 genau 30 mm.

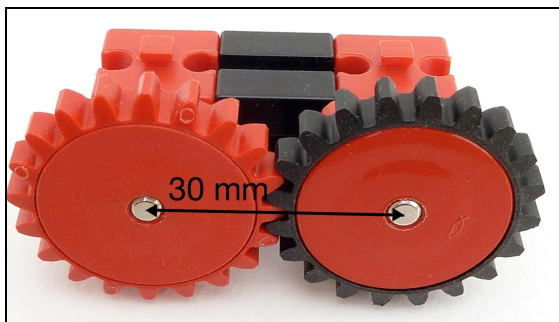


Bild 4: Bestimmung des Wälzkreisdurchmessers

Am besten ist, du bestimmst auf diese Weise gleich die Durchmesser aller ft-Stirnräder selbst. Dann wirst du zu folgendem Ergebnis kommen:

Zahnrad	Radius	Durchmesser
Z40	30,00 mm	60,00 mm
Z30	22,50 mm	45,00 mm
Z20	15,00 mm	30,00 mm
Z15	11,25 mm	22,50 mm
Z10	7,50 mm	15,00 mm

Wie du siehst, kann man den Durchmesser  $d$  aus der Anzahl der Zähne  $z$  errechnen und zwar nach der einfachen Formel  $d = z \cdot 1,5 \text{ mm}$ . Man sagt: Bei gleicher Zahngröße wächst der Durchmesser von Stirnrädern *proportional* zur Anzahl der Zähne. Die Erklärung dafür ist natürlich, dass der Umfang des Stirnrads proportional

zum Durchmesser wächst und die Zähne gleichmäßig auf dem Umfang verteilt sind. Die Größe  $m = d/z$  heißt *Modul*. Der Modul hängt nur von der Zahngröße ab.

Die ft-Stirnräder mit den großen Zähnen haben alle den Modul  $m = 1,5 \text{ mm}$ . Die ft-Stirnräder mit den kleinen Zähnen haben alle den Modul  $m = 0,5 \text{ mm}$ . Du kannst jetzt also zum Beispiel ausrechnen, dass ein Mini-Zahnrad mit  $z = 36$  Zähnen den Durchmesser  $d = 36 \cdot 0,5 \text{ mm} = 18 \text{ mm}$  hat.

## Zahnräder und Raster

Zwei Stirnräder mit Modul  $m = 1,5 \text{ mm}$ , die einander kämmen (so nennt man das, wenn sie ineinander greifen), können immer im ft-Raster gelagert werden. Was bedeutet das genau? Ein Beispiel: Wenn sich ein Z40 und ein Z20 kämmen, müssen die beiden Lager so weit voneinander entfernt sein wie die Summe der beiden Radien, also  $30 \text{ mm} + 15 \text{ mm} = 45 \text{ mm}$ . Du kannst also einen Baustein BS15 mit Bohrung, einen BS30 und einen weiteren BS15 mit Bohrung zusammenbauen, um die beiden Stirnräder im richtigen Abstand zu lagern.



Bild 5: Z20 und Z40 kämmen einander

Ein weiteres Beispiel: Ein Z10 und ein Z20 benötigen nach der Tabelle oben einen Achsabstand von 22,5 mm. Du kannst also einen BS15 mit Bohrung, einen BS15, einen BS7,5 und einen weiteren BS15 mit Bohrung aneinander bauen, um die beiden Stirnräder zu lagern.



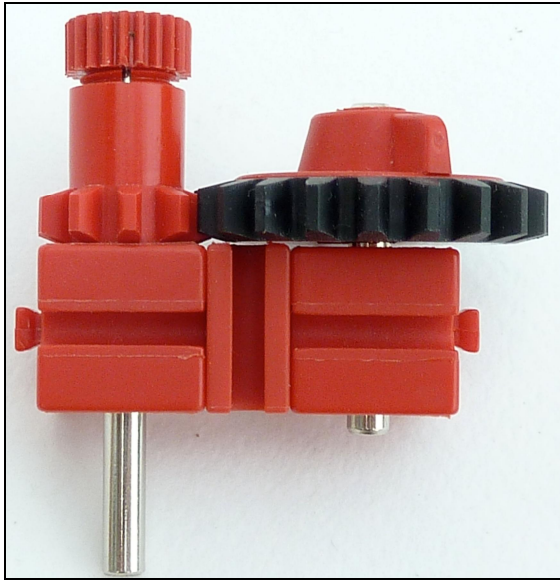


Bild 6: Z10 und Z20 kämmen einander

Probiere es aus oder überlege es dir anhand der Tabelle mit den Radien: Jede Kombination von Stirnrädern mit Modul  $m = 1,5 \text{ mm}$  kannst du mit roten BS15 mit Bohrung und dazwischen geschobenen BS30, BS15 oder BS7,5 lagern, außer wenn eines der Stirnräder ein Z15 ist und das andere kein Z15 ist. Dann kannst du immer noch im Raster lagern, aber nicht mehr in den BS15 mit Bohrung, sondern nur in den BS7,5.

