

Editorial

## Gedruckt!

Dirk Fox, Stefan Falk

Besucher und Aussteller der [fischer-technik-Convention](#) 2011 in Erbes-Büdesheim und glückliche Knobloch-Kunden halten diese Ausgabe gedruckt in Händen – dafür ein ganz herzliches Dankeschön an Ralf Knobloch, der auf eigene Kosten den Druck der ft:pedia übernommen hat!

In dieser dritten Ausgabe findet ihr einen Erfahrungsbericht von Harald zu der immer wieder die Gemüter bewegenden Frage, ob man denn ft-Teile „modifizieren“ darf oder sollte. Schwache Naturelle dürfen sich anschließend von Fredys Vorschlag trösten lassen, wie sich das „Modden“ kreativ vermeiden lässt.

Stefan setzt seine Schaltungstechnik-Serie mit einem Einstieg in die Elektronik fort, und Thomas entwickelt die Getriebe-Grundlagen zu raffinierten Übersetzungen weiter. Schließlich führen Dirk und Johann in die Funktionsweise eines Hubschrauberrotors ein.

Wir wünschen euch eine spannende und erkenntnisreiche Lektüre – und dann: Ran an die Baukästen!

Euer ft:pedia-Team

P.S.: Am einfachsten erreicht ihr uns unter [ftpedia@ftcommunity.de](mailto:ftpedia@ftcommunity.de) oder über die Rubrik *ft:pedia* im [Forum](#) der ft-Community.



## Inhalt

Gedruckt! .....	2
Motorsteuerungen (Teil 3) .....	4
Neue ft-Teile selbstgemacht: Polycaprolacton.....	14
Neue ft-Teile selbstgemacht: Teile-Modding .....	20
Zahnräder und Übersetzungen (Teil 2).....	25
Hubschrauberrotoren.....	29

## Termine

Was?	Wann?	Wo?
<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

## Hinweise

Seit Juli vermittelt Ludger Mäsing Fan-Kontakte – bitte schreibt ihm bei Interesse an [fischertechnik@versanet.de](mailto:fischertechnik@versanet.de).

Das [ft:c-Jubiläums-Plakat](#) (Seite 2) von Limit gibt es [zum Preis von 2 Euro](#) (zzgl. Versand) in DIN A1.

Thomas Habig (Triceratops) hat in Ergänzung zu seinem Artikel *LEDs mit Vorwiderstand* in ft:pedia Ausgabe 2/2011 eine [erweiterte Fassung](#) zum Herunterladen bereit gestellt.

## Impressum

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

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

**Autoren:** Stefan Falk (steffalk), Dirk Fox (Dirk Fox), Johann Fox, 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.

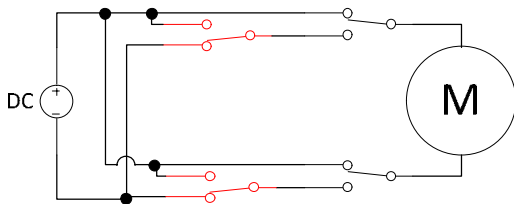
Schaltungstechnik

## Motorsteuerungen (Teil 3)

Stefan Falk

In der [ft:pedia](#)-Ausgabe 2/2011 sind wir bis zu einer Schaltung gelangt, mit der wir einen Motor bequem per Taster in beide Richtungen laufen lassen können, und die an den Endlagen automatisch anhält. Heute wollen wir eine Variante kennen lernen, die mit weniger Leitungen auskommt, und wir wollen einen Motor langsam auslaufen lassen, anstatt abrupt zu stoppen.

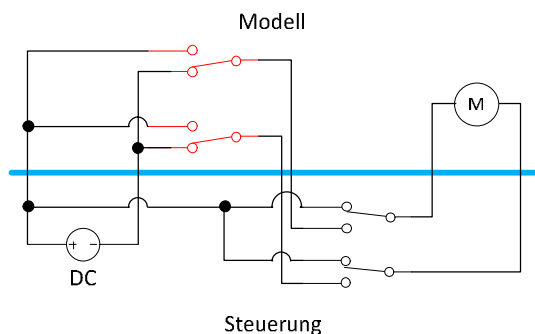
Wir erinnern uns: *Schaltung 1* bietet uns getrennte Steuertaster für Links- und Rechtslauf des Motors, Endlagentaster (rot eingezeichnet) und eine Kurzschlussbremse:



*Schaltung 1: Steuerung mit Endlagentastern und Kurzschlussbremse*

### Weniger Leitungen

Wir wollen diese Schaltung einmal so zeichnen, dass wir die räumliche Lage der einzelnen Teile besser erkennen können:



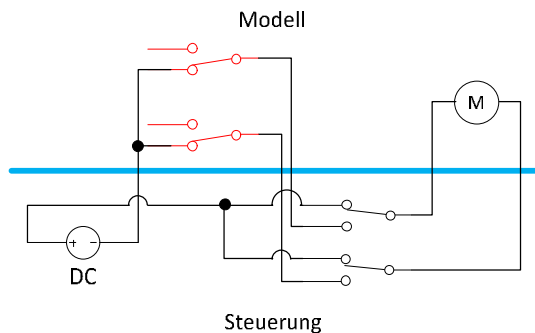
*Schaltung 2: Räumliche Lage der Elemente*

Überzeugt euch bitte selbst davon, dass die Schaltungen 1 und 2 völlig identisch sind – lediglich die Anordnung der Elemente ist

anders. Endlagentaster und Motor befinden sich beim zu steuernden Modell (oberhalb der blauen Linie) – während die Steuerung sich ja oft woanders befinden soll (hier unterhalb der blauen Linie eingezeichnet).

Wir erkennen, dass wir sechs Leitungen zwischen Steuerung und Modell benötigen, nur um einen Motor komfortabel mit Endlagenabschaltung und Kurzschlussbremse steuern können. Wenn wir noch mehr Motoren im Modell von außerhalb steuern möchten, brauchen wir zwar die beiden Stromzufuhrleitungen (in Schaltung 2 die linken beiden Leitungen) nicht mehrfach, aber immer noch benötigen wir für jeden zusätzlich zu steuernden Motor weitere vier Leitungen – bei zwei Motoren also schon  $2 \cdot 4 + 2 = 10$ , bei drei Motoren sogar  $3 \cdot 4 + 2 = 14$  Leitungen. Ob das auch mit weniger Leitungen geht?

Eine Möglichkeit ist, auf die Kurzschlussbremse zu verzichten. Damit könnten wir die Arbeitskontakte der Endlagentaster unbeschaltet lassen und somit die linke Leitung in *Schaltung 2* weglassen, was uns zu *Schaltung 3* führt:



*Schaltung 3: Verzicht auf die Kurzschlussbremse spart eine Leitung*

Das spart uns insgesamt eine Leitung, egal wie viele Motoren wir ansteuern. Für einen, zwei bzw. drei Motoren bräuchten wir aber immer noch fünf, neun bzw. 13 Leitungen. Können wir nicht mehr heraus-holen?

## Zurücktreten bitte!

Wenn man in einer Überlegung an einem Punkt angekommen ist, wie wir hier, ist es oftmals überraschend hilfreich, nochmal einen Schritt zurück zu gehen und das Problem „von weitem“ zu betrachten. Mit diesem „Blick aus 10.000 m Höhe“ sieht man manchmal Lösungswege, die einem bei zu naher Betrachtung verborgen blieben – weil man zu sehr die Details sieht, dabei aber das „große Ganze“ aus den Augen verliert.

Also, was genau war noch gleich die Aufgabe, die wir mit den Endlagen-schaltern lösen wollen? Dazu zitieren wir aus ft:pedia 2/2011 die entsprechende Forderung an unser damaliges Modell:

*„Am Ende der Schienen soll der Motor automatisch stoppen. Eine Bewegung soll dann nur noch in die andere Richtung möglich sein.“*

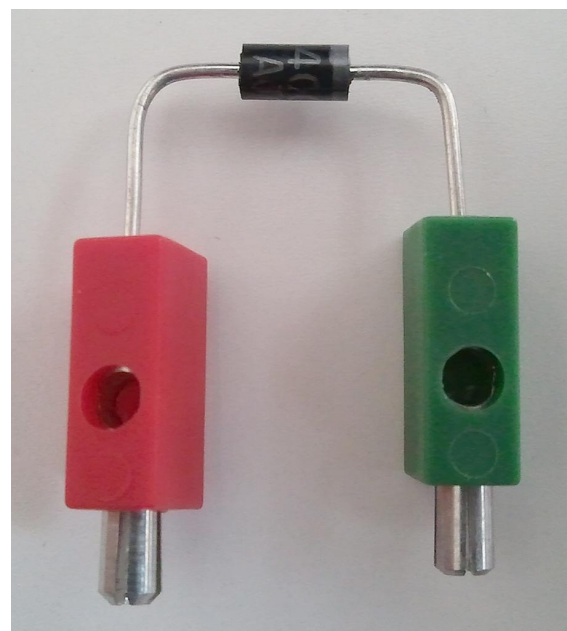
Wenn die Bewegung nur noch in „die andere“ Richtung möglich sein soll, dann heißt das doch, dass der Strom durch den Motor nur noch in eine Richtung fließen darf, aber nicht mehr in die Richtung, die das Modell über die Endlagentaster hinaus

bewegen würde. Wenn man nun etwas hätte, was Strom nur in eine Richtung durchlässt, in die andere aber sperrt...

## Willkommen in der Welt der Elektronik

Bisher haben wir uns mit einfachen elek-trischen Schaltungen beschäftigt. Das war *Elektrik*. Dazu kamen mechanisch betätigte Taster – wir sind mitten in der *Elektro-mechanik* (zu der wir noch viel Interes-santes in der ft:pedia erleben werden). Nun gehen wir noch einen Schritt weiter und befassen uns etwas mit einfacher *Elektronik* – der Welt des bewegungs- und berührungslosen Schaltens!

Für unsere Zwecke gibt es nämlich ein wunderbares kleines elektronisches Bauteil namens *Diode* [1]. Das ist ein winziges Teil mit zwei Anschlüssen, wie es *Abb. 1* zeigt:



*Abb. 1: Diode*

Dioden haben eine fantastische Eigen-schaft: Sie lassen den elektrischen Strom nur in eine Richtung durch und sperren ihn in der anderen Richtung – ganz ohne dass sich da ein mechanischer Schalter bewegen müsste, einfach so! Wie das genau funktioniert, können wir im Rahmen dieses

Artikels zwar nicht genauer erklären – wer mag, suche mal im Internet nach dem Begriff *Halbleiter*, dazu muss man aber schon etwas mehr von Physik verstehen. Wir können aber überlegen, was wir mit einer solchen Diode machen können, und wo sie uns in unserer Schaltung helfen kann.

Damit wir Schaltungen mit Dioden zeichnen können, brauchen wir natürlich auch ein Schaltzeichen dafür. Das sieht so aus:

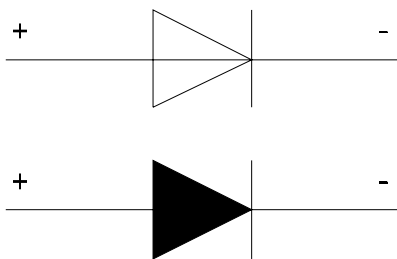


Abb. 2: Aktuelles und älteres Schaltzeichen einer Diode

Früher zeichnete man die „Pfeilspitze“, die die Durchlassrichtung anzeigt, ausgefüllt, heute leer – auf den in den 1970er Jahren hergestellten fischertechnik-Elektronikbausteinen (den „Silberlingen“) findet ihr noch das ältere, ausgefüllte Schaltzeichen. In diesem Artikel verwenden wir natürlich das aktuelle Symbol.

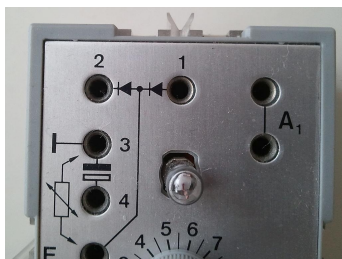


Abb. 3: Diodensymbole auf dem fischertechnik Elektronik-Grundbaustein h4G von 1972

Die Sperrlinie des Schaltzeichens ist auch auf der echten Diode angedeutet: An einem ihrer Enden trägt sie einen weißen Ring – in Abb. 1 rechts. Die Diode in Abb. 1 lässt den Strom also von Plus nach Minus von links nach rechts durch, während sie ihn sperrt, wenn rechts Plus und links Minus angelegt wird.

Die in Abb. 2 eingezeichneten „+“ und „-“ stellen dar, in welche Richtung die Diode den Strom durchlässt – so soll es ja auch der Pfeil im Schaltbild darstellen. In die andere Richtung kommt der Strom nicht hindurch (deshalb der senkrechte Strich im Schaltbild).

Dioden haben noch etwas Schönes an sich: Sie sind spottbillig. Es gibt sie für wenige Cent bei den einschlägigen Elektronikversendern – einige Quellen sind am Ende dieses Artikels aufgeführt [2, 3]. Wenn ihr noch keine Dioden habt, bestellt also am besten gleich mehrere davon, denn sonst sind die Versandkosten viel höher als die Kosten für die Dioden selbst. Für den Preis eines fischertechnik-Tasters (der ja aufwändig von Hand zusammengesetzt werden muss) bekommt man viele Dioden (die in billiger Massenproduktion automatisch hergestellt werden können).

## Wie man mit Dioden umgeht

Wenn ihr eure Dioden dann in Händen habt, müsst ihr sie erst noch mit fischertechnik-Steckern versehen. Wichtig: Dabei müsst ihr sehr vorsichtig sein, damit ihr die Diode nicht beschädigt! Es ist kein Problem, die fischertechnik-Stecker auf die Drahtenden zu schrauben. Es ist auch kein Problem, die Drähte mit einer Zange oder einer kräftigen Schere vorsichtig zu kürzen. Wir werden die Dioden aber meistens so verwenden, dass ihre Drähte senkrecht abgeknickt werden müssen, und beim Abknicken muss man aufpassen.

Ganz wichtig ist: Niemals die Drähte direkt an der Diode selbst abknicken! Das Innere der Diode könnte damit beschädigt und die Diode unbrauchbar werden. Deshalb verwendet zum Abknicken bitte immer eine Zange, wie es Abb. 4 zeigt.

Setzt also die Zange so an, dass zwischen Diode und Zange noch etwas Platz ist. Die Zange darf nur den Draht selbst festhalten, aber nicht an der Diode anliegen. Dann haltet die Zange fest und knickt den Draht

an der anderen Seite (da wo die Diode *nicht* ist) ab. So kommt ihr zu sauber abgeknickten Drähten und immer noch intakten Dioden.

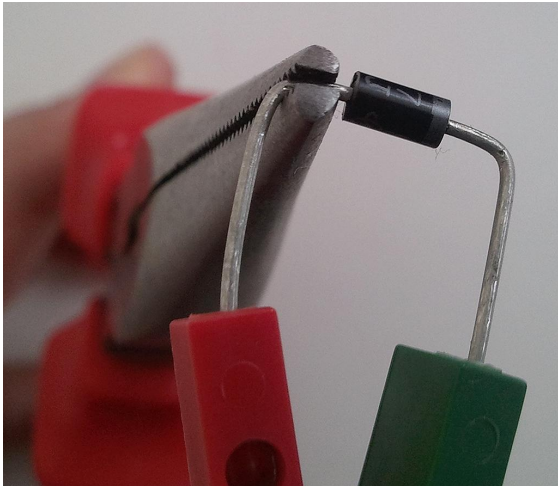


Abb. 4: Richtiges Abknicken der Drähte

Noch eine wichtige Warnung: Die für unsere fischertechnik-Modelle geeigneten Dioden tragen eine der Typbezeichnungen *IN4001* bis *IN4007*. Sie vertragen problemlos die 9 V Versorgungsspannung und mindestens 1 A Stromstärke und genügen damit für einen fischertechnik-Motor.

