

Editorial

Der schönste Beruf der Welt

Dirk Fox, Stefan Falk

Es gibt Bücher, die sprechen einem aus tiefsten Herzen. Eines meiner „Herzenssprecher“ ist die im August 2010 erschienene Eloge auf den Ingenieur von Prof. Dr. Ekkehard Schulz – selbst Ingenieur mit Herzblut und Hingabe und von 1991-2011 Chef von Thyssen und ThyssenKrupp.

Seine „55 Gründe, Ingenieur zu werden – Über den schönsten Beruf der Welt“ sind eine 250seitige Ode an die Technik. Und er trifft den Punkt. Denn Technik ist nicht nur omnipräsent – als Spitzentechnologie im Mars-Rover ebenso wie versteckt in unseren Alltagsgegenständen – sondern ist die Voraussetzung unseres von vielen Sorgen und Nöten befreiten und mit zahlreichen Möglichkeiten angereicherten Lebens.

Wohnen, Ernährung, Kommunikation, Mobilität, Verfügbarkeit von Wissen, Gesundheit und weite Bereiche der Kultur verdanken wir in dieser hoch entwickelten Form allein technischen Errungenschaften. Technik rettet Leben, bekämpft Krankheiten, reinigt Trinkwasser, kompensiert körperliche Einschränkungen, verbindet Menschen, macht Wissen und Kultur zugänglich und hilft bei Naturkatastrophen.

Natürlich gibt es auch Schattenseiten: den Verbrauch begrenzter Rohstoffe wie z. B. fossiler Energien, Abgase, Müll und die Verunreinigung der Meere sowie den Einsatz von Technik in kriegesischen Auseinandersetzungen. Allerdings wissen wir auch: Ohne Technik könnte unser Planet die auf ihm lebenden Menschen schon seit langem nicht mehr ernähren, und unser Leben wäre deutlich gefährlicher, entbehrungsreicher und kürzer.

Mit dem weiteren Wachstum der Weltbevölkerung und der Konzentration von immer mehr Menschen in Megacities wird Technik zukünftig noch wichtiger. Denn es werden Techniker sein, die Lösungen für die Herausforderungen der Zukunft entwickeln: „Die Probleme der Menschheit wie Klimaschutz und Ressourcenknappheit werden am Ende nicht auf den Gipfeltreffen der Regierungschefs gelöst, sondern im Labor“ (S. 10) – BioNTech lässt grüßen.

Da kann es schon ein wenig beunruhigen, wenn nur noch ein Drittel der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland nach eigenen Angaben versteht, wie technische Dinge funktionieren. Die „Freude am Experimentieren, Ausprobieren und Herumspielen“ (S. S. 159), den wichtigsten Antrieb eines jeden Ingenieurs und Ausgangspunkt jeder Lösungssuche, haben offenbar viele Menschen noch nie erlebt. Vielleicht als Folge des Schattendaseins, das Technik in der Schule fristet: „Technik kommt in den Lehrplänen viel zu selten vor.“ Denn „um für Technik zu begeistern, muss man Technik begreifbar und erlebbar machen“ (S. 244).

Zum Glück gibt es Abhilfe (S. 177): „Als ideales Beispiel für die Verbindung von Spiel und Ingenieurswesen dient das System fischertechnik. Viele Kinder entdecken so zum ersten Mal ihr Talent als Ingenieur.“

Und jetzt: Ran‘ an die Kästen mit euch.

Beste 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

Der schönste Beruf der Welt	2
Blumen	4
Zweirad	11
Der Stirling-Motor	19
Großprojekt Seilbahn (Teil 3): Die Stationen	28
Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 4)	38
Labor für digitale Elektronik	49
Der Zauberling (Teil 1): Der Zauberstab	56
Sensoren am TXT: Der LDR	67
Revival: Relais und Gabellichtschranke an TXT und ftDuino ...	70
WASD-Pad: Gamepad einmal anders	75
Experimente mit dem Kombisensor	78

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Südconvention	30.10.2021	Fördertechnik-Museum in Sinsheim
Clubdag Schoonhoven	30.10.- 06.11.2021	Schoonhoven (NL)

Impressum

<http://www.ftpedia.de>

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

Autoren: Arnoud van Delden, Matthias Dettmer, Dirk Fox,
Hans-Christian Funke, Fabian Harbaum, Till Harbaum, Peter
Krijnen, Kurt Mexner, Rüdiger Riedel, Tilo Rust.

Copyright: Jede unentgeltliche Verbreitung der unveränderten
und vollständigen Ausgabe sowie einzelner Beiträge (mit voll-
ständiger 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

Blumen

Rüdiger Riedel

Alle Käfer, Spinnen und Schmetterlinge [1] wünschen sich Blumen. Hier sind sie!

Und da der Sommer ausklingt, können wir Freunde der Natur sie auch gebrauchen, je mehr Blumen und Blüten desto besser.

Ohne viele Worte sollen hier die Bilder sprechen und zu Ergänzungen und neuen Ideen anregen.

Ich habe allen Blumen Namen gegeben von A bis T plus Y. Die Auswahl ist schnell und willkürlich erfolgt, ein höherer Sinn steckt nicht dahinter.



Abb. 1: Der Traum aller Insekten



Abb. 2: Blume Amelie



Abb. 3: Blume Birgitta

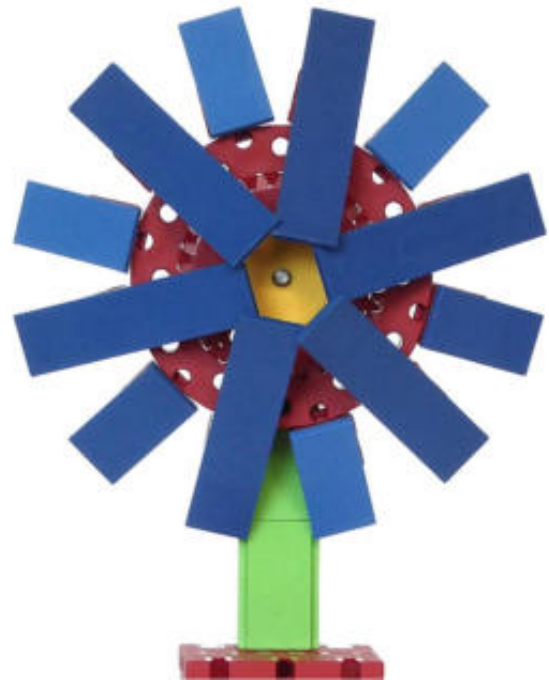


Abb. 4: Blume Claire

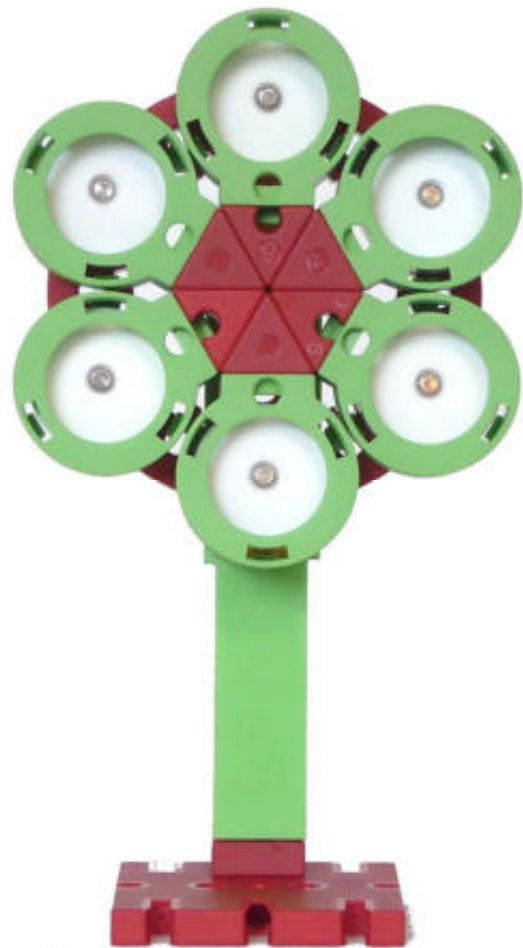


Abb. 5: Blume Daphne

Ein Federnocken ([31982](#)) hält die Blüte in Abb. 2 am Stiel.

Abb. 3: Die Bausteine 30 rund ([172544](#)) werden mit Schlauchanschlüssen D4 gerade ([163204](#)) am Innenzahnrad Z30 ([35694](#)) befestigt.

Zwölf Winkelsteine 60° ([31010](#)) am Rand der beiden Innenzahnräder Z30 halten in Abb. 4 die blauen Platten.

Sechs Dynamics-Flexschlauch-Befestigungen ([167368](#)) werden für die Blume Daphne benötigt.



Abb. 6: Blume Emilia

Abb. 6: Die Blüte wird einfach über einen LED-Leuchtstein geschoben.

Je Baustein 30 rund werden für die Blumen Emilia und Fiona ein Winkelstein 30° ([31011](#)), ein Baustein 5 15 × 30 ([35049](#)) und eine Federnocke benötigt.



Abb. 7: Blume Fiona

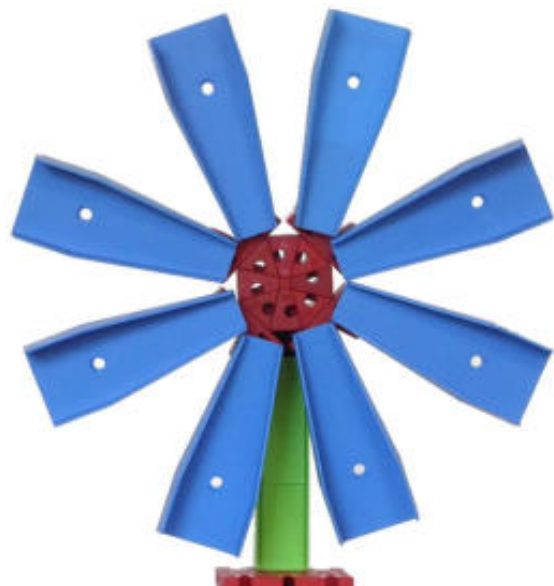


Abb. 8: Blume Gerlinde

Die blauen Kugelbahn-Wechselweichen ([165792](#)) für die Blumen Gerlinde, Sophie und Tessa habe ich bei der letzten Convention (wie lange ist das schon her?) von Herrn Santjohanser geschenkt bekommen.

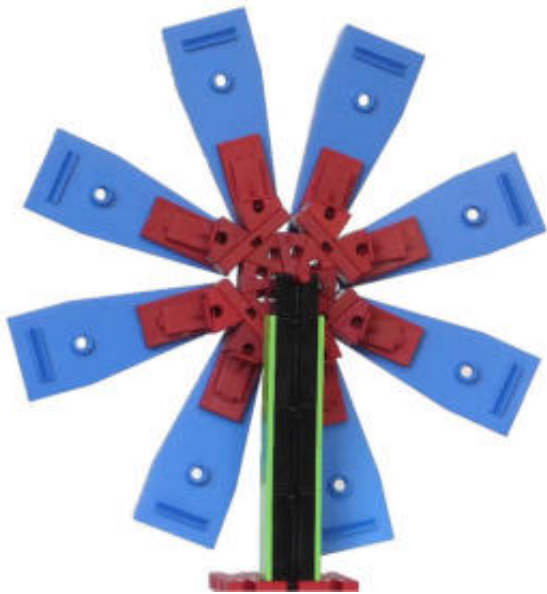


Abb. 9: Rückseite von Gerlinde

Mitten in der Blütennabe von Gerlinde steckt eine Kunststoffachse Vierkant ([78237](#)).



Abb. 11: Blume Isabella

Abb. 11: Eine Kunststoffachse 15 ([107356](#)) hält die Blüte.



Abb. 10: Blume Hulda

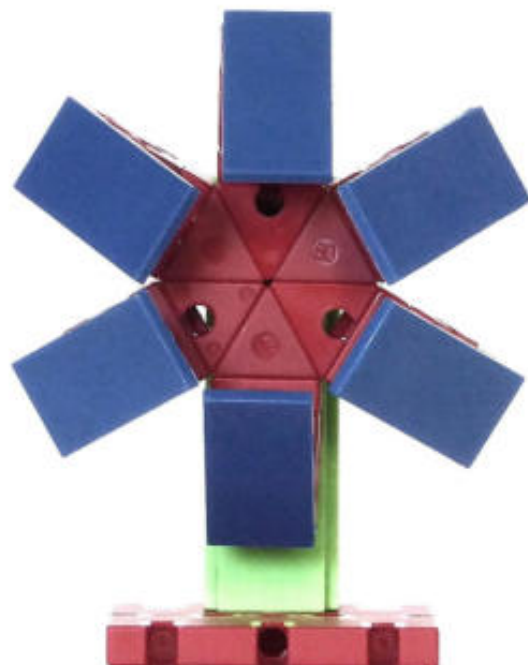


Abb. 12: Blume Juliette

Die Blütenblätter von Juliette bestehen jeweils aus einem BS5, WS30, WS15 und einer Bauplatte 15 × 30 ([38267](#)).

