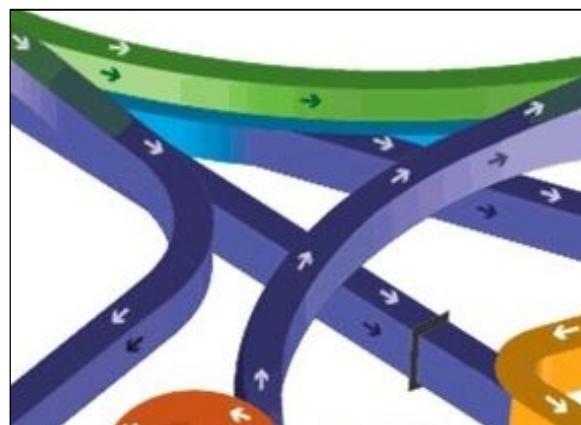
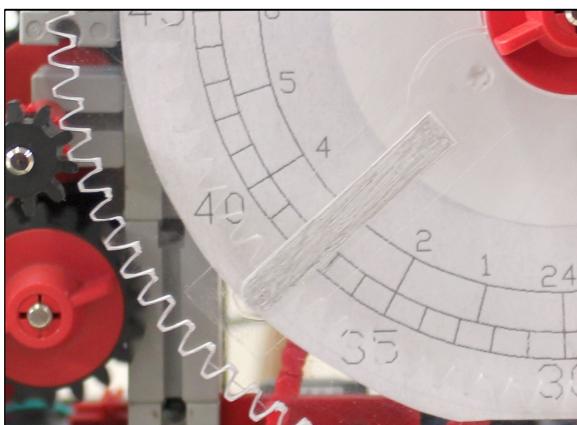
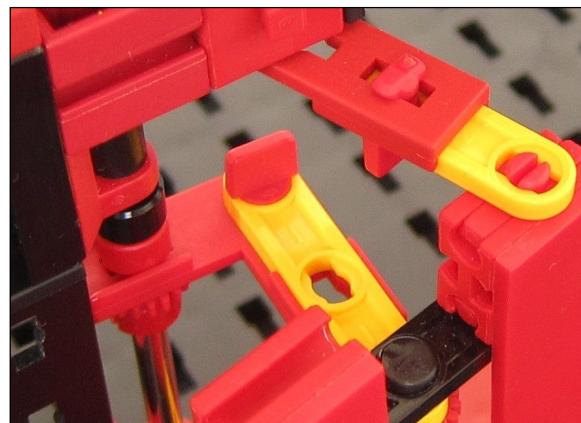
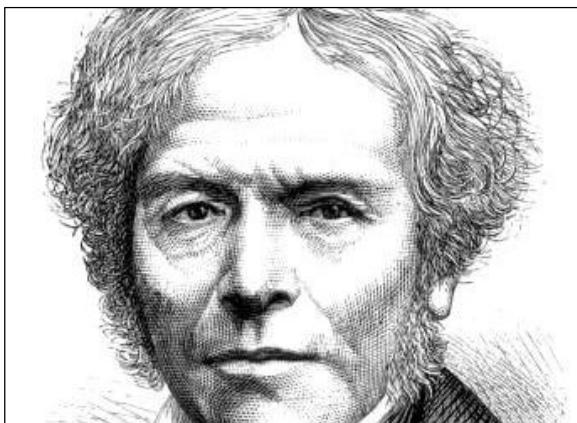
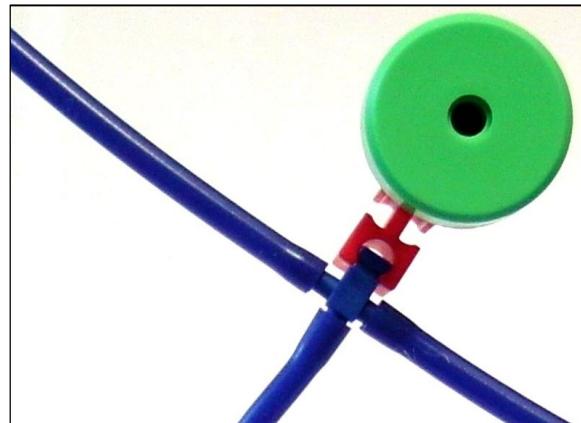


# ft:pedia

Heft 3/2017



Herausgegeben von  
Dirk Fox und Stefan Falk

ISSN 2192-5879

## Editorial

## Dark Age

In der Zeit zwischen dem Untergang des weströmischen Reiches (ca. 480 n.Chr.) und der aufkeimenden Renaissance (Mitte des 15. Jahrhunderts) liegt das Dark Age. In dieser Zeit verfielen in Westeuropa viele zivilisatorische Errungenschaften, wie z. B. die gepflasterten römischen Straßen, sodass man Wagen wieder durch Pferde ersetzte. Mit der Christianisierung und der Verfolgung von Häretikern gingen große Teile der antiken Erkenntnisse und Werke verloren, wurden Opfer von Flammen oder in Klosterbibliotheken dem allgemeinen Zugriff entzogen. Aus dieser Zeit gibt es sehr wenige überlieferte Bücher; das intellektuelle Leben beschränkte sich fast ausschließlich auf Klöster und einige (weltliche und kirchliche) Herrschaftshäuser, während das gleiche Volk darbte. Der Stillstand dieser fast 1.000 Jahre hat sogar zu Spekulationen geführt, ein Teil dieser Zeit sei ein [Chronologiefehler](#) und habe nie stattgefunden.

Erst mit der Wiederentdeckung der Antike in der Renaissance des 15. Jahrhunderts u.a. durch Leonardo da Vinci, der Entwicklung prosperierender Städte und der Erfindung des Buchdrucks durch Johannes Gutenberg um 1450 erwachte Europa aus dieser dunklen Zeit.

Solche Dark Ages kann es auch in einem Menschenleben geben – eine Zeit, in der man vergisst, was einen als Kind begeistert und gefesselt hat. Lego-Fans nennen diese Phase „Lego Dark Age“. Und auch fischertechniker kennen diesen tristen Talent-Halbschlaf, den Martin Neumann am 15. Januar 2015 so treffend in seinem Blog-Beitrag [Tagebuch eines Erfinders](#) beschrieben

**Dirk Fox, Stefan Falk**

hat. Wer die grauen Klötzen in seiner Kindheit besaß, erinnert sich vielleicht: an die (für die Mutter völlig überraschende) urplötzlich aufflammende Begeisterung für gemeinsame Einkäufe (allerdings nur in dem Kaufhaus, in dem es fischertechnik gab), das magnetische Ziehen, das der neue Statik 200, der em1 oder die Silberlinge des ec2 im Regal auslösten, der Griff in die ausliegenden kostenlosen Demomodell-Bauanleitungen (auf der Suche nach einer, die noch nicht zu Hause nachgebaut worden war), das fiebrige Zählen der dank einer Geldzuwendung der Oma aufgewerteten Taschengeldersparnisse, um zu sehen, ob es schon für einen neuen Kasten reicht...

Einigen der zahlreichen Besucher unserer diesjährigen Conventions und Maker-Faire-Präsenzen konnte man ein derartiges Flash-back-Erlebnis vom Gesicht ablesen. „Ich muss wohl mal die Kisten vom Speicher holen...“. Schade, dass wir nicht dabei sein können, wenn diese Wiedererweckten das beglückende Gefühl durchströmt, das sich unvermeidlich einstellen wird, wenn das Lieblingsmodell ihrer Kindheit in frischem Glanz vor ihnen steht.

Aber auch hunderte Kinderherzen konnten wir in Neumünster, Hannover, Bensheim und Dreieich für fischertechnik begeistern. Ihnen drücken wir fest die Daumen, dass ihnen ein solches Dark Age erspart bleibt.

Beste Grüße,  
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

Dark Age .....	2
Mini-Modelle (Teil 17): Der Biegemann oder Schwanenhals.....	4
Kugelrund und bunt.....	5
Fotografieren von Modellen (2): Die Technik .....	7
Ersatz für die Elektromagnete.....	19
Schwenktüren .....	23
Teilchenbeschleuniger .....	34
Power-Synchronmotor .....	42
Von Faraday zum Boost-Converter.....	46
Der alte fischertechnik-Plotter mit neuen Treibern .....	53
V. I. P. – Ein I <sup>2</sup> C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 2) .....	57

## Termine

Was?	Wann?	Wo?
Clubdag Schoonhoven	28.10.2017	<a href="#">Schoonhoven</a> , NL
fischertechnik- Modellschau	19.11.2017	<a href="#">Kardinal-von-Galen Gymnasium</a> , Münster

## Impressum

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

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

**Autoren:** Paul Bataille, Gerhard Birkenstock, Stefan Busch, Stefan Falk, Dirk Fox, Helmut Jawtusch, Stefan Krause, Thomas Püttmann, Rüdiger Riedel, René Trapp.

**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.

Modell

## Mini-Modelle (Teil 17): Der Biegemann oder Schwanenhals

Rüdiger Riedel

*Manchmal ist fischertechnik einfach viel zu steif! Da wünscht man sich was Biegbares, Flexibles: den Biegemann.*

Er besteht aus zwei Pneumatik-T-Stücken [31642](#), einem Stück Pneumatik-Schlauch und einem gleichlangen Stück Verpackungsdrat (Draht mit runder Kunststoffumhüllung) oder Kupferdraht aus einem Stück Kabel wie in der häuslichen Lichtinstallation.



Abb. 1: Die flexible Lampe



Abb. 2: Die Einzelteile

Der Schlauch wird über den Draht geschoben, dann wird dieser in die mittleren Löcher der T-Stücke gesteckt und der Schlauch an beiden Seiten über die Düsen gezogen – fertig ist der Schwanenhals. Über einen Baustein 7,5 kann der Leuchtstein daran befestigt werden.

Mit etwas Phantasie geht auch der ganz persönliche Biegemann:



Abb. 3: Der Biegemann

Viel Spaß!

Tipps &amp; Tricks

## Kugelrund und bunt

Thomas Püttmann

*Vielfalt statt Uniformität: Bunte Stahlkugeln bereichern die Welt der Kugelbahnen.*

### Das Problem

Im aktuellen fischertechnik-Sortiment gibt es nur blanke Edelstahlkugeln – Glasmurmeln dagegen gibt es in allen möglichen Farben (Abb. 1). Für die Flexschienen sind Glasmurmeln allerdings zu leicht. Außerdem nutzen viele Fördermechanismen Magneten. Da stellt sich die Frage, ob und wie man Stahlkugeln einfärben kann.



Abb. 1: Bunte Glasmurmeln

### Die Lösung

Lacke haften und decken auf Edelstahl nicht gut; außerdem verschlechtern sie die Laufeigenschaften der Kugeln. Wir stellen hier zwei Alternativen vor, bei denen die Kugeln ihre guten Laufeigenschaften und ihr glänzendes Erscheinungsbild voll und ganz behalten.

Auf ganz ungefährliche Weise lässt sich ein glänzend grauer Farbton erzeugen, indem man Kugeln aus Wälzgerüststahl 1.3505 in einer Tasse frisch aufgebrühten starken Kaffees mehrere Stunden „ziehen“ lässt (Abb. 2). Die passenden 1/2-Zoll-Kugeln kann man zum Beispiel bei [Kugel-Winnie](#) bestellen. Dort kosten 40 Stück 6,30 Euro.



Abb. 2: Eine Kaffeekugel neben der normalen fischertechnik-Edelstahlkugel.

Ob man den Kaffee anschließend noch trinken kann, weiß ich nicht. Kalt dürfte er den meisten Menschen allerdings ohnehin nicht mehr schmecken... Aber selbst dann ist die Investition begrenzt.

Farbige Kugeln lassen sich herstellen, indem man den Stahl anlässt, d. h. erhitzt. Dabei sollte man sich unbedingt auf die Aufsicht und die detaillierte Anleitung eines Fachmanns verlassen, der die notwendigen Sicherheitsvorkehrungen kennt. Chemielehrer erweisen sich oft als hilfsbereit. Kinder sollten das Anlassen auf keinen Fall unbeaufsichtigt ausprobieren!



Abb. 3: Farbig angelassene Kugeln.

Die Kugeln in Abbildung 3 sind Kugeln aus Wälzlagerstahl 1.3505, die ich mit einem Gaslötkolben auf einer nicht brennbaren Unterlage vorsichtig unter ständigem Richtungswechsel erhitzt habe. Im Bereich zwischen 200°C und 400°C verändert sich die Farbe. Zuerst werden verschiedene Gelb-/Goldtöne durchlaufen, dann verschiedene Blautöne, bis die Kugel zuletzt grau wird. Sobald die gewünschte Farbe erreicht ist, breche ich das Erwärmen ab und kühle durch Luftzufuhr. Die Kugeln und die Unterlage sind trotzdem noch viele Minuten so heiß, dass sie schwere Verbrennungen verursachen können!



Abb. 4: Zweifarbige Kugel

Einige Kugeln habe ich gezielt nur aus einer Richtung erhitzt und den Vorgang abgebrochen, sobald die erhitzte Hälfte blau

wurde. Die andere Hälfte blieb dann goldfarben (siehe Abb. 4).

Die zweifarbigen Kugeln sehen zwar bei weitem nicht so schön aus wie Glasmurmeln mit Schlieren, man kann aber damit sehr gut das Rollverhalten der Metallkugeln in den Flexschienen sichtbar machen.

Sehr gut funktioniert das farbige Anlassen auch mit Kugeln aus ungehärtetem Kohlenstoffstahl AISI 1008, die man zum Beispiel bei [kugel-rollen.de](http://kugel-rollen.de) bekommt. Dort kosten 100 Stück Schleudermunition Kaliber 12.7 gerade einmal 4,25 Euro.

Kugeln aus Wälzlagerstahl oder Kohlenstoffstahl sind natürlich nicht korrosionsbeständig. Meine grauen und farbigen Kugeln zeigen zwar nach mehreren Wochen Betrieb noch keine Anzeichen von Korrosion. Allerdings waren sie auch keiner Feuchtigkeit ausgesetzt. Einige Kugeln habe ich mit Rapsöl benetzt, das ich dann gleich wieder abgewischt habe. Dabei sollte ein kleiner Rest in den Oberflächenstrukturen haften bleiben und einen geringen Korrosionsschutz bieten.

An den farbigen Kugeln kann man sich einfach nur freuen oder sie für neue Modellideen nutzen – zum Beispiel Bahnen, in denen die Kugeln je nach Farbe verschiedene Wege nehmen.

Tipps &amp; Tricks

## Fotografieren von Modellen (2): Die Technik

Paul Bataille

*Ein Bild sagt mehr als tausend Worte: Hast du je versucht, eine komplizierte mechanische Konstruktion, die du mit fischertechnik gebaut hast, zu beschreiben? Dann weißt du, was ich meine... Fotografieren ist Schreiben mit Licht. Dabei ist das Licht das Wichtigste; vor allem darauf muss man achten. Da es kaum noch schlechte Kameras gibt, kann man mit wenigen Kenntnissen über die Eigenschaften des Lichts, von Objektiven, der Kamera-Technik und der Nachbearbeitung ohne viel Aufwand und ohne Profi-Apparat gute Ergebnisse erzielen, die einen starken Eindruck hinterlassen.*

### Setting und Hintergrund

#### Keine Ablenkung

Wo fotografiert man und in welcher Umgebung? Um die Aufmerksamkeit der Betrachter auf das Modell zu richten, kann man versuchen, nichts anderes ins Bild zu bekommen als allein das Modell. In der ft:pedia 1/2016 [1] hat Thomas Püttmann gezeigt, dass das sehr einfach mit einer Rolle weißen Papiers als Hintergrund gelingt.



Abb. 1: Weißes Papier als Hintergrund

Für kleinere Modelle reicht schon ein einziges Blatt Papier von etwa 50 x 80 cm Größe. Wenn man keine Horizontlinie im Bild will, stellt man das Blatt gebogen gegen die Wand oder eine Rückenlehne. Wenn nötig verhindert man mit einem Stückchen Klebeband, dass es abrutscht (Abb. 1).

Übrigens ist eine Horizontlinie zwischen Blatt und Wand nicht wirklich ein Problem, vor allem, wenn die Wand ebenfalls weiß ist.



Abb. 2: Foto ohne und mit „Horizontlinie“; die Wand ist nicht ganz weiß

Natürlich kann man auch andere neutrale Hintergründe nutzen. Eine Couch aus weißem Leder ist prima, auch ein Tisch mit einer Tischdecke oder einer hellen Tischplatte, bevorzugt vor einer weißen Wand, ist hervorragend. Oder man verwendet ein ausgemustertes Bettlaken oder etwas Ähnliches.

Wer es richtig spannend machen will, kann das Modell in einer passenden Umgebung zeigen. Das heißt zum Beispiel: Ein Bulldozer im Sand, ein Kran oder ein Lastwagen auf einem simulierten Bauplatz, wie auf einigen Verpackungen von fischertechnik.

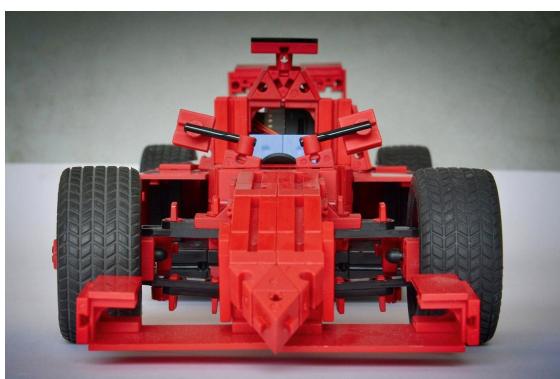


*Abb. 3: Flugzeug vor dramatischem Hintergrund*

Das fordert einen schon ein wenig. Wenn man den Aufwand treiben will, sollte man dafür sorgen, dass die Illusion nicht gestört wird, zum Beispiel durch etwas Irrelevantes im Bild (Abb. 3).

### **Platzierung**

Es ist bequemer, wenn das Modell nicht auf dem Boden steht, sondern z. B. auf einem Tisch. So kann man einfacher Bilder erstellen, die direkt von vorn oder sogar ein wenig von unten aufgenommen sind. Damit kann man gewisse Details besser zeigen oder spannende Perspektiven erfinden.



*Abb. 4: Frontalansicht mit in der Nachbearbeitung verdunkelten Rändern (Vignettierung)*

Manchmal sehen insbesondere isolierte Bauteile von oben besser aus. Daher habe

ich immer einen Hocker oder eine Klappleiter zur Hand.

### **Große Modelle**

Große Modelle könnten eine Herausforderung sein. Nicht jeder hat zu Hause ein Hintergrund-Gestell mit einer breiten Rolle weißen Papiers. Also macht man, was man kann. Meine Kräne habe ich zum Beispiel im Wohnzimmer fotografiert, vor einer weißen Wand. Ich habe sogar eines meiner Studio-Blitzgeräte dorthin mitgenommen. Natürlich kommt dann auch der Fußboden ins Bild – der ist bei uns glücklicherweise ziemlich neutral.

Wenn möglich sollte etwas Raum zwischen Modell und Hintergrund liegen – einige Meter sind super. Bei uns gibt es den Raum im Wohnzimmer leider nicht, daher sieht man den Schatten des Krans auf der Wand (Abb. 5).



*Abb. 5: Kran im Wohnzimmer mit Studio-Blitz*

Auch im Garten geht es. Dafür sollte man versuchen, einen mehr oder weniger ebenen Hintergrund zu finden, zum Beispiel etwas

ganz grünes wie eine Hecke oder einen hell gestrichenen Zaun. Wenn das nicht geht sollte man versuchen, den Hintergrund möglichst unscharf zu bekommen. Dafür benötigt man vor allem wieder viel Abstand zwischen Modell und Hintergrund.



Abb. 6: Foto im Garten: Unschärfe (links)  
bzw. Wiese als einheitlicher Hintergrund

Die schönsten Ergebnisse erhält man bei bedecktem Himmel oder im Schatten. Weil man das Gesamtbild eines großen Modells immer aus einem größeren Abstand erstellen muss, ist die Schärfentiefe des Modells selbst meistens kein Problem (später mehr zu den technischen Details).

## Kamera, Objektiv, Brennweite und Zoom

### Tele und Makro

In der Regel sehen Modelle bei einer Brennweite ab etwa 70 mm im [35-Millimeter-Äquivalent](#), dem Maßstab von Film- und Full-Frame-Digitalkameras, ganz natürlich aus. Ein Weitwinkel-Objektiv benötigt man nur, wenn man spezielle Effekte erzielen will.



Abb. 7: Weitwinkel-Effekt

Mit meiner *Digital Single Lens Reflex* (DSLR) Kamera verwende ich meistens eine Brennweite von etwa 135 mm im 35-Millimeter-Äquivalent, das entspricht in meinem Fall, einer Nikon DX mit kleinem Sensor, 85 mm. Für Detailaufnahmen muss man näher an das Modell herangehen; dafür verwende ich ein fantastisches 105-mm-Makro-Objektiv oder auch ein 24-85-mm-Zoom-Objektiv, das das kann. Und weil ich beim Fotografieren des ganzen Modells in meinem Zimmer nicht immer weit genug entfernt stehen kann, um das Modell bei einer festen Brennweite von 105 mm ganz ins Bild zu bekommen, verwende ich normalerweise das Zoom-Objektiv. Damit zoomt ich dann immer maximal heran, so nahe an 85 mm wie möglich.

Die Lichtstärke ist nicht besonders relevant. Man sollte mit möglichst kleiner Blende (also einer großen Blendenzahl) arbeiten, damit die Schärfentiefe ausreicht (siehe unten).

### Kompaktkamera

Mit einer Kompaktkamera sollte man lieber ein wenig heranzoomen. Wenn man näher an das Objekt heran muss, verwendet man die Makro-Option. Dabei muss man aufpassen, dass man nicht so nah an das Modell heran geht, dass die Kamera nicht mehr fokussieren kann.

Muss man nicht nahe an das Modell heran, dann liefert die automatische Einstellung ohne Blitz meistens gute Ergebnisse. Falls die Bilder zu hell oder zu dunkel ausfallen, kann man eine Belichtungskompensation vornehmen. Meistens hat die Kamera dafür eine +/-Taste, oder die Einstellung erfolgt im Menu.

Macht man eine ganze Fotoserie mit gleich bleibenden Lichtverhältnissen, dann kann man auch die manuelle Einstellung wählen, ausprobieren, und wenn das Ergebnis gut ist, muss man danach nichts mehr ändern. Eine gute Idee, die auch Thomas Püttmann in seinem Beitrag vorgeschlagen hat [1].

## Licht

In der Kunstfotografie werden manchmal Bilder mit hellem Licht und dunklen Schatten erstellt. Das gibt Kontrast, und damit Drama. Bei der Fotografie von fischertechnik-Modellen will man hingegen vor allem Deutlichkeit. Deutliche Bilder, freundlich für die Augen, mit wenig Schatten. Das heißt eigentlich immer, dass gefiltertes oder indirektes Licht verwendet werden sollte.

Das braucht nicht kompliziert zu sein. Fast jede Lampe im Haus hat schon die eine oder andere Art von Reflektor um sich herum; nackte Birnen gibt es kaum.

## Tageslicht

Wie Thomas schon schrieb: Die Sonne ist eine gute Lichtquelle. Aber direktes Sonnenlicht ist es meistens nicht, weil es harte, dunkle Schatten verursacht. Insbesondere, wenn man schwarze Bausteine verwendet hat, aber nicht nur dann, sieht man in den dunklen Bereichen nicht, was man sehen soll. Auch wird durch den Schatten der Kontrastbereich der Bilder zu stark erhöht.

Man muss mit geringer Belichtung arbeiten, damit die helleren Bereiche nicht überbelichtet werden; aber tut man das, dann werden die dunklen Bereiche schnell zu dunkel (Abb. 8).



*Abb. 8: Direktes Sonnenlicht (dunkle Schatten)*

## Außen

Aber indirektes Sonnenlicht ist ausgezeichnet. Dafür gibt es die folgenden Möglichkeiten:

- Wenn die Sonne scheint, sollte man im Schatten fotografieren und dabei darauf achten, aus welcher Richtung das reflektierte Licht vor allem kommt – und das Modell günstig platzieren (Abb. 9).



*Abb. 9: Foto im Schatten*

- Fotografieren bei bedecktem Himmel ist sogar noch besser: Man erhält sanftes, gefiltertes Licht mit nur wenigen, schwachen Schatten in einer Richtung.

Das ist perfekt, ideal, sieht fast immer sehr gut aus (übrigens auch bei Porträts). Leider hat man das Wetter nicht selbst in der Hand.

- Das Sonnenlicht selbst mit einem halbdurchlässigen Schirm filtern (wie bei der Model-Fotografie).

Vielleicht hast du eine Terrasse mit einem Dach aus Milchglas oder etwas Ähnlichem?

Das kann helfen. Wenn nicht, kann das aber schnell zu kompliziert werden.

- „Einblitzen“, das heißt, den Blitz verwenden, um dunkle Schatten zu kompensieren (Abb. 10).



Abb. 10: Schattenaufhellung mit Blitz

Das hilft schon, ist aber (noch) nicht ideal.

### Innen

Vielleicht am zuverlässigsten ist es, innen zu fotografieren, an einer Stelle, an der viel indirektes Sonnenlicht einfällt, z. B. nahe einem großen Fenster, durch das die Sonne gerade nicht direkt hereinscheint (Abb. 11).



Abb. 11: Indirektes Sonnenlicht, links ein Papierbogen als Reflektionsschirm

Das ist auch der Grund, warum ein Fotostudio immer große Fenster an der Nordseite haben sollte, wenn nicht geblitzt wird. Falls Boden und Hintergrund um das Modell auch noch weiß sind, bekommt man zusätzliche Reflexionen, die mehr Licht liefern und die Schatten, die noch da sind, zusätzlich aufhellen.

Obwohl diese Option sehr bequem ist, ist manchmal innen nicht genug Licht vorhanden, um Bilder mit ausreichender Schärfentiefe zu erhalten. Aber es gibt einfache Lösungen dafür. Behandeln wir das erstmal, bevor wir zum Kunstlicht übergehen.

### Schärfentiefe mit kleiner Blende

Man wünscht sich, dass das Bild eines Modells von vorne bis hinten scharf ist. Wie Thomas [1] schon erklärt hat, haben Kompaktkameras und Smartphones einen kleinen Sensor. Das Gute daran ist, dass die Schärfentiefe immer groß ist. Das heißt, dass das Bild eines Modells gewöhnlich über die gesamte Tiefe des Objekts scharf abgebildet wird.

Je teurer die Kamera, desto größer der Sensor – und desto geringer die Schärfentiefe. Das mag merkwürdig erscheinen, aber das ist es nicht. Wenn man von einem mit einem großen Sensor geschossenen Bild nur ein kleines Mittelteil (das einem kleineren Sensor entspricht) ausschneiden würde, erhielte man auch ein Bild mit großer Schärfentiefe. Ich selbst verwende für fischertechnik meistens meine DX-DSLR mit einer Sensor-Oberfläche von etwa 45% des *Full Frame*.

Die Schärfentiefe wird auch in dem Maße reduziert, in dem man

- eine größere Brennweite verwendet oder
- das Objekt aus der Nähe fotografiert.

Wie schon gesagt sieht ein mit ein bisschen Tele-Brennweite fotografiertes Modell meistens besser aus. Für Detailaufnahmen müssen wir nahe an das Modell heran. Dabei kommt die Schärfentiefe doppelt ins Gedränge – und es kann leicht zu eng werden (Abb. 12).



Abb. 12: Blende F4.5 (oben), vergrößerter Bildausschnitt (Mitte) und Blende F13 (unten)

Um die Schärfentiefe zu erweitern, verwendet man im Objektiv eine kleinere Blende, also einen größeren F-Wert (Blendenzahl). Das Licht kann dann aus weniger Richtungen auf den Sensor fallen und das Bild wird über einen größeren Bereich scharf. Aber mit einer kleineren Blende gelangt weniger Licht bis zum Sensor. Also müssen wir auf irgendeine Weise mehr Licht auf den Sensor fallen lassen. Das können wir auf drei Arten erreichen:

- eine zusätzliche Lichtquelle einsetzen  
Man verwendet dafür Lampen oder einen Blitz (dazu später mehr).
- die Verschlusszeit verlängern

In diesen Fall muss man beachten, dass die Bilder unscharf werden können, wenn die Kamera während der Belichtung bewegt wird. Daher sollte man ein Stativ verwenden. Damit arbeitet man langsamer, weil es mehr Zeit kostet, für jedes Bild die Perspektive zu ändern.

- die Lichtsensitivität (ISO) des Sensors erhöhen

Obwohl ein geringer ISO-Wert zu bevorzugen ist, liefern moderne Kameras sogar bei ISO-Werten von 1600 bis 3200 noch gut verwendbare Bilder, obwohl sie schon etwas Rauschen zeigen (Abb. 13).



Abb. 13: Tageslicht-Aufnahme mit ISO 3200

Je kleiner der Sensor, desto größer das Bildrauschen. Aber ein ISO-Wert von 1600 bis 3200 sollte schon ausreichen.

Das wichtigste Ergebnis aber ist, dass jeder bei Tageslicht zu Hause ohne viel Aufwand gute Bilder erstellen kann. Nur bei wenig Licht benötigt man ein Stativ oder eine Kamera, die bei hohen ISO-Werten noch gute Bilder macht (und das können heutzutage fast alle Kameras).

Auf meiner DSLR wähle ich meist eine Blendenzahl von F13 oder in der Nähe davon, um eine ausreichende Schärfentiefe zu erhalten. Bei Digitalkameras muss man mit kleineren Blenden wie F22 aufpassen: Zwar wird die Schärfentiefe dann noch größer, aber die Schärfe selbst geht ziemlich drastisch zurück (wegen eines optischen Phänomens, das Diffraktion oder Beugung genannt wird).

## Kunstlicht

Ein Nachteil der Fotografie bei Tageslicht ist natürlich, das man am Tag arbeiten muss. Auch hat man keine vollständige Kontrolle über die Lichtmenge. Das ist meist kein großes Problem, da die Kamera sich im Auto- oder P-Modus automatisch darauf einstellt. Will man die totale Kontrolle, dann muss man Kunstlicht als Haupt- oder Hilfslicht verwenden. Das muss man auch, wenn einfach nicht genug Licht vorhanden ist.