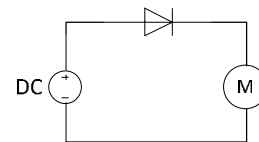
Die Dioden mit den größeren Nummern in der Typbezeichnung verkraften höhere Ströme, wären also grundsätzlich zu bevorzugen. Ihr dürft aber niemals eine solche Diode etwa in eine 230 V-Steckdose stecken! Das wäre genauso lebensgefährlich wie wenn ihr eine fischertechnik-Achse oder einen Schraubendreher in die Steckdose stecken würdet! Versucht es nicht! Der Strom aus der Steckdose ist stark genug, einen Menschen zu töten – nicht umsonst gibt es für unsere fischertechnik-Modelle Netzgeräte, die die gefährlichen 230 V aus der Steckdose in harmlose 9 V transformieren.

Verwendet Dioden auch bitte niemals ohne Verbraucher (Motor) – sie würden wie ein Kurzschluss wirken und sehr heiß werden! Innerhalb einer fischertechnik-Schaltung, die mit den üblichen 9 V Versorgungsspannung betrieben wird, werden wir aber

viel Spaß mit Dioden haben. Fangen wir also gleich damit an!

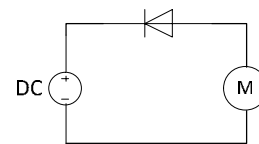
## Erste Experimente mit Dioden

Um unsere Diode kennen zu lernen, bauen wir zunächst *Schaltung 4* auf:



Schaltung 4: Stromversorgung eines Motors durch eine Diode hindurch

Dann beobachtet, was passiert, wenn ihr die Diode andersherum einbaut, oder wenn ihr die Anschlüsse am Netzteil vertauscht. ihr werdet feststellen: So wie in Schaltung 4 gezeigt, läuft der Motor, so wie in Schaltung 5 aber bewegt er sich nicht:



Schaltung 5: In Sperrrichtung der Diode kann kein Strom fließen

Die Diode kann also – ähnlich wie ein Taster – Strom durchlassen oder sperren. Außerdem könnt ihr mit dieser Schaltung auch feststellen, wo bei eurem Netzgerät die Plus- und Minuspole liegen: Einfach schauen, ob der Motor läuft (oder eine Lampe leuchtet) und wie herum die Diode angeschlossen ist.

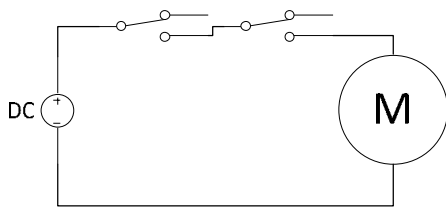
Mit diesem kleinen elektronischen Bauelement kann man nicht nur – wie wir gleich sehen werden – fischertechnik-Motoren steuern, sondern es gab sogar schon 1968 einen programmierbaren Computer, dessen Rechenfunktionen ausschließlich mit (vielen) Dioden realisiert wurden [4, 5].

Damit wir erkennen, wie uns Dioden bei unserem Problem helfen, die Anzahl der notwendigen Leitungen zu reduzieren,

machen wir noch einen kleinen Abstecher in das Gebiet der *Logikschaltungen*:

## Mehrere Schalter kombinieren

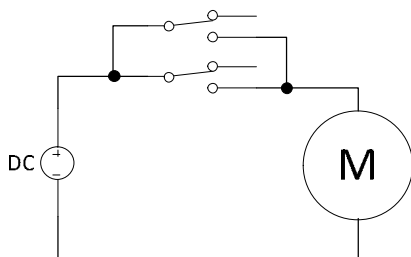
Mitunter ist es nützlich, mehrere Schalter an derselben Stelle im Schaltbild zu kombinieren. Betrachten wir zunächst die *Serienschaltung* – hier werden einfach zwei Taster oder Schalter hintereinander geschaltet:



Schaltung 6: Serienschaltung

Der Motor läuft nur, wenn *beide Taster gleichzeitig* den Kontakt herstellen. Das wird z. B. verwendet, wenn der Motor eine Maschine antreibt und nur laufen darf, wenn der Mensch, der die Maschine betätigt, mit beiden Händen zwei entfernt angebrachte Taster drücken muss. Dadurch wird verhindert, dass der Mensch etwa mit einer Hand in die Maschine gerät und sich verletzt – eine wichtige Sache, um Unfälle zu verhüten! Solche Anwendungsfälle werden wir in einer späteren ft:pedia-Ausgabe noch ausführlich darstellen.

Eine andere Kombinationsmöglichkeit ist die *Parallelschaltung* – beide Taster werden mit beiden Anschlüssen gekoppelt:



Schaltung 7: Parallelschaltung

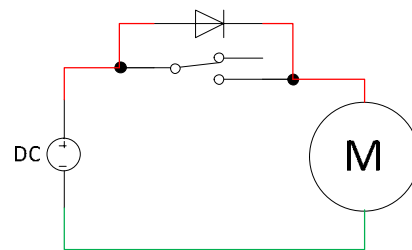
Hier genügt es, nur *einen* der Taster zu betätigen – egal welchen! Der Motor läuft, wenn *mindestens ein Taster* betätigt wurde

(er läuft auch, wenn beide Taster gleichzeitig gedrückt werden).

Probiert beide Schaltungsarten ruhig ausgiebig und überlegt, ob euch noch weitere Situationen einfallen, wo man sie einsetzen kann!

## Taster und Diode kombiniert

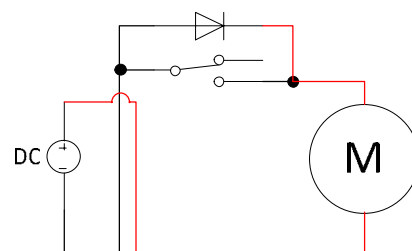
Jetzt können wir den nächsten Schritt auf unserem Weg zum Ziel gehen: Wir ersetzen einen der Taster in Schaltung 7 durch eine Diode und betrachten genau, was passiert:



Schaltung 8: Diode in Durchgangsrichtung und Taster parallel geschaltet

Wenn ihr die Stromversorgung so anschließt, wird der Strom immer fließen – ganz egal ob ihr den Taster drückt oder nicht. Denn der Strom kann vom Pluspol des Netzgerätes durch die Diode durch – auch wenn der Taster losgelassen wurde – und zum Motor gelangen.

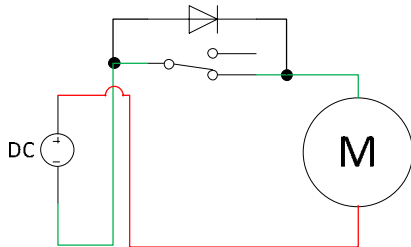
Vertauschen wir aber die Anschlüsse am Netzgerät, ändern sich die Verhältnisse: Der Strom kommt bis zur Diode – und wird von ihr gesperrt. Ebenso kann er nicht durch den geöffneten Taster fließen. Der Motor läuft also nicht.



Schaltung 9: Diode in Sperrrichtung und Taster parallel geschaltet



Drücken wir aber den Taster, wird die sperrende Diode einfach umgangen und der Motor läuft:



Schaltung 10: Umgehung der Sperrung

## Praktische Tipps

Die Diode kann übrigens ganz einfach parallel zum Taster geschaltet werden, indem sie direkt am Taster angebracht wird. Das geht auf zwei Arten:

Entweder, wir richten uns strikt nach unseren bisherigen Schaltbildern und stecken die beiden Stecker der Diode also in die von den Kabeln kommenden Stecker am Zentral- und Ruhekontakt:

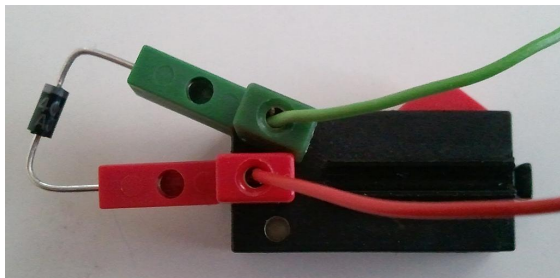
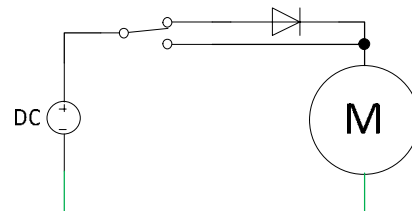


Abb. 5: Diode an Zentral- und Ruhekontakt

Genauso geht es natürlich, wenn der Taster beim Loslassen sperren und beim Drücken Kontakt herstellen soll, also Zentral- und Arbeitskontakt verwendet werden müssen.

Ihr seht aber, dass die Diodenstecker dann sehr nahe beieinander liegen und die Drähte der Diode stark abgeknickt werden müssen. Aber die Diode brauchen wir ja zur Überbrückung des Tasters nur dann, wenn der Taster nicht sowieso schon geschlossen ist. Bei geschlossenem Taster ist die Diode ja überflüssig, nur bei geöffnetem soll sie den Strom in die richtige Richtung durchlassen. Deshalb

können wir die Diode auch einfach zwischen Arbeits- und Ruhekontakt schalten und haben damit weniger stark abgeknickte Drähte. Schaltung 11 und Abb. 6 zeigen diese Variante:



Schaltung 11: Diode an Arbeits- und Ruhekontakt

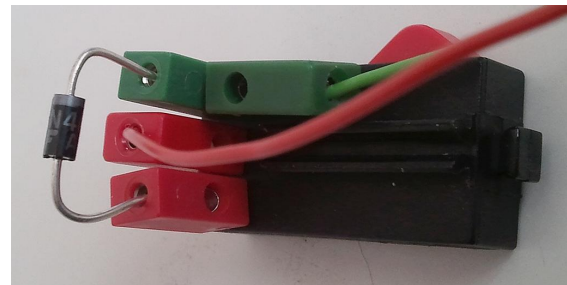
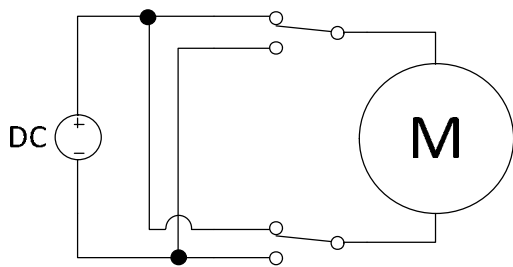


Abb. 6: Diode an Arbeits- und Ruhekontakt des fischertechnik-Tasters

In der hier gezeigten unbetätigten Tasterstellung lässt die Diode also den Strom durch – aber nur in eine Richtung. Bei betätigtem Taster stellt dieser den Stromfluss sicher. Der Effekt ist also derselbe wie in Schaltung 8, aber die Diodendrähte müssen nicht so weit gebogen werden.

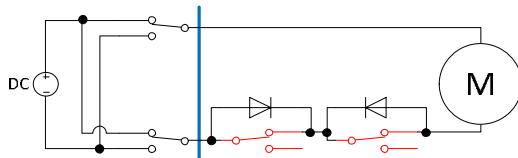
## Endspurt!

Unsere ursprüngliche Forderung lautete ja, dass der Motor beim Erreichen des Endlagentasters abgeschaltet werden, aber in die andere Richtung weiterlaufen können soll. Nun, genau so etwas haben wir ja gerade gebaut! Nun wollen wir es anwenden. Dazu greifen wir zunächst nochmal auf die Steuerungsschaltung ohne Endlagentaster zurück, wie wir sie in [ft:pedia 1/2011](#) entwickelt hatten:



Schaltung 12: Die ursprüngliche Steuerung

Die ergänzen wir nun so, dass eine der Leitungen zum Motor hin von den (rot eingezeichneten) Endlagentastern einfach unterbrochen wird:



Schaltung 13: Steuerung mit Endlagentastern

Die blaue Linie wollen wir für den Augenblick noch nicht beachten, sondern uns auf die Schaltung konzentrieren. Wir haben zunächst die normale links/rechts-Steuerung vor uns. Beide Endlagentaster sind in der Lage, die Stromzufuhr zum Motor zu unterbrechen – der Motor soll ja auch weiterhin anhalten, wenn einer der Endlagentaster gedrückt ist. Aber jeder der beiden Endlagentaster wird von einer Diode überbrückt, und zwar jeweils in einer anderen Stromrichtung! Schaut genau hin: die beiden Dioden sind nicht in derselben Stromrichtung verbaut.

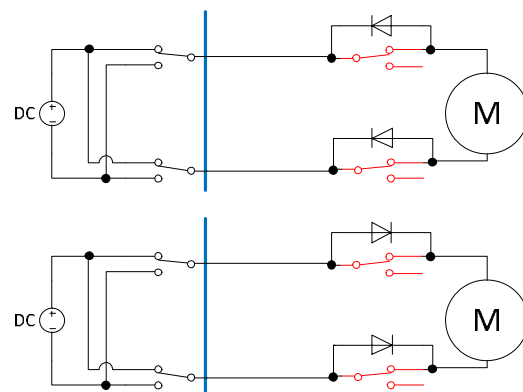
Jeder der beiden Endlagentaster kann also in die andere Stromrichtung einfach überbrückt werden. Dadurch kann der Motor immer noch, wie gefordert, wieder zurück in die andere Richtung drehen. Jeder Endlagentaster sperrt also nur genau die Stromrichtung, deren korrespondierende Motordrehrichtung gesperrt werden muss, wird aber in der anderen Strom- und damit Drehrichtung von der jeweiligen Diode überbrückt.

Jetzt schauen wir uns wieder an, welche Bauelemente wo im Modell verbaut sind. Alles links von der blauen Linie in

Schaltung 13 gehört zur Steuereinheit, alles rechts davon – also die Endlagentaster, die Dioden und der Motor – befinden sich im Modell.

Zwischen Steuerung und Modell kommen wir jetzt mit nur zwei Leitungen aus! Wir haben zwar die Kurzschlussbremse nicht mehr, dafür sparen wir drei Leitungen (siehe Schaltung 3). Und für jeden weiteren zu steuernden Motor benötigen wir nur jeweils zwei zusätzliche Leitungen!

Es ist übrigens völlig egal, ob ihr wie in Schaltung 13 gezeigt Endschalter 1, Endschalter 2 und den Motor in Serie schaltet, oder eine der Taster/Dioden-Kombinationen in die obere Leitung vom Motor in Schaltung 13 einsetzt, also Endschalter 1, dann erst den Motor, und dann Endschalter 2 in Serie schaltet:



Schaltung 14: Alternative Anordnungen mit derselben Wirkung

Achtet nur darauf, dass dann beide Dioden entweder zum Motor hin oder beide vom Motor weg zeigen, damit immer eine Stromrichtung zugelassen und die andere gesperrt wird (überlegt, was passiert, wenn ihr eine der Dioden andersherum einbaut).

Wunderbar! Wir haben – bis auf die fehlende Kurzschlussbremse – denselben Effekt erreicht wie vorher: Wir können den Motor komfortabel steuern, er wird zuverlässig an den Enden stoppen, kann aber trotzdem noch in die andere Richtung laufen. Und all das mit genau so wenig Leitungen (nämlich nur zwei) wie wir

benötigen würden, wenn wir den Motor einfach direkt an eine Stromquelle anschließen würden – besser geht's nicht.

## Fehlersuche

Auch wenn wir unser Modell grundsätzlich nach Schaltung 13 oder 14 aufbauen, könnten uns allerdings leicht einige Fehler unterlaufen, die man nicht gleich erkennt, etwa:

- Verwechslung der Pole der Stromquelle
- falsch herum angeschlossener Motor
- Verwechslung der Endlagentaster
- Verwechslung von Arbeits- und Ruhekontakt
- eine oder beide Dioden falsch herum angeschlossen

Mögliche Folgen solcher Fehler wären:

- Der Motor läuft nie.
- Der Motor läuft immer in die falsche Richtung.
- Der Motor hält an der Endlage nicht an, es sei denn, wir betätigen von Hand den *anderen* Endlagentaster.