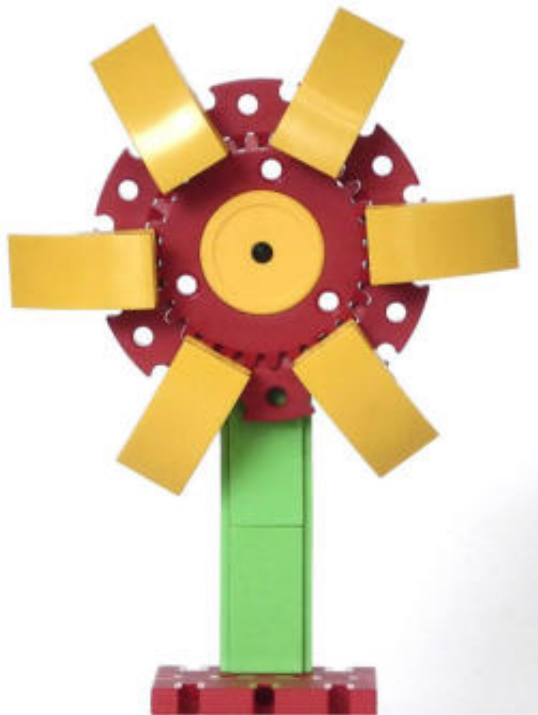


Abb. 13: Blume Kaja

Die gelbe Scheibe innen von Kaja ist ebenso wie bei Birgitta und Claire eine Freilauf-Flachnabenzange ([129697](#)).

Lydias Blütenblätter werden von Winkelsteinen 15° gehalten.

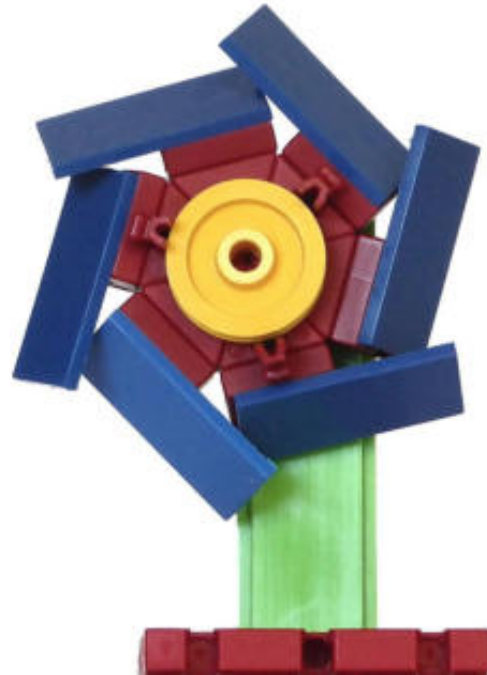


Abb. 15: Blume Madeleine

In Abb. 15 wird eine Seilrolle 21 × 7 ([129700](#)) von drei Federnocken gehalten.

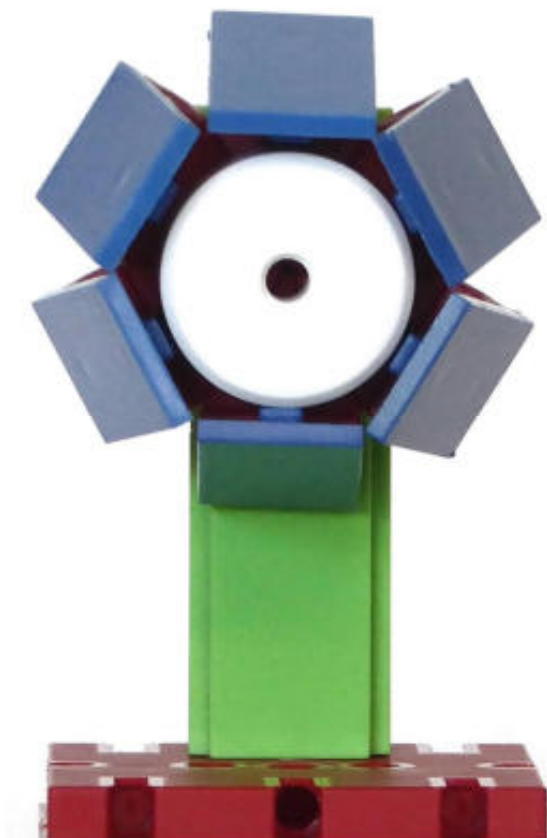


Abb. 14: Blume Lydia



Abb. 16: Blume Nabila



Abb. 17: Blume Olivia

Die beiden Blütenteile von Nabila und Olivia werden von zwei Kunststoffachsen

15 ([107356](#)) zusammengehalten und mit einer weiteren am Stiel befestigt.



Abb. 18: Blume Pauline

Blume Pauline besitzt drei Propeller 70 ([36337](#)) auf einer Lagerhülse 15 ([36819](#)), die von zwei Hülsten mit Scheibe 15 ([35981](#)) auf einer V-Achse 34 Clipachse ([32870](#)) zusammengehalten werden.

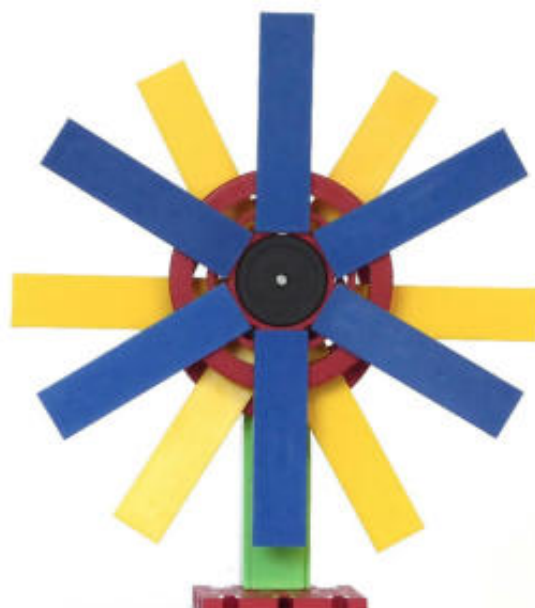


Abb. 19: Blume Regina

Abb. 19: Eine schwarze Freilauf-Flachnabenzange ([68535](#)) befindet sich in der Mitte der vorderen Drehscheibe 60 ([31019](#)).

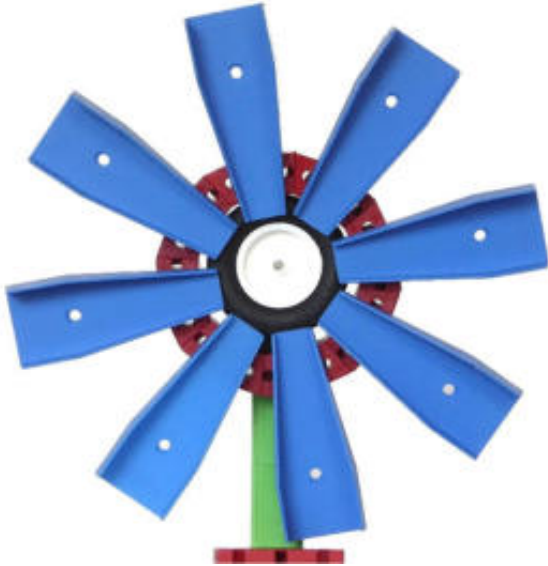


Abb. 20: Blume Sophie

Abb. 20 bis 22: Variationen mit den blauen Kugelbahn Wechselweichen.

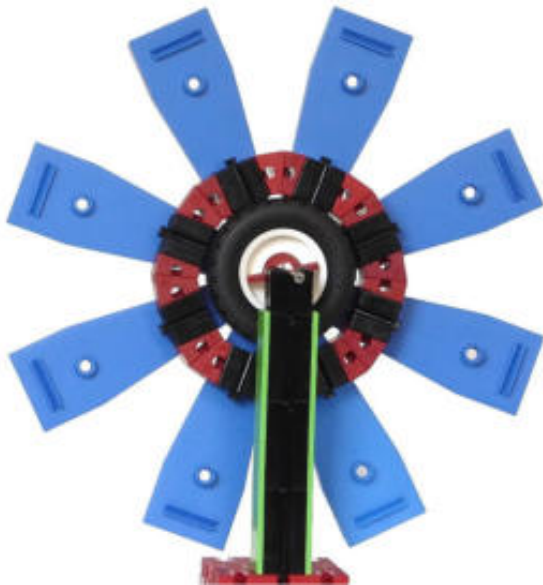


Abb. 21: Rückseite von Sophie

Der Reifen in Abb. 20 und 21 lässt sich mit vier Bauplatten 15×15 unter vier BS15 zentrieren, wie in Abb. 22 gezeigt wird.

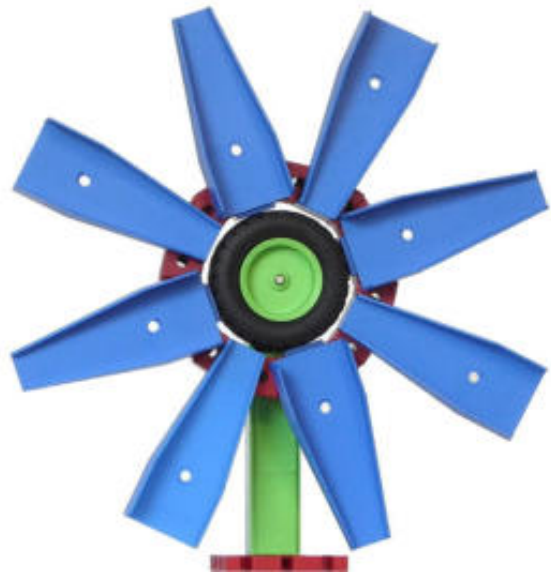


Abb. 22: Blume Tessa

In ein paar Tagen ist der 3. Oktober, deshalb zum Schluss eine Deutschlandblume, Einigkeit...

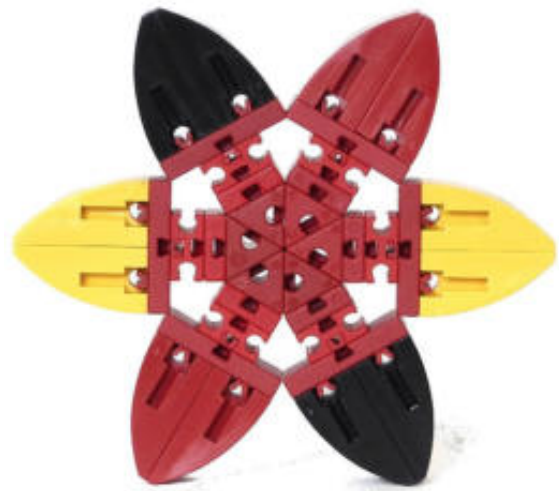


Abb. 23: Die Deutschlandblume Yasemin

Quellen

- [1] Rüdiger Riedel: *Getier im Frühling*. [ft:pedia 1/2021](#), S. 13–19.

Modell

Zweirad

Rüdiger Riedel

Der Hailfire Droid (Hagelfeuer Droide) aus der Star-Wars-Serie begeistert mich immer noch.

Vierrad, Dreirad, Zweirad.

Wikipedia erläutert:

Das **einspurige** Zweirad-Prinzip wurde 1817 von Karl Drais erfunden und mit der sogenannten Laufmaschine oder Draisine bekannt. Bei Stillstand fällt die Stabilisierung weg.

Heutige Formen von „Zwei Räder hintereinander“ sind Fahrrad, Bicycle, Bike, Motorrad, Scooter.



*Abb. 1: Der Hagelfeuer Droide,
S-Motor Version*

Zweispurige Zweiräder sind sehr viel seltener. Erst die moderne Regelungstechnik ermöglichte die Selbstbalance-Roller wie den Segway Personal Transporter. „Menschliche“ Regelungstechnik ermöglicht das Fahren mit Inlineskates mit nur zwei Rollen.

Verkappte Dreiräder sind dagegen:

Sulky, Handwagen, Anhänger, Trolley.

Two-lane two-wheeler

Erstaunlich wenig ist das futuristische Konzept des Hailfire Droids untersucht worden. Mit einfachen Mitteln lässt es sich aufbauen. Mit einer Fernsteuerung versehen sind die Fahreigenschaften überprüfbar: Niemand wendet schneller!