Für Kunstlicht gilt dasselbe wie für Sonnenlicht: Eine nackte Lampe hat den Effekt von Punktlicht und erzeugt daher harte, dunkle Schatten. Das Licht muss gefiltert oder reflektiert werden, um schöne Bilder zu erhalten. Wie schon gesagt haben viele Lampen bereits einen Reflektor. Filtern und Reflektieren sind übrigens im Wesentlichen dasselbe: Das Licht wird in verschiedene Richtungen abgelenkt, sodass es von verschiedenen Seiten auf das Objekt fällt und keine harten Schatten entstehen. Die Richtung des Lichts bestimmt, wohin die Schatten fallen, daher sollte man auch darauf achten.

### **Blitz: ja, aber ...**

Das Einfachste wird wohl Blitzlicht sein. Es ist so stark, dass eine kürzere Verschlusszeit verwendet werden kann, sodass man die Kamera frei in der Hand halten kann, ohne wegen der Kamerabewegung während der Belichtung unscharfe Bilder zu bekommen. Man braucht dafür also kein Stativ. Es gibt verschiedene Formen von Blitzen:

- den Blitz einer Kompaktkamera

Wenn man den Blitz als Hauptlichtquelle verwendet, muss man aufpassen: Er ist so nah an der Linse, dass das Licht immer nur direkt von vorne kommt und oft nicht das ganze Bildfeld abdeckt, vor allem, wenn man aus der Nähe blitzt. Aber als zusätzliches Licht kann es hilfreich sein, wenn nicht ausreichend natürliches Licht vorhanden ist (Abb. 14).



Abb. 14: Frontaler Blitz (Kompaktkamera)

- eingebauter Blitz in einer größeren Kamera

Schon besser, aber es gelten dieselben Einschränkungen.

- aufgesetztes Blitzgerät

Wieder etwas besser, und sogar ausgezeichnet, wenn man es als Hilfslicht verwendet und dazu indirekt blitzt. Man kann z. B. den Blitzkopf um etwa 45° nach oben neigen und das Blitzlicht von der Decke reflektieren lassen. Mit einer Kappe (einem so genannten Omni-Bounce Diffuser) wird es noch besser (Abb. 15).



Abb. 15: Indirekter Blitz mit Diffuser

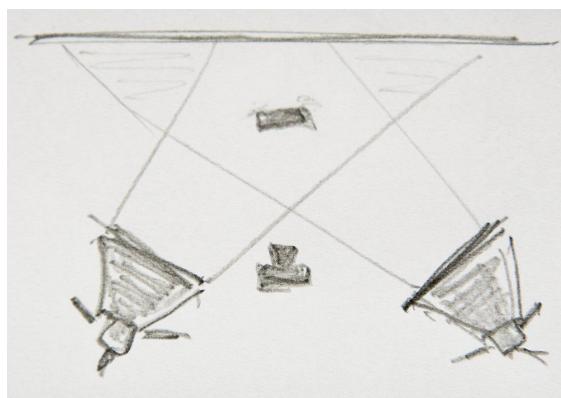
Als Hauptlicht geht es auch, dann muss man aber unbedingt indirekt Blitzen. Um die Einfallsrichtungen des Lichts besser in der Hand zu haben, kann man den Blitz eventuell unabhängig von der Kamera platzieren. Manche Kamera-Blitz-Kombinationen können das sogar kabellos. Auch kann man

Hilfsmittel verwenden, die das Licht sanfter machen, indem sie die Lichtquellenoberfläche vergrößern: einen Reflektor, einen Schirm (eine Art „Regenschirm“) oder eine Softbox, so wie das auch ein Studio-Blitzgerät macht.

Zwei Blitzgeräte in der Aufstellung, die Thomas schon vorgestellt hat, sind ganz ausgezeichnet: beide in einem Winkel von ungefähr  $45^\circ$  zum Objekt (und damit im  $90^\circ$ -Winkel zueinander) und etwas von oben auf das Modell gerichtet. Man braucht dann kein anderes Licht mehr.

- Studio-Blitzgeräte

Die zuletzt genannte ist auch die Aufstellung, die ich selber mit meinen Studio-Blitzgeräten verwende. So füllt der eine Blitz den Schatten des anderen und umgekehrt (Abb. 16).



*Abb. 16: Studio-Aufbau*

Ich verwende zwei 400 Watt/Sekunde-Blitzgeräte mit Softboxen von 50 x 50 cm (Abb. 17). Die stehen ein paar Meter vom Objekt entfernt. Es dürfen sicherlich auch Blitzgeräte mit geringerer Leistung und kleinere Softboxen oder Schirme sein, aber diese habe ich nun einmal.

Im Blitzgerät eingebaute Modellierlampen zeigen mir, wie das Resultat sein wird. Ein kabelloser Blitz-Trigger ist mit der Kamera verbunden. Er funktioniert manuell mit ISO 100, Verschlusszeit 1/125 Sekunde (kürzere Zeiten sind mit dem Trigger nicht möglich) und Blendenzahl F13.



*Abb. 17: Studio-Blitzgeräte mit Softbox und Diffuser*

Ich kann nahezu uneingeschränkt frei herumlaufen und Fotos schießen, nachdem die Blitz-Stärke einmal passend eingestellt ist (Abb. 18).



*Abb. 18: Fotostudio: Fast schattenlos*

Höchstens muss ich einmal kurzzeitig den ISO-Wert um 2/3 oder einen Schritt erhöhen, wenn ich selber beim Fotografieren teilweise im Lichtstrahl von einem der Blitzgeräte stehe.

### Kunstlicht

Mit Lampen kann man dasselbe machen wie mit Blitz-Geräten. Der wichtigste Unterschied ist, dass sie weniger Licht ausstrahlen. Um genug Licht auf den Sensor zu bekommen, kann man, wie schon erwähnt, zwei Dinge tun:

- eine längere Verschlusszeit wählen (und dazu, wenn nötig, ein Stativ verwenden)
- eine höhere Lichtempfindlichkeit des Sensors (ISO) einstellen

Bei Birnen und Halogenlampen muss man aufpassen, weil sie (sehr) heiß werden. LED-Leuchten haben das Problem nicht. Auch muss man den Weißabgleich beachten, aber dazu später mehr.

### Blitz und Bewegung

In meinem ersten Beitrag [2] habe ich geschrieben, dass mit einer längeren Verschlusszeit Bewegung gezeigt werden kann. Das gilt nicht bei Verwendung eines Blitz-Geräts als Hauptlicht. Denn der Blitz dauert nur etwa 1/1000 Sekunde, die Szene wird also „eingefroren“.

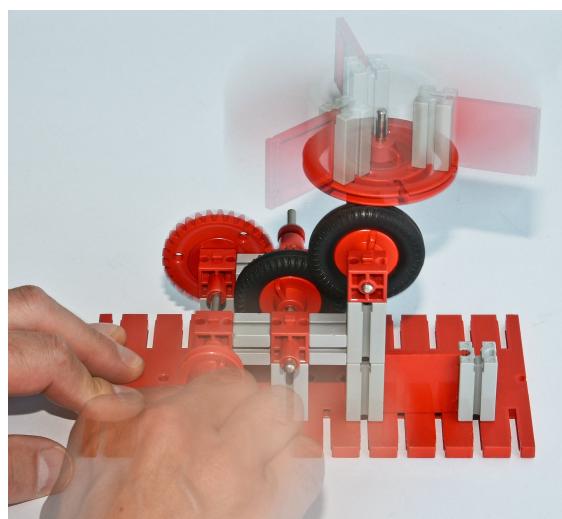


Abb. 19: Bewegung mit Blitz

Ein Mix aus natürlichem Licht und Blitz geht aber schon: Man wählt eine längere Verschlusszeit und lässt den Blitz an dessen Ende einmal „feuern“ (Abb. 19). Aber einfach natürliches Licht oder Kunstlicht zu verwenden ist eine bessere Idee, wenn man nicht gerade diesen Spezialeffekt bewirken will.

### Belichtung

Über die Schärfentiefe haben wir schon gesprochen. Betrachten wir nun zunächst die Belichtung.

#### Gesättigte Farben

Die roten, gelben und grünen Bauteile von fischertechnik haben sehr gesättigte Farben. Wenn ich fischertechnik fotografiere, erhöhe ich daher nie die Farbsättigung über das Kamera-Menu, weil diese Farben sonst sehr schnell übersättigt werden. Dann ergibt sich auf dem Bild ein flacher Farbfleck ohne Nuancen (Abb. 20).



Abb. 20: Übersättigte Farben (links), kürzere Belichtung und Nachbearbeitung (rechts)

Manche Kameras können diese Überbelichtung auf einem LCD anzeigen, meistens mit einem Blinken der überbelichteten Bereiche. So ein ausgebliebenes Bildteil ist zwar nicht das Ende der Welt, aber unerwünscht, wenn es gut aussehen soll. Jedoch ist das schwierig zu verhindern. Man sollte dafür etwa 2/3 bis eine Einstellung weniger belichten.

Ich prüfe bei fast jedem Bild, ob es irgendwo überbelichtet ist und mache das Foto, wenn nötig, erneut mit einer etwa 2/3 geringeren Belichtung.

Das hat allerdings den Nachteil, dass dunkle Partien (schwarze Bausteine, U-Träger und Bauplatten) zu dunkel werden können und dass das Weiß vom Hintergrund-Papier etwas grau aussieht. Es gibt eigentlich kaum eine Methode, das vollständig zu verhindern. Man muss da ein Optimum finden.

Ich beseitige das Problem meist in der Nachbearbeitung: Man kann beim Fotografieren 2/3 oder eine Einstellung weniger belichten und in der „digitalen Dunkelkammer“ die dunklen Partien aufhellen, ohne dass helle Flächen und satte Farben ausbleichen. Um den Kontrastverlust durch das Aufhellen zu beseitigen, erhöht man danach, wenn nötig, den Kontrast ein wenig.

Das Umgekehrte ist nicht möglich: Ist eine Farbe beim Fotografieren ausgeblieben, dann können die Nuancen der Farbe nicht zurückgewonnen werden, da die Information dazu fehlt – es sei denn, das Bild wurde im RAW-Format gespeichert.

## Weißabgleich

Seit wir Digitalkameras haben, können wir die Farbtemperatur der Bilder an der Kamera auf die Lichtverhältnisse einstellen, so dass das Bild farbmäßig aussieht wie in der Realität. Das nennt man Weißabgleich (englisch: *white balance*, WB). Früher konnte man das nur mit einem gefärbten Filter vor dem Objektiv oder nachher in der Dunkelkammer bewirken.

## Farbtemperatur

Beim Fotografieren von fischertechnik-Modellen ist es wichtig, die Farbtemperatur nicht zu warm zu wählen. Wenn die Farbtemperatur von roten oder gelben fischertechnik-Bauteilen erhöht wird, ergibt sich schnell die schon erwähnte Übersättigung, weil eine höhere Farbtemperatur eben zu mehr Amber oder Orange führt.

Der Weißabgleich hängt also von den Lichtverhältnissen ab. Meist liefert der automatische Weißabgleich gute Ereignisse, aber

wenn man eine Bilderserie macht, möchte man, dass die Farbtöne immer gleich sind. Wenn man ganz sicher sein will, kann man das Licht mit der Kamera messen und eine gemessene Voreinstellung wählen. Die meisten besseren Kameras können das bereits. Man braucht dazu ein neutrales Objekt, etwas Graues oder Weißes.

Aber aufgepasst: Weißes Papier, und insbesondere Hintergrund-Papier für die Fotografie, enthält oft ein wenig Blau, damit die resultierenden Fotos etwas wärmer herauskommen. Das ist bei Portraits erwünscht, es ist aber gerade das, was wir bei fischertechnik-Modellen nicht möchten. Man kann

- den Weißabgleich in der Kamera kompensieren,
- als Papier eine professionelle Graukarte für das Messen der Farbtöne verwenden oder
- den Weißabgleich in der Nachbearbeitung justieren.

Betrachten wir kurz die wichtigsten Lichtverhältnisse:

- *natürliches Licht*: Meistens geht es gut mit der Auto-Einstellung oder der den Lichtverhältnissen entsprechenden Einstellung.
- *Blitz*: Meistens liefert die Blitz-Einstellung gute Ergebnisse, aber wenn der Blitz von einer nicht neutralen (weißen) Decke oder Wand reflektiert wird, kann es schiefgehen.
- *Lampen*: Wenn es mit der Auto-Einstellung nicht funktioniert und man die Farbtemperatur der Lampe kennt, stellt man sie an der Kamera ein. Wenn nicht, lässt man die Kamera eine WB-Voreinstellung vornehmen. Oder man verfolgt die Versuch-und-Irrtum-Methode mit verschiedenen WB-Einstellungen oder sogar Kelvin-Temperaturwerten, wenn die

Kamera das erlaubt. Mit einer Digitalkamera kosten Testfotos schließlich kein Geld.

- *gemischtes Licht:* Wenn natürliches Licht und Blitzlicht gemischt werden, liefert die Blitz-Einstellung meistens gute Ergebnisse, obwohl die Bilder oft ein wenig wärmer herauskommen. Das muss dann kompensiert werden.
- *verschiedene Arten von Lampen oder Mischung von Kunst- und Tageslicht:* Das ist eine schwierige Situation (Abb. 21). Man muss sich darüber keine großen Sorgen machen, wenn man das nicht will, aber man könnte das Licht von der Kamera messen lassen, vielleicht sogar öfter, weil jede kleine Änderung der Position des Objekts oder der Kamera einen anderen Lichtfall und damit eine andere Farb-Nuance verursachen kann.



Abb. 21: Große Farbunterschiede: Warmes Kunstlicht links und kälteres Tageslicht rechts

## Nachbearbeitung

### Namen und Nummern

Das erste, was ich mit einer Bilderserie eines Modells mache, sind Namensgebung und Nummerierung. Weil ich die Bilder einer Modellbeschreibung meist in umgekehrter Reihenfolge präsentieren muss, wie ich im vorigen Beitrag erklärt habe [2],

muss ich die Namen entsprechend anpassen. Auch wähle ich Dateinamen, die etwas aussagen, also nicht DSC-1635.jpg, sondern zum Beispiel LKW-01.jpg u. s. w.

### Globale Anpassungen

Einfache Verbesserungen kann man mit jedem Bildbearbeitungsprogramm machen, auch mit der Upload-Software [SF ft Community Publisher](#) der ft:community. Darunter fallen unter anderem Beschneiden, Hell-Dunkel- und Kontrast-Einstellung. Beim Beschneiden muss man sich überlegen, was man zeigen will, und alles andere abschneiden. Wenn nötig kann man auch den Weißabgleich korrigieren, wie oben erklärt.

### Voreinstellung

Mit fischertechnik-Fotos mache ich immer ungefähr dieselben Bearbeitungen:

- Schatten und Mitteltöne aufhellen, weil ich mit 2/3 oder einer Einstellung unterbelichtet habe, wie oben erläutert
- die Farben korrigieren (Gelb und Rot werden bei meiner Kamera leicht orange, das Blau gerät ein wenig zu grün)
- den Kontrast ein wenig erhöhen
- die Belichtung der hellen Stellen etwas zurücknehmen
- das gesamte Bild schärfen

Ich habe dafür in meinem Bildbearbeitungsprogramm eine Voreinstellung vorgenommen. Wenn ich die verwende, brauche ich das Bild danach nur noch zu beschneiden, einige Unschönheiten „wegzuputzen“ und vielleicht zwei oder drei Schieber zu justieren; das geht alles ganz schnell (Abb. 22).

## Krönung der Arbeit

Ich hoffe du findest unter den zahlreichen Anregungen und Vorschlägen einige, die dir helfen, noch bessere Bilder deiner Modelle anzufertigen. Mir macht das Fotografieren sehr viel Spaß. Es ist für mich die Krönung der Arbeit, wenn mir ein gutes Modell gelungen ist. Außerdem kann ich es dann mit anderen fischertechnik-Enthusiasten teilen. Ich hoffe, dass es mir gelungen ist, etwas von diesem Spaß zu vermitteln.

## Referenzen

- [1] Thomas Püttmann: *Modellfotografie*. [ft:pedia 1/2016](#), S. 21-23.
- [2] Paul Bataille: *Fotografieren von Modellen: Klar denken und klar bauen machen es leichter*. [ft:pedia 2/2017](#), S. 5-12.



Abb. 22: Vor und nach der abschließenden Nachbearbeitung

## Elektromechanik

# Ersatz für die Elektromagnete

Rüdiger Riedel

Auch wenn das Experimentieren mit Elektromagneten nicht gerade die Massen begeistert, so könnte doch der eine oder andere auf den Geschmack kommen. Um dann festzustellen, dass die ft-Elektromagnete seit längerer Zeit nicht mehr hergestellt werden und auch gebraucht kaum noch zu erhalten sind. Ein Ersatz muss her!

In der aktuellen Ersatzteilliste sind sowohl der ältere Typ Nr. [31324](#) als auch der neuere und stärkere Typ Nr. [32363](#) nicht mehr vorhanden.

Einen echten Ersatz habe ich bisher nicht gefunden und meine Basteleien mit Relais-Magneten haben mich nicht überzeugt (immerhin lassen sich z. B. die Finder-Relais sehr gut auseinandernehmen).



Abb. 1: Die fischertechnik-Elektromagnete

## Die Alternative

Der einzige Elektromagnet im ft-Programm ist ein anderer Typ, ein sogenannter Topfmagnet:

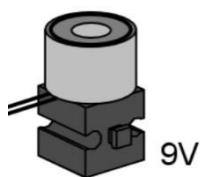


Abb. 2: E-Magnet 9 V schwarz,  
Art.-Nr. [142504](#)

Der Unterschied zwischen diesen Magnettypen ist in Abb. 3 dargestellt. Der Magnet

mit U-Kern eignet sich besser für Aufgaben mit beweglichem Anker, der Topfmagnet ist optimal für Haltekräfte bei satt aufliegendem Anker.

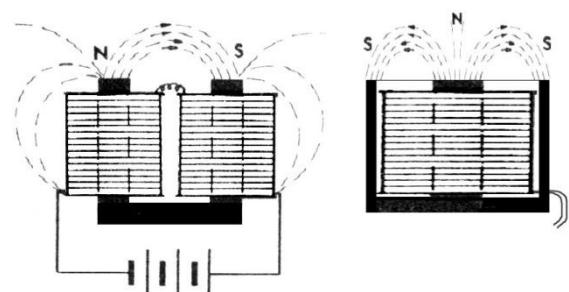


Abb. 3: E-Magnet mit U-Kern und Topfkern

Leider ist der Preis des fischertechnik-Topfmagnets indiskutabel hoch; für ein Zehntel (!) des Preises erhält man bei den bekannten Verkaufsstellen im Internet mindestens gleichwertige Geräte, bei denen nur die zentrale Befestigungsschraube und ein Baustein 15 mit Bohrung ([32064](#)) oder ein Baustein 15 mit Ansenkung ([32321](#)) hinzukommen müssen [1].

Meiner hat folgende technische Daten:

- 12 V, 0,25 A (gemessen 51 Ω),
- Durchmesser 18 mm, Höhe 15 mm,
- Wandstärke ca. 1 mm,
- Kerndurchmesser ca. 8 mm
- Haltekraft bei 10 V mehr als 10 N (entsprechend einem Gewicht von ca. 1 kg).

Das gilt natürlich, wie bei allen Magneten, nur bei direktem großflächigen Kontakt eines genügend dicken Eisenstückes. Schon ein Blatt Papier verringert die Haltekraft. Bei einem Abstand von 1 mm ergibt sich:

- 6 V: 0,17 N
- 9 V: 0,36 N
- 12 V: 0,47 N



*Abb. 4: Mein Topfmagnet von vorne und mit Befestigung hinten*

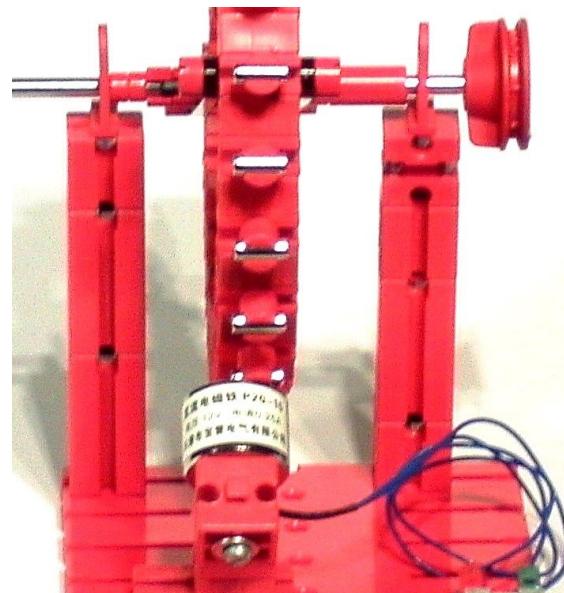
Ebenso wie die ft-Elektromagnete sind auch die Topfmagnete für Gleichstrom ausgelegt, sie arbeiten aber auch mit Wechselstrom. Meiner erwärmt sich bei 10 V Wechselstrom im Dauerbetrieb von 20°C auf etwa 60°C, was für den Magnet völlig unkritisch ist [2].

## Der Einsatz

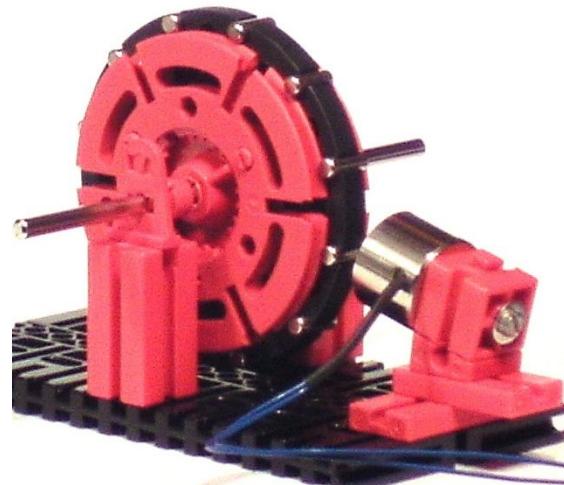
Beim Einsatz des Topfmagnets ist zu beachten, dass das Magnetfeld nicht mehr von einem Pol zum anderen verläuft, sondern vom inneren Pol symmetrisch zum Topfrand, der den Gegenpol darstellt.

Die Konsequenz ist bereits in Abb. 4 zu erkennen und in Abb. 5 verdeutlicht: Der Topfmagnet muss seitlich versetzt angeordnet werden.

Auf diese Weise funktionieren der Synchronmotor in [3] (Abb. 6) und alle z. B. in [4] zitierten Synchronmotoren einwandfrei, im Allgemeinen mit 6 V Wechselstrom.



*Abb. 5: Anordnung des Topfmagnets zu den Läufermagneten*



*Abb. 6: Synchronmotor mit 12 Neodym-Magneten und 500 U/min*

Als Ausnahme habe ich bisher nur den zweipoligen Synchronmotor (Polpaarzahl  $p = 1$ ) in [4] gefunden. Der wollte erst mit zwei parallel an 10 V Wechselspannung angeschlossenen Topfmagneten laufen (Abb. 7).

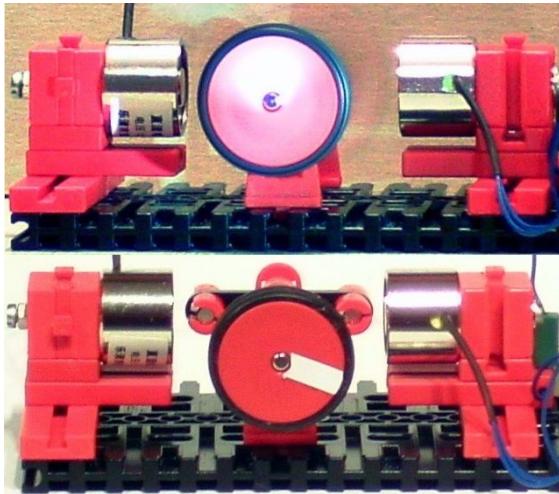


Abb. 7: 2-poliger Synchronmotor, unten der Aufbau, oben in Betrieb mit 3000 U/min

Der Motor mit Polpaarzahl 2 aus [4] funktioniert aber wieder einwandfrei mit dem Topfmagnet an 6 V Wechselstrom:

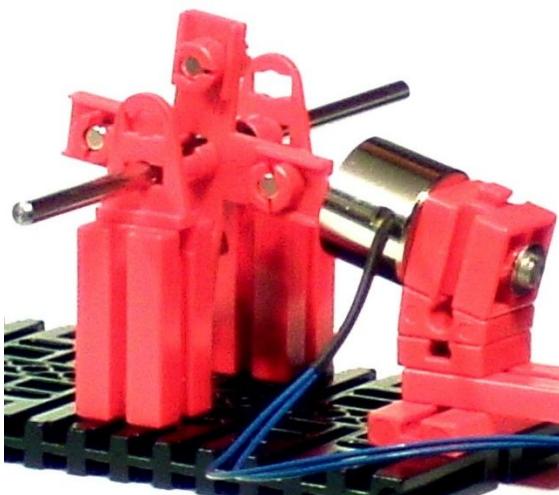


Abb. 8: Polpaarzahl 2, 1500 U/min

Schwieriger wird es bei den Läufern, bei denen die Neodym-Magnete mit wechselseitiger Polung von vorne und von hinten in die Löcher der Winkelsteine gesteckt sind und sich durch die gegenseitige Anziehung halten. Der Topfmagnet muss jetzt sehr weit nach außen geschoben werden (Abb. 9). Dieser schräge Antrieb bewirkt einen unruhigen Lauf.

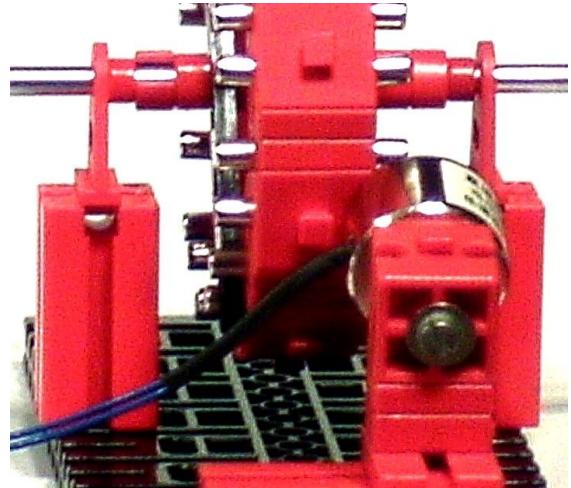


Abb. 9: Winkelstein-Läufer

Im Gegensatz dazu ist der Scheibenläufer nach Abb. 10 (Zahnrad Z30 und Innenzahnrad Z30 sind mit 3 S-Streben 15 und 6 S-Verbindungsstopfen 6 miteinander verbunden) sehr gut geeignet zum Antrieb mit dem Topfmagnet. Dieser wird hier symmetrisch zum Läufer ausgerichtet.

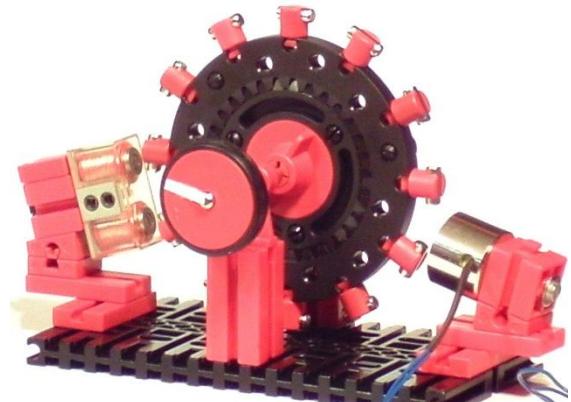


Abb. 10: Scheibenläufer mit 250 U/min, mit dem alten E-Magnet oder einem Topfmagnet

Auch der „Etwas andere Motor“ (ich nenne ihn auch Hui-Motor) aus [5] lässt sich mit dem Topfmagnet betreiben.

Wichtig ist dabei der seitliche Versatz des Topfmagnets gegenüber dem Stabmagnet des Läufers (Abb. 12).



Abb. 11: Der etwas andere Motor



Abb. 12: Seitlicher Versatz

Auch die Gleichstrommotoren [6] laufen mit den Topfmagneten. Ein Beispiel zeigt Abb. 13.

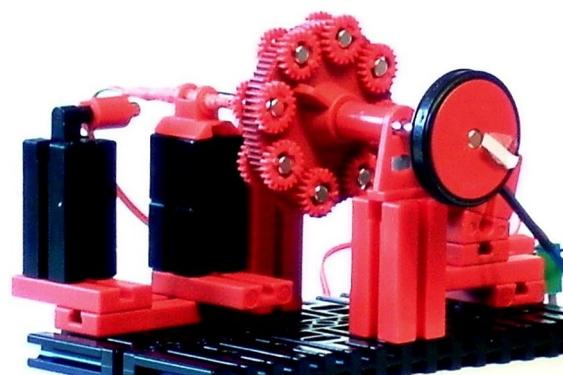


Abb. 13: Gleichstrommotor

Der Läufer ist mit Magneten wechselnder Polung ausgestattet, also von Polpaarzahl 4. Der Stabmagnet links sorgt für die Vormagnetisierung des Reed-Schalters im Hintergrund (Selbstbau), so dass dieser nur bei jedem zweiten Läufermagnet anspricht.

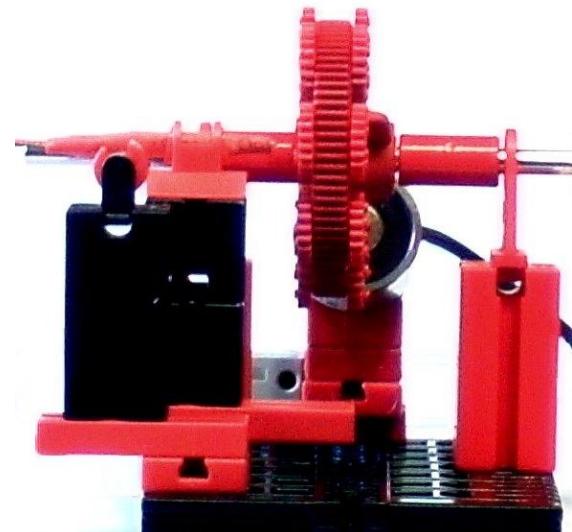


Abb. 14: Gleichstrommotor mit seitlich versetztem Topfmagnet

Das ist nötig, da der Elektromagnet nur ein- und ausgeschaltet wird, aber keine Umpolung stattfindet.