Insbesondere der letzte Fehler könnte unser Modell oder ein Bauteil gefährden. Bei den ersten Versuchen empfiehlt es sich deshalb, den Strom schnell abschalten zu können oder die Schaltung noch außerhalb des Modells zu testen.

Eine ganz hervorragende Übung ist es, wenn ihr die jeweiligen Schaltungsfehler einmal als vollständiges Schaltbild zeichnet und überlegt – oder ausprobiert – welcher Schaltungsfehler jeweils welches Fehlverhalten im Modell zur Folge hätte. Dann könnt ihr nämlich auch umgekehrt von einer festgestellten Fehlfunktion auf den Schaltungsfehler rückschließen! Je mehr Übung ihr in solchen Dingen entwickelt, desto schneller entlarvt und korrigiert ihr Schaltungsfehler – ein äußerst lohnendes Ziel also!

## Langsames Auslaufen eines Motors

Da wir ja nun keine Kurzschlussbremse mehr haben, könnten wir auch noch etwas weiter gehen: Wenn ein abgeschalteter Motor etwas Schweres antreibt, wollen wir vielleicht gar nicht, dass er abrupt anhält. Lieber wäre es uns dann, er würde sanft auslaufen.

Auch hierfür kann uns Elektronik nützlich sein. Ein anderes elektronisches Bauelement, der *Kondensator*, speichert ähnlich wie ein Akku elektrische Ladung und Energie. Er hat nicht so viel Kapazität wie ein Akku (wir wollen ja unseren Motor auch nicht stundenlang auslaufen lassen), dafür kann er viel schneller aufgeladen werden. Das Schaltzeichen für einen Kondensator sieht fast genauso aus, wie er tatsächlich aufgebaut ist: Einfach zwei Metallplatten, die sich gegenüber stehen:



Abb. 7: Schaltzeichen eines einfachen Kondensators

Viele Informationen über Kondensatoren finden sich unter [5]. Dort sieht man auch, dass es verschiedene Arten und Bauweisen von Kondensatoren gibt. Für unsere Motorsteuerungen brauchen wir Kondensatoren mit genug Kapazität, deshalb verwenden wir hier *Elektrolyt-Kondensatoren*. Der Nachteil ist allerdings, dass man sie nur richtig herum gepolt anschließen darf. Das drückt sich auch in ihrem Schaltzeichen aus:



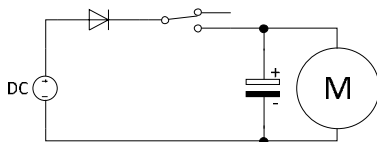
Abb. 8: Schaltzeichen eines Elektrolyt-Kondensators

Wichtig: Der Elektrolytkondensator (oder kurz *Elko*) darf niemals falsch herum angeschlossen werden! Er könnte schlagartig zerstört werden, explodieren und sein giftiges Elektrolyt austreten. Des-

halb werden wir in unseren Schaltungen immer eine *Schutzdiode* verwenden.

Kondensatoren bekommt man bei denselben Elektronikversendern wie Dioden auch. Wenn ihr bestellt, verwendet welche mit Kapazitäten ab 1000  $\mu\text{F}$ . Das *Farad*  $F$  ist die Einheit der Kapazität, ein  $\mu\text{F}$  ist ein Mikrofarad, also ein Millionstel Farad. 1.000  $\mu\text{F}$  sind also auch 1 mF (Millifarad, ein Tausendstel Farad), aber diese Sprechweise ist ungebräuchlich, weil Kondensatoren meist eine relativ kleine Kapazität haben. Je größer die Kapazität, desto mehr elektrische Ladung und Energie kann der Kondensator speichern.

Zum Ausprobieren bauen wir folgende Schaltung auf:



Schaltung 15: Langsames Auslaufen des Motors

Die Diode dient uns als Schutz vor Verpolung des Kondensators: Sie lässt den Strom ja nur in die angezeigte Richtung hindurch, so dass „+“ auch wirklich bei „+“ des Kondensators ankommt. Würden wir die Stromversorgung versehentlich andersherum anschließen, würde nichts passieren, weil die Diode einfach sperrt. Wichtig ist aber, dass ihr den Kondensator auch wirklich richtig herum anschließt. Achtet unbedingt genau auf die Zeichen „+“ und „-“ auf dem Gehäuse!

Wenn ihr nun den Taster betätigt, läuft nicht nur der Motor, sondern der Kondensator wird gleichzeitig aufgeladen. Das geht sehr schnell – ein Augenblick genügt.

Lasst ihr den Taster nun los, gibt der Kondensator seine gespeicherte Ladung und Energie an den Motor ab – der Motor läuft länger nach als ohne Kondensator. Das geht natürlich nur so lange, bis der Kondensator wieder ganz entladen ist.

Vergleicht den Effekt mit und ohne angeschlossenem Kondensator!

Wer noch einen der alten hobby-4-Gleichrichterbausteine aus den 1970er Jahren hat, verfügt übrigens schon über eine raffinierte Diodenschaltung (einen sogenannten *Graetz-Gleichrichter*) und einen 1.000  $\mu\text{F}$ -Kondensator, wie das Schaltbild auf seiner Frontseite zeigt:

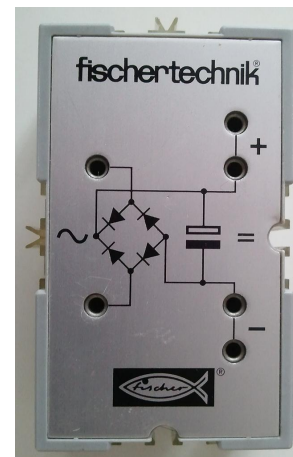


Abb. 9: Schaltungsaufdruck auf dem 1972er Elektronik-Gleichrichterbaustein h4GB

Wenn ihr die Diodenschaltung genau durchdenkt, werdet ihr feststellen, dass an den Plus- und Minus-Ausgängen wirklich immer „+“ bzw. „-“ herauskommt, ganz egal, wie die Versorgungsspannung am Eingang gepolt ist – sehr praktisch. Der Elektrolytkondensator am Ende wird also immer richtig herum gepolt sein. Ihr dürft nur die Plus- und Minusausgänge nicht (falsch herum) mit der Stromquelle verbinden. Das Netzgerät soll hier immer einfach an die mit dem Wechselspannungssymbol „~“ gekennzeichneten Eingänge angeschlossen werden.

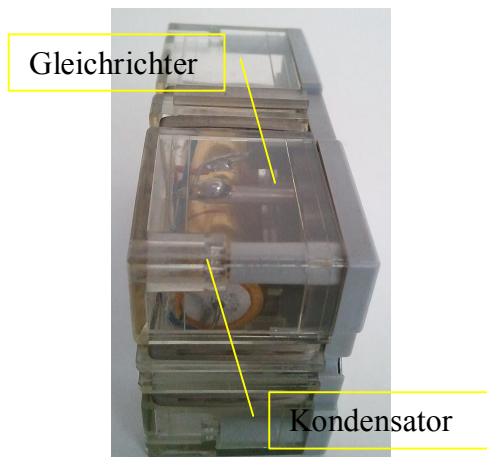
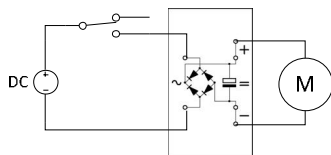


Abb. 10: Blick ins Innere des Gleichrichterbausteins

Den Taster könnt ihr unter Verwendung dieses Elektronikbausteins einfach vor dem Gleichrichter anschließen:



Schaltung 16: Verwendung des Gleichrichterbausteins

Auch hier wird der Motor langsam auslaufen, nur dass diese Schaltung durch den eingebauten Gleichrichter funktioniert, egal wie herum ihr die Stromquelle anschließt.

Wegen der immer gleichen Polung des Motors ist es bei dieser Form des langsamen Auslaufens nur nicht mehr so einfach möglich, zwei Endlagentaster einzubauen. Bitte versucht auch nicht, eine Kurzschlussbremse so zu realisieren, dass der *Kondensator* kurzgeschlossen würde – es tut ihm nicht gut, wenn er so schnell entladen wird.

## Wie geht's weiter?

Mittlerweile haben wir schon ein ganz hübsches Arsenal an Schaltungstechniken entwickelt. In der nächsten Folge wollen wir deshalb eine Reihe ganz unterschiedlicher Maschinen bauen, in der wir diese und ähnliche Schaltungen zur Steuerung verwenden.

Damit kommen wir fast automatisch zur nächsten Stufe: Maschinen, die sich selbst steuern! Wir lernen Ablaufsteuerungen kennen, die – immer noch ganz ohne Computer – mehrere Motoren, Lampen und Magnete in der richtigen Reihenfolge ansteuern. Es bleibt also weiter spannend!

## Literatur

- [1] Wikipedia-Artikel über Dioden: <http://de.wikipedia.org/wiki/Diode>
- [2] Dioden im Shop der Knobloch Electronic GmbH: [http://www.knobloch-gmbh.de/shop/query.php?cp\\_tpl=5504&cp\\_pid=19917](http://www.knobloch-gmbh.de/shop/query.php?cp_tpl=5504&cp_pid=19917)
- [3] Diode 1N4007 bei Conrad Electronic: <http://www.conrad.de/ce/de/suggest/diode%201n4007>
- [4] Beschreibung des programmierbaren Tischrechners HP 9100 (englisch): <http://www.hpmuseum.org/hp9100.htm>
- [5] Geöffneter HP 9100 mit vielen Dioden auf der Bodenplatine: <http://www.hpmuseum.org/9100/9100opnl.jpg>
- [6] Wikipedia-Artikel zu Kondensatoren: [http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator\\_\(Elektrotechnik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_(Elektrotechnik))

Tipps &amp; Tricks

## Neue ft-Teile selbstgemacht: Polycaprolacton

Frederik Vormann

*Neue fischertechnik-Teile lassen sich nicht nur durch „Modding“ gewinnen (siehe den Beitrag von Harald Steinhaus), sondern auch selbst „gießen“. Das Zaubermittel heißt Plaast (Polycaprolacton) – ein Kunststoff, der in 60° heißem Wasser zu einer durchsichtigen Knetmasse wird. Er kann dann prima mit den Finger geformt oder auch in aus fischertechnik gebaute Formen gedrückt werden. In diesem Beitrag wird vorgestellt, wie sich aus Plaast mit wenig Aufwand Bauteile für fischertechnik selbst herstellen lassen.*

Immer wieder einmal fehlt euch ein Baustein für ein Modell, an dem ihr gerade arbeitet? Oder ihr sucht nach einem speziellen Verbindungsstück, das es in eurer fischertechnik-Sammlung (oder gar überhaupt) nicht gibt? Kein Problem: Gießt es euch selbst – aus Polycaprolacton (kurz: Plaast). Plaast könnt ihr in einem Online-Shop in Berlin in Mengen von ein, zwei und fünf Kilogramm bestellen [1]. Für einfache Versuche reicht ein Kilogramm ewig – das kostet derzeit 16,90 €.

### Was wird gebraucht?

Um den Anleitungen dieses Artikels zu folgen, benötigt ihr neben Plaast einige Haushaltsgegenstände:

- einen Wasserkocher oder Kochtopf,
- ein Thermometer,
- eine Tasse oder ein ähnliches Gefäß,
- einen Löffel,
- einen Pinsel,
- etwas Margarine oder Fett,
- Handtücher und schließlich
- fischertechnik-Teile für die Formen zum Guss der Selbstbauteile.

### Plaast vorbereiten

Zunächst wird Wasser mit einem Wasserkocher o. ä. auf ca. 60 °C erhitzt und in eine Schüssel oder Tasse gegeben. In das heiße Wasser kommt nun das Plaast-Granulat. Nach ein paar Minuten ist der Kunststoff weich und kann weiterverarbeitet werden. Größere Stücke oder fertige Teile, die wieder verarbeitet werden sollen, brauchen etwas länger. Dabei müsst ihr die Temperatur vielleicht nochmals anpassen.



Abb. 1: Das ursprüngliche Plaast-Granulat

Plaast sollte mit einem Löffel aus dem heißem Wasser geholt werden – aber Achtung: Verbrühungsgefahr! Das Plaast selbst lässt sich dann ganz gut anfassen. Die

Verarbeitung sollte zügig erfolgen, da Plaast beim Abkühlen wieder fest wird. Abb. 2 zeigt Plaast in dem Zustand, in dem es aus dem heißen Wasser kommt.



Abb. 2: Plaast nach dem Wasserbad

Es muss nun noch in eine brauchbare Form gebracht werden. Grundsätzlich gibt es dafür zwei Möglichkeiten:

- der Bau von Formen aus fischertechnik
- das Abformen von Teilen mit Plaast – diese „Gussform“ kann dann wiederum mit Plaast gefüllt werden.

Beide Varianten werden im Folgenden vorgestellt.

### Formen aus fischertechnik

Die Gussformen müssen das „Negativ“, also das Gegenteil von dem enthalten, was man als fertiges Teil haben möchte. Sie müssen an der Oberseite zunächst offen bleiben, damit dort das Plaast mit den Fingern hinein gedrückt werden kann. Am besten lasst ihr ein wenig Plaast über-

stehen, damit der Baustein, der als Abschluss oben drauf kommt, auch noch seine Form abgeben kann und nicht etwa dort Material fehlt.

Bevor ihr das Plaast in die Form drückt, solltet ihr diese mit etwas Margarine oder Fett einstreichen, da es sonst sehr schwer ist, die fischertechnik-Steine wieder vom Plaast zu lösen. Dabei müsst ihr aufpassen, dass das Fett nicht in das weiche Plaast gerät, sonst fallen die Steine an diesen Stellen wieder auseinander. Später werden wir noch sehen, wie man sich diesen Effekt absichtlich zu Nutze machen kann.

Wichtig ist: Die Formen müssen immer so gebaut werden, dass sie wieder auseinander geschoben werden können, nachdem der Hohlraum mit Plaast ausgefüllt und dieses erstarrt ist – sonst bekommt ihr den neuen Plaast-Baustein nicht heil aus der Gussform. Bei neu erdachten Formen heißt es hier also gut Nachdenken, bevor ihr am Ende fischertechnik-Teile zerstören müsst, um die Form wieder zu zerlegen.

Wenn wir etwa einen Baustein 15 herstellen möchten, der an allen sechs Seiten Stege und nirgends Nuten besitzt, muss die Form also rundherum Nuten (das Gegenteil von Stegen) aufweisen. Form A (Abb. 3) zeigt eine Möglichkeit dafür.

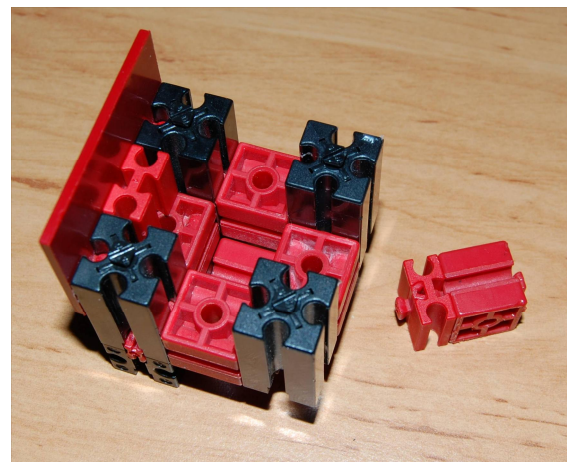


Abb. 3: Form A

Wenn die rechte kleine Baugruppe mit dem roten Baustein 15 oben eingesetzt wird, bleibt im Inneren eine Form übrig, die auf

allen sechs Seiten Nuten hat. Abb. 4 zeigt das Ergebnis: Das Plaast läuft in alle Nuten der Form und bildet nach dem Aushärten Stege an allen sechs Seiten.



Abb. 4: Ergebnis A: Baustein 15 mit Stegen an allen sechs Seiten

Form B (Abb. 5) liefert einen Baustein 30 mit Stegen an den vier langen Seiten.