Bei der ganzen Flut von dreirädrigen „Buggies“, vollgepackt mit Hightech-Elektronik, ist das Konzept des Zweirades anscheinend vergessen oder aus Angst vor den Nickbewegungen beim Beschleunigen und Abbremsen weggelassen worden (Bewegungen wie bei Schiffen).

Auf der Convention 2018 in Dreieich gesehen: Der Zweirad-Flitzer [3].

Die Fans von Legos Nr. 4481 Hailfire Droid (Raddurchmesser 21,5 cm) haben es mit Motoren und Fernsteuerung versehen. Das Fahrverhalten ähnelt meinen S-Motor-Versionen, ist also gemächlich.

Im Forum hat hamlet [2] angedeutet, dass meine Konstruktion mit den Rädern aus Bogenstücken 30° etwas langsam ist. Nach einigem Herumprobieren musste ich einsehen: Die S-Motoren, neuerdings als Mini-Motoren bezeichnet, geben nicht mehr her, es müssen auch bei den kleinen Hagelfeuer Droiden die XM-Motoren sein. Auf die Schrägstellung der Räder wie beim Vorbild und Abb. 1 verzichte ich ab jetzt.

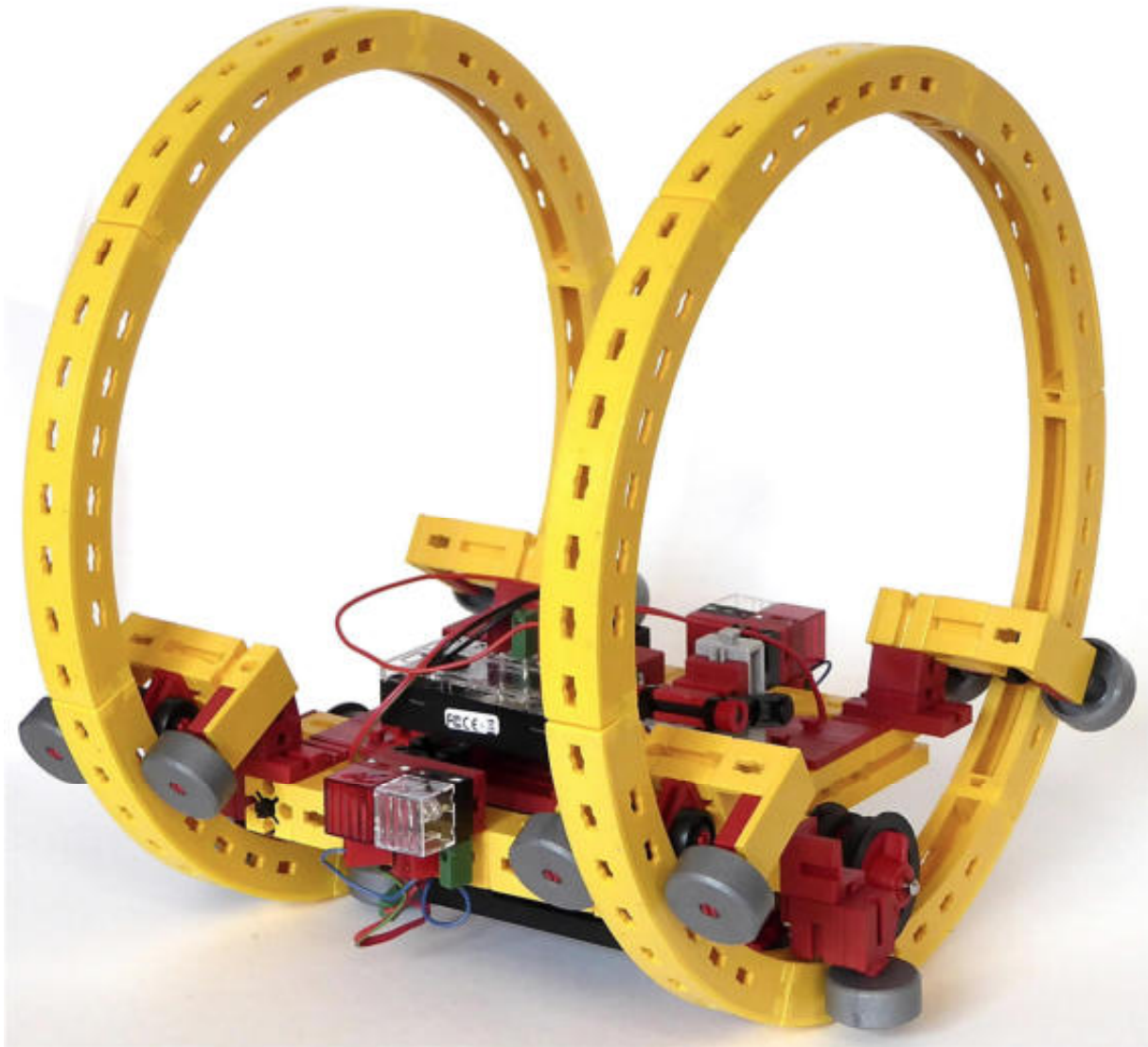


Abb. 2: Der Hagelfeuer Droide mit XM-Motoren

Der Aufbau beginnt mit Abb. 3. Zur Stabilisierung wird in die Seiten aus BS30 und je einem BS15 je eine Achse 110 ([31031](#)) geschoben.

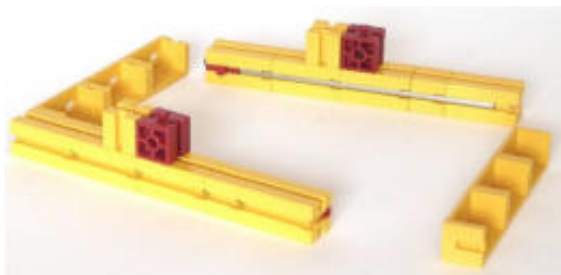


Abb. 3: Der Rahmen

Der senkrechte BS15 und der BS15 Loch ([32064](#)) werden mit je einem Federnocken ([31982](#)) verbunden.



Abb. 4: Die Führungsrollen

Wir brauchen vier Führungsrollen-Kombinationen, je zwei linke und zwei rechte.

Dies ist das Material dafür:

Nr.	Bezeichnung	Anzahl
136529	Baustein 15	8
35668	V-Radhalter 10	8
36573	V-Rad 14	8
35053	S-Winkelträger 15	4
38268	Bauplatte 15x30 2Z	8
36586	V-Radachsen	8
146535	V-Räder 23x10 silber	8
31011	Winkelstein 30°	4
37237	Baustein 5	4

Tab. 1: Stückliste für die Führungsrollen-Kombinationen

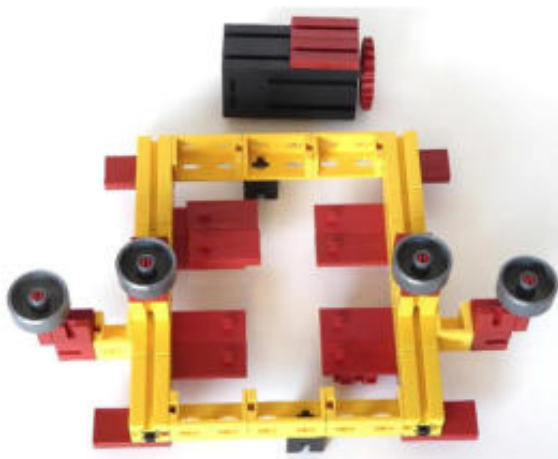


Abb. 5: Ein Motor ist vorbereitet

Weitere Führungsrollen werden im Bereich der Antriebsräder benötigt. Sie bestehen aus zwei V-Radachsen ([36586](#)), zwei V-Aufnahmeachsen ([31124](#)) mit einem BS 5 darunter, zwei S-Winkelträgern 15 ([35053](#)), vier V-Bausteinen 15 Eck ([38240](#)) und vier V-Rädern 23 × 10 silber ([146535](#)) oder beliebiger anderer Farbe.

Für die Befestigung der Motoren werden 8 Bausteine 2,5 15 × 45 2+2Z ([38277](#)) auf die Oberseite des Rahmens geschoben. An den Ecken befinden sich jetzt vier Bausteine 5 15 × 30 ([35049](#)), die nehmen die Führungsrollen von Abb. 4 auf. Den Abstand zu den Bausteinen 2,5 stellen wir durch Federhaken sicher, an einem Ende zweimal drei,

am anderen Ende zweimal zwei Stück mit der Nocke in den Bausteinen 30 (Abb. 8).

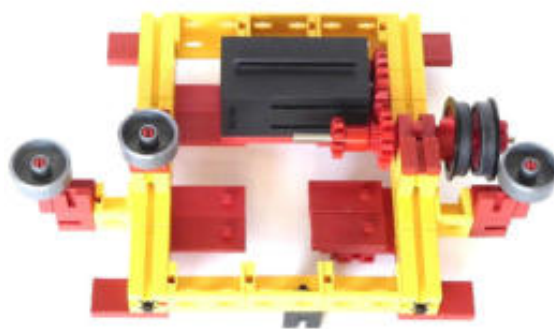


Abb. 6: Der V-Riegel des Motors ist hier oben

Für jeden Motor brauchen wir jetzt vier Bausteine 5 15 × 30 ([35049](#)), zwei davon werden ganz in die beiden Nuten geschoben mit der Nocke voran (Abb. 5). Die beiden anderen schieben wir zunächst ganz auf die gegenüber liegenden Bausteine 2,5. Wir verpassen den Motoren Rast-Kettenzahnäder 20 ([137677](#)) und setzen den ersten ein, indem wir seine Bausteine 5 15 × 30 über die Zapfen der Bausteine 2,5 schieben. Anschließend schieben wir die anderen beiden Bausteine 5 15 × 30 in die Motor-nuten.

Die Antriebsräder befinden sich auf Achsen 80. Zwei Spurkränze 30 34 ([36331](#)), jeweils mit Gummiring 30 ([36332](#)), stehen sich gegenüber, getrennt durch eine Klemmbuchse 5 ([37679](#)). Die Spurkränze mit Gummiring gibt es immer noch bei Martin Bössners „fischertechnik-Teilen“ und beim fischerfrondsman, wenn er wieder gesund ist.

Je ein „Zahnrad Z15 m1,5 Z22 m0,5 anreihbar“ ([35695](#)) wird mit der Spannzange ([35113](#)) eines Ritzels Z10 ([35112](#)) fixiert.

Wir drehen das Gestell herum und benutzen einen Baustein 30 für die Befestigung des Batteriefach-Gehäuses ([32263](#)); den Deckel brauchen wir nicht. Ich benutze gerne 9 V-Akkus von Ansmann und erreiche damit Betriebszeiten von mehr als 20 Minuten. Den Akkuzustand überwache ich mit einem Spannungsanzeiger von Tianqin, der in ein

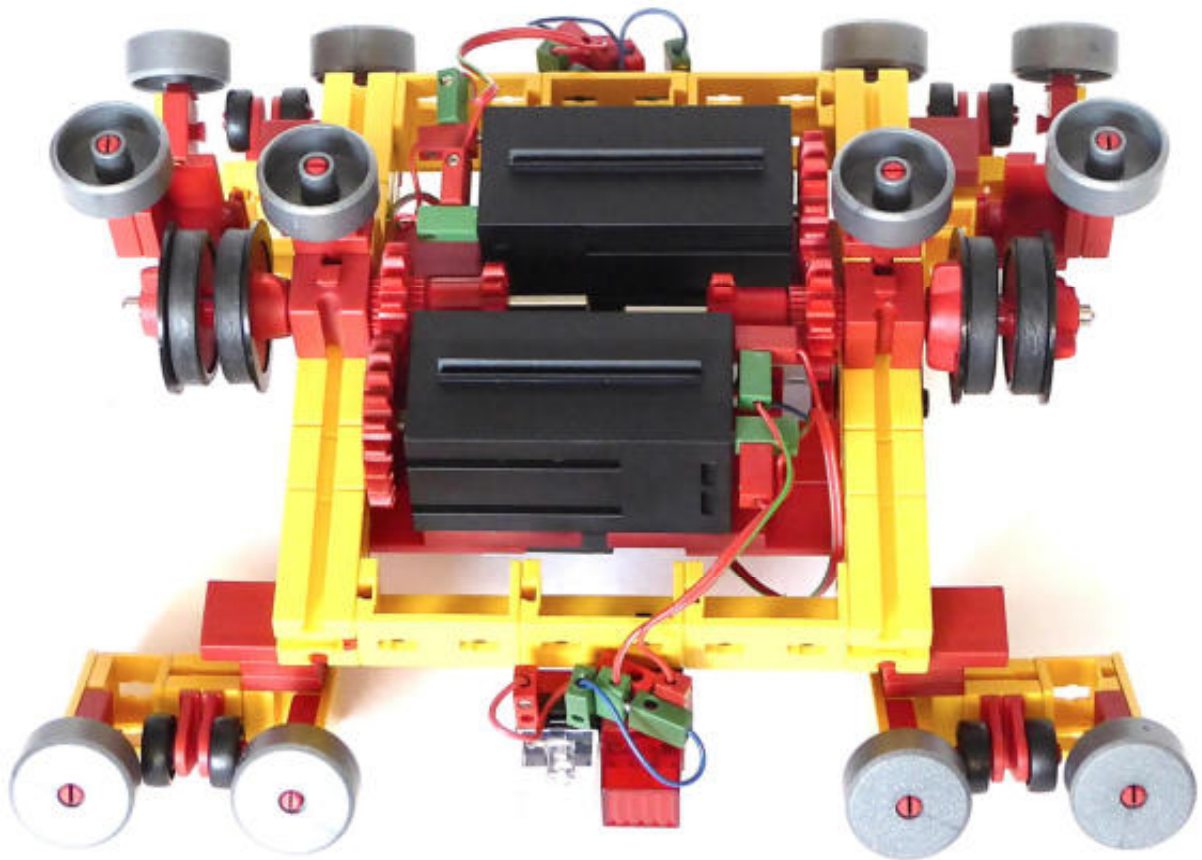


Abb. 7: Blick auf die Unterseite

Anschlussplatten-Gehäuse ([152059](#)) passt, wenn man die Laschen etwas abfeilt.