## Quellen

- [1] Diskussion im [ft:c-Forum](#).
- [2] Rüdiger Riedel: *Der Elektromagnet: Was kann er (vertragen)?* [ft:pedia 4/2016](#), S. 46-51.
- [3] Dirk Fox, Thomas Püttmann: *Technikgeschichte mit fischertechnik*. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2015.
- [4] Rüdiger Riedel: *Neue Synchronmotoren*. [ft:pedia 2/2017](#), S. 25-31.
- [5] Rüdiger Riedel: *Der etwas andere Motor*. [ft:pedia 3/2016](#), S. 22-25.
- [6] Rüdiger Riedel: *Funktionsmodelle von Gleich- und Wechselstrommotoren*. [ft:pedia 4/2016](#), S. 52-58.

## Modell

# Schwenktüren

Stefan Busch

*Ein Artikel über Türen? Langweilig: Rahmen, Flügel, Angel – fertig ist die Tür. Aber so einfach ist es nicht immer...*

## Einleitung

Tatsächlich ist der Aufbau einer Tür in ihrer einfachsten Form, der Schwenktür, recht unkompliziert: Ein Türblatt ist durch Gelenke schwenkbar an einem Rahmen, dem sogenannten Portal oder Türstock befestigt, um je nach Bedarf eine Öffnung freizugeben oder zu verschließen. Im fischertechnik-Sortiment gab es früher sogar fertige Türen, die aus nur zwei Bauteilen bestanden – wahlweise mit schmalem, breitem oder sogar durchsichtigem Türblatt (Abb. 1).

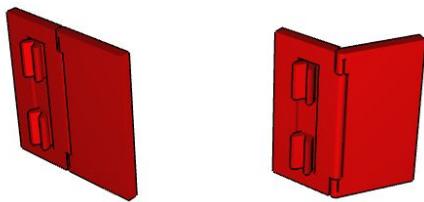


Abb. 1: Türbauteil 31526.

Hier soll es natürlich um etwas größere Modelle gehen. Zunächst sind aber noch einige Begriffe zu klären, die für die Betrachtungen wichtig sind: Neben dem Türblatt kommt dessen Kanten besondere Bedeutung zu, beispielsweise als Ansatzort für Drehlager aber auch als Gefahrenquelle (siehe den Quetschschutz in Abb. 20). Der Rand des Türblatts, dessen Abstand von der parallelen Gegenkante des Portals die Öffnungsweite der Tür bestimmt, wird *Hauptschließkante* genannt, jeder andere Rand des Türblatts *Nebenschließkante*. Kanten oder Flächen am Portal, die sich

gegenüber einer Haupt- oder Nebenschließkante befinden, sind *Gegenschließkanten* (oder –flächen, s. Abb. 2) [1].

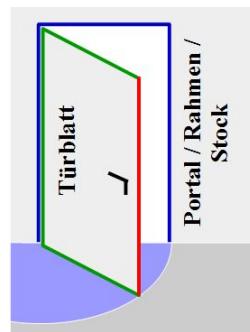


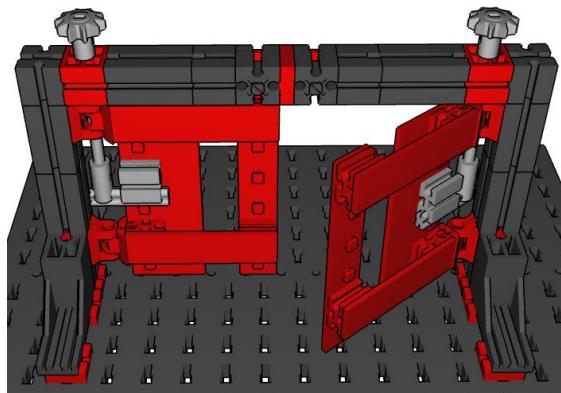
Abb. 2: Begriffsbestimmung

Die Lage des Türblatts bei vollständig geöffneter oder geschlossener Tür wird als *Offen-* beziehungsweise *Schließendlage* bezeichnet.

## Grundkomponenten

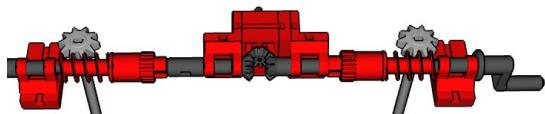
Die Komponenten einer einfachen Schwenktür mit Doppelflügel dienen im Folgenden als Urform für den Bau komplizierter Türtypen, müssen also ohne große Umbauten in verschiedenen Konstruktionen einsetzbar sein. Die Türblätter sollen einerseits möglichst dünn sein, andererseits aber viele Ansatzpunkte für Drehlager bieten. Erreicht wird dies durch eine Kombination aus Bauplatten 15 x 90 und 30 x 90, die das eigentliche Türblatt darstellen, zwei Bauplatten 15 x 60 als Querträger und Baustein 7,5 zur Verbindung von Längs- und Querträgern (Abb. 3).

Aus der Breite der Türflügel ergibt sich eine Türöffnung von etwa 90 x 150 mm (Höhe x Weite). Das Portal wird an seiner Basis nur durch zwei Anbauwinkel gegen Verkippen abgestützt, um die Beobachtung der Türbewegung nicht zu behindern. Ein Einsatz im harten Alltag würde zusätzliche Aussteifungen erfordern. Zur einfachen Anpassung der Rahmenweite ist das Portal über sechs Bausteine 5 auf der Grundplatte befestigt.



*Abb. 3: Standardkomponenten am Beispiel einer Schwenktür: Portal, Türblätter und Drehsäulen (grau)*

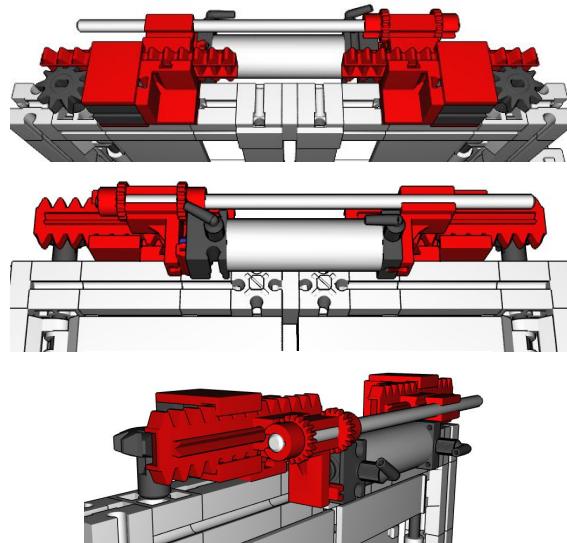
Angetrieben werden Schwenktüren meist über vertikale Achsen, sogenannte *Drehsäulen* (Abb. 3). Im Modell wird eine synchrone Bewegung beider Türblätter mittels Schneckengetriebe bewirkt (Abb. 4).



*Abb. 4: Schneckengetriebe mit Handkurbel, Drehsäulen der Türen in grau. Linke und rechte Seite des Getriebes unterschiedlich*

Durch Verwendung einer Handkurbel lässt sich die Geschwindigkeit der Türbewegung gut steuern. Natürlich können die Drehsäulen auch kraftbetätigt gedreht werden.<sup>1</sup> Bei Verwendung eines pneumatischen Antriebs kann im Gegensatz zu motorischen Antrie-

ben auf eine Endabschaltung verzichtet werden, was die Komplexität der Konstruktion deutlich verringert. Allerdings muss die lineare Bewegung des Zylinders in die Drehbewegung der Drehsäulen übersetzt werden. Dies geschieht bei der in Abb. 5 gezeigten Ausführung über ein Zahnstangengetriebe.



*Abb. 5: pneumatischer Antrieb; oben: Ansicht von vorn oben; mittig: rückseitige Ansicht*

Zur Führung der Zahnstangen 61 dient eine Kombination aus zwei E-Magnetführungsplatten 15 x 20 und einem Baustein 15 sowie einer Führung, bestehend aus zwei Bausteinen 7,5 und einer Achse 125.<sup>2</sup> Letztere ist auf einer Seite durch zwei Klemmbuchsen 5 gegen Herausziehen gesichert. Zwei Riegelscheiben Z20 verhindern ein Verschieben des Winkelsteins. Die Bewegung der Türblätter lässt sich durch Verwendung einer pneumatischen Drossel am „Auspuff“ des Zylinders dämpfen [2, 3].

Bei dieser Konstruktion erfolgt die Bewegung der Türblätter allerdings unsynchronisiert: Der Flügel, dessen Schwenkmechanismus die geringere Reibung aufweist,

<sup>1</sup> Die zum Öffnen oder Schließen der Türflügel erforderliche Energie wird vollständig oder teilweise von einer Kraftmaschine zugeführt, beispielsweise einem Elektromotor.

<sup>2</sup> Die Idee stammt aus dem Internet. Leider kann ich den Erfinder nicht benennen.

wird zuerst bewegt. Dieses Verhalten ist übrigens auch beim Original zu beobachten. Außerdem begrenzt der Maximalhub des Zylinders den ohne größeren Aufwand erreichbaren Drehwinkel der angetriebenen Achsen.

### Einfache Schwenktür

Zum Bau einer einfachen Schwenktür aus den beschriebenen Grundelementen werden die Türblätter mit je zwei Gelenksteinen (Gelenkwürfel-Klaue 7,5 & -Zunge 7,5) am Portal angeschlagen. Die Drehsäulen verlaufen in den Schwenkachsen und sind mit den Türblättern durch Rastadapter 20 und Verbinder 30 formschlüssig verbunden (Abb. 6).

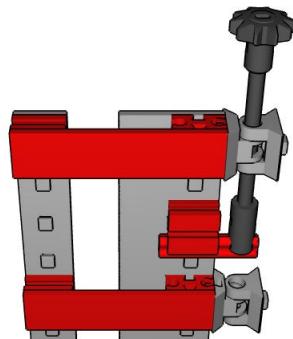


Abb. 6: Türblatt mit vertikaler Drehsäule

Zur Festlegung der Schließendlage der Türblätter dienen zwei Anschlüsse im Portal bestehend aus Bauplatten 15 x 15 (Abb. 7).

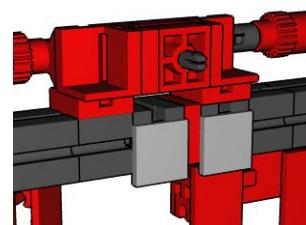


Abb. 7: Detail der Vorderansicht,  
Anschlüsse grau

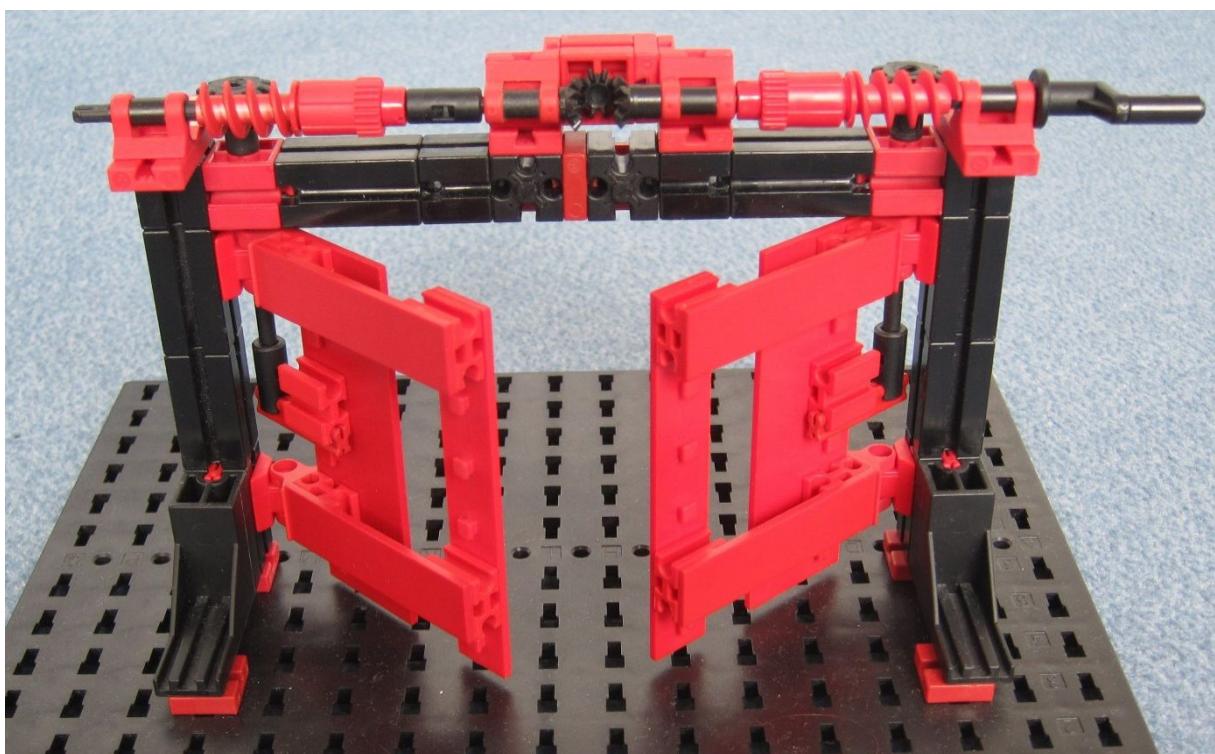


Abb. 8: Einfache Schwenktür mit Schneckenantrieb

Aufgrund ihres unkomplizierten Aufbaus finden solche einfachen Schwenktüren breite Anwendung. Sie erweisen sich allerdings als nachteilig oder gar ungeeignet, wenn nur begrenzter Raum für den Öffnungsvorgang zur Verfügung steht oder spezielle Anforderungen an die Offenendlage des Türblatts gestellt werden. So sind Türen moderner Möbel mit komplizierten Scharnieren ausgestattet, um den Drehpunkt der Tür während des Öffnens zu verschieben.

Interessante Türkonstruktionen finden sich auch bei öffentlichen Verkehrsmitteln wie Bussen und Bahnen, da Türen hier einerseits große Öffnungen freigeben müssen, andererseits aber nicht viel freier Raum für den Öffnungsvorgang zur Verfügung steht und die Türblätter im geöffneten Zustand das Ein- und Aussteigen nicht behindern dürfen.

## Innenschwenktür

Eine häufig in Bussen verwendete Schwenktür mit verringertem Raumbedarf stellt die Innenschwenktür dar. Bei diesem Türtyp wird das Türblatt während des Schwenkens zusätzlich gegen die Schwenkrichtung gedreht [4].

Dazu wird das Türblatt von zwei formschlüssig an einer vertikalen Drehsäule angebrachten Schwenkarmen gehalten, die an Ober- und Unterkante des Türblatts angelenkt sind. Diese Anordnung bildet die sogenannten *Schwenkdrehlager* der Tür und erlaubt den Flügel zwischen den Tragarmen hindurch zu schwenken. Damit sich das Türblatt beim Schwenken der Tragarme dreht, wird seine Hauptschließkante mit Hilfe eines *Schwenkschiebelagers* geführt. Dieses besteht aus einer am Türflügel

angebrachten Rolle, die in einer Längsführung an der Oberseite des Portals verschieblich gelagert ist (Abb. 9).<sup>3</sup>



Abb. 9: Innenschwenktür eines Busses. Im unteren Bild ist deutlich sichtbar, dass die Rolle des Schwenkschiebelagers nur geführt wird und keine Last trägt.

Wird das Türblatt wie hier nur geführt, handelt es sich um eine *Führungsschiene*, trägt die Schiene auch (einen Teil) des Gewichts des Türflügels, wird sie als *Tragschiene* bezeichnet. Ein Verschwenken des Türblatts über das Schwenkdrehlager führt zu einem linearen Verschub der Führungsrolle und damit zu einer Drehung des Türblatts.

Abb. 10 zeigt die Umsetzung ins Modell und die erforderlichen Modifikationen der Grundkomponenten. Die Querträger der Türblätter werden von einer Kombination aus drei Bausteinen 7,5 und einem Verbindelement 45 gebildet, um Ansatzpunkte für die Drehlager der Schwenkarre und die Schwenkschiebelager zu schaffen.

<sup>3</sup> In der Patentsprache liest sich diese Beschreibung übrigens so: „... Türflügel, der eine seiner Hauptschließkante zugeordnete Schwenkschiebelagerung, die eine am Türflügel angeordnete Lagerachse mit einem in eine fahrzeugfeste

Längsführung eingreifenden und darin verschiebbar gelagerten Führungselement enthält, und eine seiner Nebenschließkante zugeordnete Schwenkdrehlagerung aufweist.“ [3]

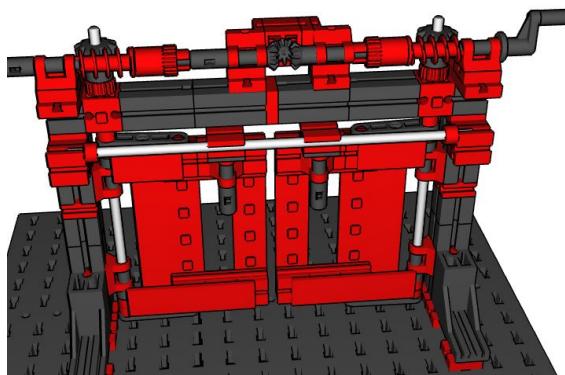


Abb. 10: Innenschwenktür; gesamter Aufbau

Die leicht über die Hinterkante des Türblatts herausragenden Bauplatten 30 x 15 (oben) und 60 x 15 (unten) dienen lediglich als Anschlüsse, um die Schließendlage des Türblatts festzulegen (Abb. 11).

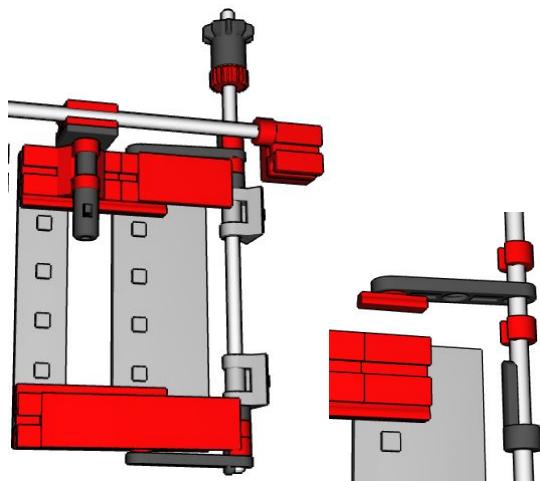


Abb. 11: Links: Türblatt mit Schwenkdreh- und Schwenkschiebelager sowie Längsführung mit Halterung. Rechts: Aufbau des oberen Schwenkarms.

Die türseitigen Drehlager der Schwenkkarre – im Modell Statikstreben 30 – bilden Statikadapter; die kraftschlüssige Verbindung mit einer als Drehsäule dienenden Achse 150 erfolgt mittels Mitnehmer und Klemmbuchsen 5 (Abb. 11, rechts).

Die Schwenkschiebelager der Türblätter konnten in Modellgröße nicht vorbildgetreu

nachgebildet werden. Sie setzen sich im Modell aus je einem Achslager, einer Aufnahmearmechse mit Rastkupplung 15 und einem Baustein 7,5 zusammen, der wiederum von einer horizontalen Achse 170 geführt wird. Die Rastkupplungen an den Aufnahmearmen sind wichtig, da die Schwenkschiebelager anders als im Original auch einen Teil des Türblattgewichts tragen müssen, um die Tür leichtgängig zu halten. Die Führungsschiene übernimmt hier also die Funktion einer Tragschiene.

Das Portal erhält Achslager (Gelenkwürfel-Klaue 7,5 & Lagerhülse 15) zur Aufnahme der Drehsäulen, sowie Halterungen für die horizontale Längsführung, pro Seite ein Baustein 5 und 7,5. Schließlich wird die Höhe des Portals durch Einfügen je eines Bausteins 7,5 und 5 pro Stütze vergrößert (Abb. 12).

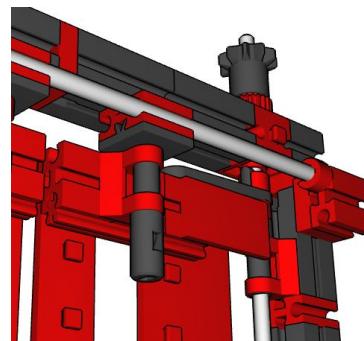


Abb. 12: Schwenkdreh- und Schwenkschiebelager mit horizontaler Längsführung

Für eine leichtgängige Bewegung der Türblätter ist eine genaue Abstimmung der Höhe der Längsführung, des Abstandes der Schwenkschiebelager zur Hauptschließkante des Türblatts und des vertikalen Abstands der Schwenkkarre erforderlich. Dies gilt umso mehr, wenn die Tür pneumatisch angetrieben werden soll. Hier kann etwas Geduld gefragt sein.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Alle hier beschriebenen Modelle wurden mehrfach gebaut, um ihre Funktionstüchtigkeit sicherzustellen.

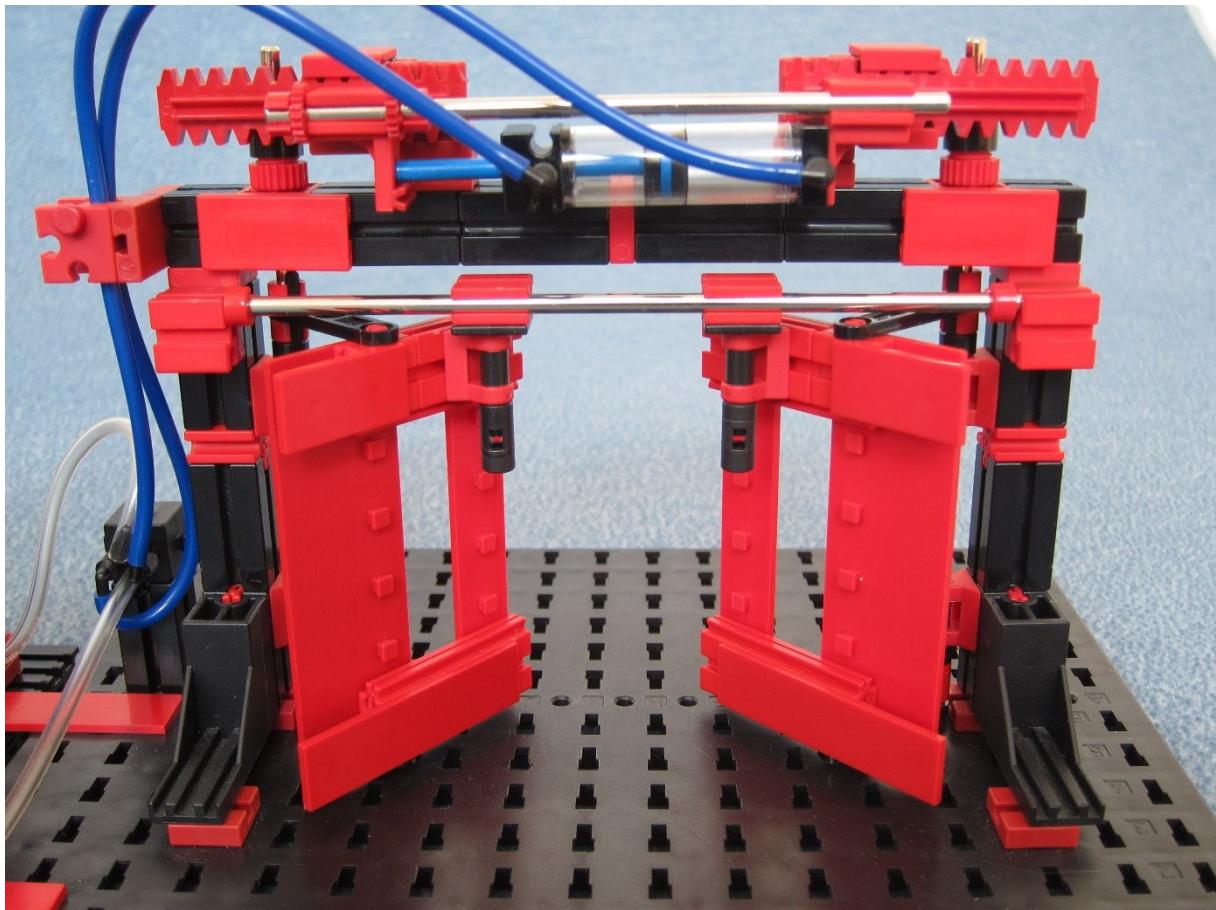


Abb. 13: Innenschwenktür mit pneumatischem Antrieb

## Außenschwenktür

Ein weiterer häufig in Bussen eingesetzter Türtyp ist die Außenschwenktür [5]. Wie bei der Innenschwenktür wird das Türblatt durch Tragarme gehalten, die allerdings an der Innenseite des Blatts angelenkt und zudem gewinkelt sind, um bei geöffneter Tür um die Gegenschließkante (also einer Seitenkante des Portals) herumreichen zu können (Abb. 14). Diese Tragarme werden aufgrund ihrer Funktion auch als *Traglenker* bezeichnet. Zusätzlich verbindet ein *Führungslenker* Oberkante des Türblatts und Portal so, dass sich der Türflügel ungefähr nach Art eines Parallelogramms von

der Schließendlage in die Offenendlage oder zurück bewegen lässt.<sup>5</sup>



Abb. 14: Außenschwenktür eines Busses. Gut zu erkennen ist, wie der gewinkelte Traglenker um die Gegenschließkante herumreicht. Ebenfalls sichtbar ist der Führungslenker.

<sup>5</sup> Die Hauptschließkante ist also dem Führungslenker, die Nebenschließkante dem Traglenker zugeordnet.

Die Herausforderung bei der Umsetzung dieses Prinzips stellt die Realisierung der benötigten Geometrie im Fischertechnik-Raster dar, da Winkel, Abmessung und Position der Lager von Trag- und Führungslenker nicht frei wählbar sind. Aus diesem Grund sind etwas umfangreichere Änderungen an den Standardkomponenten erforderlich als bei den zuvor beschrieben Modellen (Abb. 15).

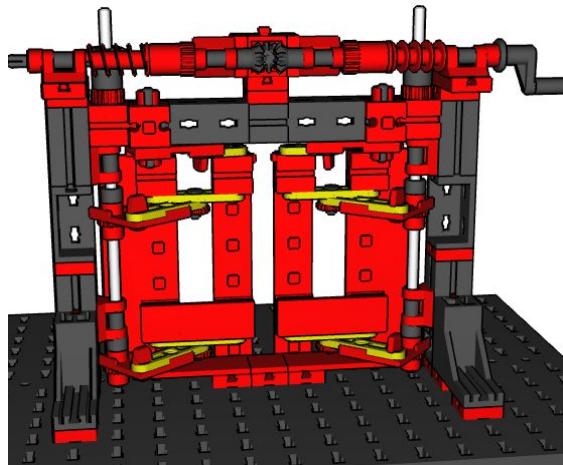


Abb. 15: Außenschwenktür im Modell

Zur Schaffung der türseitigen Drehlager der Traglenker werden die Querträger der Türblätter durch Statik-Streben 30 mit Mittelloch gebildet, die wiederum über Strebenadapter und Bausteine 7,5 mit dem Türblatt verbunden sind (Abb. 16). Verbindungsstopfen 6 fungieren als Achsen. Die Bauplatten 15 x 45 am unteren Querträger dienen zur Aussteifung des Türblatts.

Die Traglenker, bestehend aus einer Statik-L-Lasche und einer Statik-Strebe 30, sind wie bei der Innenschwenktür durch Mitnehmer und Klemmbuchsen 5 kraftschlüssig mit den Drehsäulen verbunden, hier Achsen 150.<sup>6</sup> Zur besseren Stabilisierung der Arme sind die L-Laschen zusätzlich auf Riegelscheiben gelagert (Abb. 16, rechts).

<sup>6</sup> Für eine bündig mit den obenliegenden Antriebszahnrädern abschließende Drehsäule kann alternativ eine Kombination aus einer Achse 90 und

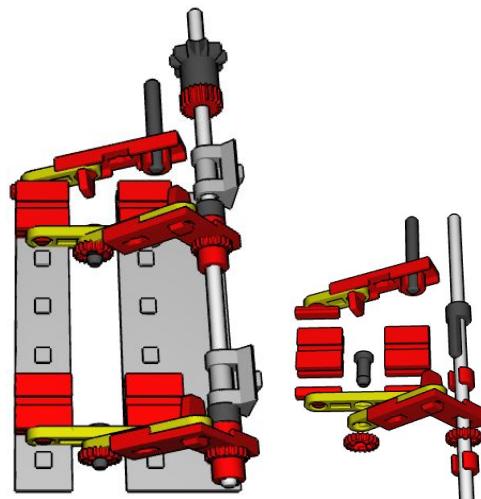


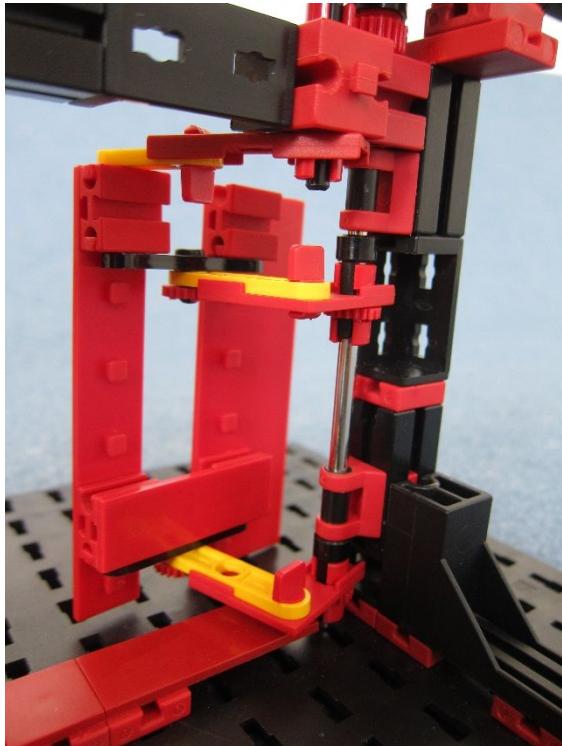
Abb. 16: Links: Türblatt mit Trag- und Führungslenker und Drehsäule, die Bauplatte 5 x 45 am unteren Querträger ist nicht dargestellt. Rechts: Aufbau des oberen Traglenkers und des Führungslenkers

Je eine Statik-Lasche 21,2 und eine Statik-Strebe 15 bilden die Führungslenker und sind mit Strebenadapters an der Oberkante der Türblätter angelenkt. Die genaue Position der Strebenadapter in der Nut der Bausteine 7,5 hat entschiedenen Einfluss auf die Endlage der Türblätter, muss also später entsprechend justiert werden. Die Schließendlage der Türblätter ist durch einen justierbaren Anschlag bestehend aus einem auf der Grundplatte quer zum Portal eingebauten Baustein 5 und einer Bauplatte 15 x 15 festgelegt. Um eine durchgehende Kante zu erhalten, wird dieser Anschlag links und rechts durch auf Bausteinen 5 angebrachten Bauplatten 15 x 45 fortgeführt (Abb. 15 und 19).