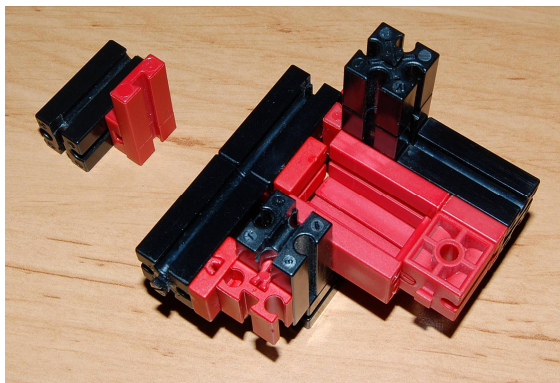


Abb. 5: Form B

An einem Ende bekommt er einen Steg (weil in Abb. 5 links eine Nut liegt), am anderen Ende eine Nut (weil im roten Baustein 15 ein Verbinder 15 steckt).



Abb. 6: Ergebnis B: Baustein 30 mit fünf Stegen und einer Nut

Form C (Abb. 7) schließlich ergibt einen Baustein 15 mit Nuten an allen sechs Seiten.

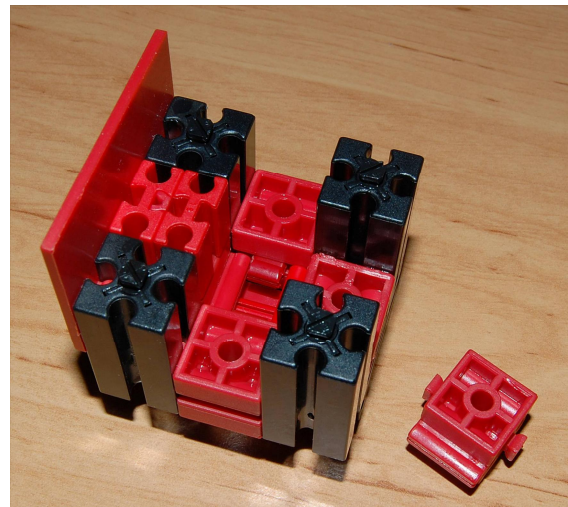


Abb. 7: Form C

Wer genau hinsieht, erkennt, dass da zwei Verbinder 15 etwas beschnitten werden müssen, damit es einen umlaufenden Steg in der Form gibt, der im fertigen Teil eine umlaufende Nut erzeugt.



Abb. 8: Ergebnis C: Baustein 15 mit Nuten an allen sechs Seiten

Es lassen sich natürlich auch Winkelsteine und dergleichen bauen – da setzt wahrscheinlich fast nur die Kreativität Grenzen.

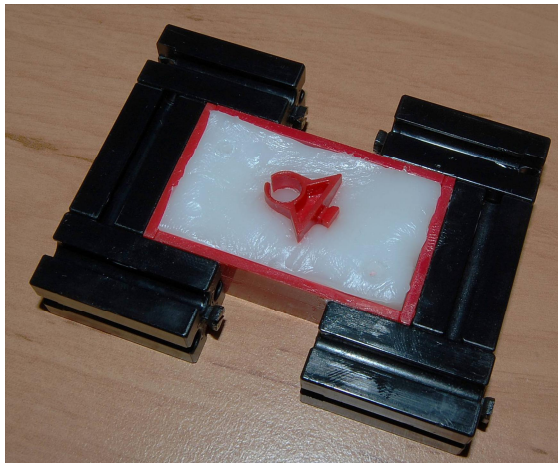
## Abformen mit zwei Formteilen

Die zweite Möglichkeit, neue Teile herzustellen, besteht darin, von den Teilen erst einen Abdruck zu machen (ein Negativ eines existierenden Bauteils also), sprich eine „richtige“ Form wie eine echte Spritzgussform.



Der Ablauf ist dann wie folgt:

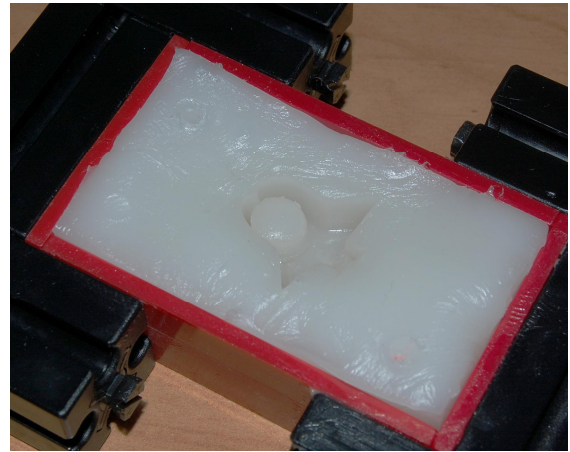
1. Zwei Rahmen für Plaast bauen (jeweils vier verschaltete Seiten genügen).
2. Den ersten Rahmen mit Fett einstreichen, damit das Plaast später leicht wieder entfernt werden kann.
3. Das heiße Plaast in den ersten Rahmen drücken.
4. Das zu kopierende fischertechnik-Teil ebenfalls mit Fett bestreichen und halb (!) ins Plaast eindrücken.
5. Die so vervollständigte erste Halbschale kalt werden lassen. Das ist die untere Hälfte der gesamten Form (Abb. 9).



*Abb. 9: fischertechnik-Teil in der unteren Halbform eingesetzt*

6. Den zweiten Rahmen aufsetzen.
7. Diesen zweiten Rahmen, das mittlerweile kalte Plaast des unteren Rahmens sowie das noch darin steckende fischertechnik-Bauteil einfetten.
8. Plaast in den oberen Rahmen drücken. Dabei müsst ihr ein wenig darauf achten, dass das Muster nicht aus der unteren Form rutscht.
9. Alles erkalten lassen. Diese Menge an Plaast braucht einige Zeit, bis sie wieder fest ist. Am besten stellt ihr sie dazu in den Kühlschrank, dann geht es etwas schneller.

Danach können die Halbformen voneinander getrennt und das eingesetzte fischertechnik-Bauteil entnommen werden. Die untere Form zeigt Abb. 10.



*Abb. 10: Die fertige Doppelform*



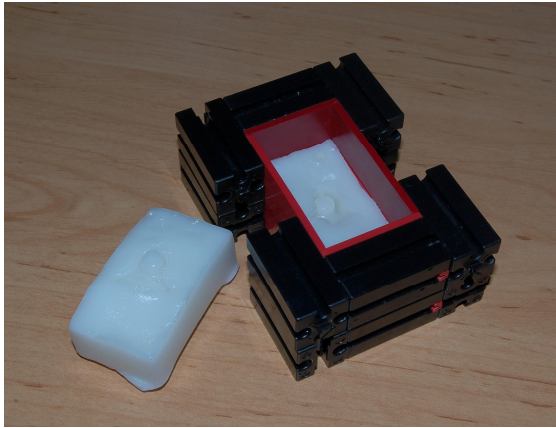
*Abb. 11: Die Plaast-Halbformen*

## „Gießen“ neuer Teile

Unsere selbst hergestellten „Gussformen“ sind nun fertig. Ihr dürft beim Benutzen nur nie vergessen, sie mit Fett zu bestreichen, sonst verbindet sich das Plaast und ihr bekommt das Ganze nicht mehr auseinander. Achtet dabei darauf, dass die Vertiefungen eurer Form auch etwas von dem Fett abbekommen – überall dort, wo kein Fett ist, verbindet sich das Plaast.

Nun erhitzt ihr ein wenig Plaast (ungefähr so viel, wie ihr für euren neuen Stein braucht) und rollt es zu einer kleinen Kugel. Die drückt ihr leicht in die untere

Hälfte der Form, dann wird die obere aufgesetzt und festgedrückt. Am besten benutzt ihr die Hilfsrahmen aus fischertechnik als Führung, damit die beiden Formen passend übereinander sitzen.



*Abb. 12: Vorbereitung für die Herstellung der Teilekopie*

Danach lasst ihr das Plaast wieder abkühlen und könnt dann die Form vorsichtig öffnen.

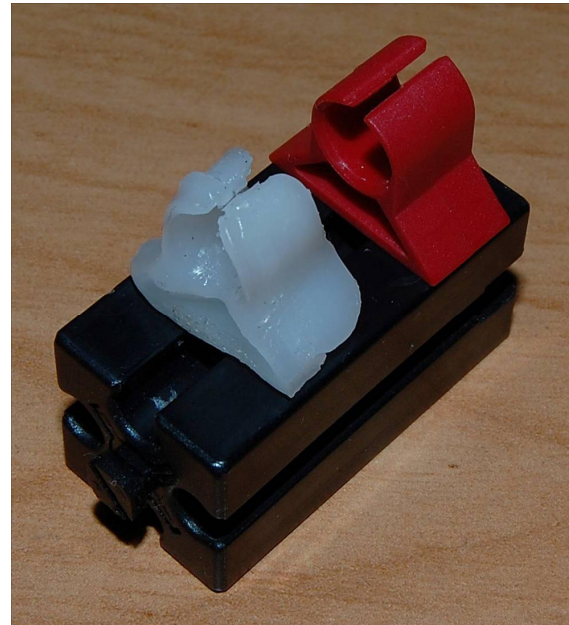


*Abb. 13: Die getrennten Formen*



*Abb. 14: Herausgelöstes Formteil*

In Abb. 13 und 14 sieht man das Gussteil noch in der linken Hälfte stecken. Löst das soeben hergestellte Teil evtl. unter Zuhilfenahme eines Messers vorsichtig heraus – und ihr besitzt euer erstes selbst hergestelltes fischertechnik-Teil!



*Abb. 15: Das fertige Teil im Vergleich zum Original*

Wie man in Abb. 15 erkennen kann, wurde hier etwas zu viel Plaast verwendet, dadurch entstanden zu große Ränder.

Mit einem selbst hergestellten Baustein 7,5 gelang es schon besser (siehe Abb. 16).



*Abb. 16: Baustein 7,5 im Eigenbau*

Einen Blick auf die dazugehörige Rohform gibt Abb. 17.

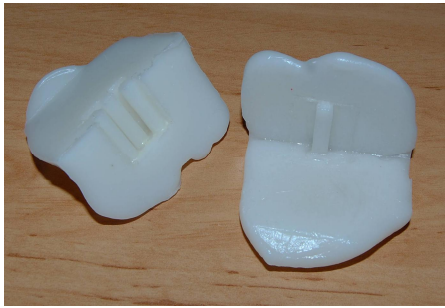


Abb. 17: Formteile für den Baustein 7,5

## Wozu eignet sich welche Methode?

Die zuerst vorgestellte Form aus fischertechnik-Teilen kann in alle Richtungen erweitert werden. Damit können dann Steine in unterschiedlichen Größen und Formen erzeugt werden, bei denen Nuten und Zapfen in alle Richtungen verlaufen.

Mit einer zweiteiligen Form aus Plaast können dagegen z. B. die normalen fischertechnik-Zapfen erzeugt werden – das geht mit einer einteiligen Form oder einer Form nur aus fischertechnik-Teilen nicht. Dafür funktioniert diese Methode nicht sehr präzise, da das Plaast zu starr dafür ist.

## Allgemeine Tipps

Die „gegossenen“ Teile müssen abschließend noch von Hand von unsauberer Kanten und Graten befreit werden. Dazu eignet sich ein scharfes Messer.

Eine interessante Weiterentwicklung ist, mehrere Gussteile zu verbinden. Taucht die Stellen, die verschmelzen sollen, kurz in heißes Wasser und drückt sie vorsichtig aneinander. Auf diese Weise lassen sich ganz neuartige Kombinationsteile herstellen.

Bei meinen Versuchen hat das Plaast die rote Farbe der fischertechnik-Teile angenommen. Ob die Originalteile dadurch leiden, konnte ich nicht feststellen.

Ein Dankeschön geht an Harald Steinhaus für das Entdecken von Plaast und seine ersten Versuche damit.

Als Appetitanregung zum Schluss noch ein paar Einsatzbeispiele für selbst hergestellte fischertechnik-Teile (Abb. 18).

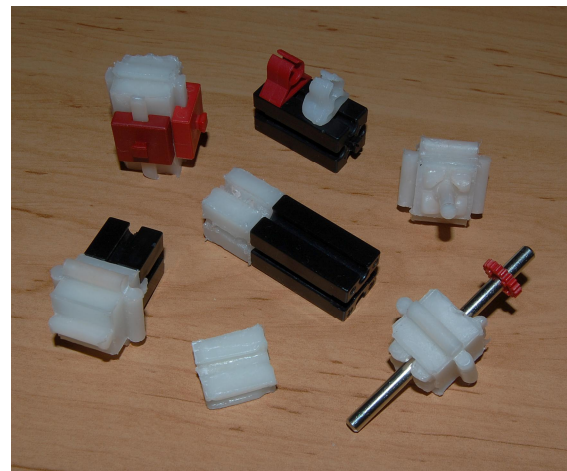


Abb. 18: Verbaute Plaast-Teile

## Sicherheitshinweis

Abschließend sei noch einmal wiederholt: 60° heißes Wasser ist heiß und scharfe Messer sind scharf. Lasst euch gegebenenfalls von einer älteren Person helfen, damit ihr euch nicht verletzt.

## Quellen

- [1] <http://www.plaast.de>
- [2] [http://www.ftcommunity.de/categories.php?cat\\_id=491](http://www.ftcommunity.de/categories.php?cat_id=491)

Tipps &amp; Tricks

## Neue ft-Teile selbstgemacht: Teile-Modding

Harald Steinhaus

*Es gibt Fälle, in denen der geneigte Bastler an die Grenzen des Systems fischertechnik stößt. Hier verschiebt sich ein Zapfen unter Last, da ist eine [Bauteilkante im Weg](#) und der ft-Zapfen stört, da [rutscht ein Zahnrad auf der Achse](#), am Rääumschild möchte man etwas anbauen, und schließlich müsste dort eine Achse durch ein Teil hindurch.*

Das Thema „Teile-Modding“ spaltet die ft-Gemeinde seit den Anfängen der fischertechnik-Foren, und diverse Threads mit heiß geführten Diskussionen sind leider mit den Umzügen verloren gegangen. Im Bilderpool der ftcommunity findet sich aber der [eine](#) oder [andere](#) Thread zu diesem Thema.

Es gibt einmal die Puristen, die da sagen, dass man ein ft-Teil einfach niemals bearbeitet (schnell wird auch von ‚verstümmelt‘ gesprochen) und bitteschön seine Konstruktion mit den Teilen aufbaut, die man im Kasten vorgefunden hat.

Die anderen vertreten den Standpunkt, dass man mit Kauf und Bezahlung Eigentümer der Teile geworden ist und es weder ein Reinheitsgebot noch eine UN-Teileschutzkonvention gibt, die einem das Tuning oder Modding verbieten könnte.



*Abb. 1: Nicht jedermanns Sache: ein fischertechnik-Reifen in der Drehbank. Die Nabenflügel waren auch im Weg.*

Das Für und Wider dieser zweitgenannten Position soll der vorliegende Artikel mit ein paar Beispielen beleuchten.

### Wir beginnen ...

... mit einem Kasten voller Originalteile und einem Bastler voller Ideale. Der Weg auf die schiefe Bahn ist ganz leicht: man möchte einen Spiegel, eine Antenne und einen Suchscheinwerfer am Führerhaus 38443 oder 31140 und Konsorten haben. Tja, da sind keine Bohrungen und keine Zapfen vorgesehen. Kleben wäre eine Lösung, aber ein Loch hier oder dort hätte universelle Möglichkeiten.

Oder der Zapfen eines Baustein 30 stört, und man findet heraus, dass es den zapfenlosen BS30 unter den Teilenummern 35014 und 35001 gegeben hat, die aber nicht mehr lieferbar sind. Da könnte man auf die Idee verfallen, seinem am schlimmsten ausgeleierten Baustein 30 mit dem Bastelmesserchen ... – an dieser Stelle ist für eher zart besaitete Gemüter eine Schmerzgrenze erreicht. Bitte hinsetzen, denn es kommt noch „dicker“.