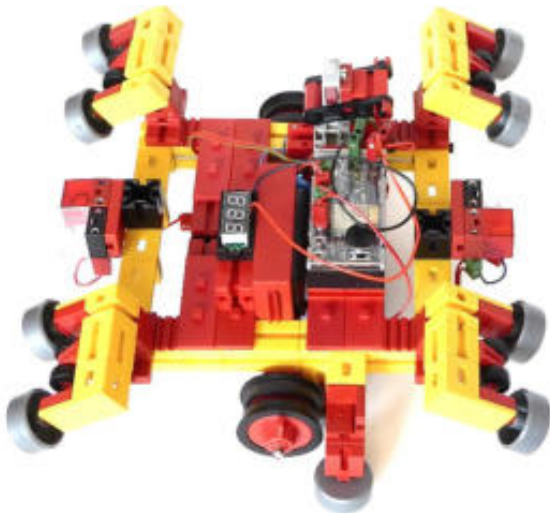


Abb. 8: Die fertige Oberseite

Der BT-Empfänger ([161943](#)) wird von Bausteinen 7,5 gehalten.

Die Motoranschlüsse gehen an die Buchsen M1 und M2. Parallel dazu schalten wir die Beleuchtung, wobei die rote und die farblose antiparallel geschaltet werden [6].

Noch ein Ein-/Aus-Schalter dazu, in der einfachsten Ausführung aus einem Minitaster ([37780](#) oder [37783](#)), einem BS7,5, einem S-Strebenadapter ([31848](#)) und einer S-Strebe 15 I ([36914](#)). Die Version in Abb. 8 ist etwas luxuriöser.

Haben wir die Räder aus jeweils sechs S-Flachträgern 120 ([35054](#)) und 12 S-Bogenstücken 60° ([35055](#)) zusammengesetzt (es darf natürlich auch die graue Variante sein) richten wir die Führungsrollen so aus, dass das seitliche Spiel nach beiden Seiten etwa gleich ist. Die Spurkränze mit ihren Gummis sollen satt auf den Rädern aufliegen.

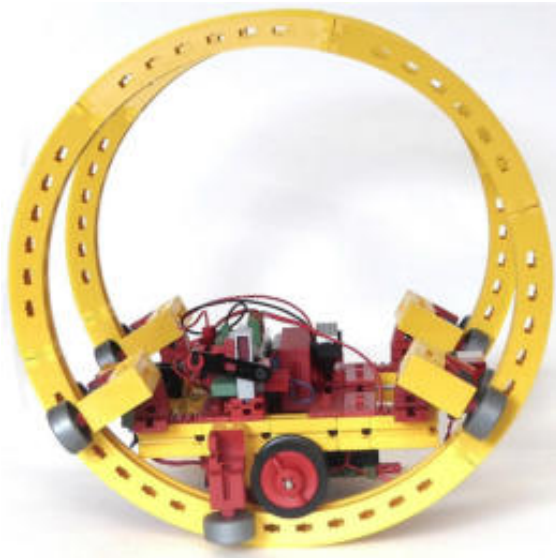


Abb. 9: Seitenansicht

Jetzt noch am Empfänger die Raupenfunktion einschalten, dann geht's los.

Niemand wendet schneller!

Schrägstehende Räder

Mit den ft-Winkelbausteinen lässt sich der optische Eindruck der schrägen Räder beim Hagelfeuer Droiden nachempfinden.

In der ft:pedia 1/2019 habe ich im Artikel „Die Welt der ft-Winkelbausteine Teil 3“ [5] ein Fahrzeug mit schrägen Rädern vorgestellt. Weitere Ähnlichkeit mit dem

Hagelfeuer Droiden besteht nicht, die Räder wurden per Zentralachse angetrieben und der Aufbau war nicht flach, sondern ging nach oben. Mit etwas Fantasie erkennt man in der Form den Buchstaben M, deshalb M-Fahrzeug.



Abb. 10: Das M-Fahrzeug

Näher dran am Hagelfeuer Droiden ist das Modell in Abb. 11.

Der Antrieb erfolgt wieder über Spurkränze, wobei die äußeren verkehrt herum stehen, um den Rädern mehr seitliches Spiel zu lassen.

Wegen der Räder, die nicht rund, sondern vieleckig aufgebaut sind, dürfen wir keine überzeugenden Fahreigenschaften erwarten. Aber es fährt und lässt sich lenken.

Die Räder sind Ufo-Ringe aus Winkelsteinen 7,5° [5]. Zwei XS-Motoren mit

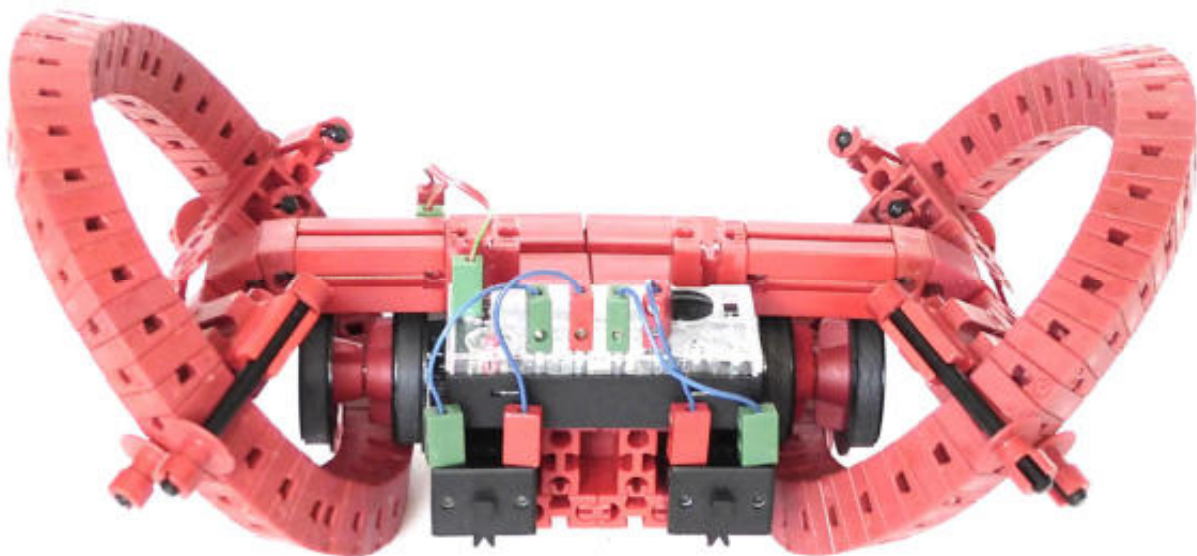


Abb. 11: Hagelfeuer-Droide mit Rädern aus Winkelbausteinen

Getriebe und U-Achsen 60 ([31063](#)) sorgen für den Vortrieb.

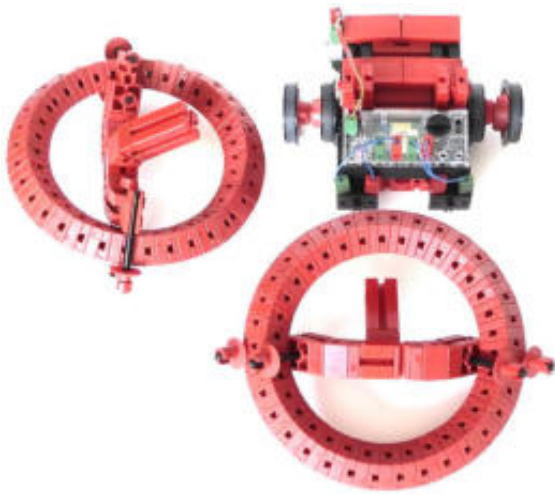


Abb. 12: Aufbau der Radhalterungen



Abb. 13: Die Oberseite

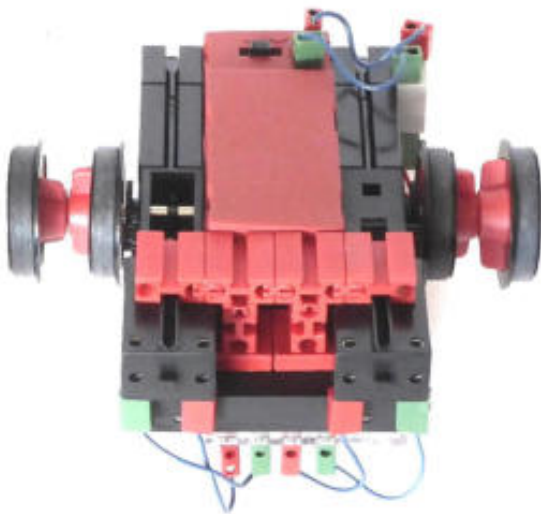


Abb. 14: Die Unterseite

Die Verankerung der Räder erfolgt mit Bausteinen 5 15×30 , die zur Hälfte über die offenen Seiten der Getriebe geschoben werden.

Darauf sitzen je ein BS 5 und ein BS 15 mit Federnocke. Für die Eingliederung des Batteriekastens nehmen wir zwei Federnocken auf den BS 5 15×30 , vier weitere Federnocken, zwei BS 5 und vier Bauplatten 15 \times 30 \times 3,75 1N ([32330](#)).

Und noch ein Zweispur-Zweirad

Auf der Convention 2018 hat mir der Zweirad-Flitzer sehr imponiert [1]. Darum habe ich ihm jetzt ein kleines Schwesterchen kreiert: Die Rollmaus (Abb. 15).



Abb. 15: Die Rollmaus

XS-Motor, Getriebehalter 50 mini ([31067](#)) und ein Z10 werden zusammengebaut.