Da Trag- und Führungslenker teilweise in das Profil des Portals hineinreichen, müssen hier Aussparungen geschaffen werden, indem Winkelträger 15 und 30 Teile der Stützen und des Querträgers bilden (Abb. 17). Wie bei der Innenschwenktür muss die Höhe des Portals angepasst

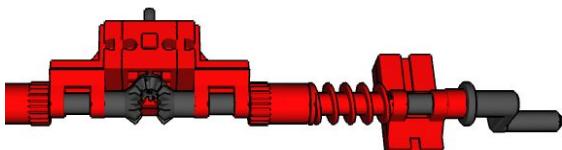
einer Kunststoffachse 40 gekoppelt durch eine Klemmkupplung 20 genutzt werden.

werden, hier durch je zwei Bausteine 5 pro Stütze. Der Querträger ist wegen der geringeren Portalweite kürzer und enthält die beiden Achslager für die Führungslenker. Die hierzu verwendeten Bausteine mit Bohrung sind gegenüber der Portalfront um die Breite eines Bausteins 5 nach hinten versetzt.



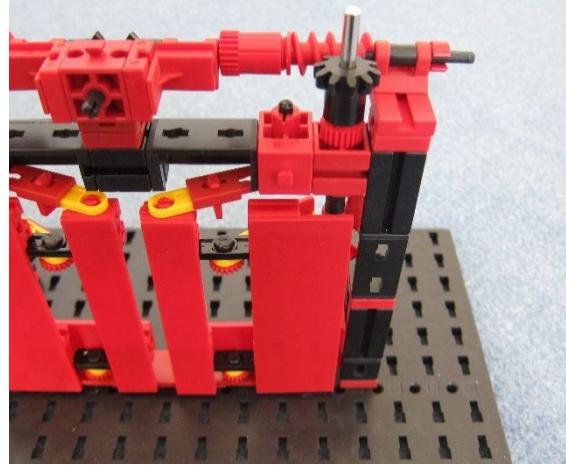
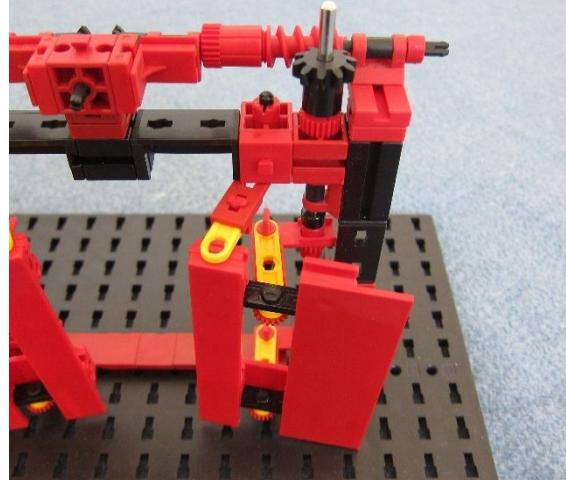
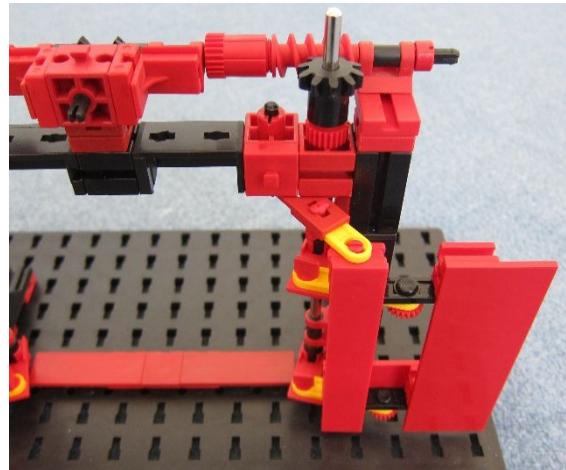
*Abb. 17: Zu beachten sind das nach innen versetzte Lager für den Führungslenker sowie die Winkelsteine in Stütze und Querträger des Portals (unten allerdings nur schlecht zu erkennen).*

Die geringere Portalweite erfordert auch eine Modifizierung des Schneckengetriebes (Abb. 18), das nun – von der Handkurbel abgesehen – symmetrisch aufgebaut werden kann.



*Abb. 18: Rechte Seite des modifizierten Schneckengetriebes der Außenschwenktür.*

Wie schon bei der Innenschwenktür kann zur Abstimmung der Geometrie der verschiedenen Komponenten etwas Geduld erforderlich sein, bis die Türflügel synchron und vorgbildgerecht in die Endlagen schwenken.



*Abb. 19: Außenschwenktür, Schließvorgang im Modell*

## Falttür

Falttüren zeichnen sich durch Türblätter aus, die an ihren Vertikalkanten gelenkig zu Flügelpaaren verbunden sind und beim Öffnungsvorgang quer zur Schließebene aufeinander gefaltet werden [6].



Abb. 20: Falttür einer U-Bahn: oben: außenliegendes Gelenk; unten: die ‚losen‘ Türblätter werden durch eine Schiene geführt, aber nicht getragen, die Flügel sind freitragend. Die vertikalen Nebenschließkanten der Türblätter sind durch Gummiwülste geschützt (Quetschgefahr).

Häufig sind diese Türen *freitragend*, das heißt, das Gewicht der Türblätter wird über die Lager eines ‚festen‘, am Portal angeschlagenen Blatts<sup>7</sup> abgetragen. Eine Tragschiene ist dann nicht erforderlich (gut erkennbar in Abb. 20).

Das Öffnen oder Schließen der Tür erfolgt durch Schwenken des ‚festen‘ Türflügels um eine vertikale Achse am Portal. Die Hauptschließkante am mitgeschwenkten ‚losen‘ Flügel wird wie bei einer Innenbeschleunigung durch ein obenliegendes Schwenkschiebelager geführt. Damit die Türblätter in Schließendlage aufeinander liegen können, müssen die sie verbindenden Gelenke über die Außenfläche der Türblätter hinausragen.

Falttüren finden sich meist in älteren Straßen- oder U-Bahnen.

Im Modell (Abb. 21) finden wieder modifizierte Standardtürblätter Verwendung, hier allerdings weisen die Querträger nach außen, um das Aufeinanderfalten der Türblätter zu ermöglichen.

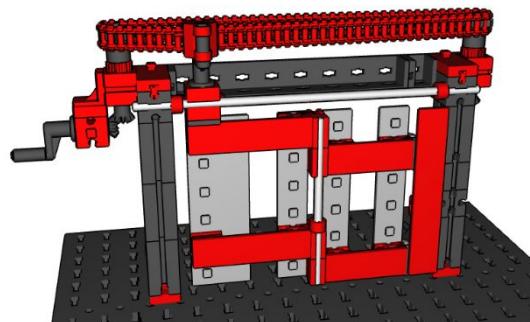


Abb. 21: Falttür – gesamter Aufbau, Frontansicht

Da die beiden Türblätter verbindende Gelenk bilden je Türblatt zwei quer angeordnete Bausteine 7,5 und eine Achse 90, die durch eine Klemmbuchse gegen Herausfallen gesichert ist. Das ‚feste‘ Türblatt ist schmäler als das ‚lose‘ und über Gelenksteine am Portal angeschlagen (Abb. 22).

<sup>7</sup> In Anlehnung an die Bezeichnung der Rollen eines Flaschenzuges werden hier das am Portal

angeschlagene Türblatt als ‚fest‘, alle anderen Türblätter als ‚lose‘ bezeichnet.

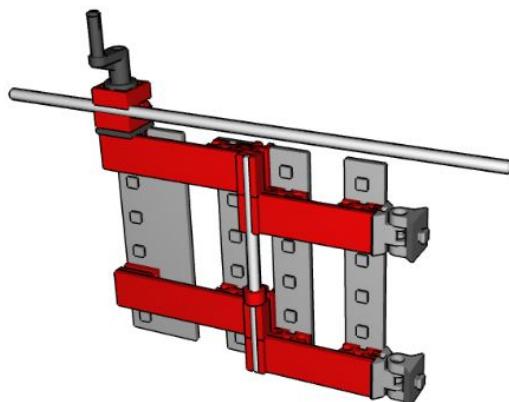


Abb. 22: „Festes“ und „loses“ Türblatt mit Schwenkschiebelager. Deutlich sichtbar ist der Hebel zum Auslenken der Türblätter aus der Schließendlage

Anders als beim Vorbild kann das Öffnen der Tür nicht allein durch Schwenken des „festen“ Türblatts erfolgen, da nicht genug Kraft aufgebracht werden kann, um das freie Türblatt in Öffnungs- oder Schließendlage zu bewegen. Eine Betätigung durch Verschub des Schwenkschiebelagers scheitert daran, dass die Verbindung der Türflügel wegen der außenliegenden Gelenke in Schließendlage in Längsrichtung druckstabil ist.

Anders als bei den bisher beschriebenen Modellen sind zum Öffnen der Falttür also zwei aufeinanderfolgende Bewegungen nötig: Zunächst das Andrehen des freien Blatts (Drehbewegung) zur Auslenkung des Zwischengelenks, gefolgt vom Verschieben des Schwenkschiebelagers in die Offenendlage (lineare Bewegung).

Um beide Bewegungen mit nur einem Antrieb zu bewirken, wird das Schwenkschiebelager des „losen“ Türblatts um einen kraftschlüssig mit dem Türblatt verbundenen Hebel erweitert, der mit einer Antriebskette verbunden ist. Zu Beginn des Öffnungsvorgangs – die Türflügel befinden sich in Schließendlage – erzeugt die von der Kette übertragene Kraft einerseits ein Drehmoment am Türblatt, das dadurch ausgelenkt wird, andererseits Zugkräfte, die zum Verschub des Lagers in Offenendlage führt.

Durch Drehen des „losen“ Türblatts während des Öffnungsvorgangs wird der Hebelarm immer geringer, so dass das Drehmoment abnimmt bis in der Nähe der Offenendlage nur noch Zugkräfte auf das Schwenkschiebelager wirken. Beim Schließen der Tür dreht ein entgegengesetztes Moment die Türblätter in die Schließendlage. Diese Konstruktion ist zwar nicht mehr vorbildgerecht, erzeugt aber mit geringem Aufwand eine originalgetreue Türbewegung.

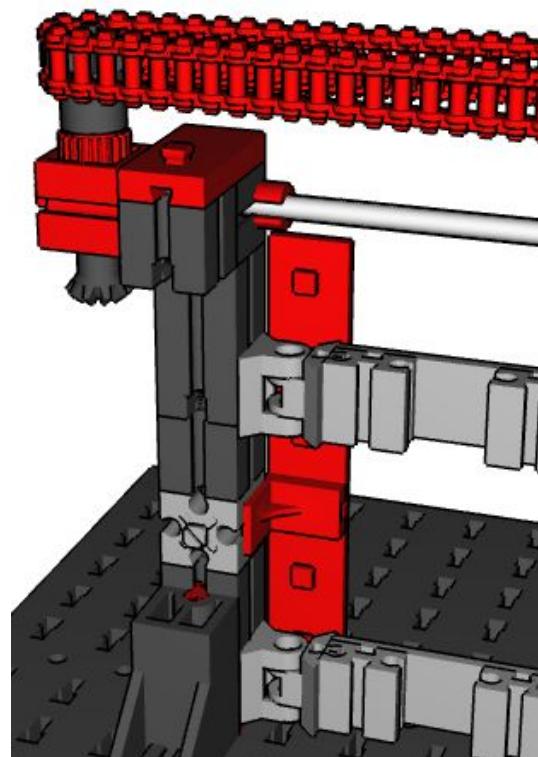


Abb. 23: Linke Portalstütze. Der querstehende Baustein 15 zur Befestigung der Blende in grau. Der Querträger des Portals ist nicht dargestellt.

Abb. 23 zeigt die erforderlichen Änderungen am Portal: Da die Führungsachse 170 und das Schwenkschiebelager in Portalebene liegen, wird der Querträger bestehend aus Statik-Winkelträgern 15 und 120 nach hinten versetzt. Die symmetrische Ausführung des Kettenantriebs erlaubt es, den Handkurbelantrieb auf beiden Seiten einzusetzen. Die Antriebskette besteht aus 83 Gliedern.

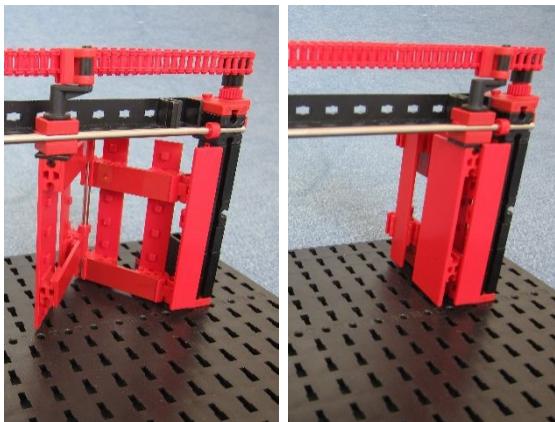


Abb. 24: Frontalansicht der Falttür

Eine Bauplatte 15 x 90 dient zur Abdeckung der Gelenksteine. Um Gelenken, Türblättern und Schwenkschieblager in Offenendlage ausreichend Platz zu bieten, wird die Blende über einen horizontal in der Portalstütze eingebauten Baustein 15 gehalten. Die Fertigstellung dieses Türmodells erfordert keine Feinjustierung.

## Referenzen

- [1] BG Bau: [Begriffsbestimmungen](#).
- [2] Stefan Falk: *Druckluftsteuerungen (Teil 1)*. [ft:pedia 1/2014](#), S. 58-72.
- [3] Andreas Tacke: *ft-Spezialteile made by TST (Teil 9)*. [ft:pedia 3/2014](#), S. 20.
- [4] Gregor Milan, Horst Goldbach: *Innenschwenktür oder Falttür*. [DE 19948852 C1](#).
- [5] Martin Fink: *Einklemmschutz für Nebenschließkanten bei Außenschwingtüren*. [EP 0408537 B1](#).
- [6] Klaus Fromme, Engelbert Przygoda, Walter Sprick: *Falttür oder Faltwand aus plattenförmigen Türflügeln*. [EP 0032218 A1](#).
- [7] Harald Steinhaus: [Luken und Türen](#). Bilderpool der ft:community.

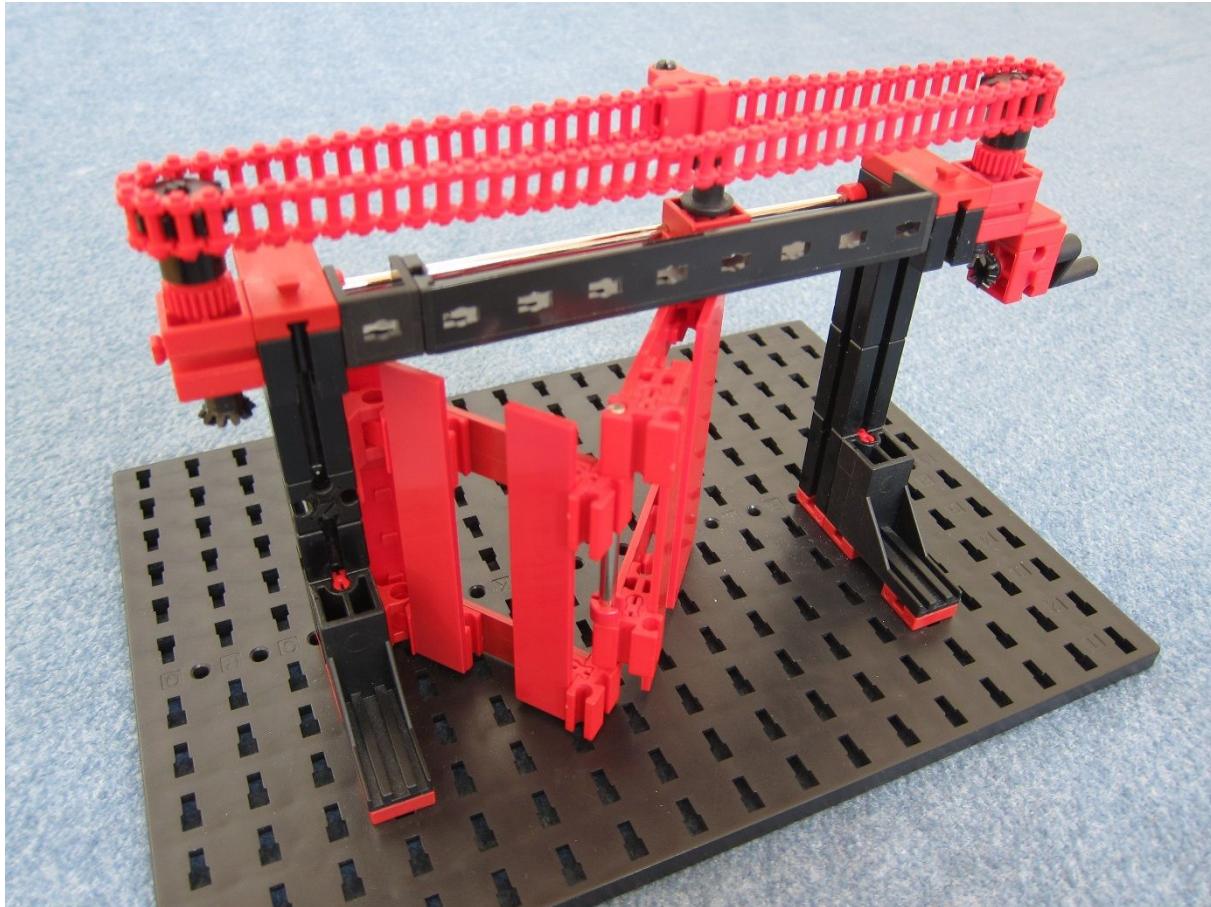


Abb. 25: Rückansicht der gesamten Falttür

Modell

## Teilchenbeschleuniger

Rüdiger Riedel

*Sie gehören zu den größten Maschinen überhaupt, aber sehen kann man sie kaum: Die großen Ringanlagen der Teilchenbeschleuniger. Die weltgrößte dieser Anlagen, CERN, auf französischem und Schweizer Gebiet gelegen, befindet sich mit den wesentlichen Geräten etwa 100 m unter der Erde. Da die Internet-Informationen des CERN sehr unübersichtlich sind, beschreibe ich kurz die kleinere, teilweise stillgelegte Anlage Fermilab [1]. Ziel ist der Bau einer fischertechnik-Demonstrations-Beschleunigeranlage.*

### Elektronenvolt

Wird ein Elektron (allgemein ein geladenes Teilchen) durch eine Spannung von 1 V beschleunigt, vergrößert sich seine Energie um 1 eV (ein Elektronenvolt) und es erhält einen Geschwindigkeitszuwachs. Dieser berechnet sich aus der kinetischen Energie  $W$  mit

$$W = \frac{1}{2}mv^2$$

zu

$$v = \sqrt{\frac{2W}{m}}$$

und mit der Energie in Joule

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

sowie der Masse des Elektrons

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

zu

$$v = 0,6 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 600 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

(Alle Zahlenwerte sind leicht gerundet.)

Mit einer Spannung von 500 V kann ein Elektron also von Null auf 13.000 km/s beschleunigt werden, und mit einer Spannung von 250.000 V (Größenordnung unserer

Hochspannungs-Leitungen) auf 300.000 km/s, das wäre Lichtgeschwindigkeit. Tatsächlich lässt sich o. g. Formel bereits bei Spannungen ab 1.000 V nicht mehr anwenden; vielmehr ist dann die Einsteinsche Relativitätstheorie zu berücksichtigen, wodurch die Teilchen nie Lichtgeschwindigkeit erreichen können. Es steigt vielmehr die Teilchenenergie mit der Spannung an und damit auch die Masse gemäß

$$E = mc^2 \Leftrightarrow m = \frac{E}{c^2}$$

Diese Energie wächst proportional mit der Beschleunigungsspannung und kann auch portionsweise ansteigen. Dabei ist es gleich, ob ein Teilchen einmal 1 MV (Megavolt = 1 Million Volt) durchläuft oder 1.000 mal 1 kV (Kilovolt = tausend Volt). Das wiederum kann in gerader Linie mit 1.000 Beschleunigungseinheiten oder im Kreis erfolgen, dann mit weniger Einheiten, die mehrmals durchlaufen werden. Das erste ist ein Linearbeschleuniger, das zweite ein Ringbeschleuniger.

In Abb. 1 starten die elektrisch geladenen Teilchen bei dem roten Dreieck, dort befindet sich die Ionenquelle *Ion Source*, z. B. für Protonen. Es folgt der Linearbeschleuniger *Linac*, rund 170 m lang. Der Booster

erhöht die Energie auf 8 GeV (Giga-Elektronenvolt, eine Milliarde eV), was bereits für Myon-Experimente ausreicht.

Der *Recycler* formt den Protonenstrahl so um, dass er zum Einschuss in den *Main Injector* geeignet ist. Der Main Injector befindet sich unterhalb des Recyclers, er erhöht die Strahlenergie von 8 GeV auf 120 GeV. Beide Ringe haben einen Durchmesser von etwa 1 km.

Die von einem Teil des Protonenstrahls erzeugten Pionen zerfallen zu Myonen, und diese werden im *Muon Delivery Ring* aufgefangen und zu den Experimenten geleitet.

Die Ausgänge der Ringanlage bezeichnen die Experimentier-Stationen: *Fixed Target Experiments*, *Myon Experiments*, *High-Energy Neutrino Experiments*, *Low-Energy Neutrino Experiments*.

Mit wesentlich kleineren Dimensionen kommt die medizinische Strahlentherapie aus. Das Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum

(HIT) besitzt einen 5 m langen

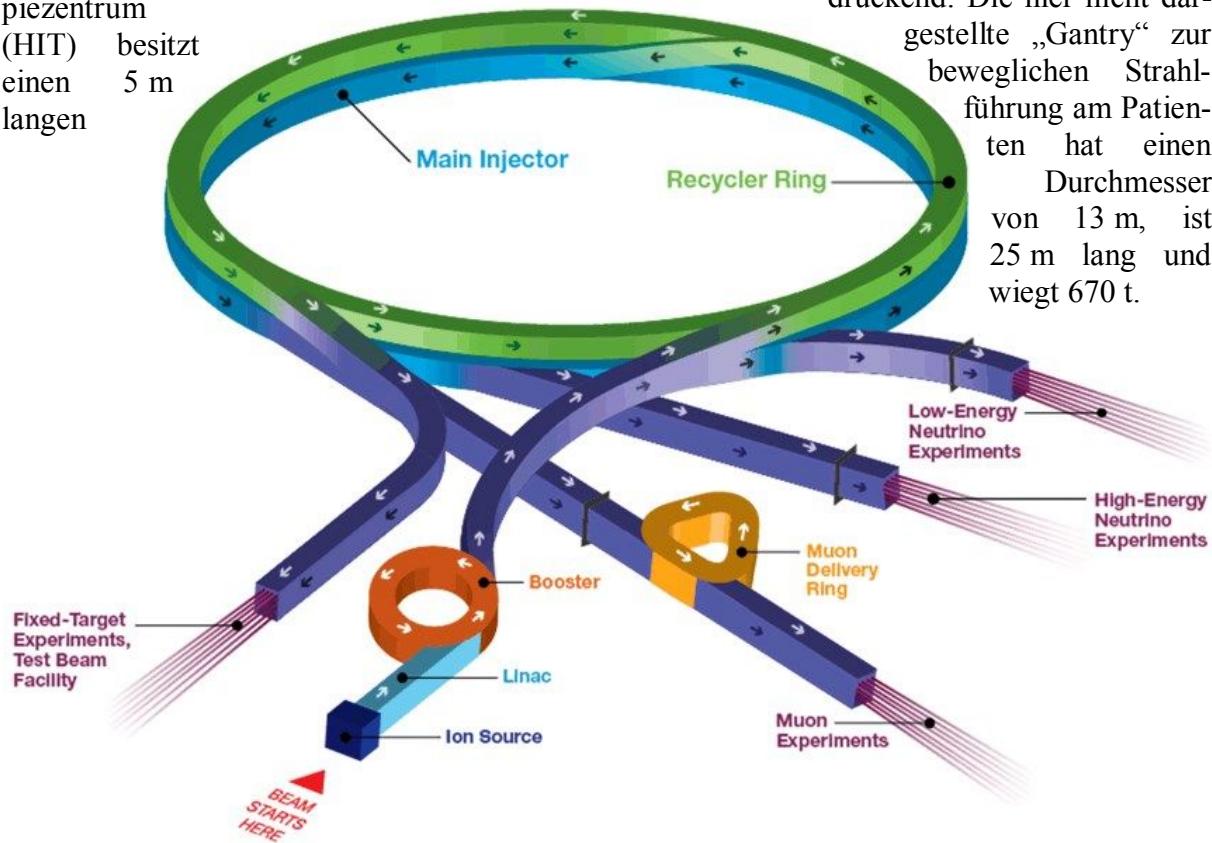


Abb. 1: Die Ringanlage des Fermilab, USA

Linearbeschleuniger und anschließend ein Synchrotron mit etwa 20 m Durchmesser:



Abb. 2: Der Ionenbeschleuniger HIT [2]

Dort werden die Ionen (Protonen oder Kohlenstoff-Ionen) auf etwa 75 % der Lichtgeschwindigkeit gebracht. Dabei werden Teilchen-Energien von 48 bis 221 MeV bei Protonen und 1,06 bis 5,16 GeV bei Kohlenstoff erreicht. Für Experimente und klinische Studien werden auch Helium- und Sauerstoff-Ionen eingesetzt.

Die Dimensionen sind auch hier beeindruckend: Die hier nicht dargestellte „Gantry“ zur beweglichen Strahlführung am Patienten hat einen Durchmesser von 13 m, ist 25 m lang und wiegt 670 t.

## Der fischertechnik-Teilchenbeschleuniger

Im Gegensatz zu den Teilchenbeschleunigern in Physik, Technik und Medizin arbeiten wir nicht mit elektrischen oder elektromagnetischen Feldern, sondern mit potentieller Energie, bereitgestellt durch Dauermagnete.

Als Teilchen verwenden wir die Metallkugel 12 ([144262](#)). Die acht Flexprofile 180 ([143234](#)) und die Weiche für die Kreisbahn sind an einem Ring aus S-Bogenstücken 30° und den zugehörigen Flachträgern mit Hilfe von S-Riegelsteinen ([32850](#)) befestigt.

Die „Ionenquelle“, also der Start, besteht aus einer Flexschiene 90, die als Wippe ausgebildet ist.

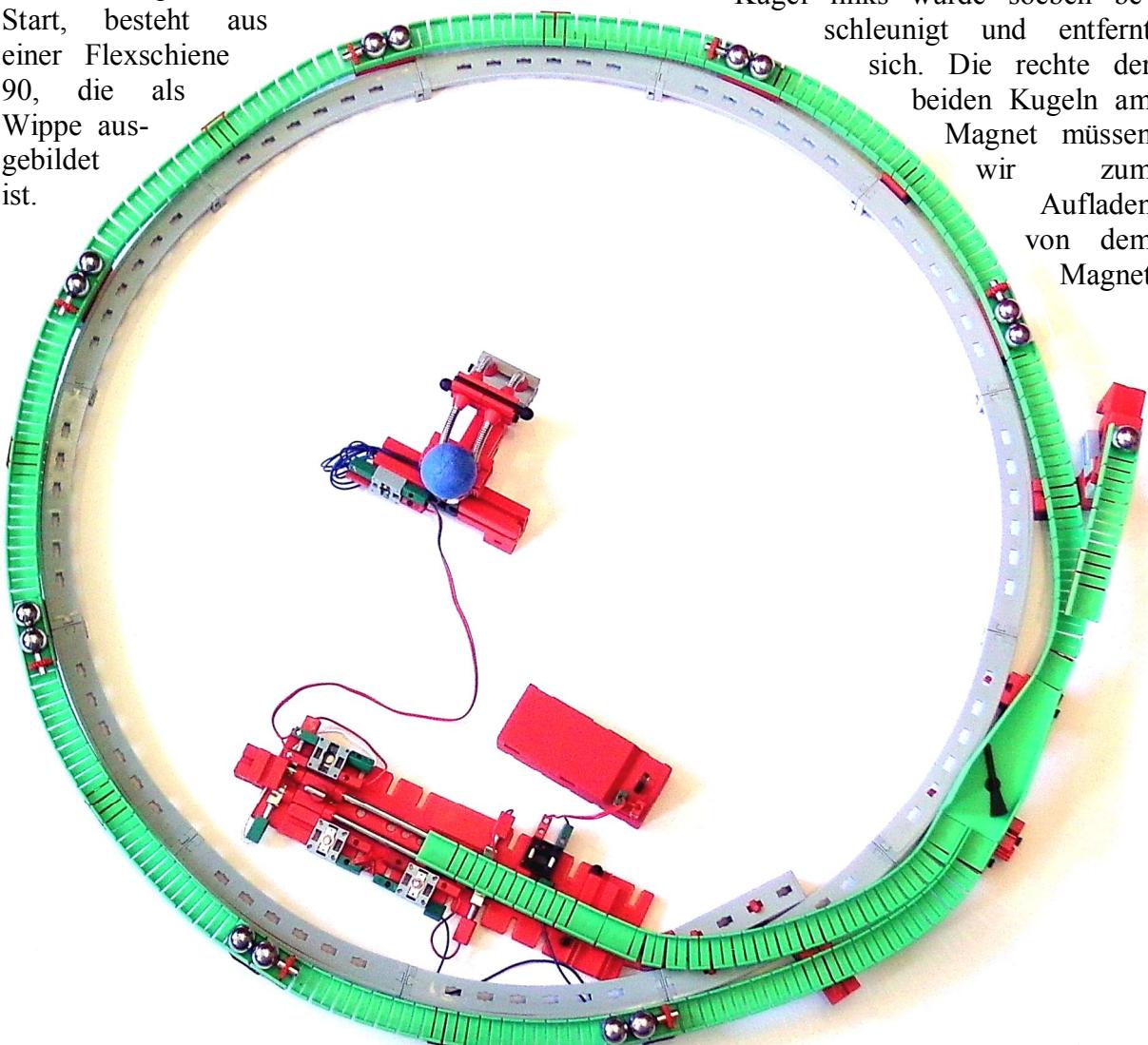


Abb. 3: Der fischertechnik-Teilchenbeschleuniger, geladen für den nächsten Schuss

Nach einmaliger Umkreisung erfolgt die Ausschleusung der „Ionen“ an der Weiche zum „Experiment“, welches wegen der „Atomzertrümmerung“ etwas abseits aufgestellt ist.