### Die fischerwerke tun's ja auch!

Man kann sich darauf berufen, dass die fischerwerke auch nicht unschuldig sind. Im Baukasten u-t3 aus der Schulserie findet man eine [Anleitung](#), aus dem Spurkranz mittels scharfem Messer eine Schaltscheibe

zu machen. Nicht genug damit, findet sich im Buch ‚[Hobby 3 – Band 2](#)‘ auf den Seiten 46/47 ein Zahnrad Z20, dem jeder zweite Zahn entfernt wurde, um es als Schaltrad zu verwenden – Dank an Schnaggels und Stefan Falk für diesen Hinweis. Dazu steht geschrieben: „Das zerstörte Zahnrad können Sie durch die fischertechnik-Zusatzpackung 04 ersetzen“. So so, hmm, hmm, „zerstört“. Darüber kann man diskutieren, denn wirklich zerstört wurde das Zahnrad ja nicht. Es wurde seiner ursprünglichen Funktion beraubt (ist nicht mehr als Zahnrad in einem gewöhnlichen Getriebe zu gebrauchen), aber es hat doch eine neue Funktion erhalten. Eine Funktion, in der es einen Nutzen erbringt, der mit keinem (seinerzeit) existierenden ft-Bauteil zu bewerkstelligen war.

### Weiter auf der schiefen Bahn: „Auto“-Modding

Bauteile können im Spielgeschehen den einen oder anderen Schaden erleiden, der sie aber nicht zwangsläufig unbrauchbar machen muss. Beispiele sind:

- BS30 mit abgebrochenem Zapfen (siehe oben; manchmal braucht man solche Teile)
- Lochstreben 120 brechen leicht bei Überlast (und besonders die aus gelbem Material, wenn sie zu trocken und spröde geworden sind). Wenn sie an einem Ende brechen, entsteht daraus eine [Lochstrebe 105](#), also eine Strebe mit sonst nicht erhältlicher Länge.
- zerbrochene BS15 mit zwei Zapfen, deren Innenleben ein interessantes neues Bauteil abgibt: einen Stahlstift mit zwei Zapfen, der sich sehr gut zur [Befestigung der Power-Motoren](#) eignet (weitere Beispiele [hier](#) und [dort](#)).

So ein zerbrochenes Teil schmerzt natürlich. fischertechnik ist recht teuer (oh, politisch korrekt müsste man sagen: bietet

hohen Nutzen zu einem angemessenen, aber gehobenen Preis), und gerade die jetzige Elterngeneration musste seinerzeit jede Zubehörbox vom knappen Taschengeld bestreiten, so dass die Teile sprichwörtlich ‚lieb und teuer‘ geworden sind. Diese emotionale Verbindung tritt noch stärker hervor, wenn anstelle eines bösen Unfalls nun die eigene Hand einem Bauteil ans Leder will.

### Keine Hemmungen!

Ist man über einen bestimmten Punkt hinweg, kann man ins andere Extrem schlagen und es gibt kein Halten mehr. Auf das Messer folgen erst Säge und Bohrmaschine, dann Fräse und Drehbank, um die Bauteile zu bearbeiten. Am Ende werden lieber Teile verändert als dass man sich auf die Suche nach einer technischen Lösung macht, die ohne „Blutvergießen“ auskommt. Aus dieser Zeit stammen die hier gezeigten Bausteine, denen die eine oder andere Kante mehr oder weniger weit entfernt wurde. Z. B. wird damit bewirkt, dass die Teile einer Lenkung [ohne Anstoßen an Chassisträgern vorbei](#) kommen (links ein BS5, rechts ein BS 5x15x30), siehe auch Abb. 2.

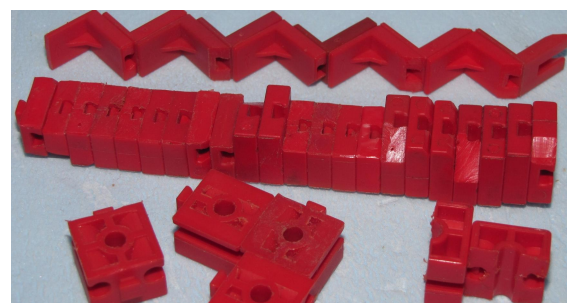


Abb. 2: Abgeschrägte Bausteine

Auch die S-Riegel waren beliebte Opfer: meistens ist nur der Griff im Weg, aber manchmal braucht man sie auch mit „Plattfuß“, damit sie in eine ft-Flachnut (etwa vom BS5) hineinpassen.

Die Steigerung sind S-Riegel mit Plattfuß und gekappten „Zehen“, so dass sie z. B. mittig in die halbe Nut eines S-Winkelträ-

gers geschoben werden können. Alle Varianten in Abb. 3 haben einmal einen besonderen Zweck erfüllt, aber ob das wirklich immer nötig war?



Abb. 3: Eine kleine Auswahl an Variationen zu S-Riegeln mit Bohrungen und „Plattfüßen“

### Beispiele aus wilden Zeiten

- Durchbohrte Achse als kraftvolle Seilwinde, Verstiften hält Teile zusammen, Anspitzen hilft beim „Einfädeln“, Getriebe kann man umbauen (Abb. 4).

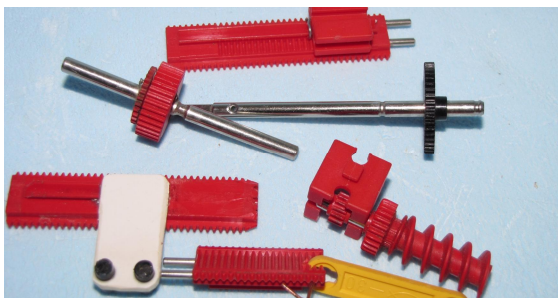


Abb. 4

- Flach gefeilte und gebohrte Achsen, das Differential kann mit der ft-Kette angetrieben werden (Abb. 5).

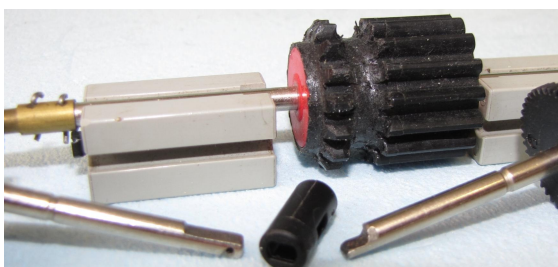


Abb. 5

- Mitte links das Z10 (Idee von Claus), dahinter eine in drei Stufen längenverstellbare Drehkupplung, rechts eine verstiftete Schnecke, deren Achse gegen Herausziehen aus dem Getriebe gesichert ist (Abb. 6)



Abb. 6

### Ein paar Highlights

- Ein [Hubgetriebe aus Riegelscheiben und Führungsplatte 32455](#) (Abb. 7)

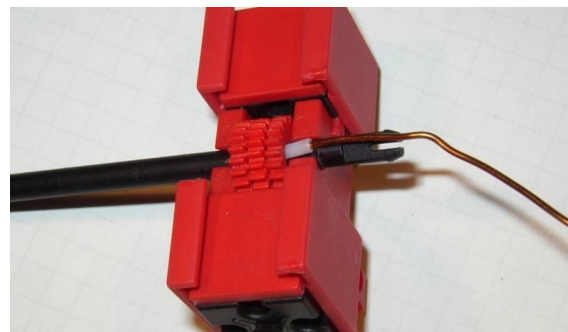


Abb. 7

- Nur den Achsstummel im Vordergrund braucht man, um den XM-Motor am Stufengetriebe zu betreiben. Die umlaufende Nut sorgt fürs Einrasten. Rechts die Befestigung der Gehäuse mittels BS5 und V-Platte (Abb. 8).

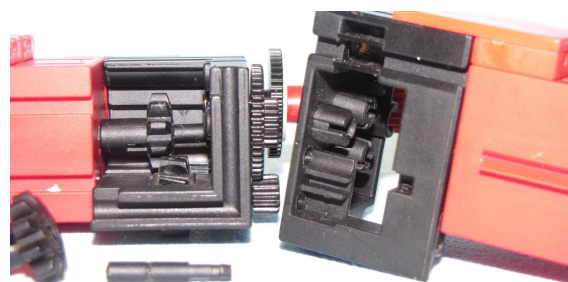


Abb. 8

- Mit der Laubsäge durchtrennte Platten, für Flugzeug-Tragflächen (Abb. 9)



Abb. 9

- Flachnabe mit angespitzten Griffen, als Schrittschaltwerk (Abb. 10)



Abb. 10

- Zahnrad-Montagen, auf der Suche nach einem Schaltgetriebe in m0,5 (Abb. 11)

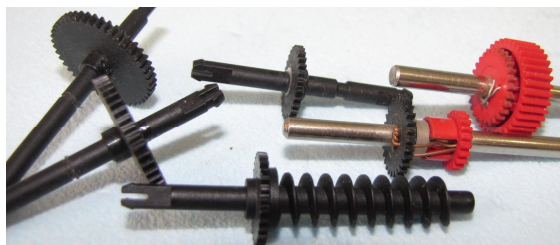


Abb. 11

- Stufengetrieb mit Stirnbohrung, zum Antrieb durch den XM-Motor (Abb. 12)



Abb. 12

- [Kabelhalter aus S-Riegeln](#) – diese Teile sollten ins ft-Programm aufgenommen werden (Abb. 13)



Abb. 13

- Links: Die Schneckenmutter ist keine mehr, das Differentialrad 137196 passt sauber hinein. Rechts: Diese Schneckenmutter ist unverändert; das Differential-Antriebsrad 31414 ist von hinten plan gedreht und liegt flach auf dem Kugellager auf (Abb. 14).

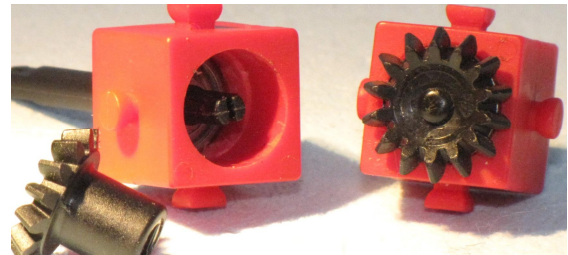


Abb. 14

## Auszüge aus meinem Sündenregister

- [BS15-Loch gekappt](#) und ft-Differential ins Raster gebracht
- [Rollenbock 32085 angeschrägt](#) – wegen Fahrwerksgeometrie
- [S-Riegel mit gekapptem Plattfuß](#) für halbe Flachnuten (hier im Gelenkwürfel)
- [S-Riegel als Kabelhalter](#) oder als Haken
- [S-Riegel 6 geköpft](#), verhindert Überstrecken der Lenkklaue
- [Lenkwürfel beschnitten](#) für größeren Lenkeinschlag (Abb. 15)

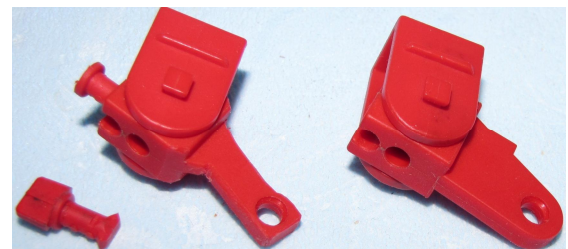


Abb. 15: Beschnittene Lenkwürfel

- Der geköpft S-Riegel [begrenzt den Knickwinkel](#) beim Einsatz in einem Fahrwerk
- [Riegelstein geköpft](#) (Förderband)

- [Baustein 7,5 mittig durchgesägt](#), sehr [vielseitig](#), zum Beispiel für weit öffnende Türen (Abb. 16)

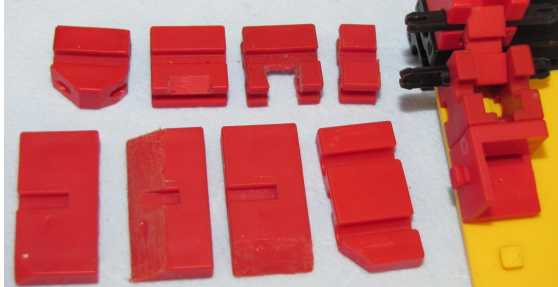


Abb. 16

- [Hubzahnstange verbunden mit Strebenadapter](#) (nebst Einblick in des Täters Psyche)
- [Reifen 60 halbiert](#), für belastbare Radantriebe

## Es gibt noch weitere Täter!

In die Öffentlichkeit getreten und namentlich bekannt sind

- Peter K: [Riegelstein 32850 halbiert mit Kugellager](#) 4x8x3
- quincym: [M4-Gewinde auf Rastachse](#)
- quincym: [Ritzel aufgebohrt und Rastachse eingeklebt](#); Kardan für Direktmontage am S-Motor aufgebohrt
- Claus: [Rast-Z10 verschlankt](#) und [neues Teil daraus](#) erzeugt: Rastklemmbuchse (gezeigt an einem meiner Modelle)
- Arjen Neijssen/Ludger/TST: [BS15-Loch abgesägt](#)
- Triceratops: laut [eigenem Geständnis](#) (Beweismaterial nicht veröffentlicht)
- Thomas Püttmann: [Rastkegelzahnrad in BS15-Loch versenkt](#)
- C-Knobloch: die Laufschiene der Achterbahn sind [stirnseitig gebohrt und verstiftet](#) damit beim Verwinden kein Stoß entsteht

Wenn man das Schlagwort „modding“ in der [Bilderpool-Suche](#) verwendet, trifft man alle diese Kandidaten.

Die Dunkelziffer der heimlichen Teilemodder ist allerdings unbekannt.

## Für und Wider

Klar, man hat die Teile bezahlt und darf mit ihnen nach Belieben verfahren. Und fischertechnik selbst hat es ja auch getan. Wie dem auch sei, auf die Zeit der locker sitzenden Klingen folgt die Besinnung.

Zum Einen sind ja aus den veränderten Teilen nun Spezialteile geworden, die man gesondert aufbewahren muss oder ständig beiseite räumen muss, wenn man Standardteile braucht. Schwerer wiegt der Umstand, dass kein anderer ein Modell nachbauen kann, ohne ebenfalls zum Werkzeug zu greifen. Gleiches gilt, wenn man ein Modell mehrfach aufbauen will (etwa Rennwagen für ein Autorennen) oder wenn das Modell mehrere dieser Teile braucht (z. B. in den Gondeln eines Riesenrads).

Man möchte vielleicht auch den Wiederverkaufswert der Teile erhalten oder hat den Ehrgeiz, ein Problem mit Teilen aus der Schachtel zu lösen oder es zu lassen.

Unterm Strich verläuft meine Grenzlinie mittlerweile genau mitten hindurch:

- Wenn es irgend geht, halte ich mich zurück, damit **weniger Blut fließt** (die ersten Schnitte macht immer das Taschenmesser...) und insbesondere, damit andere ein Modell auch ohne Werkstatt nachbauen können;
- Wenn ich aber meine, dass die Bearbeitung eines Teils einen Mehrnutzen gegenüber dem Original erbringt (etwa die Wandlung der S-Riegel zu Kabelclipsen), dann gibt es **kein Zurück**.



Getriebe

## Zahnräder und Übersetzungen (Teil 2)

Thomas Püttmann

*Im ersten Teil dieser Miniserie ging es überwiegend um die Stirnräder im fischertechnik-System und die Übersetzungen, die mit ihnen erzielt werden können. In diesem zweiten Teil werden Schnecken und vor allem Differentiale benutzt, um die Konstruktion vorgegebener Übersetzungen deutlich zu vereinfachen.*

Im ersten Teil haben wir gesehen, dass man mit fischertechnik-Stirnrädern mit Modul  $m = 1,5$  theoretisch alle Übersetzungen der Form  $(2^j \cdot 3^k) : (2^m \cdot 3^n)$  konstruieren (also z. B. 8:3, 16:9 oder 27:128) und damit jedes vorgegebene Übersetzungsverhältnis beliebig genau annähern kann.