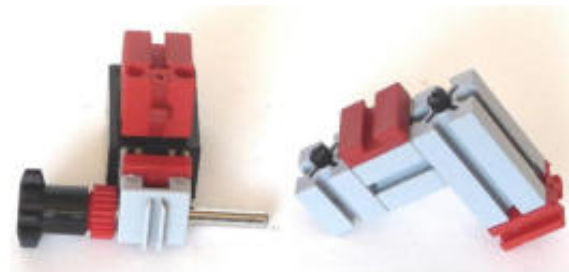


Abb. 16: Gerüst der Rollmaus

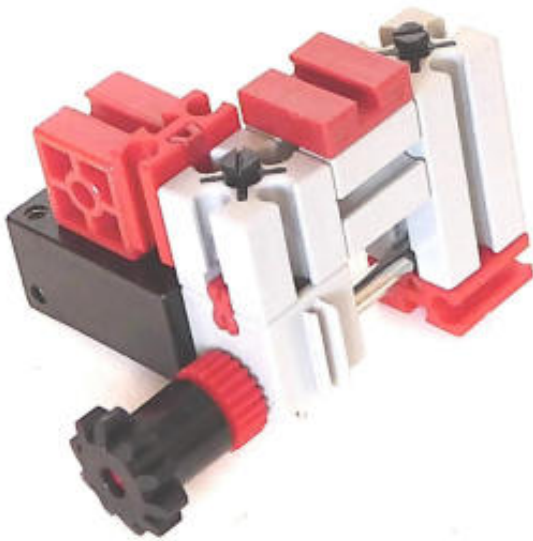


Abb. 17: Motor- und Getriebeblock

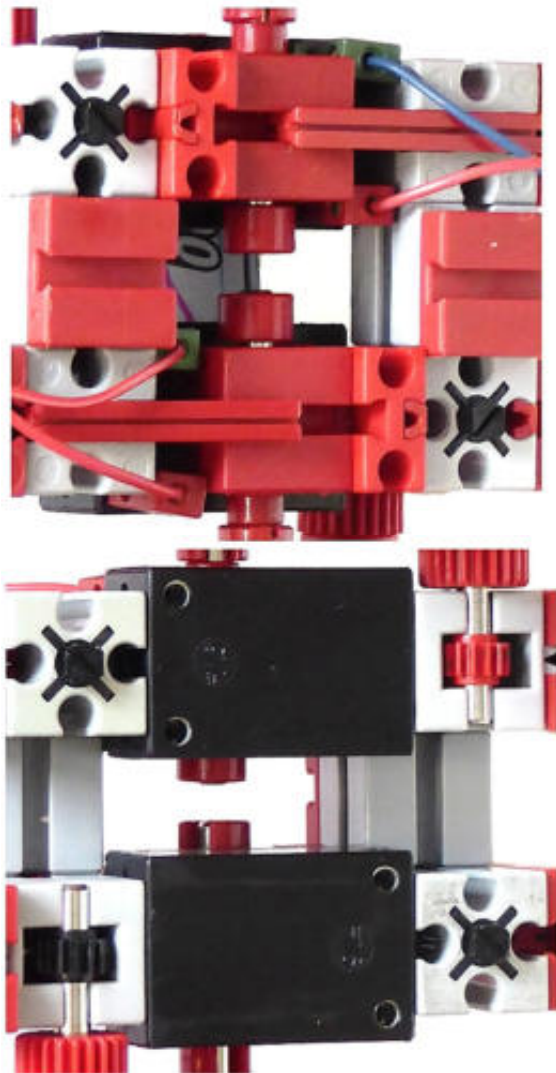


Abb. 18: Ober- und Unterseite ohne Fernsteuerung und Akku

Auf den Motor kommt ein BS15 Loch und an diesen ein BS7,5 mit Federnocke. In die kreisförmigen Öffnungen des Getriebes kommt ein Verbinder 15 ([31060](#)), auf den wir den rechten Block in Abb. 16 schieben. Wir erhalten das Gebilde gemäß Abb. 17, in dem der unbenutzte Teil der Getriebeachse in die Nut des BS30 reicht. Das funktioniert, weil die Federnocke mit ihrem langen Teil im BS7,5 steckt.

Den Motorblock nach Abb. 17 brauchen wir zweimal.

Jede der Achsen 60 wird mit Speichenrad 90×15 ([19317](#) oder [36916](#)), Zahnrad Z30 ([36264](#)), Klemmbuchse 5 ([37679](#)) und Abstandsring 3 ([31597](#)) ausgerüstet und auf der anderen Seite des BS15 Loch mit einer Klemmbuchse 5 gesichert.

Der Akku liegt auf den Motoren und kann mit einem 25 cm langen Silikonschlauch sowie mit zwei Pneumatik-Stopfen ([31708](#)) fixiert werden. Für eine bessere Bodfreiheit habe ich zwei Raupenbänder 230×12 ([31057](#)) aufgezogen (Abb. 19).

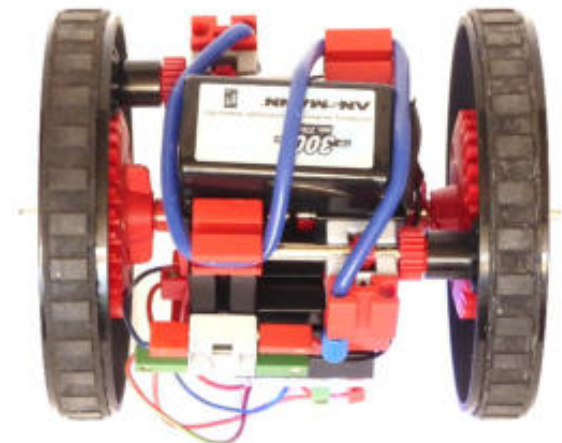


Abb. 19: Unterseite der Rollmaus

Verwenden wir Haushaltsgummis zur Befestigung des Akkus, dann haben wir auch ohne die Raupenbänder genug Bodfreiheit. Die vier BS7,5 werden dann durch vier Bausteine 5×30 ersetzt (Abb. 20).

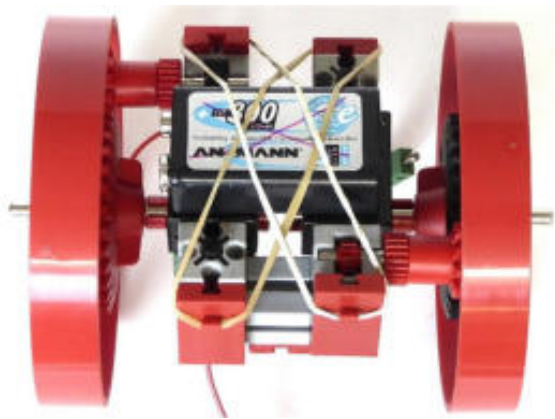


Abb. 20: Fixierung des Akkus mit Haushaltsgummis

Die kleine Maus macht mächtig Spaß! Wird die Geschwindigkeit schnell verringert, dann überschlägt sie sich, kann aber danach lustig weiterfahren.

Zur Orientierung habe ich am Heck eine Blink-LED angebracht (Abb. 21).

Quellen

- [1] ftCommunity: [Zweirad-Flitzer](#). Bilderpool.
- [2] ftCommunity: [fC Motion Tracking](#). Forum.
- [3] ftCommunity: [Hagelfeuer Droide](#). Forum.
- [4] ftCommunity: [Katapult und Hagelfeuer Droide](#).
- [5] Rüdiger Riedel: *Die Welt der ft-Winkelbausteine (Teil 3), UFO-Ringe*. [ft:pedia 1/2019](#), S. 15–22.
- [6] Rüdiger Riedel: *Richtungsanzeige mit LEDs*. [ft:pedia 4/2020](#), S. 40–41.

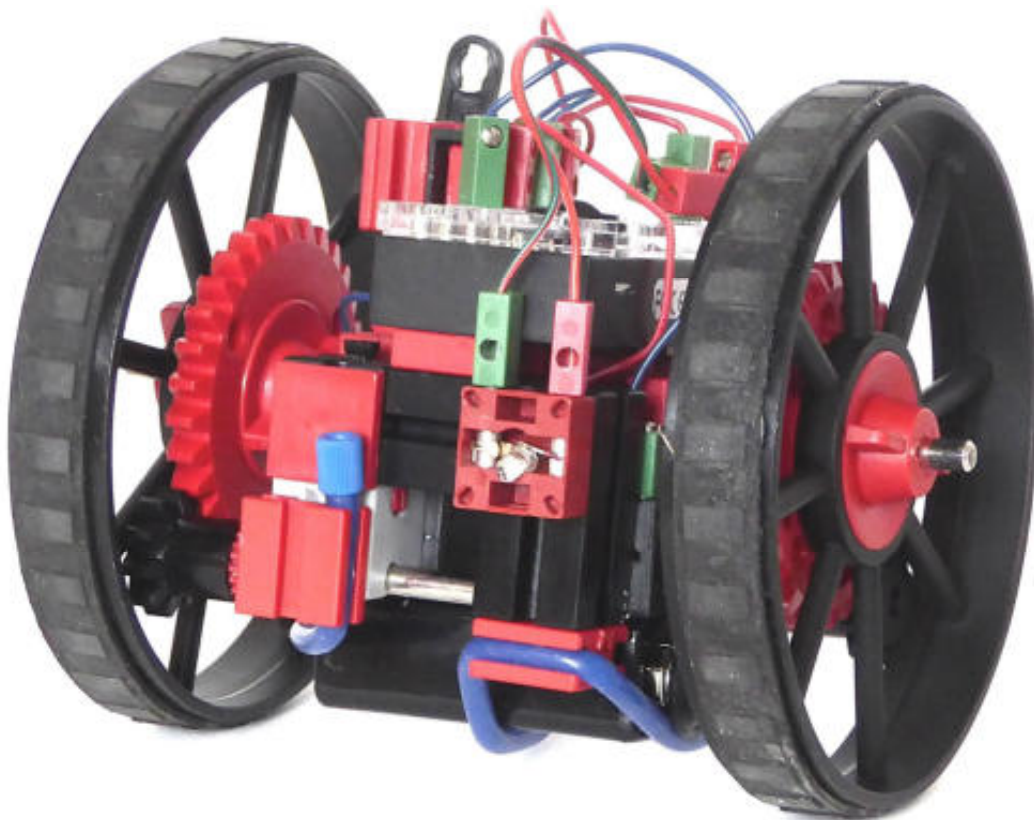


Abb. 21: Das Heck

Grundlagen

Der Stirling-Motor

Rüdiger Riedel

Er ist viel älter als Diesel- und Otto-Motor, wurde im Jahr 1816 von [Robert Stirling](#) (1790-1878) erfunden [3] und war gedacht als Verbesserung gegenüber der Dampfmaschine [1, 2] – einer der vielen Typen von Heißgasmotoren.

Etwas Geschichte

Nachgeschlagen in Meyers Konversationslexikon von 1885-92 [8] findet man unter „Stirling“ die engl. Grafschaft Sterling. Robert Stirling taucht als Schlagwort nicht auf.



Abb. 1: Funktionstüchtiges Modell einer Stirlingmaschine

Unter „Heißluftmaschine“ heißt es: *Die erste Idee einer Heißluftmaschine gab der Franzose Carnot; nach ihm kam der Engländer Stirling, welcher 1827 eine solche Maschine ausgeführt haben soll; doch wissen wir Zuverlässiges erst von der ersten Maschine Johan Ericssons, die zu einer Kraft von 5 Pferden in London gebaut und 1853 im „Mechanics Magazine“ beschrieben ward. Ericssons Maschine ... hat nur einen vorübergehenden Erfolg gehabt. Dagegen fand ... die Lehmannsche Heißluftmaschine ziemliche Verbreitung.*

So ändert sich Geschichte, niemand redet heute noch von der „Lehmannschen Heißluftmaschine“! Wir würden sie heute als Stirlingmaschine bezeichnen.

In der Encyclopaedia Britannica von 1910, 11. Ausgabe, findet man die Heißluftmaschine unter „Air Engine“ (der Link ist leider verloren gegangen, aber ich habe eine Kopie des Stichwortes). Allerdings war die Beurteilung hier vernichtend: Zu schwach und zu schwer! Keine Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Otto- und Dieselmotoren.

Für die Wirkungsgrade der damaligen Maschinen gibt es Anhaltspunkte. So heißt es im Meyerschen Lexikon: *Der Kohlenverbrauch liegt nach Brauers Versuchen zwischen 4 und 5 kg Steinkohlen mittlerer Güte pro Stunde und nutzbare Pferdekraft.*

Etwas Physik

Mit einem Brennwert der Steinkohle von etwa 30 MJ/kg (= 8,33 kWh/kg) und dem Äquivalent 1 PS = 0,735 kW ergibt sich ein Wirkungsgrad von etwa

2% !

Für einen Motor mit 100 PS = 73,5 kW würde das einen Verbrauch von ca. 450 kg Steinkohle pro Stunde bedeuten. Allerdings hatten die damals verbreiteten Motoren nur Leistungen von bis zu 5 PS.

Zehntausende dieser Maschinen sind in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gebaut worden.

Für alle Heißluftmaschinen gilt: Erwärmte Luft (allg. Gas) dehnt sich aus, bei Abkühlung zieht sie sich wieder zusammen.

Die Zustandsgleichung idealer Gase lautet:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

wobei p = Druck, V = Volumen, T = absolute Temperatur in Kelvin (K) = 273 + Temperatur in °C.

Für Luft gilt annähernd: Sei $T_1 = 20^\circ\text{C}$, $T_2 = 80^\circ\text{C}$, dann ist $p_2 \cdot V_2 = 1,2 \cdot (p_1 \cdot V_1)$.

Das heißt, bei einer Temperaturerhöhung von 20°C auf 80°C dehnt sich die Luft bei konstantem Druck um 20 % aus, oder der Druck erhöht sich um 20 % bei konstantem Volumen, oder es erfolgt eine Kombination von Druck- und Volumenvergrößerung.