## Beschleunigermagnete

Zur Beschleunigung der Stahlkugeln verwende ich die schon bekannten Neodym-Magnete mit 4 mm Durchmesser und 10 mm Länge [3]. Die Magnete erhalten je eine Riegelscheibe, damit sie ungefähr waagerecht stehen.

## Woher kommt die Energie?

Dazu betrachten wir Abb. 4 unten: Die Kugel links wurde soeben beschleunigt und entfernt sich. Die rechte der beiden Kugeln am Magnet müssen wir zum Aufladen von dem Magnet

entfernen. Die dazu nötige Energie kann beim Aufprall einer Kugel wieder frei werden.

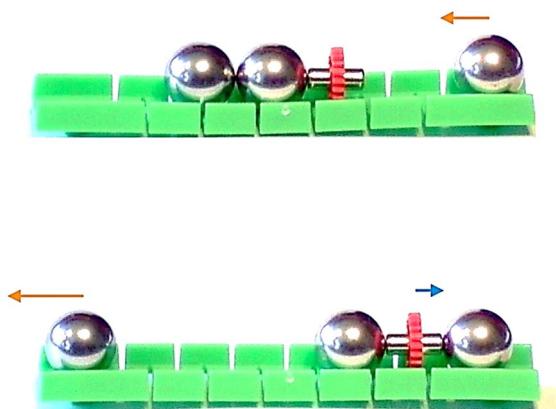


Abb. 4: Beschleunigermagnet, oben betriebsbereit, unten entladen

Die entfernte Kugel wird an die Kugel links vom Magnet angelehnt (Abb. 4 oben). Die Kugel direkt am Magnet dient dazu, die zweite, die „Arbeitskugel“, leicht abtrennbar festzuhalten.

### **Der elastische Stoß**

Rollt jetzt die ankommende Kugel (Abb. 4, oben rechts) mit einer gewissen Geschwindigkeit auf den Magnet zu, wird sie von diesem zusätzlich angezogen, beschleunigt und trifft auf den Magnet. Es erfolgt ein elastischer Stoß, dessen Impuls sich durch den Magnet und die erste Kugel auf die zweite überträgt. Diese wird nun abgestoßen und rollt bis zur nächsten Beschleunigerstation. Wegen des Impuls-Erhaltungssatzes bekommen auch die beiden übrigen Kugeln zusammen mit dem Magnet einen „Schubs“ in die entgegen gesetzte Richtung. Die Längen der Pfeile in Abb. 4 sollen die Geschwindigkeitsgrößen veranschaulichen.

### **Verlustquellen**

Leider haben wir zusätzlich zur Rollreibung eine große Verlustquelle: Die Rotationsenergie der rollenden Kugeln. Die ankommende Kugel besitzt Bewegungsenergie parallel zur Schiene und Rotationsenergie durch die Drehung beim Rollen. Diese

Rotationsenergie wird beim Aufprall auf den Magnet praktisch vollständig in Wärme umgewandelt. Die übertragene Stoßenergie auf die abgehende Kugel teilt sich wieder auf in Bewegungsenergie parallel zur Schiene und Rotationsenergie durch die Drehung.

### **Das Experiment**

Das Ziel der großen Teilchenbeschleuniger ist, wie man früher sagte, die Kernzertrümmerung, heute nennt man das weniger aufregend „Experiment“. Auch mit unserem Beschleuniger soll im Ziel etwas Auffälliges passieren.

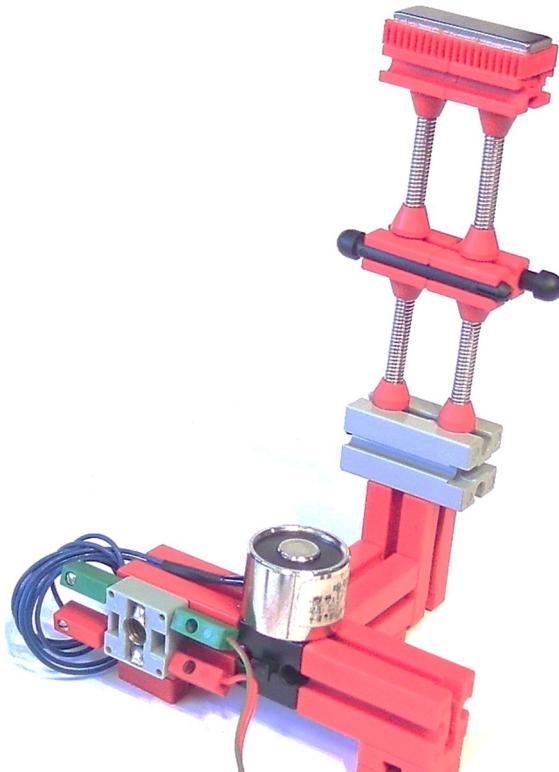


Abb. 5: Das „Experiment“

Dazu werden vier Federfüße (31307) paarweise mit Bausteinen 7,5 zu einer größeren Feder verbaut. Am Ende wird, wieder mit Bausteinen 7,5, eine Rückschlussplatte ([31325](#)) befestigt und zwei Klemmhülsen ([35980](#)) zur Aufnahme des Wurf-Gegenstands – in Abb. 6 ist das eine Wattekugel.

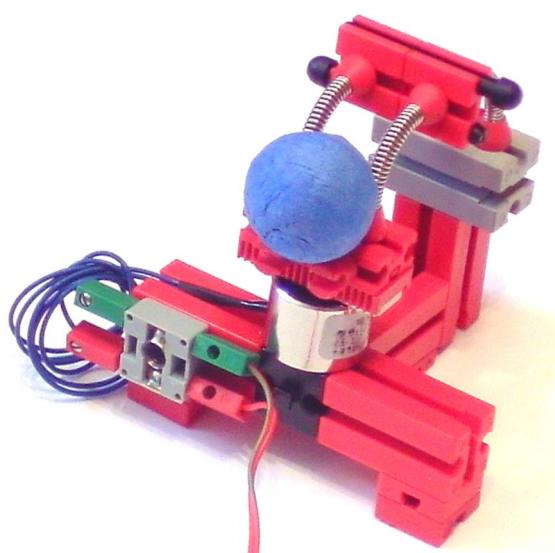


Abb. 6: Das Experiment ist geladen

Wenn der Topfmagnet ([142504](#) oder „China-Magnet“) oder der alte Elektromagnet ([31324](#) oder [32363](#)) unter Spannung steht, wird das Federpaket nach unten gebogen, bis die Rückschlussplatte satt aufliegt und festgehalten wird. Die Stromversorgung übernimmt eine Batterie, ein Netzgerät geht natürlich genauso gut.

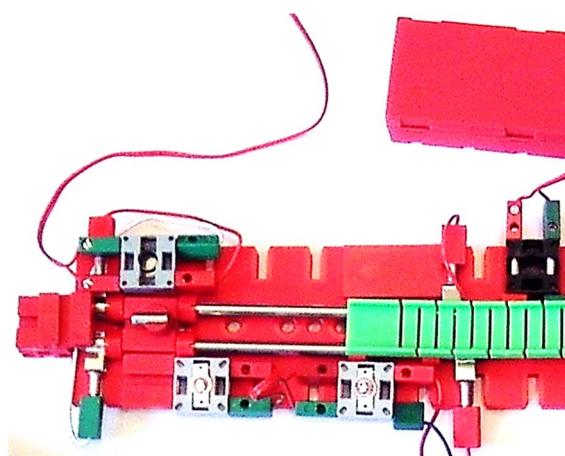


Abb. 7: Auslösung des Experiments

Zwei Achsen 110 in Bausteinen 7,5 bilden die Fortsetzung der Flexschiene, sie enden wieder in einem Baustein 7,5, auf dem mit einer Klemmhülse ein Stabmagnet befestigt ist. Rollt nun eine Kugel auf die Achsen, erfolgt ein Kurzschluss des Elektromagnets. Das Federpaket löst die Rückschlussplatte und wirft die Wattekugel fort. Abb. 8 erläutert die Schaltung.

Im aktiven Zustand fließt der Strom durch den Elektromagnet und den Vorwiderstand aus zwei parallel geschalteten 9 V-Glühbirnchen ([37869](#)). Rollt die Kugel nun von der Flexschiene auf die Achsen, wird der Elektromagnet kurzgeschlossen und löst aus. Die beiden Lämpchen leuchten kurz hell auf. Die Kugel rollt weiter, bis sie von dem Stabmagnet am Ende hochgehoben und festgehalten wird. Die Batterie bzw. die Stromversorgung kann jetzt abgeschaltet werden.

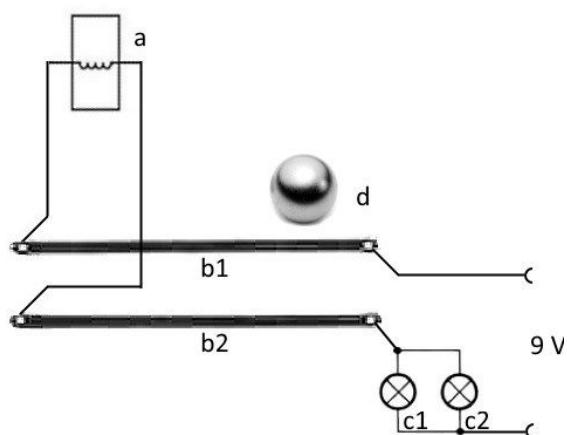


Abb. 8: Schaltbild

Erläuterung zu Abb. 8:

- a = der Elektromagnet
- b = die beiden Achsen als Stromschienen
- c = die parallel geschalteten Lämpchen
- d = die kurzschließende Kugel

Der Stromanschluss an die Achsen erfolgt mit Hilfe von Klemmkontakten ([31338](#)).

Die Beschreibung der Anlage habe ich bewusst knapp gehalten. Sie soll eher eine Anregung darstellen und nicht eine detaillierte Bauanleitung sein. Man kann z. B. eine zweite Weiche ohne Zunge umgekehrt einbauen und mit einem „Linearbeschleuniger“ das Teilchen in die Kreisbahn einschleusen. Die Startwippe entfällt dann.

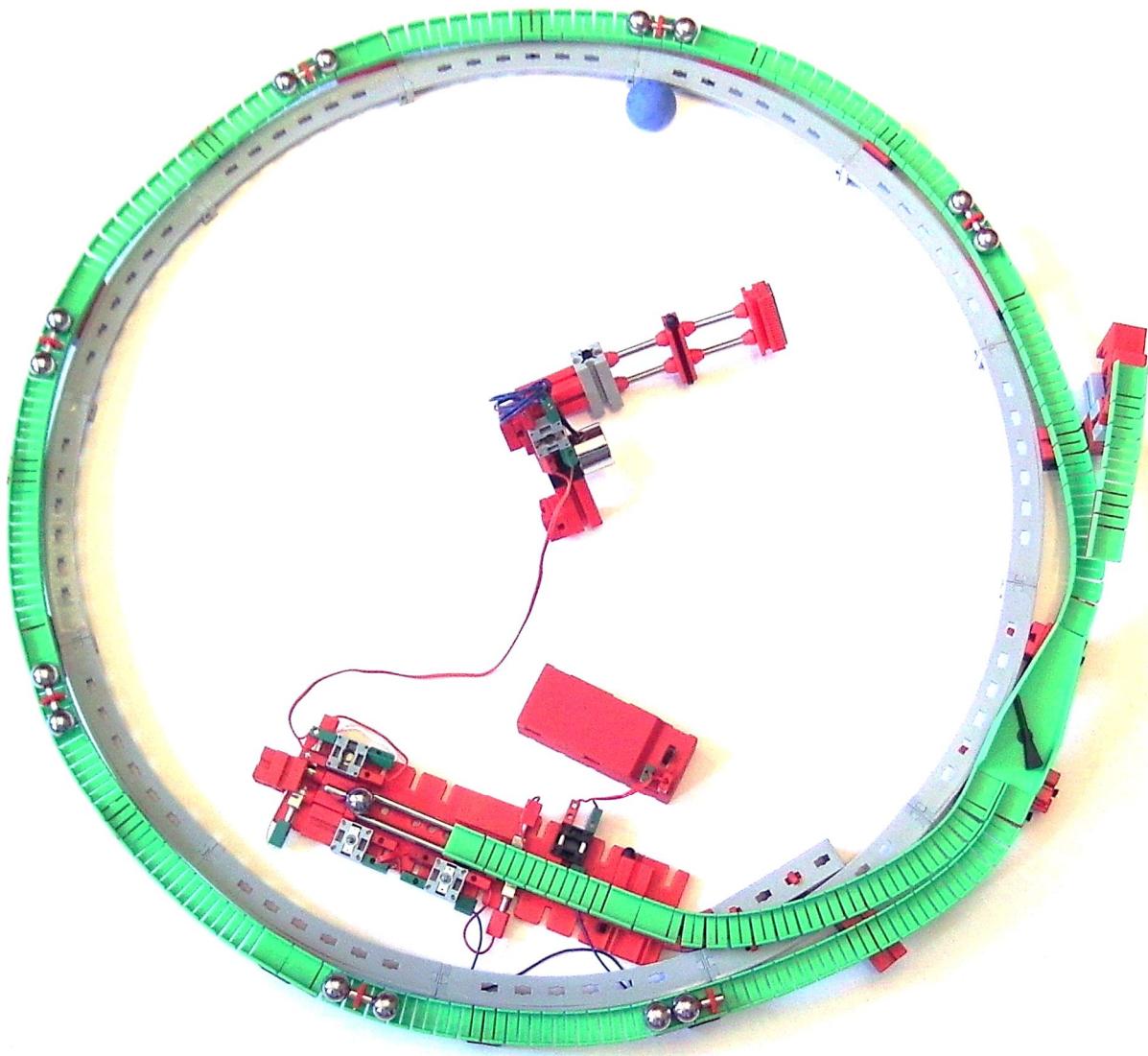


Abb. 9: Die Anlage nach dem Schuss

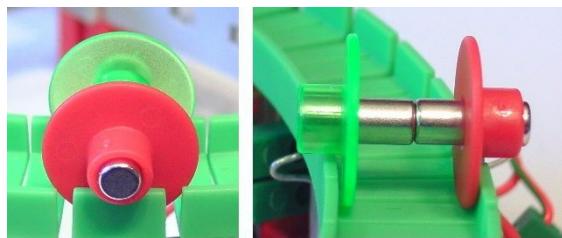
## Das Miniatur-Synchrotron

Nach dem Ein-Schuss-Teilchenbeschleuniger war die nächste Herausforderung ein kontinuierlich arbeitendes Synchrotron oder genauer: ein Speicherring. Das ist ein Gerät, in dem die Teilchen-Geschwindigkeit und damit auch die Teilchen-Energie konstant bleibt und an verschiedenen Stellen Kollisionen herbeigeführt werden. Die dabei entstehenden neuen Teilchen werden in aufwendigen Experimenten untersucht.

Das fischertechnik-Synchrotron bewegt ein Teilchen mit vier Elektromagneten auf einer kreisförmigen Bahn, bestehend aus

vier Flexprofilen 180. Auf Kollisionen und Experimente habe ich verzichtet. Da die Masse des Teilchens viel geringer ist als die der Metallkugel 12, gelingt die Ausschleusung mit der Weiche nicht, es kann die Zunge der Weiche nicht betätigen.

Der Pfeil in Abb. 10 deutet auf das „dahin flitzende“ Teilchen, es bewegt sich entgegen dem Uhrzeigersinn. Das Teilchen besteht aus zwei der bekannten Stabmagnete und zwei Hülsen mit Scheibe 15 ([35981](#) bzw. [36701](#)). Wegen der Polung der Elektromagnete läuft mein Teilchen nur um, wenn sich die rote Hülse außen befindet.



*Abb. 11: Das Teilchen des fischertechnik-Synchrotrons*

Das Antriebsprinzip ist das gleiche wie beim Gleichstrommotor in [4]: Wenn sich das Teilchen (der Stabmagnet) dem Reedkontakt ([36783](#)) nähert, schließen dessen Kontakte und schalten den Elektromagnet ein ([31324](#) oder [32363](#)). Der Stabmagnet auf seinen Rädern wird angezogen, kurz vor Erreichen des Elektromagnets schaltet der Reedkontakt ab und das „Teilchen“ rollt weiter bis zum nächsten Beschleunigungs-Magnet.

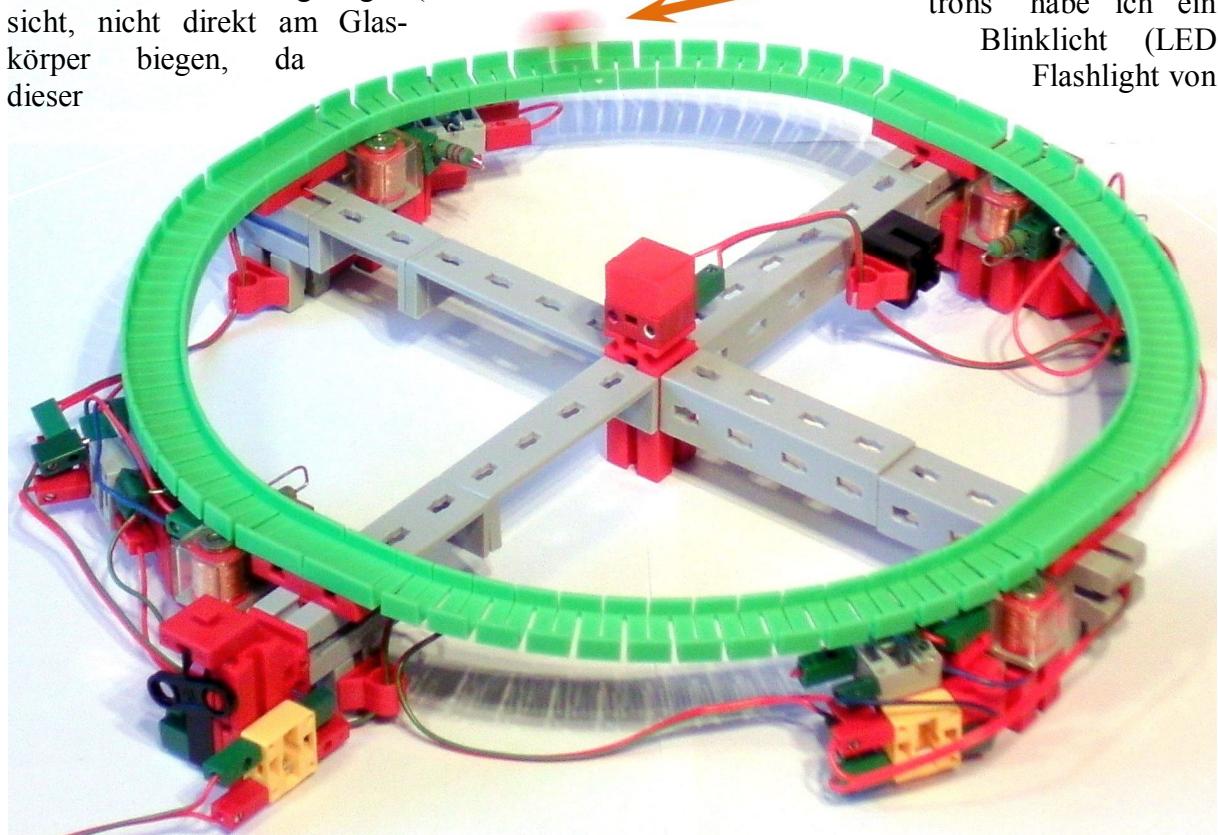
Der rote Pfeil in Bild 12 zeigt auf den Reedkontakt ([36783](#)), der blaue auf den Elektromagnet. Die Anschlussdrähte des Reedkontakte habe ich umgebogen (Vorsicht, nicht direkt am Glaskörper biegen, da dieser

aufbrechen könnte, sondern mit einer schmalen Flachzange Biegekräfte vom Glas fernhalten) und jeweils zwischen ein Röhrchen und die Außenwand eines Leuchtenstein-Sockels ([38217](#)) gesteckt. Schiebt man das „Teilchen“ langsam über den Kontakt, hört man wie er schließt und wieder öffnet. Der Kontakt wird entsprechend den Maßnahmen in [4] gegen die Überspannungen des Elektromagnets geschützt.



*Abb. 12: Der Elektromagnet als Beschleuniger*

In der Mitte des „Synchrotrons“ habe ich ein Blinklicht (LED Flashlight von



*Abb. 10: Das fischertechnik-Synchrotron*

Fischerfriendsman) angebracht, das den Betrieb anzeigen.

Die Anlage läuft mit 11 – 12 V Spannung; dem Blinklicht macht die leicht überhöhte Spannung nichts aus.

### **Der Topfmagnet als Beschleuniger**

Um den Topfmagnet verwenden zu können, brauchen wir ein anderes „Teilchen“.

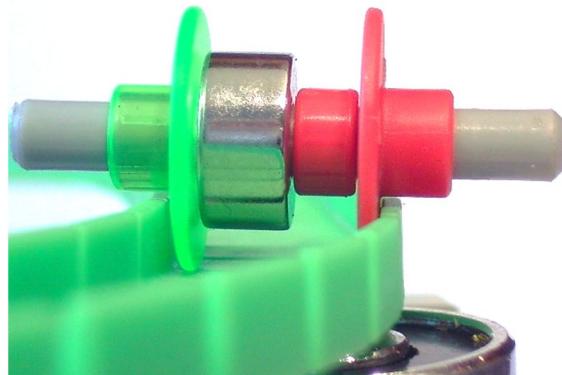


Abb. 13: Das Teilchen für den Topfmagnet

Es besteht aus einem Ringmagnet mit 10 mm Außen- und 4 mm Innendurchmesser sowie einer Stärke von 5 mm. Zusammen mit einem Abstanderring ([31597](#)) wird er auf eine Kunststoffachse zwischen die beiden Hülsen gesteckt.



Abb. 14: Der Topfmagnet als Beschleuniger

Der Ringmagnet muss sich auf der Innenseite der Bahn befinden, sonst fliegt das Teilchen aus der Kurve.

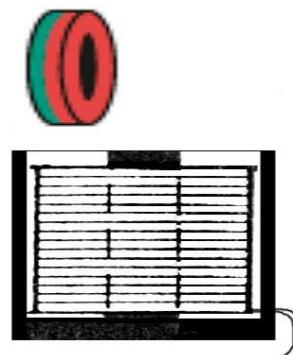


Abb. 15: Ausrichtung des Topfmagnets zum Ringmagnet

Die seitliche Ausrichtung des Topfmagnets muss man ausprobieren; der Ringmagnet sollte ungefähr zwischen Kern und einer Außenseite drüber rollen (siehe Abb. 15).

Im Gegensatz zum Elektromagnet in Abb. 12 muss der Topfmagnet einen gewissen Abstand zur oberhalb verlaufenden Flexschiene haben (siehe Abb. 14). Ist er zu dicht oben, dann neigt das Teilchen zum „kleben“.

### **Quellen**

- [1] [Fermilab](#).
- [2] Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum (HIT), [Bauamtsbroschüre](#).
- [3] Dirk Fox, Thomas Püttmann: [Technikgeschichte mit fischertechnik](#). dpunkt.verlag, Heidelberg, 2015.
- [4] Rüdiger Riedel: *Funktionsmodelle von Gleich- und Wechselstrommotoren*. [ft:pedia 4/2016](#), S. 52-58.

Modell

## Power-Synchronmotor

Gerhard Birkenstock

In der ft:pedia wurden schon einige richtig schöne Projekte mit Synchronmotoren gezeigt. Oft benötigen diese jedoch besondere Bauteile (z. B. Stabmagnete, Spulen, große Räder). Auch das Starten der Synchronmotoren verlangt etwas Geschick: Sie wollen mit geübter Hand in Schwung gebracht werden. Ich möchte euch hier eine andere Möglichkeit aufzeigen: Ein normaler Gleichstrommotor soll der Antrieb sein, mit Kraft und Präzision aus dem Stand heraus. Einschalten – läuft!

### Die Konstruktionsidee

Die fischertechnik-Motoren werden mit Gleichstrom betrieben. Um die Drehzahl zu regeln muss die Spannung beeinflusst werden. Dies werden wir mit Software und einem ROBO TX Controller (oder Nachfolger) realisieren. Die interne Uhr des TX Controllers soll dabei im ersten Schritt als Referenz dienen. Die Uhr liefert den Referenztakt in Form von Sekundenschritten.

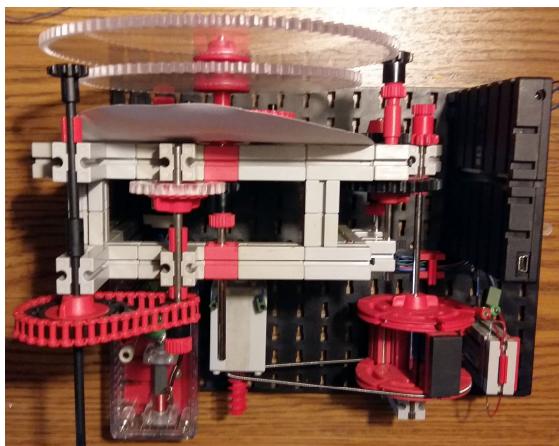


Abb. 1: Gesamtansicht der Uhr  
(nach dem Modell aus [2])

Da der Elektromotor keine Umdrehungssignale zurückgibt, muss diese Information an der Sekundenwelle des Modells abgegriffen werden. Zwischen Sekundenwelle und Motor ist die Übersetzung so zu wählen,

dass der Motor mit einer moderaten Drehzahl laufen kann. Sie sollte nicht zu groß sein, der Motor würde sonst unnötig schnell drehen. Aber auch nicht zu langsam, so dass er eine dem Modell angemessene Leistung abgeben kann.

### Die Software

Die Software hat nun die Aufgabe, das Uhrensignal mit der Sekundenwelle zu vergleichen und den Motor zu regeln. Läuft die Sekundenwelle zu langsam, muss die Spannung am Motor größer werden. Läuft die Sekundenwelle hingegen zu schnell, ist die Motorspannung zu reduzieren.

Um eine möglichst feinfühlige Regelung zu erhalten, habe ich den Ausgang des TX Controllers auf 512 Stufen gestellt. Mit der einfachen Abstufung in acht Schritten würde die Regelung sehr ruppig ausfallen.

Um eine gute Ganggenauigkeit zu erzielen werden wir die Impulse der Sekunden und die der Sekundenwelle getrennt summieren. Die Differenz der beiden Summen ist die Gangabweichung. Diese gilt es stetig auf Null zu bringen. Je größer die Gangabweichung, desto größer muss die Anpassung der Regelgröße sein.

Nach dem Start muss der Motor erst an Drehzahl gewinnen. In diesem Moment wird die Gangabweichung am größten sein.

Nach weiteren Sekunden kommt es zur Ausregelung. Da wir die Sekunden zählen, läuft der Motor mit sehr guter Langzeitpräzision. Durch das Zählen von jedem Impuls wird keine Sekunde vergessen. Auch bei wechselnder Last wird die angelegte Spannung nachgestellt.

Auf der Anzeige des TX Controllers sind in der ersten Zeile die Ist-Impulse (fischertechnik-Uhr) zu sehen. Gleich darunter sind die Soll-Impulse (Quarz) dargestellt. Die berechnete Differenz wird darunter angezeigt.

Die letzte Zeile gibt die Regelgröße aus. Der Wert kann zwischen 0 und 512 variieren. Hier kann man erkennen, welche Leistung der Motor in das fischertechnik-Modell abgeben muss. Sollte sich hier eine große Spannung einstellen, ist die Übersetzung noch einmal zu überdenken.

Das ROBO Pro-Programm in Abb. 2 zeigt eine Steuerung: Die Zeit auf der fischertechnik-Uhr läuft stetig um die Schritte der Leistungsabgabe hinter der Quarzzeit nach.

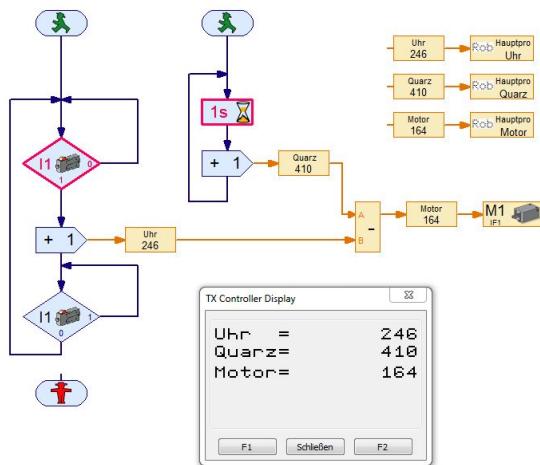


Abb. 2: Einfache Steuerung

Diese Steuerung ist jedoch sehr stabil. Es kommt zu keinem Aufschaukeln oder Übersteuern der Zeitdarstellung.

Eine echte Regelung stellt das ROBO Pro-Programm in Abb. 3 dar.

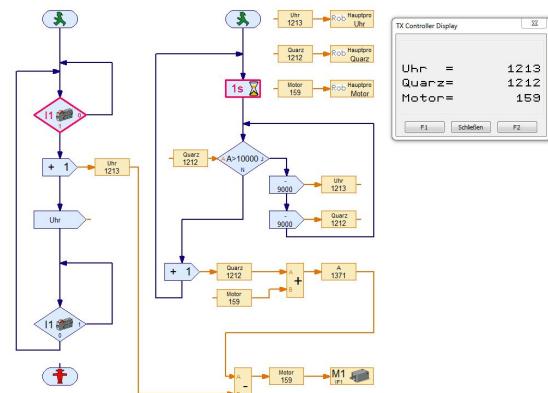


Abb. 3: Regelung

In diesem Regelkreis wird die angesteuerte Leistung zum Motor wieder aus der Regelgröße heraus gerechnet. Die Uhr läuft dann genau neben der Quarzuhr mit. Bevor die Regelung zur Ruhe kommt, kann es ein paar Mal zu einem Übersteuern kommen. Abhilfe würde hier eine Mittelwertbildung schaffen.

### DCF77

Noch präziser geht es mit dem echten Zeitzeichensignal. Jede Sekunde wird ein Impuls über Funk geliefert. Es gibt nichts Genaueres, was man als Privatmenschen bekommen kann. Das Modul mit Spannung versorgen und das Signal an den Eingang 2 legen. Aber ein kleines Problem bringt dieses Signal mit sich: Wie in der ft:pedia 3/2012 zu lesen, wird zur Synchronisation immer die 59ste Sekunde ausgelassenen [1].

