

Editorial

Back to School

Dirk Fox, Stefan Falk

In den vergangenen Jahren konnte man gelegentlich glauben, fischertechnik habe seine „DNA“ verloren. Erst die gefeierten neuen Design-Bauteile, dann die Fokussierung auf Kugelbahn-Kästen und schließlich die Integration von Fremdmodellen in den aktuellen Junior-Kästen – alles möglicherweise sinnvolle Maßnahmen, um neue Kundengruppen im Spielwarenmarkt zu gewinnen: Aber was hat das noch mit dem zu tun, was wir mit diesen einzigartigen Technik-Konstruktionskästen verbinden?

Dabei konnte man glatt übersehen, dass sich gleichzeitig, wenn auch eher still und leise, eine Rückkehr zu den Wurzeln von fischertechnik und den wirklichen Alleinstellungsmerkmalen anbahnt. So wurden Elemente in den Kugelbahn-Kästen stückchenweise technischer, und in diesem Jahr kamen der Kettenreaktionskasten „Funny Machines“ und ein Hydraulik-Baukasten auf den Markt. Schließlich nahm fischertechnik mit der [Öffnung des Computing-Bereichs](#) für den [Calliope mini](#) und den [micro:bit](#) Tuchfühlung mit der Maker-Szene auf.

Vor allem aber: fischertechnik drängt in die Schule. Dahin, wo die Baukästen in den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts schonmal waren. Und wo sie (auch) hingehören. Dabei unternimmt fischertechnik mutige Schritte: Auf den Begleitheften zu den Baukästen zum [Calliope mini](#) und dem [micro:bit](#) ist fett zu lesen: „Programmieren in der Grundschule“. Auch die [Unterstützung der Einsteigerprogrammiersprache Scratch](#) durch alle fischertechnik-Controller wird inzwischen aktiv promotet.

Am bedeutsamsten ist dabei sicherlich die Unterstützung des Arduino, dessen Fangemeinde auch dank der gigantischen Sammlung von Open-Source-Bibliotheken und Maker-Projekten schon lange die Milliongrenze überschritten hat. Mit den F5-Shields von Didacta Advance für den [Arduino Uno](#), den [Arduino Mega](#) und den [micro:bit](#), die inzwischen auf der Webseite von fischertechnik beworben werden, und der von Modellvideos begleiteten [prominenten Präsentation des ftDuino](#) sendet fischertechnik eine deutliche Nachricht: Wir sind die passende Ergänzung zu allen Controllern, die in den vergangenen Jahren sowohl die Maker-Szene als auch die Klassenzimmer erobert haben.

Und eine weitere Chance ergreift fischertechnik beim Schopf: Im September wird (in limitierter Auflage) ein Baukasten zum gerade erschienenen Buch „[fischertechnik-Roboter mit Arduino](#)“ auf den Markt kommen – eine „Verbeugung“ vor der Community. So viel Aufbruch war selten in Waldachtal. Und was im Angebot fehlt, ergänzt wie üblich die Community: Marcel André stellt in dieser ft:pedia sein fischertechnik-Shield für den Calliope mini vor. Vielleicht wird ja auch daraus noch ein „offizielles“ Produkt...

Bleibt dran. An den Kästen, euren Ideen und Modellen. #wirsindfischertechnik ☺.

Herzliche Grüße,
Euer ft:pedia-Team

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

Inhalt

Back to School	2
Mini-Modelle (25): Parallelzeichner	4
Die Box 125/1 Advanced Mini Cranes.....	6
Kaulquappen (Teil 11).....	12
Taster, Schalter und Steuerhebel (Joysticks).....	17
Summer in the City	24
Der Selbstschrauber	30
Das chaotische Pendel	33
Synchronpendel und extreme Synchronmaschinen	38
Harmonic Drives von Z10 bis Z40	47
Verkabelung (Teil 3).....	61
Elektronikmodule (Teil 3).....	68
Kugelhahler und Soundeffekt.....	82
fischertechnik-Interface für den Calliope mini	86
fischertechnik-Malroboter	92

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Clubtag Schoonhoven	07.11.2020	Schoonhoven (NL)
Spielemesse Stuttgart	19./22.11.2020	Stuttgart

Hinweise

Die angegebenen Termine stehen unter dem Vorbehalt eines möglichen Verbots von üblichen Großveranstaltungen. Die für September 2020 geplante Sudconvention des ftc Modellbau in Sinsheim wurde leider abgesagt.

Impressum

<http://www.ftpedia.de>

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

Autoren: Marcel André, Christian Bergschneider, Gerhard Birkenstock, Stefan Falk, Dirk Fox, Hans-Christian Funke, Stefan Fuss, Peter Habermehl, Rüdiger Riedel, Tilo Rust, Harald Steinhaus, Dirk Wolffel.

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 (25): Parallelzeichner

Gerhard Birkenstock

Immer wieder kommt es auch beim Heimwerken vor, dass eine kleine Hilfe gebraucht wird. Gerade bei einfachen Problemen kann fischertechnik helfen. Hier ist es ein simpler Parallelzeichner. Eine Kontur wird damit auf einfachste Art auf das Werkstück übernommen.

Einfacher Parallelzeichner

Wie bekommt man eine parallele Linie auf ein Brett? Mit dem Gliedermaßstab geht es, jedoch ist das umständlich: Mit der einen Hand den Bleistift auf Anschlag halten und mit der anderen Hand an dem zu übernehmenden Rand entlang fahren.

Genau bei dieser Arbeit ist mir eine Idee gekommen. Mit fischertechnik kann man doch richtig gut auch beliebige Abstände einstellen – mit einem Abstandshalter in der Nut eines Grundbausteins 30. Und die Statik-I-Streben lassen richtig viele Möglichkeiten zu. Den Blick über die fischertechnik-Kästen schweifend findet sich schon sehr bald das Richtige: Hier im folgenden Bild (Abb. 1) zu erkennen. Total einfach und doch genau das Gewünschte.

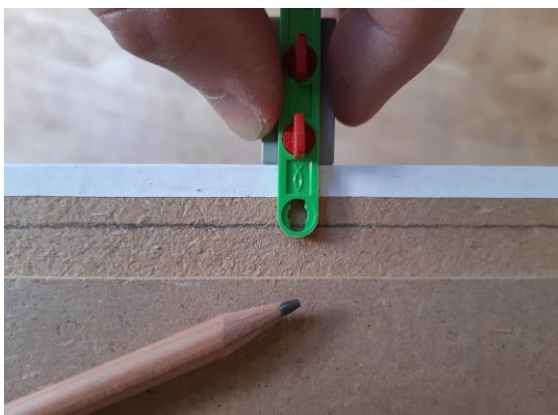


Abb. 1: Parallelzeichner in der einfachsten Version

Dank der Möglichkeit, die Strebe an den S-Riegeln in der Nut des BS 30 zu verschieben, kann man jeden beliebigen Abstand einstellen. Kommt man an die Grenze des Steins, wird einfach einer der S-Riegel um ein Loch versetzt. Wenn die Länge nicht ausreicht, wird eine längere Strebe gewählt. Und für noch längere Versionen kommen dann mehrere der Streben mit einer Lasche 15 dazu. Alles machbar.

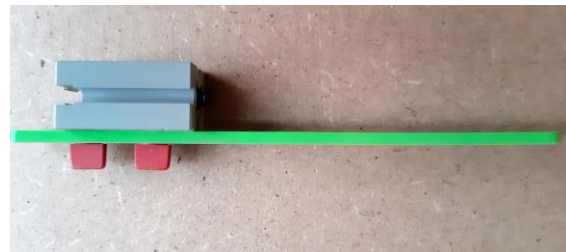


Abb. 2: Seitliche Ansicht

Konturübertragung

Mit dem Wissen und der Übung im Umgang mit der fischertechnik habe ich mich dann in Gedanken noch an eine weitere Aufgabe gewagt: Ein gerades Brett soll an eine schiefe Wand angepasst werden. Somit ist eine Kontur mit einem gewissen Abstand auf ein Brett zu übernehmen. Hier wird es vom Aufbau her etwas aufwändiger, bewegt sich aber für fischertechniker noch immer im einfachsten Segment.

Es werden zwei Streben genutzt. Die eine um weiterhin den variablen Abstand einstellen zu können. Auch in dieser Strebe ist noch das Loch für den Bleistift vorhanden.

Die andere Strebe wird zur Abtastung der gekrümmten Wand genutzt. Der Abstand zur Wand wird justiert und dann mit der Abtastung begonnen. Abb. 3 zeigt die einfache Anordnung der fischertechnik-Teile.



Abb. 3: Seitenansicht

Es sind sehr wenige fischertechnik-Bauteile vonnöten. Aber der dabei entstehende Nutzen ist toll. Im folgenden Bild (Abb. 4) erkennt man die Anwendung der kleinen Vorrichtung.

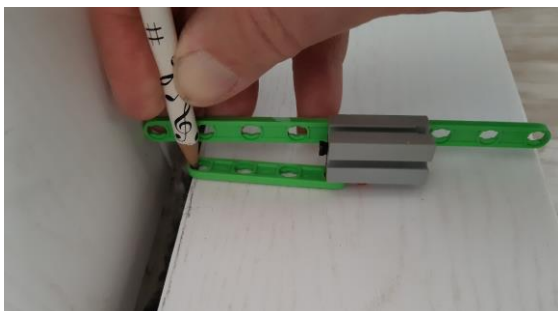


Abb. 4: Beim „Abtasten“ der Wand

Parallelzeichner einfach

Bauteil-Nr.	Anz.	Bezeichnung
36323	2	S-Riegel, rot
32879	1	Baustein 30, schwarz
38546	1	I-Strebe mit Loch 120
Für die Verlängerung:		
31667	1	Lasche 15, rot
xxxxx	1	I-Strebe mit Loch xxx
36323	2	Weitere S-Riegel

Abtastversion

Bauteil-Nr.	Anz.	Bezeichnung
36323	2	S-Riegel, rot
32879	1	Baustein 30, schwarz
38546	1	I-Strebe mit Loch 120
35975	1	Statikadapter, rot
38541	1	I-Strebe 45, gelb

Baukasten

Die Box 125/1 Advanced Mini Cranes

Peter Habermehl

Zu Ostern 2020 wurde im Forum der fischertechnik community als kleine Überraschung die Anleitung für die Zusammenstellung eines kleinen Kran-Baukastens veröffentlicht. In diesem Beitrag wird die Entstehung des Community-Baukastens „Advanced Mini Cranes“ zusammen mit einigen Hintergrundinformationen dargestellt.

In einer Interessengemeinschaft wie der fischertechnik community entstehen immer wieder Gemeinschaftsprojekte. Ein schönes Beispiel ist der Achterbahn-Thread [1] im Forum, wo unter großer Beteiligung gemeinsam getüftelt wurde.

Eine Art serielles Gemeinschaftsprojekt war die Entwicklung eines kleinen, reise-tauglichen Bausatzes, der zu Ostern 2020 im Forum veröffentlicht wurde [2] und auf der Community-Homepage auch direkt unter [9] zu finden ist.

Der Hintergrund

Nachdem Forumsmitglied Jan (juh) die Grundplatte 250 als 3D-Druck-Design veröffentlicht hatte [3], die zudem noch als Deckel auf die fischertechnik-Sortierwanne 250 passt, erinnerte ich mich meines alten Wunsches nach einer kleinen Grundplatte mit dem Nutsystem der aktuellen, großen fischertechnik-Platten 500 und 1000.

Jan war so nett und hat auf Nachfrage die Grundplatte 250 nochmals halbiert und eine

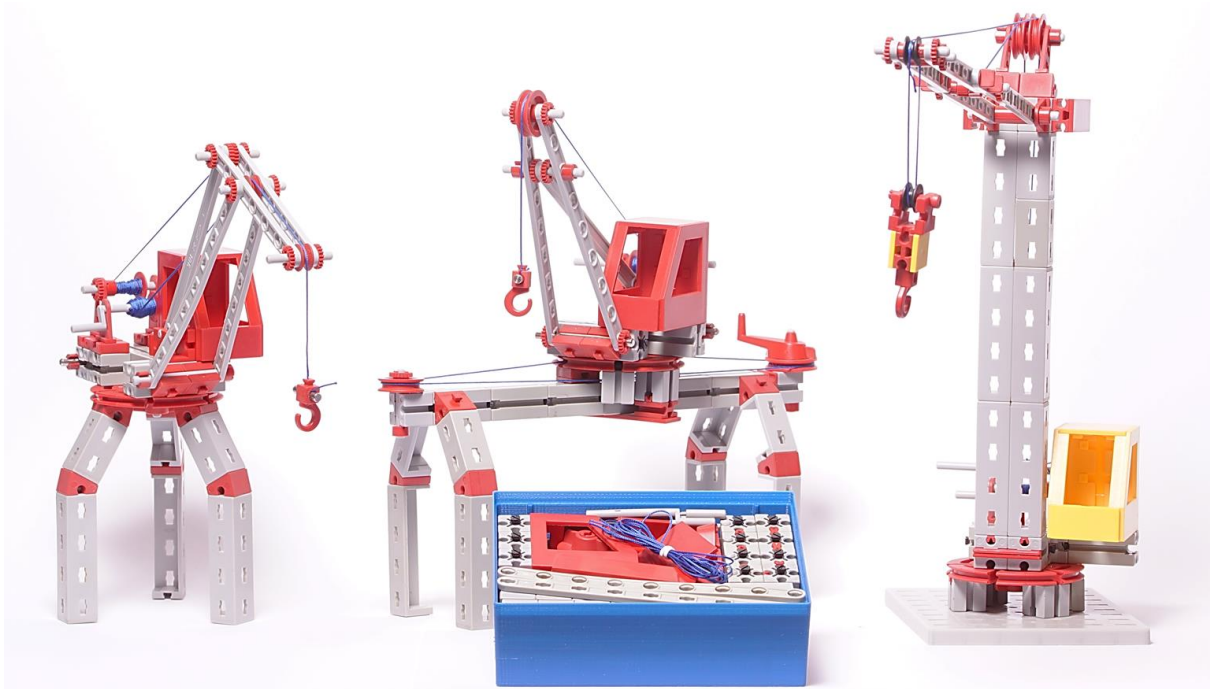


Abb. 1: Die Box 125/1 und die drei Modelle

Grundplatte 125 (128 · 98 mm Außenmaß) entworfen.

Das brachte mich auf den Gedanken, dass zu einer 125er Grundplatte auch wieder eine Sortierwanne gehört, die ich anschließend selbst konstruiert habe [4]. Als kleine Besonderheit wurde sie so entworfen, dass die original fischertechnik-Trennsteg der Sortierwanne 250 auch in die neue Wanne 125 eingesetzt werden können.



Abb. 2: Sortierwanne 125 mit fischertechnik-Trennstegen und Grundplatte 125

Die Sortierwanne 125 rief Stefan Falk auf den Plan. Er bat um eine Serie von Urlaubskasten-Vorschlägen für die ft:pedia, und diesem Ruf möchte ich mit der *Box 125/1 Advanced Mini Cranes* nachkommen.

Die Modelle

In der Geschichte von fischertechnik finden sich schon früh die ersten Bauvorschläge für Kräne. Und über all die Jahre gab es immer wieder Baukästen, die sich mit dem Thema beschäftigten, vom Kleinmodell über den riesigen *Turm-Drehkran* (30480) bis zum unübertroffenen Modellbaukasten *Container-Brücke* (30479) in den 1980er Jahren, gefolgt von diversen anderen Sets wie z. B. den *Hafenkränen* (30201) in 1998 oder den *Advanced Super Cranes* (41862) von 2006.

Und welcher langjährige fischertechnik-Fan hat nicht die berühmte eBay-Kleinanzeigen-Konvolute-Restekiste? In meinem Fall hauptsächlich mit „klassischen“ fischertechnik-Teilen in grau und rot bestückt, etwas Statik, ein paar Achsen, eben Teile, die gebraucht zum Kilopreis gehandelt werden.

Und so entstand der Gedanke, aus gut verfügbaren Standardteilen einen Bausatz zusammenzustellen, der sich auch noch in der kleinen Sortierwanne 125 unterbringen lässt. Dabei sollten die Modelle zumindest auch eine gewisse Funktion haben und von der Komplexität den Anspruch des Baukastens *Basic Cranes* (96778) aus 2005, der allerdings schon die Richtung bezüglich der Modellauswahl beeinflusste, übertreffen.

Ich wollte die Modelle rund um eines der ältesten fischertechnik-Teile herum bauen, die Drehscheibe (31019), die schon 1966 ins fischertechnik-Programm kam und in meiner Schüttgutkiste dutzendfach vorhanden war. Ausgehend von der Drehscheibe entstand zunächst ein kleiner Doppellenker-Hafenkran, der auf drei Beinen aus Winkelsteinen 30°, 60° und Statik-Winkelträgern 30 und 60 steht. Zwei Winden bedienen den Kranhaken und die Kranarmverstellung.



Abb. 3: Hafenkranmodell

Nachdem das Modell seine endgültige Gestalt gefunden hatte, wurde es zerlegt, um aus den Teilen einen Baukran zu erstellen.

Nach einiger Vorüberlegung kam ich zu der Entscheidung, einen leichten Hochbaukran amerikanischer Bauart (Untendreher mit Nadelausleger, siehe [5]) zu bauen, da ein Katzausleger, also ein Ausleger mit Laufkatze, in der geplanten Modellgröße nicht realisierbar schien, aber das Verfahren der Last in Richtung des Auslegers trotzdem möglich sein sollte.

Das Konstruktionsprinzip wurde auch von Fischertechnik, zum Beispiel beim oben erwähnten *Turm-Drehkran* ([30480](#)), angewandt.

Mit einem Ausleger aus Statikstreben 90 und 120 ließ sich so ein ca. 20 cm langer Ausleger an einem 23 cm hohen Turm realisieren, was bei waagrechtem Ausleger eine Kranreichweite von 23 cm (gemessen vom Haken zur Drehachse) und eine Hubhöhe von 18 cm, und bei angehobenem Ausleger (ca. 65° aus der Horizontalen) eine Hubhöhe von 35 cm in 12 cm Entfernung von der Drehachse erlaubt, woraus eine horizontale Verfahrstrecke von ca. 11 cm resultiert.



Abb. 4: Baukranmodell

Für ein Modell aus einer 13 · 10 · 4 cm großen Box sicherlich schon beachtliche Werte.

Als Highlight des Baukastens sollte nun noch ein Portalkran entstehen, der einen auf der Kranbrücke per Seilzug verfahrbaren Drehkran besitzen sollte.

Auch hier wurde wieder die Drehscheibe als Basis gewählt; der Aufbau des Drehkran-Oberteils ist gegenüber dem Hafenkran etwas vereinfacht mit festem Ausleger ausgeführt.



Abb. 5: Portalkranmodell

Von allen drei Modellen wurden nun die genauen Stücklisten erstellt und abgeglichen, sodass die Bestückung für den Modellbaukasten ermittelt werden konnte. Da die Konstruktion der Modelle zwei und drei jeweils vom Teilesatz des Vorgängermodells ausging, war eine große Überschneidung zwischen den drei Modellen gegeben. Insgesamt beinhaltet der Modellbaukasten über 140 Teile.

In einer mehrstündigen Fischertechnik-Tetris-Session für Fortgeschrittene gelang es, alle Teile tatsächlich in der Sortierwanne 125 unterzubringen.

Ganz nebenbei wurde für die Community auch noch ein neues Bauteil erschlossen. Mir missfiel (seit meiner Kindheit...), dass der Kranhaken mit dem Klemmstift am Seil befestigt sehr leicht ist, so dass das Seil oft, insbesondere bei etwas schwergängigen Rollen, nicht sauber abspult.



Abb. 6: Die gefüllte Sortierwanne

Zudem bemerkte ich, dass der Klemmstift wohl zu den selteneren Teilen zählt. Um diesen Lieferengpass zu umgehen und um für ein höheres Hakengewicht zu sorgen, wurde ein Klemmstift 15 aus Edelstahl erstellt. Dieser sollte inzwischen auch bei Stefan Roth (fischerfriendsman) erhältlich sein [6].

Die Dokumentation

Da das erklärte Ziel von vorneherein die Veröffentlichung des Bausatzes war, sollte nun noch eine möglichst verständliche und auch optisch ansprechende Bauanleitung erstellt werden.

Grundlage dazu war das Programm *fischertechnik-Designer* [7], für das Andreas Gürten (laserman) ein sehr schönes Tutorial im Forum veröffentlicht hat [8].

Alle drei Modelle wurden im *fischertechnik-Designer* nachkonstruiert und dabei in mehrere Bauphasen unterteilt.

An dieser Stelle sei nochmal ausdrücklich Dirk Wölfel (DirkW) gedankt, der mir innerhalb von wenigen Stunden die Grundplatte 125 und die Sortierwanne 125 für den *fischertechnik-Designer* verfügbar machte. Inzwischen sind die Teile im *fischertechnik-Designer* als Online-Update verfügbar.

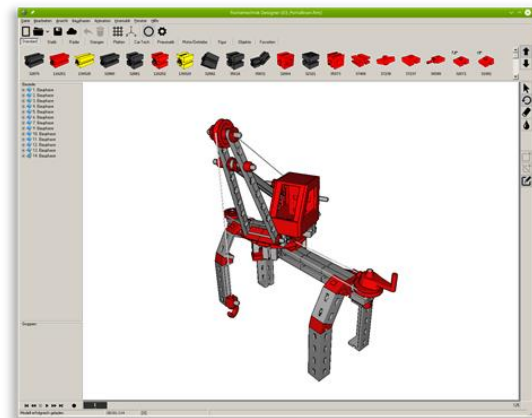


Abb. 7: *fischertechnik-Designer* mit Kran

Da der *fischertechnik-Designer* es ermöglicht, zu jeder Bauphase auch die Übersicht der verwendeten Teile zu erstellen, waren die wichtigsten Informationen für die Dokumentation relativ schnell zusammengestellt.

Die Anleitung sollte sowohl am Bildschirm als auch auf Papier zu gebrauchen sein. Daher wurde das Format DIN A5 quer gewählt.

Eine mit dem *fischertechnik-Designer* erstellte Einzelteilliste sowie der ebenfalls mit dem *fischertechnik-Designer* gezeichnete Bestückungsplan für die Sortierwanne runden die Anleitung ab.

Zu guter Letzt erfolgte ein ausgiebiger Test des Bausatzes und der Anleitung. Neben meinen Kindern, die beide die Modelle versuchsweise aufbauten und das Bestücken der Sortierwanne optimierten, haben Esther (EstherM) und Uwe (giliprimero) alle drei Modelle gebaut und zahlreiche Korrektur- und Verbesserungsvorschläge für die Anleitung gemacht, wofür ich ihnen sehr danke.

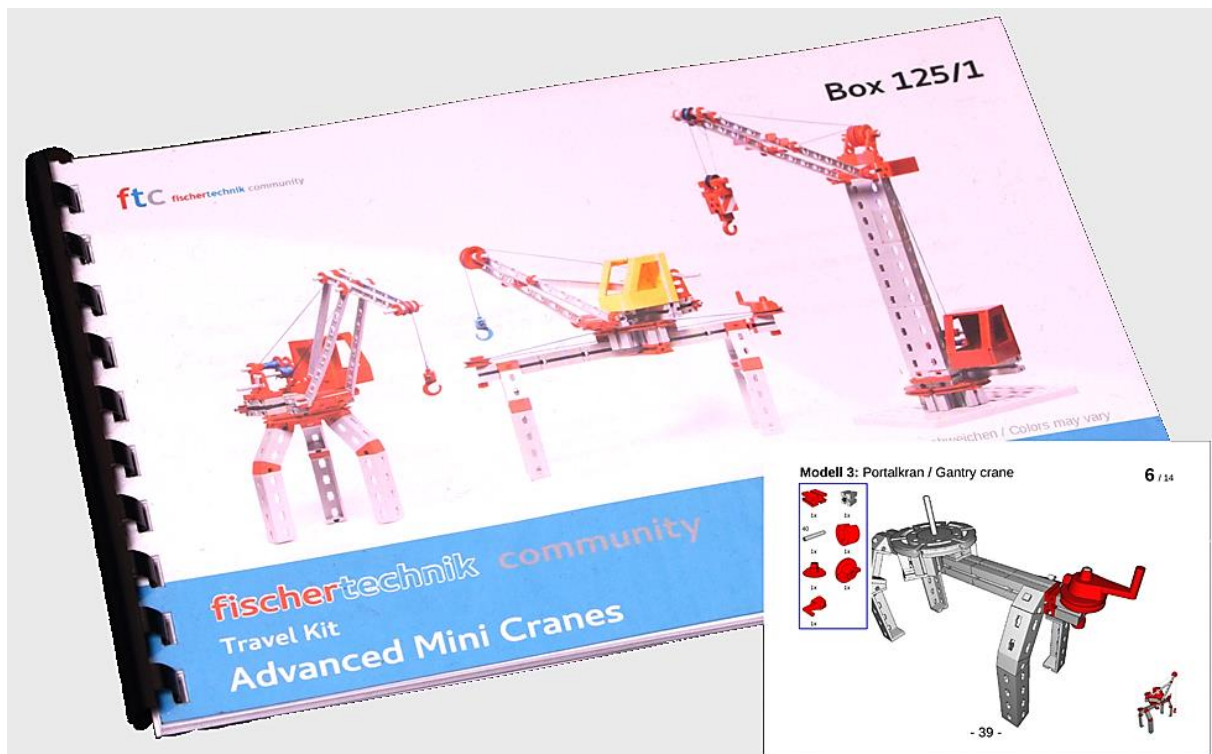


Abb. 8: Seite aus der Anleitung, gedrucktes Heft

Schlusswort

Mit der Zusammenstellung dieses kleinen Modellbaukastens für die Community habe ich mir selbst einen kleinen Kindheitstraum erfüllt. Die Arbeit hat mir sehr viel Freude bereitet, das Ergebnis erfüllt meine selbst gesetzten Ziele.



Abb. 9: Farben können abweichen, ganz nach persönlichem Geschmack

Ich würde mich sehr freuen, wenn der Eine oder Andere einen solchen Bausatz aus seiner Restewühlkiste zusammenstellt und vielleicht als fischertechnik-Appetitthappen an ein Kind weitergibt, so wie ich selbst es zu Ostern getan und dafür glänzende Kinderaugen als Dank erhalten habe.

Dabei gilt: Farben können abweichen – siehe Abb. 9. Nicht nur bei den Rottönen, sondern insgesamt kann verwendet werden, was gefällt oder einfach auch nur übrig ist.

Quellen

- [1] [Achterbahn-Thread](#) auf ftcommunity.de.
- [2] [Forenlink](#) zur Veröffentlichung des Baukastens.
- [3] Thread zu den [neuen Grundplatten](#) auf ftcommunity.de.
- [4] Thread zur [Sortierwanne 125](#) auf ftcommunity.de.

- [5] Wikipedia: [Turmkran](#) (siehe Abschnitt „Nadelausleger“ und „Katzausleger“).
- [6] Teilehändler [fischerfriendsman](#) (Klemmstift 15 Edelstahl):
- [7] Webseite des [fischertechnik-Designers](#)
- [8] [fischertechnik-Designer Tutorial](#) im Forum
- [9] [Anleitung und Dokumentation](#) zur Box 125/1.
- [10] Falk, Stefan: [Der Wohnzimmer-Dienstreisen-Urlaubs-Notfallkasten](#). ft:pedia 1/2016, S. 37-40.

Tipps & Tricks

Kaulquappen (Teil 11)

Harald Steinhaus

Im Mittelpunkt der vorliegenden Episode stehen gute Bekannte: die Reifen 45 und 60 ([31018](#) und [37236](#)). Im Forum hob jüngst eine Diskussion darüber an, dass doch die Reifen 45 aus den Tagen des Grundkasten 300 „alt“ und den neuen, weichen, breiten Reifen 45 nicht ebenbürtig wären. Vom Design her mag da etwas dran sein. Allerdings haben diese Elemente eine Reihe von Tricks auf Lager, für die weder mit neueren Reifen noch mit anderen Teilen Ebenbürtiges erschienen ist.

Schon die Patentschrift von 1966 [1] zeigt zwei der Möglichkeiten: zwei Reifen 45 kämmen miteinander, wenn sie

- leicht versetzt auf parallelen Achsen liegen (Abb. 1 [2]),
- im rechten Winkel aufeinander abrollen (ebenfalls Abb. 1).



Abb. 1: Reifen 45 kämmen miteinander

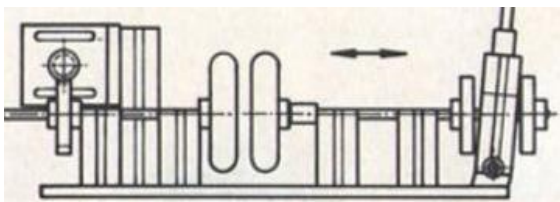


Abb. 2: Kupplungsvorschlag mit zwei Reifen 45 aus der Anleitung zu den Grundkästen 100 – 400

Außerdem kämmen sie wie Kronenräder ineinander, wenn sie stirnseitig voreinander auf zwei in Flucht liegenden Achsen

montiert sind. Die Anwendung als Achskupplung zeigt schon die Anleitung zu den Grundkästen 100 bis 400 (Abb. 2 [3]).

Weiter geht es mit Seilen und Raupenbändern: die umlaufende Rinne dient als Führung für Nylonseil, Gummiringe und die Zugfeder ([35707](#) oder [35708](#), Abb. 3).

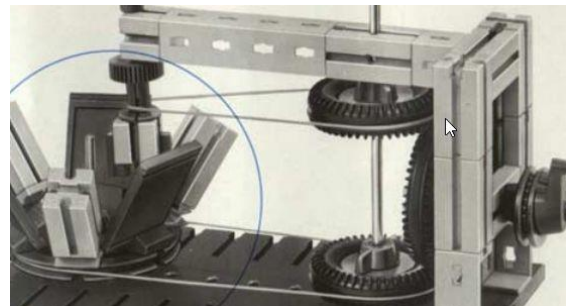


Abb. 3: Gummis und Zugfedern werden von Reifen 45 angetrieben

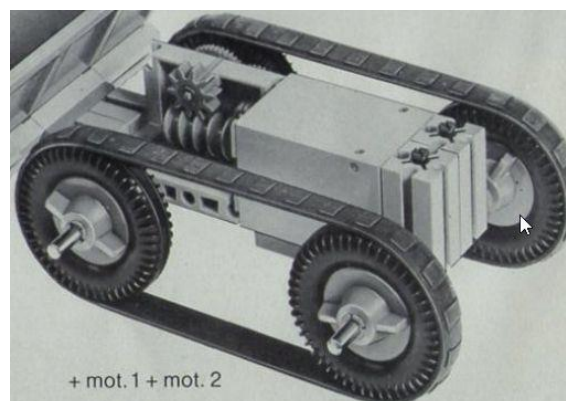


Abb. 4: Raupenbänder auf Reifen 45

Von einer zylindrischen Rolle würde das Raupenband ([31057](#)) irgendwann herunterfallen. Der runde Querschnitt des Reifen 45 wirkt als Bombierung [4]: das Gummiband zieht sich von allein immer mittig auf den Reifen, weil ein schief aufliegendes Band außen auf einem kleineren Radius abläuft, somit die Außenseite schneller wird als der mittlere Teil und das Band zur Mitte hin zieht (Abb. 4).

Reifen als Zahnräder

Die Reifen 45 und 60 kämmen nicht nur mit ihresgleichen, sie sind mit ihren 48 bzw. 62 „Zähnen“ kompatibel mit

- fischertechnik-Kegelzahnradern, und zwar mit allen! Das sind: Klemm-Kegelzahnrad ([31051](#)), Rastkegelzahnrad ([35061](#), [35062](#)), Differenzialkäfig ([31411](#)), Differenzial-Kegelzahnrad ([31412](#)), Differenzialrad Z14 ([137196](#), [35143](#), [31414](#))
- der schwarzen Schnecke m1 ([35977](#)).
- dem Rast-Z10 Modul 1, das sich an der Rastkurbel ([35071](#)) befindet.

Zudem können die Kegelzahnräder achsparallel, über Eck oder schiefwinklig verbunden werden:

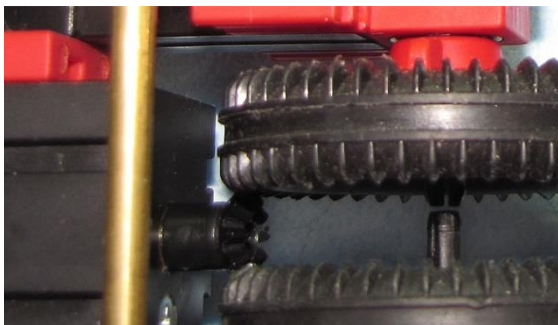


Abb. 5: Rastkegelzahnrad treibt Reifen 45

Abb. 5 zeigt ein fischertechnik-Rastkegelzahnrad zum gegenläufigen Antrieb zweier Reifen 45 im Gleichlaufgetriebe „Nr. 11“ [5]. In Abb. 6 sehen wir das Differenzialrad Z14 mit Rastanschluss zum Antrieb eines Reifen 45. Abb. 7 zeigt zwei Varianten mit schiefwinkligen Achsen. Die Reifen sind auf fischertechnik-Freilaufnaben (schwarz: 68535, gelb: 129697) montiert.

Abb. 8 zeigt eine Kaulquappe mit Reifen 45 und Differenzialkäfig ([31411](#)).

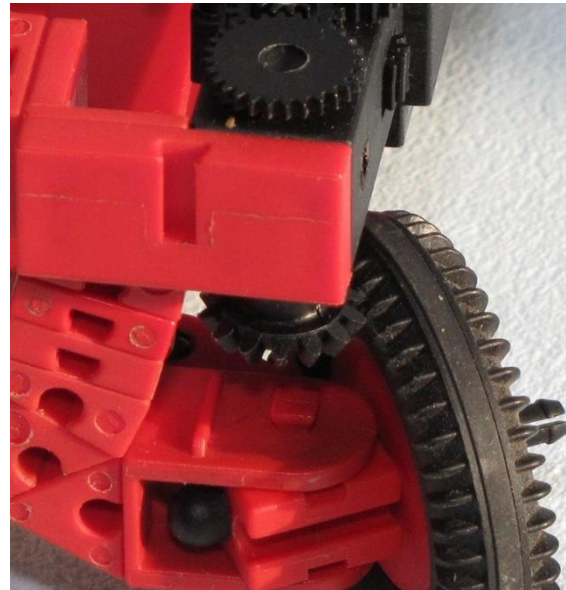


Abb. 6: Differenzialrad Z14 treibt Reifen 45



Abb. 7: Schiefwinkliger Antrieb von Reifen 45



Abb. 8: Differenzialkäfig treibt Reifen 45

fischertechnik behandelt das Modul 1 eher stiefmütterlich: Die „normalen“ Zahnräder haben Modul 1,5. Im Modul 1 gibt es nur die Schnecke ([35997](#)) und das Z10 auf Rastkurbel ([35071](#)), welches man zur Not von der Kurbel befreien kann... Im Modellbauhandel finden sich Zahnräder von Eitech, die ebenfalls auf den fischertechnik-Achsen mit 4 mm Durchmesser geklemmt werden

(schwarze Teile) oder frei laufen (blaue Hülsen) (Abb. 9):



Abb. 9: Zahnräder von Eitech mit Modul 1

Der Reifen 60 ist gleichermaßen vielseitig: Abb. 10 zeigt einen Reifen 60 mit Rastkegelzahnrad, das seinerseits von einem Klemm-Kegelzahnrad angetrieben wird (Portalhubwagen [6]):

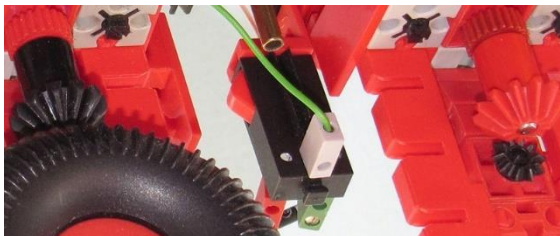


Abb. 10: Klemm-Kegelzahnrad auf Rastkegelzahnrad auf (rechts entfernten) Reifen 60



Abb. 11: Rastkegelzahnrad auf Differenzialkegelrad auf Reifen 60

Auf Abb. 11 sieht man den Reifen 60 mit Antrieb durch das (kleine weiße) Differenzialkegelrad, in der Verwendung als Frontantriebsachse. Diese Anordnung findet sich bei etlichen Fahrzeugen wieder, z. B.

- A-Team reloaded [7]
- Citroën DS I und II [8]
- Citroën HY [9]
- Land Rover Defender [10]
- Vierachs-Kipper von Stefan Falk [11]

Die Kegelverzahnung am Differenzialkäfig ([31411](#)) passt natürlich auch zum Reifen 60 (Abb. 12):



Abb. 12: Differenzialkäfig treibt Reifen 60

Exkurs: Leistung, Drehmoment und rutschende Antriebswellen

Die Schwachstelle vieler fischertechnik-Antriebe ist entweder eine in der fischertechnik-Nabe durchdrehende Stahlachse oder ein unter Last zerspringendes Rastkardan ([35971](#) + [35972](#)). Zur Ursachenfindung müssen wir etwas ausholen:

Mechanische Leistung wird berechnet als Produkt aus Drehmoment und Drehzahl. Bei gleicher Leistung kann man Drehmoment und Drehzahl „gegeneinander tauschen“, etwa durch Halbieren des einen und Verdoppeln des anderen. So können ein Traktor und ein PKW mit der gleichen Motorleistung angegeben sein, aber man erhält diese Leistung einmal in „langsam, aber kräftig zum Pflügen“ und einmal in „schnell, aber weniger zugstark auf der Autobahn“. Innerhalb dieser Grobunterscheidung bewirken die Fahrzeuggetriebe

noch weitere, feinere Zwischenstufen (nur die langsam laufenden Schiffsdiesel der ganz großen „Pötte“ haben den Propeller direkt auf der Kurbelwelle [12], welche entsprechend tonnenschwer ausfällt). Üblicherweise wird schon im Antriebsstrang der gleiche Tauschhandel gemacht: bei gegebener Leistung kann man ein Getriebe mittels schnelldrehender Welle kleiner und leichter bauen, und geschickter Weise tauscht man erst ganz hinten, also z. B. mit einem Planetengetriebe in der Radnabe, in Richtung großer Momente und kleiner Drehzahl (Abb. 13).



Abb. 13: Untersetzung in der Radnabe:
Claas Xerion 3300 [13]

Genau hier schlägt die große Stunde der Reifen 45 und Reifen 60: Man verwende die eher schwachbrüstigen fischertechnik-Rast-

bauteile zum Transportieren der Motorleistung mit hoher Drehzahl und wenig Drehmoment bis zum Zahnkranz am Reifen und übersetze erst dort im Verhältnis X/48 (Reifen 45) oder X/62 (Reifen 60) auf kleine Drehzahl und großes Drehmoment.

Auch wenn Designer der/dem fischertechnik-Konstrukteur/in nun unbedingt einen formschönen fischertechnik-Reifen vorgeschrieben haben, kann man sie heranziehen:

- Abb. 14 zeigt einen Reifen 45, der einfach im Huckepack neben einem Traktorreifen 80 montiert ist (für Details siehe [14]). Der Antriebsstrang ist damit entlastet, allerdings können die beiden Reifen gegeneinander rutschen.
- Auf Abb. 15 sitzt ein Reifen 45 huckepack in einem Conrad-Monsterreifen.
- Abb. 16 zeigt, dass man den Reifen 60 mittels einer Drehbank (Achtung, Modding!) zum Traktorreifen 80 passend machen kann.

Zu guter Letzt sei nur noch darauf verwiesen, dass die 48 Zähne des Reifen 45 ein Vielfaches von 12 sind. Es ist sicher nur eine Frage der Zeit, bis unsere fleißigen fischertechnik-Uhrenbauer daraus etwas machen.

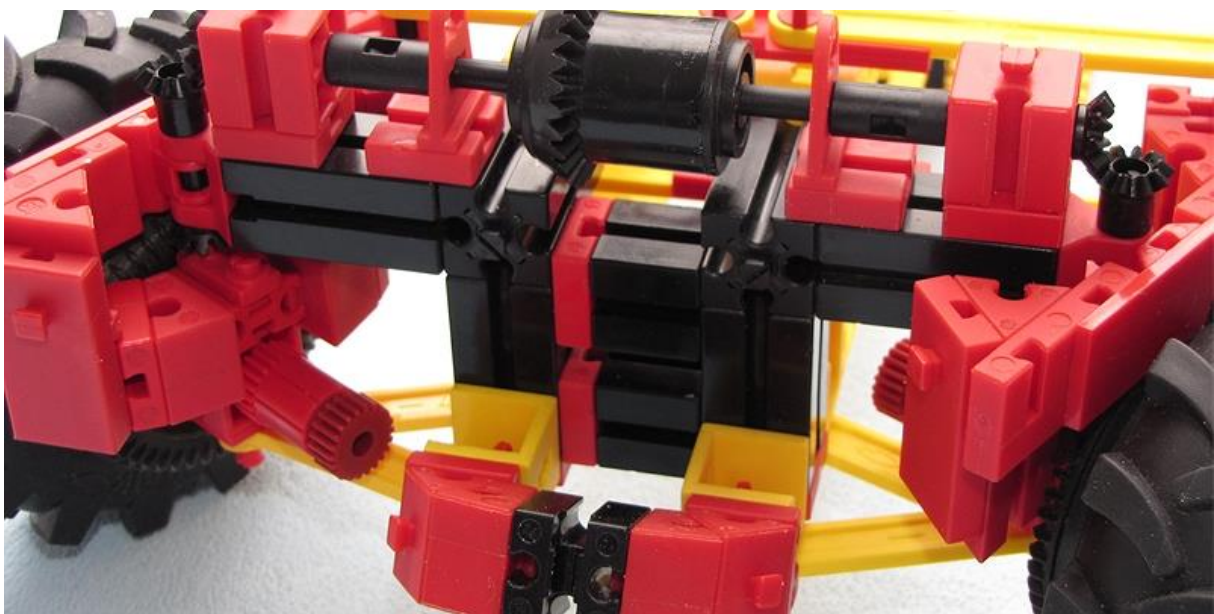


Abb. 14: Rastkegelzahnrad auf Reifen 45, der einen Traktorreifen mit dreht

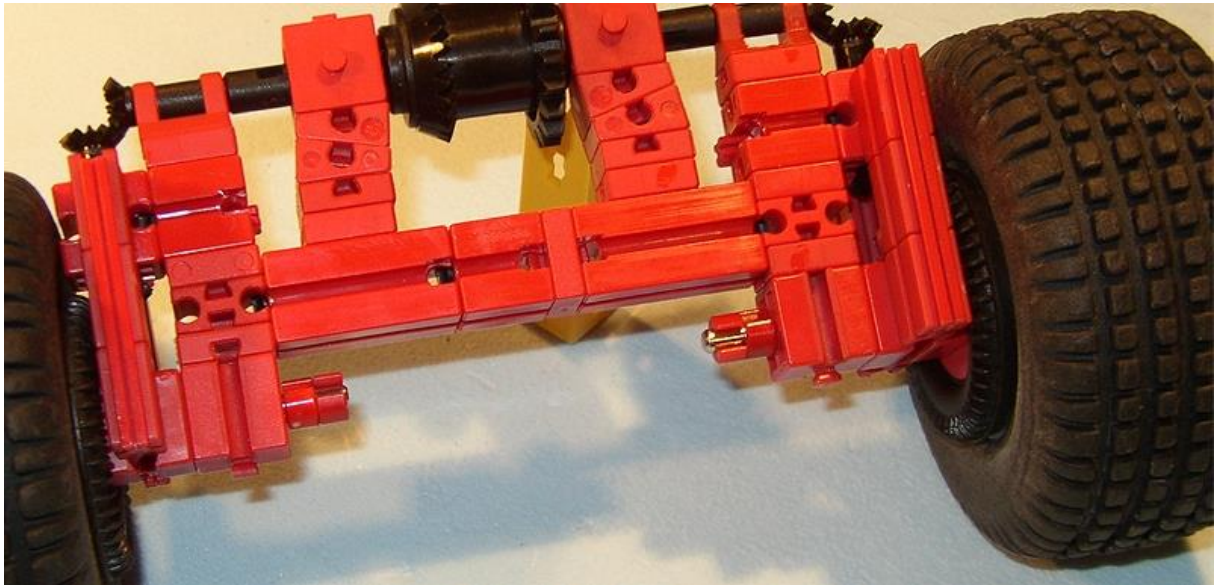


Abb. 15: Rastkegelzahnrad auf Reifen 45, der einen Conrad-Monsterreifen mit dreht



Abb. 16: Bearbeiteter Reifen 60 dreht Traktorreifen 80

Quellen

- [1] Fischer, Artur: [Patentschrift über den Reifen 45](#). 1966.
- [2] Falk, Stefan: [Perlentauchen \(Teil 1\)](#). [ft:pedia 3/2012](#), S. 11-18.
- [3] fischertechnik: [Anleitung „System ohne Grenzen“ zu den Grundkästen 100-400](#) auf [ft-datenbank.de](#).
- [4] Wikipedia: [Bombieren](#).
- [5] Steinhaus, Harald: [Gleichlauf \(11\)](#) auf [ftcommunity.de](#).
- [6] Steinhaus, Harald: [Portalhubwagen](#) auf [ftcommunity.de](#).
- [7] Steinhaus, Harald: [A-Team reloaded](#) auf [ftcommunity.de](#).
- [8] Steinhaus, Harald: [Antrieb der Citroën DS reloaded](#) auf [ftcommunity.de](#).
- [9] Steinhaus, Harald: [Citroën Typ H](#). [ft:pedia 3/2019](#), S. 9-12.
- [10] Steinhaus, Harald: [Frontantrieb des Land Rover Defender](#) auf [ftcommunity.de](#).
- [11] Falk, Stefan: [Blick auf die Unterseite des 4-Achs-LKW-Kippers](#) auf [ftcommunity.de](#).
- [12] Wikipedia: [Kurbelwelle eines Schiffsdieselmotors](#).
- [13] Wikipedia: [Claas Xerion](#). Abb. gemeinfrei, Harald H. Linz.
- [14] Steinhaus, Harald: [Allrad-Vorderachse mit Reifen 45](#) auf [ftcommunity.de](#).