Praktikabel ist das jedoch schon bei vielen einfachen Verhältnissen nicht. Um zum Beispiel das Verhältnis 5:1 bis auf zwei Stellen hinter dem Komma zu realisieren, bräuchte man 24 Stirnräder. In diesem Teil kannst du lernen, wie du das Differential einsetzt, um Getriebe mit gewünschten Übersetzungen mit deutlich weniger Bauteilen zu konstruieren. Doch zuvor wenden wir uns kurz den Schnecken- und Kronengetrieben zu. Die Formeln brauchst du beim ersten Lesen nicht zu verstehen. Versuche lieber die Beispiele abzuändern und zu untersuchen, was dabei passiert.

### Schnecken- & Kronengetriebe

Abbildung 1 zeigt ein Schneckengetriebe. Die Achse mit der Schnecke treibt die Achse mit dem Stirnrad Z20 an. Bei einer Umdrehung der Antriebswelle wird das Stirnrad genau einen Zahn weiterbewegt. Bei 20 Umdrehungen der Antriebswelle hat das Z20 also genau eine volle Umdrehung gemacht: Die Übersetzung ist 20:1.

Ersetzt du das Z20 durch ein Z10, Z15, Z30 oder Z40, so erhältst du die Verhältnisse 10:1, 15:1, 30:1 bzw. 40:1.

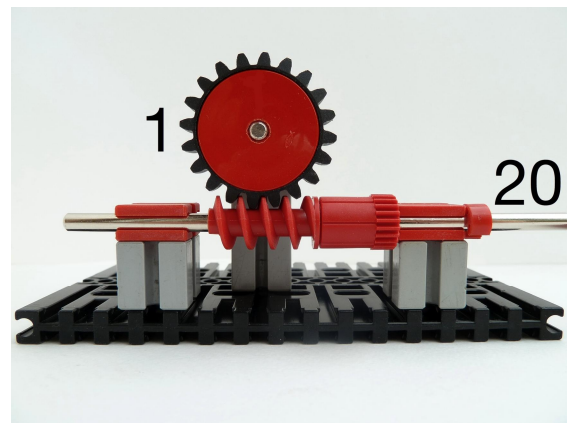


Abb. 1: Schneckengetriebe

Abbildung 2 zeigt dir, wie du mit einem Schneckengetriebe die Übersetzung 5:1 konstruieren kannst. Theoretisch kann man mit den Stirnrädern und den Schnecken alle Übersetzungen der folgenden Form konstruieren:

$$(2^j \cdot 3^k \cdot 5^l) : (2^m \cdot 3^n)$$

Im Nenner tritt der Faktor 5 nicht auf, da das fischertechnik-Schneckengetriebe *selbstsperrend* ist: Das Stirnrad kann die Schnecke nicht antreiben. Es gibt noch zwei weitere Schnecken im fischertechnik-System: Die erste hat den Modul  $m = 1,0$  und eignet sich eigentlich nur in Verbindung mit der zugehörigen Schneckenmutter.

Die zweite hat den Modul  $m = 1,5$ . In diese Schnecke werden Rastachsen eingesteckt. Sie hat den Vorteil, besser zur Evolventenverzahnung der fischertechnik-Stirnräder zu passen und daher spielfreier zu sein. Wenn du sie verwendest, hast du weniger Leerlauf beim Ändern der Drehrichtung. Andererseits ist sie größer und passt nicht so gut ins Raster.

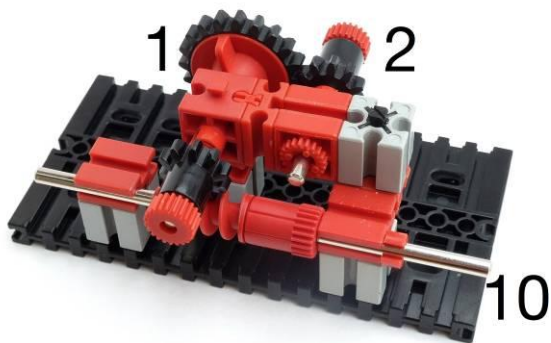


Abb. 2: Übersetzung 5:1

Auch mit einem Kronenrad kannst du die Übersetzung 5:1 erzielen: Das Kronengetriebe in Abbildung 3 hat eine Übersetzung von  $10:32 = 5:16$ . Wenn du also zusätzlich mit einem zweistufigen Getriebe zweimal 4:1 übersetzt (Z10 auf Z40), hast du insgesamt die Übersetzung 5:1.



Abb. 3: Kronenradgetriebe

Mit Schnecken, Stirn- und Kronenrädern kann man somit theoretisch alle Übersetzungen der folgenden Form konstruieren:

$$(2^j \cdot 3^k \cdot 5^l) : (2^m \cdot 3^n \cdot 5^p).$$

## Das Differential

Das entscheidende Bauteil im Weiteren ist das Differential (siehe Abbildung 4). Es besitzt drei koaxiale An-/Abtriebe: Zwei Rastachsen können in die beiden Seiten eingesteckt werden und der *Differentialkäfig* in der Mitte selbst trägt ein Stirnrad mit 20 Zähnen sowie einen Kegelzahnkranz mit 26 Zähnen.



Abb. 4: Das Differential

Nimm die eine der eingesteckten Rastachsen zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand, die andere zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand. Drehe nun zunächst die beiden Achsen gleich schnell in dieselbe Richtung. Auch der Käfig dreht sich genauso schnell in die gleiche Richtung. Drehe jetzt die beiden Achsen ungefähr gleich schnell in entgegengesetzte Richtungen. Der Käfig sollte sich jetzt fast gar nicht drehen.

Dieses Phänomen wollen wir nun mathematisch genauer fassen. Drehe dazu das Differential vor deinen Augen so, dass du frontal auf das Z20 schaust (Abbildung 5). Jetzt kannst du von Umdrehungen im und gegen den Uhrzeigersinn sprechen. Umdrehungen gegen den Uhrzeigersinn sollen positiv, Umdrehungen im Uhrzeigersinn sollen negativ gezählt werden.

Bezeichne mit  $x$  bzw.  $y$  die Anzahl der Umdrehungen der beiden Rastachsen und mit  $z$  die Anzahl der Umdrehungen des Käfigs. Die drei Variablen  $x$ ,  $y$  und  $z$  sind offensichtlich nicht unabhängig. Wenn du gleichzeitig an zwei der drei Stellen (zwei Rastachsen und Käfig) drehst, ist die Drehbewegung der dritten Stelle schon festgelegt.

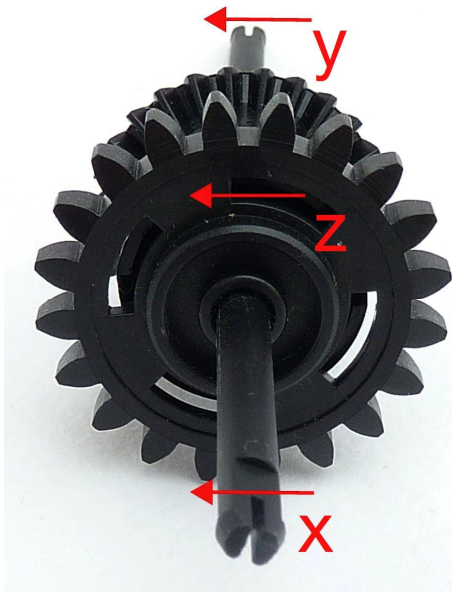


Abb. 5: Differential – Frontalansicht

Falls du die Experimente von oben ausgeführt hast, vermutest du vielleicht schon, dass  $z$  der Mittelwert aus  $x$  und  $y$  ist. Als Gleichung schreibt man  $z = (x+y)/2$ . Überprüfe diese Gleichung jetzt noch einmal genau, indem du einen Zahn des Z20 auf dem Käfig markierst und die beiden Enden der Rastachsen genau beobachtest: Hältst du die linke Rastachse fest und drehst die rechte Rastachse zweimal im positiven Sinn ( $x = 0, y = 2$ ), so dreht sich der Käfig genau einmal im positiven Sinn ( $z = 1$ ).

Drehst du beide Achsen genau einmal im positiven Sinn ( $x = 1, y = 1$ ), so dreht sich der Käfig genau einmal im positiven Sinn ( $z = 1$ ). Drehst du beide Achsen genau einmal entgegengesetzt ( $x = 1, y = -1$ ), so ist der Käfig nach den beiden Drehungen genau da, wo er vorher war ( $z = 0$ ).

Die Gleichung  $z = (x + y)/2$  eignet sich in dieser Form vor allem, wenn die beiden Seiten angetrieben werden und die Mitte den Antrieb bildet. Für unsere Zwecke ist es praktischer alle drei An-/Abtriebe als gleichberechtigt anzusehen. Dann kann man die Gleichung viel besser als

$$x + y - 2z = 0$$

schreiben und nach Bedarf nach der Abtriebsvariablen auflösen.

Halte zum Beispiel einmal den Käfig fest ( $z = 0$ ). Die Gleichung lautet also jetzt  $x + y = 0$ . Wenn du die eine Achse drehst, dreht sich die andere genauso weit, nur entgegengesetzt. Oder halte eine Achse fest ( $x = 0$ ). Die Gleichung lautet jetzt  $y - 2z = 0$  oder umgestellt  $y = 2z$ . Drehst du nun den Käfig, so dreht sich die andere Achse in die gleiche Richtung, aber doppelt so weit!

Wahrscheinlich hast du das Differential zuerst beim Bau von Fahrzeugen kennengelernt. Bei einer Kurvenfahrt legt das äußere Rad einer Antriebachse einen größeren Weg zurück als das innere und sollte entsprechend die Möglichkeit haben, sich mehr zu drehen. Genau das leistet in diesem Fall das Differential: Der Käfig wird angetrieben (die Variable  $z$  ist also vorgegeben) und die beiden Achsen drehen sich nach Bedarf: Nur die Summe  $x + y = 2z$  liegt fest. Wie sich  $2z$  auf die beiden Seiten verteilt, hängt von der Kurvenfahrt (Reibung am Boden) ab. Führt das Fahrzeug geradeaus, so ist  $x = y$ . Je stärker die Kurve gekrümmt ist, desto mehr ruht eines der Räder, während sich das andere entsprechend mehr dreht. Es kann sogar sein, dass sich das eine Rad rückwärts bewegt, während sich das andere um entsprechend mehr als  $2z$  vorwärts bewegt.

Wie kannst du nun mit Hilfe des Differentials ungewöhnliche Übersetzungen erhalten? Das funktioniert, indem du zwei der An-/Abtriebe durch ein normales Stirnradgetriebe koppelst. Am besten schauen wir uns gleich ein Beispiel an (siehe Abbildung 6): Zwischen der einen Rastachse und dem Käfig ergibt sich durch das Stirnradgetriebe eine Übersetzung von 3:1. Dies bedeutet  $z = 3y$ . Setzt du in der allgemeinen Gleichung  $x + y - 2z = 0$  für das Differential  $z = 3y$  ein, so erhältst du  $x - 5y = 0$ , also  $x = 5y$ . Wir haben somit jetzt eine ganz andere Möglichkeit gefunden, die Übersetzung 5:1 mit Standardfischertechnik-Teilen zu konstruieren.

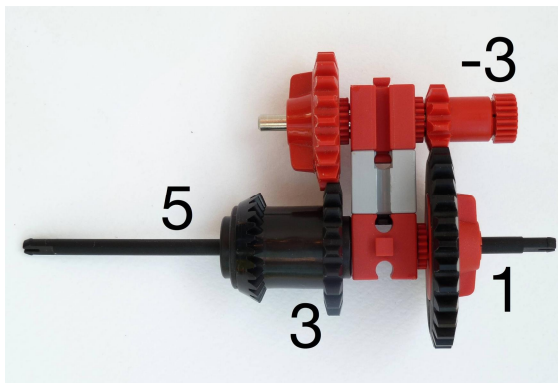


Abb. 6: Übersetzung 5:1 mit Differential

Versuche doch am besten jetzt gleich einmal, eine Übersetzung 11:1 mit Hilfe eines Differentials zu konstruieren! Es gibt dafür verschiedene Möglichkeiten. Für eine davon brauchst du außer dem Differential noch ein Z40, ein Z10 und ein Z30. Mit einem Differential und einigen Stirnrädern kannst du sehr viele Übersetzungen praktisch realisieren. Dazu gehören alle ganzzahligen Verhältnisse der Form  $m:1$  mit  $m < 59$ . So sind z. B.  $43 = 3 \cdot 3 \cdot 3 + 4 \cdot 4$  oder  $37 = 3 \cdot 3 \cdot 4 + 1$ . (Die Additionen werden dabei jeweils mit dem Differential durchgeführt, die Multiplikationen mit den Stirnrädern.) Theoretisch lassen sich mit beliebig vielen Stirnrädern und einem Differential alle Verhältnisse der Form

$$(2^{j1} \cdot 3^{j2} \pm 2^{j3} \cdot 3^{j4}) : (2^{j5} \cdot 3^{j6} \pm 2^{j7} \cdot 3^{j8})$$

konstruieren. Die Möglichkeiten steigen noch einmal deutlich bei Verwendung eines zweiten Differentials. In der Praxis wirst du jede gewünschte Übersetzung mit Hilfe zweier Differentiale und weniger Stirnräder genau erzielen oder ausreichend gut annähern können.

### Anwendungsbeispiele

Als Anwendungsmodell habe ich eine Planetenmaschine ([Orrery](#)) mit Sonne, Merkur, Venus und Erde konstruiert. Der Merkur braucht für seinen Umlauf um die Sonne 0,241 Jahre, die Venus 0,615 Jahre. Die Kehrwerte dieser beiden Zahlen sind ungefähr 4,149 bzw. 1,626.

Für den Merkur kann man also in guter Näherung ein Getriebe mit Übersetzung  $83:20 = 4,15:1$  verwenden. Der Faktor 4,15 lässt sich mit einem Differential in der Form  $4 + 3/20$  erhalten, was zu dem Getriebe in Abbildung 7 führt.

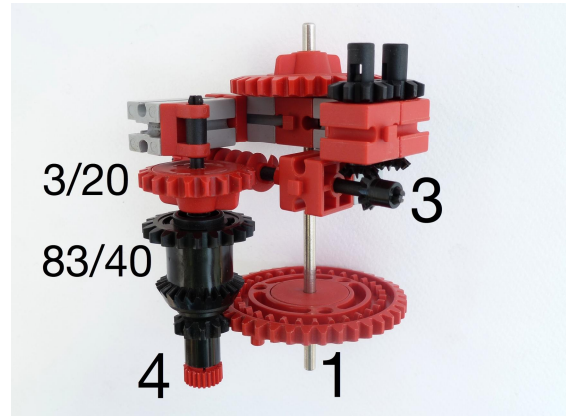


Abb. 7: Getriebe für den Merkur

Für die Venus kann man 1,626 durch 1,625 (= 13/8) annähern. Das entsprechende Getriebe ist in Abbildung 8 dargestellt, wobei der Antrieb rechts oben und der Abtrieb der Differentialkäfig ist.

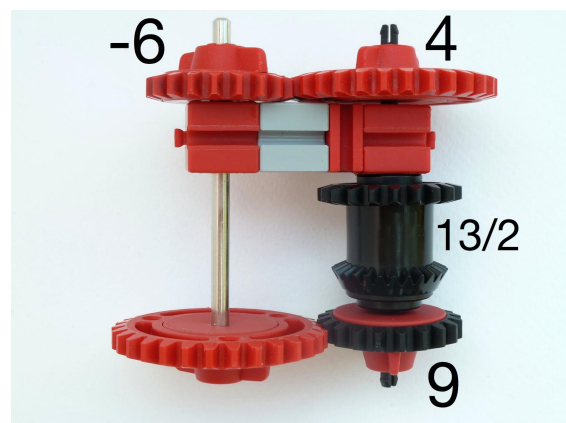


Abb. 8: Getriebe für die Venus

Vielleicht überlegst du dir einmal selbst ein passendes Getriebe für den Mars: Er hat eine Umlaufzahl von 1,881 Jahren.