Abb. 2: Aufgeschnittene Dose und Verdränger

Zur Veranschaulichung habe ich eine Getränkedose oben aufgeschnitten. Ein Styroporblock mit einem um einige Millimeter kleineren Durchmesser habe ich mit einem Magneten versehen, so dass ich mit dem zweiten Magneten den Block (Verdränger) von außen auf und ab bewegen kann. Ein Styroporkragen um die Dose dient zum Festhalten (Abb. 4), denn das Blech ist sehr dünn. Die Dose wird mit einer

Membran verschlossen. Bewegt man jetzt den Verdränger auf und ab, passiert gar nichts, da die Luft genügend Platz hat, um am Kolben vorbeizustreichen. Stellt man die Dose mit dem unteren Drittel in heißes Wasser und wiederholt das Ganze, dann hebt sich die Membran, wenn der Verdränger oben und der größte Teil der Luft unten im Bereich des heißen Wassers ist. Sie senkt sich wieder, wenn der Verdränger unten und die meiste Luft oben im gekühlten Bereich der Dose ist.



Abb. 3: Der Verdränger hat einen kleineren Durchmesser als die Dose



Abb. 4: Das fertige Versuchsmodell

Nun muss die Membran durch einen geeigneten Arbeitskolben ersetzt und zusammen mit dem Verdränger an einem gemeinsamen Schwungrad über passende Kurbeln befestigt werden.

In Abb. 1 befindet sich der Verdrängerkolben im Zylinder vorne links. Der Zylinder wird von der Spiritusflamme erhitzt und im hinteren Teil an den Kühlrippen luftgekühlt. Von dort führt ein Luftkanal nach vorne rechts zum Arbeitszylinder.

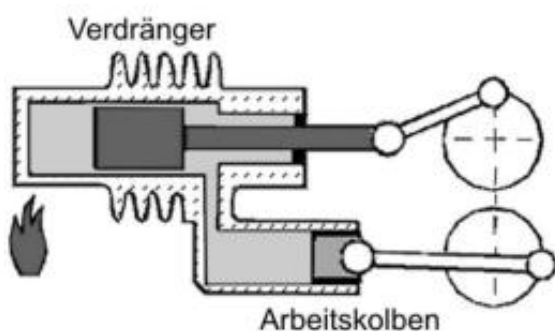


Abb. 5: Schematische Darstellung von Abb. 1

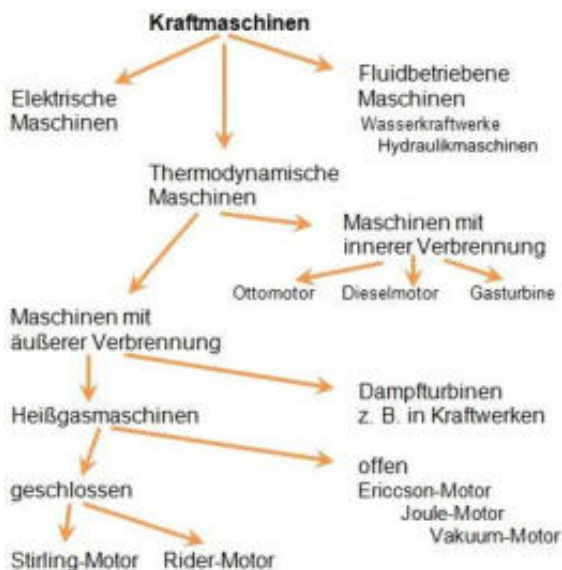


Abb. 6: Einteilung der Kraftmaschinen [6]

Das Modell einer Heißluftmaschine in Abb. 1 und 5 gehört zu den geschlossenen Typen, ebenso wie das hier besprochene Funktionsprinzip. Daneben gibt es Varianten mit zwei Kolben, Maschinen mit Luftaustausch nach außen und Vakuummaschinen, unter Modellbauern auch als Flammenfresser bekannt.

Eine generelle Übersicht über Kraftmaschinen gibt Abb. 6.

Weiterentwicklung

Entsprechend dem vernichtenden Urteil in der Encyclopaedia Britannica von 1910 war Anfang des 20. Jahrhunderts das Ende der Heißluftmaschinen gekommen – auch das der Dampfmaschinen, aber nicht der Dampfturbinen.

Der Regenerator

Wie effizient ist im Stirlingmotor die Umsetzung von Wärmeenergie in mechanische Energie? Oder: Wie kann man Wärmeverluste herabsetzen?

Das eine wäre, die heißen Teile der Maschine gegen die Wärmeabstrahlung zu isolieren. Das ist sehr wichtig, doch in der Maschine selbst, in ihrem Arbeitsprozess, steckt auch noch eine Möglichkeit, die zugeführte Wärme besser zu nutzen:

Immer, wenn die Luft durch die Bewegung des Verdrängers vom kalten in den heißen Bereich gedrückt wird, muss die Luft zunächst einmal wieder aufgeheizt werden, bevor sie durch weitere Wärmezufuhr Arbeit verrichten kann. Und umgekehrt, wenn die Luft vom heißen in den kalten Bereich verschoben wird, sollte sie erst schon einmal vorgekühlt werden, bevor bei weiterer Kühlung die Kompression erfolgen kann. Wenn man nun diese Energie, die die Luft auf dem einen Weg abgeben und die ihr auf dem Rückweg wieder hinzugefügt werden muss, zwischenspeichern und im richtigen Moment wieder entnehmen würde, dann wäre der Wirkungsgrad des Motors besser.

Diese Zwischenspeicherung der Wärmeenergie ist die Aufgabe des Regenerators, der Kern der Erfindung von Stirling. Der Regenerator kann z. B. aus feiner Kupferwolle bestehen, die die Wärme schnell aufnimmt und wieder abgibt.

Um 1940 herum versuchte sich die Firma Philips an einer massiven Verbesserung des

Wirkungsgrades und einer kompakteren Ausführung der Kurbelmechanik [7].

Das Gas zirkulierte durch großzügig bemessene Regeneratoren. Der Gasdruck wurde für ein besseres Leistungsgewicht stark erhöht, z. B. auf 40 bar (4000 Kilopascal), und zur Verringerung der Reibungsverluste wurde Helium als Arbeitsgas eingesetzt.



Abb. 7: Modell des Philips Stirling Motors

Durch die Verwendung eines Rhombengetriebes wurden Arbeits- und Verdrängerkolben fluchtend aufgebaut, der Motor wurde kompakter.

Diese interessante Konstruktion, vor allem durch das ungewöhnliche Rhombengetriebe, wollen wir in einem Modell nachempfinden.

Das Modell

Zunächst ein paar Ansichten des „hochgewachsenen“ Modells.

Die LED an der Spitze, eine sogenannte Rainbow-LED, soll mit ihrem Flackern und Farbwechsel die Wärmequelle andeuten.

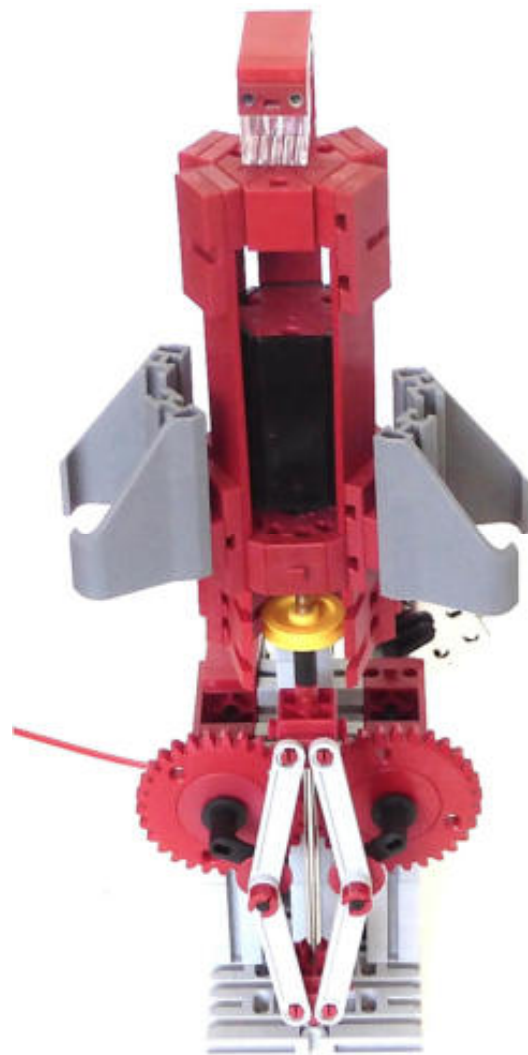


Abb. 8: Blick von schräg oben

Die vier Flügel „Seitenteile / Wing 45“ ([163436](#) und [163437](#)) stehen für die Wärmesenke in Form von Kühlrippen.

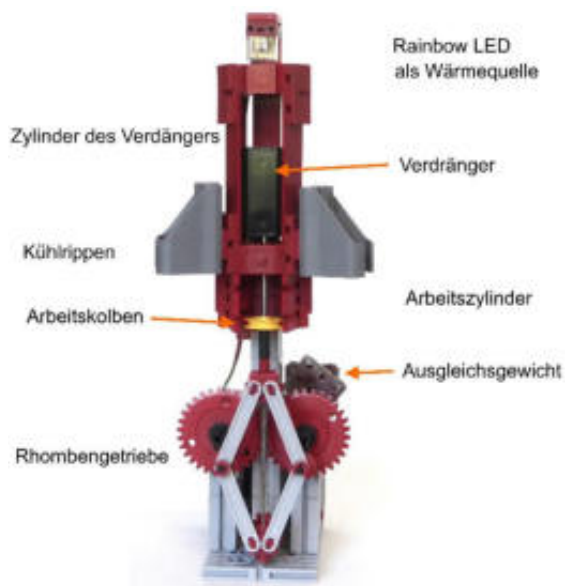


Abb. 9: Die Teile des Heißgasmotors

Die Arbeitsweise des Motors wird in Abb. 10 von links nach rechts dargestellt:

Pos. 1: Der Verdränger hat einen Großteil der Luft nach oben geschoben, sie erwärmt sich, dehnt sich aus und treibt den Arbeitskolben nach unten.

Pos. 2: Der Verdränger ist ganz unten, maximaler Luftanteil im Heißbereich, der Arbeitskolben ist ganz nach unten gedrückt.

Pos. 3: Der Verdränger ist oben, die Luft wird im Bereich der Kühlrippen abgekühlt und zieht sich zusammen, der Arbeitskolben wird nach oben gezogen.

Pos. 4: Der Verdränger ist immer noch oben, maximaler Luftanteil im Kaltbereich, der Arbeitskolben wurde ganz nach oben gezogen.

Auf einer Grundplatte 120 × 60 ([35129](#) oder [183016](#)) erfolgt der Aufbau nach Abb. 11 und 12.



Abb. 11: Grundgerüst

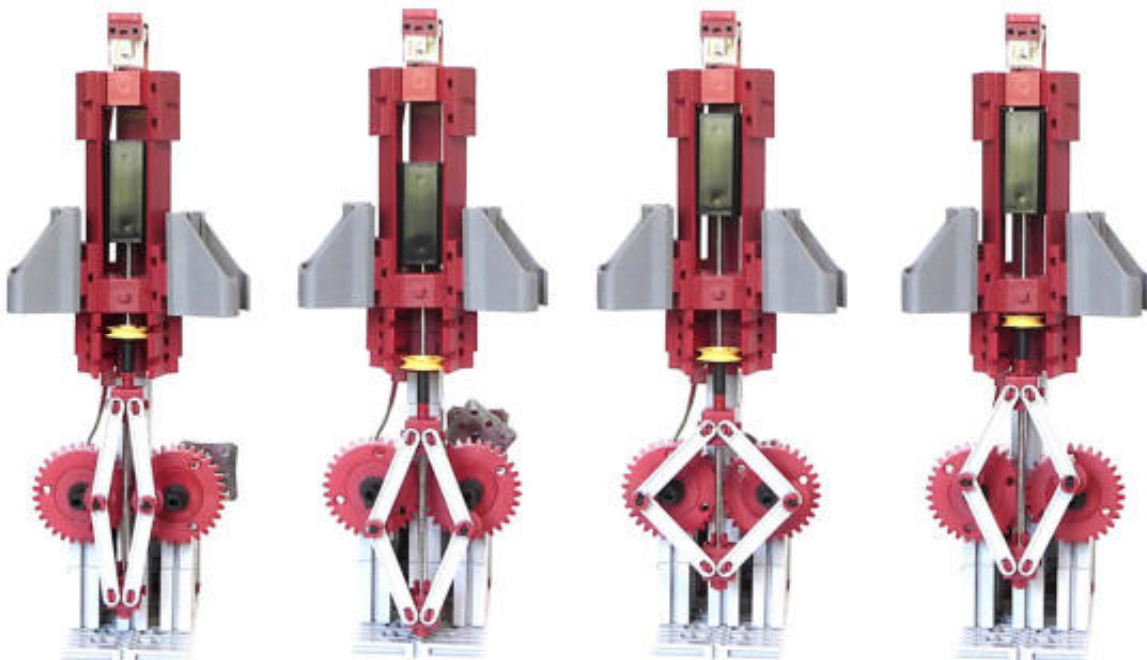


Abb. 10: Vier Stellungen des Rhombengetriebes

Den weiteren Aufbau des Gerüsts entnimmt man Abb. 13.