Zur Lösung dieses Problems gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder wird bei jeder 59sten Sekunde auch ein Impuls der Sekundenwelle herausgerechnet. Oder es wird bei der Zeit eine Sekunde hinzugenommen. Ich habe hier die zweite Lösung gewählt: Nach 59 Sekundenimpulsen wird einfach noch ein 60ster hinzugezählt.

Für die beiden Zähler habe ich eine Variable mit ganzen Zahlen gewählt. Nach 32767 Sekunden würde es dadurch zum Überlauf kommen. Diesem Problem komme ich mit einer Abfrage zuvor. Wird die Variable

größer als 10.000, werden bei beiden Zählern (Quarz und Uhr) jeweils 900 Impulse ab gezogen. Die Zeitwaage bleibt dadurch unverändert. Da der TX Controller dies sehr schnell macht, kommt es zu keinem Ausfall oder Ruckeln des Systems.

Da bei dieser Anwendung die Signale im Sekundentakt ankommen, kann man sehr schön die Regelung beobachten. Mit der Funktion „Liste“ von ROBO Pro ist man in der Lage, das Regelverhalten auf dem PC abzuspeichern und mittels Excel in einer Kurve darzustellen. Die unterschiedlichen Regelalgorithmen können so auf ihre Wirkungsweise hin untersucht werden.

Als Beispiel habe ich in Abb. 4 den Kurvenverlauf des Startverhaltens der einfachen Steuerung dargestellt. Die blaue Linie gibt die Sollgröße, also die vom Programm oder von der DCF77-Uhr gelieferten Sekunden wieder. Dies liefert, wie zu erwarten, einen linearen Kurvenverlauf. In den ersten 100 Sekunden wird die Regelgröße aufgebaut. Der Gleichstrommotor läuft noch nicht an. Ab der Stellgröße 110 beginnt der Motor

sich zu drehen und die ersten Impulse der Sekundenwelle werden gezählt. Durch die Berechnung der Differenz geht die Uhr um den Betrag der Stellgröße nach. Mittels einer Konstante (in diesem Fall ein Wert von 150) kann man die Abweichung fast kompensieren. Dies geht jedoch nicht komplett. Wenn man sich die grüne Linie sich genau ansieht, erkennt man, dass sie wieder abfällt. Das kommt von den sich erwärmenden Bauteilen wie Motor und Lagerstellen. Auch beginnt das von mir verwendete Schmiermittel in den Lagern der fischertechnik-Steine seinen Schmierfilm aufzubauen. All dies kann man aus der Leistungscurve, also der Regelgröße, ableiten.

## Referenzen

- [1] Dirk Fox, Dirk Ottensmeyer: *Bau einer Funkuhr*. ft:pedia 3/2012, S. 4-10.
- [2] Gerhard Birkenstock: *Uhrwerk mit Z80 und Z100*. ft:pedia 4/2014, S. 20-24.

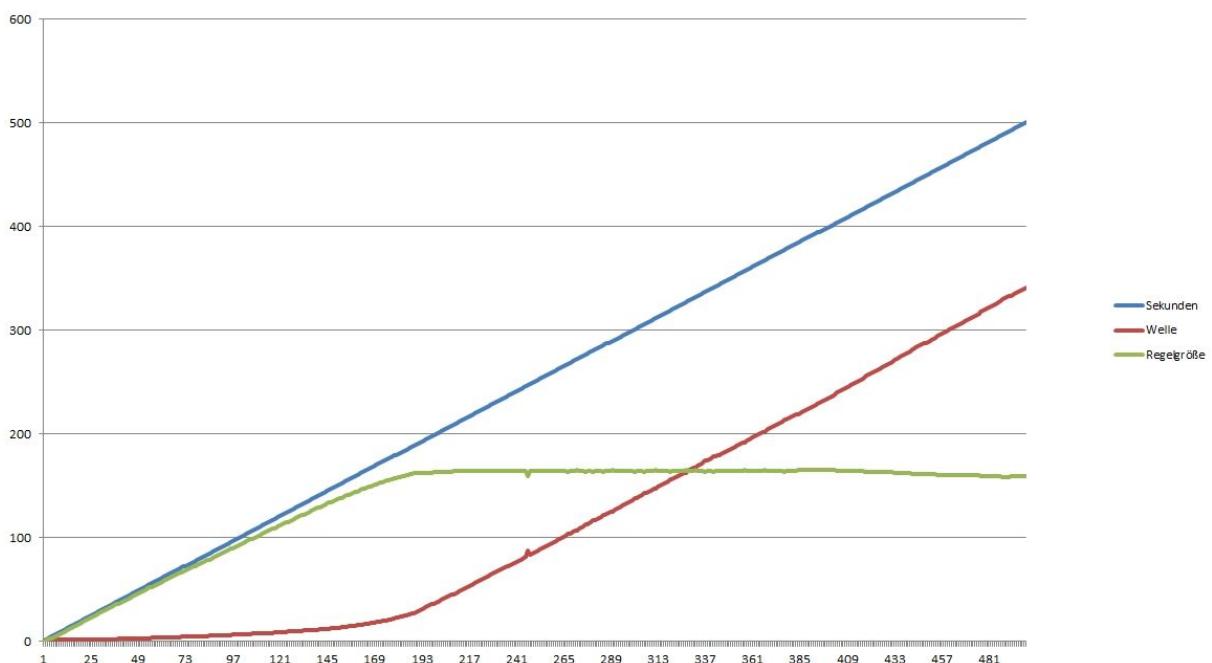


Abb. 4: Zeitverhalten der einfachen Steuerung

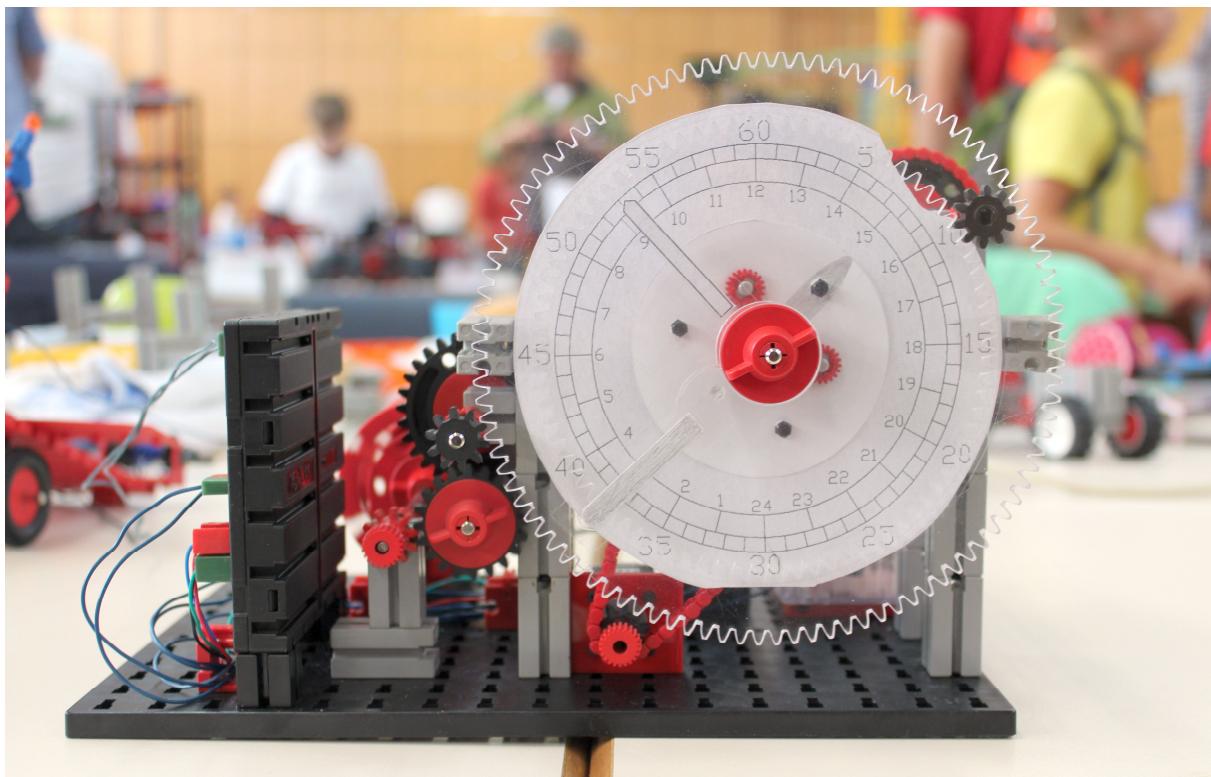


Abb. 5: Gesamtansicht der Uhr

Elektrotechnik

## Von Faraday zum Boost-Converter

Stefan Krause

*Strom erweckt viele fischertechnik-Modelle erst so recht zum Leben. Dafür muss die Netzspannung von gefährlichen 230 V auf ungefährliche 9 Volt reduziert werden. Wie geht das, was hat sich da im Laufe der fischertechnik-Geschichte getan? Nach einem Blick auf die Funktionsweise der fischertechnik-Netzgeräte gibt es zum Schluss einen Basteltipp, der noch mehr Spannung herausholt.*

### Warnung!

230 V sind lebensgefährlich! Von Experimenten mit Netzspannung oder dem Öffnen von Netzgeräten wird dringend abgeraten. Die Abbildungen von geöffneten Netzgeräten im Beitrag sollen das verborgene Innenleben zeigen und nicht zum Nachmachen anregen.

### Trafos

Da steht es nun, das neue fischertechnik-Modell. Nur der Motor dreht sich noch nicht, es fehlen die Kabel. Ohne diese Kabel wird es nicht gehen. Klar, Strom kann schließlich nicht fliegen. Oder doch?

Manchmal scheint Strom doch fliegen zu können. In unserem Beispiel wird sich zwar der Motor ohne Kabel zum Netzgerät nie in Bewegung setzen, aber wenn wir aus Draht eine Spulewickeln und dann eine zweite danebenhalten, kann so eine elektrische Spannung übertragen werden. Am besten funktioniert das, wenn beide Spulen auf einem gemeinsamen Eisenkern stecken. Bei Faraday sah dieser Versuch 1831 wie in Abb. 1 gezeigt aus.

Jedes Mal, wenn Faraday die Spule auf der einen Seite mit der Batterie verband, gab es einen ganz kurzen Spannungsstoß in der anderen Spule. Beim Entfernen der Batterie

gab es wieder einen Spannungsstoß, diesmal in die andere Richtung.

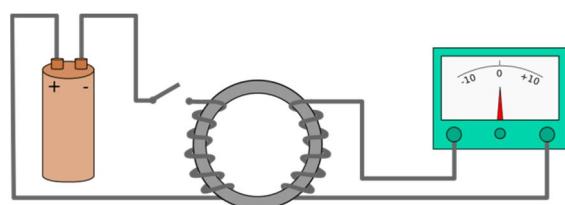


Abb. 1: Zeichnung von Faradays historischem Experimentalaufbau [1]

Faraday wusste, dass jeder stromdurchflossene Leiter von einem elektromagnetischen Feld umgeben ist. Bleibt die Batterie an die Spule angeschlossen, fließt weiter Strom und gibt es auch ein elektromagnetisches Feld. Nur am Messgerät der zweiten Spule ist davon nichts zu sehen.



Abb. 2: Michael Faraday [2]

Ein elektromagnetisches Feld reicht also offensichtlich nicht in jedem Fall. Faraday erkannte, dass erst die Änderung eines magnetischen Feldes eine elektrische Spannung erzeugt. Dieser Effekt wird *elektromagnetische Induktion* genannt.

Wie sieht es nun in einem Trafo aus? Nehmen wir einen von fischertechnik. Den Trafo 814 werden die Älteren unter uns fischertechnikern noch kennen. Typisch für ältere Netzgeräte steckt im Inneren ein gewickelter Transformator. Die Netzspannung liegt direkt an einer Wicklung, der Primärwicklung, an. An einer zweiten Wicklung, der Sekundärwicklung, wird die Niederspannung abgenommen. Berührungslos wird hier mittels eines elektromagnetischen Feldes Spannung von der einen auf die andere Wicklung übertragen.



Abb. 3: fischertechnik-Transformator Typ 814

Wie gezeigt muss sich dafür das elektromagnetische Feld ständig ändern. Da unsere Spannung aus der Steckdose schon eine Wechselspannung ist, funktioniert das automatisch. Praktisch! Die Netzspannung ist eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Effektivspannung von 230 V und 50 Hz. Die Spannung ändert sich also 100mal pro Sekunde und erreicht dabei einen Scheitelwert von  $\sqrt{2} \cdot 230V = 325V$ . Der Spannungsänderung folgt die Stromänderung und der Stromänderung folgt das magnetische Feld. Da die Primärwicklung direkt an der Netzspannung hängt, wird also

100-mal pro Sekunde ein Magnetfeld auf und wieder abgebaut. Diese ständige Änderung des Magnetfeldes induziert in der Sekundärwicklung wiederum eine Wechselspannung mit 50 Hz.

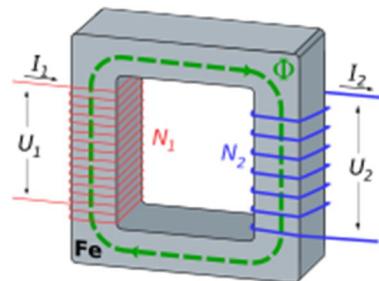


Abb. 4: Prinzipskizze eines Transformators mit Primär- (rot) und Sekundärspule (blau) [3]

Beide Wicklungen zusammen stecken zur Bündelung des magnetischen Feldes auf einem gemeinsamen Spulenkern. Die Ausgangsspannung der Sekundärwicklung wird bestimmt durch das Verhältnis an Windungen von Primär- und Sekundärseite:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Zwischen Primär- und Sekundärwicklung gibt es keine elektrisch leitende Verbindung. Diese vollständige elektrische Isolierung von Ein- und Ausgang wird auch als *galvanische Trennung* bezeichnet und ist eine wichtige Maßnahme zur Vermeidung von Stromunfällen.

Für den alten fischertechnik-Trafo mit 220 V Eingangs- und 6,8 V Ausgangsspannung gilt also:

$$\frac{220 \text{ V}}{6,8 \text{ V}} = 32,4$$

Die Primärseite hat also rund 32mal so viele Windungen wie die Sekundärseite.

Die Netzspannungen waren früher in Europa durchaus unterschiedlich. Im Zuge einer Harmonisierung wurde 1987 in Deutschland von 220 V auf 230 V umgestellt. Die auf dem Trafo angegebenen 6,8 V stimmen also nicht mehr so ganz.

Stellen wir die Formel ein wenig um und rechnen mal nach:

$$\frac{230 \text{ V}}{32,4} = 7,1 \text{ V}$$

So groß ist die Abweichung zu früher also nicht. Alles in allem ist der klassische Trafo eine zuverlässige, aber auch relativ große und schwere Sache.

## Schaltnetzteile

Werfen wir einen Blick auf ein modernes Netzteil. In der Regel wird dieses heutzutage ein so genanntes *Schaltnetzteil* sein. Auf dem Netzteil ist dieses durch ein Symbol angegeben.



Abb. 5: ISO-Symbol für Schaltnetzteil

Auch auf dem Steckernetzteil des fischertechnik-Power-Controller finden wir dieses Symbol wieder.

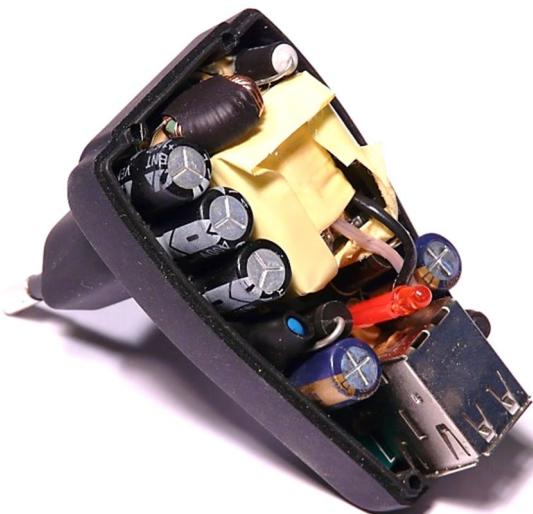


Abb. 6: geöffnetes USB-10 W-Schaltnetzteil

Auf den ersten Blick fallen direkt das geringe Gewicht und die kleine Bauform auf. Ein Blick ins Innere zeigt verschiedene Elektronikbausteine, aber ein Trafo fehlt.

Stopp, das stimmt nicht ganz. Der Trafo ist immer noch da, er ist jedoch so klein geworden, dass er kaum noch auffällt. Wie funktioniert das – warum ist der Trafo gegenüber älteren Transformatoren so sehr viel kleiner geworden? Oder allgemeiner gefragt: Von wo hängt denn die Größe eines Transfornators überhaupt ab?

Nun, zum einen natürlich von der benötigten Leistung. Je mehr Leistung benötigt wird, umso größer muss auch der Trafo werden. Rechnen wir mal nach: Die elektrische Leistung ergibt sich aus dem Produkt der Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$ :

$$P = U \cdot I$$

Aus  $U \cdot I$  ergibt sich als Einheit für die elektrische Leistung Volt-Ampère (VA), eher bekannt als Watt (W). Im Falle des alten fischertechnik-Trafos 814 mit einem Maximalstrom von 1,0 A ergibt sich also:

$$P = 6,8 \text{ V} \cdot 1,0 \text{ A} = 6,8 \text{ W}$$

Das Steckernetzteil vom aktuellen fischertechnik Power-Set liefert 9 V und 2,5 A Maximalstrom:

$$P = 9 \text{ V} \cdot 2,5 \text{ A} = 22,5 \text{ W}$$



Abb. 7: fischertechnik-Steckernetzteil mit Power Controller

Obwohl das Stecker-Netzteil kleiner und leichter geworden ist, hat die Leistung gegenüber dem alten Trafo sogar zugenommen. Es muss also einen anderen Grund geben. Die Baugröße hängt außer von der zu übertragenden Leistung auch von der

Betriebsfrequenz ab. Je höher die Frequenz, desto kleiner die Baugröße.

Und das ist das Geheimnis. Der Trafo in einem Schaltnetzteil wird nicht direkt mit der Netzspannung von 50 Hz, sondern mit Frequenzen zwischen 20 und 100 kHz betrieben. Die Elektronik wird zur Erzeugung der hohen Frequenz benötigt. Diesem Mehraufwand stehen ein deutlich besserer Wirkungsgrad – der Trafo wird nicht mehr so warm – und eine deutlich geringere Baugröße gegenüber.

In einem Schaltnetzteil (siehe Abb. 8) wird zunächst aus der Netzspannung eine Gleichspannung erzeugt, damit diese anschließend in die benötigte hochfrequente Wechselspannung „zerhackt“ werden kann. Die Wechselspannung wird auf einen kleinen Trafo gegeben, so dass auf der Sekundärseite eine Spannung induziert wird. Da natürlich auch diese Spannung eine

hochfrequente Wechselspannung ist, erfolgt noch eine Gleichrichtung.

Eine Regelelektronik misst pausenlos die Ausgangsspannung und steuert die hochfrequente Wechselstromerzeugung am Eingang so, dass genau die benötigte Spannung am Ausgang anliegt. Im Ergebnis wird so die Ausgangsspannung auch bei wechselnden Lasten konstant gehalten. Im Regelkreis erfolgt die Signalübertragung durch einen Optokoppler (also durch Licht). Es gibt also auch hier eine galvanische Trennung zwischen der Netzspannung auf der einen und der niedrigen Ausgangsspannung auf der anderen Seite.

Wenn wir auf die galvanische Trennung im Trafo verzichten können, geht es noch einfacher. Dann reicht sogar eine Spule. Die Spule erzeugt das Magnetfeld und induziert auch direkt die Spannung in der gleichen Spule. Primär- und Sekundärseite sind

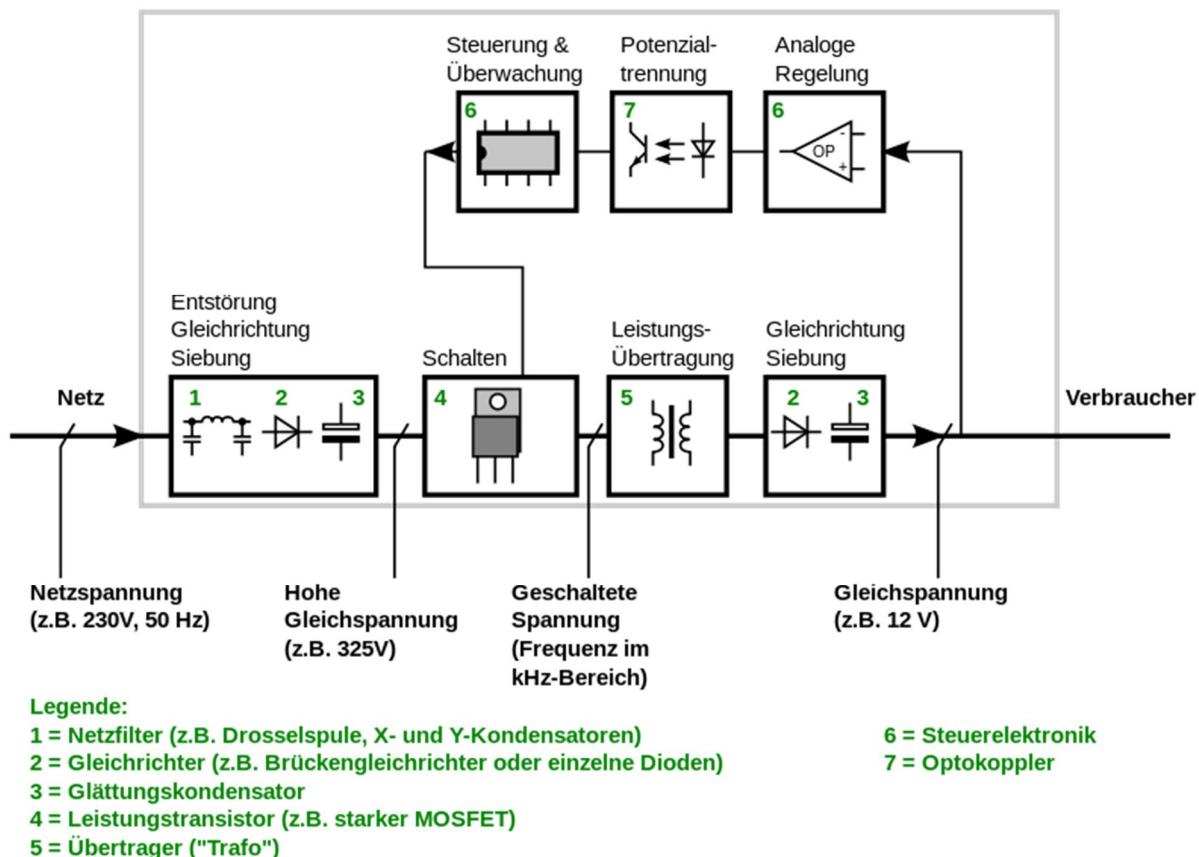


Abb. 8: Schema eines Schaltnetzteils mit galvanischer Trennung [4]

damit in einer einzigen Spule vereint. Das hört sich schräg an, geht aber!



Abb. 9: 750 MVA-Drehstrom-Spartransformator [5]

Gerade, wenn sich Eingangs- und Ausgangsspannung nur wenig unterscheiden, bringt dieser Aufbau Vorteile durch besseren Wirkungsgrad und geringeres Gewicht.

## Selbstbau

Zum Schluss soll es in unserem Bastelprojekt darum gehen, wie wir aus einer Gleichspannung eine andere machen können. Oder genauer: Wie können wir aus dem alten 4,5 V-Batteriestab 9 V herausholen?

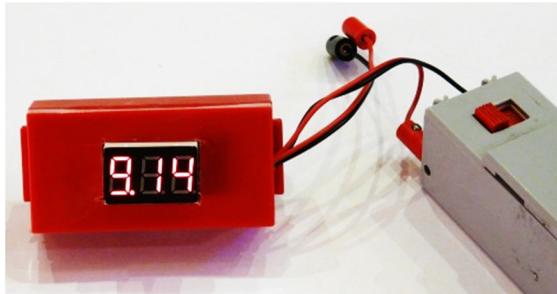


Abb. 10: Der fischertechnik-Boost-Converter

Um eine Spannung zu erhöhen, brauchen wir einem sogenannten *Aufwärtswandler* oder auch englisch *Boost-* oder *Step-Up-Converter*. Eine geeignete, fertig bestückte Platine gibt es für unter 3 € im Internet. Die Platine ist so klein, dass sie problemlos zusammen mit einem elektronischen Voltmeter in eine fischertechnik-Box für 9 V-Blockbatterien passt.

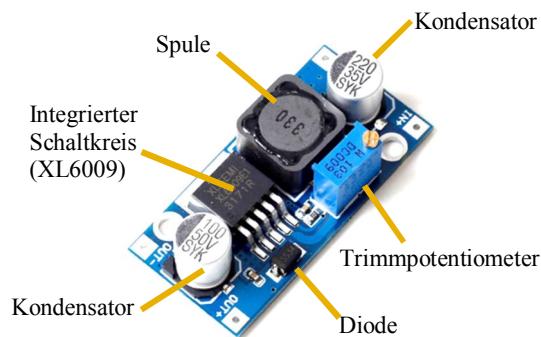


Abb. 11: XL6009 DC-DC Step Up Converter

Zum Bauen brauchen wir zudem noch einen Lötkolben (bitte nicht zu stark), Elektroniklot, zwei Dioden, ein wenig Kabel und ein bisschen Freude am Basteln. Das eigentliche Basteln ist nicht schwer: An Ein- und Ausgang werden rund 20 cm Zwillingslitze gelötet und am Ende mit Steckern versehen. Da eine Verwechslung von Plus- und Minus-Leitung zum Zerstören der Platine führen würde, löten wir an Ein- und Ausgang zusätzlich noch jeweils eine Diode in die Plus-Leitung dazwischen. Dabei auf die richtige Polung achten: Der weiße Ring auf der Diode muss in Flussrichtung zeigen. Am Ausgang (nach der Diode) wird noch das Voltmeter angelötet – fertig. Nachdem der Deckel noch ein Loch für das Voltmeter bekommen hat, kann das Ganze mit Klebeband fixiert werden (Spiegelband geht am besten).

Menge	Bauteil
1 St.	XL6009 DC-DC Step Up Converter
1 St.	Mini LED Voltage Meter
2 St.	1N4007 (Diode bis 1 A, reicht fast immer) oder DO-201AD, 100 V (Diode bis 4 A, für die volle Leistung)
50 cm	Zwillingslitze
4 St.	Stecker oder Kupplungen
1 St.	9 V ft-Batteriebox

Tab. 1: Einkaufsliste

Alle Elektronik-Bauteile gibt es bei ebay schon für unter 5 €; die Batteriebox bei [Fischerfriendsman](#).

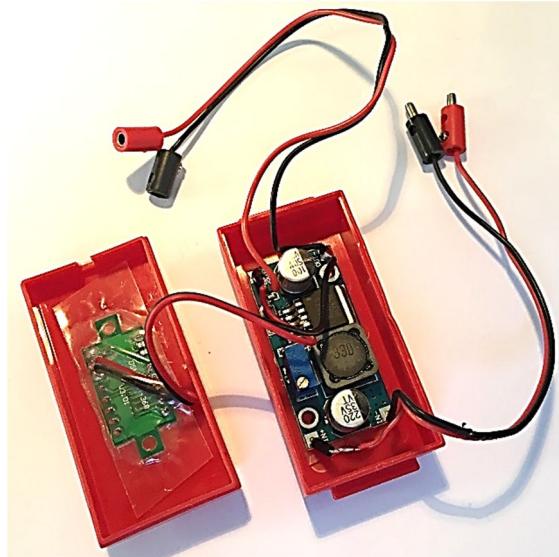


Abb. 12: Der fischertechnik-Boost-Converter von innen

Bleibt noch die Frage, wie es funktioniert. Ihr ahnt es schon, auch das hat wieder etwas mit Spule, Hochfrequenz und Magnetismus zu tun. Schauen wir uns die Platine mal etwas genauer an. Als zentrale Elemente gibt es dort eine Spule, eine Diode und einen integrierten Schaltkreis vom Typ XL6009, zudem noch zwei Kondensatoren zum Glätten der Eingangs- bzw. Ausgangsspannung.

Eine Suche nach *XL6009* im Internet bringt uns direkt zum Datenblatt des Herstellers XLSEMI. Dem Datenblatt können wir entnehmen, dass der Schaltkreis eine Eingangsspannung von 5 bis 32 V und bis zu 5 A verträgt. Zudem hat der XL6009 eine feste Schaltfrequenz von 400 kHz. Im Weiteren finden wir auch eine Abbildung mit einer typischen Applikation (Abb. 13).

Das sieht auf den ersten Blick ein wenig verwirrend aus. Reduzieren wir mal den Schaltplan auf das Wesentliche. Der Schaltkreis XL6009 ist nun nichts anderes mehr als ein ziemlich intelligenter Schalter. Wir können den XL6009 also auf einen Schalter reduzieren, der schnell, sehr schnell ein-

und ausschaltet (wer es per Hand versuchen möchte: 400 kHz sollten es schon sein).

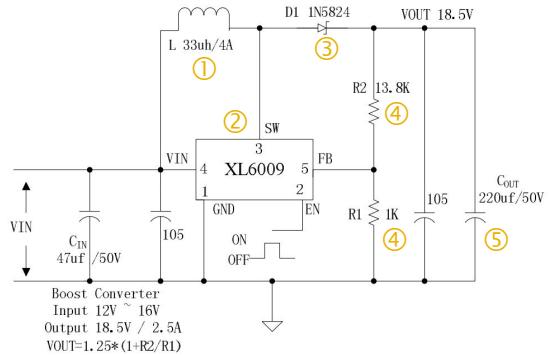


Abb. 13: Auszug aus dem Datenblatt zum XL6009 [6]

- ① Spule
- ② Integrierter Schaltkreis
- ③ Diode
- ④ Spannungsteiler
- ⑤ Kondensator

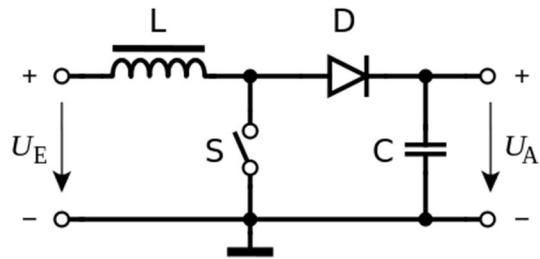


Abb. 14: Schaltschema Aufwärtswandler [7]

Bei geschlossenem Schalter fließt der Strom direkt über Spule und Schalter. Dabei baut sich in der Spule ein Magnetfeld auf. Beim Öffnen des Schalters bricht das Magnetfeld zusammen und induziert in der Spule eine Spannung, die sich zur Eingangsspannung addiert. Diese Spannungsspitze gelangt über die Diode zum Kondensator und wird dort geglättet. Beim nächsten Schließen und Öffnen des Schalters beginnt das Ganze wieder von vorne. Die Diode verhindert, dass dabei die Spannung vom Kondensator über den geschlossenen Schalter wieder zurückfließt.