Tipps & Tricks

Taster, Schalter und Steuerhebel (Joysticks)

Dirk Fox

Ein motorisiertes fischertechnik-Modell, das sich nicht einschalten lässt? Undenkbar. Eine manuelle Steuerung ohne Steuerhebel, Endlagentaster oder Polwender? Schwer vorstellbar. Ein mit Sensoren und Mikrocontroller gesteuertes Modell ohne Taster? Selten. Taster, Schalter und Steuerhebel sind unverzichtbare Elemente des fischertechnik-Systems – und mit ein wenig Raffinesse bieten sie sogar mehr, als auf den ersten Blick erkennbar. Eine Ideensammlung.

Taster

Der fischertechnik-Taster wurde in seiner Urform im Jahr 1968 ins fischertechnik-System eingeführt ([31332](#)) [1]. Durch die transparente Vorderseite konnte man die mechanische Funktionsweise sehr gut erkennen – und sofort verstehen. Auf der Rückseite war die Beschaltung dargestellt (Abb. 1).

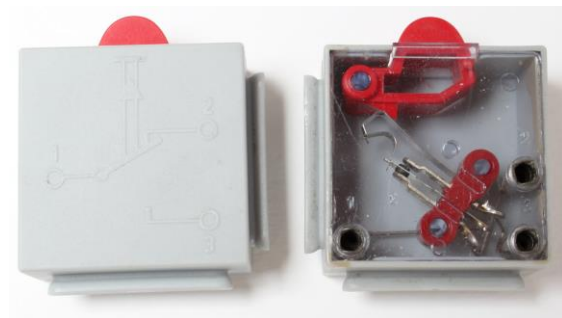


Abb. 1: fischertechnik-Taster von 1968

1976 wurde die Ur-Form des Tasters mit dem Ergänzungskasten em9 durch ein deutlich kleineres Modell („Mini-Taster“, [37780](#)) zunächst ergänzt und später ersetzt [1]. Es hat leider keine transparente Seite mehr, daher bleibt die mechanische Funktionsweise verborgen (Abb. 2).

Dafür können mehrere Taster übereinander montiert und so mechanisch „gekoppelt“ werden, sodass die Betätigung gleichzeitig erfolgt.

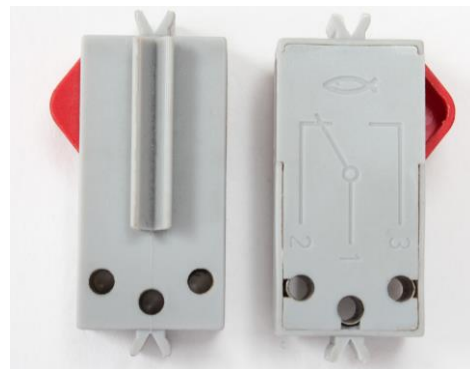


Abb. 2: Mini-Taster aus dem Jahr 1976

Taster waren damals und sind oft heute noch ein knappes Gut in der Bauteilsammlung. Die Elektromechanik-Baukästen boten jedoch zahlreiche Möglichkeiten, eigene Taster zu konstruieren. Einige Varianten sind in der Anleitung zum Baukasten em1 ([30071](#)) beschrieben (Abb. 3) [2], weitere finden sich im Hobby-Band 3-1 [3].

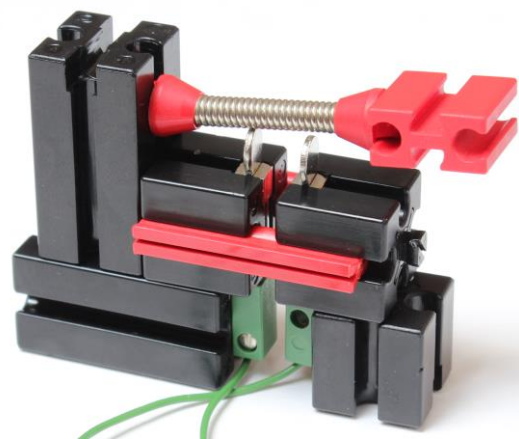


Abb. 3: Selbstbau-Taster aus em1 (S. 45) [2]

Schalter

Zusammen mit dem „Ur-Taster“ wurde 1968 ein vielfältig einsetzbarer Kippschalter (31331) in gleicher Bauart und ebenfalls mit transparenter Vorderseite eingeführt [1]. Er war nicht nur als Ein-/Ausschalter einsetzbar, sondern auch als Wechsel- und Polwendeschalter (Abb. 5). Außerdem besaß der Schalthebel eine mittige Bohrung, durch die ein fischertechnik-Seil geführt werden konnte. Machte man einen Knoten in das Seil, löste dieser eine Umpolung aus (Abb. 4).

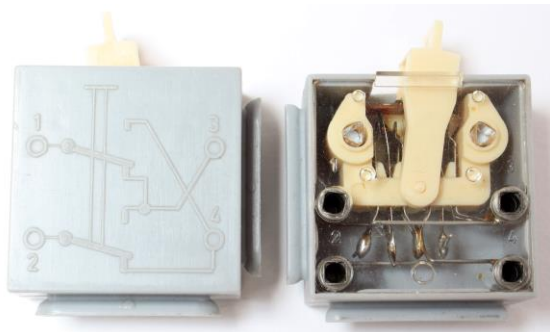


Abb. 4: Kipp- und Polwendeschalter von 1968

Auch Schalter ließen sich im fischertechnik-System unter Zuhilfenahme der Kontaktstücke 20 (31305) konstruieren. In der Anleitung zum em1-Baukasten findet man dafür mehrere Vorschläge (Abb. 5) [2].

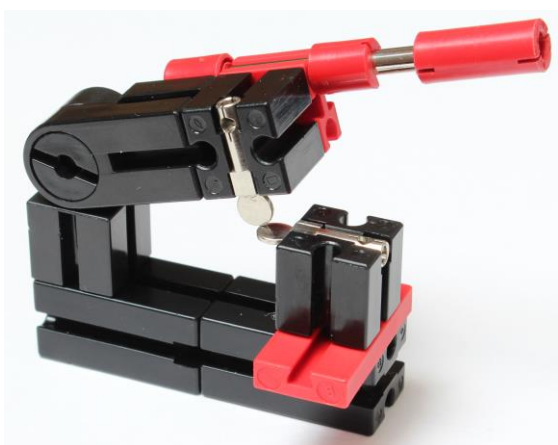


Abb. 5: Selbstbau-Schalter aus em1 (S. 11) [2]

Wechselschalter konnten ebenfalls mit Kontaktstücken 20 konstruiert werden; auch dafür finden sich in der em1-Anleitung Beispiele (Abb. 6).

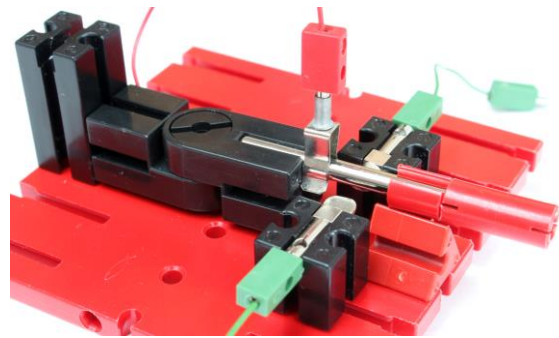


Abb. 6: Wechselschalter aus em1 (S. 37) [2]

Man kann auch fischertechnik-Taster zu einfachen Schaltern umbauen. Auch dafür finden sich schon Vorschläge im Experimentierbuch Elektromechanik (39145) aus dem Jahr 1981 (Abb. 7) [4].

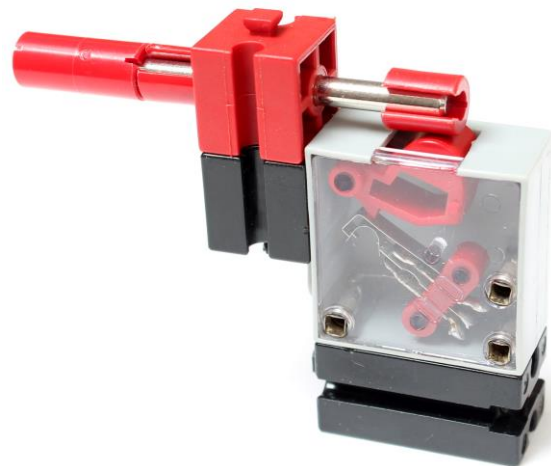


Abb. 7: Taster-Schalter aus Experimentierbuch Elektromechanik (S. 38) [4]

Mit einer Metallachse 50 und einem Gelenkstein 45 (31008) lässt sich das auch mit einem Hebelmechanismus lösen (Abb. 8).

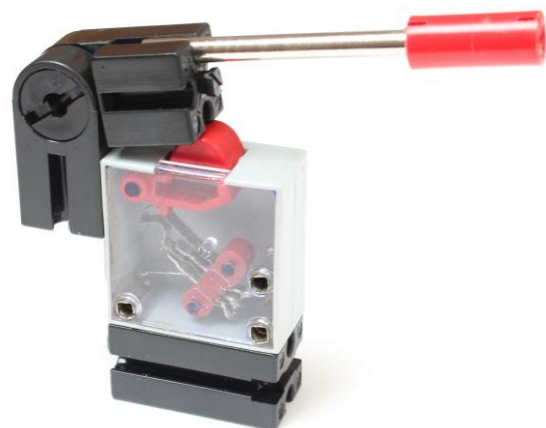


Abb. 8: Taster mit Hebel als Schalter

Ganz ähnlich funktioniert das mit den Mini-Tastern; statt einer Metallachse verwendet man hier eine Statik-Strebe oder –Lasche (Abb. 9, 10, 11) – Ideen aus dem Bilderpool der fischertechnik-Community.

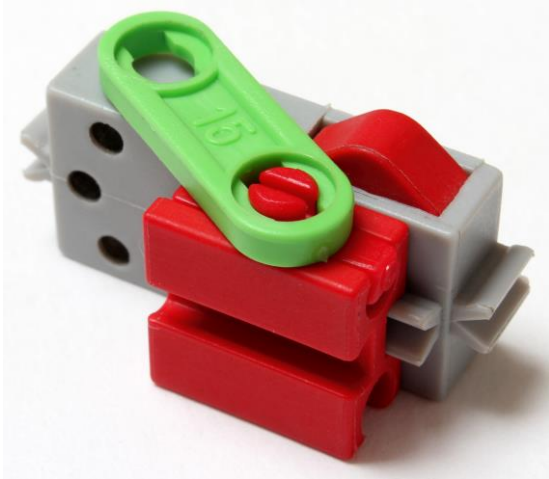


Abb. 9: Mini-Taster als Schalter; Konstruktion von Thomas004 (28.01.2010)



Abb. 10: Schalter mit Mini-Taster und langem Hebel; Konstruktion von Jeroen (23.11.2014)

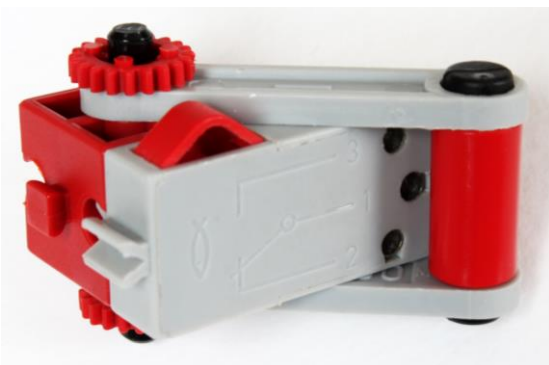


Abb. 11: Schalter mit Hebel; Konstruktion von René Trapp (10.09.2016)

Die „Luxus-Variante“ von René Trapp lässt an den Schalthebel einer Starkstromversorgung denken (Abb. 11). Der Griff besteht aus einer Hülse 15 (31983) und zwei Verbindungsstopfen (32316).

Schon in den Club-Nachrichten 1/1976 findet sich ein Vorschlag für einen Doppelschalter aus zwei Tastern (Abb. 12) [5].

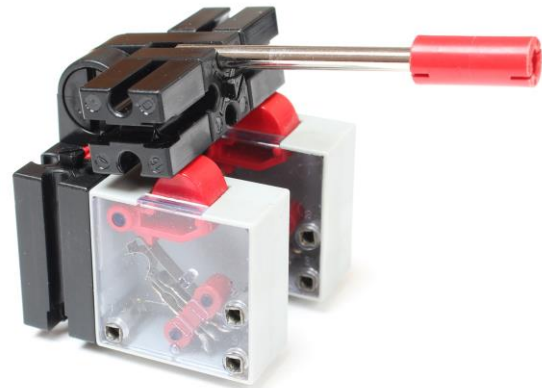


Abb. 12: „Doppelschalter“ aus den Club-Nachrichten 1/1976

Und aus zwei mechanisch „gekoppelten“ Mini-Tastern lässt sich ein Polwendetaster konstruieren, wie in den Club-Nachrichten 3/1978 gezeigt wurde (Abb. 13) [6].

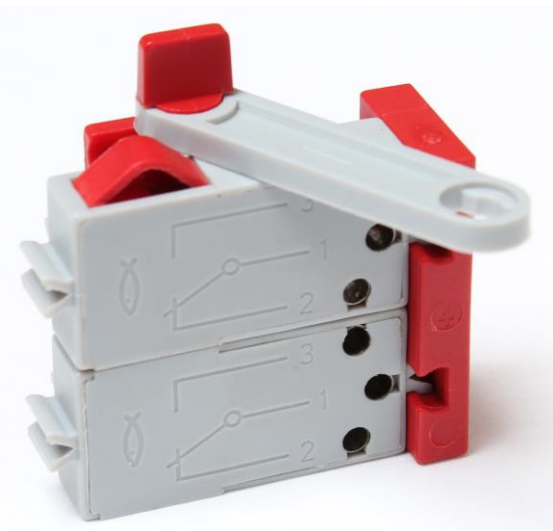


Abb. 13: Polwendeschalter aus Club-Nachrichten 3/1978

Auch mit dem Kippschalter sind interessante Konstruktionen möglich. So kann man aus zwei Kippschaltern mit wenigen zusätzlichen Bauteilen einen Wechselschalter

bauen, wie in den Club-Nachrichten 2/1976 gezeigt wurde (Abb. 14) [7].

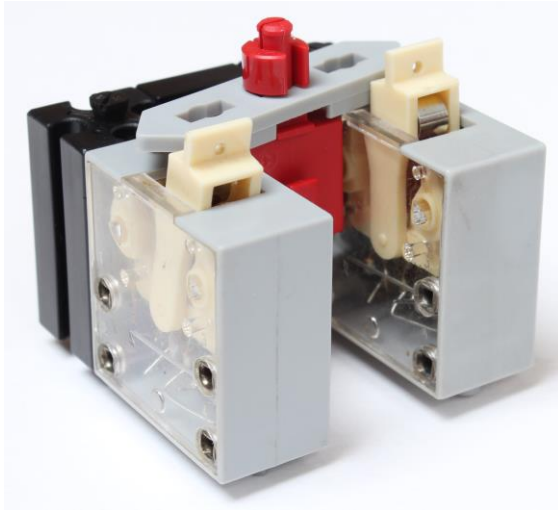


Abb. 14: Wechselschalter aus Club-Nachrichten 2/1976

Mit einer simplen Kugelschreiberfeder gelingt der folgende Kippschalter mit Rückstellung, vorgeschlagen in den Club-Nachrichten 2/1975 (Abb. 15) [8]. Damit wird aus dem Kippschalter ein Taster.

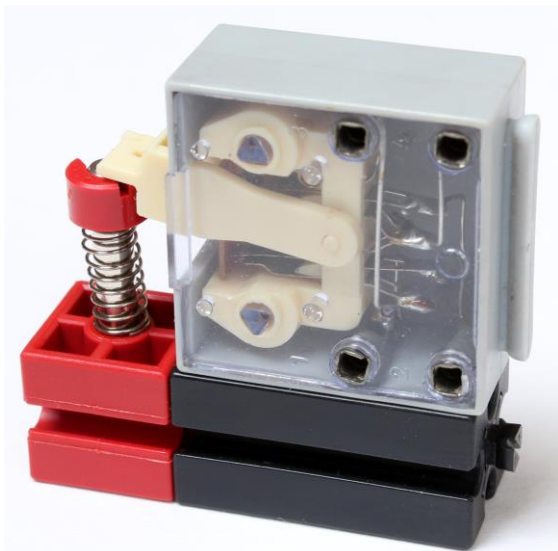


Abb. 15: Kippschalter mit Rückstellfeder, Club-Nachrichten 2/1975

Steuerhebel

Die Konstruktion von Steuerhebeln aus fischertechnik-Bauteilen hat eine lange Tradition, denn erst in den 90er Jahren wurden mit der ersten Fernsteuerung Steuerhebel im fischertechnik-System eingeführt. Modelle mit komplexen Steuerungen aber gab es schon lange davor.

Die Verwendung der fischertechnik-Fernsteuerung ist allerdings nicht immer eine sinnvolle Lösung: Das Übertragungsprotokoll verzögert die Wirkung, es kann abhängig vom Übertragungsweg zu Störungen kommen (Frequenzüberlagerungen, Sonnenlicht) und das Gehäuse ist klobig. Schließlich sind die Einsatzmöglichkeiten begrenzt, denn es gibt nur zwei Steuerhebel, drei Motoranschlüsse (plus Servo) und weder einen Taster noch Schalthebel.

Für stationäre Modelle wie z. B. Krane, die keine kabellose Steuerung erfordern, gibt es zahlreiche Möglichkeiten zur Konstruktion eleganter und vielseitiger Steuerhebel, mit denen sich ganze Steuerpulte aufbauen lassen. Die ältesten mir bekannten Darstellungen solcher Steuerungen habe ich in zwei Club-Modellen aus den Jahren 1974 und 1975 gefunden.

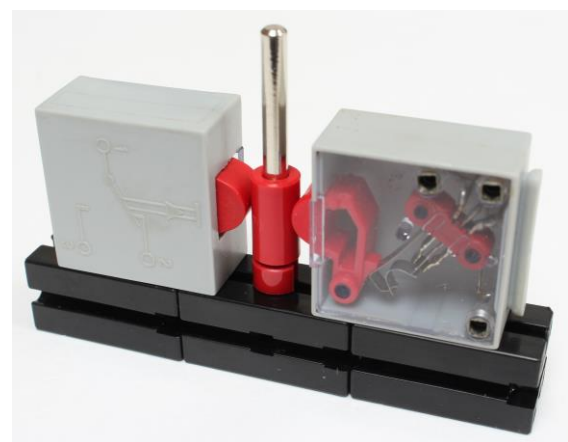


Abb. 16: Steuerhebel aus Club-Modell 2/1974

Die Hebel zur Steuerung des kleinen Schauelladers aus dem Club-Modell 2/1974 sind noch sehr einfach gehalten (Abb. 16).

Sie müssen genau justiert werden, damit die Achse in der Bohrung des BS 30 nicht zu viel und nicht zu wenig Spiel hat [9]. Da sind die Konstruktionsvorschläge für die Steuerung des Autolifts im Club-Modell 3/1975 deutlich robuster (Abb. 17, 18) [10].

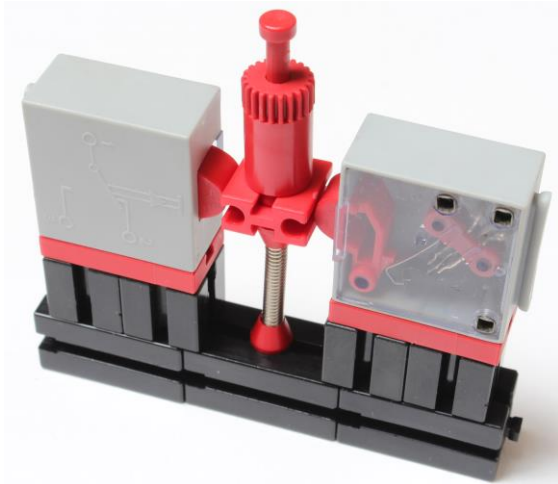


Abb. 17: Steuerhebel mit Federfuß 30 für Club-Modell 3/1975



Abb. 18: Steuerhebel mit Hubgelenk für Club-Modell 3/1975

In den zeitgleich mit dem Club-Modell veröffentlichten Club-Nachrichten 3/1975 findet sich ein weiterer Steuerhebel für das Modell eines Porsche 908/03 (Abb. 19) [11].



Abb. 19: Steuerhebel für den Porsche 908/03 aus den Club-Nachrichten 3/1975

Leider zählen die in den Konstruktionen verwendeten Federfüße 30 ([31307](#)), das Hubgelenk 35 ([37282](#)) und die S-Gelenklaschen ([31669](#)) wie die großen Taster ([31332](#)) nicht mehr zum Bauteilsortiment von fischertechnik. Der Verlust des Hubgelenks 35 ist besonders schade, denn mit ihm ließ sich sogar ein funktionierender Joystick konstruieren. Vorgestellt wurde er als Steuereinheit für den XY-Schreiber in den Club-Nachrichten 4/1977 (Abb. 20) [11].

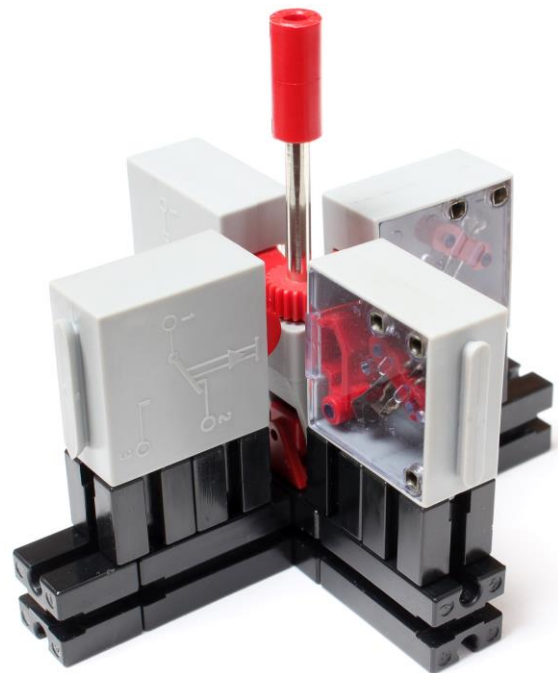


Abb. 20: Steuerhebel für das Club-Modell 4/1977 (XY-Schreiber)

Der Federfuß lässt sich im aktuellen Bauteilsortiment immerhin durch eine Kunststofffeder 20 ersetzen (Abb. 21).

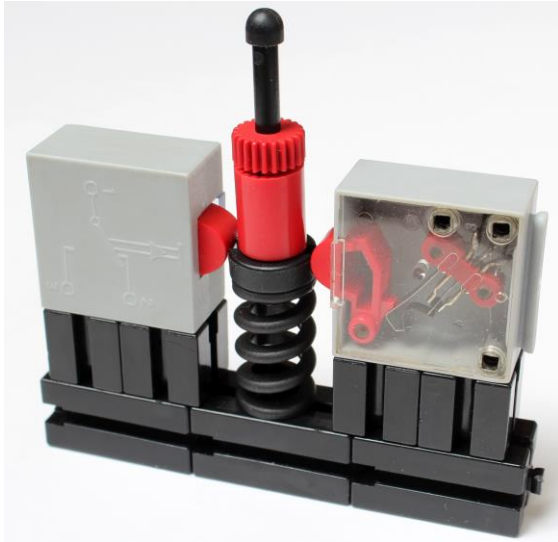


Abb. 21: Steuerhebel mit Kunststofffeder

Von dem in alle Richtungen drehbaren Fuß des Hubgelenks sind die Hubgelenksteinclauen 7,5 ([38446](#)) und der Kardan-Getriebewürfel ([35115](#)) noch als Einzelteile erhältlich. Daher kann der Steuerhebel durch eine zweite Hubgelenksteinclau, einen Rastadapter und eine Rastachse mit Hülse 15 nachgebildet werden (Abb. 22).

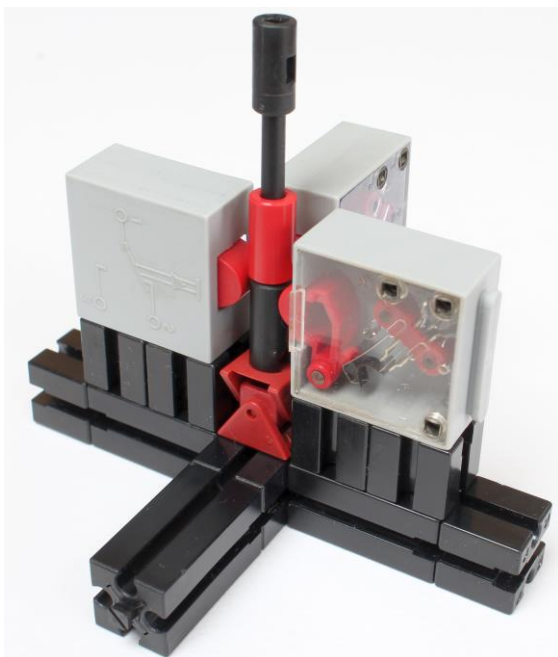


Abb. 22: Steuerhebel mit Hubgelenksteinclauen und Kardan-Getriebewürfel

Aber es gibt auch konstruktive Alternativen mit den aktuellen Bauteilen des fischer-technik-Systems.

Den ältesten mir bekannten Vorschlag mit zudem minimaler Bauhöhe veröffentlichte Harald Steinhaus im Bilderpool der fischer-technik-Community (Abb. 23). Darin ordnet Harald die Minitaster kreisförmig an.

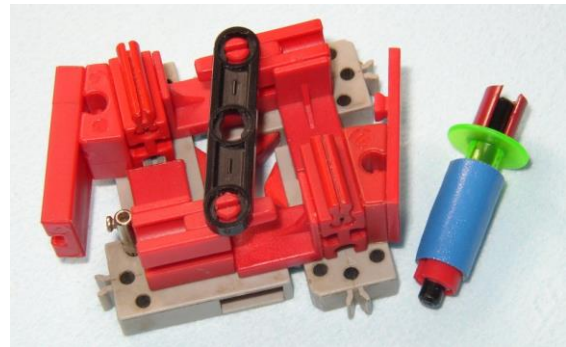


Abb. 23: Steuerhebel (Joystick) von Harald Steinhaus (14.07.2006)

Eine Version mit aufgestellten Mini-Tastern und „umgekehrtem“ Joystick stammt von Walter Mario Graf (Abb. 24).

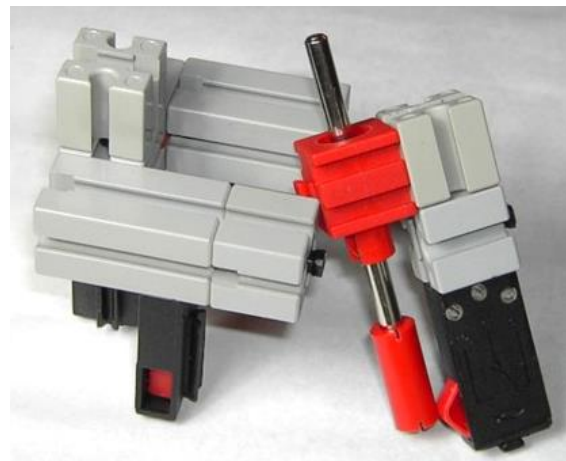


Abb. 24: Joystick-Konstruktion von Walter Mario Graf (22.01.2008)

Severin Both schlug eine elegante Weiterentwicklung von Haralds Joystick vor: Statt der Statik-Strebe verwendet er als „Gelenk“ für den Steuerhebel einen Baustein 15 mit Neodym-Magnet ([108278](#)), auf den eine Metallachse aufgesetzt wird (Abb. 25).

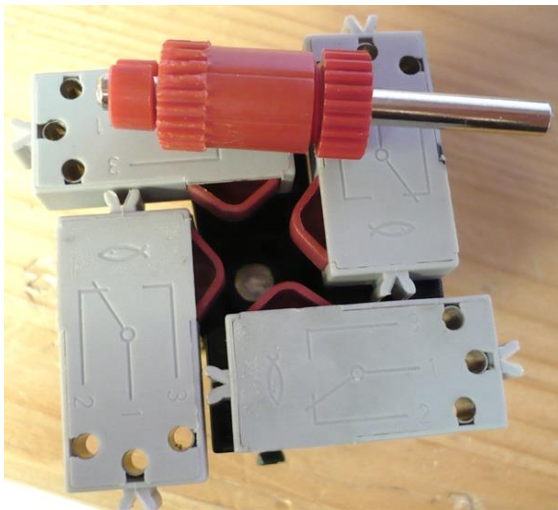


Abb. 25: Joystick mit Neodym-Magnet von Severin Both (02.09.2010)

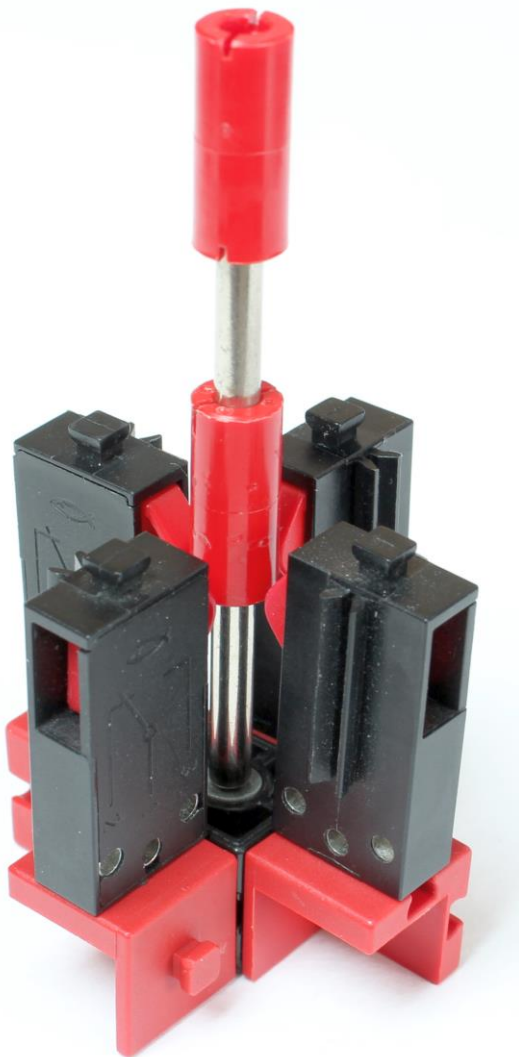


Abb. 26: Joystick mit senkrechter Anordnung der Mini-Taster

Stellt man die Mini-Taster aufrecht, erhält man aus Severins Konstruktion einen Joystick mit langem Bedienhebel (Abb. 26).

Damit sind die Möglichkeiten von fischertechnik ganz bestimmt noch nicht ausgeschöpft. Außerdem wären da noch die elektromechanischen Schalter-Varianten (Stichwort: Selbsthalteschaltung), die einen eigenen Beitrag verdienen...

Quellen

- [1] Stefan Falk: [Perlentauchen \(Teil 3\)](#). ft:pedia 1/2013, S. 22-31.
- [2] fischertechnik: [em1 – Elektromechanik Grundkasten](#). Fischer-Werke, 1968.
- [3] fischertechnik: *Hobby – Experimente + Modelle*. [hobby 3 Band 1](#), 1971.
- [4] fischertechnik: *Experimentierbuch Elektromechanik*. Fischer-Werke, 1981.
- [5] fischertechnik: [Club-Nachrichten 1/1976](#). Fischer-Werke, 1976.
- [6] fischertechnik: [Club-Nachrichten 3/1978](#). Fischer-Werke, 1978.
- [7] fischertechnik: [Club-Nachrichten 2/1976](#). Fischer-Werke, 1976.
- [8] fischertechnik: [Club-Nachrichten 2/1975](#). Fischer-Werke, 1975.
- [9] fischertechnik: [Bauanleitung „Schaufellader“](#). Club-Modell 2/1974, Fischer-Werke, 1974.
- [10] fischertechnik: [Bauanleitung „Autolift“](#). Club-Modell 3/1975, Fischer-Werke, 1975.
- [11] fischertechnik: *Porsche 908/03*. [Club-Nachrichten 3/1975](#), Fischer-Werke, 1975.
- [12] fischertechnik: *XY-Schreiber*. [Club-Nachrichten 4/1977](#), Fischer-Werke, 1977.

Modell

Summer in the City

Christian Bergschneider, Stefan Fuss

Grillen ist die Urform des Kochens. Trotz oder gerade weil wir das Kochen mit Induktionsfeldern, Sous-Vide-Methode und molekularer Küche mittlerweile technisch bis ins feinste perfektioniert haben, zieht uns schönes Wetter wie eine magische Kraft an die ursprüngliche Feuerstelle zurück.

Auch Tim & Tom grillen gerne. Seitdem sie sich einen echten „Schwenker“ [1] gebaut haben, sind sie bei schönem Wetter am Abend auf unserer Terrasse zu finden oder diskutieren mit den Gelehrten der Weltgeschichte die weltbesten Grillvarianten [2].



Abb. 1: Tom an seinem Schwenker

Klar, *fischertechnik* verträgt keine Hitze und somit ist in Toms Feuerschale auch keine brennende Kohle (Abb. 1).

Aber wieso eigentlich nicht? Lässt sich mit *fischertechnik* grillen?

Es geht um die Wurst

Für Tim & Tom brauchen wir Grillgut in passender Größe. Unsere Grills sollen deshalb auf ein mundgerechtes Stück Bratwurst ausgelegt werden.

Die klassische Bratwurst wird direkt gegrillt. Im Gegensatz zum Barbecue [3], bei dem das Grillgut mit heißem Rauch gegart wird, wirkt beim direkten Grillen [4] die Wärmequelle unmittelbar auf die Wurst.

Als Wärmequellen haben wir Gas, Holzkohle und Solarenergie ausprobiert. Jede Energiequelle hat ihr ganz eigenes Handling.

Balkontauglich: Der Gasgrill

Wer auf dem Balkon grillen will, benötigt eine einfach zu beherrschende, rauchfreie und nachbarschaftstaugliche Wärmequelle.



Abb. 2: Beim Gasgrill kommt ein Flambierbrenner zum Einsatz

Für unsere erste Variante (Abb. 2) kommt als Hitzequelle ein Flambier-Brenner zum Einsatz. In der gut sortierten Küche wird er z. B. zum Karamellisieren von Crème Brûlée verwendet. Die Geräte sind standfest, Flammengröße und Temperatur lassen sich leicht regeln, so dass damit nicht nur auf dem Balkon sondern auch indoor gegrillt werden kann.

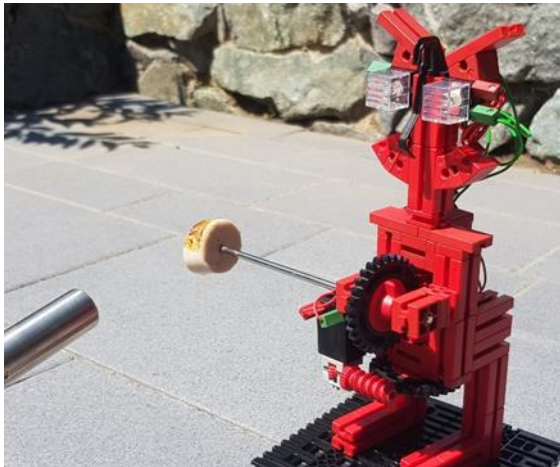


Abb. 3: Grillinchen am Gasgrill

Am Gasgrill übernimmt Grillinchen die Arbeit (Abb. 3). Die Wurst wird auf eine Metallachse gesteckt und in der Nähe der Flamme platziert. Die Achse selbst wird von einem Minimotor angetrieben. Zwei Getriebe, bestehend aus je einer Schnecke und einen Z30, sorgen für die notwendige Untersetzung: Das Würstchen wird mit 0,6 U/min gleichmäßig gebräunt.

Die Metallachse verträgt das Grillen überraschend gut. Es treten weder Verfärbungen auf, noch verbiegt sich die Achse. Auch wird die Grillhitze nicht auf Grillinchen übertragen.

Der Flambier-Brenner läuft auf unterster Stufe und bereits nach zwei Umdrehungen ist das erste Würstchen fertig. Höhere Stufen liefern Kohle anstatt von Aromen. Nach einer halben Stunde Dauerbetrieb sind alle Testesser versorgt und der Gasvorrat geht zur Neige.

Klassisch: Der Holzkohlegrill

In der Welt des Grillens wird seit Jahren die Frage nach dem einzig „wahren“ Grillverfahren diskutiert. „Elektrogriller“ werden gerne mit einem milden Lächeln bedacht. Um keinen Shitstorm in der Community auszulösen, haben wir deshalb bewusst auf einen Elektrogrill verzichtet und stellen nun den klassischen Holzkohlegrill (Abb. 4) vor.



Abb. 4: Ein Dreibein hält die Kohle.

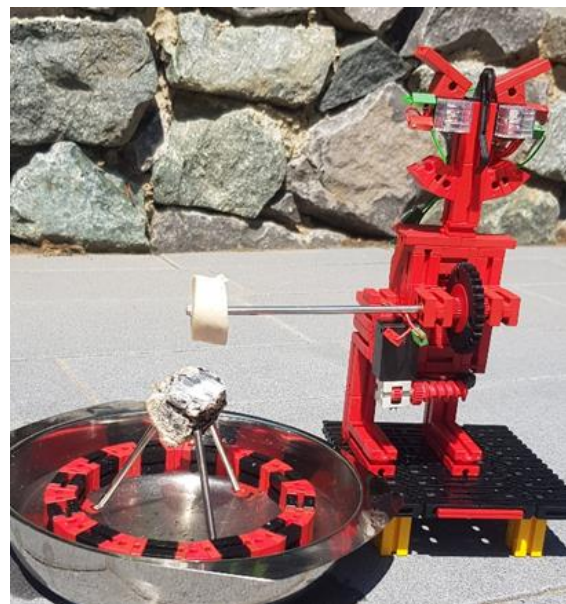


Abb. 5: Grillinchen am Holzkohlegrill

Bei diesem Grill muss zunächst ein passendes Holzkohlestückchen in der großen Feuerstelle zum Brennen gebracht werden. Anschließend wird dieses mit einer Grillzange auf das Dreibein aus fischertechnik gesetzt.

Das Wasser in der Schale ist für die notwendige Wärmeableitung gedacht und löscht herunterfallende Kohlestückchen. Grillinchen brät wie beim Gasgrill die Wurst gleichmäßig braun (Abb. 5).

Die Sache mit der Grillkohle hatten wir uns jedoch einfacher vorgestellt. In der richtigen Feuerschale ein passendes Kohlestückchen zu finden ist nicht ganz einfach. Einige Stücke landeten beim Platzieren auf dem Dreibein direkt mit einem lauten Zischen in der Wasserschale.

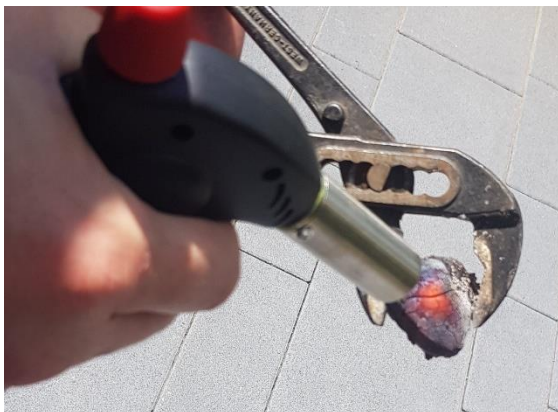


Abb. 6: Mit dem Flambier-Brenner wird die Glut „gepimpt“

Auch die Glut des Kohlestückchens kühlt auf dem Dreibein schnell ab. Mit dem Flambier-Brenner (Abb. 6) lässt sich die Glut neu entfachen.

Nach langen 30 Minuten ist die erste Wurstscheibe endlich gar. Wie beim Gasgrill weisen die Stahlachsen des Dreibeins keine Schäden auf, so dass man aus ihnen wahrscheinlich auch einen Grillrost bauen könnte. Setzt man mehr Kohle ein, so hält sicher die Glut ihre Temperatur länger.

CO₂-neutral: Der Solarofen

Die größte Hitzequelle in unserem Sonnensystem ist die Sonne. Sonnenlicht hat an der Grenze zur Erdatmosphäre – bei senkrechtem Einfallswinkel – eine Leistung von 1367 W/m² [5]. Rechnet man den Einfallswinkel mit ein, so kommen an einem Hochsommertag in Deutschland bis zu 900 W/m² am Boden an.

Bereits Archimedes soll die Kraft der Sonnenstrahlen bei der Belagerung von Syrakus (214 – 212 v. Chr.) genutzt haben, indem er mit mehreren Spiegeln die Sonnenstrahlen auf angreifende Schiffe umlenkte und diese in Brand setzte bzw. grillte [7].

Der Solarofen sammelt mit einem gekrümmten Spiegel (Abb. 7) einfallendes Sonnenlicht wie eine Linse und bündelt dieses zu einem Brennpunkt.