Zwei Rastachsen 60 ([35065](#)) werden durch die Bausteine 15 Bohrung ([32064](#)) gesteckt.

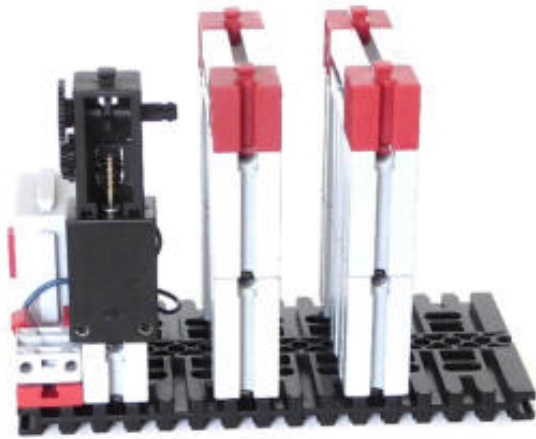


Abb. 12: XS-Motor mit Getriebe und Rastachse + Zahnrad Z28

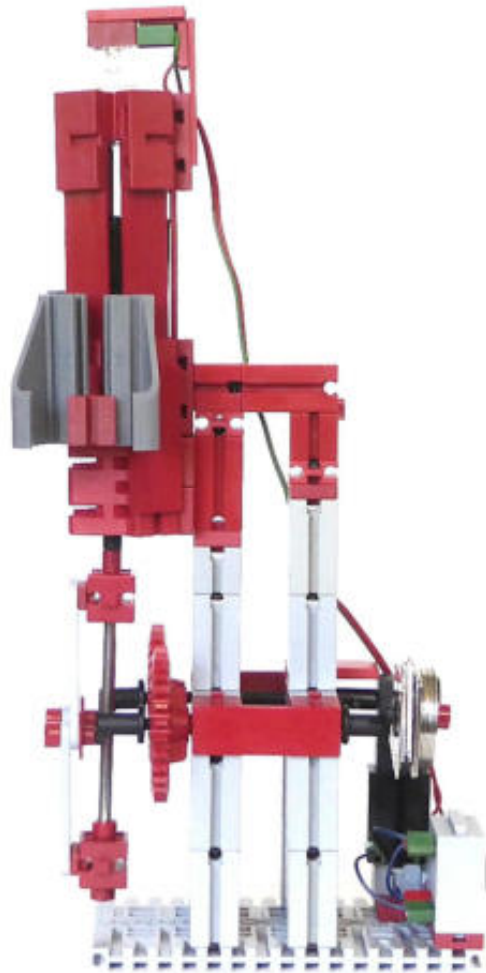


Abb. 13: Das vollständige Motorgerüst

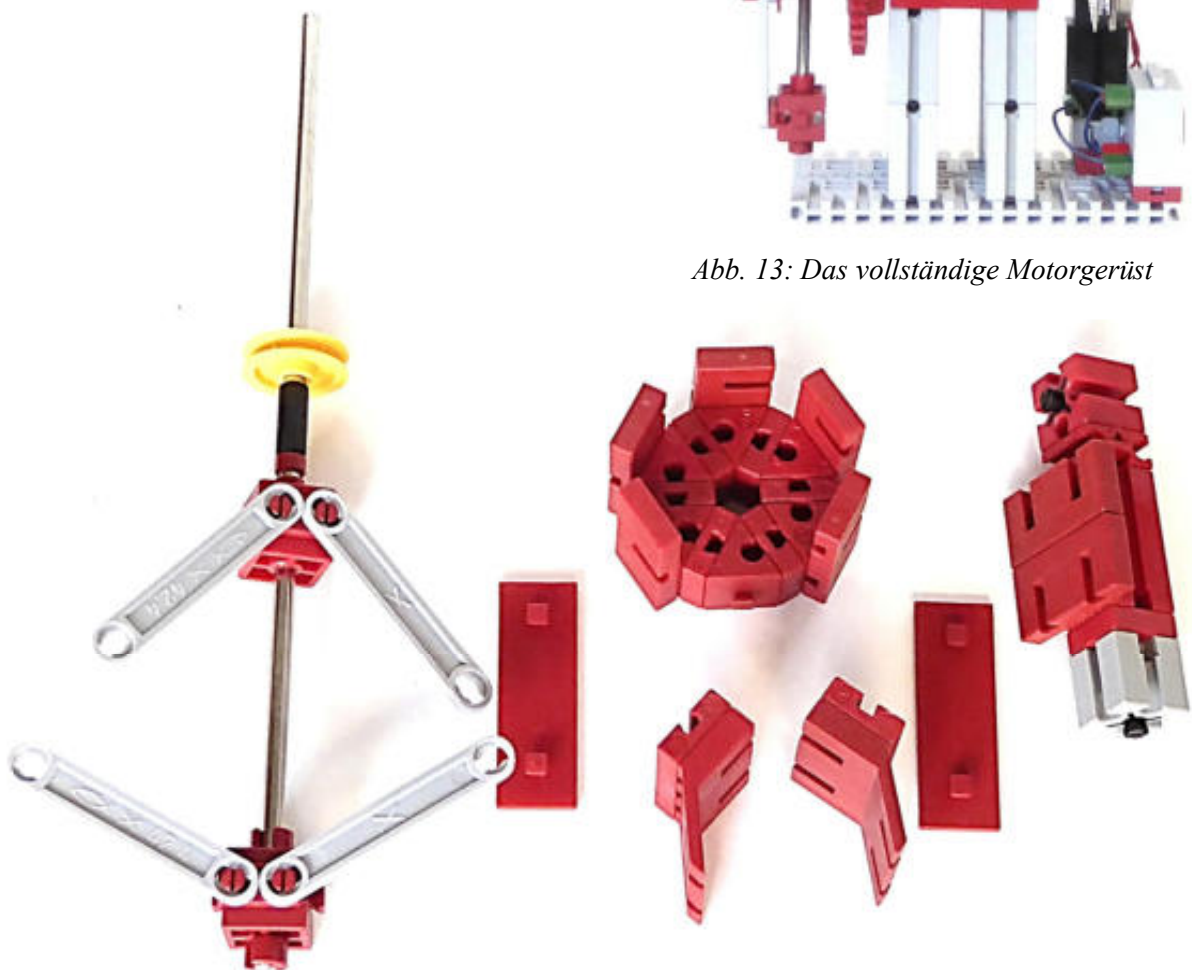


Abb. 14: Arbeitskolben und Teile der beiden „Zylinder“



Abb. 15: Die beiden „Zylinder“

Für die Antriebsstange verwenden wir eine Achse 200 ([35697](#)). Am unteren Ende wird ein BS15 Loch mit zwei Klemmbuchsen 5 ([37679](#)) fixiert, der zweite BS 15 mit Loch rutscht frei auf der Achse. Je ein S-Statikadapter ([35975](#)) in den BS 15 mit Loch hält jeweils zwei S-Streben 42,4 ([36315](#)).

Über den oberen BS 15 mit Loch werden zwei Abstandsringe 3 ([31597](#)) und eine

Lagerhülse 15 ([36819](#)) auf die Achse geschoben, die den Kolben, eine Seilrolle 21×7 ([129700](#) oder [35795](#) oder [35797](#)) vor sich her schieben.

Rechts in Abb. 14 sind Teile des Verdrängerzylinders zu sehen und zwei V-Schaufelhalter 30 ([38411](#)), die den Zylinder des Arbeitskolbens andeuten.

In Abb. 15 ist links das fertige Bauteil und rechts der Zusammenbau des Verdrängerzylinders zu sehen. Die Wände bestehen aus 5 Bauplatten 15×75 2Z ([38244](#)). Der Bau ist etwas knifflig; nicht vergessen, den Verdrängerkolben vor Einfügen der letzten Bauplatte einzusetzen.

Der Verdrängerkolben bewegt sich frei im Zylinder und führt gleichzeitig die Antriebsstange. Diese wird von unten durch den BS 15 mit Loch gesteckt und hebt den Kolben ohne weitere Befestigung an seinem Dach.

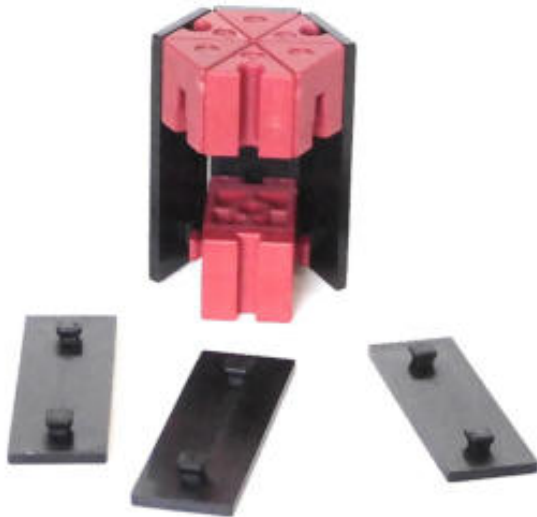


Abb. 16: Verdrängerkolben

Auf die Rastachsen 60 kommen zwei Zahnräder Z30 ([36264](#)) und zwei Rast-Gelenkkurbeln ([35088](#)). Die Zahnräder müssen so gedreht werden, dass die Kurbelstellungen Abb. 17 entsprechen, hier also gleichzeitig nach unten zeigen. Auf das zweite Ende der rechten Rastachse kommt eine um 180° gedrehte Rastkurbel zur Aufnahme eines Ausgleichsgewichtes.

Auf die vorderen Rastkurbeln schieben wir noch je eine Hülse mit Scheibe ([35981](#)). Zum Schluss wird die Antriebsstange eingefädelt und die S-Streben 42,4 mit Klemmbuchsen 5 auf den Kurbeln beweglich fixiert.

Das Motorgetriebe wird mit einer Rastkupplung 15 ([35073](#)) mit der linken Rastachse verbunden.

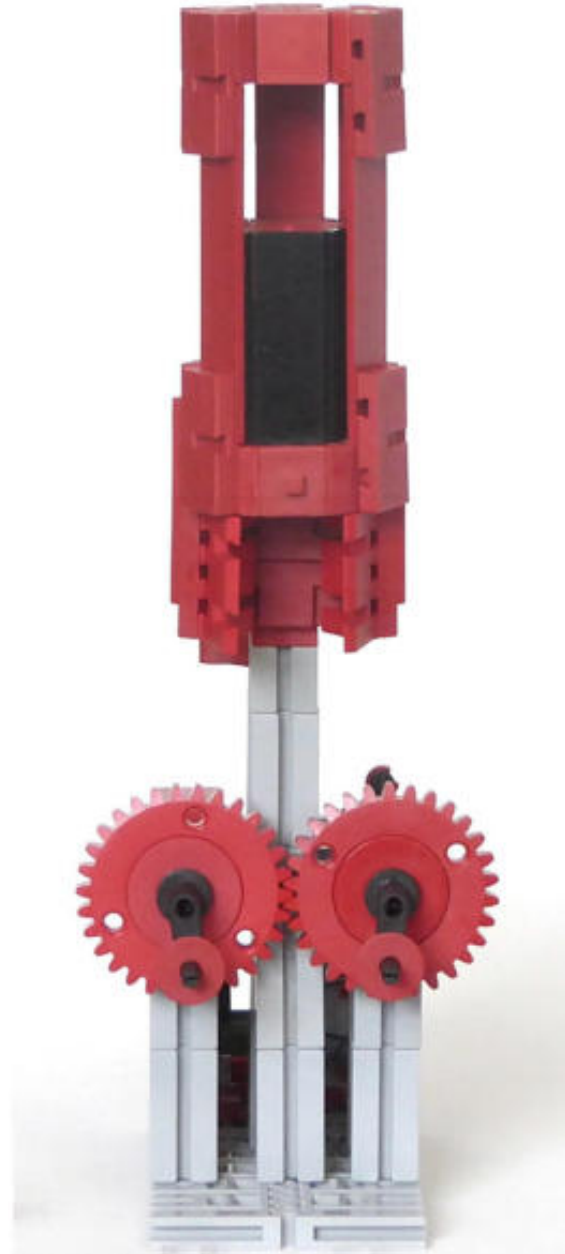


Abb. 17: Front vor Einsatz der Antriebsstange

Beim Betrieb merken wir deutlich, wie schwer der Motor beim Anheben der Antriebsstange arbeiten muss und wie flott die Abwärtsbewegung erfolgt. Zum Massenausgleich brauchen wir an der hinteren Kurbel ein Gewicht von etwa 50 g. In Abb. 7 sind die 12 Scheiben aus einem

Metallbaukasten zu erkennen; damit erreichen wir einen sehr ruhigen Lauf des Motors. Eine reine fischertechnik-Lösung seht ihr in Abb. 18 aus drei Speichenfelgen ([31986](#)), vier Achsen 80 und einer Achse 50 in der Mitte.