Unser Schaltkreis macht das Ganze nun mit einer Frequenz von 400 kHz. Da er außerdem noch ständig die Ausgangsspannung

misst, werden die Schaltvorgänge so angepasst, dass die Ausgangsspannung immer auf dem eingestellten Wert bleibt. Der Sollwert wird über einen Spannungsteiler vorgegeben; ist dieser, wie bei unserer Platine, ein Trimmstabspotentiometer (also verstellbar), dann können wir die Ausgangsspannung frei wählen.

Viel Spaß beim Nachbauen! Es macht Spaß, mit dem kleinen Teil dem einen oder anderen fischertechnik-Modell etwas mehr „Dampf“ einzuhauen. Aber Vorsicht: Das Gerät kann in jedem Fall mehr, als fischertechnik verträgt (nämlich bis zu 35 V und 4 A!).

## Quellen

- [1] Wikipedia: [Faraday emf experiment](#).
- [2] Wikipedia: [Michael Faraday](#).
- [3] Wikipedia: [Transformer3d](#).
- [4] Wikipedia: [Schaltnetzteil](#).
- [5] Wikipedia: [Autotrafo](#).
- [6] XLSEMI: [400KHz 60V 4A Switching Current Boost / Buck-Boost / Inverting DC/DC Converter](#).  
Datenblatt XL6009, Rev. 1.1.
- [7] Wikipedia: [Boost converter](#).

Computing

## Der alte fischertechnik-Plotter mit neuen Treibern

Helmut Jawtusch

*Vor 32 Jahren war der Plotter von fischertechnik eine Sensation [2]. Er besaß zwei große Schrittmotoren und wurde mit einem Basic-Programm über das Parallelinterface gesteuert. Wer seinen Plotter noch nicht ausrangiert hat und noch ein ROBO Interface besitzt, der kann ihn wieder zum Leben erwecken. Wie das geht, wird hier beschrieben.*

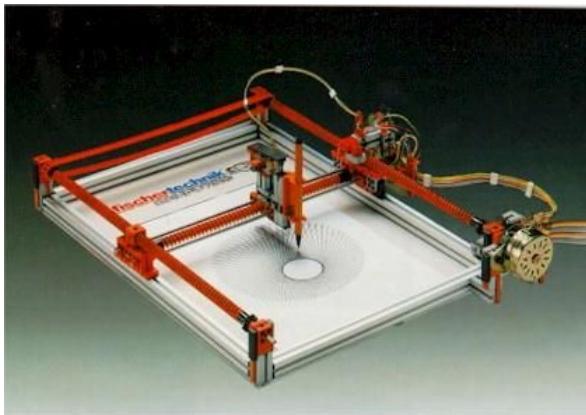


Abb. 1: fischertechnik-Plotter 30571 (1985)

### Voraussetzungen

Da einer der Motoren über die Profilstange gezogen werden muss, werden erhebliche Kräfte gebraucht. Deshalb hat jeder Schrittmotor eine Leistung von ca. 8 W. Ein Schrittmotor wird mit zwei Motorausgängen des Interfaces verbunden und jeder muss ca. 500 mA liefern. Solche Stromstärken kann das ROBO Interface abgeben, wenn es mit einem Netzteil für 8V und 1,5A betrieben wird.

Wenn man auch den Stift über das Interface steuern möchte, benötigt man einen fünften Ausgang – und sollte daher zusätzlich eine ROBO I/O Extension verwenden (Abb. 2). Der Plotter, das ROBO Interface und die ROBO I/O Extension werden auch gelegentlich bei ebay angeboten.

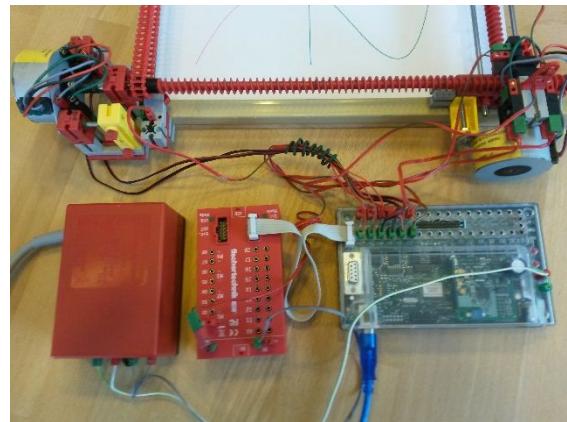


Abb. 2: fischertechnik-Plotter,  
fischertechnik ROBO Interface  
und ROBO I/O Extension

Im originalen fischertechnik-Plotter erfolgt die Absenkung des Stifts durch einen Elektromagneten (Abb. 3).

### Die Treibersoftware

Als Treiber dient `FtLib.dll` (08.06.2011) von Msc. Da die `FtLib.dll` eher für Profis gedacht ist, hat Ulrich Müller dazu die Bibliothek `umfish40.dll` (10.08.2010) in C++ entwickelt, die einfache Befehle bereitstellt. Eine ausführliche Dokumentation dieser Bibliothek findet sich in der Datei [umFish43.pdf](#).

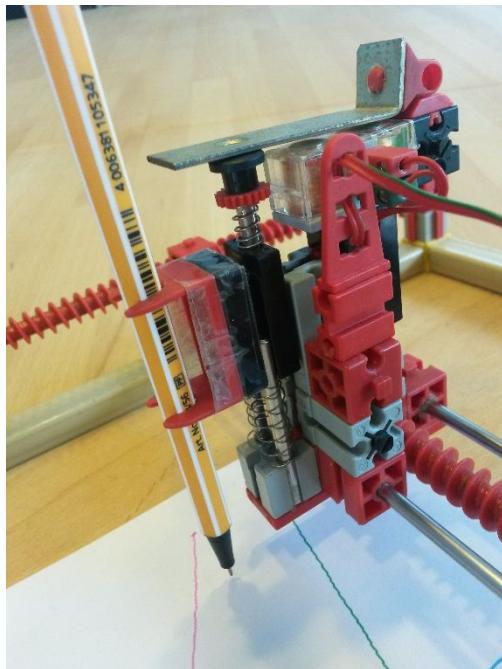


Abb. 3: Mechanismus zur Stiftabsenkung

Ich habe noch die Befehle `rbStepperV` und `rbStepperZ` zur Steuerung von Schrittmotoren hinzugefügt. Durch vier Umpolungen dreht sich der Schrittmotor um 30°. Damit die Bewegung stattfinden kann, muss nach jeder Umpolung eine kleine Pause gemacht werden.

```
int __stdcall rbStepperV(int
    iHandle, int MotNr1, int MotNr2,
    int v)
{
    MotNr1--; MotNr2--;
    motorLinks(iHandle, MotNr1);
    int dirmode = getmotor(iHandle,
        MotNr2); // Motorzustand?
    if (dirmode != 1)
    {
        motorLinks(iHandle, MotNr2);
        Sleep(v);
        motorRechts(iHandle, MotNr2);
        Sleep(v);
        motorRechts(iHandle, MotNr1);
        Sleep(v);
        motorLinks(iHandle, MotNr2);
        Sleep(v);
        return 0;
    }
}
```

```
void sleep(int m)
{
    for (int n=0; n < (m * 5000);
        n++)
    { // m = 1 entspricht ca. 1 ms
        Sleep(0);
    }
}
```

*Listing 1: Ausschnitt aus dem C++-Treiber-Programm*

Ein Problem ist die Dauer dieser Pausen. Der C++-Befehl `Sleep(1)` sollte eigentlich eine Pause von 1 ms bewirken. Auf meinem PC ergibt sich mit `sleep` aber eine Pause von minimal 15 ms. Das resultiert dann in ca. 80 U/min. Durch einen Artikel von Ryan Geis [3] bin ich auf den System-Befehl `timeBeginPeriod(1)` gestoßen, der bewirkt, dass `Sleep(ms)` tatsächlich kürzere Pausen macht. Dafür müssen noch `WinMM.lib` und `MMSYSTEM.h` eingebunden werden.

Eine mögliche Alternative ist die oben angegebene `sleep`-Methode, die aber stärker vom System abhängt. Die Pausen sollten nicht unter 11 ms liegen, da der Motor dann ruckelt und Schritte überspringt. Bei 11 ms ergeben sich immerhin ca. 120 U/min und damit eine recht flotte Bewegung des Stiftes.

Die erweiterte Version von `umfish40.dll` kann auf [ftcommunity.de](http://ftcommunity.de) unter [Downloads/Software](#) heruntergeladen werden.

## Die Praxis

Um Kosten zu sparen habe ich die langen Aluschienen durch einfache Stangen ersetzt und statt der Plexiglas-Scheibe ein Brett verwendet (Abb. 4). Die Funktionsgraphen wurden mit einem Terrapin Logo-Programm gemalt.

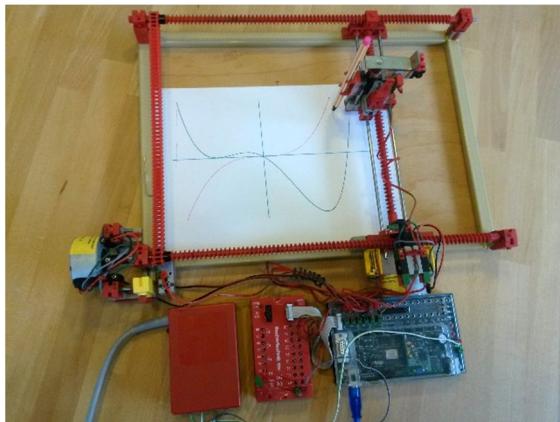


Abb. 4: Plotter mit Interface und I/O Extension

Mit Logo kann man die Graphen gleichzeitig auf dem Graphikschirm anzeigen lassen (Abb. 5). Kern des Plotter-Programms ist der `lineto`-Befehl, der den Plotterstift vom Ausgangspunkt entlang der Verbindungsstrecke zum Zielpunkt bewegt. Hier kommt einfache Vektorrechnung zum Einsatz.

```
import ftcomputing.robo.*;
...
FishFace rb = new FishFace();
int stepperdelay = 11; // ca. 11 ms Verzögerung
...

private void Action()
{
    try { rb.openInterface(0, 0); } // USB-Verbindung
    // rb.openInterface(200, 1) Connect Box
    // rb.openInterfaceRFdis(1, 1) RF Data Link

    lblHinweis.setText("Plotten: Ziffern '1' - '9' Stift: ',' '0' Ende:
ESC");

    do {
        lblTaster.setText("Taster I7 / I8 : " + rb.getInput(7) + " / " +
rb.getInput(8));
        if (rb.getInput(5)) Spurl = 0; else Spurl = 1; // Option für Scanner
        if (rb.getInput(6)) Spurr = 0; else Spurr = 1;
        lblSpur.setText("Spur I5 / I6 : " + Spurl + " " + Spurr);
        if (rb.getKeyState(110)) { rb.setLamp(9,1); }
        if (rb.getKeyState(96)) { rb.setLamp(9,0); }
        if (rb.getKeyState(102)) // if-Kaskade zur Steuerung des Plotter-
Stiftes
            { rb stepperV(1,2,stepperdelay); }
        else if (rb.getKeyState(100))
            { rb stepperZ(1,2,stepperdelay); }
        else if (rb.getKeyState(98))
            { rb stepperZ(3,4,stepperdelay); }
        else if (rb.getKeyState(104))
            { rb stepperV(3,4,stepperdelay); }
```

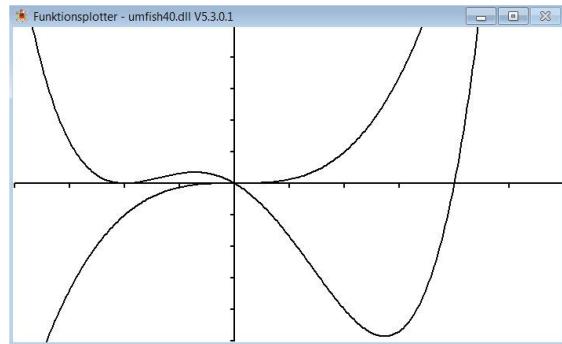


Abb. 5: Grafik-Ausgabe des Terrapin Logo-Programms

## Ein Java-Programm

Zum Schluss zeige ich noch ein Java-Programm, bei dem man durch Drücken der Tasten 1 bis 9 den Stift in unterschiedliche Richtungen bewegen kann. `GetKeyState` dient dem schnellen Zugriff auf die Tastatur und wurde in `umfish40.dll` ergänzt. Damit sind auch einfache Konsolenanwendungen möglich.

```

        else if (rb.getKeyState(97))
            { rb stepperZ(1,2,stepperdelay); rb stepperZ(3,4,stepperdelay); }
        else if (rb.getKeyState(103))
            { rb stepperZ(1,2,stepperdelay); rb stepperV(3,4,stepperdelay); }
        else if (rb.getKeyState(105))
            { rb stepperV(1,2,stepperdelay); rb stepperV(3,4,stepperdelay); }
        else if (rb.getKeyState(99))
            { rb stepperV(1,2,stepperdelay); rb stepperZ(3,4,stepperdelay); }
        else {
            rb.setMotor(1,0); rb.setMotor(2,0);
            rb.setMotor(3,0); rb.setMotor(4,0);
        }
    } while (!rb.finish());
}

```

*Listing 2: Plottersteuerung über die Tastatur*

Alle Beispiel-Programme können im [Download-Bereich](#) der ft-Community heruntergeladen werden.

Die Entwicklung von Software für den fischertechnik-Plotter ist ein reizvolles Projekt im Rahmen einer Robotik-Reihe für Informatikkurse der Oberstufen.

Zum Schluss noch ein paar Anregungen für eigene Projekte:

- Malen nach vorgegebenen Punkten
- Malen von Kreisen und Spiralen
- Malen von Mandalas

- Malen von (skalierbaren) Ziffern
- Umbau des Plotters zum Scanner (Spur-sensor an I5/I6)

## Referenzen

- [1] Helmut Jawtusch: *Programmierung des TX in Java, C, C++, C# und Logo*. [ft:pedia 2/2017](#), S. 51-57.
- [2] fischertechnik: [\*Bauanleitung Plotter/Scanner\*](#) (30571).
- [3] Ryan Geis: [\*Results on some quick research on timing in Win32\*](#). Geisswerks.com

Computing

## V. I. P. – Ein I<sup>2</sup>C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 2)

René Trapp

*Interface-Technik: Die Stromversorgung, die Motorendstufen und deren Geheimnisse.*

Nachdem im ersten Teil der Serie die Geschichte der Interfaces umrissen und eine erste Übersicht über die Anschlüsse an die zugehörigen Computer gegeben wurde, stehen diesmal die Leistungsträger, also Stromversorgung und Motorendstufen, im Rampenlicht.

Zur jeweiligen Schaltungsbeschreibung dienen die vom Autor selbst erstellten Schaltpläne der Interfaces [16], 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25]. Dabei gibt es eine Besonderheit: Die Interfaces [30561](#) bis [30564](#) basieren auf einer gemeinsamen Platine. Die trägt einen Bestückungsdruck mit Bauteilnamen, zum Beispiel *T17* für einen bestimmten Transistor. In allen zugehörigen Schaltplänen sind exakt diese Bauteilnamen zugeordnet. Dabei fällt auf, dass es beim Original keine Bauteilnamen gibt, die auf „,0“ oder „,5“ enden, mit einer Ausnahme: R30.

Alle anderen Interfaces verwenden im Bestückungsdruck auf der Platine anstelle eines Namens nur den Wert des Bauteils; zum Beispiel *4,7n* für einen bestimmten Kondensator. Daher sind in deren Schaltplänen die Bauteilnamen frei erfunden. Damit allerdings eine durchgängige Schaltungsbeschreibung zu Stande kommen kann, sind identisch verwendete Bauteile in allen Schaltplänen auch identisch benannt. In den Interfaces [30566](#) und später sind einige Bauteile entfallen und dafür neue hinzugekommen. Diese neuen Bauteile

tragen dann neue Namen. Auch hier sind die Endungen „,0“ und „,5“ ausgespart. So erklärt sich das seltsam anmutende Bauteil-Namensschema in den einzelnen Schaltplänen.

Aber nun zu den einzelnen Baugruppen. Den Anfang macht dann gleich:

### Die Stromversorgung

Die Stromversorgung der Interfaces erfolgt aus bis zu zwei fischertechnik-Netzgeräten [32680](#) mit den Nennangaben 6,8 V / 1,5 A. Das Netzgerät liefert eine pulsierende Gleichspannung. Durch entsprechende Glättung kann daraus eine Gleichspannung bis etwa 9 V entstehen.

Jeweils eine Anschlussbuchse je Netzteil (+NG1, +NG2) dient der Versorgung. Die Rückleitung wird dann an die entsprechenden Massebuchsen (0V\_1, 0V\_2) angeschlossen. Zusätzlich ist eine dritte Massebuchse (0V\_3) vorhanden.

Die Schaltung aus Abb. 17 gilt für die Interfaces [30561](#), [30562](#), [30563](#), [30564](#), [30565](#) und [30567](#). Die Schaltung aus Abb. 18 gilt für [30566](#), [39319](#) (= [67319](#)), [30520](#) und [66843](#). Die einzigen Unterschiede sind der Kondensator C2, der bei den neueren Interfaces aus zwei einzelnen Kondensatoren ungefähr halben Wertes besteht, und die versorgten ICs. IC1 und IC3 wurden durch IC9 und IC11 ersetzt. Die Funktion der Stromversorgung ist in beiden Fällen

identisch. Die Problemzonen sind es daher auch.

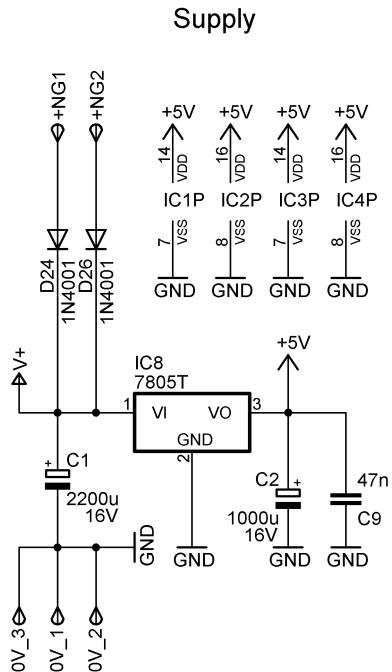


Abb. 17: Stromversorgung 1985

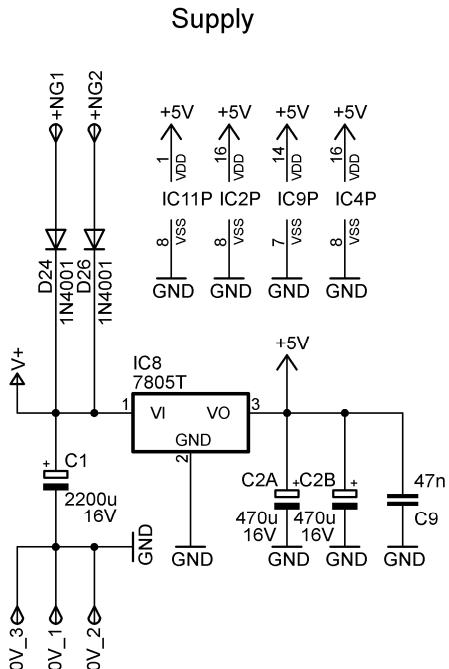


Abb. 18: Stromversorgung 1987

Die Dioden D24 und D26 vom Typ 1N4001 entkoppeln die beiden Netzteile voneinander und bewirken gleichzeitig den Verpolschutz. Der Elektrolyt-Kondensator C1

glättet die ankommende Spannung. C1 wird auch als Siebkondensator bezeichnet.

Bedingt durch den Spannungsabfall an D24 beziehungsweise D26 beträgt die Spannung am Knoten V+ unbelastet etwa 8,5 V.

Die geglättete Spannung V+ wird ebenso zu den Motorendstufen geleitet. IC8, ein integrierter Festspannungsregler vom Typ 7805, stabilisiert die von dem (den) Netzteil(en) gelieferte Spannung V+ auf +5 V.

Ein weiterer Elektrolyt-Kondensator, C2, puffert Stromspitzen auf der 5 V-Versorgung. Kondensator C9 sorgt für eine Entkopplung der Stromspitzen aus den versorgten ICs IC1/IC11, IC2, IC3/IC9 und IC4. Das Suffix „P“ steht im verwendeten Leiterplatten-CAD für den jeweiligen Versorgungsteil „Power“.

Ein einzelnes Netzteil ist in der Lage, 1,5 A abzugeben. Dieser Strom fließt durch die betroffene Diode D24 oder D26. Der maximal erlaubte Strom  $I_F$  der 1N4001 ist im Datenblatt [39] mit 1 A angegeben (*Limiting Values*). Angesichts des Netzteilstromes von 1,5 A ist die Nutzung der 1N4001, na sagen wir mal, *sportlich*. Bei Überlast wird die Diode ihre Eigenschaft, den Strom nur in einer Richtung durchzulassen, verlieren. Das Interface wird weiterhin funktionieren, allerdings ist im Bedarfsfalle der Verpolschutz unwirksam. Das wird nicht schon passieren, wenn der Durchlassstrom lediglich nur einen Hauch über 1 A liegt, aber das 1,5-fache des Grenzwertes ist dann doch schon heftig.

Zu den Elektrolyt-Kondensatoren (vulgo: „Elkos“) sei noch angemerkt, dass diese im Laufe der Jahrzehnte austrocknen und sich so ihre elektrischen Eigenschaften Kapazität und Innenwiderstand verschlechtern. Bei Gleichspannungsbetrieb ist das untergeordnet, kann aber beim Schalten der Verbraucher zu Aussetzern führen. Im Zweifelsfalle kann solch ein vertrockneter Elko durch einen frischen gleichen Nennwerts ersetzt werden.

Der Festspannungsregler IC8 ist ein 1 A-Typ [40]. Für die 4 ICs scheint er kräftig überdimensioniert. Ein 100 mA-Typ 78L05 hätte es sicher auch getan. Die minimale Eingangsspannung sollte nach Datenblatt mindestens 2,5 V über der Ausgangsspannung liegen.

In jedem Falle kann der Spannungsregler beschädigt werden, wenn die Ausgangsspannung über die Eingangsspannung angehoben wird. Schlimmstenfalls steigt die Ausgangsspannung dann über die 5 V hinaus bis zur anliegenden Eingangsspannung V+ an. Die verwendeten ICs im Interface sind für eine Versorgung von 3 V bis 15 V geeignet und das Interface selbst wird hier keinen Folgeschaden nehmen. Aber alle Ausgänge vom Interface zum Computer werden ebenfalls mit dieser hohen Spannung getrieben und der Computer wird dadurch beschädigt. Bei der üblichen Beschaltung des Interfaces wird das jedoch nicht passieren.

## Die Motorendstufen

Die Motorendstufen gibt es in zwei Versionen.

### Diskret

Wie bereits in Teil 1 beschrieben, sind die Interfaces [30561](#), [30562](#), [30563](#), [30564](#), [30565](#) und [30567](#) mit diskreten Motorendstufen ausgestattet [41]. Als diskret bezeichnet man Schaltungen, die aus einzelnen Grundelementen mit jeweils eigenem Gehäuse (Widerstände, Kondensatoren, Dioden, Transistoren, Induktivitäten usw.) zusammengesetzt werden. Abb. 19 zeigt eine der 4 baugleichen diskreten Motorendstufen. Diese Art der Motoransteuerung wird allgemein als Brückenschaltung bezeichnet.

Die Leitungen D0 und D1 führen zu Ausgängen eines Schieberegisters 4094. Welche Ausgänge das genau sind, hängt vom jeweiligen Motor ab. D0 ist in jedem Falle das niederwertigere Bit, D1 ist das

unmittelbar benachbarte höherwertige Bit. An ST2 ist dann der Motor angeschlossen. Motor M1 liegt an ST2-13 und ST2-14, die anderen Motoren entsprechend an anderen Steckanschlüssen.

Die Funktion der Endstufe ist recht einfach zu durchschauen.

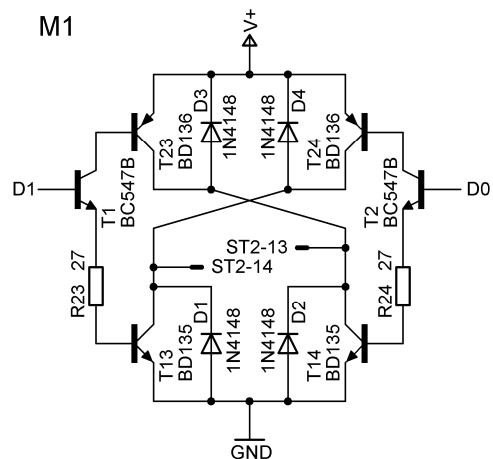


Abb. 19: Motortreiber, diskret

Liegt der Steuereingang D0 auf logisch „0“, das heißt der Ausgang des vorgeschalteten 4094 gibt 0 V ab, so fließt kein Basisstrom in den Treibertransistor T2. Es fließt auch keinerlei Strom von dessen Kollektor zum Emitter, T2 ist gesperrt. Die Leistungstransistoren T14 und T24 erhalten so auch keinen Basisstrom und sind ebenfalls gesperrt. Wegen der Verschaltung überkreuz ist nun der Motoranschluss an ST2-14 *nicht* mit V+ verbunden, der Motoranschluss an ST2-13 ist *nicht* mit GND verbunden.

Liegt dagegen der Steuereingang D0 auf logisch „1“, das heißt der Ausgang des 4094 gibt 5 V ab, so fließt nun ein Basisstrom in den Treibertransistor T2 und steuert diesen auf. Es fließt ein durch R24 begrenzter Strom vom Kollektor zum Emitter. Dadurch erhalten die Leistungstransistoren T13 und T24 ihren nötigen Basisstrom und werden voll durchgesteuert. T24 verbindet ST2-14 mit V+, T14 verbindet ST2-13 mit GND. Ein angeschlossener Motor wird nun in

einer Drehrichtung loslaufen. Nach Handbuch ist dieser Ausgangszustand als „Rechtslauf“ definiert [32].

Dies gilt sinngemäß auch für die andere Brückenhälfte, die über Steuereingang D1 angesteuert wird und aus T1, T14, T23 und R23 bestehend auf ST2-13 und ST2-14 arbeitet.

Liegt der Steuereingang D1 auf ,0‘, so ist ST2-14 *nicht* mit GND verbunden, ST2-13 ist *nicht* mit V+ verbunden. Liegt Steuereingang D1 auf ,1‘, so ist ST2-14 mit GND verbunden und ST2-13 liegt an V+. Das wäre dann der „Linkslauf“.

Solange nur ein Steuereingang, entweder D0 oder D1, auf ,1‘ liegt ist alles okay, ebenso wenn beide Steuereingänge auf ,0‘ liegen. Sobald aber beide Steuersignale gleichzeitig auf ,1‘ liegen, wird V+ über die gleichzeitig leitenden T13, T14, T23 und T24 nach GND kurzgeschlossen.

Ein solcher Kurzschluss wird die betroffene Endstufe nach kurzer Zeit zerstören. Insbesondere wenn, wie für größere Modelle empfohlen, 2 Netzteile angeschlossen sind. Es gibt zwar eine Sicherung gegen dieses Malheur, aber es ist besser, diese Situation bei der Programmierung des Interface grundsätzlich zu vermeiden [6].

Für die Motorenendstufen ergibt sich eine kleine Logik-Tabelle, Tab. 1. „Hi-Z“ bedeutet hier, dass der jeweilige Anschluss hochohmig geschaltet ist. Es fließt kein Strom.

<b>D1</b>	<b>D0</b>	<b>ST2-13</b>	<b>ST2-14</b>
0	0	Hi-Z	Hi-Z
0	1	GND	V+
1	0	V+	GND
1	1		

Tab. 1: Logik diskrete Motorenendstufe

Liegen beide Steuereingänge auf ,0‘, dreht der Motor frei und kommt langsam zum Stillstand. Er wird lediglich durch die mechanische Last gebremst.

Für die Belastbarkeit der Ausgänge ist in den Handbüchern – stellvertretend sei hier wieder die Anleitung zum [67319](#) [32] genannt – ein Dauerstrom von 1 A angegeben. Die Anlaufströme der Motoren, und auch die Einschaltströme der fischertechnik-Lämpchen, können bis zu 1,5 A betragen. Na, das passt ja so einigermaßen zu den eingesetzten Leistungstransistoren vom Typ BD135 und BD136. Deren Datenblattangabe besagt 1,5 A Dauerstrom und bis 2 A Spitzstrom ([42], [43]), allerdings nur bei genügend Basisstrom und entsprechender Kühlung. Kühlkörper sind jedoch nicht vorgesehen.

Mit ansteigenden Kollektorströmen (in diesem Fall der Strom durch den angeschlossenen Motor) sinkt die Stromverstärkung der BD135 und BD136  $h_{FE}$  drastisch ab, und bei Werten um 1 A liegt sie unterhalb 10. Um also 1 A Kollektorstrom fließen zu lassen, muss der Basisstrom über 100 mA betragen. Die Treibertransistoren T1 oder T2 führen diesen Basisstrom der Leistungstransistoren als ihren Kollektor- bzw. Emitterstrom.

Die Treibertransistoren T1 und T2 sind vom Typ BC547B. Deren maximal zulässiger Kollektorgleichstrom beträgt 100 mA, die Stromverstärkung ist dabei auf Werte um 120 abgesunken [44]. Also rund und grob: bei 100 mA am Kollektor geht 1 mA in die Basis rein. Dieses 1 mA ist damit der Ausgangsstrom des 4094.