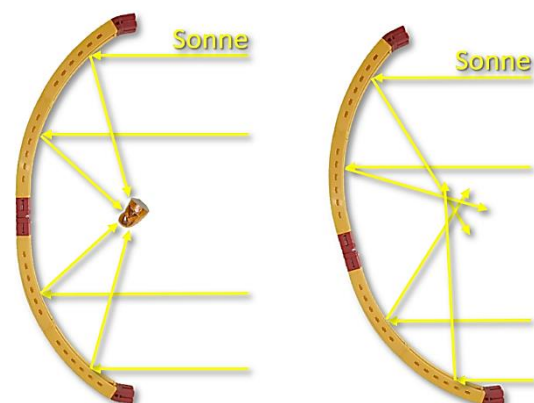


Abb. 7: Brennpunkt bei optimaler Ausrichtung auf die Sonne (links). Ohne Sonnenausrichtung fehlt der Brennpunkt (rechts).

Damit die Sonnenstrahlen im Brennpunkt gebündelt werden können, muss der Solarofen genau auf die Sonne ausgerichtet werden. Schon kleine Winkelfehler führen dazu, dass die Energie nicht mehr im Brennpunkt fokussiert wird.

Um unseren Solarofen auf die Sonne auszurichten, kann er deshalb mit Schrittmotoren um die Vertikal- und Horizontalachse gedreht werden (Abb. 8).

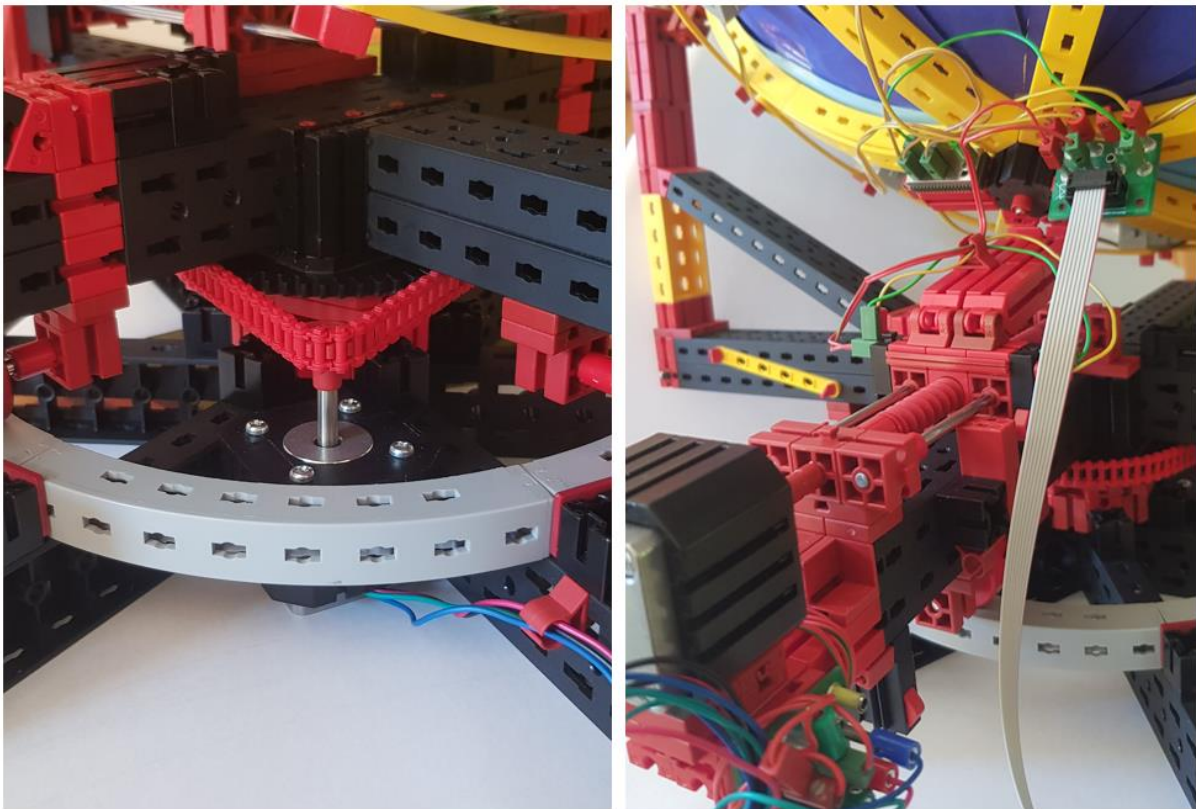


Abb. 8: Der ftPwrDrive [8] richtet mit Schrittmotoren den Solarofen auf die Sonne aus

Durch die Erdrotation bewegt sich die Sonne für den Beobachter auf der Erde in einem Bogen über den Himmel (Abb. 9). Dabei ist sie überraschend schnell: Sie bewegt sich pro Stunde um 15° .

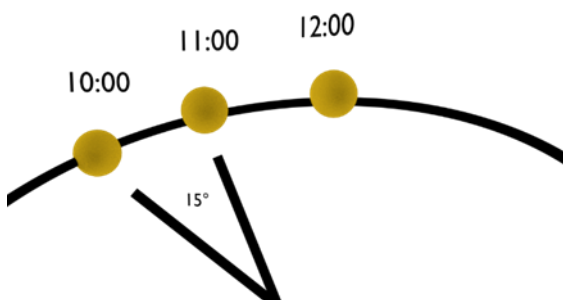


Abb. 9: Bewegung der Sonne am Himmel

Bei einem Spiegeldurchmesser von 49 cm bewegt sich die Sonne somit deutlich schneller als das Würstchen gegrillt werden kann.



Abb. 10: Mit vier Fototransistoren richtet der TXT den Solarkocher auf die Sonne aus.

Mit Hilfe von vier Fototransistoren sucht der TXT kontinuierlich die optimale Sonnenposition und führt den Sonnenspiegel entsprechend nach (Abb. 10).

Der Brennpunkt des Solarspiegels wurde innerhalb des Spiegels gewählt. Somit wird vermieden, dass der Spiegel unbeabsichtigt Gegenstände erhitzt oder dass jemand versehentlich geblendet wird.

Der Spiegel des Solarofens ist aus Winkelträgern mit 30°-Bogenstücken aufgebaut und fängt auf einer Fläche von knapp 0,19 m² das Sonnenlicht ein. Im Brennpunkt stehen so theoretisch bis zu 170 W zum Grillen zur Verfügung (Abb. 11).



Abb.11: Der Solarofen erinnert an eine große Suppenschüssel

Um das Würstchen grillen zu können, werden optimale Bedingungen benötigt. Die höchste Sonnenleistung bietet in Deutschland der Mittsommertag. Am 21. Juni erreicht die Sonne mit ca. 63° die höchste Elevation des ganzen Jahres und so die beste Energiedichte.

In der Woche vor Mittsommer 2020 ist das Wetter durchwachsen; Regen wechselt sich mit aufgelockerter Bewölkung ab – keine gute Ausgangslage für den Grillversuch. Doch am Morgen des 21. Juni zeigt der Wettergott endlich Erbarmen: Der Tag startet mit schönstem wolkenlosen Sommerwetter.

Der Solarofen wird kurz vor Mittag auf die Sonne ausgerichtet und mit einem Würstchen bestückt. Die Handkontrolle an der Wurst zeigt deutliche Hitze. Die Vorfreude steigt.

Wer jedoch mit dem Solarofen grillen möchte, benötigt sehr, sehr viel Geduld. Nach 50 Minuten ist die Wurstscheibe endlich heiß, die Sonne hat ihren Höchstpunkt überschritten und die Leistung des Solarofens sinkt.

Testergebnis

Der Gasgrill liefert überraschend gute Ergebnisse. Die Grillzeit von 3,5 Minuten macht Laune, die Würstchen sind gleichmäßig braun und sehr, sehr lecker.



Abb. 12: Das Testergebnis zeigt vorn das gekochte Würstchen aus dem Solarkocher, in der Mitte das Ergebnis des Kohlegrills und hinten rechts zwei Stücke vom Gasgrill

Der Holzkohlegrill ist etwas schwierig in der Bedienung, liefert dem Geduldigen jedoch leckeres Grillgut – sogar mit einem gefühlten Holzkohlearoma.

Der Solargrill entpuppt sich leider als Solar-kocher. Das Würstchen wird zwar erhitzt, bleibt jedoch weiß und schwabbelig. Wir werden ihn mit einer schwarzen Pfanne

nachrüsten, um auch an die Röstaromen der Wurst zu kommen.

Auf der Gartenparty sind alle drei Varianten ein Hingucker und sorgen bei den Gästen für Gesprächsstoff. Allerdings sind auch hier Gas- und Kohlegrill dem Solarkocher eine Nasenlänge voraus – sie funktionieren auch am lauen Sommerabend.

Auf der Party sind sicher auch Tim & Tom mit von der Partie. Denn bei der Diskussion um das beste Grillverfahren haben die Beiden Einiges beizutragen.

Quellen

- [1] Wikipedia: [Schwenkgrill](#).
- [2] Christian Bergschneider, Stefan Fuss, „elektrofuzzies“: *Raffael meets Tim & Tom*. [Bilderpool](#) der ftcommunity und auf [Instagram](#), 2020.
- [3] Wikipedia: [Barbecue](#).
- [4] Wikipedia: [Grillen](#).
- [5] Wikipedia: [Sonnenenergie](#).
- [6] Raindl: *Der Sonnenstand*. [PDF-Download](#), 2009.
- [7] Wikipedia: [Belagerung von Syrakus \(214–212 v. Chr.\)](#).
- [8] Dirk Wölffel, Christian Bergschneider, Stefan Fuss, Björn Gundermann, Christian Lauff: *Der ftPwrDrive-Controller für Schrittmotoren und Servos*. ft:pedia 4/2018, S. 67-70.



Abb. 13: Tim, Tom und die Schule von Athen

Modell

Der Selbstschrauber

Rüdiger Riedel

Der Traum aller Schrauber an den Metallbaukästen von Märklin, Trix, Construction, Eitech, Merkur, Stabil, Stokys, Meccano, Metallus, Tronico: Die vielen Schraubverbindungen mühelos herzustellen. Jetzt ist er da, der Prototyp des Selbstschraubers!

Wir fischertechnik-Fans haben solche Probleme nicht: wir stecken, schieben, drehen. Wenn wir gelegentlich schrauben, dann in großem Stil, so wie hier.



Abb. 1: Der Selbstschrauber

Die Schraube besteht aus einer Schnecke 45 m1,5 ([37858](#)) mit Zangenmutter ([31915](#)) sowie zwei Schnecken 30 m1,5 ([37926](#)) auf einer Achse 110 ([31031](#)) und zum Abschluss einer V-Achse 20 Rastachse ([31690](#)). Die Schneckenmutter 15 · 15 · 15 m1,5 ([37925](#)) ist das aktive Teil, die wollen wir nach oben befördern.



Abb. 2: Schneckenmutter ganz oben

Die Achse steckt in einer Seiltrommel 15 ([31016](#)), diese in einem Baustein 5, der wiederum in einem Baustein 15 steckt (einfachere Version: BS15 um 90° drehen und die Seiltrommel direkt einschieben; dadurch sparen wir uns den BS5 und auch die in den Bildern nötige Federnocke ([31982](#))).

Und wie befördern wir die Schneckenmutter nach oben? Mit Schwingungen!



Abb. 3: Der Taster zum Schrauben

Als Schwingungserzeuger käme auch die Unwucht der Rüttelplatte [1] in Frage; hier habe ich einen alten M-Motor ([32618](#)) verwendet. Auf dessen Schnecke sitzt eine Schneckenmutter mit Baustein 5. Der Motor muss unbedingt so angeschlossen werden, dass sich seine Schnecke links herum dreht, also auf die Schnecke gesehen gegen den Uhrzeigersinn! In Gegenrichtung schraubt sich die Schneckenmutter herunter und kann durch die Gegend fliegen. Deshalb unbedingt mit kleiner Spannung die Drehrichtung kontrollieren. Eine regelbare Spannungsversorgung ist sowieso sehr ratsam, um die günstigsten Schwingungen einzustellen.

Vorne in Abb. 3 ist der Taster zu sehen, mit dem der Selbstschrauber eingeschaltet wird. Als Schutz gegen die Unwucht habe ich einen Kotflügel 75 · 30 3Z ([31896](#)) vorgesehen.



Abb. 4: Der Motor ist an den beiden BS30 befestigt

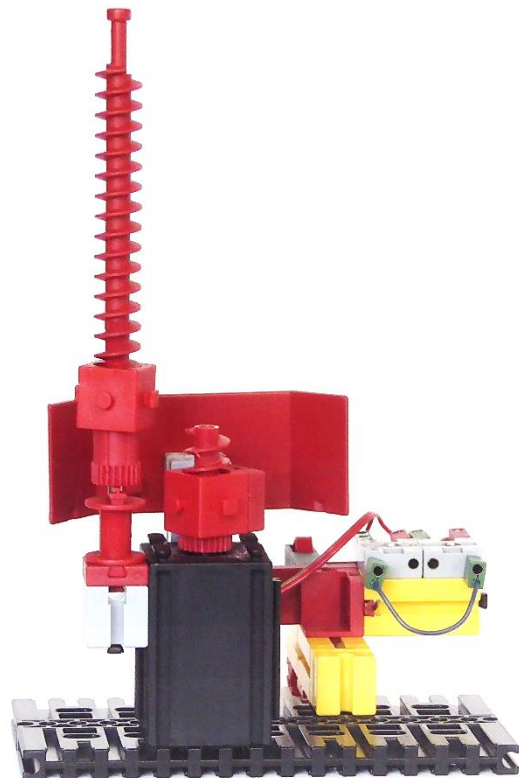


Abb. 5: Rechts der Stromanschluss

Die günstigste Position der langen Schraube und die beste Drehzahl des Motors sollten ausprobiert werden; es gibt wirklich viele Möglichkeiten. Der vorgestellte Aufbau ist Ergebnis einer Reihe von Versuchen und stellt kein Endergebnis dar. Hat man gute

Werte gefunden, dann dreht sich die Mutter gemächlich und zuverlässig nach oben

Quellen

- [1] Rüdiger Riedel: *Rüttelplatte*. [ft:pedia 3/2019](#), S. 13-17.

Modell

Das chaotische Pendel

Stefan Falk

Mit wenigen Magneten und einem magnetischen Pendel lässt sich ein einfaches Modell bauen, dessen Bewegungen faszinierend chaotisch anmuten und immer wieder neu ausfallen.

Manchmal gibt es Modelle, die *muss* man einfach bauen. Dies hier ist so eines, und ich kann nur sagen: Das *müsst* ihr einfach nachbauen! Die kaum vorauszusagenden Bewegungen und Ausschläge seines Pendels sind einfach faszinierend. Für im Büro Arbeitende besteht eine erhebliche Gefahr, dass das Modell am Arbeitsplatz landet und einen ständig ablenkt – so stark ist die Versuchung, das Pendel immer neu einzustellen und anzustoßen.

Aber der Reihe nach. Zunächst benötigen wir für das Modell sieben Magnete. Zur Not ergeben auch schon vier Magnete interessante Bewegungen, wenn man die äußeren drei weglässt. Hier werden stabförmige Neodym-Magnete mit 4 mm Durchmesser und 10 mm Länge verwendet, wie man sie z. B. von [1] beziehen kann. Deshalb ist eine deutliche Warnung geboten:

ACHTUNG! Neodym-Magnete sind extrem stark und gehören nicht in die Hände von kleinen Kindern! Das Verschlucken von zwei Magneten kann den Darm zusammenschnüren und lebensgefährlich werden.

Das Basis-Modell

Der Aufbau besteht aus wenigen Standardteilen:

Von oben hängt eine Metallachse 110 herunter, an deren Ende sich einer der Magnete festhält. Die Achse ist kardanisich aufgehängt, sodass sie frei pendeln kann. Das Kardangelenk ([31044](#)) wird oben an einer

nicht ganz festgezogenen Flachnabe befestigt. Das erlaubt es, das Pendel durch Verschieben leicht etwas höher oder niedriger zu justieren.



Abb. 1: Das Basismodell

In der Bodengruppe stecken drei Magnete in einer fischertechnik-Drehscheibe. Weitere drei befinden sich weiter außen in Klemmhülsen 7,5 ([35980](#)). Natürlich können auch weniger oder noch mehr Magnete zu weiteren interessanten Varianten führen.



Abb. 2: Die obere Aufhängung des Pendels in einer locker angezogenen Flachnabe

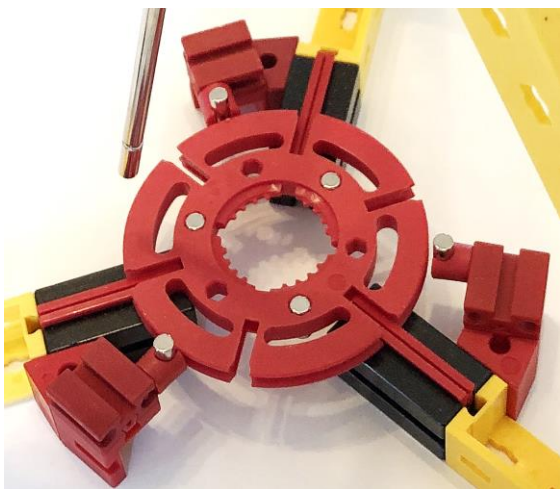


Abb. 3: Die Bodengruppe von oben

Experimente

Und schon geht's los. Das Modell ist vielfältig einstellbar und bietet Raum für schier endlose Versuche:

- Spielt mit der Polung der Magnete: Für den Anfang empfiehlt es sich, dass alle Magnete so angeordnet sind, dass sie den vom Pendel herunterhängenden abstoßen. Aber auch die andere Richtung ist

interessant, einschließlich der Kombinationen wie „abstoßend“ für die drei inneren und „anziehend“ für die drei äußeren Magnete. Auch „wilde“ Kombinationen von anziehend und abstoßend sind reizvoll.

- Ganz schnell lässt sich alles umpolen, indem man einfach den Magneten des Pendels herumdreht.
- Die Magnete in der Drehscheibe lassen sich in vielfältigen Kombinationen in die sechs Bohrungen einstecken.
- Die äußeren Magnete lassen sich tangential zur Drehscheibe durch Verschieben der Klemmhülsen 7,5 in den BS 7,5 verstellen.

Die Bewegungen sind immer neu. Bei mir zu Besuch kommende Leute konnten auch schon kaum die Finger und die Augen vom Modell lassen. Einige einfache Bewegungsbeispiele zeigt das Video unter [2].

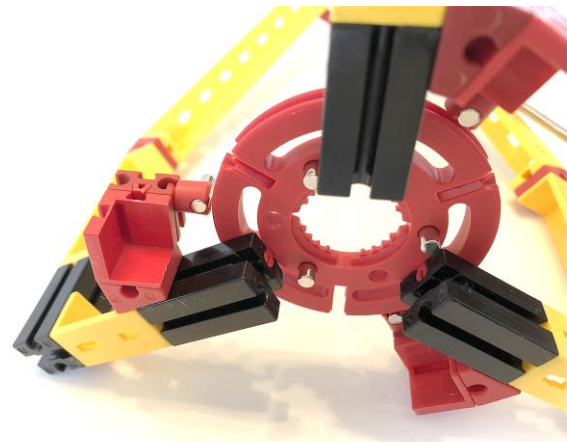


Abb. 4: Die Bodengruppe von unten

Das Luxus-Modell

Das Basismodell genügt völlig für viele faszinierende Versuche. Wer etwas mehr Teile verbauen möchte, kann auch eine Luxusfassung herstellen. Gegenüber dem Basismodell bietet diese Variante noch mehr Möglichkeiten:

- Die Höhe des Pendels lässt sich per Stellschraube noch eleganter einstellen
- Die Drehscheibe mit den inneren Magneten ist manuell verdrehbar.

- Die Drehscheibe kann mit einfachem Handgriff abgenommen und andersherum aufgesetzt werden, um alle inneren Magnete auf einmal umzupolen.
- Die äußeren Magnete sind radial nach außen und innen, in der Höhe und in der tangentialen Lage zur Drehscheibe zu verschieben.



Abb. 5: Das Luxus-Modell

Auch in diesem Modell ist die Flachnabe leicht anzuziehen, damit sich die Schraubverstellung nicht von allein verstellt.

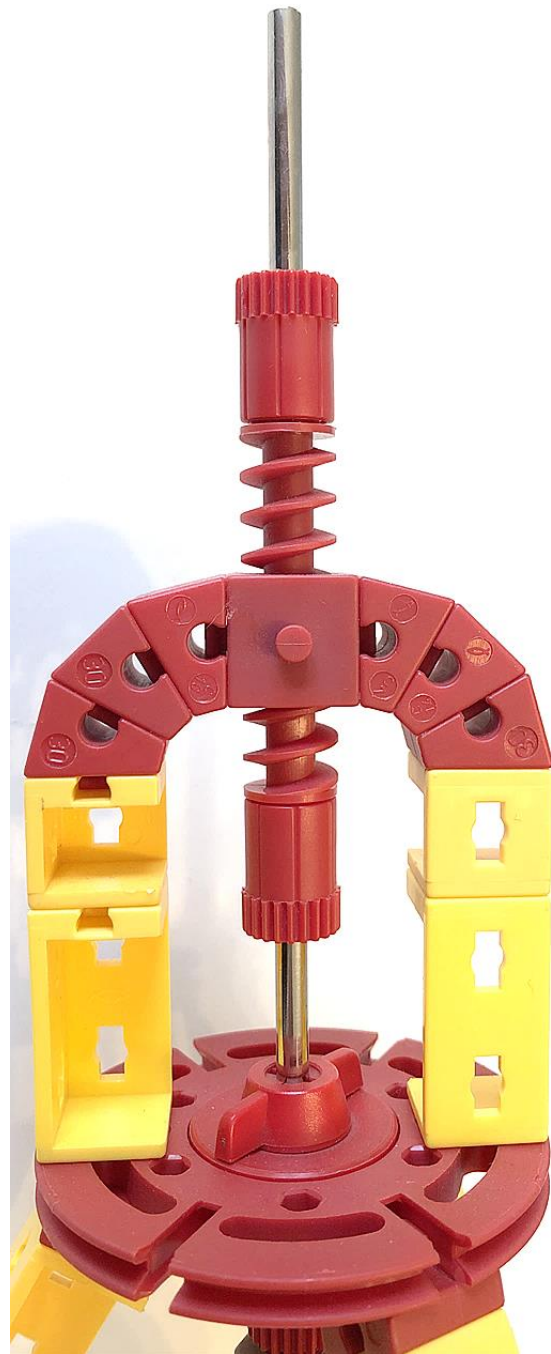


Abb. 6: Detailblick auf die Schraubverstellung

Die Bodengruppe beginnt ähnlich wie im Basismodell:

Anstatt je eines einzelnen Verbinders 30 stecken in der Drehscheibe nun Verbinder 15, außen gefolgt von Verbindern 45. Das erlaubt das Verschieben der äußeren Magnete auf den unteren BS 5 in weiten Bereichen.

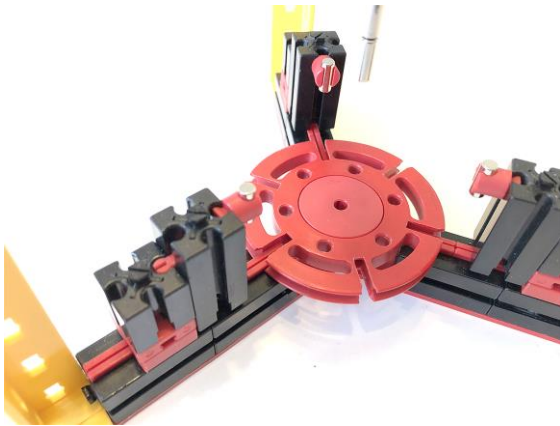


Abb. 7: Der feste Teil der Bodengruppe

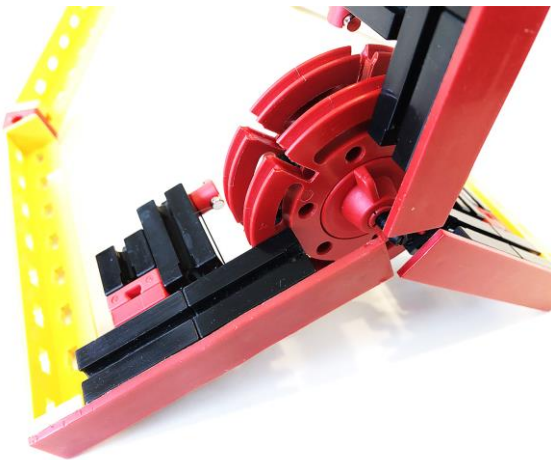


Abb. 8: Die Bodengruppe von unten

Der drehbare Aufbau beginnt mit einer zweiten Drehscheibe (Abb. 9). In ihrer Mitte sitzt eine Flachnabe; die Radmutter zeigt nach unten. Von oben wird eine V-Achse 34 Clipachse ([32870](#)) eingesteckt und in der Nabe festgeschraubt, wobei die Nabe nur so fest angezogen werden darf, dass man die Drehscheibe darin noch drehen kann.

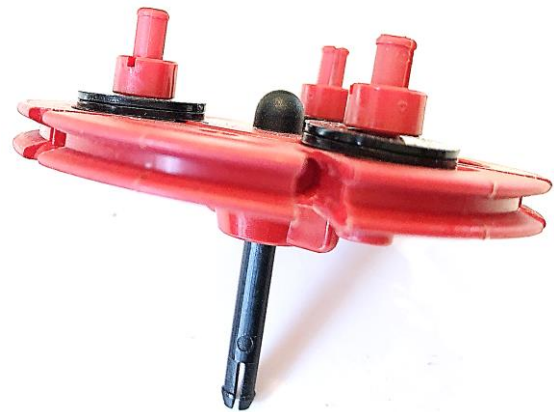


Abb. 9: Das Drehgestell

In den Bohrungen der Drehscheibe stecken drei Kombinationen aus den folgenden Teilen: V-Achse 20 Rastachse ([31690](#), von unten in die Drehscheibe gesteckt), obenauf

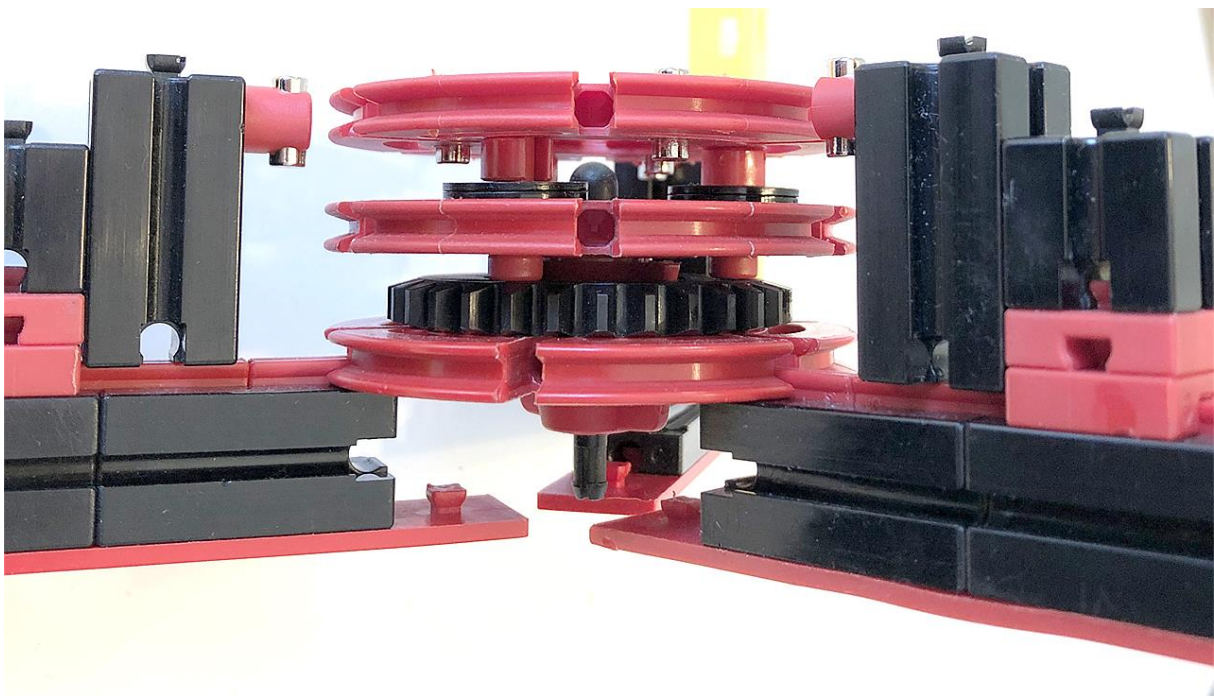


Abb. 10: Der Aufbau der Bodengruppe des Luxus-Modells

stecken je zwei (!) Scheiben 4 15 ([105195](#)) und schließlich eine Klemmbuchse 5 ([37679](#)). Auf diese Baugruppe wird später die dritte Drehscheibe mit den drei Magneten gesteckt.

Dieses Drehgestell wird aber nicht einfach in die feststehende Nabe der untersten Drehscheibe eingesteckt, denn dann würden die roten V-Achsen auf Dauer nach unten rutschen. Deshalb dient ein Z30, das einfach „einglegt“ wird, als Abstandshalter und Stütze:



Abb. 11: Das Z30 kommt auf die hier gezeigte Unterseite der zweiten Drehscheibe



Abb. 12: So wird das Z30 aufgelegt (das Bild zeigt die Unterseite)

Das Z30 dreht sich also später mit, weil es etwas in der Radnabe der Flachnabe steckt.

Das Drehgestell wird dann von oben in die feststehende Nabe der untersten Drehscheibe gesteckt. Diese unterste Nabe wird fest angezogen, damit das Drehgestell nicht nach oben herausrutschen kann. Die Drehbarkeit wird ja durch die nicht ganz fest

angezogene Nabe der mittleren Drehscheibe erreicht.

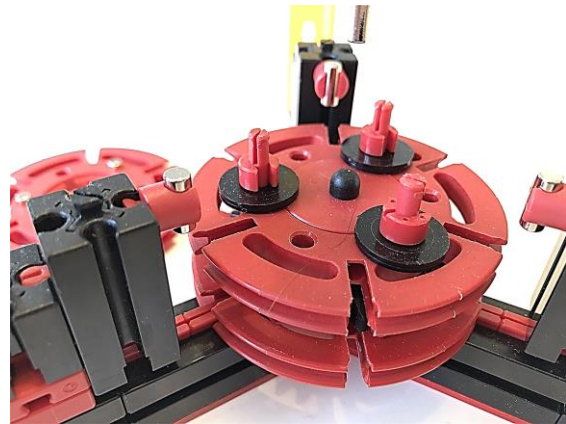


Abb. 13: Das Drehgestell, in der Bodengruppe verankert

Auf dieses Gestell kann nun die oberste, dritte Drehscheibe mit den drei Magneten einfach aufgesteckt und wieder abgenommen werden. So können die drei inneren Magnete sowohl verdreht als auch durch Umdrehen der obersten Drehscheibe umgepolt werden.

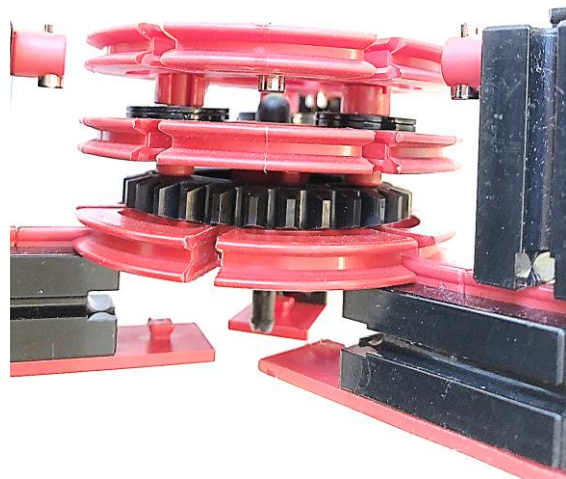


Abb. 14: Der Gesamtaufbau aller drei Drehscheiben

Endlose und immer neue Versuche warten!

Quellen

- [1] <https://fischerfriendsman.de/> (man suche nach *Neodym*).
- [2] Falk, Stefan: *Das chaotische Pendel. Youtube-Video*, 2020.

Elektromechanik

Synchronpendel und extreme Synchronmaschinen

Rüdiger Riedel

Ja gibt's denn sowas? Aus einer Laune heraus habe ich probiert, ein Pendel mit einem Synchronantrieb auszurüsten. Tatsächlich, es funktioniert!

Es schwingt und schwingt, obwohl das Pendel zumindest am Anfang ungleichmäßig weit ausschlägt. Es kann sich also nicht ständig synchron bewegen. Erst nach einiger Zeit sind die Ausschläge in beiden Richtungen konstant weit.

Wie (fast, siehe unten) alle unsere Synchronmaschinen muss auch das Pendel angeworfen werden; es startet nach Einschalten der Versorgungs-Wechselspannung nicht von allein. Nach ausreichendem Anfangsschwung sind die Ausschläge mal größer, mal kleiner bis sie ganz gleichmäßig werden.

Der Aufbau ist einfach. Die Elektromagnete – ich verwende die stärkeren mit Nr. [32363](#) (gibt es noch bzw. immer wieder bei [fischerfriendsman.de](#)) – werden auf zwei Bausteinen 5 15 · 30 ([35049](#)), zwei BS 5 und zwei BS 15 aufgebaut. Die Verschaltung erfolgt gemäß Abb. 2 so, dass sie sich gegenseitig abstoßen. Zur Spannungsversorgung verwende ich ein altes fischertechnik-Netzgerät ([30173](#)) mit 6,8 V Wechselspannung. Für einen kurzzeitigen Betrieb kann man auch den 16-V-Wechselspannungsausgang eines Eisenbahntrafos verwenden (drei Minuten sind problemlos, habe ich probiert). Für den Dauerbetrieb mit 16 V Wechselspannung schalten wir die beiden Magnete in Reihe, indem wir die oberen beiden Anschlüsse miteinander verbinden und die unteren beiden zum

Trafo führen; die Magnete müssen sich wieder gegenseitig abstoßen. Jetzt liegt an jedem E-Magneten eine Spannung von 8 V an, was sie dauerhaft vertragen.



Abb. 1: Pendelantrieb mit Synchronmotor

Jetzt ein ausreichender Schubs und es pendelt.

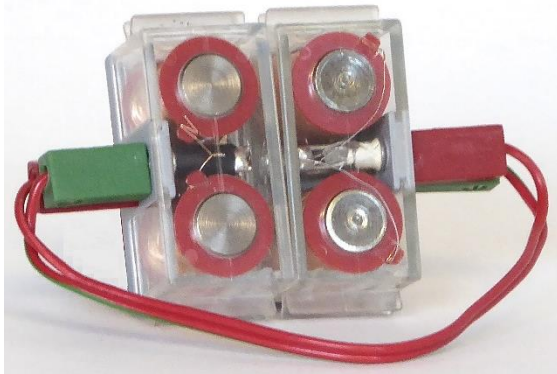


Abb. 2: Die Elektromagnete

Hinweis: Elektromagnete müssen und dürfen im Dauerbetrieb heiß werden, sonst sind sie nicht aktiv [2].

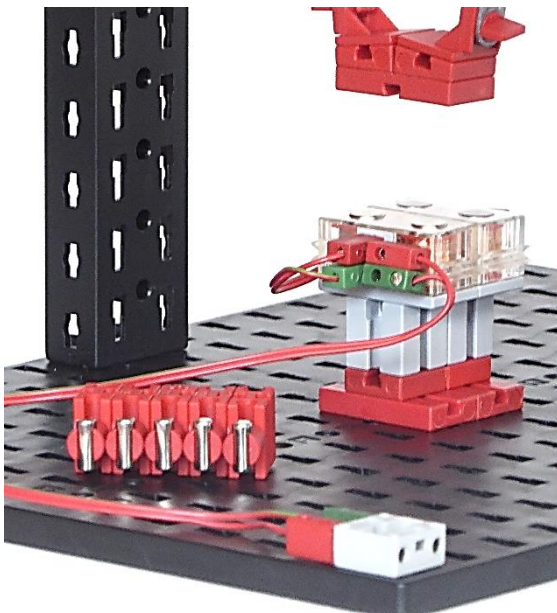


Abb. 3: Der Pendel-, „Läufer“ ist demontiert

Als Alternative zu den fishertechnik-Elektromagneten eignen sich Topfmagnete sehr gut [5], die gibt es auch bei fischerfriends-man.de. Ein Dauerbetrieb mit ihnen ist über Stunden hinweg stabil.

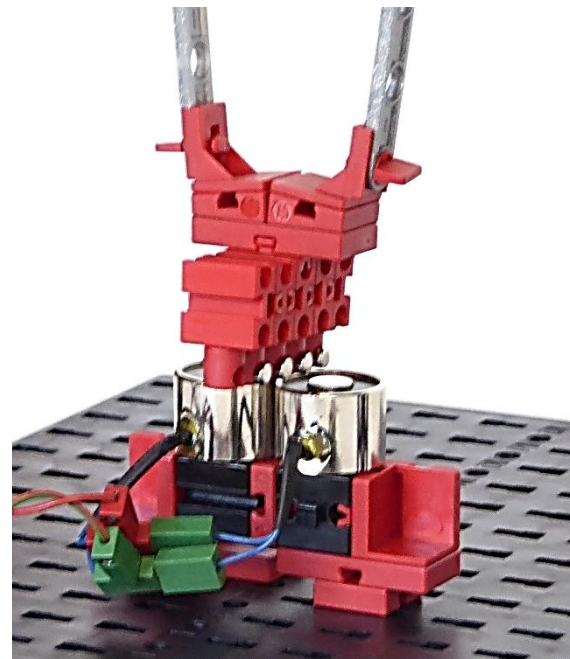


Abb. 4: Topfmagnete

Sie werden so parallel geschaltet, dass sie sich gegenseitig anziehen. Die Spannungsversorgung erfolgt wie bei den fishertechnik-Elektromagneten.

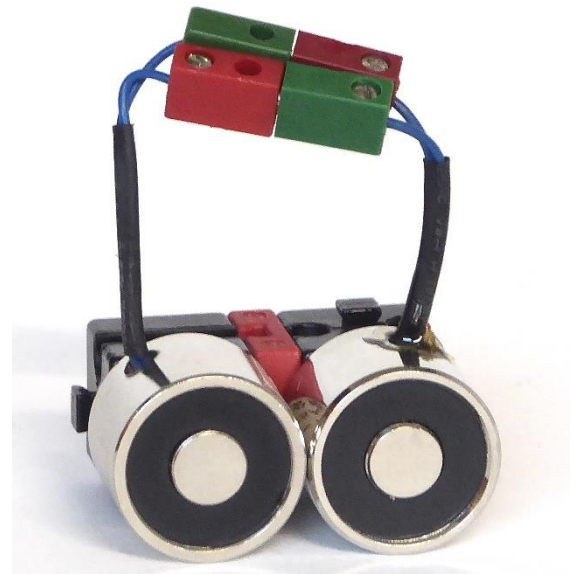


Abb. 5: Verschaltung der Topfmagnete

Die beiden Arme des Pendels werden benötigt, um das Schwingen zur Seite zu mindern.

Etwas Theorie

Bei den Rotationsmaschinen ist die Drehzahl für die Synchronität maßgebend [1]. Beim Pendel oder den Linearmotoren ist es die Geschwindigkeit der Dauermagnete, des „Läufers“. Auf die Rotationsmaschinen bezogen wäre es die Umfangsgeschwindigkeit.

Die Länge des Pendels beträgt etwa

$$35 \cdot 1,5 \text{ cm} + 4 \text{ cm} = 56,5 \text{ cm}$$

Eine große Länge ist vorteilhaft, denn dadurch bewegen sich die Pendelmagnete mit fast gleichem Abstand über die Elektromagnete.

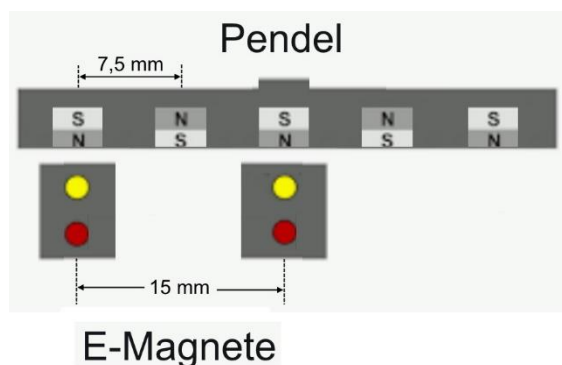


Abb. 6: Der Antrieb

Abb. 6 stellt einen Linearmotor in der Ausführung dar, wie wir ihn verwenden. Die beiden Elektromagnete stehen still, sie sind der Kurz-Stator (im Gegensatz zum Transrapid, der einen Lang-Stator benutzte; die Wicklung war über den gesamten Fahrweg verteilt).

Unser „Läufer“ wird von den fünf Stabmagneten gebildet, die am Pendel befestigt sind (siehe Abb. 3 vorne links).

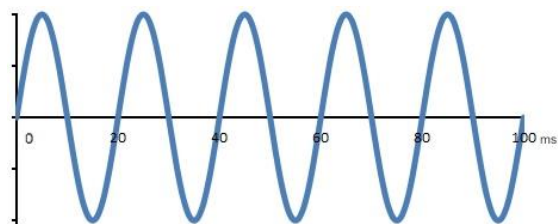


Abb. 7: Netzfrequenz-Ausschnitt von 100 Millisekunden

Damit er synchron arbeitet, müssen wir seine Geschwindigkeit kennen. Vorgegeben ist die Netzfrequenz von 50 Hz.

Alle zehn Millisekunden wechselt der Elektromagnet seine Polung Nord-Süd. In dieser Zeit muss der „Läufer“ um einen Stabmagneten weiter gegangen sein. Der Abstand zwischen den Stabmagneten beträgt 7,5 mm, bis zum nächsten gleicher Ausrichtung sind es 15 mm. Das ist auch der Abstand der Pole zwischen den beiden Elektromagneten. Dieser Abstand wird als Polteilung bezeichnet.

In 10 ms muss ein Stabmagnet den nächsten ablösen bzw. in 20 ms muss ein Stabmagnet gleicher Polung auftauchen. Somit beträgt die synchrone Geschwindigkeit

$$v_{syn} = \frac{15 \text{ mm}}{20 \text{ ms}} = 0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Diese Geschwindigkeit muss das Pendel haben, wenn es gerade über den E-Magneten schwingt.

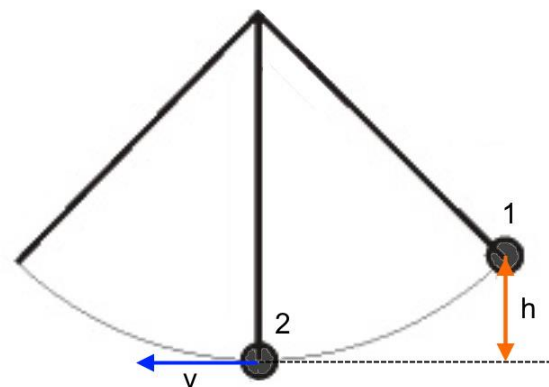


Abb. 8: Pendelbewegung

Das Pendel startet in Position 1 in der Höhe h . Es bewegt sich entlang der Kreisbahn zum tiefsten Punkt 2 über den Elektromagneten. Dann schwingt es weiter nach links und zurück usw.