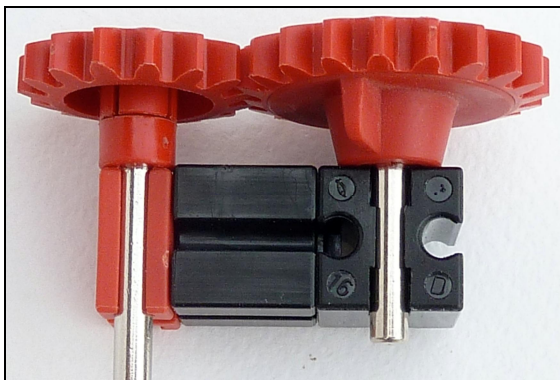


Bild 7: Z15 und Z20 kämmen einander

Einige Kombinationen der Mini-Zahnräder passen auch ins Raster: Zum Beispiel benötigt eine Kombination eines Z36 mit einem Z44 einen Achsabstand von  $(18 + 22) \cdot 0,5 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$ . Da  $20 \text{ mm} = 7,5 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + 7,5 \text{ mm}$  ist, kannst du zur Lagerung einen BS5 zwischen zwei

BS15 mit Bohrung einschieben. Ein zweites Beispiel: Eine Kombination eines Z22 mit einem Z28 kannst du in zwei BS7,5 lagern, zwischen die du einen BS5 einschiebst.

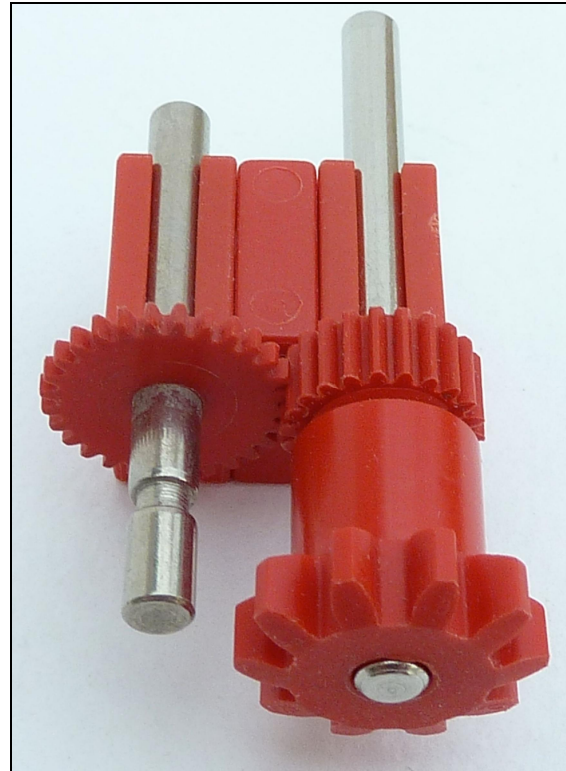


Bild 8: Z22 und Z28 im Raster

Natürlich musst du Stirnräder nicht unbedingt im ft-Raster lagern. Du kannst die Achsabstände auch frei einstellen. Im Raster zu bleiben hat aber mehrere Vorteile:

1. Der Abstand der Achsen ist optimal. Nur in diesem Fall rollen die Stirnräder so aneinander ab wie zwei normale Räder. Die Reibung ist daher reine Rollreibung. Wenn der Achsabstand nicht genau stimmt, tritt Gleitreibung auf. Da Gleitreibung größer ist als Rollreibung, ist das schlecht. Wenn du nur zwei oder drei Achsen miteinander verkoppeln willst, spielt das meist keine große Rolle, aber wenn du ein umfangreiches Getriebe bauen möchtest, ist es sehr wichtig.

2. Es ist viel einfacher, ein Getriebe im Raster nachträglich zu erweitern, umzubauen oder aus mehreren kleineren Einheiten ein großes Getriebe zusammenzustellen.
3. Du kannst Getriebe im Raster sehr einfach auf kariertem Papier entwerfen.