Ein ausführlicher Beitrag über die Planetenmaschine folgt in einer der nächsten Ausgaben.

Flugzeugtechnik

## Hubschrauberrotoren

Dirk Fox, Johann Fox

*Hubschrauber gehören zu den faszinierendsten Fluggeräten: Sie können wie Kolibris in der Luft stehen, ohne Startbahn abheben, punktgenau landen und extrem wendige Manöver fliegen. Zwar ist die Idee des Hubschraubers bereits Jahrhunderte alt, realisiert wurden die ersten funktionsfähigen Hubschrauber aber erst vor ca. 80 Jahren – denn so einfach, wie es aussieht, ist das Fliegen mit Rotoren nicht.*

### Ein wenig Geschichte

Die Idee des Hubschraubers wird gemeinhin [Leonardo da Vinci](#) (1452-1519) zugeschrieben. So fand man in den Skizzen dieses genialen Florentiner Universalgelehrten – dem wir nicht nur Kunstwerke wie die Mona Lisa oder Das Letzte Abendmahl verdanken, sondern auch zahlreiche technische Erfindungen<sup>1</sup> – die Konstruktionszeichnung eines „Luftschraubers“.

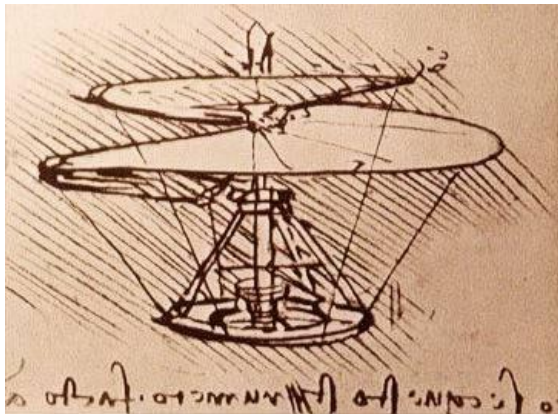


Abb. 1: „Luftschrauber“ von Leonardo da Vinci (ca. 1483)

Tatsächlich konnte dieser Luftschrauber (Abb. 1) nicht funktionieren. Die Idee von Leonardo da Vinci war, den „Luftschrauber“ wie eine [archimedische Schraube](#) in

die Luft hineinzudrehen [1] und auf diese Weise abzuheben – ein Denkfehler.

Das Konstruktionsprinzip heutiger Hubschrauberrotoren ist zudem erheblich älter: Dokumente belegen, dass es schon mehr als 1.000 Jahre früher, im 4. Jahrhundert unserer Zeitrechnung, in China Kinder-spielzeuge gab, die der Gestalt des Ahornsamens nachempfunden waren und die Funktionsweise eines Hubschrauberrotors modellieren [2]. Mit etwas Geschick kann man sie mit Vogelfedern, einem Korkenstück und einem Schaschlikspieß nachbauen: Dreht man den Spieß schnell zwischen den Händen an, fliegt der kleine Rotor durch die Luft.



Abb. 2: Holzrotor-Spielzeug

Aus Holz kann man einen solchen Rotor auch kaufen (Abb. 2); es gibt ihn sogar mit Halterung und „Startschnur“, die um den Stab gewickelt wird. Zieht man am Schnurende, wickelt sich die Schnur ab und versetzt den Stab in eine schnelle Rotation – und der „Drehflügler“ hebt ab.

<sup>1</sup> Siehe den fischertechnik-Kasten „Da Vinci Machines“ (500882).

## Dynamischer Auftrieb

Warum aber fliegt ein solcher Rotor? Das ist keineswegs selbstverständlich. Denn der Rotor ist schwerer als Luft – anders als ein „Luftschiff“ (Heißluftballon, Gasballon oder Zeppelin) sorgt also nicht eine geringere Dichte für Auftrieb.

Neben einem solchen „statischen Auftrieb“, auch als [Archimedisches Prinzip](#) bekannt (die verdrängte Luft ist schwerer als das verdrängende Objekt), gibt es noch einen „[dynamischen Auftrieb](#)“. Dieser ist das wesentliche Funktionsprinzip des Fliegens. Dynamischer Auftrieb entsteht, wenn ein flügelartiges Objekt sich durch ein Medium (z. B. Wasser oder Luft) bewegt. Die Form ist dabei wesentlich – vor allem der spitze Zulauf des Flügelquerschnitts am hinteren Ende (Abb. 3).

Vereinfacht lässt sich der Effekt wie folgt erklären: Bewegt sich das flügelartige Objekt „schräg“ (also in einem Anstellwinkel) zur Bewegungsrichtung, strömt das Medium unterschiedlich schnell an der Oberfläche entlang: Unterhalb der Neigung entsteht ein Überdruck, da das Medium langsam strömt; oberhalb des geneigten Objekts strömt das Medium schneller, dort entsteht ein Unterdruck. Die Differenz zwischen Unter- und Überdruck erzeugt eine Auftriebskraft, die das Objekt, sofern es nicht zu schwer ist, nach oben drückt (Abb. 4).

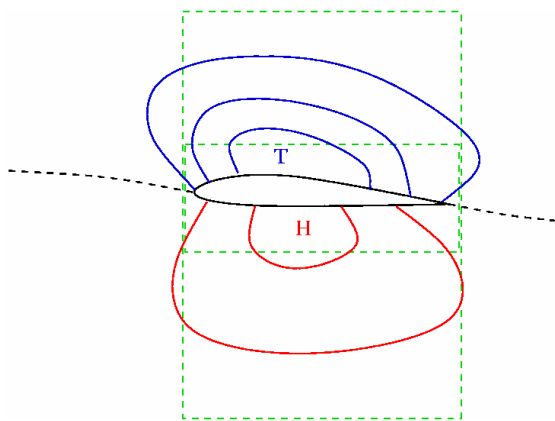


Abb. 3: Umströmtes Flügelprofil mit Über- und Unterdruck (Quelle: Wikipedia)

Je schneller sich das Objekt im Medium bewegt, desto größer ist der Druckunterschied – und desto stärker der Auftrieb. Aus diesem Grund benötigt ein Flugzeug eine lange Startbahn, da die Flügel erst ab einer Mindestgeschwindigkeit genügend Auftrieb erhalten, um das Flugzeug zu tragen. Und aus demselben Grund benötigt ein Rennwagen einen Spoiler (gewissermaßen eine umgedrehte Tragfläche) – dieser „drückt“ das Fahrzeug nach unten, damit der Auftrieb es nicht vom Boden abheben lässt. Damit kann ein Formel-1-Rennwagen theoretisch sogar an der Decke fahren – solange seine Geschwindigkeit nicht unter ca. 200 km/h sinkt.

Die Mindestgeschwindigkeit muss ein Flugzeug auch während des Fluges halten, damit es nicht zum „Strömungsabriss“ kommt und das Flugzeug absackt oder gar ins Trudeln gerät. Aber auch zu schnell darf es nicht fliegen – nähert es sich der Schallgeschwindigkeit, reißt die Strömung ebenfalls ab. Und nicht nur die Geschwindigkeit kann Ursache für einen Strömungsabriss sein – auch der Anstellwinkel des Flügels ist kritisch, wenn er jenseits eines von Flügelform, Größe und Material abhängigen Grenzwinkels (deutlich unter  $45^\circ$ ) liegt.

## Drehflügler

Bei einem Hubschrauber („Drehflügler“) wird – im Unterschied zum Flugzeug – nicht das gesamte Flugobjekt bewegt, sondern nur die Flügel im Kreis – sie werden daher Rotoren genannt. Auch beim Rotor hängt die Stärke des Auftriebs von der Geschwindigkeit und der Neigung des Rotorblatts ab.

Da sich ein Rotorblatt an der äußersten Spitze sehr schnell durch die Luft bewegt – bei üblichen Rotordurchmessern von ca. 10 m und 400 Umdrehungen pro Minute mehr als 720 km/h – und es sich daher schon bei verhältnismäßig niedriger Fluggeschwindigkeit (ca. 350 km/h) der Schallgeschwin-

digkeit und damit der Gefahr eines Strömungsabrisses nähert, wird die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rotors konstant gehalten und der Auftrieb allein über die Neigung des Rotorblatts, auch *Pitch* genannt, gesteuert.

Die Idee der Blattverstellung geht auf den Amerikaner *Robert Taylor* zurück, der diese Erfindung 1842 dem Luftfahrtpionier Sir *George Cayley* (1773-1857) anbot. Der Bau eines Hubschraubers scheiterte jedoch daran, dass ausreichend leistungsfähige Dampfmaschinen zu schwer waren [1].

## Igor Sikorsky

Das Konstruktionsprinzip von Hubschraubern der heute verbreitetsten Bauart mit zwei Rotoren – einem Haupt- und einem Heckrotor – geht auf den gebürtigen Ukrainer *Igor Sikorsky* (1889-1972) zurück, der nach der Oktoberrevolution 1919 in die USA emigrierte. Dort gründete er 1923 die *Sikorsky Aircraft Corp.*, einen bis heute führenden Hersteller von Hubschraubern. Am 14. September 1939 gelang Sikorsky der Erstflug mit seinem Heckrotor-Hubschrauber; mit dem weiter entwickelten Modell Vought-Sikorsky VS-300 stellte er am 6. Mai 1941 einen neuen Flugrekord von über 1,5 Stunden auf (Abb. 4).



Abb. 4: Igor Sikorsky in seinem VS-300 beim Rekordflug 1941 [1]

Die Endversion des VS-300 erhielt einen 55 kW-Motor, eine einfache Blechverkleidung und Kufen. Ein Foto dieses ersten Erfolgsmodells zierte am 21. Juni 1943 die Titelseite des traditionsreichen *LIFE Magazine* für Fotojournalismus (Abb. 5).

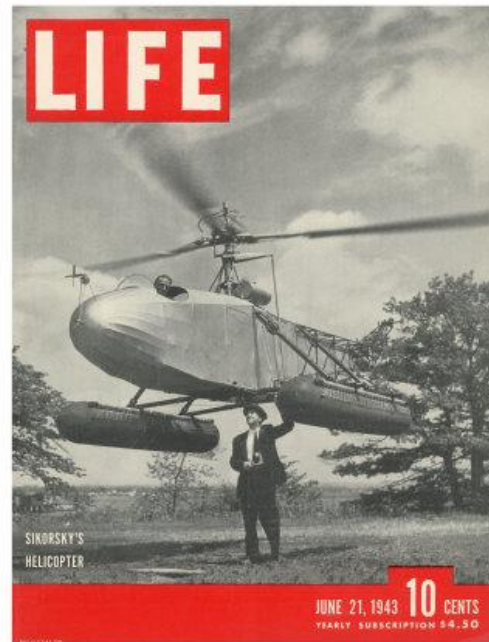


Abb. 5: Titelseite von LIFE von 21.06.1943

Igor Sikorskys Heckrotor-Konstruktion setzte sich erfolgreich gegen andere Konzepte wie die Verwendung von Doppelrotoren durch, die *Paul Cornu* (1881-1944) bei der Konstruktion seines „fliegenden Fahrrads“ verwendet hatte. Am 13. November 1907 hatte er damit den ersten anerkannten Drehflügler-Flug über 20 Sekunden absolviert.

Auch der erste einsetzbare Hubschrauber, das Modell FW 61 des deutschen Ingenieurs und Gründers der Focke-Wulf-Werke, *Heinrich Focke* (1890-1979), präsentiert 1937 in der Berliner Deutschlandhalle, verwendete zwei Hauptrotoren zum Ausgleich des Drehmoments – und stellte den erst von Sikorsky im Jahr 1941 gebrochenen Flugrekord von einer Stunde und 20 Minuten auf [1].

Sikorsky entwickelte nach Ende des zweiten Weltkriegs zahlreiche nicht nur in den USA sehr erfolgreiche Hubschraubermodele vor allem für die zivile Nutzung als Transport- und Rettungshubschrauber. Das *TIME Magazine* widmete Igor Sikorsky in der Ausgabe vom 16. November 1956 die Titelgeschichte (Abb. 6).

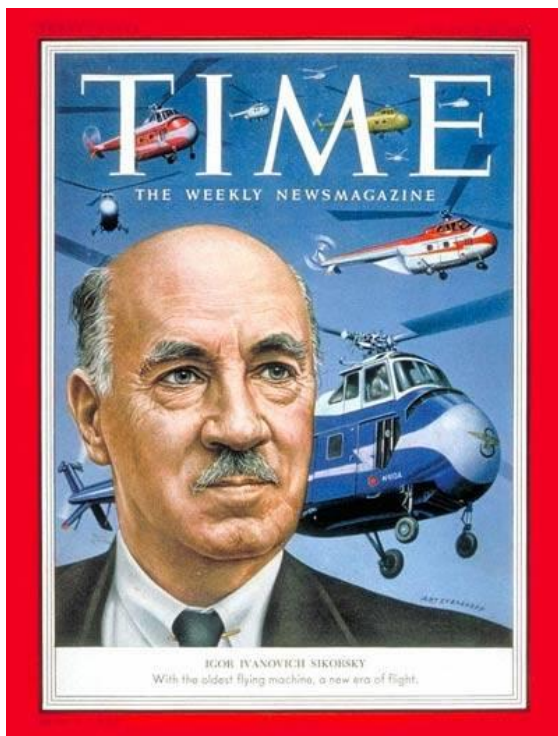


Abb. 6: Titelseite des TIME Magazine vom 16.11.1953

Für sein Lebenswerk als Pionier der Hubschraubertechnik wurde Igor Sikorsky im Jahr 1988 in den USA mit einer 36 ct Luftpost-Briefmarke geehrt (Abb. 7).

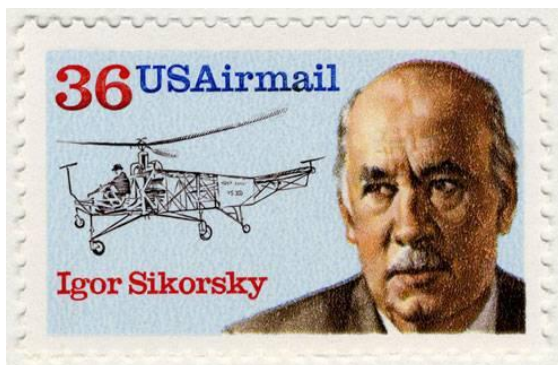


Abb. 7: 36 ct Briefmarke „Igor Sikorsky“ (National Postal Museum, Washington, D.C.)

So viel zur Geschichte des Hubschraubers. Wie aber funktioniert Sikorskys Hubschrauberkonstruktion in der Praxis? Das wird in den folgenden Abschnitten anhand eines fischertechnik-Funktionsmodells erläutert.

## Der Heckrotor

Zentrale Aufgabe des von Sikorsky entwickelten Heckrotors ist es, das Drehmoment des Hauptrotors auszugleichen, das sonst den Hubschrauber in entgegengesetzter Richtung um sich selbst rotieren lassen würde. Dazu wird der Heckrotor senkrecht montiert; der Anstellwinkel (die Neigung) der Rotorblätter sorgt für die richtige Gegenkraft. Durch Veränderung des Winkels richtet man den Hubschrauber in einer gewünschten Richtung aus.

Ein Funktionsmodell für einen Heckrotor findet sich in der Anleitung des fischertechnik-Baukastens *Technical Revolutions*.<sup>2</sup> Abb. 8 zeigt eine für den Heckrotor optimierte Konstruktion; sie ist stabiler und kommt mit weniger Bauteilen aus.