Die potenzielle Energie am Punkt 1 beträgt:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Die kinetische Energie am Punkt 2 beträgt:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Wenn wir alle Verluste vernachlässigen, wird die potenzielle Energie an Punkt 1 vollständig in kinetische Energie an Punkt 2 umgesetzt, also gilt:

$$E_{pot} = E_{kin}$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Die Masse m kürzt sich heraus und somit gilt:

$$g \cdot h = \frac{1}{2} v^2$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

und umgekehrt

$$h = \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Mit der Geschwindigkeit

$$v = 0,75 \frac{m}{s}$$

und der Erdbeschleunigung

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

liegt die nötige Anfangshöhe h bei mindestens

$$h = 0,029 \text{ m} = 2,9 \text{ cm}$$

Wir starten das Pendel also mit einer Anfangshöhe von etwas mehr als 2,9 cm, die Pendelauslenkung ist dann größer als $18,4^\circ$ und die seitliche Auslenkung größer als 17,8 cm.

Dass die Pendelmagnete im richtigen Moment bei den Elektromagneten ankommen, um synchron angetrieben zu werden, ist unwahrscheinlich. Wir erkennen die zeitweise bremsende, dann wieder stark beschleunigende Bewegung, die nach einiger Zeit in gleichmäßiges Pendeln übergeht.

Synchronmotoren extrem

Soll heißen: extrem klein oder kompakt oder ungewöhnlich, nur mit fischertechnik-Mitteln (zuzüglich der externen Stabmagnete, die es z. B. bei ffm gibt [9]).

Die Polpaarzahlen in Abb. 9 sind von links nach rechts: 1, 1, 2, 2, 3, 4, 5. Wesentlicher Teil des Aufbaus sind, ebenfalls von links nach rechts: Ein Rastadapter 20, zwei Klemmbuchsen 5, eine Schubstange 60 (37283), zwei Hülsen mit Scheibe (35981), zwei umgedrehte Hülsen mit Scheibe und eine Spannzange.

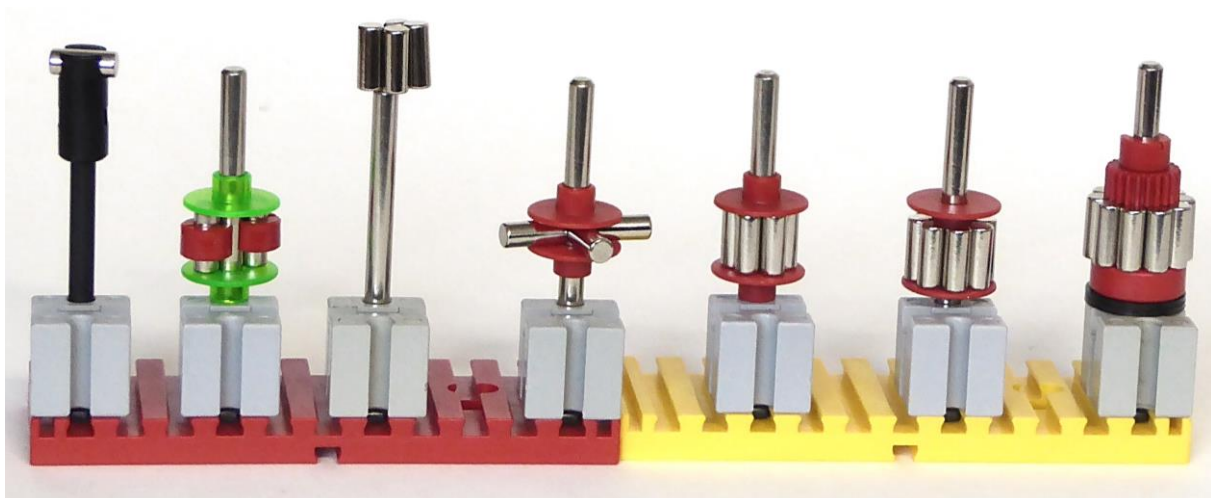


Abb. 9: Kleinst-Rotoren

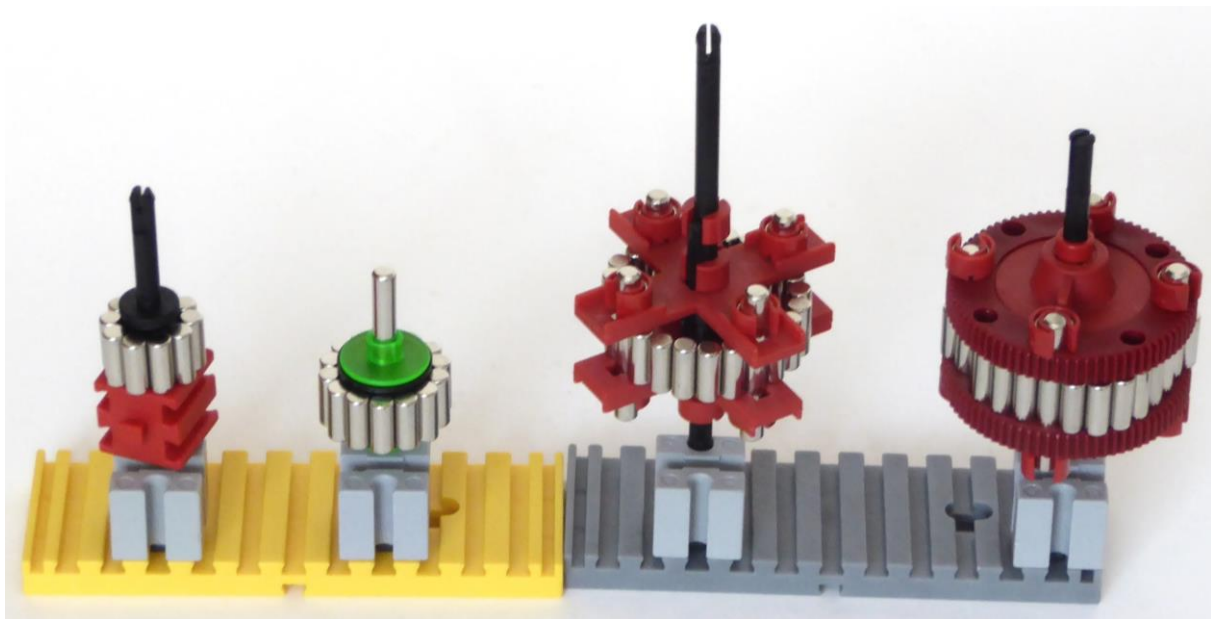


Abb. 11: Magnetketten-Rotoren



Abb. 10: Magnetkette

Mit Magnetketten lassen sich Motoren mit größerer Polpaarzahl, also kleinerer Synchrondrehzahl bauen.

Die Polpaarzahlen in Abb. 11 sind von links nach rechts: 5, 7, 12, 14. Der Aufbau geschieht hauptsächlich mit Hilfe von einer Rastschnecke 57,5 ml ([35977](#)) mit Schneckenmutter, zweimal Seilrolle 12 mit Gummiring 8 · 3, zwei Kreuzlaschen vierarmig, zweimal Drehschalter-Oberteil Z80 m0,5 Computing ([32117](#)). Die letzten beiden Rotoren enthalten Achsen 30. Diese ersetzen jeweils einen Stabmagneten; die beiden anliegenden Magnete müssen so gepolt sein, dass sie sich abstoßen.

Alle unsere Synchronmotoren müssen angeworfen werden, bis auf... siehe unten.

Aquarium- und Brunnenpumpen

Für praktische Anwendungen von Synchronmotoren müssen diese unbedingt von selbst anlaufen. Das gelingt mit dem Läufer in Abb. 9 links [6]. In Ruhelage richtet sich der Läufer nach den Eisenkernen des Elektromagneten aus. Mit der Achse 30 sorgen wir für eine geringe Abweichung davon, also Unsymmetrie (siehe Abb. 14). Dadurch und wegen seines geringen Trägheitsmomentes „springt“ der Läufer beim Einschalten der Wechselspannung sofort auf die Synchrondrehzahl. Wegen der Polpaarzahl 1 beträgt diese hier 3000 U/min.

Die Drehrichtung, ob rechts oder links herum, ist unbestimmt. Das ist aber bei der bekanntesten Anwendung, den kleinen Wasserpumpen, egal. Wir betrachten hier nur diejenigen, die ohne Netzteil direkt an 230 V Wechselspannung angeschlossen werden.

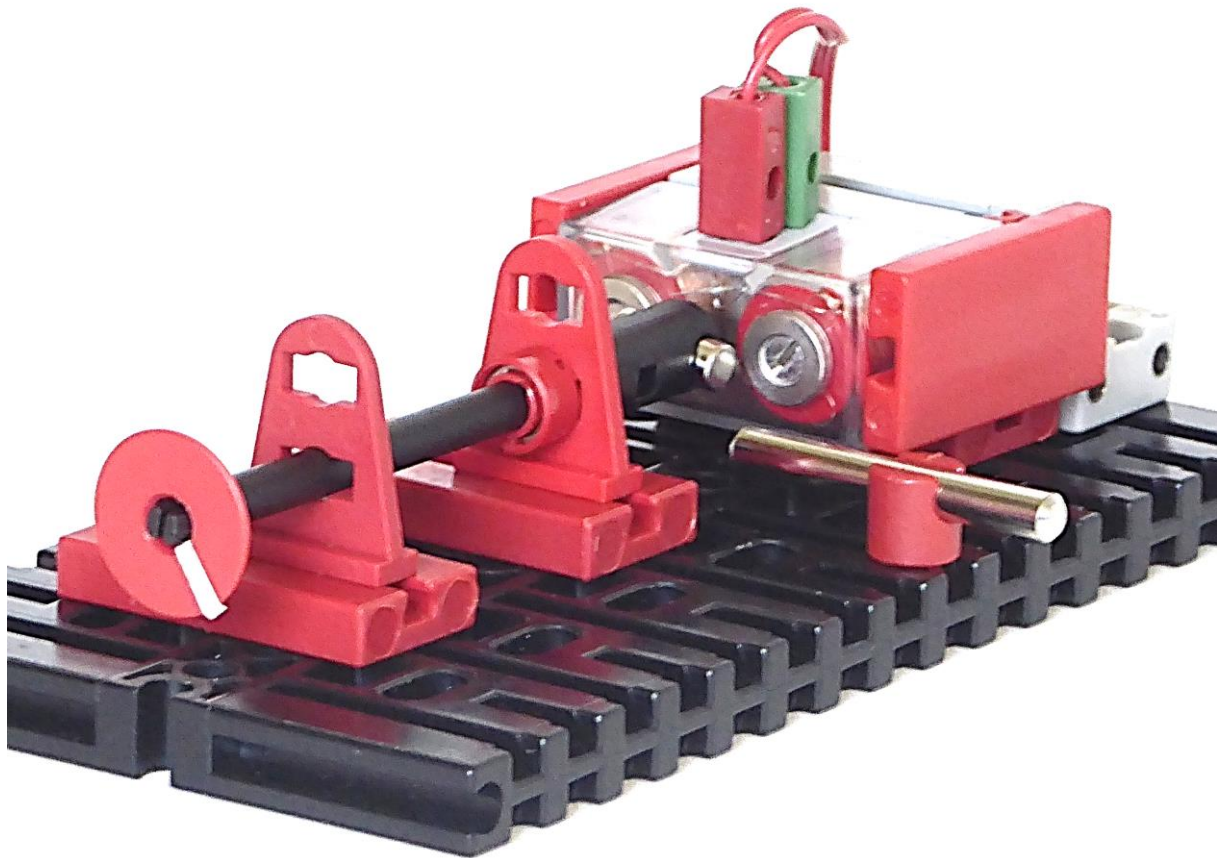


Abb. 14: Selbstanlaufender Synchronmotor

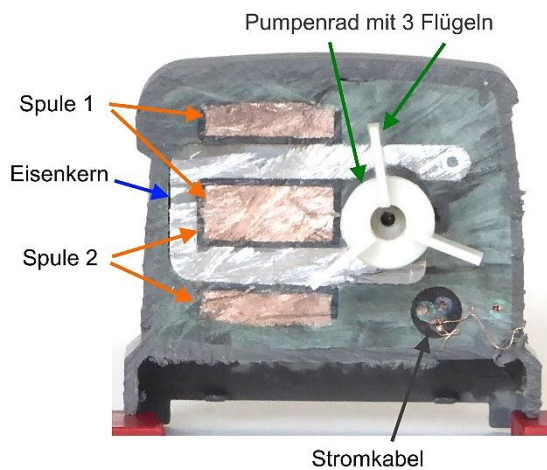


Abb. 12: Durchgesägte Pumpe

Eine defekte Pumpe habe ich in der Mitte durchgesägt. Wie erwartet ist der Eisenkern unsymmetrisch ausgeführt (Abb. 12, 13). Wegen der einfachen Form des Pumpenrades ist die Drehrichtung egal.



Abb. 13: Pumpenrad und zweipoliger Dauermagnet

Das Wasser wird mittig angesaugt und durch die passende Form des Pumpenraumes nach außen zur Druckseite gepumpt.

Verrückte Synchronmotoren

Wir nehmen eine Magnetkette wie in Abb. 10, bestehend aus einer geraden Anzahl von Stabmagneten, und führen die beiden Enden zusammen zu einem Ring. Ein Ring mit 16 Magneten lässt sich locker in eine Felge 30 einlegen, ein Ring mit 24 Magneten in ein Walzenrad 40 · 12 ([35386](#)) und ein Ring mit 40 Magneten in eine Schwungscheibe 60 · 15 ([31718](#)). Wegen der inneren Stege eignet sich der Typ „Schwungscheibe 60 · 15 Classic Line“ ([39006](#)) nicht.

Das Ganze wird leicht drehbar gelagert und einem Wechsel-Magnetfeld ausgesetzt. Hier habe ich 6 bis 10 V Spannung angelegt. Die Magnete fangen an zu zittern, suchen sich eine Drehrichtung aus, drehen sich immer schneller, nehmen dabei ihr Verhältnis mit – und dann drehen sie sich synchron!

Es sind selbstanlaufende Synchronmotoren.

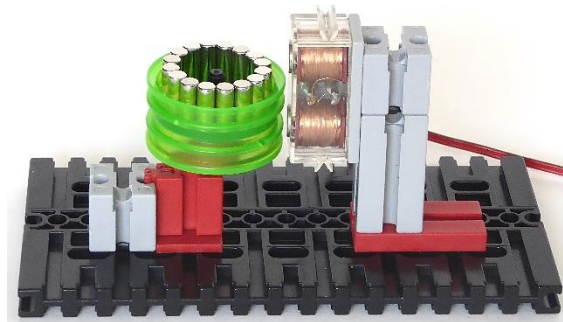


Abb. 15: Magnetkette in einer Felge 30

Nun ja, was die Motoren angeht: Ihr Drehmoment ist sehr gering.

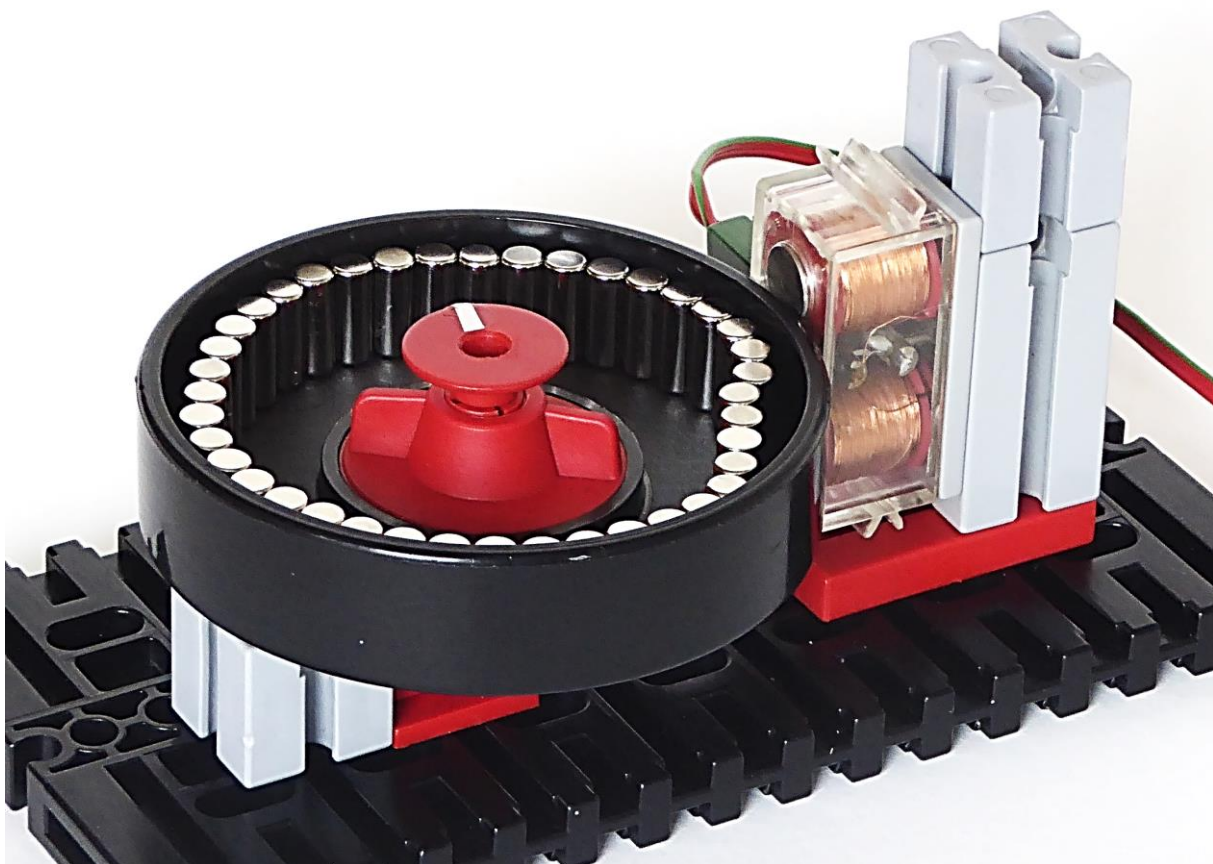


Abb. 17: Polpaarzahl 20

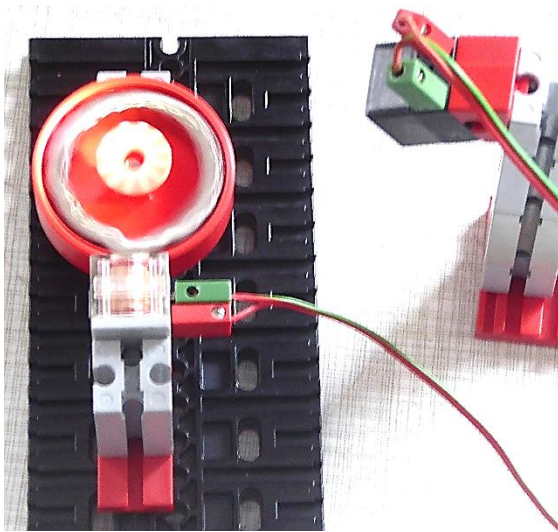


Abb. 16: Magnetkette im Walzenrad 40 · 12 und Stroboskop

Mit dem Stroboskop [3] können wir die Drehzahl bestimmen. In Abb. 16 ist $p = 12$.

Abb. 17 und 20: Wegen der kleinen Drehzahl von 2,5 U/s (150 U/min) bei $p = 20$ sind die Striche auf der kleinen Scheibe kaum zu erkennen. Mit einem Frequenzmessgerät ließ sich die Drehzahl bestätigen [2]; sie ist synchron.

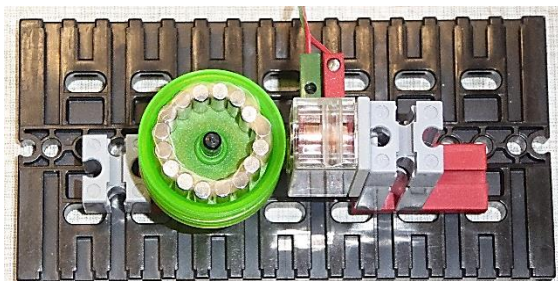


Abb. 18: Felge 30 in Betrieb

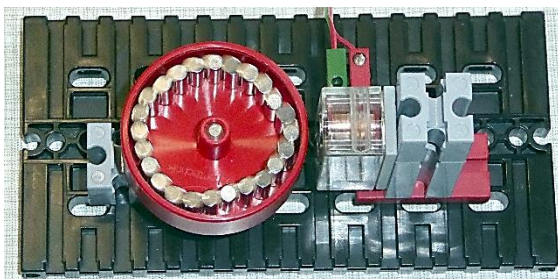


Abb. 19: Aufnahme mit Blitz

Das Blitzlicht hält in Abb. 19 den Momentanzustand der Bewegung fest.

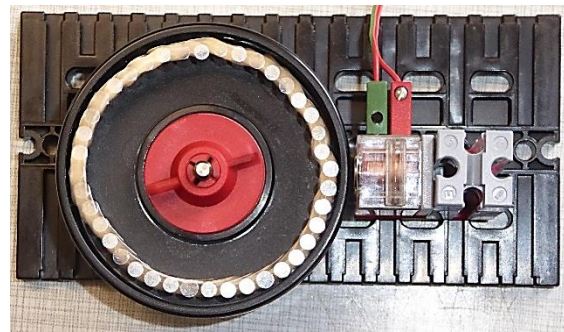


Abb. 20: Drehzahl 2,5 U/s

Es ist einfach lustig zu sehen, wie sich die Kette aus Stabmagneten in Bewegung setzt, sobald das Wechselfeld sie erfasst und das Rad auf Synchrondrehzahl bringt.

Die letzten drei Maschinen sind ihrem Verhalten nach keine üblichen Synchronmaschinen, beginnend mit ihrem Selbstanlauf. Versuchen wir vorsichtig, etwas Drehmoment abzunehmen, dann sinkt die Drehzahl, bei Entlastung läuft der Rotor wieder hoch. Eine Synchronmaschine kann mit einem maximalen Drehmoment unter Beibehaltung der synchronen Drehzahl belastet werden, darüber hinaus „kippt“ sie; sie fällt „außer Tritt“ und bleibt stehen.

Unsere Motoren ähneln Asynchronmotoren mit hartmagnetischem Läufer. Asynchronmotoren laufen aus dem Stand heraus an, erreichen aber nicht ganz die Synchrondrehzahl; es bleibt eine Differenz, Schlupf genannt. Mit einem hartmagnetischen Läufer wird das Eisen bei Erreichen der maximalen Drehzahl selbst zu Dauermagneten, die den Läufer in die Synchrondrehzahl ziehen.

Versuche mit „freien“ Magnetketten haben bei mir zu keinem Erfolg geführt. Die ganz freie Kette in Abb. 21 wird vom wechselnden Magnetfeld einfach weggedrückt.

Wird das verhindert, dann fängt sie an wild zu zappeln; eine Drehbewegung wird leider nicht daraus.

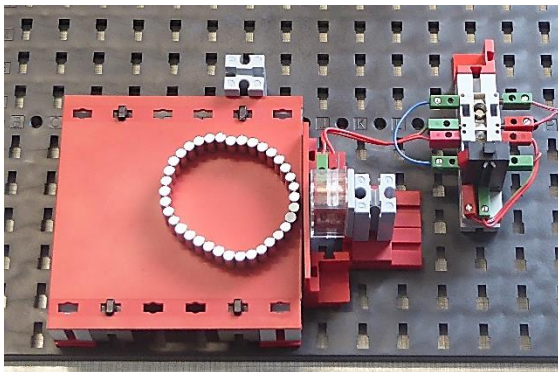


Abb. 21: Freie Kette

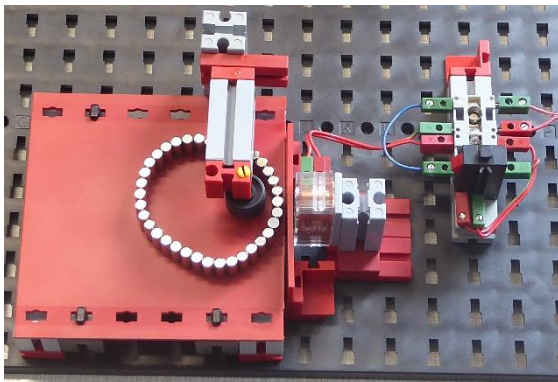


Abb. 22: Freie Kette mit Führung

Somit können wir schlussfolgern, dass die Drehbewegungen in den Bildern 15 bis 20 auf der Wechselwirkung zwischen Magnetkette und drehbarem Rad bestehen. Die Abb. 16, 18 und 20 zeigen charakteristische Verformungen der Magnetkette vor dem Elektromagneten. Hat sich eine Drehrichtung durchgesetzt, dann gibt es einen Knick in der Kette seitlich vom E-Magnet. Dieser Knick weist auf die Drehrichtung hin, somit dreht sich die Kette in Abb. 16 rechts herum (im Uhrzeigersinn) und in den Abb. 18 und 20 links herum.

Quellen

- [1] Matthias Dettmer: *Synchronmotoren*. [ft:pedia 2/2016](#), S. 48-52.
- [2] Rüdiger Riedel: *Der Elektromagnet: Was kann er (vertragen)?* [ft:pedia 4/2016](#), S. 46-51.
- [3] Rüdiger Riedel: *Funktionsmodelle von Gleich- und Wechselstrommotoren*. [ft:pedia 4/2016](#), S. 52-58.
- [4] Rüdiger Riedel: *Neue Synchronmotoren*. [ft:pedia 2/2017](#), S. 25-31.
- [5] Rüdiger Riedel: *Ersatz für die Elektromagnete*. [ft:pedia 3/2017](#), S. 19-22.
- [6] Rüdiger Riedel: *Elektrische Uhren*. [ft:pedia 4/2017](#), S. 24-33.
- [7] Uwe Hinrichs: *Elektromagnetisches Pendel ohne Lichtschranke*. [ft:pedia 4/2019](#), S. 25-27.
- [8] Thomas Püttmann: *Gelenksteinketten*. [ft:pedia 1/2020](#), S. 12-14.
- [9] Dirk Fox, Thomas Püttmann: *Technikgeschichte mit fischertechnik*. dpunkt.verlag Heidelberg, 2015, S. 218.

Getriebe

Harmonic Drives von Z10 bis Z40

Stefan Falk

Vor einer ganzen Reihe von Jahren „entdeckte“ der fischertechnik-Community-Chat die Existenz von „Harmonic Drives“. Das sind besondere Getriebe, die in einem Schritt enorme Untersetzungsverhältnisse realisieren können. Über die Zeit gab es eine ganze Reihe von Vorschlägen, wenigstens Funktionsmodelle davon mit fischertechnik zu realisieren. Dieser Beitrag stellt Aufbauten für Z40, Z30, Z20, Z15 und Z10 vor.

Das Original und seine Wirkungsweise

Das erste Harmonic Drive entwickelte 1955 C. Walton Musser von der United Shoe Machinery Corp. im Auftrag der NASA. Am 29.09.1959 wurde es unter der Patent No. 2906143 in den USA patentiert [1].

Ein echtes Harmonic Drive sieht so aus:

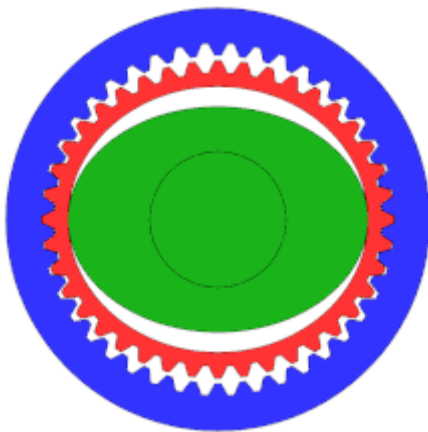


Abb. 1: Harmonic Drive [2]

Das äußere (blaue) Innenzahnrad steht still, wird also festgehalten. Die Antriebswelle liegt mittig und dreht das ellipsenförmige (grüne) Element um die Mittelachse. Der Trick ist, dass das rote Zahnband zwischen drin zwei (oder einige wenige) *weniger* Zähne hat als das äußere (blaue) Innenzahnrad. Das Zahnband selbst ist die Abtriebswelle!

Was passiert da nun? Das Zahnband schmiegt sich an den äußeren Enden des Ellipsoids an das Innenzahnrad an. Da sich das Ellipsoid dreht, wandert die „Anschmiegestelle“ mit diesem mit. Da das Zahnband aber weniger Zähne als das Innenzahnrad besitzt, verdreht es sich – und zwar ganz langsam! – gegenüber dem (blauen) Innenzahnrad. Wenn das Zahnband z. B. zwei Zähne weniger als das Innenzahnrad hat, wird es sich mit jeder Umdrehung des (grünen) Ellipsoids um zwei Zähne weiterdrehen – und zwar in die entgegengesetzte Drehrichtung wie die Antriebswelle.

Die Umsetzung mit fischertechnik

Meine ersten Versuche zielten auf einen recht originalgetreuen Nachbau. Eine Kette mit 28 Zähnen sollte in das fischertechnik-Innenzahnrad mit 30 Zähnen ([35694](#)) eingelegt und geeignet angetrieben werden.

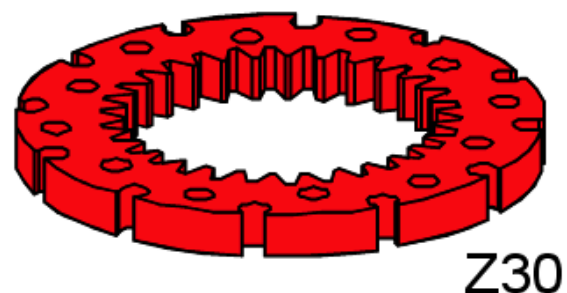


Abb. 2: Das fischertechnik Innenzahnrad

Die Konstruktion eines geeigneten Ellipsoid-ähnlichen Gebildes im kleinen Innenraum des Innenzahnrads gelang mir aber leider nicht.

Eine erste Umsetzung gelang aber, als die Kette *außen* um ein Zahnrad verlief [3]. Nun musste die Kette einige Glieder *länger* sein als das Zahnrad Zähne hat (Abb. 3).

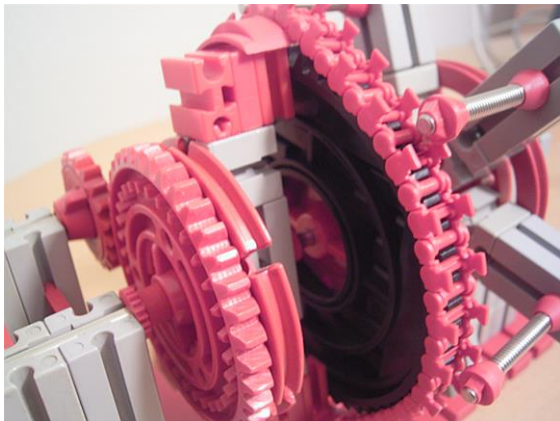


Abb. 3: Die erste Konstruktion



Abb. 4: Haralds Harmonic Drive mit Z20

Das Zahnrad war das Drehkranz-Oberteil Z58 m1,5 ([31390](#), schwarz). Die Kette war

60 Glieder lang – zwei mehr als das Zahnrad Zähne besitzt. Die Antriebswelle hob die Kette an zwei gegenüberliegenden Stellen über eine Anordnung mit Unterbrecherstücken 60° ([31304](#)) zweiseitig vom Zahnrad ab und legte sie nach Vorbeilaufen der Unterbrecher um genau einen Zahn versetzt wieder auf dem Zahnrad ab.

Das Abnehmen der resultierenden Drehbewegung von der Kette war knifflig. Die erste, allerdings wackelige und umständliche Lösung, ließ Federfüße 30 ([31307](#)) von den Förderkettengliedern ([37192](#)), die als jedes zweite Kettenglied eingefügt waren, mitnehmen.



Abb. 5: Haralds Harmonic Drive mit Z30

Diese erste grundsätzlich funktionierende Version reizte natürlich zur Verbesserung. Harald Steinhaus ertüftelte mehrere kompakte Varianten zum Thema, die obendrein

ohne seltene ältere Spezialteile auskommen, wie z. B. die in Abb. 4 und 5 [4].

Bei dieser Gelegenheit drängt es mich, auf eine „Schwester“ der Harmonic Drives aufmerksam machen, die *Hypozykloid-getriebe* [5], und hier ganz besonders auf eine wunderbare Perle von Getriebetechnik, ebenfalls von Harald Steinhaus konstruiert [6]:

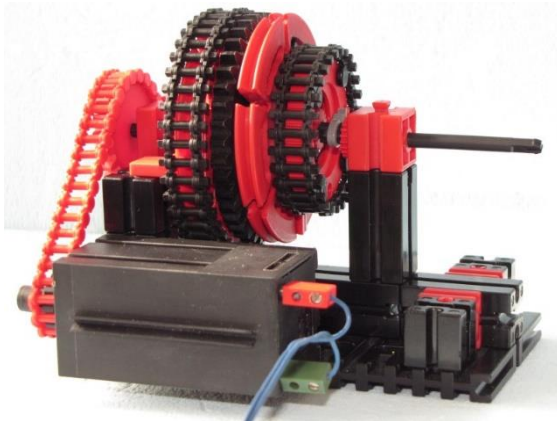


Abb. 6: Haralds Hypozykloid-Getriebe

Neue Varianten von Harmonic Drives

Zurück zum Thema: Abb. 7 und 9 geben einen Überblick über eine ganze Batterie von mehrstufigen Harmonic Drives. Ein XM-Motor treibt das erste Z40 an, und über Freilauf-Kettenzahnräder Z20 m1,5 ([31779](#)) geht es jeweils zur nächsten Station

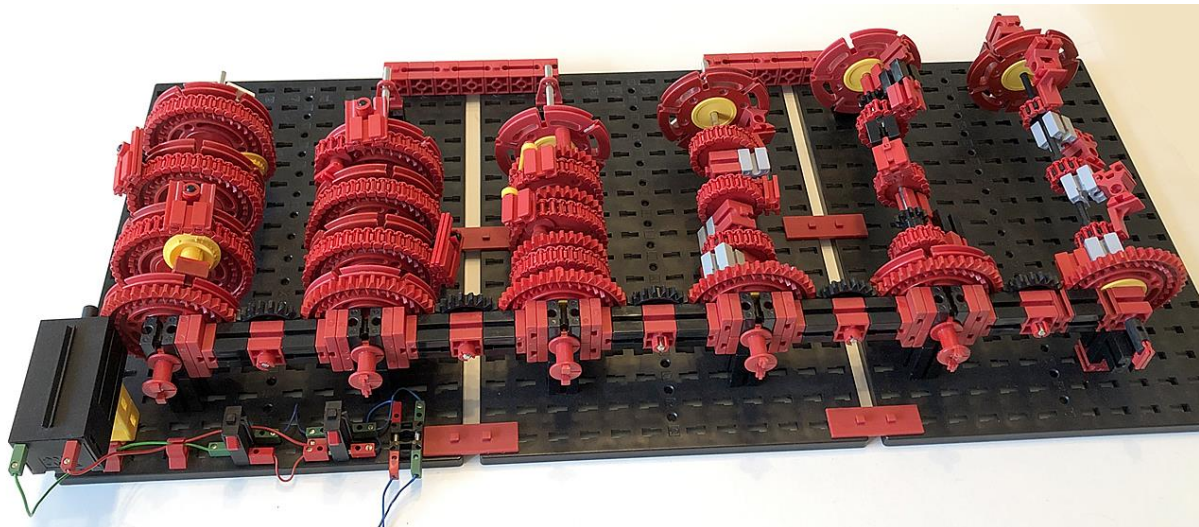


Abb. 7: Gesamtansicht von der Antriebsseite gesehen

weiter. Jede davon enthält eine dreistufige Untersetzung, bestehend aus drei gleich aufgebauten Harmonic Drives, und am Schluss wird jeweils eine fischertechnik-Drehscheibe als letztes Glied und Abtrieb gedreht.

Die hier vorgestellten Getriebevarianten funktionieren alle nach demselben Prinzip (Abb. 8):

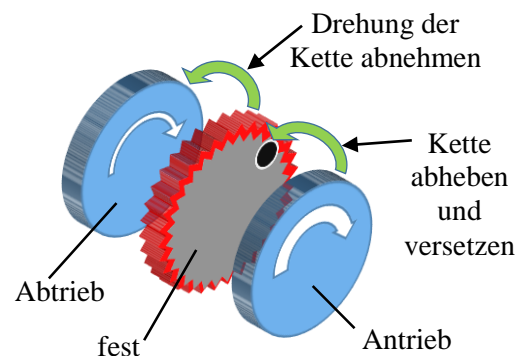


Abb. 8: Zur Wirkungsweise

Angetrieben wird z. B. eine fischertechnik-Drehscheibe. Die dreht sich also um die allen Getriebestufen gemeinsame, lange Achse. Danach folgt auf der (sich nicht drehenden!) Achse ein starr befestigtes, also ebenfalls nicht (!) drehendes Zahnrad. Das trägt eine Kette, die genau ein Kettenglied mehr besitzt als das Zahnrad Zähne hat.

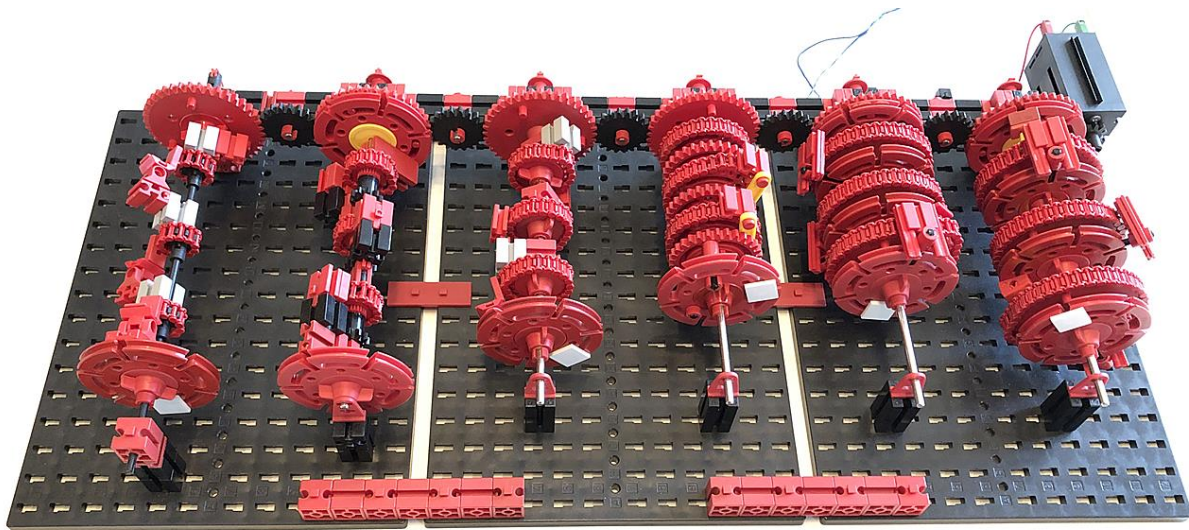


Abb. 9: Gesamtansicht von der Abtriebsseite gesehen

Diese Kette wird von einem an der angetriebenen Drehscheibe befestigten, also umlaufenden Element etwas abgehoben und – das ist der Gag – einen Zahn weiter wieder abgelegt.

Dadurch dreht sich die Kette, immer wenn das abhebende Element vorbeikommt, um genau einen Zahn um das (feststehende) Zahnrad. Eben diese Drehung der Kette wird nun abgegriffen und geeignet auf die nächste – drehbare – Drehscheibe übertragen. Diese dreht sich dann also, aber viel langsamer als der ursprüngliche Antrieb.

Im hier vorgestellten Funktionsmodell sind alle diese Getriebe jeweils dreifach ausgeführt. Es sind also auf derselben Achse immer drei gleich aufgebaute Getriebe hintereinandergeschaltet. Der Abtrieb der einen Getriebestufe ist gleichzeitig der Antrieb der nächsten. Zwischendrin befindet sich je ein starr befestigtes Zahnrad, um das die Kette sich – sehr langsam, in unseren Modellen Zahn für Zahn – bewegt.

Das Modell enthält zwei verschiedene Lösungen für Harmonic Drives mit Z40 (und Ketten mit 41 Gliedern) sowie je eine für Z30, Z20, Z15 und Z10 (mit Ketten von 31, 21, 16 und 11 Gliedern Länge).

Das eine „überzählige“ Kettenglied ist bei all diesen Vorschlägen ein Förderkettenglied ([37192](#)), von dem die Drehung auch für die jeweils nächste Stufe abgenommen wird.

Wichtig ist, dass die durchgehende lange Achse sich selbst nicht dreht, sondern starr fixiert ist! Auf der sitzen (ebenfalls fest) die Zahnräder, um die die jeweiligen Ketten bewegt werden. Ebenfalls wichtig ist die richtige Justierung, sodass die Mechanik zuverlässig „greift“, aber hinreichend leichtgängig läuft.

Bei diesen Getrieben gibt es immer zwei konstruktive Probleme zu lösen:

- a) Wie kann die Antriebs-Drehbewegung genutzt werden, um die Kette geeignet abzuheben und um einen Zahn versetzt wieder abzulegen?
- b) Wie kann die so resultierende langsame Drehbewegung der Kette selbst um ihr Zahnrad auf die nächste Untersetzungsstufe abgenommen und übertragen werden?

Je mehr Platz zur Verfügung steht, desto einfacher gelingt die Sache. Mit aufsteigendem Schwierigkeitsgrad arbeiten wir uns deshalb von den Z40-Getrieben bis zu dem mit Z10 vor.

Z40-Variante 1

Abb. 11 und 12 zeigen diese Version. Man beachte: Alle Drehscheiben (31019) inkl. das mit dem vom Motor angetriebenen ersten Z40, sitzen auf Freilauf-Flachnabenzangen („Freilaufnaben“), während alle anderen Z40 fest auf der fixierten langen Achse angebracht sind. Die Achse selbst sitzt ganz vorne in einer Seiltrommel 15 (31016) fest.



Abb. 10: Die Einzelteile der Übertragsmechanik

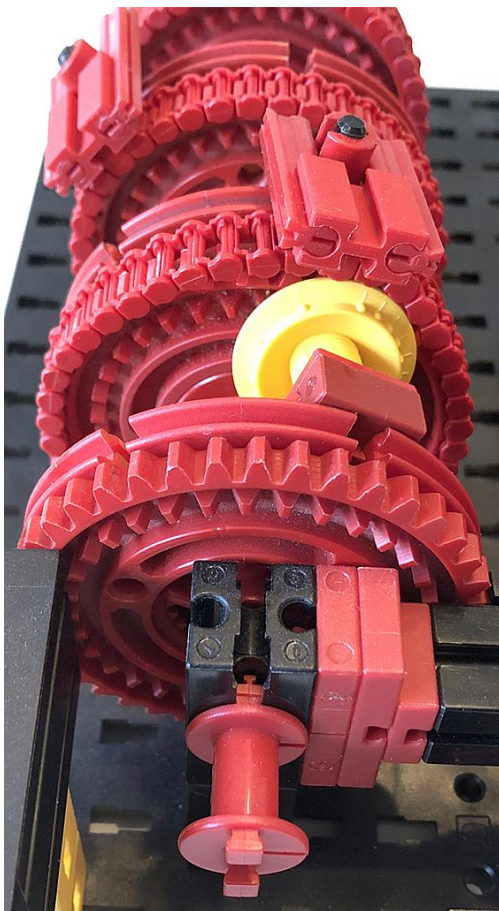


Abb. 11: Z40-Variante 1 von der Antriebsseite

Die Übertragsmechanik funktioniert hier so: An der Drehscheibe (dem Antrieb der

jeweiligen Stufe) sitzt über einen Winkelstein 15° und eine V-Aufnahmeachse (31124) wiederum eine Freilauf-Flachnabe (129697). Die greift butterweich und elegant unter die Kette und hebt sie so vom Z40 ab.