Zum Abschluss dieses Abschnitts eine kleine Testfrage: Welche Bausteine solltest du zusammenbauen, wenn du ein Z10 mit einem Z40 kombinieren möchtest?

- BS15 mit Bohrung, BS15, BS15 mit Bohrung
- BS15 mit Bohrung, BS7,5, BS15, BS15 mit Bohrung
- BS15 mit Bohrung, BS30, BS15 mit Bohrung

## Übersetzungen

Mit zwei ineinander greifenden Stirnrädern kannst du die Drehbewegungen zweier paralleler Achsen koppeln. Häufig ist eine der beiden Achsen angetrieben (der Antrieb) und diese Bewegung wird dann auf die zweite Achse (den Abtrieb) übertragen. Wenden wir uns noch einmal *Abb. 5* zu und drehen an der hinteren Achse des Z20. Das Z40 dreht sich dann auch, aber in die entgegengesetzte Richtung. Wenn das Z20 zwei Umdrehungen macht, macht das Z40 eine Umdrehung. Man sagt: Die Übersetzung ist 2:1. Das ist die Vereinbarung im Maschinenbau, die der Leserichtung von links nach rechts angepasst ist. Ist links der Antrieb – wie in *Abb. 5* – und rechts der Abtrieb, so passt das dazu, dass die Zahl 2 links vom Doppelpunkt und die Zahl 1 rechts vom Doppelpunkt steht.



Bild 9: Übersetzung 2:1

Wie sieht das nun bei anderen Stirnradkombinationen aus? Stell dir vor, ein Stirnrad mit  $z_1$  Zähnen treibt ein anderes Stirnrad mit  $z_2$  Zähnen an. Drehst du das erste Stirnrad einen Zahn weiter, so dreht sich auch das zweite einen Zahn weiter. Macht das erste Stirnrad eine ganze Umdrehung ( $z_1$  Zähne), so wird das zweite Zahnrad auch um  $z_1$  Zähne weitergedreht. Diese  $z_1$  Zähne erstrecken sich aber nicht über den vollen Umfang des zweiten Stirnrads, sondern über den  $z_1/z_2$ ten Teil (im Beispiel oben  $20/40 = 1/2$ ). Das zweite Stirnrad hat also  $z_1/z_2$  Umdrehungen gemacht. Wenn du somit die Antriebsachse nicht einmal, sondern  $z_2$  mal herumdrehst, macht die Abtriebsachse  $z_2 \cdot (z_1 / z_2) = z_1$  Umdrehungen. Die Übersetzung beträgt also  $i = z_2 : z_1$ . Weil die Zahl der Zähne zum Durchmesser proportional ist, kannst du die Übersetzung auch wie bei sich reibenden Rädern aus den Durchmessern ausrechnen:

$$i = d_2 : d_1.$$

Am besten wäre es, wenn du jetzt gleich die folgende Tabelle vervollständigst:

Antrieb	Abtrieb	Übersetzung
Z10	Z15	15:10 = 3:2
Z10	Z20	
Z10	Z30	
Z10	Z40	40:10 = 4:1
Z15	Z20	
Z15	Z30	
Z15	Z40	40:15 = 8:3
Z20	Z30	
Z20	Z40	
Z30	Z40	40:30 = 4:3

Bau doch gleich eine Kombination aus einem Z15 und einem Z40 auf und überprüfe, dass das Z40 nur drei volle Umdrehungen macht, wenn das Z15 acht volle Umdrehungen macht.

## Mehrere Stufen

Die folgende Abbildung zeigt dir ein zwei-stufiges Getriebe.