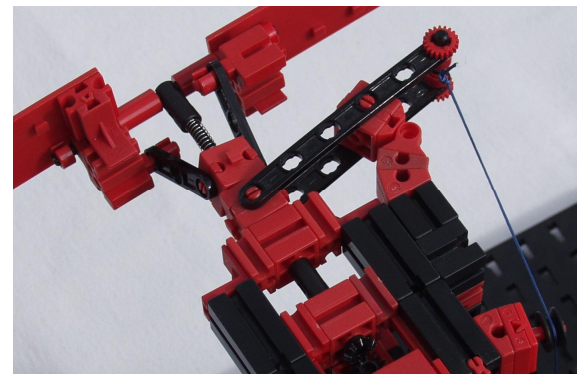


Abb. 8: Steuerung des Anstellwinkels der Heckrotorblätter (Pitch)

Mit dem Zugseil werden zwei Lochsteine auf der Rastachse verschoben. Der obere Lochstein ist über zwei I-Streben mit den Rotorblättern verbunden und dreht sich mit dem Rotor; wird er von dem unteren Lochstein angehoben, erhöht sich der Neigungswinkel der Rotorblätter. Die Rückstellung des oberen Lochsteins übernimmt eine Druckfeder 30 (35796).

Die Steuerung des Pitches wird dabei im Modell – wie in einem echten Hubschrauber-Cockpit – durch zwei Fußpedale vor-

<sup>2</sup> Auf der Ausstellung in Schoonhoven im November 2010 hatte Max Buiting [drei weitere Varianten](#) eines Funktionsmodells vorgestellt.



genommen, die mit einem Seilzug über Umlenkrollen mit dem Stellhebel verbunden sind (Abb. 9).

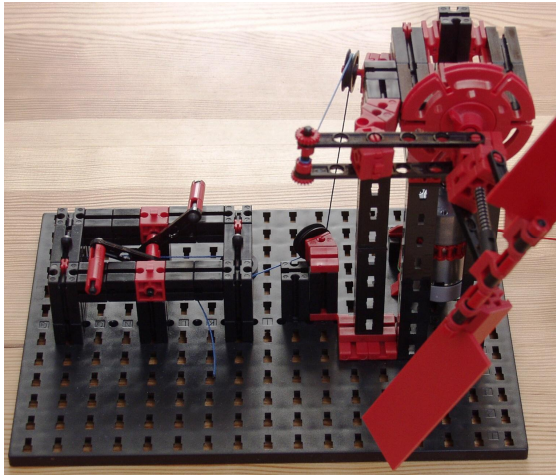


Abb. 9: Gesamtansicht des Heckrotor-Funktionsmodells

## Hauptrotor mit Taumelscheibe

Wie beim Heckrotor kann man auch beim Hauptrotor durch die gleichzeitige Änderung des Anstellwinkels der Rotorblätter („kollektive Blattneigung“) den Auftrieb und damit das Steigen bzw. Sinken des Hubschraubers steuern. Wie aber lässt sich ein Richtungsflug erreichen?

Das gelingt mit dem vom dänischen Uhrmacher [Jakob Christian Ellehammer](#) (1871-1946) entwickelten Prinzip der „zyklischen Blattverstellung“ [1]. Dabei wird die Neigung der Rotorblätter während der Drehung des Rotors in einem zyklischen Ablauf verändert. Das führt dazu, dass an der Stelle mit dem steilsten Anstellwinkel der Rotorblätter der Auftrieb am größten ist. Dadurch „kippt“ die Rotorebene und der Hubschrauber fliegt in die Richtung des kleinsten Anstellwinkels. Leider wurde der Hubschrauber-Prototyp, mit dem Ellehammer diesen Rotor am 18. September 1912 vorstellte, noch im gleichen Jahr bei einem Absturz vollständig zerstört.

Mit derselben zyklischen und kollektiven Blattneigung arbeitete auch der Hubschrauber-Prototyp des gebürtigen Argentiniens [Raúl Pateras Pescara](#) (1890-1966),

der mit zwei koaxialen Doppelrotoren und einem 180 PS starken Motor am 18. April 1924 einen Flugrekord über 4 Minuten und 11 Sekunden aufstellte.

Bis heute verwenden Hubschrauber eine zyklische Blattneigung für den Richtungsflug. Wie aber kann man die Blattneigung eines Rotorblatts während der Umdrehung des Rotors in einem festen Verlauf ändern?

Die Lösung ist die so genannte „Taumelscheibe“.<sup>3</sup> Sie ist beim Hauptrotor das, was die Lochsteine in unserem Funktionsmodell des Heckrotors sind: die Komponente, die über eine Verbindung mit den Rotorblättern deren Neigung verändert. Der wesentliche Unterschied zu den Lochsteinen besteht darin, dass die Taumelscheibe in alle Richtungen beweglich sein muss – auf immer derselben Höhe. Dazu darf sie nicht mit der Achse verbunden sein, sondern muss „lose“ um sie herum „taumeln“. Dennoch muss sie so stabil mit den Rotorblättern verbunden sein, dass sie auch bei hoher Umdrehungszahl nicht „nachläuft“ und dadurch die Neigungswinkel der Rotorblätter verändert.

Mit fischertechnik gelingt das, indem man eine Drehscheibe 60 ohne Nabe um die Rotorachse legt – und diese über I-Streben mit den Rotorblättern verbindet. Die Verwindungssteifigkeit erreicht man durch zwei – mit einem Verbindungsstopfen (32316) und einem Abstandsring (31597) stabil verbundene – auf Gelenkwürfeln gelagerte Kupplungsstücke (38260). Diese Konstruktion verwendet auch das genannte Funktionsmodell des fischertechnik-Baukastens *Technical Revolutions* (Abb. 10). Tatsächlich würde sogar eine einzige Verbindung über Kupplungsstücke die gewünschte Steifigkeit liefern, führt aber zu einer Unwucht im Rotorkopf.

<sup>3</sup> Es gibt auch Alternativen zur Taumelscheibe, z. B. die „Spinne“, siehe Harald Steinhaus' [Hinweis in der ft:c](#).

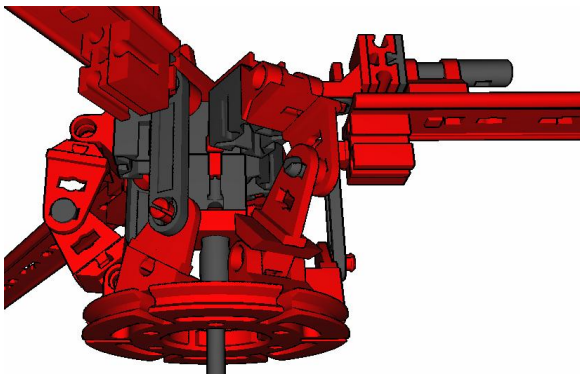


Abb. 10: Taumelscheibe mit Rotor-Verbindung und Kupplungsstücken

Zur Steuerung der Taumelscheibe benötigen wir einen nicht rotierenden zweiten Teil, über den – analog dem unteren Lochstein beim Heckrotor – die Neigung eingestellt wird. Bei einem Hubschrauberrotor sind diese beiden Teile über ein Lager drehbar miteinander verbunden. Wie gelingt das mit fischertechnik?

Von Harald Steinhaus stammt die [erste uns bekannte fischertechnik-Konstruktion](#) einer Taumelscheibe vom April 2003. In einer [deutlich stabileren Konstruktion](#) vom Januar 2007 (Abb. 11) verwendete er zur Verbindung von Ober- und Unterseite der Taumelscheibe außen angebrachte Führungsplatten (32455). Die Neigung der Taumelscheibe ließ sich über drei Rastachsen mit Schnecke (35977) einstellen.

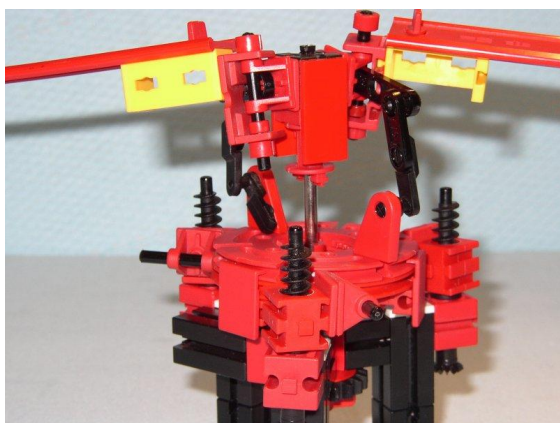


Abb. 11: Konstruktion von Harald Steinhaus

Nach zahlreichen Versuchen entschieden wir uns für die Verwendung von Seilrollen, die von außen in die umlaufenden Nuten der beiden Drehscheiben 60 greifen, da bei

dieser Lösung der Reibungswiderstand gering ausfällt. Dreht sich der Rotor, „gleiten“ die beiden Drehscheiben aufeinander.

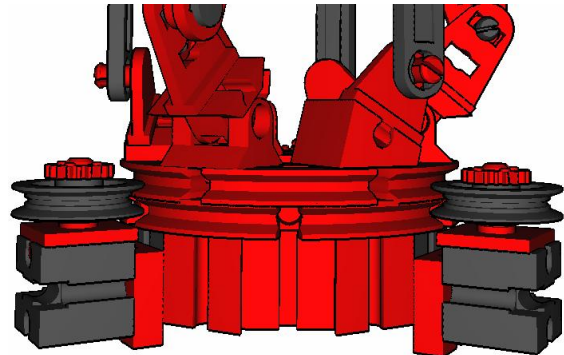


Abb. 12: Verbindung der Taumelscheibe durch außen angebrachte Seilrollen

Damit die Seilrollen nicht bei der Rotation nach außen weggedrückt werden, müssen sie stabil mit der Drehscheibe 60 verbunden werden (Abb. 13).

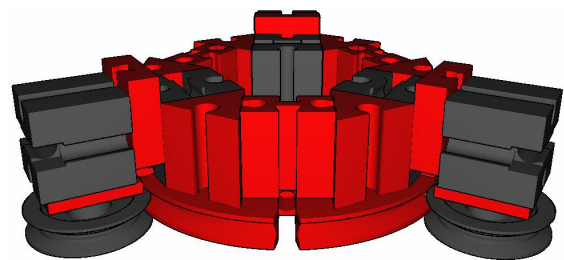


Abb. 13: Befestigung der Seilrollen

Der erste Prototyp verwendete wie Haralds Modell zunächst Rastachsen und Schnecken zur Verstellung des Neigungswinkels. Dann entwickelte Johann eine rein mechanische Lösung: Er befestigte die untere Drehscheibe 60 mit Lagerstücken (31772) und Gelenkwürfeln beweglich an drei Führungsstangen und montierte unter den drei Seilrollen jeweils einen Radhalter (35668) mit kleiner Seilrolle (38258). Damit lässt sich die Neigung der Taumelscheibe rein mechanisch und stufenlos in alle Richtungen über drei an den Seilrollen befestigte Seilzüge steuern (Abb. 14).

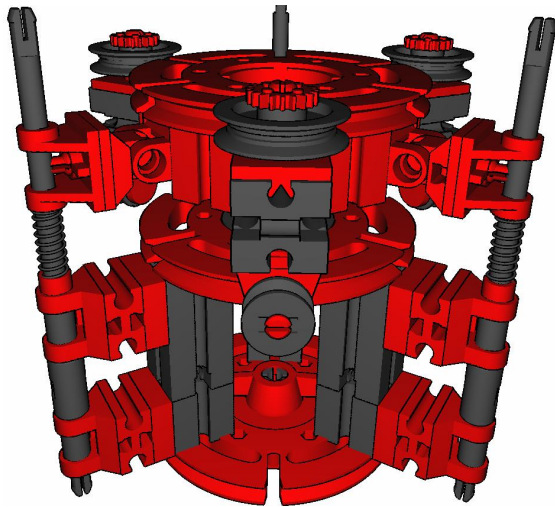


Abb. 14: Mechanische Neigungsverstellung

Die – wie beim ursprünglichen Sikorsky VS-300 – drei Rotorblätter des Hauptrotors werden über eine Sternlasche (31673) miteinander verbunden; als Rotorblätter bieten sich die 240 mm langen Laufschielen (36333) an. Damit erreicht der Modellrotor eine Spannweite von etwa einem halben Meter.



Abb. 15: Gesamtansicht des Rotorkopfes

Die Antriebsachse des Rotors wird über einen Rastadapter (36227) an einem B15 befestigt, der über zwei Federnocken mit den Nuten eines in der Mitte der Sternlasche eingesetzten Riegelsteins (32850) verbunden ist. Die Achse wird in der Mitte der beiden unteren, fest mit dem Hubschrauber verbundenen Drehscheiben 60 durch zwei schwarze Freilaufnaben (68535) geführt und von einem Power-Motor (1:20) angetrieben.

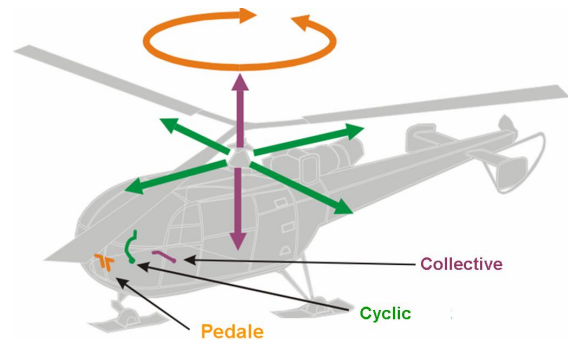


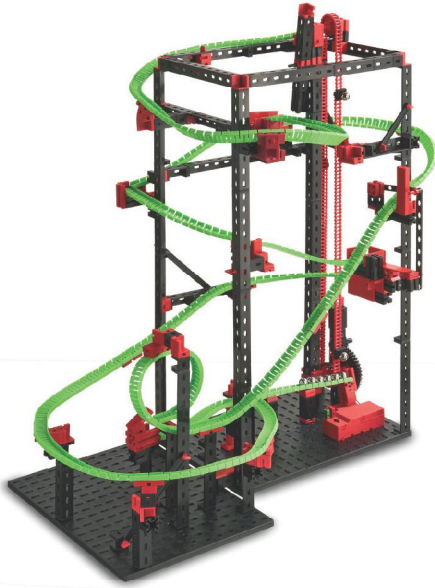
Abb. 16: Steuerhebel im Cockpit  
(nach [www.hubschrauber.li](http://www.hubschrauber.li))

Wie in einem echten Hubschrauber kann nun die Steuerung über einen in X- und Y-Richtung beweglichen Steuerknüppel (*Cyclic*) erfolgen. Durch Verkürzung aller drei Zugseile mit einem zweiten Hebel (*Collective*) zur gleichzeitigen Verstellung der Blattneigung aller drei Rotorblätter lassen sich Steig- und Sinkflug steuern.

## Literatur

Eine sehr anschauliche Einführung in die Technik und Geschichte des Hubschraubers bietet der 15minütige Film von Jörg Richter aus dem Jahr 2005 [2].

- [1] Sandhop, Dirk: *Geschichte des Hubschraubers*,  
<http://www.heliport.de/lexika/geschichte-des-hubschraubers/>.
- [2] Jörg Richter: *Igor Sikorsky und der Hubschrauber*. Sendereihe ‚Meilensteine der Naturwissenschaft und Technik‘, ARD 2005.  
<http://www.youtube.com/watch?v=dgWi2YBi9Vc>



Firestorm Achterbahn (7 x 2,50m) auf der ft-Modellausstellung 2010

**fischertechnik** 

**Baukästen und Einzelteile vom autorisierten  
Service-Partner mit über 20 Jahren Erfahrung!**

Wenn es um fischertechnik Baukästen und Einzelteile geht

**[www.knobloch-gmbh.de](http://www.knobloch-gmbh.de)**

Knobloch Electronic- Produktions- und Vertriebsgesellschaft mbH  
Weedgasse 14 • D 55234 Erbes-Büdesheim  
Tel: 06731 / 49620 • Fax: 06731 / 496219  
E-Mail: [vertrieb@knobloch-gmbh.de](mailto:vertrieb@knobloch-gmbh.de)