Auf dem Rastkettenglied ist ein BS7,5 mit zwei Verbindern 30 befestigt. Darin sitzt der Klemmring einer Achse 30, die von außen in der Drehscheibe der nächsten Getriebestufe steckt und diese somit dreht.



Abb. 12: Z40-Variante 1 von der Abtriebsseite

Da die Drehung einer „Antriebs-Drehscheibe“ die Kette immer nur um einen Zahn weiterdreht, erreichen wir in einer einzigen Getriebestufe eine Untersetzung von 41:1 (wir kommen später noch darauf zurück, dass hier sogar eine 41 und nicht nur eine 40 steht). Mit den drei aufgebauten Getriebestufen bekommen wir also eine

Gesamtuntersetzung vom ersten (dem angetriebenen) Z40 bis zur letzten Drehscheibe von

$$\left(\frac{41}{1}\right)^3 = \frac{68.921}{1}$$

Das angetriebene Z40 muss also fast siebzigtausend Umdrehungen vollführen, bis sich die letzte Drehscheibe einmal herumgedreht hat!

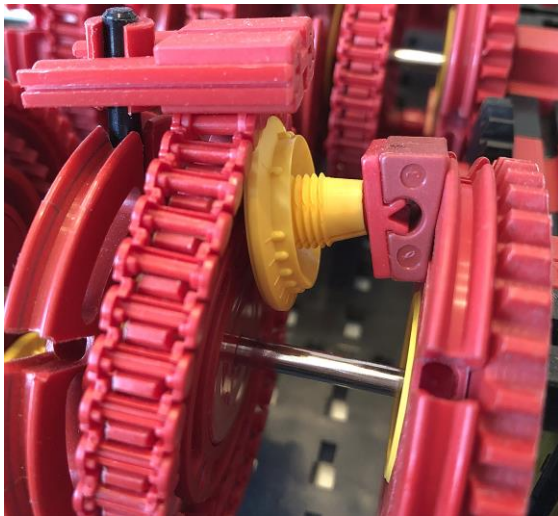


Abb. 13: Die Freilaufnabe hebt die Kette ab



Abb. 14: Der Mitnehmer zur nächsten Drehscheibe

Z40-Variante 2

Bei dieser Variante ist lediglich das Abheben der Kette etwas anders realisiert; die

Mitnehmer zur jeweils nächsten Drehscheibe bleiben gleich.

Eine V-Aufnahmeachse (31124) trägt, mit einem Klemmring 5 als Abstandshalter, eine Hülse mit Scheibe (35981). Die Aufnahmeachse steckt einfach in der Drehscheibe und die Hülse passt genau unter die Kette.



Abb. 15: Übertragsmechanik Z40 Variante 2

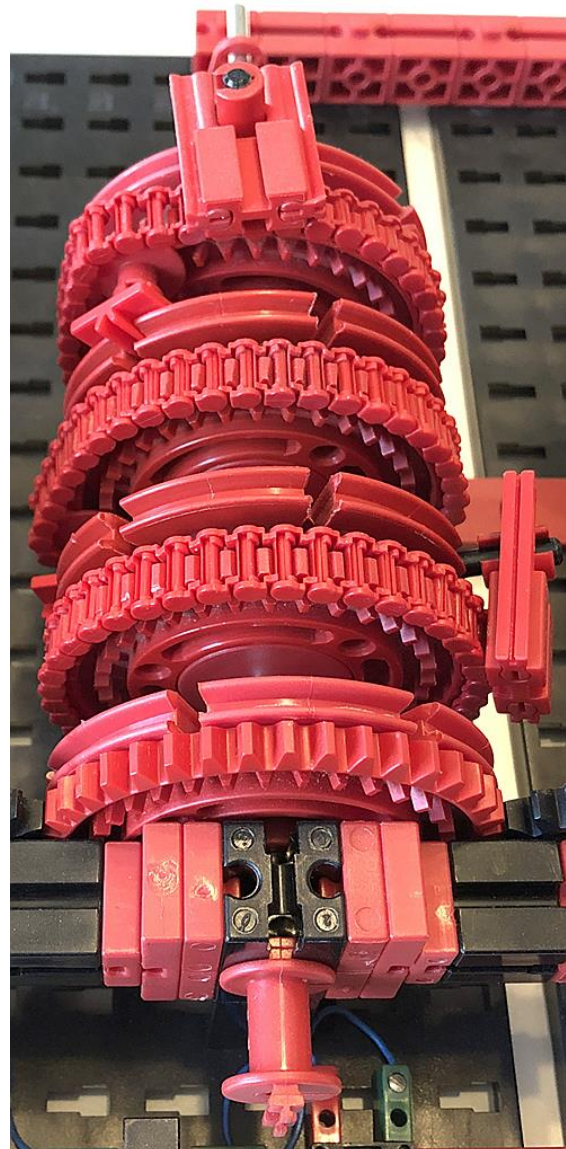


Abb. 16: Z40-Variante 2 von der Antriebsseite gesehen

Dieses Getriebe bietet genau dasselbe Untersetzungsverhältnis wie die Z40-Variante 1, nämlich 41:1 in jeder Stufe und also 68.921:1 über alle drei Stufen hinweg.

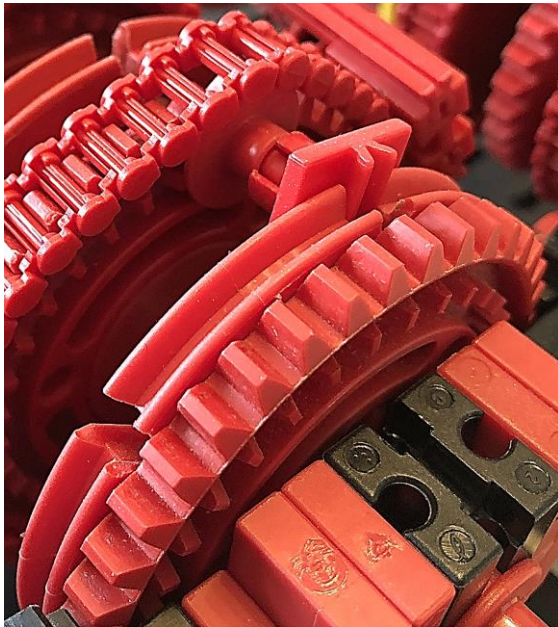


Abb. 17: Die Hülse mit Scheibe hebt die Kette ab

Z30-Variante

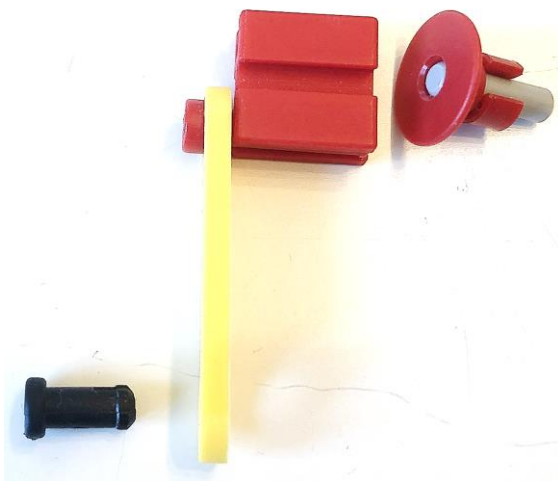


Abb. 18: Die Einzelteile der Z30-Übertragsmechanik

Hier benötigen wir Zahnräder Z30 sowohl für die feststehenden Räder für die Ketten als auch für die drehenden Teile, die bei den Z40-Varianten aus Drehscheiben bestanden. Dafür gestaltet das Abheben der Kette besonders einfach: Eine Ache 15 steckt

einfach in einer der Bohrungen der drehenden Z30 und trägt nach einem Klemmring 5 als Abstandshalter wieder eine Hülse mit Scheibe. Das passt wunderbar und hebt die Kette sauber ab.

Der Übertrag zur nächsten Stufe ist dafür etwas aufwändiger, aber auch nicht schwer zu bauen: Auf dem Förderkettenglied sitzt wieder ein BS7,5, der über eine V-Achse 20 (31690) eine I-Strebe 30 trägt. Deren anderes Ende sitzt auf einem ins nächste Z30 eingesetzten S-Verbindungsstopfen 6 (32316) und treibt es dadurch an.



Abb. 19: Z30-Variante von der Abtriebsseite gesehen

Das Untersetzungsverhältnis ist also jeweils 31:1 und damit über die drei Getriebestufen

$$\left(\frac{31}{1}\right)^3 = \frac{29.791}{1}$$

Der Antrieb muss sich also fast dreißigtausendmal drehen, bis die endgültige Abtriebs-Drehscheibe sich einmal dreht!



Abb. 20: Z30-Variante von der Antriebseite gesehen

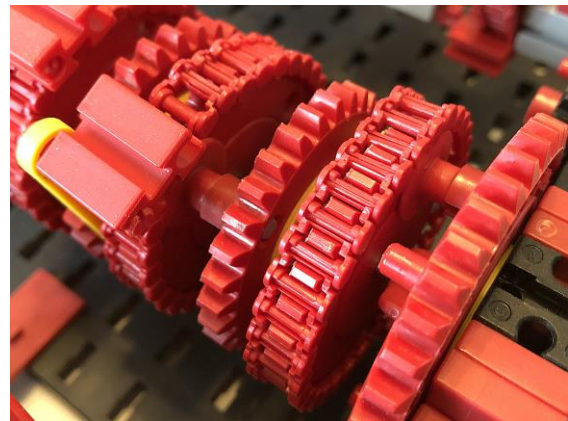


Abb. 21: Die Hülse mit Scheibe hebt auch beim Z30 die Kette ab

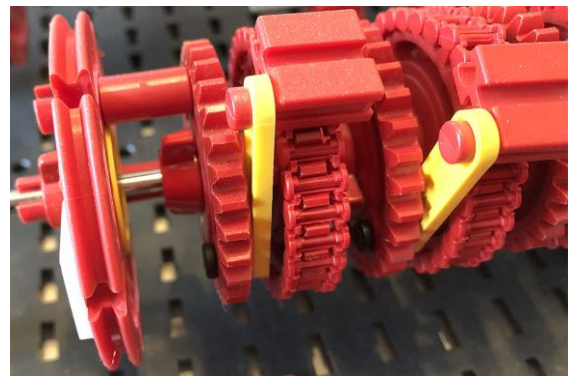


Abb. 22: Übertrag per Strebe und Anbindung der letzten Abtriebs-Drehscheibe

Z20-Variante

Hier geschieht das Abheben der Kette sehr einfach: Ein BS15 mit Bohrung sitzt auf der Achse, und darauf einfach ein Baustein 15 RZ mit rotem, runden Zapfen ([31059](#)). Das passt genau zu den 21 Kettengliedern, die um das Z20 geschlungen sind.

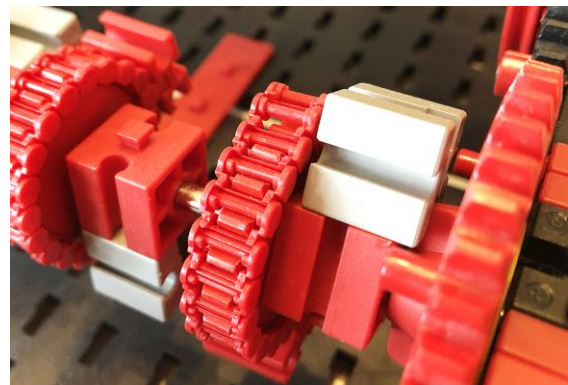


Abb. 23: Der rote runde Zapfen eines BS15 hebt die Kette ab

Direkt nach dem Antriebs-Z40 ist der BS15 mit Bohrung ganz an das Z20 (auf einer Flachnabe) drangeschoben (Abb. 23). Das erlaubt dem Nabenflügel des Z40, in die Nut des BS15 mit rundem Zapfen einzugreifen und diesen anzutreiben.

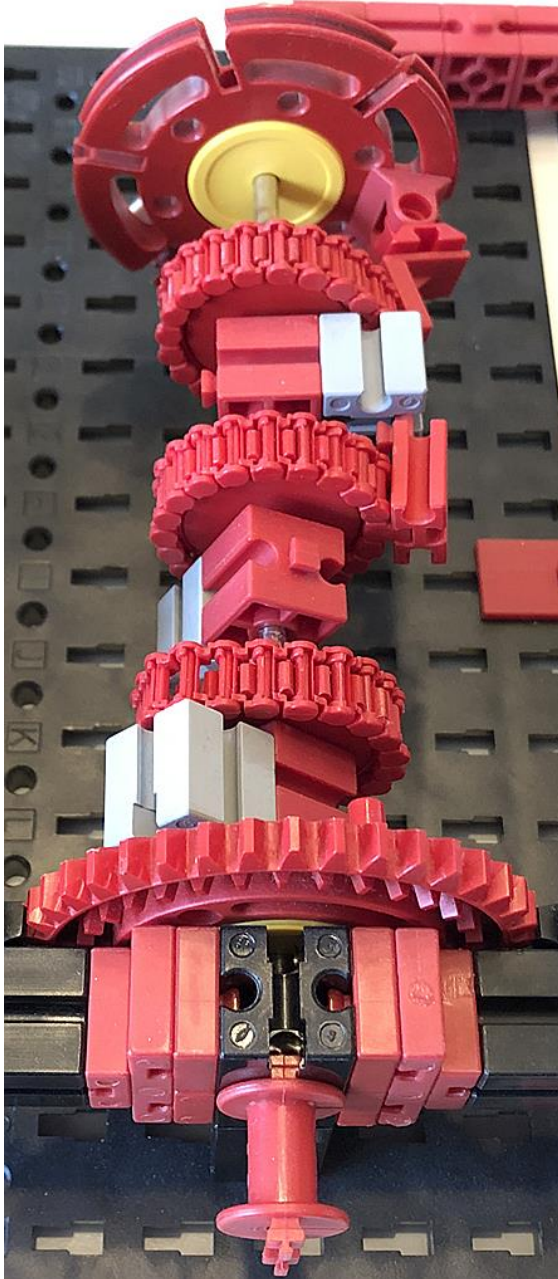


Abb. 24: Die Z20-Variante von der Antriebsseite gesehen

Der Ausgang zur letztlich zu drehenden Abtriebs-Drehscheibe muss über ein Gelenk erfolgen, weil die Kette beim Abheben ja ihre Entfernung zur Achse ändert.



Abb. 25: Die Z20-Variante von der Abtriebsseite gesehen

Das Untersetzungsverhältnis beträgt in jeder Stufe 21:1 und somit über drei Stufen hinweg

$$\left(\frac{21}{1}\right)^3 = \frac{9.261}{1}$$

Der Antrieb muss sich also über neuntausendmal drehen, um den Abtrieb einmal zu drehen.

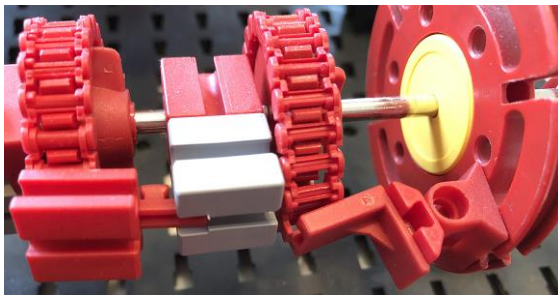


Abb. 26: Der Übertrag zur nächsten Stufe (rechts) und zur letzten Abtriebs-Drehscheibe

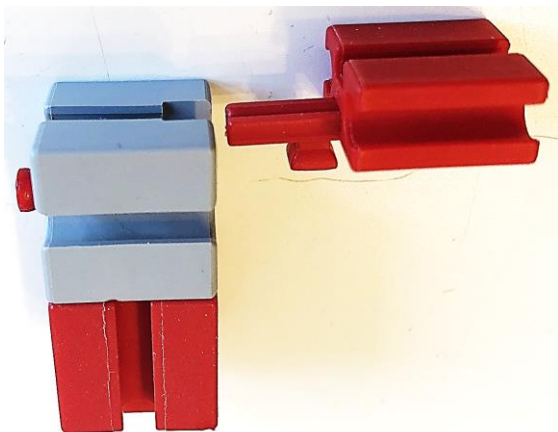


Abb. 27: Die Bauelemente des Z20-Übertrags

Die Federnocke im BS7,5 greift locker (!) in die rechteckige Nut-Aussparung des BS15 mit rotem Zapfen ein. Bedenkt, dass der BS7,5 ja beim Abheben der Kette seine Position gegenüber dem BS15 ändert.

Z15-Variante

Es wird enger – aber es geht immer noch. Wir schlingen also 16 Kettenglieder – 15 normale und ein Förderkettenglied – um Zahnräder Z15. Damit die zuverlässig fest auf der Achse sitzen (sie dürfen sich ja nicht drehen), werden sie mit einem auf der Achse festgeschraubten Z10 am Drehen gehindert. Von der anderen Seite (hier der Antriebsseite) genügen die Bauteile der Übertragsmechanik, um das Z15 vor dem Herausrutschen aus der Z10-Spannzange zu schützen (Abb. 28, 29).

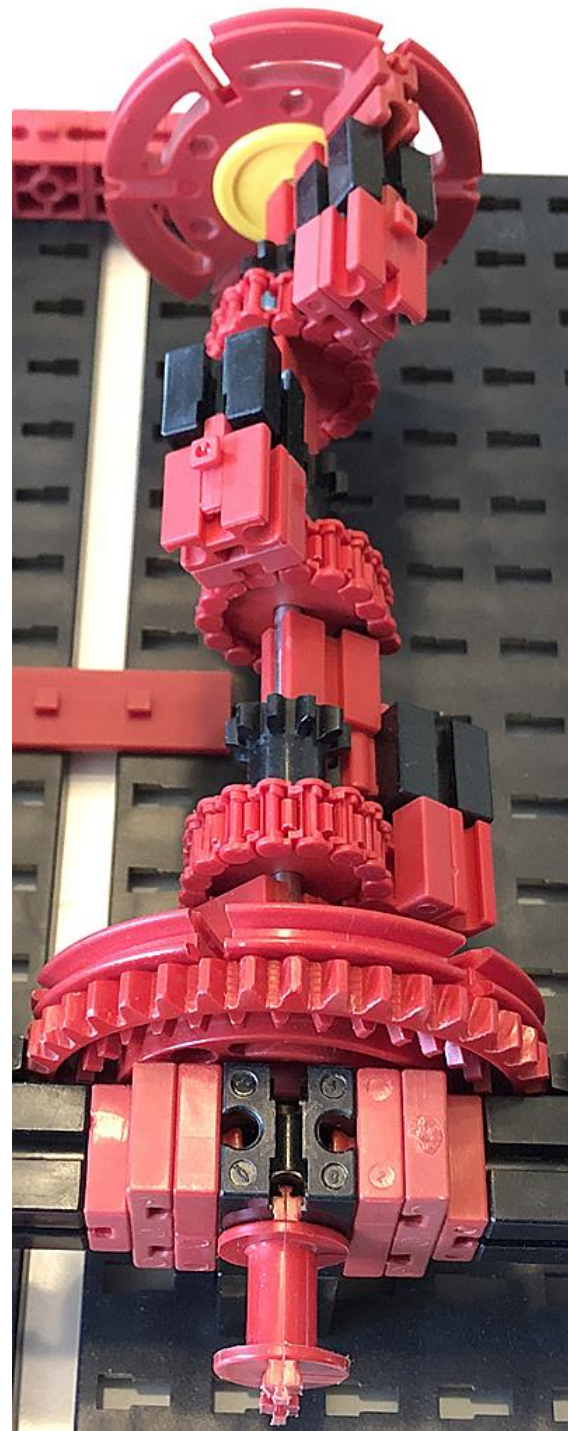


Abb. 28: Die Z15-Variante von der Antriebsseite gesehen

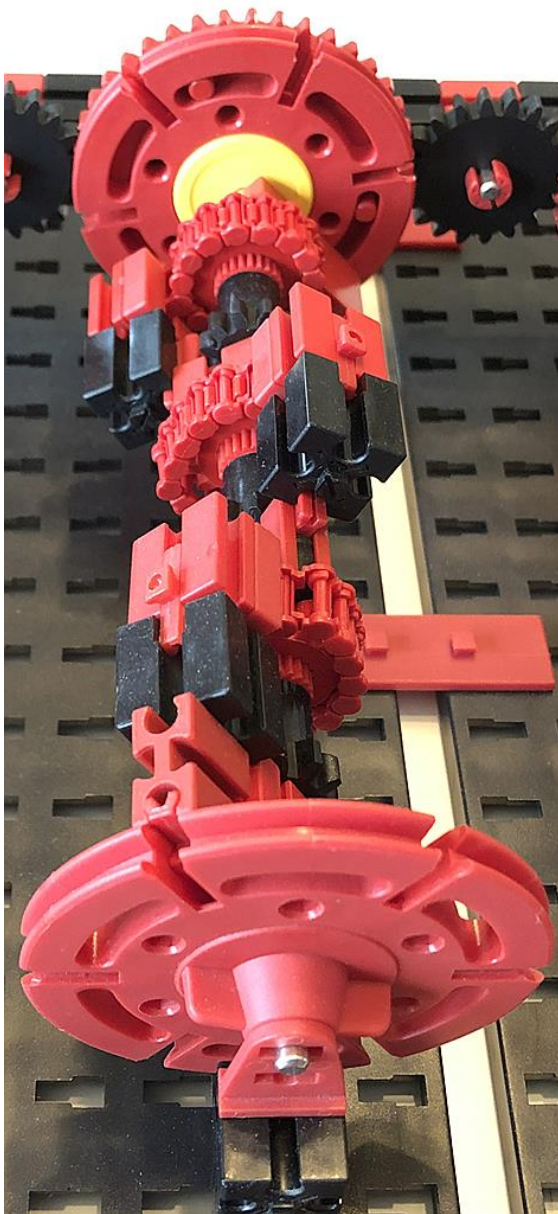


Abb. 29: Die Z15-Variante von der Abtriebsseite gesehen

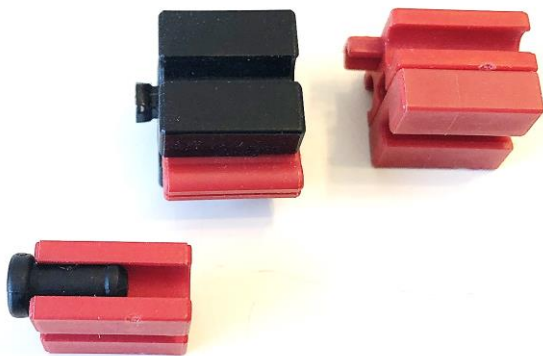


Abb. 30: Die Bauteile der Übertragsmechanik

Auf dem Förderkettenglied sitzt diesmal ein BS5, der einen BS7,5 mit einem nicht ganz eingeschobenen Federnocken trägt, der – wiederum locker beweglich – in die Nuten eines BS15 eingreift. Dieser ist per Verbindler 15 gerade genug mit einem BS7,5 verbunden, der auf der durchgehenden Achse sitzt (Abb. 30, 31, 32). Der BS15 trägt zudem einen S-Verbindungsstopfen 6 ([32316](#)), der wunderbar passend die Kette um das nächste Z15 abhebt.

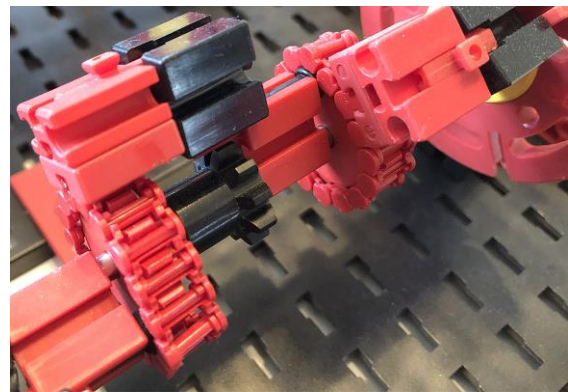


Abb. 31: Der S-Verbindungsstopfen im BS7,5 hebt die Kette ab

Die Anbindung an die erste Antriebs-Drehscheibe geschieht wie in Abb. 32 gezeigt: Der BS7,5 mit S-Verbindungsstopfen, der die Kette des ersten Z15 abheben soll, ist über zwei Bauplatten 15 · 30 2Z ([38241](#)) mit einem weiteren (senkrecht zur Achse stehenden) BS7,5 verbunden, der über einen in der Drehscheibe sitzenden Federnocken angetrieben wird.

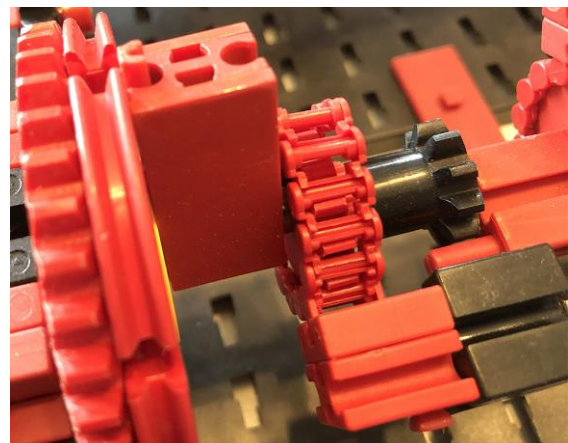


Abb. 32: Der Antrieb der ersten Getriebestufe

Auch wenn es in Abb. 32 vielleicht nicht so aussieht, berührt der Verbinder 15 die Zähne des Z10 nicht. Er wird problemlos an dem ja festsitzenden Z10 vorbei gedreht.

Den „Ausgang“ zur letztlich anzutreibenden Drehscheibe zeigt Abb. 33. Der letzte BS15 wird wie die vorherigen per Verbinder 15 von einem BS7,5 gehalten. Sein Zapfen steckt aber in einem weiteren BS7,5, der über einen Federnocken die Drehscheibe antreibt.

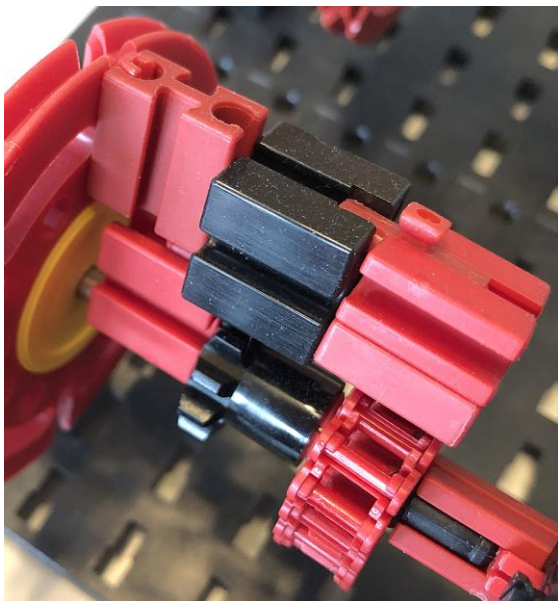


Abb. 33: Die Verbindung zur letzten Abtriebs-Drehscheibe

Das Untersetzungsverhältnis ist hier besonders interessant. Es beträgt pro Getriebe-stufe 16:1 (eine Zweierpotenz – 2·2·2·2!) und somit über die drei Getriebestufen gesehen

$$\left(\frac{16}{1}\right)^3 = \frac{4.096}{1} = \frac{2^{12}}{1}$$

Die Abtriebs-Drehscheibe dreht sich also genau 2^{12} -mal so langsam wie die des Antriebs.

Z10-Variante

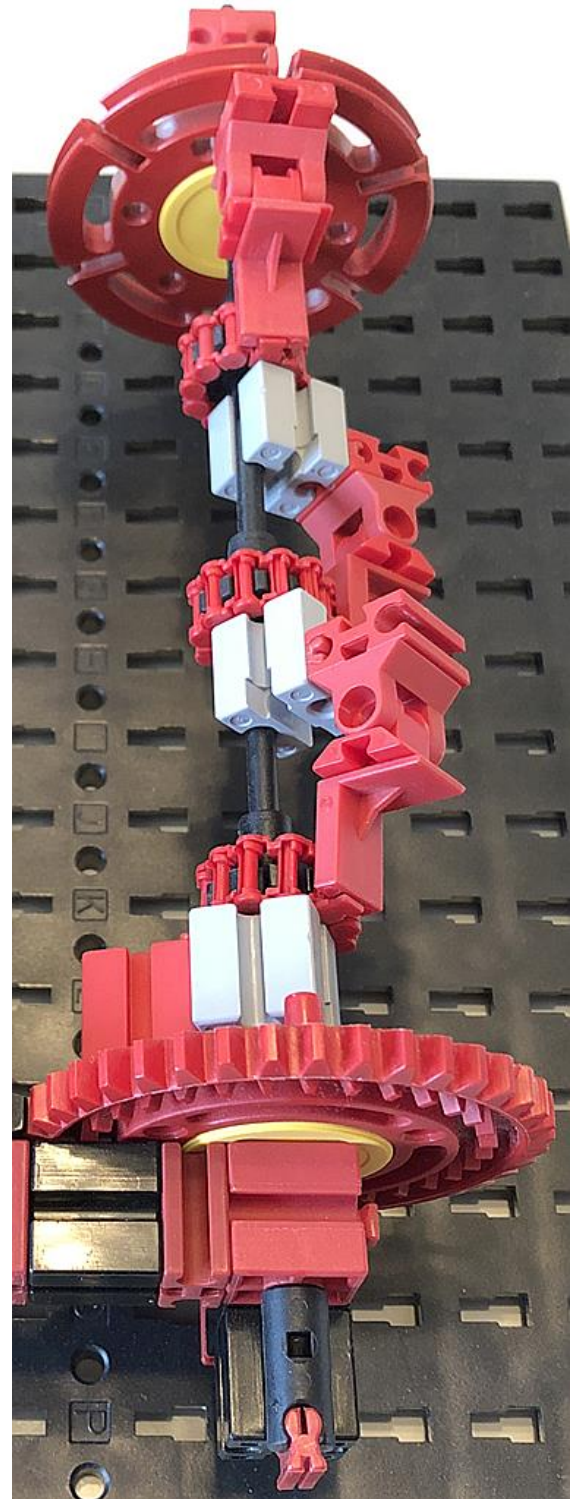


Abb. 34: Die Z10-Variante von der Antriebsseite gesehen



Abb. 35: Die Z10-Variante von der Abtriebsseite gesehen

Beim Z10 wird es schon richtig eng. Diese Variante ist mit einem Rast-Z10 auf Rastachsen realisiert. Die Fixierung der Achse (sie darf sich ja nicht drehen) geht z. B. über einen Rastadapter 20 ([36227](#)) und einen Verbinder 15, der in die Nut eines BS15 eingreift:

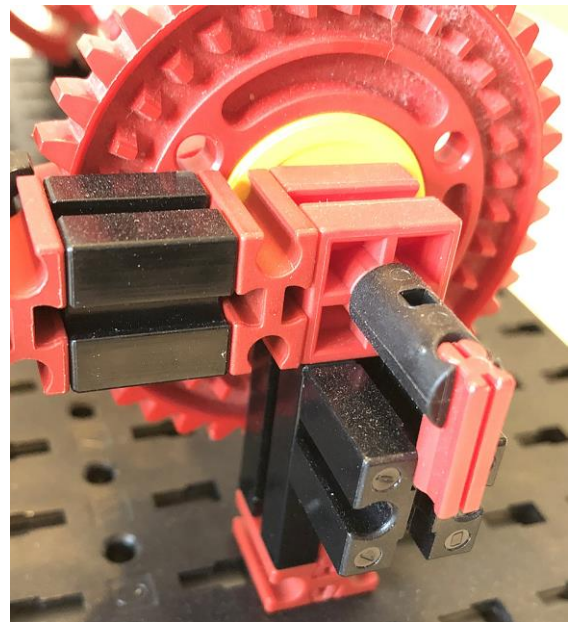


Abb. 36: Fixierung der Rastachse

Der Übertrag vom Rastkettenglied einer Kette aufs Anheben der Kette der nächsten Getriebestufe geschieht über die Baugruppe in Abb. 37.

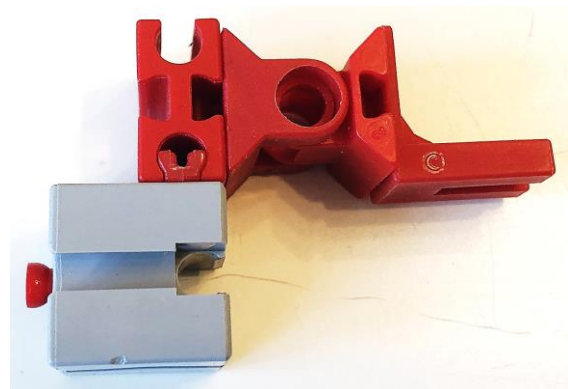


Abb. 37: Die Z10-Übertragsmechanik

Der Winkelstein 10 · 15 · 15 ([38423](#), rechts im Bild) sitzt im Förderkettenglied. Das Gelenk sorgt für den Ausgleich beim Anheben dieser Kette. Über BS7,5 und Federnocken wird ein Baustein 15 mit rundem roten Zapfen gedreht. Wenn der mit seiner (in Abb. 37 unten liegenden) Nut in der Achse gelagert wird, hebt sein runder Zapfen die Kette des nächsten Rast-Z10 gerade passend an.

Vom ersten Antriebs-Z40 aus wird der erste BS15 mit rundem Zapfen wie in Abb. 38

gezeigt mit einem darauf per Verbinder 15 angebrachten BS7,5 angetrieben. Der wiederum umfasst mit seiner Nut einen der Nabenmutterflügel und wird somit gedreht.

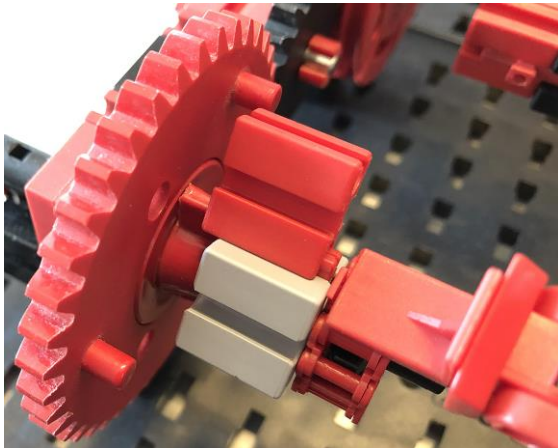


Abb. 38: Antrieb des ersten Ketten-Abhebers

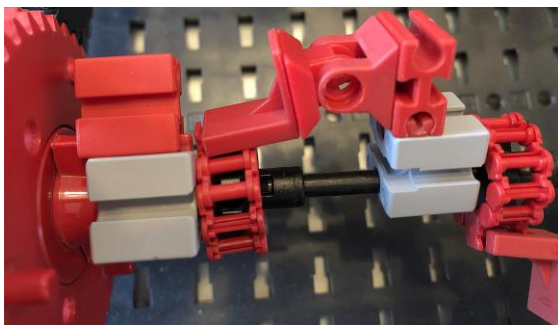


Abb. 39: Die erste Getriebestufe

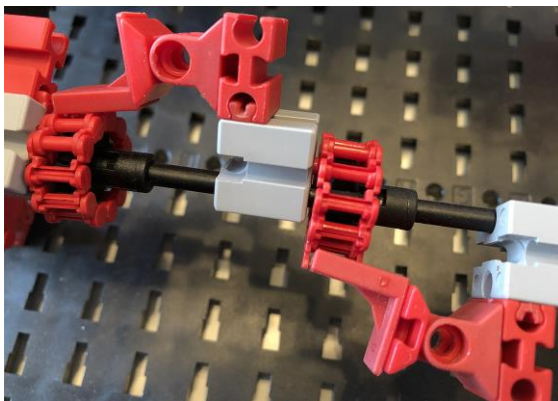


Abb. 40: Übergänge zur nächsten Getriebestufe

Am Ende wird fast derselbe Aufbau verwendet. Es genügt aber ein BS5, der in der letzten Abtriebs-Drehscheibe steckt. Das Untersetzungsverhältnis lautet also in jeder Getriebestufe 11:1 und deshalb insgesamt

$$\left(\frac{11}{1}\right)^3 = \frac{1.331}{1}$$

Immerhin muss sich das Antriebsrad weit über tausendmal drehen, bevor das Abtriebsrad sich einmal dreht.

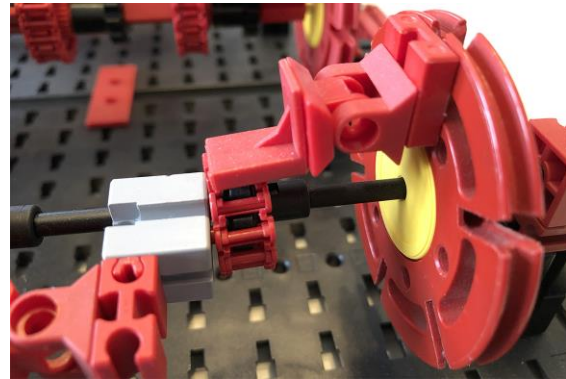


Abb. 41: Die Verbindung zur letzten Abtriebs-Drehscheibe

Zum Untersetzungsverhältnis

Beim Z10-Getriebe lässt sich nun besonders einfach ausprobieren, dass man für einen Durchgang einer Getriebestufe so viele Umdrehungen benötigt, wie die Kette Glieder hat, und nicht nur so viele, wie das Zahnrad Zähne besitzt. Probierte es aus!

Ein Video über das gesamte Modell findet sich in [6].

Quellen

- [1] Musser, C. Walton: *Strain Wave Gearing*. Patentschrift zum Harmonic Drive, 1955/1959, auf patentimages.storage.googleapis.com
- [2] Wikipedia: [Harmonic Drive](#).
- [3] Falk, Stefan: *Harmonic Drive*. ft Community [Bilderpool](#), 2008.
- [4] Steinhaus, Harald: *Harmonic Drive*. ft Community [Bilderpool](#) von der fischertechnik-Convention 2010.
- [5] Steinhaus, Harald: *Hypozykloid-Getriebe*. ft Community [Bilderpool](#), 2014.
- [6] Falk, Stefan: *Harmonic Drives von Z10 bis Z40*. Auf [YouTube](#), 2020.

Tipps & Tricks

Verkabelung (Teil 3)

Tilo Rust

Dieser Artikel entstand, nachdem ich einige Beiträge gelesen hatte, bei denen es um Tipps und Tricks zur Verkabelung von Modellen geht [2, 3]. Da ich als gelernter Mess- und Regelmechaniker (in den 1990ern) noch das Bündeln von Kabelbäumen gelernt habe und in meinen Modellen viele Kabel benutze (in meiner Schrägseilbrücke befinden sich über 200 m Leitung) möchte ich hier meine Tipps weitergeben.

Technik und Ästhetik

Ich sehe auf Ausstellungen viele wunderbare Modelle. Technik vom Feinsten, bei dem ich selbst mit offenem Mund staunend dastehe. Doch dann: lose Kabel. Nicht selten sind Situationen, bei denen der Aussteller mit dem Finger ein Kabel zur Seite

drückt, damit das Modell laufen kann. Liebe Modellbauer: Bitte nicht auf 90 % der Strecke aufhören! Eine saubere Verkabelung gehört zur Technik dazu wie Programmierung und Statik. Manchmal genügt ein eingeschobener Riegel, um das Kabel zur Seite zu halten. Manchmal ist es sinnvoll, ein Kabel noch einmal zu verlegen.

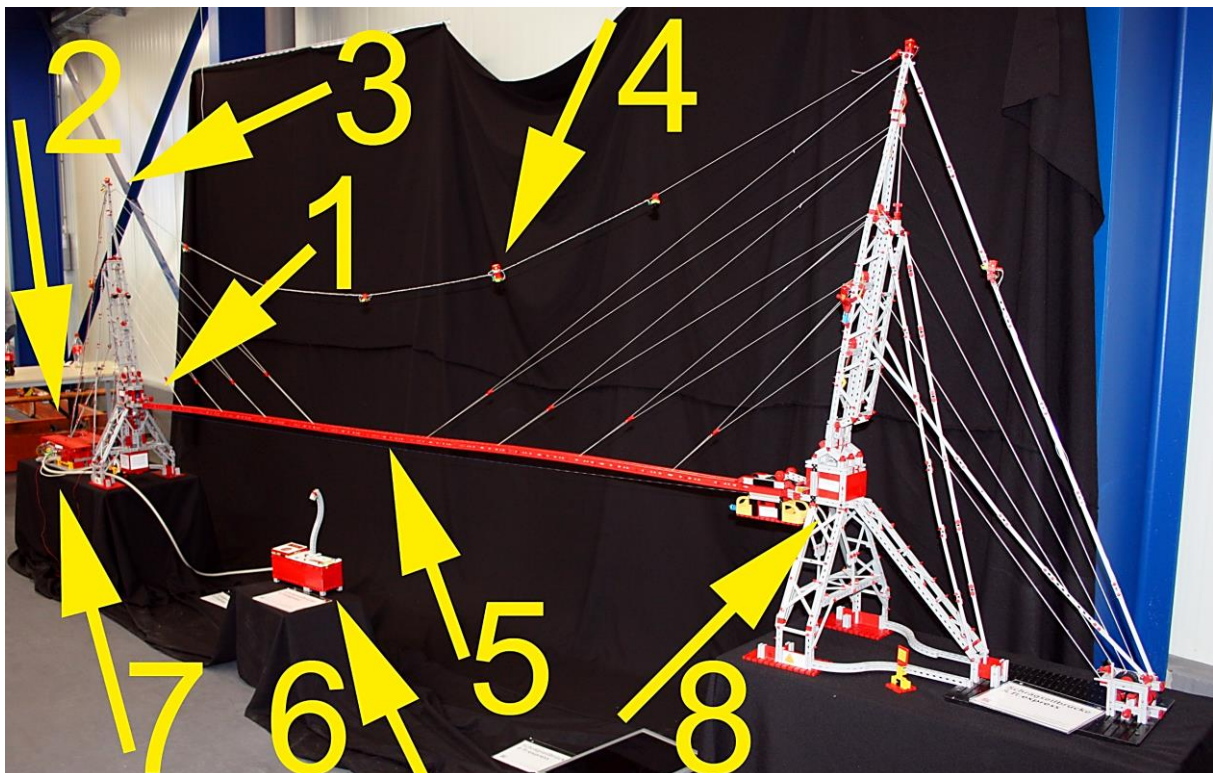


Abb. 1: In der Übersicht sind die Stellen markiert, auf welche ich im Beitrag Bezug nehme. Zum Bauwerk: Freie Spannweite 3,40 m, Turmhöhe 1,40 m, Gesamtbreite 5,50 m, alle Teile Privatbesitz. Hängebahn in 2-Seil-Technik angetrieben, Steuerung rein elektromechanisch.

Prioritäten setzen

Bei Verkabelungen von Modellen geht es um folgende Aspekte, deren Priorität jeder für sich setzen muss:

- Bei Ausstellungsstücken alle Kabel ansehnlich (im rechten Winkel) führen; unauffällig/versteckt oder, wo es passt, deutlich sichtbar. Beispiel: Kabel zur Versorgung von Beleuchtung werden auch bei den Vorbildern unauffällig versteckt. Kabelbäume von Maschinen sind sauber zusammengefasst.
- Kabel sicher und bewegungsfrei führen; sie dürfen keinesfalls (z. B. beim Transport) verrutschen und in Getriebe oder bewegliche Teile gelangen.
- Keine „Luftverdrahtung“; nicht herunterhängen, quer durch die Luft gespannt oder herumliegen. Kabel zu beweglichen Teilen (z. B. bei einem Plotter) in Kabelkanälen, Schläuchen oder Ketten führen.
- Keinesfalls dürfen Kabel und Stecker mechanischen Belastungen ausgesetzt sein. Siehe Abb. 5, 6, 7: Fahrbahnbeleuchtung, über 3,60 m gespannt. Die Last hängt an einem Seil. Die Kabel sind nur drum herum geflochten und vollkommen ohne Zuglast.