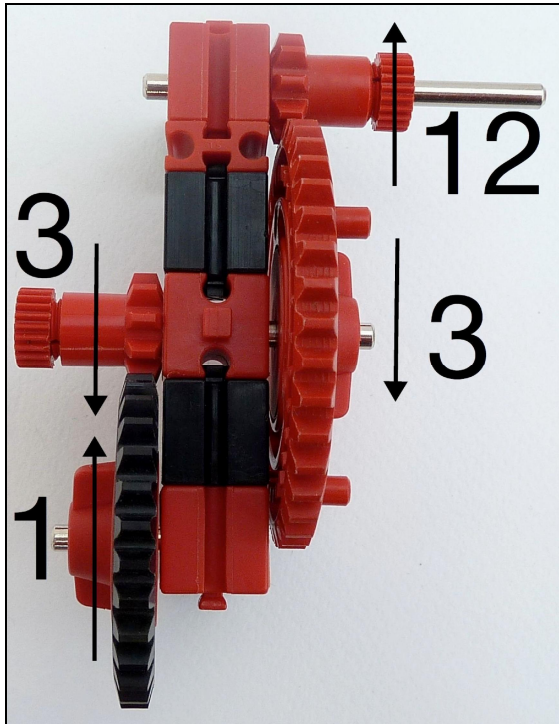


Bild 10: Zweistufiges Getriebe

Ein Z30 kämmt ein Z10. Das Z10 ist mit einem Z40 durch eine Achse fest verbunden. Das Z40 kämmt schließlich ein weiteres Z10. Wenn das Z30 eine Umdrehung macht, machen das erste Z10 und damit auch das Z40 drei Umdrehungen. Das zweite Z10 macht daher  $4 \cdot 3 = 12$  volle Umdrehungen. Die Übersetzung ist also 1:12. Allgemein ist die Übersetzung eines zwei-stufigen Getriebes also das Produkt der Übersetzungen der einzelnen Stufen.

Wenn du dir an die Eingangswelle und an die Ausgangswelle jeweils einen Zeiger baust, hast du die Stunden- und Minutenanzeige einer Analoguhr. Bei einer Analoguhr dreht sich der Stundenzeiger ja auch in zwölf Stunden genau einmal um die Achse, und in dieser Zeit hat sich der Minutenzeiger zwölf Male um seine Achse gedreht. Natürlich ist es nicht schön, dass die beiden Zeiger nicht auf der gleichen

Achse sitzen. Das werden wir weiter unten beheben.

Welche Übersetzungen sind nun bei mehr-stufigen Getrieben mit den großen ft-Stirnrädern möglich? Das ist ein mathematisches Problem. Der Übergang von einem Z10 zu einem Z20 bringt eine Übersetzung von 2:1. Kombiniert du  $n$  solcher Stufen zusammen, erhältst du eine Übersetzung von  $2^n:1$ .

Verwendest du eine solche Stufe in umgekehrter Richtung, so hat sie eine Übersetzung von 1:2. Die Kombination  $n$  solcher umgekehrter Stufen bringt eine Übersetzung von  $1:2^n$ . Analog bekommst du mit  $n$  Stufen aus Z10 und Z30 Übersetzungen der Form  $3^n:1$  bzw.  $1:3^n$ . Nehmen wir einmal kurz an, du hättest unendlich viele Zahnräder Z10, Z20 und Z30, so könntest du durch Kombination der gerade beschriebenen Stufen alle Übersetzungsverhältnisse der Form  $(2^j \cdot 3^k) : (2^m \cdot 3^n)$  mit fischertechnik bauen.

Mathematisch kommt durch Verwenden der anderen großen Stirnräder nichts Neues hinzu, weil alle anderen Verhältnisse in der Tabelle oben schon von dieser Form sind. Zum Beispiel ist  $8:3 = 2^3 : 3^1$ . Praktisch kann man natürlich Stufen sparen, wenn man auch andere Stirnräder verwendet.

Man kann kein fischertechnik-Getriebe nur aus großen Stirnrädern bauen, das genau die Übersetzung 5:1 hat. Das gleiche gilt für die meisten anderen Verhältnisse. Vielleicht erstaunt es dich aber, dass man jedes gewünschte Verhältnis theoretisch beliebig genau annähern kann. Wenn du zum Beispiel das Verhältnis 5:1 nur grob benötigst, dann reicht dir vielleicht  $128:27 = 2^7:3^3 \approx 4,74:1$ . Möchtest du es – sagen wir – bis auf zwei Stellen hinter dem Komma genau, so kannst du  $32768:6561 = 2^{15}:3^8 \approx 4,994:1$  verwenden. Um ein Getriebe mit dieser Übersetzung tatsächlich nur aus großen ft-Stirnrädern zu bauen, bräuchtest du allerdings 24 davon:

vier Z40, drei Z10, neun Z20 und acht Z30. Es ist klar, dass das meist nicht sehr praktisch ist. Du kannst die Übersetzung 5:1 natürlich trotzdem genau mit fischer-technik erzielen. Nur geht das nicht mit Stirnrädern allein: Eine Möglichkeit wäre die Verwendung der Schnecke. Du kannst aber auch das kombinierte Stirn-/Kronenrad Z40/Z32 benutzen. Wenn du es mit einem Z10 auf dem Kronenrad antreibst und mit einem Z10 auf dem Stirnrad abtreibst, ist die Übersetzung  $40:32 = 5:4$ . Andere sehr spezielle Verhältnisse wie 11:9, 7:11 oder 7:9 kannst du erzielen, wenn du die Mini-Zahnräder einsetzt. Du kannst auch Ketten auf normale fischer-technik-Räder aufziehen und so Stirnräder mit ungewöhnlich vielen Zähnen herstellen. Das wurde früher im Begleitheft des hobby 2-Baukastens vorgestellt und später von Thomas Habig systematisch untersucht. Wir werden im zweiten Teil dieser Miniserie eine ganz andere Methode kennenlernen, die für alle Übersetzungsverhältnisse brauchbar ist.

## Analoge Zeitanzeige

Zum Schluss dieses Teils bauen wir eine Uhr mit Stunden- und Minutenzeiger. Über einen geeigneten Antrieb kannst du selbst nachdenken oder dir eine der unterschiedlichen Lösungen in den hobby-Büchern oder auf der ft-community Seite anschauen. Das ist natürlich mindestens genauso schwierig wie die Stunden-/Minuten-Mechanik, passt aber hier nicht zum Thema. Ich habe diese Uhr fast komplett im Kopf und auf dem Papier entworfen, bevor ich sie dann konkret gebaut habe. Im Kopf und auf dem Papier zu arbeiten, hat folgende Vorteile: 1. Man konzentriert sich auf das Wesentliche. 2. Man kann die Entwürfe deutlich schneller ändern und übersieht daher selten Vereinfachungen. 3. Man braucht keine Bauteile zur Hand zu haben und kann zum Beispiel auch während einer Zugfahrt Modelle entwerfen.

Wie geht man dabei vor? Das Allerwichtigste ist, *das Problem so genau wie möglich zu formulieren*. In unserem Fall lautet das Problem zunächst einmal: *Mehrere Getriebestufen müssen so kombiniert werden, dass die Gesamtübersetzung 12:1 ist und dass die Eingangssachse gleich der Ausgangssachse ist*.

Ist das Problem in einer ersten Version formuliert, geht man gemäß dem Motto *divide et impera* (teile und herrsche) vor: Man zerlegt das Problem. In unserem Fall besteht es aus den zwei miteinander verwobenen Teilproblemen *Gesamtübersetzung 12:1* und *Eingangssachse = Ausgangssachse*.

Das zweite Teilproblem klingt zwar griffig, aber ein wenig unkonkret. Daher muss man sofort versuchen, es präziser zu machen: *Auf einer Achse müssen zwei Zeiger unabhängig voneinander angetrieben werden*. Eine einfache Lösung dieses Problems ist bekannt: Man verbindet einen Zeiger fest mit der Achse. Der andere wird an einem von außen angetriebenen Stirnrad befestigt, das mit einer Freilaufnabe auf die Achse geschoben wird, sich also unabhängig von der Achse drehen kann.

Mit dieser Lösung des zweiten Teilproblems kann man jetzt viel genauer über das erste Teilproblem nachdenken: Ein Stirnrad, an dem ein Zeiger befestigt wird, kann nur ein Z30 oder ein Z40 sein. Da es von einem anderen Stirnrad angetrieben werden muss, erledigt man praktischerweise dabei die erste Getriebestufe – also eine Übersetzung 2:1, 3:1 oder 4:1. Die verbleibenden Getriebestufen müssen dann eine Übersetzung von 6:1, 4:1 oder 3:1 haben und müssen so ausgelegt sein, dass die Ausgangssachse mit der Eingangssachse der ersten Stufe übereinstimmt und die Eingangssachse durch die Freilaufnabe führt. Außerdem muss man noch darauf achten, dass der Drehsinn der beiden Zeiger zum Schluss gleich ist. Das

bedeutet, dass man unter Umständen noch ein Stirnrad dazwischen schieben oder einen anderen Trick finden muss, um die Richtung zu ändern.