Zusammen mit dem jeweiligen Ausgang des 4094, der stabilisierten Betriebsspannung von 5 V sowie R23 und R24 bilden die Transistoren T1 und T2 jeweils eine schaltbare Konstantstromquelle. Welcher konstante Strom sich genau einstellt, hängt vom Schieberegister IC 4094

ab. Es kann nur einen bestimmten Ausgangstrom bereitstellen, gleichzeitig sinkt seine Ausgangsspannung bei  $1^\circ$  unter Last ab (bedingt durch seinen Innenwiderstand). Ein Ausgang des 4094 muss nun also den Basisstrom eines BC547B bereitstellen. Der genaue Wert ist abhängig von der Stromverstärkung des BC547B und der Spannung an seiner Basis gegen GND, also der Ausgangsspannung des 4094. Diese Spannung wird um etwa 1,3 V niedriger an R23 oder R24 anliegen. Je nach Hersteller unterscheiden sich die Charakteristika der Ausgangstreiber des 4094. Als Anhaltspunkt sei eine Ausgangsspannung von 4 V unter der entsprechenden Last von etwa 1 mA angenommen. 4 V minus 1,3 V macht dann noch 2,7 V, was gemäß Herrn Ohm dann an  $27\ \Omega$  zu einem Strom von 100 mA führt. Der ist wie gesagt recht konstant und die Motorendstufe gibt maximal etwa 1 A her. Wird mehr abgefordert, kommen die Leistungstransistoren T13, T14, T23 beziehungsweise T24 aus der Sättigung in den linearen Bereich. An jedem von ihnen erhöht sich die Spannung zwischen Kollektor und Emitter von wenigen hundert Millivolt auf mehrere Volt. Das bedeutet eine deutliche Zunahme der Verlustleistung und eine entsprechende Hitzeentwicklung, die die ungekühlten Leistungstransistoren irgendwann zerstört.

Auch R23 und R24 werden recht warm. Mit den eben abgeschätzten Werten, ergibt sich für diese Widerstände eine Verlustleistung von 270 mW. Die Widerstandsbauf orm entspricht der gängigen Größe eines  $\frac{1}{4}$  W-Widerstandes. Die 270 mW sind also definitiv an der Grenze des Erlaubten.

Insgesamt erscheint nach dieser Analyse die Angabe des Handbuchs (1 A Dauerstrom, 1,5 A Spitze) ein wenig arg *sportlich* und sollte nicht wirklich voll ausgeschöpft werden.

Für die damals erhältlichen Motoren sind die diskreten Motortreiber ausreichend. Es

ist bei der Verdrahtung des Modelles trotzdem angeraten, Kurzschlüsse der Motorleitungen untereinander, nach GND oder +NGx (vom Netzteil) zu vermeiden.

Wird eine diskrete Endstufe mit einer erheblich höheren als der vorgesehenen Betriebsspannung  $V+ = 8,5$  V betrieben, so besteht die Gefahr einer Überlast im Basisstromkreis. T1 beziehungsweise T2 erhalten eine zu hohe Kollektor-Emitter-Spannung, erwärmen sich durch die entstehende größere Verlustleistung zu stark und werden zerstört. Der Basisstromkreis der Leistungstransistoren kann dann nicht mehr unterbrochen werden. Eine programmierte Drehrichtungsumkehr des Motors führt in dieser Situation zur Zerstörung der restlichen Endstufe.

### Integriert

Möglicherweise aus genau diesen Gründen wurden bei den Interfaces ab 1989 die diskreten Motoren endstufen durch integrierte Brückentreiber ersetzt. Diese haben für die Motoren allerdings auch andere Eigenschaften, aber der Reihe nach.

Die Interfaces [30566](#), [39319](#), [30520](#) und [66843](#) sind mit integrierten Motoren endstufen, sogenannten H-Brücken oder auch Vollbrücken, bestückt. Abb. 20 zeigt den Leistungsteil für Motor 1.

Zunächst einmal ist die ganze Schaltung einer Motorenendstufe in IC12 verborgen. Die Steuersignale D0 und D1 kommen wiederum vom 4094. R38 und R39, je  $10\ k\Omega$ , ziehen hochohmige Leitungen auf einen definierten  $0^\circ$ -Pegel.

Bei den sogenannten Schulinterfaces (CVK-Versionen) [39319](#) und [66843](#) sind zusätzlich noch Duo-LEDs mit Vorwiderständen verbaut. Diese Duo-LEDs kombinieren zwei LEDs in einem Gehäuse. Ein gemeinsamer Anschluss für die Kathoden führt auf GND und die getrennten Anoden gestatten die unabhängige Bestromung der LEDs. Je nachdem, welche Anode über den Vorwiderstand an hohe

Spannung gelegt wird, leuchtet die LED rot, grün oder gelb; letzteres durch additive Farbmischung, wenn beide LEDs bestromt werden. Das muss nicht einmal gleichzeitig erfolgen, wenn das Wechselspiel mindestens 25-mal pro Sekunde erfolgt, entsteht im menschlichen Gehirn der Farbeindruck gelb. Warum das so ist, ist allerdings eine ganz andere Geschichte.

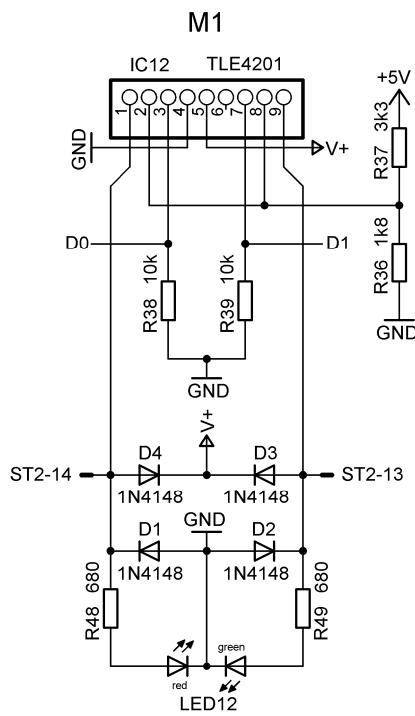


Abb. 20: Motortreiber, integriert

Der Rest der Verschaltung ist jedenfalls im Gehäuse des TLE4201 verborgen, und nur ein Blick ins Datenblatt gibt Auskunft über die Zusammenhänge [45].

R36 und R37 stellen eine Hilfsspannung bereit. Diese Hilfsspannung wird aus diesem Spannungsteiler auch den anderen drei Motortreibern zugeleitet. Mit dieser Hilfsspannung wird die Schaltschwelle festgelegt, die zwischen logisch „0“ und „1“ unterscheidet. Der im IC integrierte Referenzteiler ist mit V+ und GND verbunden. Würde die Schaltschwelle mit diesem Teiler abgeleitet, so würde sie mit V+ schwanken. Da die Ansteuerung aus stabilisierten +5 V erfolgt, ist eine solche Varia-

tion der Schaltschwelle natürlich unerwünscht. Daher ist Anschluss 7 der TLE4201 nicht beschaltet.

Und wie schalten nun die Motorausgänge dieser Variante? Am übersichtlichsten ist wieder eine kleine Logik-Tabelle:

D1	D0	ST2-13 M+	ST2-14 M-
0	0	GND	GND
0	1	GND	V+
1	0	V+	GND
1	1	V+	V+

Tab. 2: Logik integrierte Motorendstufe

Diesmal entsteht kein Kurzschluss zwischen V+ und GND, wenn beide Steuersignale D0 und D1 gleichzeitig auf „1“ liegen.

Im Unterschied zu den diskreten Endstufen gibt es allerdings keinen hochohmigen Zustand an den Ausgängen. Liegen beide Steuereingänge auf dem gleichen Logikpegel, so wird der angeschlossene Motor mehr oder weniger kurzgeschlossen und dadurch aktiv abgebremst. Dies ist ein erheblicher Unterschied zur älteren Variante und wirkt sich bei PWM-Ansteuerung des Motors sehr nachteilig aus. Warum das so ist, ist allerdings auch eine ganz andere Geschichte [46]. Für die PWM-Steuerung von Dirk Uffmann eignen sich die Interfaces mit den diskreten Motorendstufen jedenfalls besser als die Versionen mit den TLE4201 [47].

Die Nenndaten des TLE4201 gestatten einen Betriebsspannungsbereich zwischen 3,5 V und 17 V. Der Ausgangstrom darf bis zu 2,5 A betragen. Im IC ist eine Übertemperaturabschaltung enthalten; die Motorausgänge sind gegen Kurzschlüsse gegeneinander und gegen GND geschützt.

Aufpassen muss man also mit einem Kurzschluss gegen +NGx, sonst geht der TLE4201 ganz schnell kaputt.

Der Ausgangsstrom wird nicht dauerhaft bei 2,5 A liegen können. Die ICs werden ohne Kühlkörper betrieben und geben je 1 A Ausgangsstrom etwa 2,6 W thermische Leistung ab. Mit einem thermischen Widerstand von 65 K/W zwischen Chip im Gehäuse und der Umgebung steigt die Chiptemperatur bei 1 A um 170°C gegen die Umgebungstemperatur an. Das ist bereits ein Fall für die Übertemperaturabschaltung. Die ist zwar nirgends spezifiziert, aber mit einer maximal zulässigen Junction Temperature (also der Temperatur des Chips selbst) von 150°C dürfte die Übertemperaturabschaltung die Ausgänge so in dieser Größenordnung auch tatsächlich sperren.

### Gemeinsam

Und dann sind da in beiden Varianten noch die Freilaufdioden D1, D2, D3 und D4. Da ein Motor eine Wicklung enthält, ist er eine induktive Last. Insbesondere beim Abschalten einer induktiven Last möchte sich die im Magnetfeld gespeicherte Energie entladen. Das zusammenbrechende Magnetfeld induziert eine Spannungsspitze, die umso höher ausfällt, je schneller der ursprünglich fließende Strom absinkt. Diese Spannungsspitze ist umgekehrt zur ursprünglichen Betriebsspannung gepolt und erreicht Werte, die Halbleiterbauteile zuverlässig zerstört [48]. Über die Freilaufdioden wird dem Strom ein Ersatzweg zur Verfügung gestellt, das Magnetfeld kann sich langsam genug abbauen, um eine nur ungefährliche Spannung zu erzeugen [49]. In jedem Fall muss die Freilaufdiode den zunächst vollen Verbraucherstrom führen, bis er auf 0 A abgeklungen ist. Die Diode 1N4148 darf bis maximal 500 mA im Impulsbetrieb belastet werden [50]. Es gibt zwar zusätzlich die Angabe 2 A, aber die ist auf eine Zeitdauer von 1 µs beschränkt. Der Motorstrom wird keinesfalls so schnell abklingen. Somit

stellen sich die Freilaufdioden als großes Problem dar.

Power-Motoren sollte man dem Interface nicht zumuten und auch die modernen XM- und Encoder-Motoren sind keine gute Wahl.

Berichte von Nutzern, die Ihre Interfaces mit bis zu 12 V betreiben, sind ebenfalls nicht pauschal als Freibrief für problemlosen Betrieb an zu hoher Spannung zu verstehen. Ist es ein Interface mit integrierten TLE4201-Motorendstufen, dann sind die 12 V tatsächlich unbedenklich. Die älteren Interfaces mit den diskreten Motorendstufen werden jedoch ab etwa 10 V in den Treiberstufen überlastet und können so beschädigt werden. Das passiert selbst dann, wenn gar keine Last am Motorausgang angeschlossen ist.

Alle Interfaces können dagegen an einem fischertechnik-Akku betrieben werden. Aufgrund der hohen Stromaufnahme der Motortreiber ist diese Freude jedoch von nicht allzu langer Dauer, aber die 7,2 V Nennspannung des Akkus sind unschädlich.

Es kann auch ein Netzteil mit bis zu 9 V Ausgangsspannung verwendet werden, um die modernen 9 V-Motoren zu betreiben. Diese Ausgangsspannung muss gut geglättet sein, was auf moderne Schaltnetzteile zutrifft.

Damit wäre der Leistungsteil abgehakt. Der Rest ist jetzt hauptsächlich logisch.

### Die Notabschaltung der diskreten Motorendstufen

Wie schon in Tab. 1 dargestellt, besteht bei den Interfaces [30561](#), [30562](#), [30563](#), [30564](#), [30565](#) und [30567](#), also bei allen Interfaces mit den diskreten Motorendstufen, eine massive Kurzschlussgefahr durch eine falsche Programmierung.

Dem Schaltungsentwickler war dies sehr wohl bewusst, und so gibt es eine Schutzschaltung, Abb. 21.

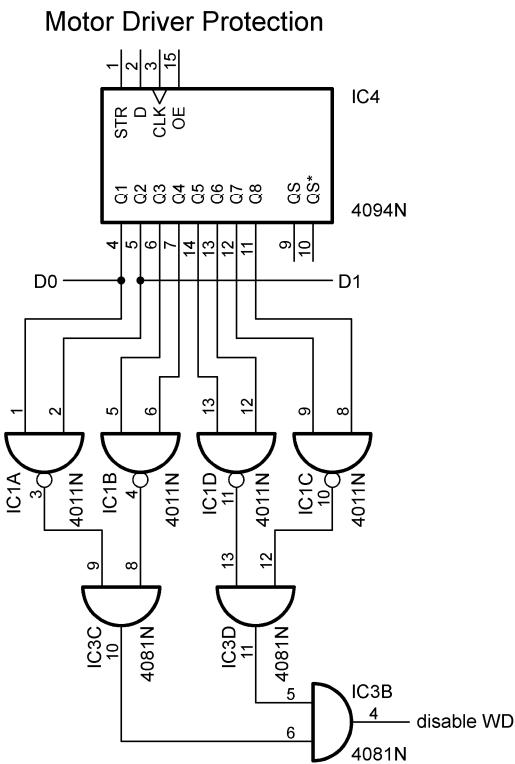


Abb. 21: Notabschaltung

Diese Schaltung kann zwar nicht den fehlerhaften Zustand verhindern, aber immerhin kann sie ihn erkennen und unverzüglich eine Abschaltung der Endstufen vornehmen. Es kommt zwar zu einem kurzzeitigen Kurzschluss in der Motorendstufe, aber die Abschaltung reagiert so schnell, dass es nicht sofort zu einer Zerstörung kommt. Trotzdem sollte diese Ansteuerung vermieden werden. In den originalen Programmen wird jeder Motor nur mit „Links“, „Rechts“, oder „Stopp“ angeprochen, so wird schon auf recht pfiffige Art genau dieses Problem vermieden. Allerdings ist immer mal mit fehlerhaft arbeitenden Programmen zu rechnen. Außerdem sollten die alten Interfaces auch zu eigenen Experimenten mit dem Computer anregen, da ist eine eigene Programmierung natürlich nicht ausgeschlossen. Und diese kann ebenfalls fehlerhaft sein.

IC4, das Schieberegister vom Typ 4094, gehört nicht zur eigentlichen Schutzschaltung. Es ist zum besseren Verständnis mit dargestellt.

In IC1, einem IC vom Typ 4011, sind 4 NAND-Gatter enthalten [51]. Jedes dieser NAND-Gatter ist mit seinen zwei Eingängen an zwei benachbarte Ausgänge des 4094 angeschlossen. Sobald beide Eingänge eines NAND-Gatters auf „1“ gelegt werden, und auch nur dann, liegt seinem Gatterausgang eine „0“. Ansonsten liegt an seinem Gatterausgang eine „1“ an. Auf diese Art wird der „verbogene“ Zustand an D0 und D1 erkannt und mittels „0“ weitergereicht. Ist alles in Ordnung, liegt der Gatterausgang auf „1“. Man nennt dies invertierte Logik. Um alle 8 Ausgänge des 4094 zu überwachen, werden alle 4 NAND-Gatter des 4011 benötigt.

Die Ausgänge der 4 NAND-Gatter werden über ein Netzwerk aus drei AND-Gattern (IC3, ein 4081 [52]) weiterverarbeitet. Solange alle Eingänge der Gatter IC3C und IC3D auf „1“ liegen, kommt auch am Ausgang des Gatters IC3B eine „1“ an. Wenn nur ein Eingang von IC3C oder IC3D auf „0“ liegt, ist am Ausgang von AND-Gatter IC3D ebenfalls eine „0“ vorhanden. Diese „0“ schaltet den Watchdog ab (disable WD).

Die Verschaltung der drei AND-Gatter IC3B, IC3C und IC3D ergibt insgesamt ein AND-Gatter mit 4 Eingängen. Und wegen der invertierten Logik wirkt diese Anordnung für eine „0“ wie ein OR-Gatter. In natürlicher Sprache liest sich das so: Wenn am Ausgang des NAND-Gatters IC1A eine „0“ anliegt *oder* wenn am Ausgang des NAND-Gatters IC1B eine „0“ anliegt *oder* wenn am Ausgang des NAND-Gatters IC1C eine „0“ anliegt *oder* wenn am Ausgang des NAND-Gatters IC1D eine „0“ anliegt dann liegt am Ausgang von IC3B eine „0“ an. Oder noch etwas abstrakter: Ist für M1 *oder* M2 *oder* M3 *oder* M4 *oder* mehrere *oder* alle gleichzeitig der verbogene Zustand eingestellt, werden sofort alle Motoren abgeschaltet.

Die Eingänge solcher Logik-Gatter werden üblicherweise durch Großbuchstaben beginnend mit A dargestellt, der Ausgang

immer mit Y. Die entsprechende Logiktabelle eines NAND-Gatters zeigt Tab. 3, die Logiktabelle eines AND-Gatters zeigt Tab. 4.

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tab. 3: NAND-Kombinatorik

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tab. 4: AND-Kombinatorik

### Das Schieberegister für die Motoren

Bei der Beschreibung der Motorenendstufen und der Schutzschaltung wurde das Schieberegister eben schon kurz erwähnt: IC4 vom Typ 4094.

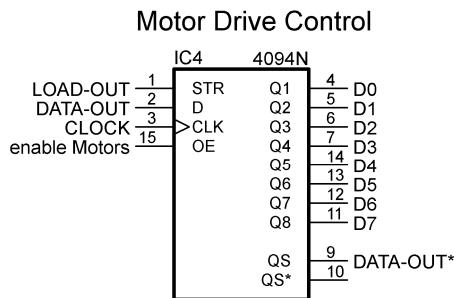


Abb. 22: Schieberegister 4094 für die Motorausgänge

Dieses IC empfängt die seriell übertragenen Daten und gibt sie als gemeinsames 8-Bit-Wort (ein Byte, D0...D7) an seinen Ausgängen ab [53]. In Teil 1 haben wir schon

gesehen, dass für diese Übertragung lediglich die 3 Leitungen CLOCK, DATA-OUT und LOAD-OUT benötigt werden. Die Schaltung zeigt Abb. 22.

Im Handbuch zum [67319](#) [32] (und in den anderen Handbüchern auch) ist der serielle Ablauf wie folgt angegeben:

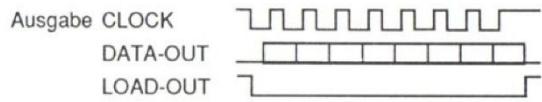


Abb. 23: Serielles Protokoll der Motorausgänge [32]

Im Ruhezustand liegt die Takteleitung CLOCK auf „1“. Ebenso ist im Ruhezustand die Steuerleitung LOAD-OUT auf „1“. DATA-OUT ist im Ruhezustand mit „0“ angegeben.

Die Übertragung beginnt mit einer fallenden Flanke, also einem Übergang von „1“ nach „0“ auf CLOCK. Zeitgleich wird LOAD-OUT auf „0“ geschaltet. Als nächstes wird das erste Datenbit an DATA-OUT ausgegeben. Mit der nächsten steigenden Flanke, diesmal der Übergang von „0“ auf „1“, an CLOCK wird dieses Bit ins Schieberegister des 4094 übernommen. Das eingeschobene Bit steht nun an der Position Q1, erscheint aber nicht am betreffenden Ausgang. Die 8 Ausgänge sind durch den „0“-Pegel an LOAD-OUT auf ihre vorherigen Pegel verriegelt. Die anderen Bits sind ebenfalls intern alle eine Stelle nach rechts gewandert, aber noch nicht an den Ausgängen sichtbar. Am Ausgang Qs wandern sie der Reihe nach hinaus. Man spricht hier von einem Linksschieben, weil die Bits an der niedrigwertigsten Position (Q1 = D0) eingeschoben werden und zur höchswertigsten Position (Q8 = D7) weiterwandern. Toll dargestellt und erklärt wurde das von Jens Lemkamp in der ft:pedia 1/2014 [3].

Der Zyklus aus fallender Flanke auf CLOCK, anlegen des nächsten Bits auf DATA-OUT und steigender Flanke auf

CLOCK wiederholt sich für jedes weitere Bit.

DATA-OUT\* wird mit DATA-OUT des nächsten Interface verbunden, sofern eine Slave-Kette angeschlossen ist. Je Slave werden vom Computer weitere 8 Bit auf die Reise geschickt. Das zuallererst eingeschobene Bit wandert dann bis zum allerletzten Q8 in der Kette durch.

Ist das letzte Bit eingeschoben, wird LOAD-OUT von „0“ auf „1“ geschaltet, und dadurch wird das neue Bitmuster gleichzeitig auf allen Ausgängen sichtbar.

Genau hier liegt das Problem. Gemäß der Original-Beschreibung bleibt LOAD-OUT nach dem Einschieben des letzten Bits auf „1“, und solange LOAD-OUT auf „1“ gehalten wird, werden die Ausgänge direkt mit den Daten aus dem Schieberegister verbunden. Die Speicherwirkung der Ausgänge ist nur mit LOAD-OUT auf „0“ gegeben. Die Takteleitung CLOCK wird aber gemeinsam mit dem Schieberegister zur Dateneingabe benutzt. Laufen beide Vorgänge tatsächlich getrennt ab, so wie es das Handbuch impliziert, würden die Bits im Schieberegister des 4094 mit jeder Flanke eine Position weiterwandern und ebenso die Ausgänge zu den Motoren mit jeder Taktflanke einen neuen Pegel annehmen. Ein kontrollierter Motorbetrieb wäre so jedenfalls nicht möglich.

Entweder wird für das Lesen der Eingänge LOAD-OUT auch auf „0“ gelegt [4], die Ausgabe zu den Motoren und das Lesen der Eingänge finden zeitgleich statt [5], oder aber LOAD-OUT wird generell auf „0“ gehalten und nur nach der Übertragung des letzten Motorbits kurz auf „1“ und zurück auf „0“ gepulst. Die letzte Variante gefällt dem Autor am besten. Sie erspart das Speichern des (der) Motorbytes für eine erneute Übertragung.

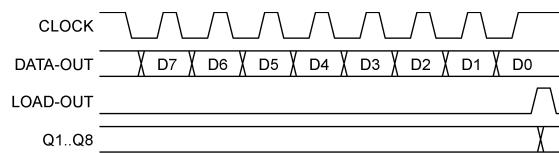


Abb. 24: Schöneres Protokoll der Motorausgänge

Im Ruhezustand liegen CLOCK auf „1“, LOAD-OUT auf „0“, und der Pegel an DATA-OUT ist im Ruhezustand sowieso unerheblich.

Die Übertragung beginnt mit einer fallenden Flanke auf CLOCK. Als nächstes wird das erste Datenbit nach DATA-OUT ausgegeben. Mit der nächsten steigenden Flanke an CLOCK wird dieses Bit ins Schieberegister des 4094 übernommen.

Der Zyklus aus fallender Flanke auf CLOCK, anlegen des nächsten Bits auf DATA-OUT und steigender Flanke auf CLOCK wiederholt sich wie schon gesagt für jedes weitere Bit.

Ist das letzte Bit eingeschoben, wird LOAD-OUT von „0“ auf „1“ geschaltet, und dadurch wird das neue Bitmuster gleichzeitig auf allen Ausgängen Q1...Q8 sichtbar. Unmittelbar danach wird LOAD-OUT wieder auf „0“ geschaltet und die Ausgänge zu den Motoren speichern das eben eingeschobene Bitmuster unabhängig von den weiteren Vorgängen an DATA-OUT und CLOCK.

LOAD-OUT wird zeitgleich an alle Slaves verteilt. Daher schalten alle Motorausgänge der Slave-Kette auch gleichzeitig.

Das in das Register eingeschobene Bitmuster zur Kontrolle der Motorausgänge kann allerdings nur wirken, wenn die Steuerleitung *enable Motors* auf „1“ liegt. Dann sind die Ausgangstreiber des 4094 eingeschaltet und treiben die Pegel niederohmig auf die Stufenausgänge Q1...Q8. Ist dagegen *enable Motors* auf „0“, so sind die Ausgangstreiber hochohmig geschaltet. In diesem Zustand können keine Basisströme zu den Treibertransistoren der diskreten

Motorenstufen fließen; die Motorausgänge bleiben so auch hochohmig. Im Falle der integrierten Motorenstufen ziehen die 10 kΩ-Widerstände, die pull-downs, die Steuereingänge der TLE4201 auf „0“ und schalten die Motorausgänge auf diese Art ab. *enable Motors* wird vom Watchdog gesteuert.

## Und so geht es weiter

Im nächsten Teil der Reihe werden die zahlreichen digitalen und analogen Eingänge näher beleuchtet. Ebenso richtet sich der Blick auf den Watchdog.

## Quellen

- [1] Dirk Fox: *I²C mit TX und Robo Pro – Teil 1: Grundlagen*. [ft:pedia 3/2012](#), S. 32-37.
- [2] Dirk Fox: *I²C mit dem TX(T) – Teil 12: Temperatursensor*. [ft:pedia 4/2015](#), S. 44-48.
- [3] Jens Lemkamp: *Parallel-Interface durch Arduino gesteuert (1)*. [ft:pedia 1/2014](#), S. 24-30.
- [4] Dirk Uffmann: *Nutzung des Universal-Interfaces 30520 als Port-Erweiterung an einem Mikrocontroller*. [ft:pedia 2/2014](#), S. 30-35.
- [5] Dirk Uffmann: *Altes FT Universal-Interface (Parallelschnittstelle) gesteuert durch AVR Mikrocontroller* im Bilderpool der ft Community.
- [6] Thomas Kaiser: [C-64 Interface an RoboPro](#).
- [7] Forumsdiskussion: [I²C clock stretching am TXT](#).
- [8] Forumsanfrage an fischertechnik: [Unterstützung von i2c clock stretching beim TXT controller?](#)
- [9] Erneute Forumsanfrage an fischertechnik: [Unterstützung von i2c clock stretching beim TXT controller?](#)
- [10] Forumsdiskussion: [TXT und clock-stretching](#).
- [11] J. P. M. Steeman: *Robotik mit dem Homecomputer*. Aachen: Elektor, 1987.
- [12] Klaus Merkert: [Zwei Schaltpläne](#).
- [13] Holger Howey: [Kombi-Schaltplan](#).
- [14] Klaus Merkert: [Umbau Apple II-Interface auf PC](#).
- [15] Ulrich Müller: [Übersicht der Interfaces](#).
- [16] fischertechnik-Datenbank: [30561 \(Interface CBM\)](#).
- [17] fischertechnik-Datenbank: [30562 \(Interface Commodore\)](#).
- [18] fischertechnik-Datenbank: [30563 \(Interface Apple\)](#).
- [19] fischertechnik-Datenbank: [30564 \(Interface Acorn\)](#).
- [20] fischertechnik-Datenbank: [30565 \(Interface Schneider\)](#).
- [21] fischertechnik-Datenbank: [30567 \(Interface IBM\)](#).
- [22] fischertechnik-Datenbank: [30566 \(Interface Centronics\)](#).
- [23] fischertechnik-Datenbank: [39319 \(Centronics Schul-Interface CVK\)](#).
- [24] fischertechnik-Datenbank: [66843 \(Universal Schul-Interface CVK\)](#).
- [25] fischertechnik-Datenbank: [30520 \(Interface Universal\)](#).
- [26] Fischertechnikclub Nederland: *Twee robotarmen om je fantasie te prikkelen*. [Clubblad 2/1992](#), S. 6.
- [27] Gerhard Bader: *Fischer-Technik und Computer: Programme für Atari ST, Commodore 64/128, Schneider CPC, IBM PC u. Kompatible*. [CHIP-SPECIAL 1987](#), Vogel Verlag, Würzburg, 1987.

- [28] CPC Wiki: [Foto eines 30562.](#)
- [29] CPC Wiki: [Foto eines 30567.](#)
- [30] C. Hehr: [Platine eines 30566.](#)  
fischertechnik community.
- [31] Fischertechnikclub Nederland: [Computing Dozen.](#)
- [32] fischertechnik: [CVK-fischertechnik Schul-Interface \(67319\).](#)
- [33] C64 Wiki: [C64 Userport.](#)
- [34] A2wiki: [Apple II Game-IO.](#)
- [35] Chris Whytehead: [Acorn Pinouts.](#)
- [36] Larry Davis: [PC Parallel Port Pin-Out.](#)
- [37] CPC Wiki: [CPC Printerport.](#)
- [38] fischertechnik-Datenbank: [32680 \(Stecker-Netzgerät 220V:6,8V 1,5A Computing Experimental\).](#)
- [39] NXP: [Data Sheet IN4001.](#)  
24.05.1996
- [40] Texas Instruments Incorporated: [Data Sheet LM7805.](#) Revised Sept. 2016
- [41] René Trapp: *V. I. P. – Ein I<sup>2</sup>C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 1)*. [ft:pedia 2/2017](#), S. 63-73.
- [42] NXP: [Data Sheet BD135.](#) 12.04.1999
- [43] NXP: [Data Sheet BD136.](#) 12.04.1999
- [44] NXP: [Data Sheet BC547.](#) 25.11.2004
- [45] Siemens: [DC Motor Driver TLE4201.](#) 9/1992
- [46] Stefan Falk: *Motorsteuerungen (Teil 1)*. [ft:pedia 1/2011](#), S. 4-8.
- [47] Dirk Uffmann: *PWM-Motorsteuerung am fischertechnik-Universal-Interface*. [ft:pedia 4/2015](#), S. 49-54.
- [48] Wikipedia: [Induktion.](#)
- [49] Wikipedia: [Freilaufdiode.](#)
- [50] Vishay: [Silicon Epitaxial Planar Diodes IN4148.](#) Rev. 2, 01.04.1999
- [51] NXP: [Data Sheet HEF4011B.](#)  
January 1995
- [52] NXP: [Data Sheet HEF4081B.](#)  
January 1995
- [53] NXP: [DataSheet HEF4094B MSI.](#)  
January 1995

*Abb. nächste Seite: Greifautomat von Fabian, Max, Christian & Stefan  
– der Besuchermagnet auf der Maker Faire Bensheim 2017*