Kleine Befestigungen

Diese Übersicht trägt einige kleine Lösungen zusammen, mit denen Kabel leicht an Modellen geführt werden können. Es müssen nicht immer Reedkontakthalter sein.

1. Meine Lieblinge sind Verbinder 15 und Bauplatten 15 · 15. Sie können nur wenige Adern befestigen, sind aber gut verfügbar und optisch ansprechend.
2. Für größere Kabelbäume nutze ich die Riegel mit Gummiringen. („Loopies“; siehe (2) in Abb. 2).
3. An Statik (Masten): Kabelbinder, so dass die Kabel unsichtbar innen geführt werden. Bei schwarzen Bauteilen und schwarzen Kabelbindern mit schwarzen Litzen sieht das keiner. Nachteil: bei Austausch oder Hinzufügen eines Kabels müssen alle Kabelbinder erneuert werden. Aber für Modelle, die lange bestehen bleiben sollen und Ausstellungsstücke, bei denen nichts mehr schief gehen darf, ist das perfekt.
4. Tipp: immer darauf achten, dass weder die Kabel in sich verdreht sind (siehe in Abb. 2 die rot/schwarze Doppellitze am Statikträger), noch untereinander. Das sieht nicht nur besser aus, sondern

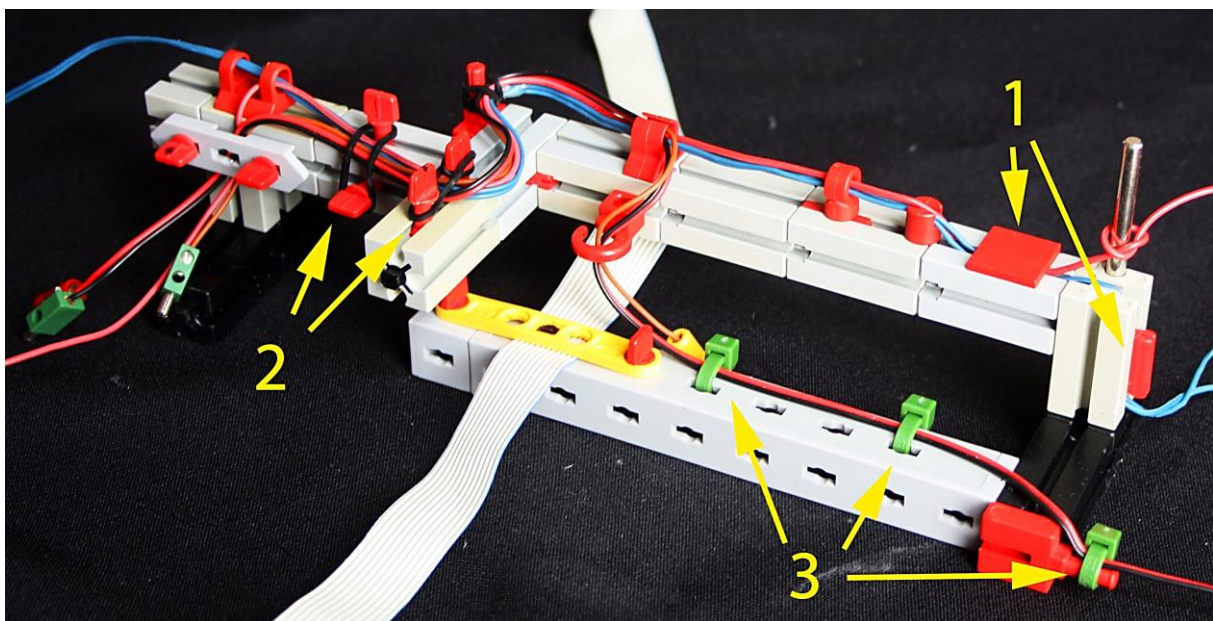


Abb. 2: Manche Führungen fassen nur einzelne Litzen (1) andere ganze Kabelbäume (2) (3).

verhindert Verwechslungen bei der Fehlersuche.

5. Tipp: Kabelbinder immer in der gleichen Richtung und an der gleichen Stelle befestigen. Im Beispiel habe ich absichtlich grüne Kabelbinder verwendet, damit man das besser sieht. Im fertigen Modell wären sie weiß.
6. Flachkabel, wenn mehrere Kabel in eine Richtung führen und quer durch das ganze Modell gehen. Sie sind leicht zu befestigen und lassen sich rechtwinklig knicken.
7. Tipp: Ich benutze Flachkabel im Sinne einer „Verlängerung“. Sie haben an beiden Enden Buchsen in unterschiedlichen Farben. Die eigentliche Verteilung zu den Verbrauchern etc. realisiere ich dann mit kurzen Kabeln.

Kabelstau

Zu viele Kabel? Zu lange Kabel? Kein Problem!

- Kleine „Schleifen“: Sauber gelegt und gut befestigt macht optisch was her, vor allem, wenn sie an passender Stelle eingesetzt werden.
- Große Schleife: Mehrere Kabel sauber aufgefangen, mit Hilfe von Kabelbindern sauber gelegt und passend zum Modell angebracht.
- Chaos erlaubt: wo es keiner sieht können Kabel in Hohlräume gestopft werden. Die Stellen, an denen die Kabel herauskommen, sollten sauber definiert sein. Vorsicht: Knoten vermeiden, das hilft bei der Fehlersuche.
- Flachkabel: Gehen mehrere Kabel in die gleiche Richtung (vor allem bei größeren Modellen) ist ein Flachkabel die Lösung. Es lässt sich wunderbar parallel zu der Anlage rechtwinklig verlegen und leicht befestigen. Tipp: Flachkabel sind eher als „Verlängerung“ zu betrachten, so dass die Enden in Buchsen ausgeführt sind und kurze Kabel vor Ort die Verteilung übernehmen (Abb. 11).

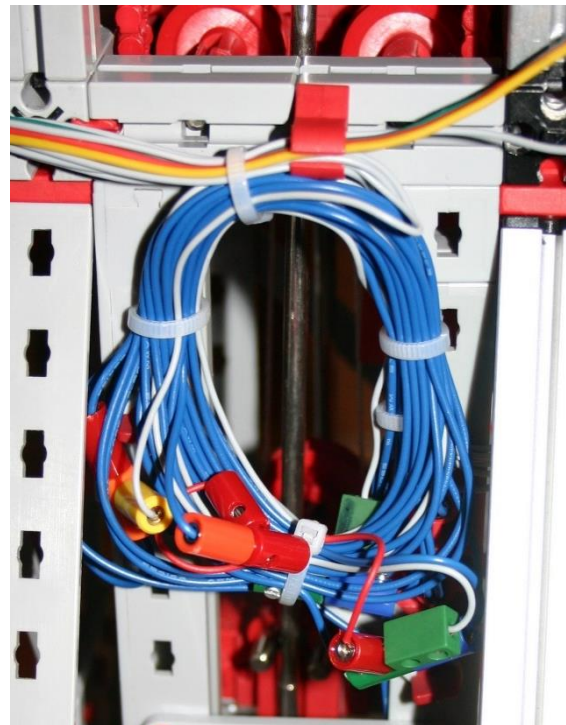


Abb. 3: Sind Kabel zu lang, kann man sie an passender Stelle (auch mitten drin) gleichmäßig in einen Ring legen, diesen mit Kabelbindern oder Blumendraht zusammenhalten und am Modell befestigen. Das ist etwas „Fummelarbeit“, aber damit sind die Kabel ein für alle Male gut aufgeräumt, werden Stecker geschützt und die Optik passt.

Hängepartie

Auch an Streben, Seilen, Achsen kann man Lampen und Kabel befestigen.

- Kabelbinder zum direkten Fixieren sind unauffällig. (Wieder der Hinweis: Kabel nicht verdrehen.)
- An Seilen können Kabel geflochten werden. Das Seil nimmt den mechanischen Zug auf, damit die Stecker nicht belastet werden.
- Kabel kann man auch verknoten (siehe Abb. 2 ganz rechts an der Achse). Das machen sie nicht oft mit, aber für ein Ausstellungsmodell ist das OK.

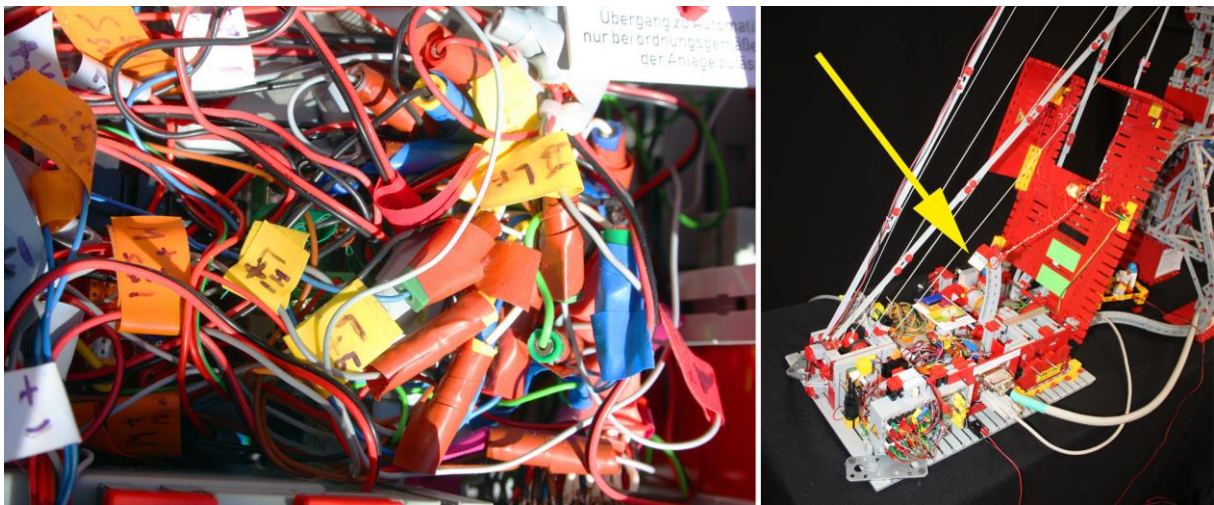


Abb. 4: Kabelchaos? Nein: perfekte Ordnung! Jedes Kabel ist beschriftet, jeder Stecker verklebt, die Kabel zusammengefasst. Hier im „Schaltraum“ der Schrägseilbrücke musste Platz für die einklappbare Beleuchtung (siehe Pfeil rechts) sein.

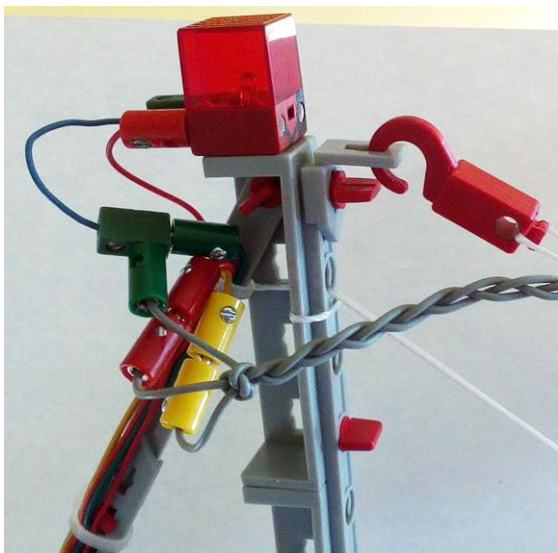


Abb. 5: Geflochtenes Kabel

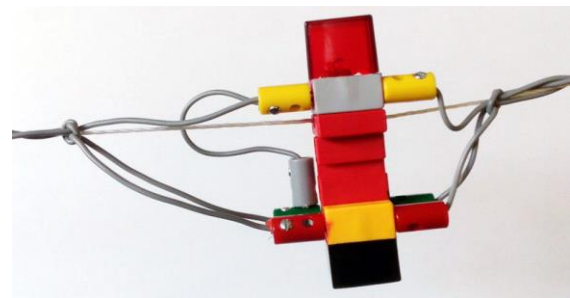


Abb. 5, 6, 7: Kabel und Stecker sollten keinerlei mechanischem Zug ausgesetzt sein. Alle Kräfte werden von den Streben oder Seilen aufgenommen; die Kabel hängen locker daran. Am Ende der Flechtung ist ein Knoten in die Kabel geknüpft – das geht, da sich die Kabel nicht mehr bewegen werden.



Abb. 6: Kabel um Seil geflochten

Fehlersuche

Eine Herausforderung ist es, wenn man auf eine Convention geht, das Modell zusammensetzt – und nichts mehr funktioniert. Dann ist Fehlersuche angesagt. Einige Tipps dazu:

- Unterschiedliche Farben von Litzen benutzen. Rot für Plus, Grün für Minus. Oder Gelb für Lampen, Schwarz für Motoren. Hier kommen wir schnell an die Grenzen der Logik. Daher markiere ich meine Kabel mit Hilfe von farbigem Isolierband, auf das ich Bezeichnungen schreibe. Gelb ist für Beleuchtung, Grau

für Motoren, Rot für die Stromversorgung. Darauf steht „M – Antrieb“ oder „M – Lenkung“ und „L – Blaulicht“ oder „L – Rücklicht“. Wenn also der Blinker nicht geht, brauche ich nur die gelben Kabel prüfen (Abb. 4).

- Modelle, die lange bestehen bleiben, verdienen abgelängte Kabel. Nach dem Auseinanderbauen wiederverwenden. Beispiel: In einem Kran eine Doppellitze von der Kabine zum Licht an der Spitze sauber ziehen, gut verstecken und auf Länge kürzen.
- Für komplexe Modelle zeichne ich einen Schaltplan, in dem ich einigen Kabeln Nummern gebe. So war es mir möglich, bei laufendem Ausstellungsbetrieb in nur fünf Minuten einen unsichtbaren Aderbruch zu finden!

Wann ist der richtige Zeitpunkt, um Kabel sauber zu verlegen?

Solange sich ein Modell noch als „Prototyp“ bezeichnen lässt und noch nicht alles am richtigen Platz ist, dürfen Kabel natürlich auch lose und fliegend sein, zu lang oder kreuz und quer. Aber vielleicht entdecken wir dabei den einen oder anderen Platz, an dem sie später untergebracht oder besser verlegt werden können, an dem Verteiler und Befestigungen nicht so auffällig erscheinen?

Spätestens, wenn das Modell „fertig“ ist und wir es unseren Freunden zeigen wollen, sollten wir aufräumen, uns um Details und Deko kümmern – und um die Kabel.

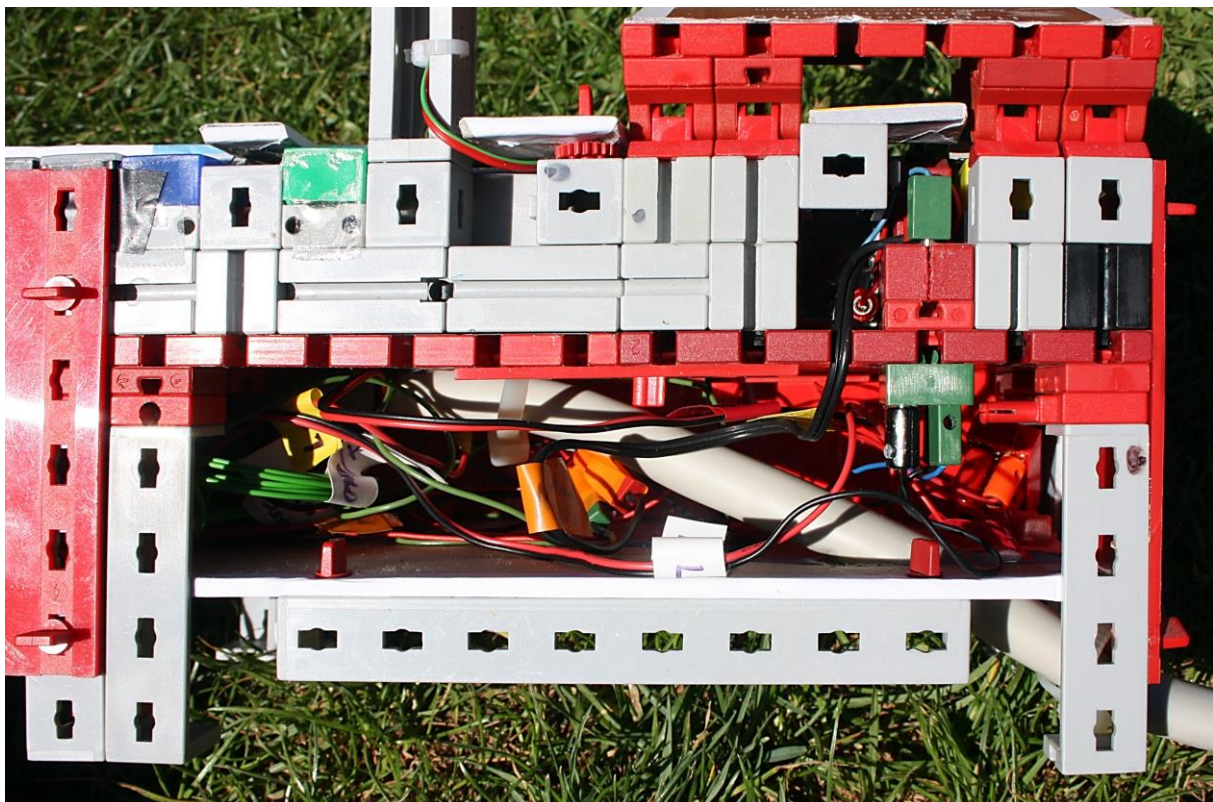


Abb. 8: So sieht das in der fertigen Fernbedienung aus. Der Kabelsalat ist versteckt (Rückwand abgenommen) und das Telefonkabel gut gefestigt. Man erkennt oben drauf und unter dem Kabelbereich eine Pappe mit Aufdruck diese Beschriften die Schalter und Lampen und verdecken den Kabelbereich.

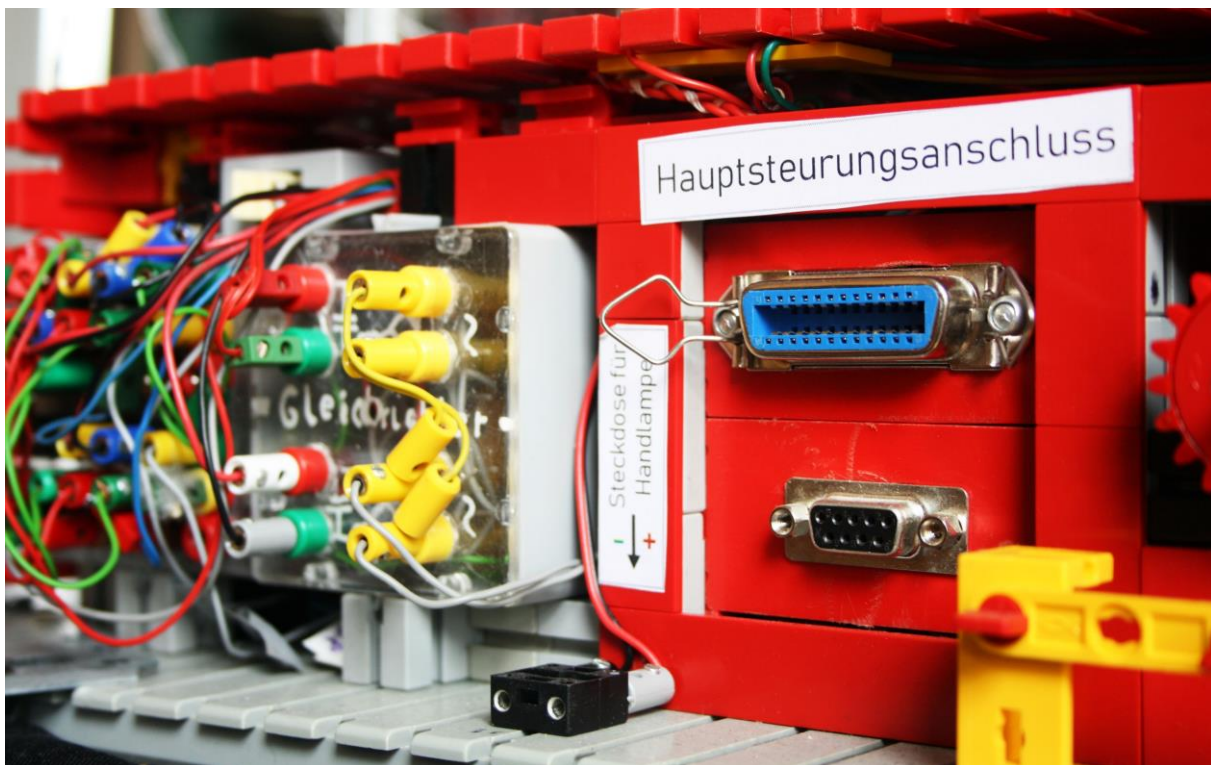


Abb. 9: Gut zu erkennen sind die Anschlüsse für den Centronics Stecker / Fernbedienung (oben) und das serielle Kabel, das die Bergstation versorgt. Kabel dürfen auch offen sichtbar sein: Der Gleichrichter und Relaisblock links zeigen "Technik-Feeling". Dennoch sind die Kabel genau gekürzt, sauber verlegt und unsichtbar befestigt. Unten am Rand eine "Steckdose" für die Handlampe von Artur.

Für Ausstellungen halte ich das für unbedingt nötig. Nichts darf auf dem Transport hängenbleiben, herausfallen, sich verlegen. Während der Ausstellung darf keine Chance bestehen, dass jemand hängenbleibt, ein Kabel durch Bewegung bricht oder in ein Getriebe kommt. Und so wie wir Verzierungen (Abdeckplatten oder bunte Lichter) anbringen, damit das Modell Eindruck macht, sollten wir auch die Kabelführung sauber und ordentlich gestalten. Und genau das ist der Zeitpunkt, an dem wir hierfür Eifer aufbringen sollten: das Modell ist fertig und muss „ausstellungstauglich“ werden.

Verbindungen

Natürlich muss ein (großes) Modell auch an verschiedenen Stellen auseinandergenommen werden um es zu transportieren. Die Schrägseilbrücke besteht aus vier Teilen: Den zwei Türmen, der Fahrbahn (mit

Gondel) und der Fernbedienung. Das Besondere: Die ganze Anlage hat nur einen Trafo (in der Talstation). Von dort aus werden die Bergstation und die Kabelfernbedienung (!) versorgt.



Abb. 10: Unter der Fahrbahn läuft ein serielle Kabel zur Bergstation gut versteckt, nur befestigt mit kleinen Drahtschlaufen. So verbindet man weite Wegstrecken zwischen Modellbereichen.

- Strecke zur Bergstation: Ein altes serielle Kabel, unter der Fahrbahn unsichtbar. Die Stecker sind am/unter dem Turm

angebracht, schnell getrennt und unauffällig. (In der Talstation zeige ich die Stecker absichtlich, um die „Technik“ in Szene zu setzen. Befestigt ist das Kabel auf der unsichtbaren Rückseite des Modells mit den Loopies) Über dieses Kabel werden Beleuchtung und die Endlagentaster versorgt.

- Die Fernbedienung benötigt viel mehr Kontakte. Daher habe ich ein altes Centronics-Druckerkabel modifiziert. In der Fernbedienung selbst hat dies eine Kabelpeitsche und kann nach dem Auseinanderbauen wiederverwendet werden.

Meine Anregung also: Normverbindungen haben sich bewährt, die Stecker lassen sich in Flachbausteine integrieren. Die Kabel gibt es in allen Längen und das System ist wiederverwendbar. Sie eignen sich vor allem, um zwei Anlagenteile (auch über weite Entfernung) zu verbinden und für den Transport sauber und schnell zu trennen.

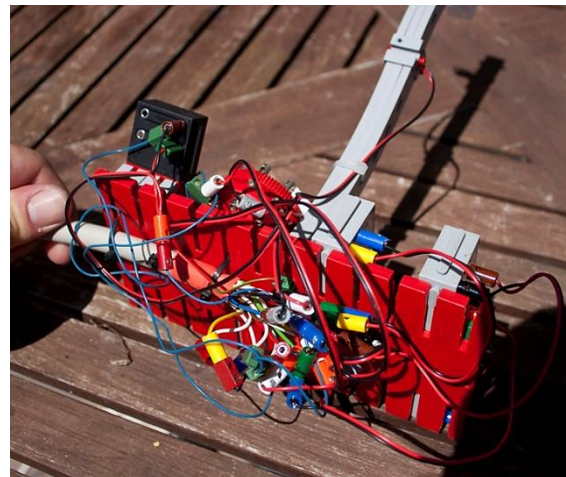


Abb. 11: Die Fernbedienung im Rohbau von unten. Links kommt das Telefonkabel an und endet in einer Kabelpeitsche mit Buchsen.

Referenzen

- [1] Rust, Tilo: *Schrägseilbrücke (340 cm)*. ft Community [Bilderpool](#), 2016.
- [2] Fox, Dirk: [Verkabelung](#). ft:pedia 2/2013, S. 13-17.
- [3] Stefan Fuss, Christian Bergschneider: [Verkabelung \(Teil 2\)](#). ft:pedia 4/2019, S. 19-21.



Abb. 12: Die Schrägseilbrücke im Garten aufgebaut

Elektronik

Elektronikmodule (Teil 3)

Hans-Christian Funke

Dieser dritte Beitrag beschäftigt sich mit den Elektronikmodulen, die eine besondere Funktion haben. Unter Anderem sind dabei die ersten Elektronikmodule, mit denen alles begonnen hat. Diese Module waren die Antriebsfeder für mich, die gesamte Serie an Elektronikmodulen aus der Taufe zu heben.

Definitionen

Die Elektronikmodule arbeiten mit einer positiven Logik. In den folgenden Texten und Beschreibungen werden folgende Bezeichnungen verwendet:

- logisch „0“
 - = low
 - = minus (-)
 - = Masse oder GND
- logisch „1“
 - = high
 - = plus (+)
 - = Betriebsspannung oder V_{dd}

Der Antrieb

Mit meinen Ambitionen, als Jugendlicher – das war Ende der 1970er Jahre – einen Pinball oder Flipper zu bauen, hat alles begonnen. Ziel bei diesem Spiel ist es, mit einer Kugel auf einem Spieltisch bestimmte Ziele zu treffen und somit Punkte zu sammeln.

Super, von der Firma fischertechnik gab es zu dieser Zeit das mechanische Zählwerk (Abb. 1)! Das konnte immerhin schon bis 19 zählen und war aus ein bis zwei Meter Entfernung noch mäßig gut erkennbar. Bei den Flipper-Geräten, die ich in dieser Zeit kennengelernt habe, konnte man leicht einige tausend Punkte erreichen. Mit dem em-6 war ich deshalb nicht wirklich

glücklich, aber es gab auch keine Alternative am Markt.

Somit waren mit meinem Start in die Ära der Elektronikmodule (2015) meine Gedanken – anknüpfend an die Idee, einen Pinball zu bauen – auf einen digitalen Zähler ausgerichtet. Auf Grund meiner Entscheidung, eine Bodenplatte 90 · 30 mm als Grundlage für alle Module zu verwenden, erhielt der Zähler eine zweistellige Anzeige; damit konnte dieser von 0 – 99 zählen. Allerdings gingen gleich von Beginn an meine Überlegungen dahin, auch größere Zahlen anzeigen zu können.

Aufbau des Zählermoduls V1 (70001)

Nach einigen Überlegungen und Design-Änderungen an der ersten Version (Abb. 4) des Zählermoduls konnte ich durch Verschieben die Anschlüsse (Bundhülsen) so positionieren, dass mehrere Zählermodule nebeneinander eine Ergänzung in der Anzeige bildeten (Abb. 5).

Jetzt konnten die Zähler durch kleine Drahtbrücken direkt miteinander verbunden werden. Der Übertrag wird nach „99“ an das nächste Modul weitergegeben. Damit konnten nun – durch Aneinanderreihung mehrerer Zählermodule – Zahlen größer als „99“ angezeigt werden.



Abb. 1:
em-6
mechanisches
Zählwerk



Abb. 2:
70001
digitaler
Aufwärtszähler



Abb. 3:
70002
digitaler
Auf-/Abwärtszähler

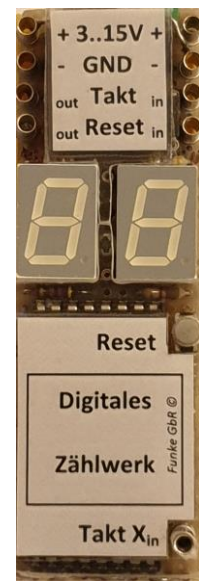


Abb. 4:
Zählerversion von
2015

Damit gab es endlich einen Zähler, der sehr gut sichtbar war und beliebig weit zählen konnte – perfekt!

Die normalen 7-Segment-Anzeigen sind bei einer Betriebsspannung von 5-15 Volt sehr gut sichtbar. Die Zählermodule mit hell leuchtenden LED-Anzeigen können mit einer Betriebsspannung im Bereich 3-6 Volt arbeiten und sind dann immer noch hervorragend zu sehen.

Funktion des Zählermoduls V1 (70001)

Zum Zählen werden die Eingänge *Ck I in* (Eingang Clock römisch eins = Takt für die Einerstelle) und *Ck X in* (Eingang Clock römisch zehn = Takt Zehnerstelle) verwendet. Geht einer der Eingänge auf high, wird der Zähler um +1 bzw. +10 weitergezählt. Wird die „99“ erreicht, geht die Anzeige auf „00“ über und am Ausgang *Ck I out* wird ein low-high-low-Impuls ausgegeben.

Ein high am Eingang *Res in* setzt den Zähler auf „00“ zurück; alternativ kann auch durch Drücken des kleinen Tasters (über der Anzeige) auf „00“ zurückgesetzt werden. In

beiden Fällen geht der Ausgang *Res out* ebenfalls auf high, solange der Taster gedrückt ist oder an *Res in* high anliegt.

Verbindet man die Ausgänge mit den Eingängen eines weiteren Zählermoduls (Abb. 5), erhält man eine Zähler-Kaskade und erweitert somit den Zählbereich um zwei weitere Stellen.

In der Regel werden Taster für die Erzeugung der Zählimpulse verwendet. Aus diesem Grund enthält der Zähler bereits eine interne Entprellung. Die Prellimpulse werden für jeden Eingang (*Ck I in* und *Ck X in*) separat über ein Mono-Flop abgefangen (Zeitglied ≈ 300 ms). Dafür muss der Jumper auf Position „A“ (analog) stecken. Auf der Position „D“ (digital) wird das Mono-Flop überbrückt und es können direkt die Signale von anderen Modulen oder Computer-Interfaces verarbeitet werden.

Hinweis: Im Gegensatz zu anderen Elektronikmodulen werden die Ausgangssignale von *Res out* und *Ck I out* **nicht** weiter verstärkt. Die Ausgangssignale sind gerade ausreichend zur Ansteuerung eines weiteren

Zählermodules und können nicht direkt zur Ansteuerung jedes anderen Elektronikmoduls eingesetzt werden. Zur Ansteuerung aller anderen Elektronikmodule kann das Signal über die Gatter-Module (70010 – 70014, 70019) aufbereitet und verstärkt werden, oder über das Mono-Flop (70005), das gleichzeitig auch den kurzen Impuls von Ck_{out} verlängern kann.

Für die Elektroniker unter euch gehe ich in den nächsten Absätzen auf technische Details ein. Wer sich nicht so sehr für die Elektronik und den Aufbau der Module interessiert, springt einfach zu dem Abschnitt *Entwicklung des auf- und abwärts Zählers (70002)* zum Weiterlesen.

Schaltungsdetails

Um nicht noch ein weiteren Halbleiter-IC einsetzen zu müssen, habe ich die benötigten ODER-Gatter durch zwei Dioden und

einen Widerstand ersetzt (D4, D5, R1x-6 und D3, D6, R1x-1).

Die beiden Mono-Flops (MF) – je ein MF für die Zählimpulse der Einer-Stelle und eins für die Zehner-Stelle – dienen zur Entprellung von Taster-Signalen. Beim Testaufbau kam ich mit einem Tiefpass (wie beim 70006/7) nicht zum Ziel. Es kamen immer Prellimpulse durch oder die Wartezeit zwischen den Zählimpulsen wurde zu lang. Ein RS-FF konnte nicht eingesetzt werden, weil die zweite Leitung zum Zurücksetzen fehlte. Erst mit Einsatz eines MFs erhielt ich eine saubere Lösung für das Problem. Mit dem MF können ca. drei Zählimpulse in der Sekunde verarbeitet werden. Für den digitalen Betrieb (Ansteuerung durch ein Computer-Interface oder ein anderes Elektronikmodul) können über den Jumper das MF überbrückt und somit mehr

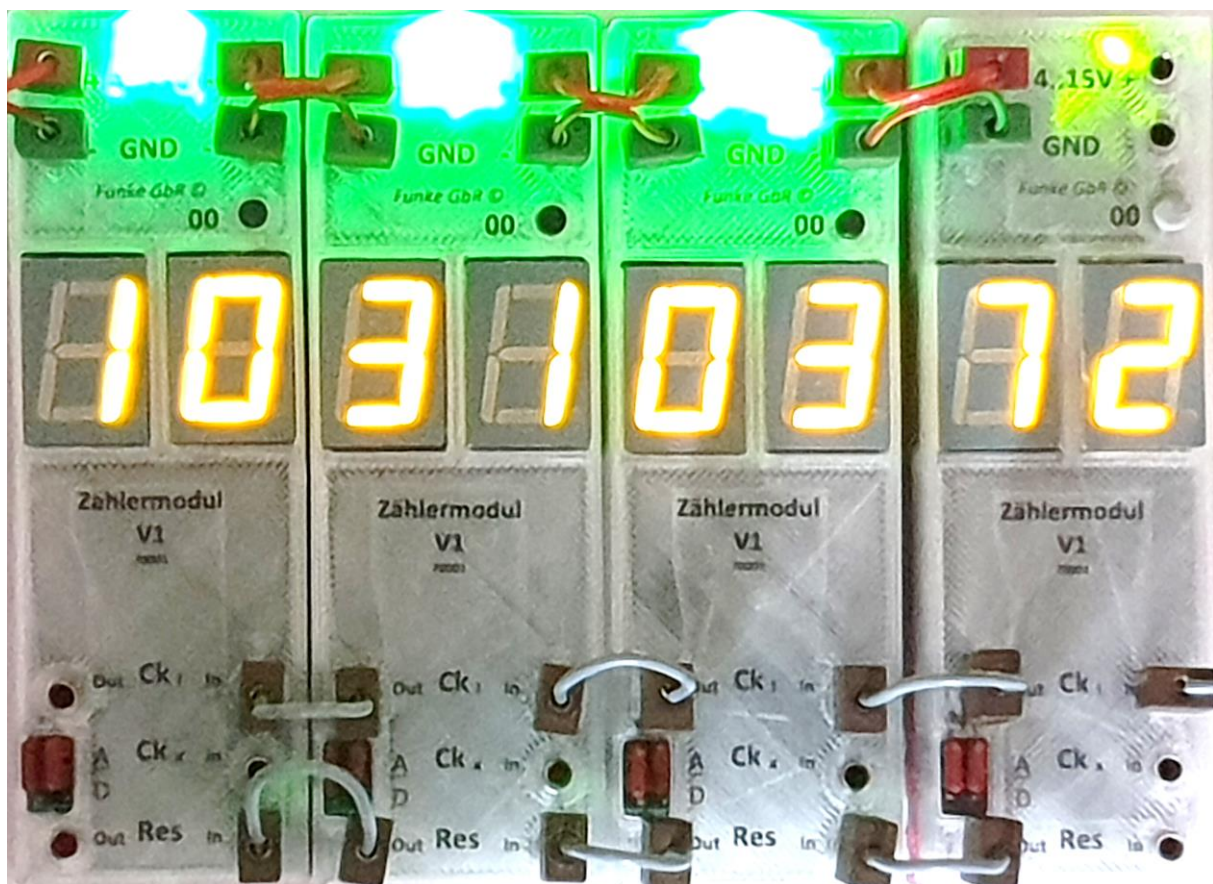


Abb. 5: Zählermodule 70001 – diese Zählerkaskade kann Zahlen von 0 – 99.999.999 anzeigen. Das Zählermodul ganz rechts hat noch eine alte grüne 20-mA-LED.

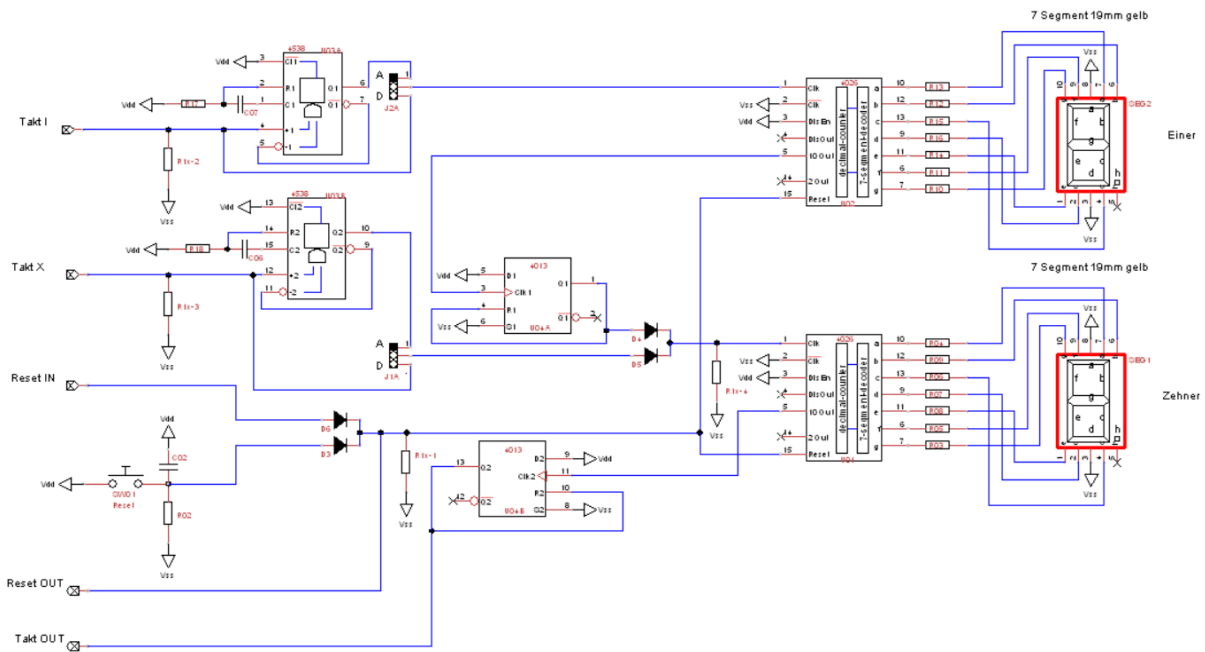


Abb. 6: Teilschaltplan des Zählermoduls 70001

als 20 Zählimpulse pro Sekunde verarbeitet werden.

Platinen-Layout

Mit vier Halbleiter-ICs und den beiden 7-Segment-Anzeigen war die kleine Platine schon reichlich voll. Es gab auch Schwierigkeiten, die Verdrahtung herzustellen. Ihr kennt sicher die Rätselhefte, in denen es Labyrinth gibt, in denen man mit dem Stift den Weg hindurch finden muss. Die Erstellung eines Platinen-Layouts ist gut damit zu vergleichen.

Nachdem alle Bauteile auf der Platine platziert waren, galt es, alle nach dem Schaltplan miteinander zu verbinden. Man sieht hier schon mit einem Blick (Abb. 7), dass es unmöglich ist, mehr als vier Halbleiter-ICs auf dem Modul unterzubringen.

Jedes Segment der Anzeige benötigt einen Vorwiderstand – das sind gleich mal 14 Stück. Da die Anzeige-Segmente auf einen Sockel gesteckt werden und damit aus dem Gehäuse herausgucken bzw. mit diesem abschließen, stand der Raum darunter für die Platzierung der Widerstände frei zu Verfügung.

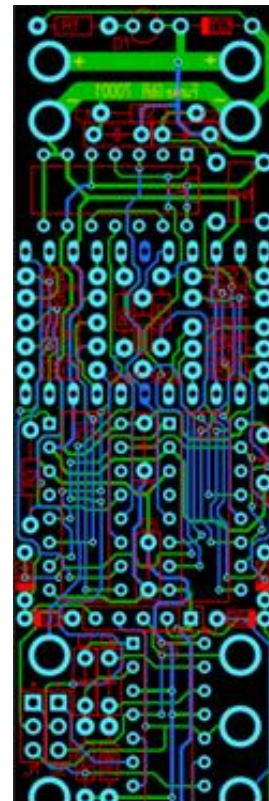


Abb. 7: Platinen Layout des Moduls 70001

Ohne diese Variante hätte ich niemals alle Bauteile unterbekommen. Das Nadelöhr war aber die zweistellige Anzeige mit den vielen Widerständen dazwischen – hier war

jeder Durchgang doppelt belegt (Ober- und Unterseite der Platine). Zum Schluss war aber noch eine einzige Verbindung übrig, für die es einfach kein Durchkommen mehr gab, und somit war ich kurz vor der Kapitulation.

Mit Verschieben sämtlicher anderen schon verlegten Verbindungen gelang es dann doch noch, diese eine letzte Verbindung zu realisieren – jetzt ging wirklich nichts mehr. Das wichtigste war aber, dass alles auf die Platine passte!

Entwicklung des Zählermoduls V2 (70002)

Nachdem der Aufbau des Aufwärts-Zählers geschafft war, kamen bei mir Überlegungen auf, dass es auch gut wäre, einen Zähler zu haben, der beides kann – aufwärts und abwärts zählen (70002). Und damit begannen die Probleme, denn – wie ich euch zum Aufwärts-Zähler berichtet habe – finden auf der Platine schon keine weiteren Bauteile mehr Platz. Aber für einen Zähler, der

aufwärts und abwärts zählen sollte, werden ganze acht Halbleiter benötigt!

Bei dem neuen Zähler konnte ich das im Aufwärts-Zähler eingesetzte Halbleiter IC 4026, das zwei Halbleiter in sich vereint, nicht mehr einsetzen, weil dieser eben nur aufwärts zählen kann. Also musste ein anderer Halbleiter her, und so wurden aus zwei Halbleitern vier (je Anzeige zwei) und es werden zwölf Gatter und ein MF-Halbleiter benötigt.

Den getesteten Entwurf für das Aufwärts/Abwärts-Zählermodul hatte ich in Form eines Schaltplanes vorliegen, aber eine Lösung zur Umsetzung war nicht in Sicht. Eigentlich gab es auch nur eine Möglichkeit, um hier noch weiter zu kommen: Es mussten kleinere Bauteile her – SMD-Teile.