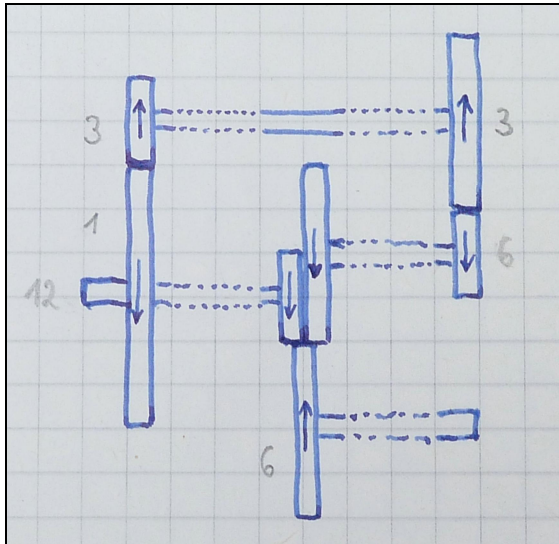


Bild 11: Entwurfszeichnung auf Papier

Jetzt beginnt das systematische Probieren. Man beginnt bei dem Stirnrad mit Freilaufnabe, da es dort nur die beiden sinnvollen Möglichkeiten Z30 und Z40 gibt, und versucht auf dem Papier, die weiteren Stufen sinnvoll zu ergänzen. Ich zeichne meist auf kariertem Papier. Ein Baustein 15 nimmt 2 x 2 Quadrate ein, aber meist zeichne ich die Bausteine gar nicht, wenn es um Getriebe geht, sondern nur die Zahnräder und Achsen. Wo die Achsen durch Lager gehen, zeichne ich nur gestrichelte Linien. Ein Stirnrad Z10 ist bei mir zwei Kästchen lang und ein halbes Kästchen breit.

Wenn man so zu zeichnen anfängt, ordnen sich die Gedanken meist ganz von selbst. Ich merkte recht schnell, dass das Stirnrad auf der Freilaufnabe ein Z30 sein muss, das von einem Z10 angetrieben wird (Übersetzung 3:1) und dass ich dazu zwei weitere 2:1-Stufen ergänzen musste, damit die Abstände alle passen. Aber da war noch das Problem mit der Richtungs-umkehr: Jede Stufe kehrt die Richtung um, bei drei Stufen würden sich daher die beiden Zeiger zum Schluss entgegen-

gesetzt drehen. Darüber musste ich dann doch ein wenig nachdenken. Wenn du das Modell betrachtest, fällt dir sicher – wie meinen Kindern auch – sofort die Stelle auf, an denen ich das behoben habe, ohne ein weiteres Stirnrad dazwischen zu schieben.

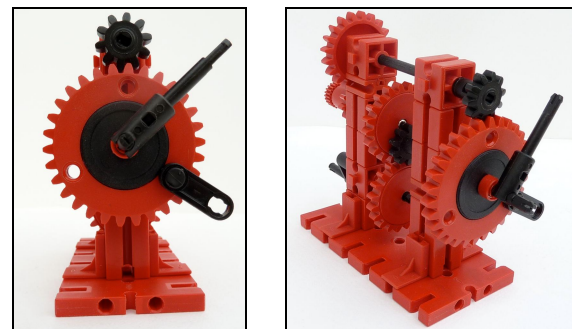
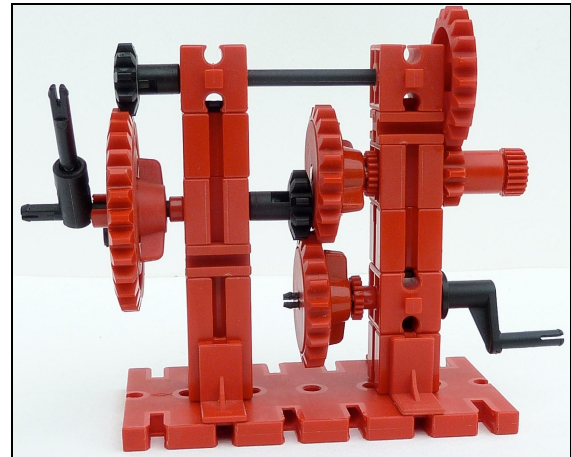


Bild 12: Das fertige Getriebe

Zum Nachbau: Vielleicht hast du keine Freilaufnabe. Dann nimm einfach eine normale Nabe und drehe sie nur ganz wenig zu. Eventuell musst du vorher die zwei Flügel mit einem Taschenmesser auseinander biegen. Falls du kein Rast-Z20 hast, kannst du natürlich eine längere Rastachse und ein normales Z20 mit Nabe verwenden. Wenn du nur ein schwarzes Z30 besitzt, wirst du die Zeiger vielleicht anders gestalten wollen. Du kannst zum Beispiel einen roten [Strebenadapter](#) in eine der Bohrungen des Z30 stecken und als kurzen Zeiger verwenden. Dir werden aber sicher eigene Ideen kommen.