Die Einsatz von SMD-Teilen „von Hand“ erfordert sehr feines Arbeiten und somit einen enormen Zeitaufwand, aber es gab keine Alternative. Also habe ich eine Platine mit SMD-Teilen entworfen. Nur

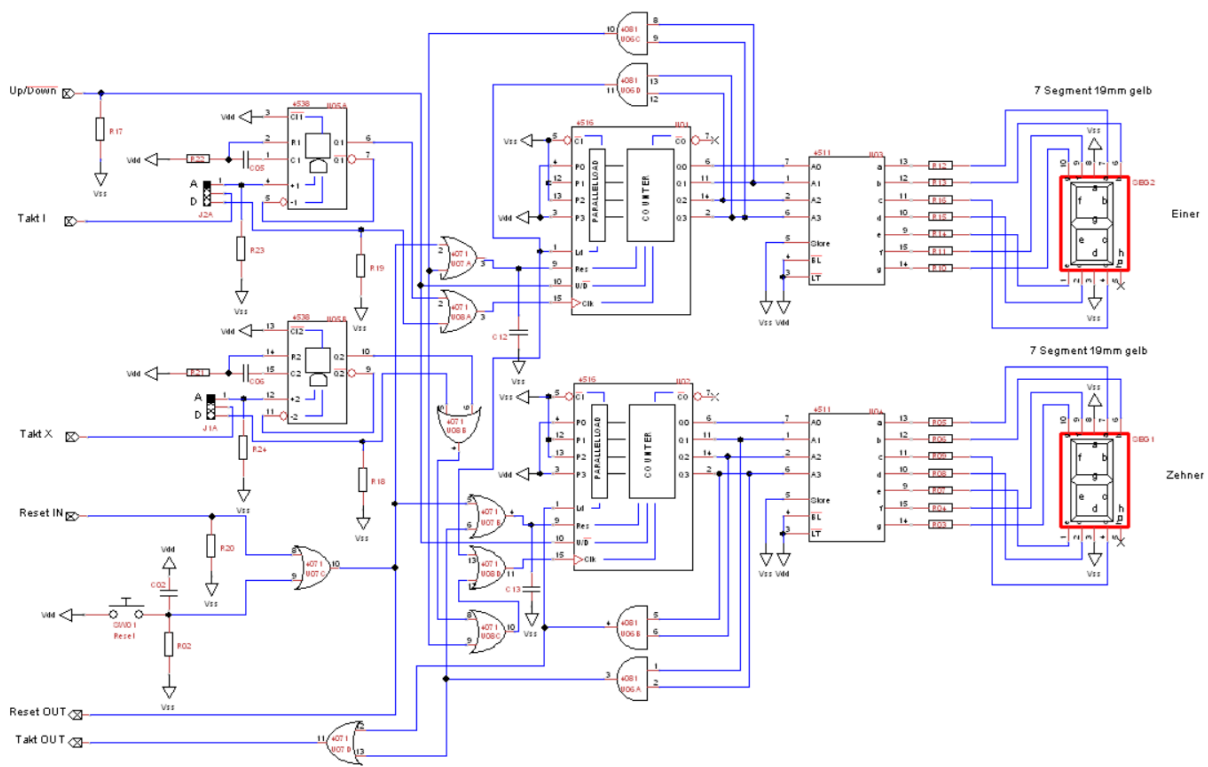


Abb. 8: Teilschaltplan des Zählermoduls 70002

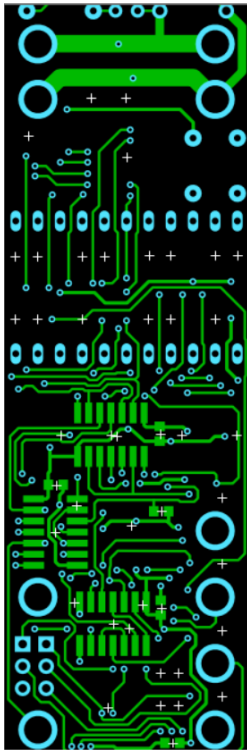


Abb. 9a:
70002
Layout der
Unterseite

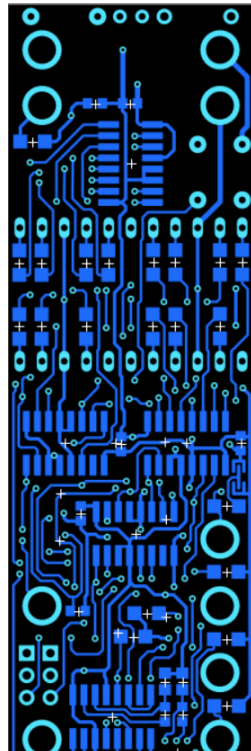


Abb. 9b:
70002
Layout der
Oberseite



Abb. 10a:
70002
Bestückung
Oberseite



Abb. 10b:
70002
Bestückung
Unterseite

durch Bestückung dieser mit Bauteilen auf beiden Seiten konnte ich alle acht Halbleiter unterbringen.

Der Aufwärts/Abwärts-Zähler ist das Elektronikmodul mit den meisten eingesetzten IC-Halbleitern in der gesamten Serie von Elektronikmodulen. In Abb. 9a und 9b seht ihr, wie so ein Layout mit SMD-Teilen aussieht und in Abb. 10a und 10b, wie die Platinen fertig bestückt aussehen (diese Platinen wurden maschinell bestückt).

Funktion des Zählermodul V2 (70002)

Die Funktion des Zählers 70002 ist identisch mit der Funktion vom 70001 bis auf den zusätzlichen Eingang *U/D*, mit dem die Zählrichtung festgelegt wird. Von Hause aus zählt der 70002 abwärts; zum Aufwärts-Zählen muss der Eingang *U/D* auf high gelegt werden.

Der 70001 wird mit einer gelben und der 70002 mit einer roten 7-Segment-Anzeige ausgeliefert. Wer gerne eine andere Farbe haben möchte, muss nach seiner Bestellung unter Bezug auf seine Bestellnummer und unter Angabe der gewünschten Farbe eine E-Mail an franz@santjohanser.de senden. Folgende Farben stehen zur Auswahl:

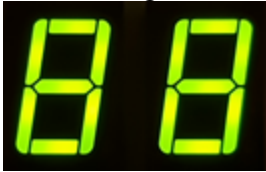
- Gelb (Y – yellow):



- Rot (R – red):



- Grün (G – green):



- Leuchtend rot (RB – bright red):



- Leuchtend blau (BB – bright blue):



- Leuchtend gelb-grün (BYG – bright yellow-green): Die Lieferung ist für Juni 2020 angekündigt, daher steht noch kein Foto zu Verfügung.

Achtung! Die hell leuchtenden 7-Segment-Anzeigen sind wirklich sehr hell. Im oberen Spannungsbereich und bei einem geringen Abstand zur Anzeige ist die Helligkeit kaum für das Auge erträglich.

Taktgeneratormodul 70004

Mit den Zählermodulen kam auch die Idee auf, einen automatischen Taktgeber zu Verfügung zu haben, etwa für Taktungen, Zählimpulse, Lauf- und Blinklichter oder, oder, oder...

Durch die Kombination eines Taktgebers mit einem achtstufigen Binärzähler liefert der Taktgenerator sogar acht verschiedenen schnelle Takte. Dennoch habe ich zusätzlich einen Drehregler (Potentiometer) in das Modul integriert, um die Taktung auch noch zusätzlich in der Taktlänge verändern zu können. Damit war das Taktgeneratormodul geboren.

In Laufe der ersten Monate kristallisierte sich heraus, dass der Taktgenerator einen weiteren Vorteil bieten würde, wenn man den eigentlichen Taktgeber vom Binärzähler entkoppeln und so den Binärzähler

für eigene Zwecke einsetzen könnte. So können auch mit diesem Elektronikmodul Kaskaden aufgebaut und mehrere Zähler aneinandergereiht werden.



Abb. 11: Das 70004 Taktgenerator-Modul

Funktion des Taktgenerators

Die aktuelle Version der Taktgeneratoren verfügt über zwei Jumper. Einer dient zum Umschalten zwischen internem und externem Takt. Der interne Takt ist durch den Drehregler veränderbar. Bei einem externen Takt zählt der Zähler bei einem high an Eingang *Stopp/Takt* um eine Binärstelle weiter.

Der andere Jumper kann bei Verwendung eines Tasters auf die Position *A* (analog, wie beim Zählermodul) gesteckt werden, um so Prellimpulse zu unterdrücken. Auf der Position *D* (digital) werden die externen Impulse direkt an den Zähler weitergegeben. Bei Verwendung des internen Taktgebers kann mit einem high am *Stopp/Takt*-Eingang der Taktgeber angehalten werden. High am Eingang *Res* setzt

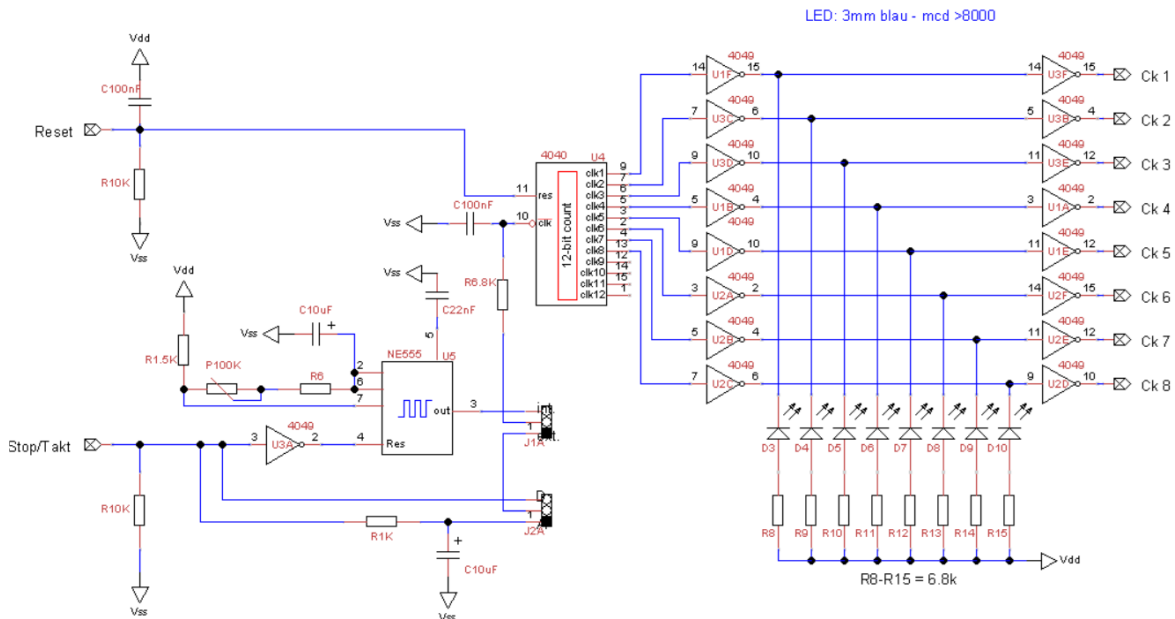


Abb. 12: Teilschaltbild des Taktgenerators

den Binärzähler in beiden Betriebsmodi wieder auf Null zurück.

Liegt an einem der acht Binärzähler-Ausgänge high an, dann wird dieser Zustand durch eine blaue LED neben der jeweiligen Bundhülle (Ausgänge Ck1 – Ck8) angezeigt:

Modell

Der Taktgenerator kann ideal mit dem Zählermodul kombiniert werden, um dem Zählermodul mit einem Tasterdruck z. B. fünf Zählimpulse zu senden. Dies kann sehr nützlich sein, wenn in einem Modell Taster mit verschiedenen Wertigkeiten versehen

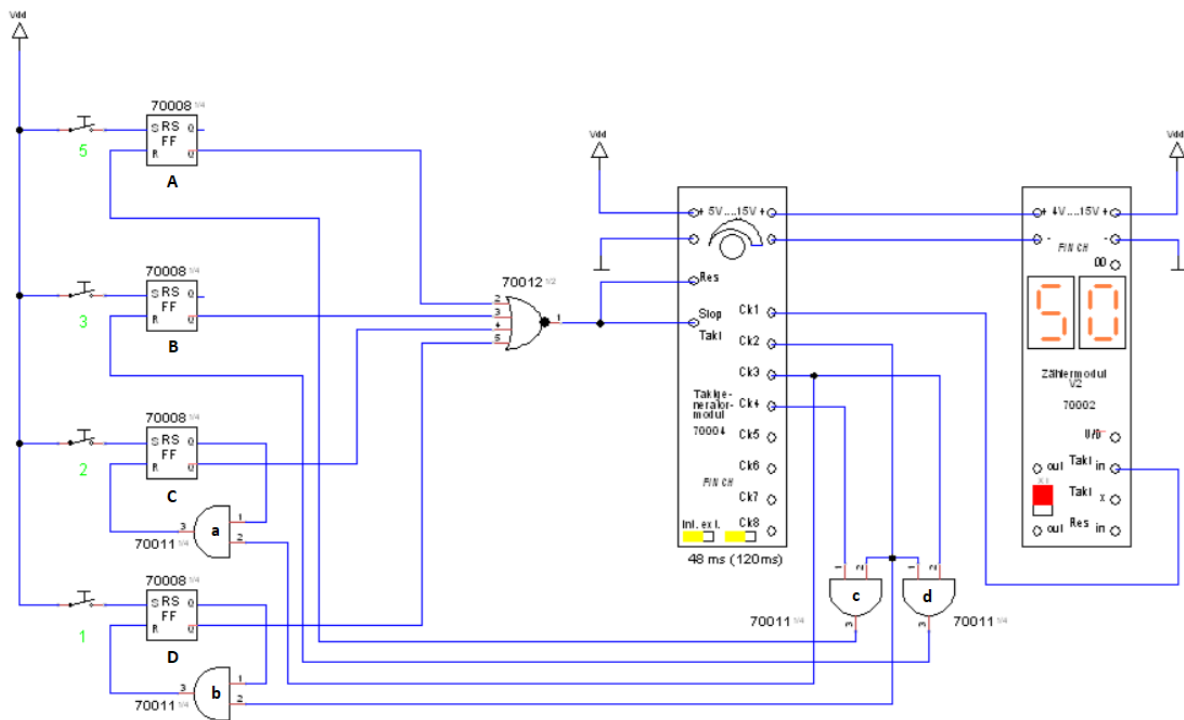


Abb. 13: Schaltung zur Generierung unterschiedlicher Zählstufen (1, 2, 3 und 5)

sind – wird ein Taster gedrückt, zählt das Zählermodul entsprechend der Wertigkeit des Tasters höher.

Hierzu habe ich einmal eine Schaltung aufgebaut.

Stückliste

Anzahl/Bauteil		Elektronik-Modul
4	fischertechnik-Taster	
4	AND-NAND-Gatter	70011
1	OR-NOR-Gatter	70012
4	RS-Flip-Flop	70008
1	Taktgenerator	70004
1	Zählermodul	70001 oder 70002

Tab. 1: Stückliste der Beispielschaltung

Funktionsbeschreibung

Durch die Betätigung eines Tasters wird das dahinter liegende FF gesetzt ($Q = \text{high}$). Liefert eines der vier RS-FF am Q-Ausgang high, wird der Taktgenerator aktiviert und der Binärzähler zählt hoch. Für das bessere Verständnis der nachfolgenden Ausführungen betrachte man die folgende Tabelle:

Ck2	Ck3	Ck4	Zahl
1	0	0	1
0	1	0	2
1	1	0	3
0	0	1	4
1	0	1	5

Tab. 2: Wahrheitstabelle

Um die „1“ abzufragen, braucht nur geprüft zu werden, ob $Ck2$ high ist. Für die „2“ muss entsprechend nur geprüft werden, ob $Ck3$ high ist. Für „3“ müssen $Ck2$ und $Ck3$ beide high sein – dies lässt sich durch ein AND-Gatter (d in Abb. 13) realisieren. Für „5“ müssen $Ck2$ und $Ck4$ beide high sein –

auch diese Überprüfung übernimmt ein AND-Gatter (c in Abb. 13).

Die Zählstufen 3 und 5 sind durch die Auswertung über das AND-Gatter eindeutig identifiziert. Sobald das AND-Gatter high am Ausgang liefert, wurde der Zählzustand erreicht und das entsprechende RS-FF (A bei 5, B bei 3) wird zurückgesetzt.

Bei den Zählerstufen 1 und 2 ist dies nicht ganz so einfach, weil $Ck2$ sowohl bei 1 als auch bei 3 als auch bei 5 high ist. Aus diesem Grund wird mit einem zusätzlichen AND-Gatter (b) geprüft, ob $Ck2$ high und der Speicher (D) für die Zählstufe 1 gesetzt sind; nur dann wird das RS-FF zurückgesetzt.

Genauso wird bei der Zählstufe 2 verfahren, weil auch hier sowohl bei 2 als auch bei 3 der Ausgang $Ck3$ high liefert. Mit einem AND-Gatter (a) wird geprüft, ob $Ck3$ high ist und der Speicher (C) für die Zählstufe 2 gesetzt wurde; nur dann wird das RS-FF zurückgesetzt.

Experimentiermodul 70021

Das Experimentiermodul ist scheinbar unspektakulär, aber es hat mehr Potenzial, als man auf den ersten Blick annehmen mag. Zunächst einmal erhält man mit dem Experimentiermodul auch ein Widerstands- und Dioden-Set (71047). Die enthaltenen Kohleschicht-Widerstände haben eine Toleranz von 5 % und vertragen eine Leistung von $\frac{1}{4}$ W. Folgende Widerstände sind im Set enthalten:

Anzahl	Element	Typ
2	Diode	1N400x
1	Widerstand	100 Ω
1	Widerstand	220 Ω
1	Widerstand	470 Ω
1	Widerstand	1 k Ω
1	Widerstand	2,2 k Ω
1	Widerstand	4,7 k Ω

Anzahl	Element	Typ
1	Widerstand	10 k Ω
1	Widerstand	22 k Ω
1	Widerstand	47 k Ω
2	Stecker	

Tab. 3: Stückliste des Sets 71047



Abb. 14: Experimentiermodul

Schaltungsbeispiele

Mit dem Experimentiermodul lassen sich individuelle Schaltungen aufbauen, um spezielle Funktionen in einem Modell zu realisieren. Auch können Erweiterungen aufgebaut werden, die sonst mit keinem anderen Elektronikmodul realisierbar wären. Aus den mitgelieferten Bauteilen habe ich hier zwei ganz einfache, aber nützliche Schaltungen für euch zusammengestellt:

Beispiel 1: Spannungsteiler

Hier gelten folgende Formeln:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_e}{R_1 + R_2}$$

$$U_a = I \cdot R_2 = U_e \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

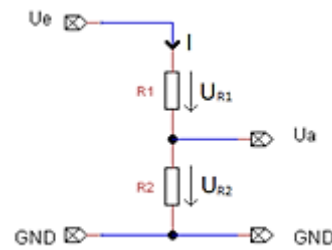


Abb. 15: Schaltung eines Spannungsteilers

Die Rechnung mit konkreten Werten $U_e = 9 \text{ V}$, $R_1 = 100 \text{ } \Omega$ und $R_2 = 220 \text{ } \Omega$ ergibt $I \approx 0,028 \text{ A} = 28 \text{ mA}$ und $U_a \approx 6,2 \text{ V}$.



Abb. 16: Aufbau des Spannungsteilers

Mit dem Spannungsteiler lässt sich jede beliebige Spannung einstellen, die ihr braucht. Sollten die benötigten Werte für die Widerstände einmal nicht verfügbar sein, dann könnt ihr die auch durch Reihen- oder Parallelschaltung der Widerstände erzielen.

In Reihenschaltung addieren sich die Widerstände:

$$R_{\text{gesamt}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

In Parallelschaltung addieren sich die Kehrwerte (die Leitfähigkeiten):

$$R_{\text{gesamt}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$$

Beispiel 2: ODER-Gatter

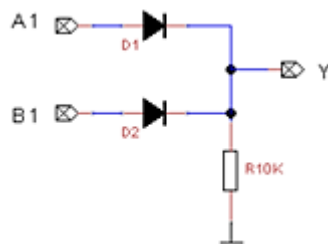


Abb. 17: Schaltung des ODER-Gatters



Abb. 18: Aufbau des ODER-Gatters

A1	B1	Y
low	low	low
high	low	high
low	high	high
high	high	high

Tab. 4: Wahrheitstabelle des ODER-Gatters

Ihr könnt aber auch andere Bauelemente oder Schaltungen auf dem Experimentiermodul aufbauen, z. B. eine Transistorschaltung:

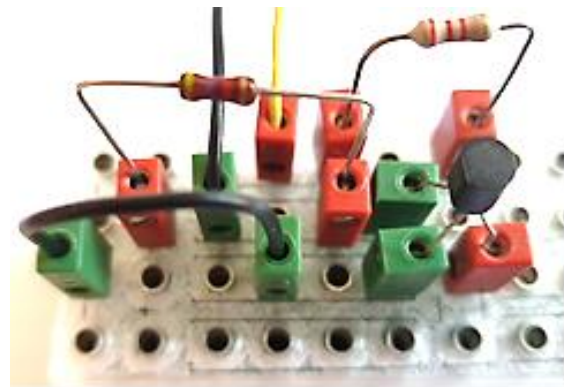


Abb. 19: Transistorschaltung

Multifunktionsmodul 70015

Ein multifunktionales Modul oder auch das Chamäleon unter den Elektronikmodulen, denn es kann folgende Funktionen annehmen bzw. übernehmen:

- RS-Flip-Flop (RS-FF)
- Takt-Generator
- Signal-Verstärkung
- Mono-Flop (MF)
- Tongenerator
- Kleinsignal-Auswertung

Das sind eine ganze Menge Funktionen in einem Modul und es ist obendrein noch ein Minilautsprecher mit eingebaut. Abb. 20 zeigt die vereinfachte Schaltung.

Funktionsbeschreibung

Auf Grund der Vielfältigkeit des Multifunktionsmoduls werde ich hier nur auf die wichtigsten Funktionen eingehen. Für die Aktivierung der unterschiedlichen Funktionen müssen die Schalter (1 – 8) entsprechend eingestellt werden (siehe Tab. 5). Über den Drehregler erfolgt die Einstellung des Schwellenwertes.

Funktionsbeispiele

- RS-Flip-Flop:
Keinen Schalter einschalten. Low an E2 setzt das FF (A = high). Low an E1 löscht das FF (A = low).

Schalter (aktiv = nach unten) und Funktion		Bemerkungen
1	Mono-Flop	Kondensator (10 – 470 μ F) zwischen minus und Eingang E1.
2	Verstärker	Fühler/Sensor zwischen minus und Eingang E1.
3	Kleinstsignalverstärker	Induktivität (Lautsprecher, Mikrofon, Elektromagnet, usw.) zwischen E1 und E2
4	Taktgenerator	Kondensator (1 – 100 μ F) zwischen minus und Eingang E1.
	Tongenerator	Kondensator (100 nF) zwischen minus und Eingang E1.
5	Rückkopplung	Widerstand 100 k Ω
6	Rückkopplung	Widerstand 10 k Ω
7	Rückkopplung	Widerstand 1 k Ω
8	Minilautsprecher	Verbindung mit Ausgang A.

Tab. 5: Funktionen der DIP-Schalter im Multifunktionsmodul

- **Mono-Flop:**
Schalter 1 einschalten. Einen Kondensator mit z. B. 47 μ F zwischen minus und E1 einsetzen. Low an E2 aktiviert das MF (A = high). Änderung der Haltezeit über den Drehregler (Potentiometer).
- **Taktgenerator:**
Schalter 4 und wahlweise Schalter 5, 6 oder 7 einschalten. Einen Kondensator mit z. B. 10 μ F zwischen minus und E1 einsetzen. Änderung der Taktgeschwindigkeit durch Wechseln zwischen den Schaltern 5/6/7 und zusätzlich über den Drehregler (Potentiometer). Andere Werte für den Kondensator beeinflussen ebenfalls die Taktlänge.
- **Tongenerator:**
Schalter 4, 7 und 8 einschalten. Einen Kondensator mit einem Wert von 100 nF zwischen minus und E1 einsetzen. Änderung der Tonfrequenz über den Drehregler (Potentiometer).
- **Signal-Verstärkung:**
Schalter 2 einschalten. Ein beliebigen Messfühler oder Sensor zwischen minus und E1 einsetzen. Über den Drehregler kann die Sensibilität (der Schwellwert) des Fühlers oder Sensors eingestellt werden.
- **Kleinsignal-Auswertung:**
Schalter 3 einschalten. Zwischen E1 und E2 können nun kleinste Spannungs-

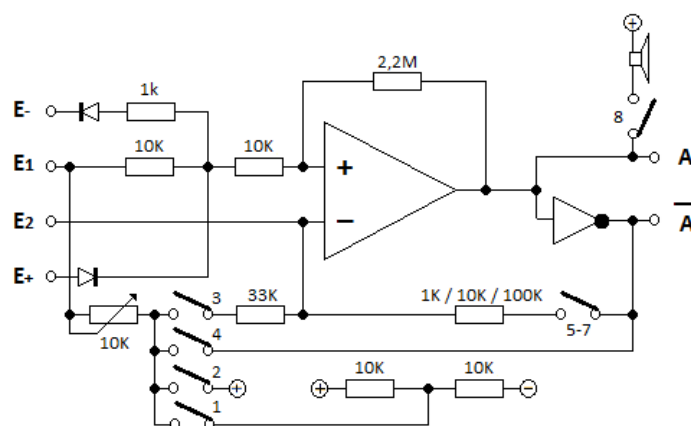


Abb. 20: Schemaschaltbild des Multifunktionsmoduls 70015

schwankungen von Induktivitäten (Magnete, Lautsprecher) oder Membranen (Mikrofone) erfasst werden. Über den Drehregler erfolgt die Justierung.

Des Multifunktionsmodul enthält ein Kondensator-Set (71046) mit folgendem Inhalt: 100 nF / 2,2 µF / 10 µF / 22 µF / 47 µF / 100 µF und zwei Stecker.

Schaltungsdetails

In diesem Abschnitt gehe ich wieder auf ein paar spezielle technische Hinweise zum Multifunktionsmodul ein. Wen dies nicht interessiert, der kann gleich zum Schlusswort springen.

Das Multifunktionsmodul ist eines der wenigen Elektronikmodule, das ein fast reines analoges Innenleben beherbergt (Abb. 21).

Ursprünglich hatte der Differenzverstärker für seine Ausgänge A und \bar{A} die gleiche Endstufe, wie bei den Gattern und Speichern. Aber die damit möglichen 3 mA Ausgangsstrom reichen nicht aus, um den Minilautsprecher mit ausreichend Strom zu versorgen. Deshalb wurde die Endstufe noch mit einem Gegentakt-Verstärker ergänzt, um so die erforderliche Leistung für den Minilautsprecher zu Verfügung zu stellen.

Darüber hinaus wurden gleich noch Freilaufdioden mit integriert, um Schäden durch Gegenspannungen aus Induktivitäten vorzubeugen.

Schlusswort

Ursprünglich wollte ich in diesem Beitrags- teil noch auf die elektronischen Schalter zum Ansteuern von Verbrauchern wie Motoren, Magneten, Pumpen usw.

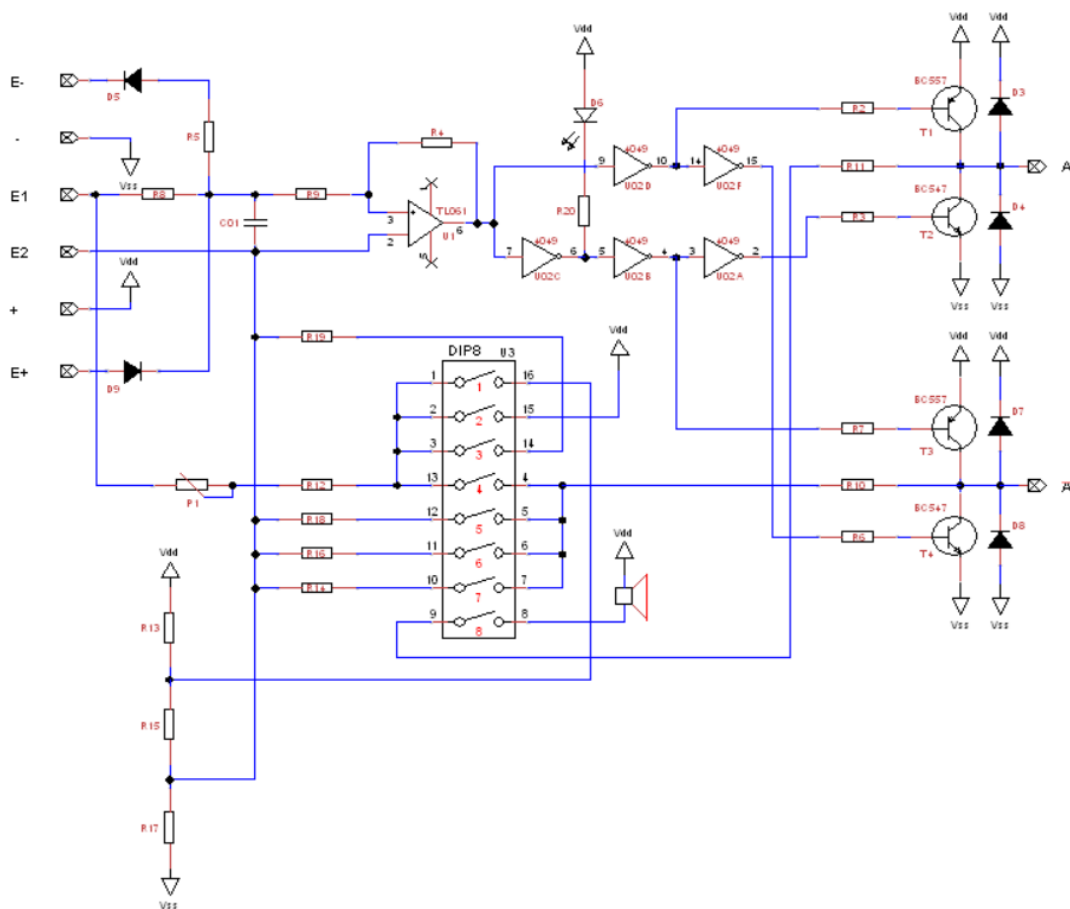


Abb. 21: Teilschaltung des Multifunktionsmoduls 70015

eingehen, aber diesen Teil verschiebe ich auf die nächste Fortsetzung.

Neben den drei Elektronikmodulen zum Schalten von Verbrauchern (70009, 70018 und 70019) werde ich im nächsten Teil der Reihe auch auf die Versorgungsmodule 70003 und 70020 eingehen und diese vorstellen.

Im abschließenden Teil meiner Reihe widme ich mich den programmierbaren Computer-Interfaces und wie sich deren Funktionalität mit Hilfe von Elektronikmodulen erweitern bzw. ergänzen lassen.

Zu den heute vorgestellten Modulen habe ich wieder passend ein Modell zum Nachbauen für euch – einen Kugelzähler für eure Kugelbahnen [3].

Und wer sich einen Gesamtüberblick über die Elektronikmodule verschaffen möchte, kann entweder über das Smartphone auf Instagram unter „Elektronikmodule“ schauen oder am PC unter [1], alternativ auch bei eurem fischertechnik-Einzelteilhändler Franz Santjohanser [2] (Suchbegriff „700“).

Fortsetzung folgt!

Korrektur

Im zweiten Teil meiner Beitragsreihe [5] habe ich unter anderem vom RS-FF (70008) berichtet, aber leider war der Schaltplan (Abb. 18) fehlerhaft. Abb. 22 zeigt hier die korrigierte Version.

Hinweis: Im Gegensatz zu D-FF (70006) und JK-FF (70007) verfügt das RS-FF-Modul über keine Auto-Reset-Funktion. Nach dem Einschalten oder Anlegen der Betriebsspannung ist der Ausgangszustand der einzelnen FFs unbestimmt.

Quellen

- [1] Funke, Hans-Christian: [elektronik-module](#). Auf Instagram.com.
- [2] Santjohanser, Franz: [fischertechnik-Einzelteilversand](#).
- [3] Funke, Hans-Christian: *Kugelzähler und Soundeffekt*. ft:pedia 2/2020 (diese Ausgabe), S. 82-85.
- [4] Funke, Hans-Christian: [Elektronik-module \(Teil 1\): Einleitung](#). ft:pedia 4/2019, S. 40-46.
- [5] Funke, Hans-Christian: [Elektronik-module \(Teil 2\)](#). ft:pedia 1/2020, S. 52-61.

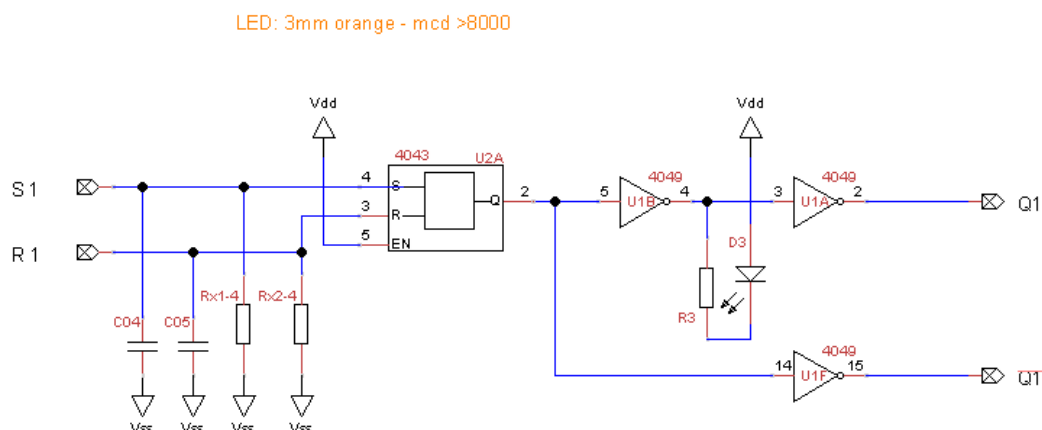


Abb. 22: Korrekte Schaltung des RS-Flip-Flop-Moduls 70008

Modell

Kugelzähler und Soundeffekt

Hans-Christian Funke

Mit dem Multifunktionsmodul [1] kann man mit Hilfe von Sensoren und Fühlern interessante Ergänzungen z. B. für Kugelbahnen aufbauen. Kugelbahnen sind immer noch der Trend bei den Modellen und aus diesem Grund habe ich meine Kugelbahn hergenommen und mit Soundeffekt und einem Kugelzähler ausgestattet.

Einleitung

In diesem Beitrag stelle ich euch die Schaltungen für einen einfachen elektronischen Soundgenerator und einen Kugelzähler vor. Für das Kugelbahnmodell selbst gibt es hier keine Anleitung zum Nachbauen.



Abb. 1: Lichtschranke aus LED und Foto-Element mit Störlichtkappe

Kugelzähler

Der Kugelzähler in der hier vorgestellten Variante basiert auf einer Lichtschranke,

die die Kugel beim Vorbeigehen unterbricht. Eine Störlichtkappe reduziert den Lichteinfall auf das Fotoelement. Für das eigene Modell muss ausgetestet werden, welche Störlichtkappe (Durchmesser des Loches) sich am besten eignet. Wie in Abb. 1 und 2 zu sehen ist, sollte die Öffnung der Störlichtkappe möglichst dicht über der Kante der Kugelschiene angebracht sein.



Abb. 2: Draufsicht auf die Lichtschranke

Über das Multifunktionsmodul (70015) wird die Unterbrechung registriert und über den internen Verstärker an das Zählermodul

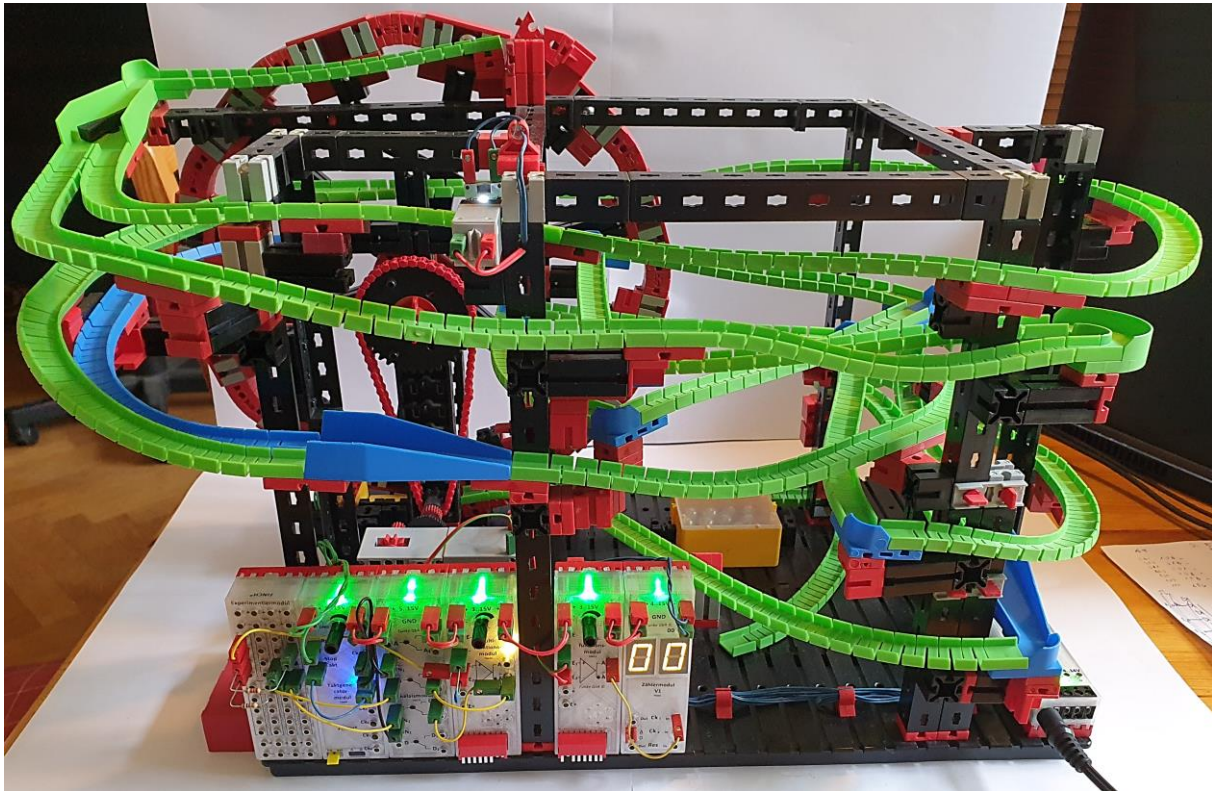


Abb.3: Gesamtansicht des Modells

(70001 oder 70002) weitergegeben. Das Multifunktionsmodul hat den Vorteil, dass über den Drehregler (Schwellenwertregler) die Sensibilität des Verstärkers eingestellt werden kann.

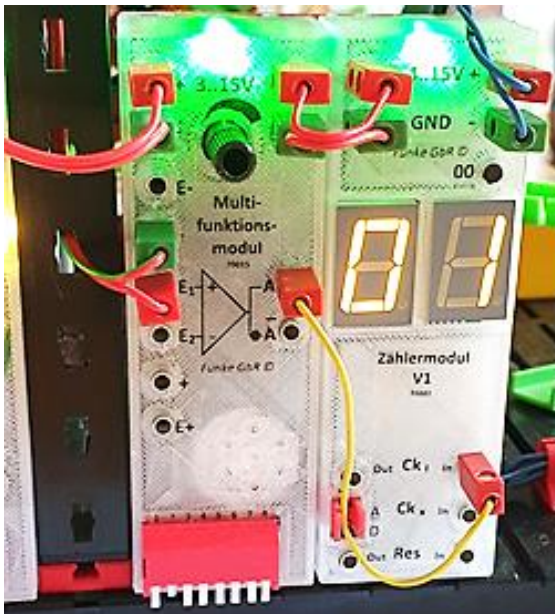


Abb.4: Aufbau der Kugelzähler-Elektronik

Soundgenerator

Mit dem Multifunktionsmodul kann man durch Einstecken eines 100-nF-Kondensators zwischen „-“ und E1 sofort über den internen Lautsprecher einen Ton erzeugen. Verändert man den Kondensator- oder den Widerstandswert (Schalter 4, Potentiometer 10 k Ω), verändert sich die Frequenz und damit die Tonhöhe.

Den Drehregler kann man auch ausschalten (Schalter 4 „oben“) und einen eigenen Widerstand einsetzen, um so einen genau definierten Ton zu erzeugen. Dieses Prinzip habe ich hier genutzt und drei Töne über Widerstände fest eingestellt, die nacheinander abgespielt werden.

Dabei habe ich mich der Widerstände 1 k Ω und 2,2 k Ω aus dem Widerstands- und Dioden-Set (71047 – auch Bestandteil des Experimentiermoduls) bedient, so wie dem 100-nF-Kondensator aus dem Kondensator-

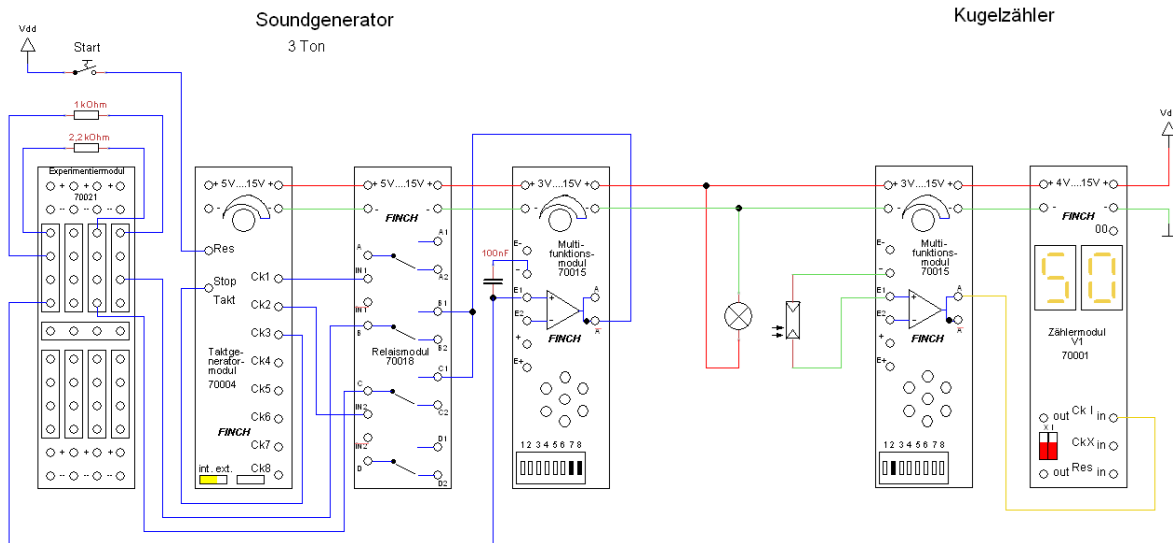


Abb. 5: Schaltung für Soundgenerator und Kugelzähler

set (71046 – auch Bestandteil des Multifunktionsmoduls). Den Aufbau der Schaltung seht ihr in Abb. 5 (links).

Um die drei Töne zu erzeugen verwende ich den Taktgenerator (70004) und das Relaismodul (70018). Damit werden abwechselnd die verschiedenen Widerstände eingeschaltet. Der dritte Ton resultiert aus der Parallelschaltung der Widerstände 1 k Ω und 2,2 k Ω . Um alles bequem aufbauen zu können, habe ich ein Experimentiermodul (70021) für die Widerstände verwendet (Abb. 6).

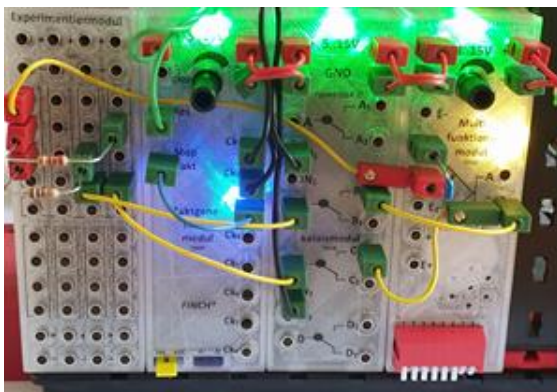


Abb. 6: Elektronik Soundgenerators

Der Taktgenerator hält sich selbst an, wenn der letzte Ton abgespielt wurde. Er wird z. B. durch einen Schalter (Reset des Taktgenerators) gestartet. In meinem Modell

habe ich einen Schalter am Ende der Bahn eingebaut. Fällt eine Kugel in den Auffangbehälter, dann wird der Soundgenerator aktiviert.

Schlusswort

Mit dem Multifunktionsmodul lassen sich tolle Ergänzungen zu jedem Modell aufbauen:

- Kugelzähler
- Anzahl der Kugeln auf der Bahn (auf- und abwärts zählen)
- Laufzeit einer Kugel auf der Kugelbahn (oder einem Abschnitt)
- Einzel- oder Mehrklangtöne erzeugen
- Sirenen, Klangmuster oder Tonfolgen (zusammen mit Taktgenerator 70004 und Steuermodul 70016)
- Wärmesteuerung mit NTC- oder PTC-Fühlern
- Magnetschalter (Magnet an einem Reedrelais oder Elektromagneten vorbeiziehen)
- und vieles mehr...

Zur Demonstration der Effekte gibt es auf Youtube ein kleines Kurzvideo mit Ansichten von allen Seiten [2].



Abb. 7: Versorgungsmodul V1 (70003)

Letztlich noch ein Hinweis zum Betrieb des Modells. Das Modell wollte ich über ein fischertechnik-Steckernetzteil ([505287](#)) betreiben. Dazu habe ich ein Versorgungsmodul V1 (70003) eingesetzt, an das ich das Steckernetzteil bequem anstecken konnte (siehe Abb. 7).

Quellen

- [1] Funke, Hans-Christian: *Elektronikmodule (Teil 3)*. ft:pedia 2/2020 (diese Ausgabe), S. 68-81.
- [2] Funke, Hans-Christian: [Video](#) auf Youtube.

Computing

fischertechnik-Interface für den Calliope mini

Marcel André

Der Mikrocontroller Calliope mini wird immer häufiger im Informatik-Unterricht in Grund- und weiterführenden Schulen eingesetzt. Die einfache Möglichkeit zur Steuerung von fischertechnik-Modellen erhöht dabei deutlich den Spaß und den Lerneffekt.

Hintergrund

Seit einiger Zeit betreue ich die Informatik-AG in unserer örtlichen Grundschule. Dort arbeiten wir mit dem Calliope mini (Abb. 1) [1], einem kindgerechten, robusten und bereits mit vielen Sensoren und Aktoren ausgestatteten Mikrocomputer. Als grafische Programmier-Umgebung haben wir bisher OpenRobertas NEPO [2] des Fraunhofer IAIS verwendet, steigen aber für die fortgeschrittenen Schüler später auf MakeCode [3] um, da es dafür einfach mehr Möglichkeiten zur Integration externer Bausteine gibt.

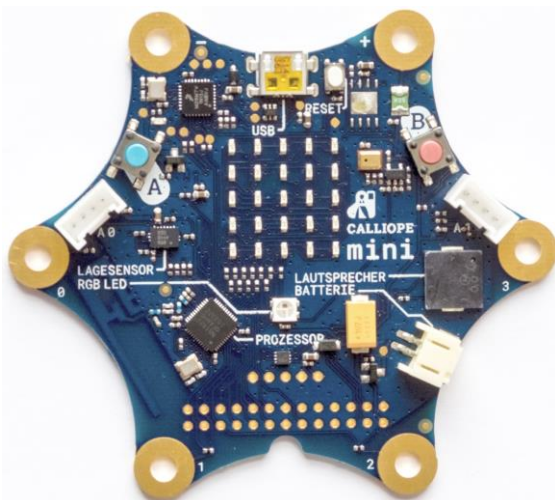


Abb. 1: Calliope mini

Meine Erfahrungen haben gezeigt, dass viele Schüler mit den eingebauten Möglichkeiten des Calliope mini hinreichend be-

schäftigt sind (LED-Matrix für Textausgabe, RGB-LED, Mikrofon, Lautsprecher, Bewegungs-/Lagesensoren usw.).

Prozessor	ARM Cortex M0 (32 bit)
Takt	16 MHz
RAM	16 kB
Flash	256 kB
Ports	4 analoge Eingänge, 8-11 digitale Ein-/Ausgänge
Last	max. 100 mA bei 3,3V
Sensoren	MEMS Mikrofon, Piezo-Lautsprecher, Beschleunigungs-, Gyro- und Kompasssensor (BMX055), LED-Matrix, RGB LED, 2 Taster,
Schnittstellen	BLE 4.0, SPI, I ² C, serielle Schnittstelle
Programmiersprachen	NEPO [2], MakeCode [3], Swift, Python, JavaScript, uLisp [4]

Tab. 1: Technische Daten des Calliope mini

Gerade bei den fortgeschrittenen Schülern wächst aber das Bedürfnis, über den Teller- rand zu schauen und den Calliope mit Dingen des Alltags zu verbinden. So entstanden Projekte wie eine Wasserstands-/Feuchtigkeitsmessung für Blumen, selbstnachführende Sonnenblumen, ein Lärm-Messer für

die Klasse mit Servo-Motor (Pegelanzeige) usw. Leider erwiesen sich die Gebilde aus Holz und Klebestreifen (Kostengründe) und die fliegenden Verdrahtungen als nicht sonderlich langzeitstabil.

Die Einführung der Erweiterung Calli:bot [5] (ein kleiner fahrender Roboter) brachte da schon einen erheblichen Vorteil. Für den Einsatz in weiterführenden Schulen (Klasse 5 aufwärts) scheint auch das zumindest für ambitionierte Schüler nicht mehr ausreichend. An einigen Schulen findet man Lego Mindstorms/EV3-Systeme, leider eher selten fischertechnik-TXT-Systeme.

Das Calliope-Board

Also wäre es schön, wenn man den Calliope mini (welcher auch per JavaScript und Python programmierbar ist und damit durchaus Ansprüchen des Informatik-Unterrichts genügt) für ähnliche Anwendungen weiterverwenden könnte. In meinem Fundus hatte ich noch einige fischertechnik Computing-Baukästen aus den 80er Jahren wiederentdeckt – und damit war die Idee geboren, diese Komponenten und Modelle für die Schüler in der heutigen Zeit nutzbar zu machen.

Von fischertechnik selber gibt es bereits ein Kit (547470) zur Kombination von fischertechnik und Calliope mini (Abb. 3) [6], jedoch erschienen mir die Möglichkeiten zu beschränkt.



Abb. 2: fischertechnik-Calliope-Baukasten (547470)

Bei meinen weiteren Recherchen bin ich dann auch auf verschiedene andere Projekte gestoßen (z. B. die tollen Erweiterungen auf Thingiverse zur Integration von günstigen Sensoren und Aktoren in fischertechnik, welche hier in der ft:pedia ja schon vorgestellt wurden). Erwähnen muss ich natürlich auch die spannenden Projekte wie den TX-PI [7, 8] mit der StartIDE [9] und den ftDuino [10, 11].

Ich wollte aber aus oben genannten Gründen beim Calliope bleiben. Entscheidend war dann der Kontakt zu Michael Klein, der bereits erste Platinen zur Anbindung von fischertechnik an den Calliope entwickelt hatte – mit der genialen Idee, die fischertechnik-Stecker direkt in die Platine stecken zu können [12].

Angeregt durch dieses Board und die Erweiterungen für die „Schwester“ des Calliope mini, den BBC „micro:bit“ (Abb. 3) [13], von Kitronik [14], DFRobot [15] und Didacta [16] wurden diese Idee weitergesponnen und verschiedene Ideen kombiniert.



Abb. 3: BBC micro:bit

Herausgekommen ist das Board in Abb. 4 auf einer 10x10 cm großen Platine. Da die ICs ohnehin nur in SMD zu bekommen sind und ich das Format kostengünstig halten wollte, habe ich gleich alles in SMD ausgelegt (allerdings schön groß im Format 1206 – das ist wirklich schneller zu löten als klassische Bauelemente).

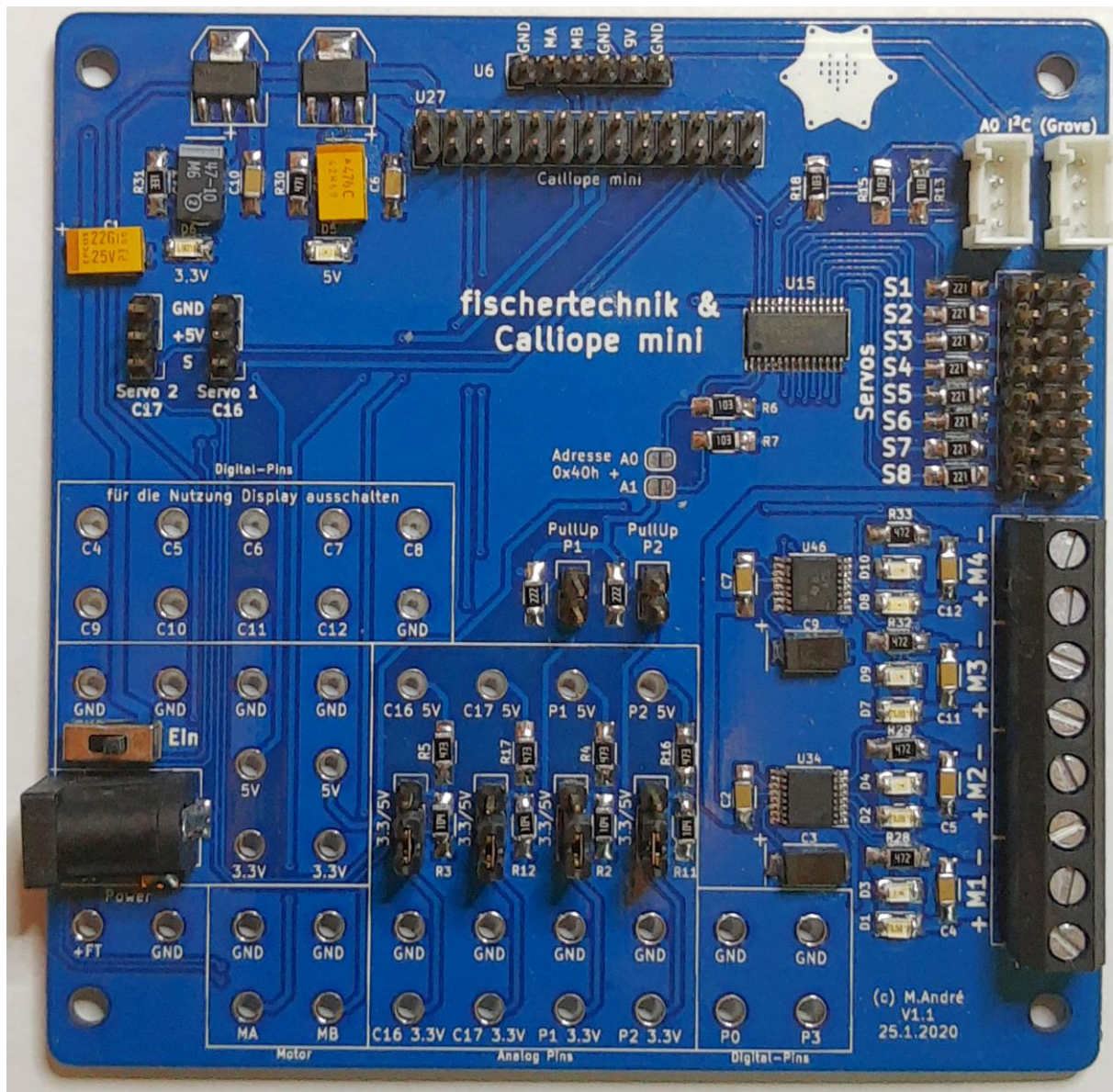


Abb. 4: fischertechnik-Board für Calliope mini

Das Board hat folgende Funktionen:

- Es gibt einen Eingang (Hohlbuchse) als Spannungsversorgung für die fischertechnik-üblichen Spannungen von 9V (für Motoren/Lampen). Daraus werden mittels Spannungsreglern noch 5V und 3,3V für weitere Sensoren/Aktoren und die Versorgung des Calliope mini abgeleitet (Anzeige durch 2 LEDs).
- Die Herausführung aller relevanten analogen und digitalen Ein- und Ausgänge des Calliope mini erfolgt auf fischertechnik-kompatible Buchsen. Es stehen auch die Anschlüsse C4-C12 zur Verfügung, welche aber nur nutzbar sind, wenn man das Display abschaltet (dazu gibt es passende Funktionen in NEPO und MakeCode). Auch funktionieren an diesen Pins zwar die Pullup-Widerstände „Lege Pin x als Schalter fest“ und die Auswertungen „Pin x gedrückt bzw. losgelassen“, nicht jedoch die ereignisgesteuerte Ausführung „wenn Pin x gedrückt“ etc.
- Für die analogen Eingänge P1, P2, C16, C17 (sofern sie als solche konfiguriert

sind) kann per Jumper eingestellt werden, ob Spannungen bis 3,3V oder bis 5V erfasst werden sollen (Spannungsteiler). Natürlich muss das Signal dann auch am richtigen Pin (es gibt je Kontakt zwei!) angeschlossen werden. Hier ist Vorsicht bei hohen Spannungen geboten.

- Möchte man z. B. die (fischertechnik-) Fotowiderstände als Sensoren betreiben, benötigt man einen Spannungsteiler mit Pullup für den Widerstand am analogen Eingang. Dieser kann auf der Platine ebenfalls über Jumper für P1 und P2 geschaltet werden. Das erspart externe Beschaltungen.
- Es gibt Anschlüsse für zwei Servos (C16, C17) – diese können direkt ohne weitere Extension über NEPO oder MakeCode gesteuert werden.
- Das Board hat Anschlüsse für acht weitere Servos oder anderweitige Nutzung wie LEDs mit Spannungsversorgung mittels dem verbreiteten PCA9685. Die Basis-Adresse (0x40) kann über zwei Lötbrücken verändert werden. Der PCA9685 steuert auch die beiden Motor-Treiber.
- Dazu gibt es zwei Motor-Treiber (H-Brücken DRV8833) für den Anschluss von vier Motoren, Lampen, Magneten usw. oder zwei Stepper-Motoren. Die Drehrichtung (Polung) wird jeweils durch rote bzw. grüne LEDs angezeigt.
- Dann gibt es noch einen I²C-Hub mit zwei weiteren I²C-Grove-Anschlüssen in Ergänzung zum Anschluss A0 auf dem Calliope selber.

Um den Calliope mini mit dem Board zu verbinden, müssen unter (!) dem Calliope die passenden Buchsenleisten für Motor und Expansion gelötet werden (Teile siehe BOM). Dann wird der Calliope einfach auf die Platine gesteckt (dort befinden sich passende Stiftleisten).

Ich habe mich entschieden, die Ausgänge der Motortreiber wie bei den oben beschriebenen Boards auf normale Schraubanschlüsse zu legen. Wer aber hier direkt die fischertechnik-Stecker anschließen möchte, kann ein kleines Adapterboard verwenden (Abb. 5).

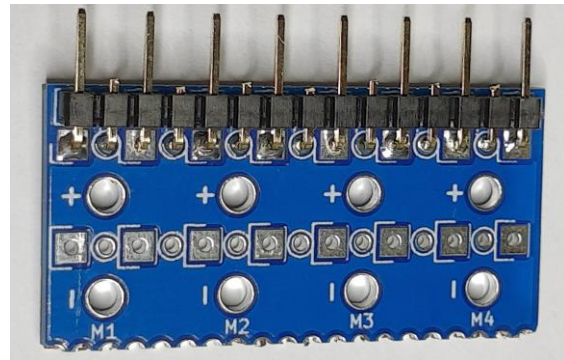


Abb. 5: Adapter-Board

Wenn man jeden zweiten Pin abschneidet, passt der Adapter direkt in die Schraubklemmen. Alternativ kann mal auch die senkrechten Stiftleisten des Adapters bestücken und die Adapterplatine anstelle der Schraubleisten auf dem Board auflöten.

Abb. 6 zeigt die Integration der Platine in ein fischertechnik-Projekt.

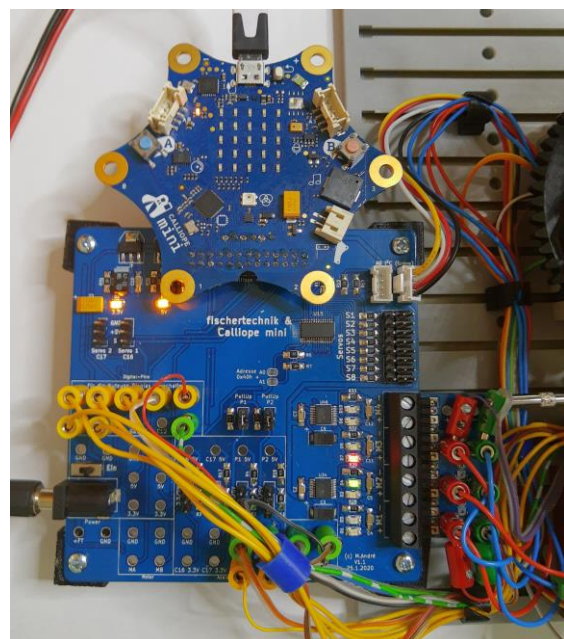


Abb. 6: Integration des Boards in ein fischertechnik-Projekt

Damit man die Platine auf einem fischertechnik-Board anbringen kann, habe ich auf Basis des Designs von Jan [17] einen 15 mm Baustein mit Schraubloch erstellt.

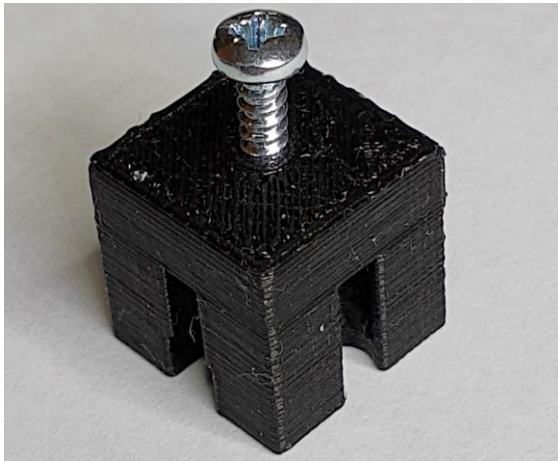


Abb. 7: Baustein mit Schraubloch

Alle Unterlagen (Schaltpläne, Stücklisten, Gerber-Files, Druckvorlagen und ein Testprogramm) sind auf der Projektseite bei hackster.io hinterlegt [18]. Abschließend noch ein Bild, wie der Calliope an den fischertechnik-Roboter angeschlossen wird.

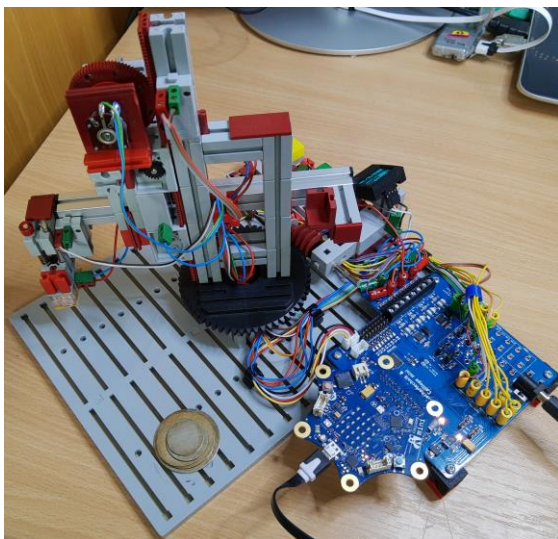

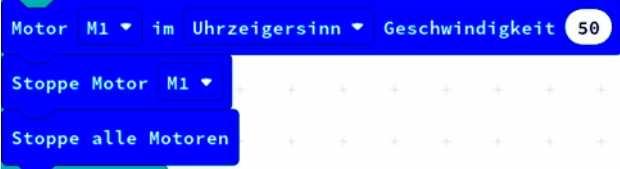
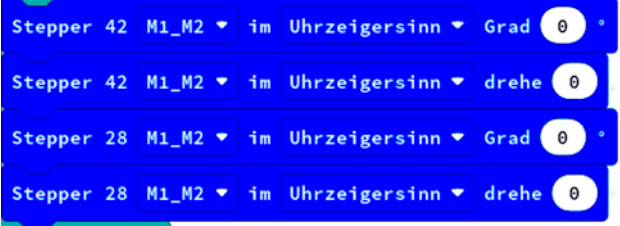
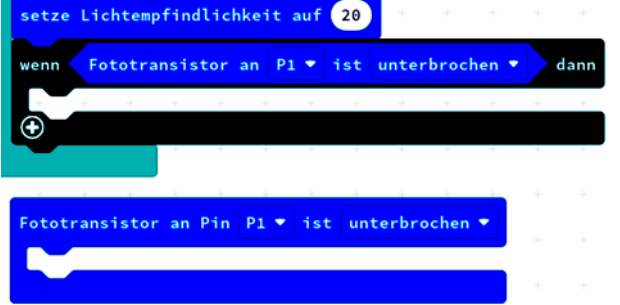



Abb.

Ein Video, wie der Calliope den Turm von Hanoi löst, ist unter [19] zu sehen. Für die Nutzung des Boards unter MakeCode hat Michael seine Erweiterung angepasst [20], welche einfach integriert werden kann; siehe auch [ft:pedia](https://ft.pedia) 4/2019 [13] (Tab. 2).

Referenzen

- [1] Calliope gGmbH: Calliope.cc.
- [2] Open Roberta: [NEPO](https://NEPO.org).
- [3] Microsoft: [MakeCode](https://MakeCode.org).
- [4] David Johnson-Davies: [uLisp](https://uLisp.org).
- [5] Knotech: [Calli:bot](https://Calli.bot).
- [6] fischertechnik: [fischertechnik](https://fischertechnik.de) [Calliope](https://Calliope.org) (547470)
- [7] ftCommunity: [TX-Pi: A Raspberry Pi setup for fischertechnik](https://TX-Pi.github.io). Github.com
- [8] Peter Habermehl: [Der \(schnelle Weg zum\) TX-PI](https://Der(schnelleWegzum)TX-PI). [ft:pedia](https://ft.pedia) 1/2019, S. 79-82.
- [9] Peter Habermehl: [startIDE für die Community-Firmware](https://startIDE.fur.dieCommunity-Firmware). [ft:pedia](https://ft.pedia) 1/2018, S. 102-107.
- [10] Till Harbaum: ftDuino.de. Github.com
- [11] Till Harbaum: [ftDuino – Open Source trifft Konstruktionsbaukasten](https://ftDuino-OpenSource.trifft.Konstruktionsbaukasten). [ft:pedia](https://ft.pedia) 1/2018, S. 85-91.
- [12] Michael Klein: [Calliope mini und fischertechnik](https://Calliope.mini.und.fischertechnik). Hackster.io
- [13] Axel Chobe: [Micro:bit](https://Micro.bit). [ft:pedia](https://ft.pedia) 4/2019, S. 47-51.
- [14] Kitronik: [All-in-one Robotics Board for BBC micro:bit](https://All-in-one.Robotics.Board.for.BBC.micro.bit).
- [15] DFRobot: [micro:bit Driver Expension Board](https://micro.bit.Driver.Expension.Board).
- [16] Didacta: [micro:bit IO T5 board](https://micro.bit.IO.T5.board).
- [17] Juh: [fischertechnik-Baustein 15 mit sechs Nuten](https://fischertechnik-Baustein.15.mit.sechs.Nuten). Thingiverse.com
- [18] Marcel André: [Calliope mini fischertechnik-Interface](https://Calliope.mini.fischertechnik-Interface). Hackster.io
- [19] Marcel André: [Calliope mini löst Turm von Hanoi](https://Calliope.mini.loest.Turm.von.Hanoi). Youtube.com
- [20] Michael Klein: pxt-fischertechnik-motor. Github.com

Funktion	Ansteuerung in MakeCode
Steuerung der acht Servo-Anschlüsse	
Ansteuerung der vier Motoren mit Geschwindigkeit, Richtung und Stopp	
Ansteuerung der Stepper-Motoren	
Bausteine, um den analogen Fotowiderstand zu verwenden, auch als Event-Auslöser	
Abfragen von Tastern (geht nicht bei allen Anschlüssen!), auch als Event-Auslöser	

Tab. 2: Befehlsblöcke in MakeCode

Modell

fischertechnik-Malroboter

Dirk Wölfel

Im Herbst 2017 haben wir mit der ftcommunity bei der Maker Faire in Kiel teilgenommen und unsere fischertechnik-Modelle ausgestellt. Auf der Suche nach neuen Anregungen und neuen Trends habe ich nach dem Aufbau einen kleinen Rundgang über die Ausstellung gemacht. Dabei ist mir ein Modell von einem Malroboter an einem Maker-Stand besonders ins Auge gefallen: Der WaterColorBot (Abb. 1), ein Malroboter, der mit verschiedenen Wasserfarben Bilder malt. Angetrieben wird dieser Bausatz über zwei Schrittmotoren, die über ein Seilsystem den Pinsel steuern. Über eine Software wird ein Bild erstellt, die dann die Koordinaten mit den Schrittmotoren ansteuert. So etwas sollte doch auch mit fischertechnik möglich sein – es wurde also Zeit, einen fischertechnik-Malroboter (Abb. 2) zu bauen.

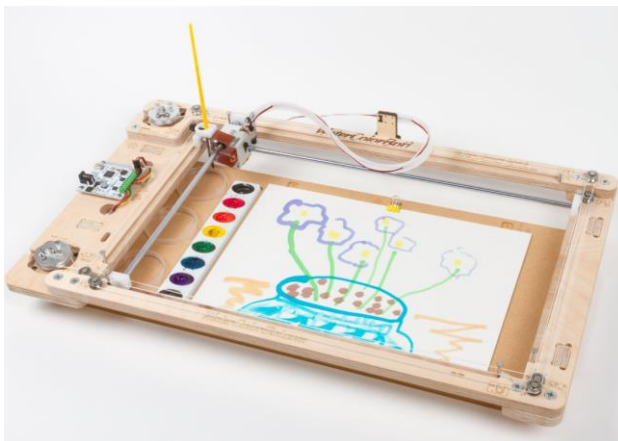


Abb. 1: WaterColorBot



Abb. 2: fischertechnik-Malroboter

Der Aufbau

Für den Unterbau habe ich die Komplettbox 1000 ([30383](#)) mit der Bauplatte ([35937](#)) verwendet. Auf der Bauplatte sitzen die beiden Encoder-Motoren, zwei Reinigungsbehälter und sechs verschiedene Wasserfarben (Abb. 3). Die Wasserfarben stammen aus einem handelsüblichen Malkasten.

Die Führungen der X- und Y-Achsen sind aus [4 mm Silberstahlwelle](#) hergestellt. Auf den beiden Achsen sitzt der bewegliche Malkopf, welcher über ein Seilsystem bewegt wird. Mit Hilfe eines Mini-Motors mit

Hubgetriebe wird der Pinsel auf und ab bewegt (Abb. 4).

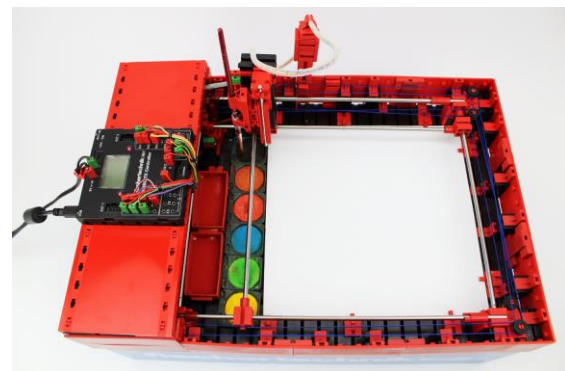


Abb. 3: Der Aufbau

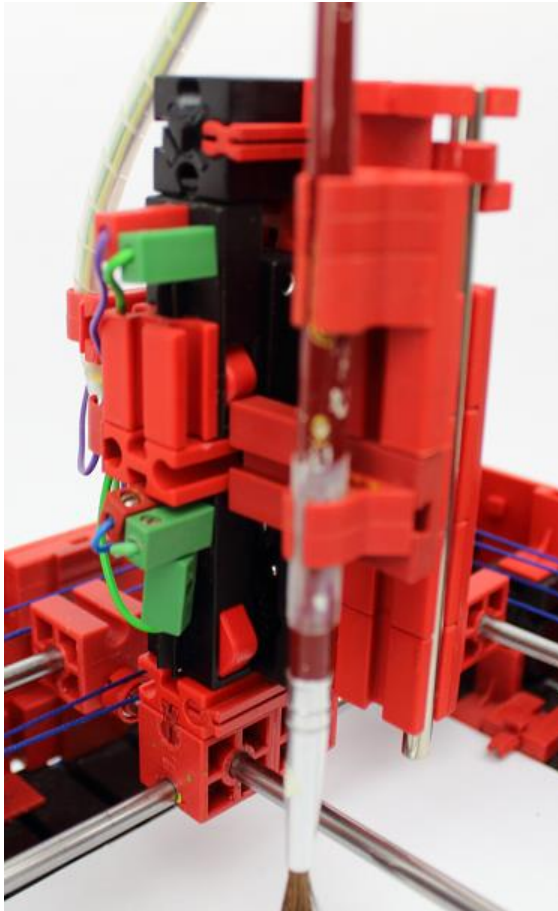


Abb. 4: Der Malkopf

Das Seilsystem

Unter einer Abdeckung sitzen die beiden Encoder-Motoren mit Schnecke (Abb. 5), welche das Seilsystem antreiben. Die Funktion der Seilführung habe ich mir bei dem *WaterColorBot* abgeschaut.

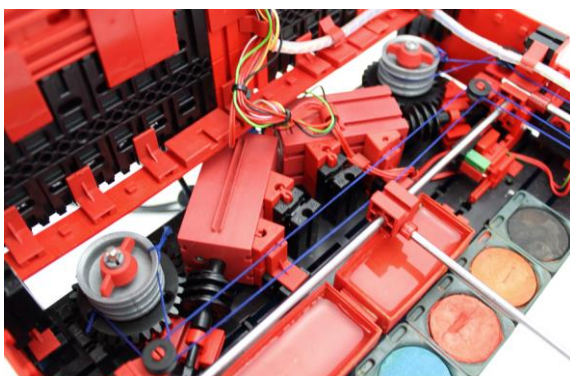


Abb. 5: Die beiden Encoder-Motoren

Das Seil wird über eine Umlenkung bewegt (Abb. 6) und muss immer gespannt sein.

Dies erwies sich beim Bau als größere Herausforderung.

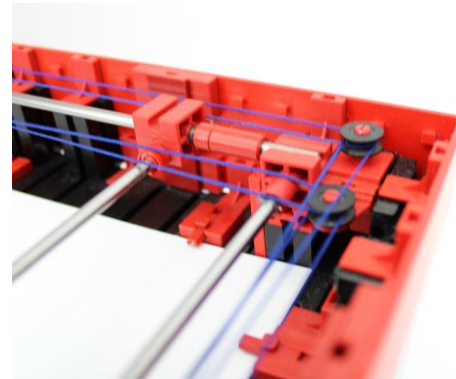


Abb. 6: Die Seilumlenkung

Die Elektronik

Angesteuert wird der Malroboter über einen ROBO TX Controller (Abb. 7). Dieser sitzt aus Platzgründen über der Abdeckung.

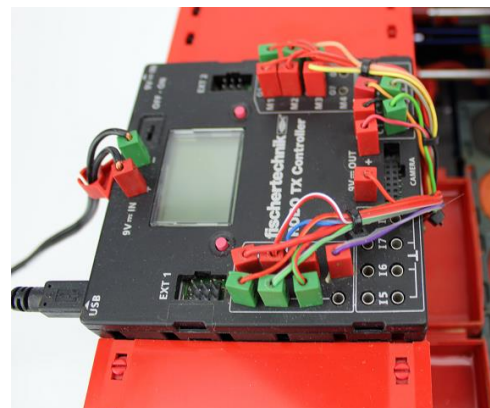


Abb. 7: Der ROBO TX Controller

An den jeweiligen X- und Y-Achsen sind Endlagentaster verbaut (Abb. 8).

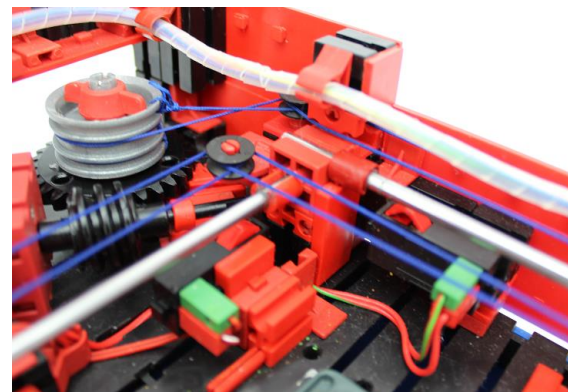


Abb. 8: Endlagentaster X-Achse

Die Bilderstellung

Der Malroboter funktioniert über Encoder-Schritte. Mit Hilfe von *Corel Draw* wird ein Bild in eine Vektorgrafik umgewandelt (Abb. 9).

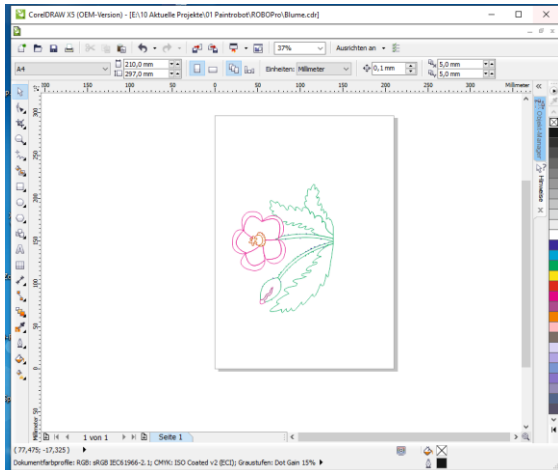


Abb. 9: Vektorgrafik Corel Draw

Anschließend wird diese Vektorgrafik als *.plt-Datei ausgegeben (Abb. 10). Diese Datei wird dann in ein Excel-Makro eingegeben, welches die Größe (Schritte) herunterrechnet, damit die Schritte der X- und Y-Range nicht zu groß sind (Abb. 11). Das Ergebnis wird dann als *.csv-Datei abgespeichert.

Dann wird diese *.csv Datei über das ROBO Pro-Programm mit Hilfe der Listenfunktion für die X-, Y- und Z-Werte eingelesen (Abb. 12). Am Ende werden die Positionen für die Farben und die Reinigungsbehälter manuell hinzugefügt.

Nun heißt es Papier einspannen, und los geht es mit einem Funktionstest. Man muss das Programm mehrmals ausführen, um die Farbintensität, das Reinigen und Positionen des Pinsels genau einzustellen. Dabei zeigt sich, dass auch der Pinselstrich hier eine große Rolle spielt.

```
Blume.plt - Editor
Datei Bearbeiten Format Ansicht Hilfe
IN;
IP-2444 -3543 2444 3543;
SC-3282 3143 -4430 4881;
VS32,1;
VS32,2;
VS32,3;
VS32,4;
VS32,5;
VS32,6;
VS32,7;
VS32,8;
WU0;
PW0.350,1;
PW0.350,2;
PW0.350,3;
PW0.350,4;
PW0.350,5;
PW0.350,6;
PW0.350,7;
PW0.350,8;
LT;
SP4;
PU2678 138;
PD2679 138;
PD2700 147;
PD2717 156;
PD2748 172;
```

Abb. 10: Die Plotdatei im Editor

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2	PU/	Eingabe	Inde					Koordinaten	Ein/Aus			
3	PL/	Daten	x	y	z							
4		IN;	1	2783	1266	0		Faktor			Clear	Copy & Paste
5		VS32,1;	2	2795	1274	1						
6		VS32,2;	3	2855	1311	1						
7		VS32,3;	4	2880	1336	1						
8		VS32,4;	5	2907	1375	1						
9		VS32,5;	6	2919	1404	1						
10		VS32,6;	7	2934	1431	1						
11		VS32,7;	8	2948	1494	1						
12		VS32,8;	9	2954	1542	1						
13		WU0;	10	2953	1608	1						
14		PW0.350,1;	11	2946	1697	1						
15		PW0.350,2;	12	2935	1730	1						
16		PW0.350,3;	13	2910	1778	1						
17		PW0.350,4;	14	2851	1830	1						
18		PW0.350,5;	15	2804	1854	1						
19		PW0.350,6;	16	2768	1867	1						
20		PW0.350,7;	17	2740	1879	1						
21		PW0.350,8;	18	2832	1891	1						
22		LT;	19	2869	1904	1						
23		SP5;	20	2901	1922	1						
24		1 PU4732 2153;	21	2929	1945	1						

Abb. 11: Das Excel-Makro

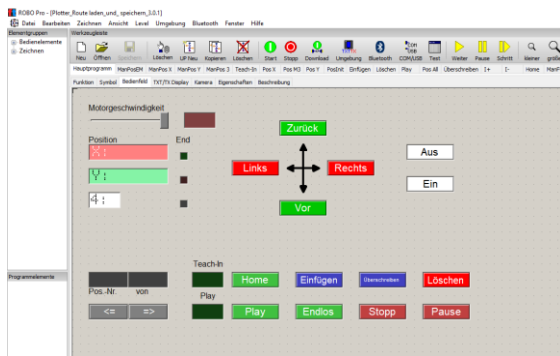


Abb. 12: Das ROBO Pro-Programm

Das Fazit

Manchmal muss man länger auf einem Problem herumkauen um es zu lösen. Wie gesagt, das Modell lag schon mehr als ein Jahr bei mir herum. Die Idee zur Umsetzung ist nicht immer sofort sichtbar.

Ein Video zum Malroboter findet ihr bei [YouTube](#).

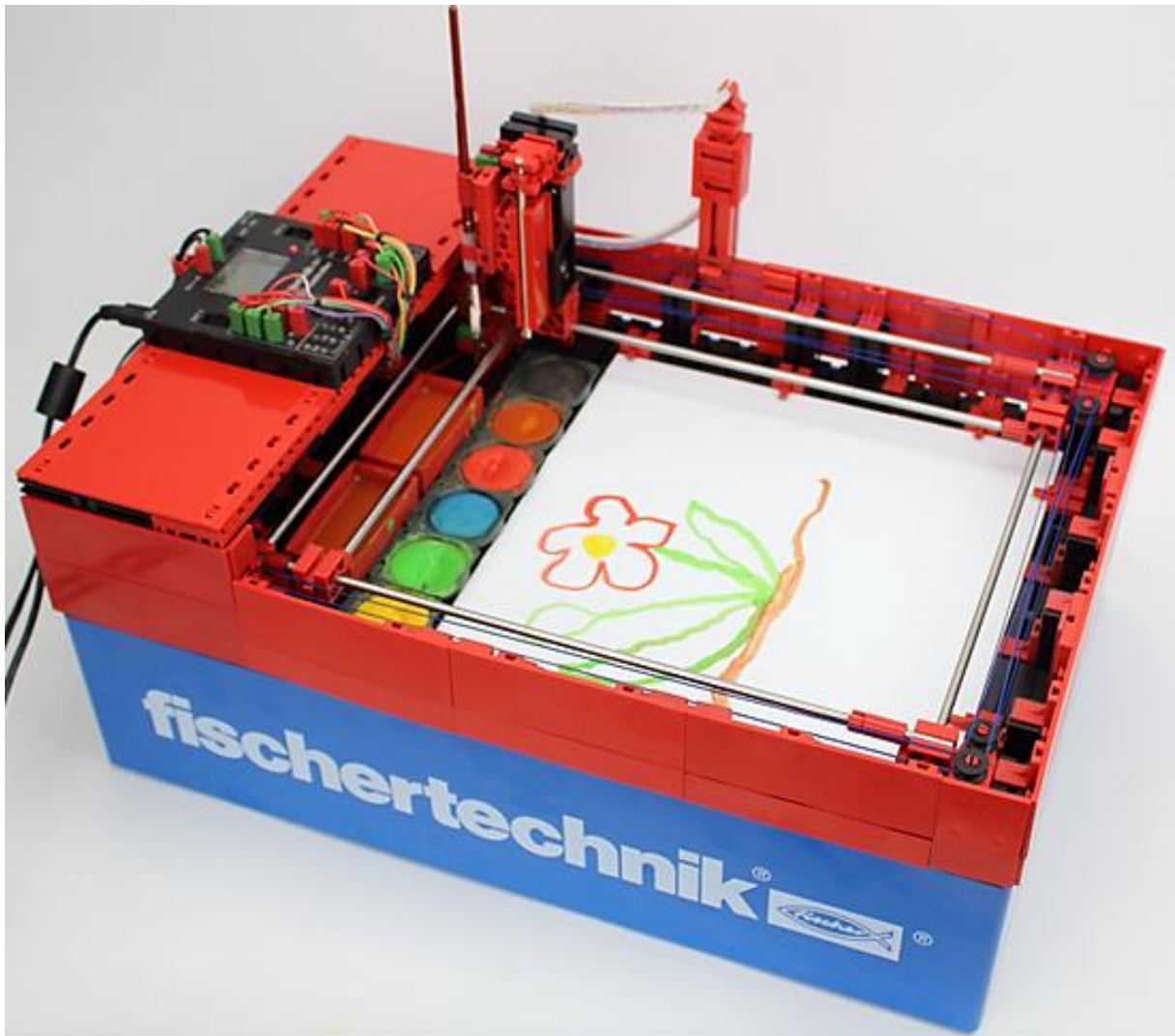
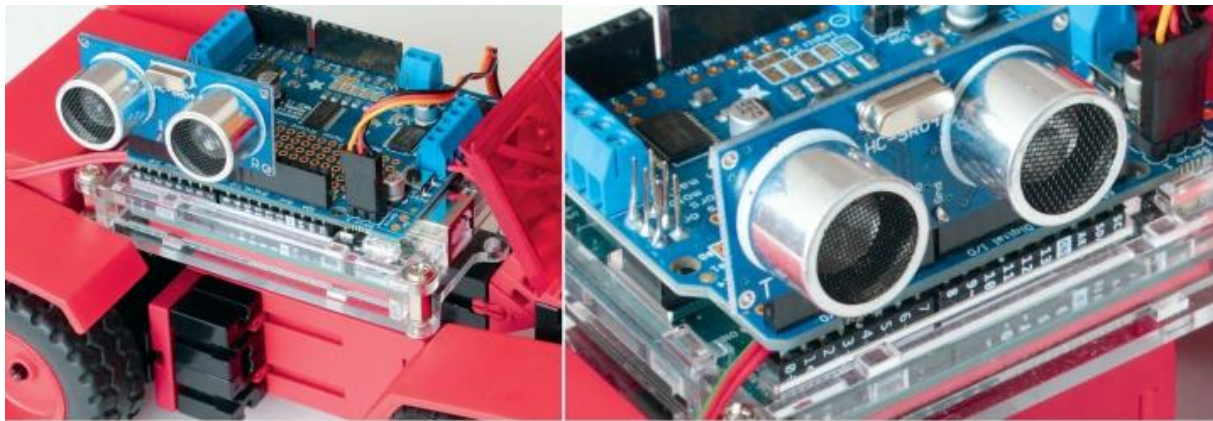


Abb. 13: Der fischertechnik-Malroboter




Dirk Fox
Thomas Püttmann



Bauen, erleben, begreifen:
**fischertechnik-
Roboter
mit Arduino**



edition **Make:**

 dpunkt.verlag

Das „[fischertechnik-Arduino-Buch](#)“ ist seit dem 22. Mai 2020 [erhältlich](#) (zum [Buch-Trailer](#)).
Für September 2020 hat fischertechnik einen Baukasten zum Buch angekündigt.