In eine der Zuleitungen zur Rainbow-LED habe ich einen Elektromagneten geschleift ([31324](#), [32363](#) oder Topfmagnet). Ohne diesen E-Magnet, der hier als Drossel arbeitet, funktioniert die LED bei parallel geschaltetem XS-Motor nicht richtig. Oberhalb von etwa 5 V leuchtet sie praktisch nur noch konstant blau.

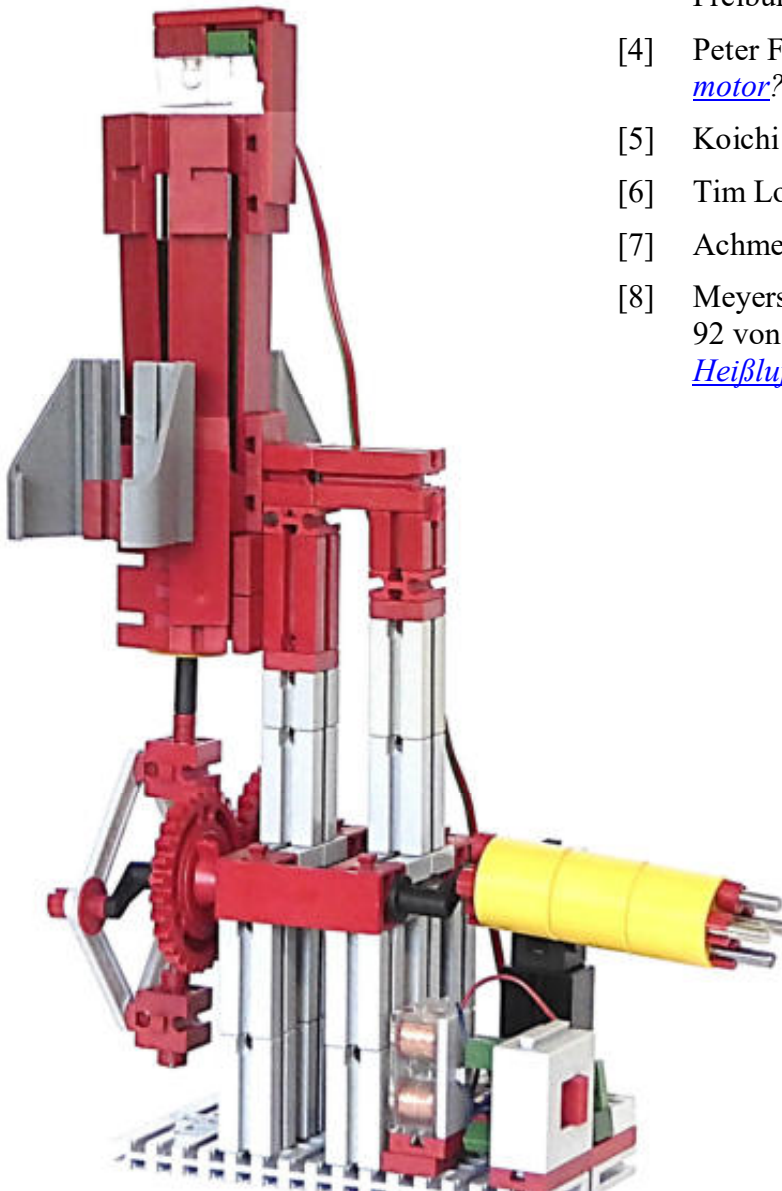


Abb. 18: Motor mit Ausgleichsgewicht

H.A.R.R.Y. gab mir den Tipp, dass der Motor wohl durch Spannungsspitzen von seinem Kommutator die Logik in der LED stört.

Quellen

- [1] Dirk Fox, Thomas Püttmann: [*Technikgeschichte mit fischertechnik*](#). dpunkt Verlag, 2015.
- [2] Dirk Fox: *Die Dampfmaschine*. [ft:pedia 4/2012](#), S. 38–45.
- [3] Martin Werdich, Kuno Kübler: *Stirling-Maschinen*. Staufen bei Freiburg: ökobuch 1999
- [4] Peter Fette: [*Wie arbeitet der Stirlingmotor?*](#)
- [5] Koichi Hirata: [*Stirling Engine*](#).
- [6] Tim Lohrmann: [*Stirlingmotor*](#).
- [7] Achmed Khammas: [*Stirling-Motor*](#).
- [8] Meyers Konversationslexikon 1885-92 von „Hans“ bis „Irene“: [*Heißluftmaschinen*](#).

Modell

Großprojekt Seilbahn (Teil 3): Die Stationen

Tilo Rust

Diese Artikelserie begleitet das Großprojekt „Kuppelbare Einseilumlaufbahn/Doppelmayr (10-MGD)“ im Fördertechnik-Museum Sinsheim von Anfang bis zur Fertigstellung und Ausstellung auf der BUGA 2023 [1] in Mannheim. In dieser Folge zeigen wir die Planung der Stationen.

Die Stationen einer Seilbahn sind technisch gesehen die Kernelemente der Anlage. Viel zu oft lassen wir uns jedoch von den ausgefallenen Designs der Gebäude beeindrucken, ohne unter die Haube zu schauen. Dabei beginnt erst dort die faszinierende Reise ins Land der Technik.

Tatsächlich bestehen alle Stationen (je nach Typ der Anlage) aus den gleichen Komponenten, die von den Herstellern [2] wie in einem Baukastensystem nach den Anforderungen zusammengestellt werden. Im Fall unseres Vorbildes auf der BUGA [1] ist die Station relativ einfach aufgebaut, birgt aber für uns Modellbauer einige Herausforderungen. Zusätzlich wird uns der Transport

des Modells vor weitere Rätsel stellen, denn mit ihrer Größe müssen die Stationen mehrfach geteilt werden.

Typfrage

Es gibt mehrere Arten von Seilbahnen; die wichtigsten seien hier grundsätzlich vorgestellt. Mehr dazu werden wir auf unserem YouTube Kanal [3] zeigen und in einem weiteren Projekt – derzeit noch Top-Secret.

- *Standseilbahnen* fahren auf Schienen und werden mit Seilen gezogen. Sie können große Steigungen erklimmen und sind mit die ältesten Seilbahnen. Andererseits transportieren sie z. B. auf Flughäfen [4] häufig Passagiere



*Abb. 1: So könnte die Station Spinelli im Original aussehen. Gut zu erkennen ist die Stütze direkt vor der Station, die Medienfassade und rechts die Garagierung
(Quelle: Doppelmayr Seilbahnen GmbH [5], mit freundlicher Genehmigung.)*

zwischen den Terminals. (Modelle davon sieht man auch im Bilderpool der ftCommunity [5].)

- *Fix gekuppelte Einseilumlaufbahnen* kennen wir als Skilifte, Ankerlifte oder fixgeklemmte Sessellifte. Die „Fahrzeuge“ sind dabei fest an ein endloses kombiniertes Trag- und Zugseil gekuppelt, das in den Stationen um eine Seilscheibe umgelenkt wird.
- *Kuppelbare Einseilumlaufbahnen* (wie unser Modell): Hier werden die Fahrzeuge (Sessel oder Gondeln) in den Stationen vom Seil getrennt und abgebremst, um ein leichteres Ein- und Aussteigen zu ermöglichen.
- *Pendelbahnen* kennen wir als klassische paarweise „Gondeln“, die viele Leute gleichzeitig nach oben bringen, während die zweite Gondel nach unten fährt. Hier dienen ein oder zwei Seile als Tragseile, ein weiteres als Zugseil. (Auch hier gibt es im Bilderpool schöne Modelle.)

- *Dreiseil-Bahnen*: Umlaufbahnen mit großen Kabinen, zwei Tragseilen und einem Zugseil, um weniger seitenwindanfällig zu sein.
- *Funitel* bestehen aus zwei kombinierten Trag- und Zugseilen, in welche die Gondeln beidseitig in der Mitte hängend gekuppelt werden. (Tipp für Modellbauer: sehr interessant zu bauen.)

Wer mehr über die unterschiedlichen Seilbahntypen erfahren möchte, sollte unbedingt auf der Website von Doppelmayr/Garaventa [2] im Bereich „Systeme“ stöbern. Dort finden sich viele Anregungen für neue fischertechnik-Projekte von klein bis groß.

Grundsätzlicher Aufbau

Die Stationen sind (auch im Original) grundsätzlich wie folgt aufgebaut (Abb. 3):

- *Mehrere Steher* (= Pfeiler) (im Bild A, B, C) tragen die komplette Konstruktion

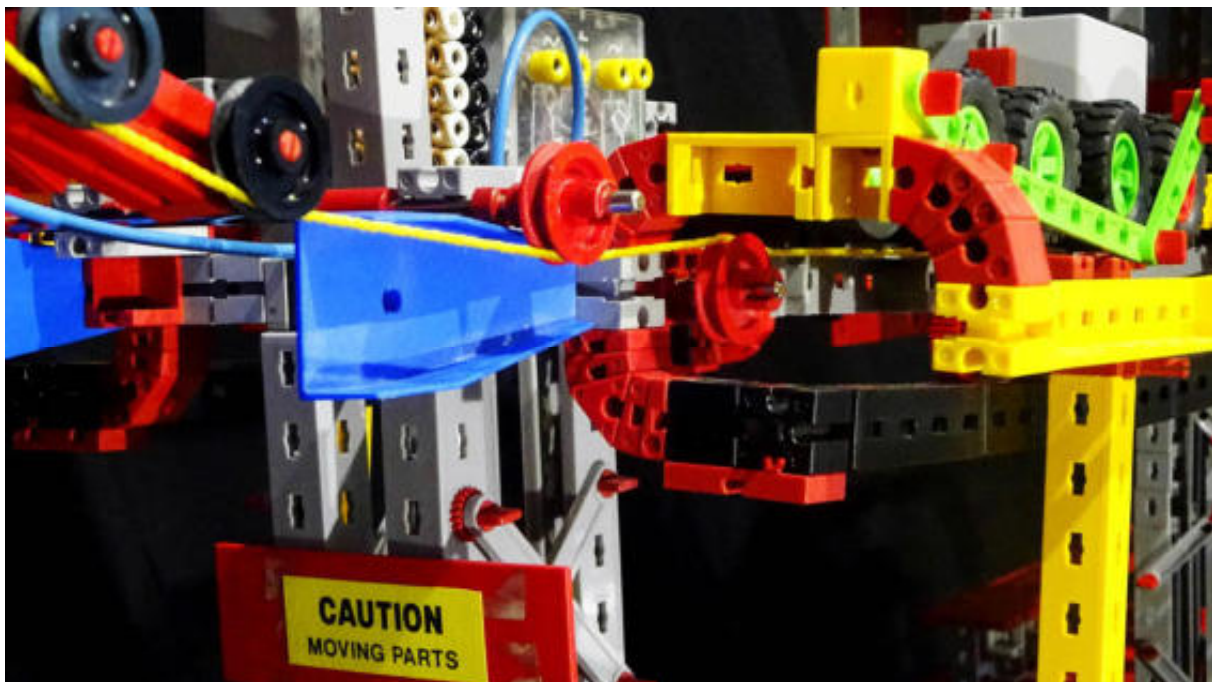


Abb. 2: Der Eingleisungsbereich (nahe dem vorderen Steher) macht den Begriff „C-Stück“ deutlich: An den in grau dargestellten Industrieprofilen formt sich ein nach unten führendes Stück bis zur Laufschiene (schwarz) und nach oben bis zur gelben Stabilisationsschiene. In diesem Luftraum befindet sich das Seil und fährt die Klemme der Gondel hinein.

und sind im Original auf massive Betonfundamente gestellt. In unserem Vorbild der BUGA23-Anlage und im Modell sind dies drei Steher, wobei der mittlere der massive Hauptsteher ist. Wir werden unsere Station auf ein Untergestell aufbauen – hierzu gleich mehr.

- Über den Stehern liegen *Quertraversen*, an denen *Längsträger* befestigt sind (welche hinten in eine Rundung übergehen).
- An diesen Trägern hängen *Haltevorrichtungen* (wir nennen Sie „C-Stücke“, da ihre Form daran erinnert), welche dann die *Laufschiene* und *Stabilisierungsschiene* tragen.
- Ebenso auf den Trägern eingehängt ist der *Spannwagen*, welcher die *Seilscheibe* und den *Antrieb* (10) trägt. Die *Reifenförderer* sind dort ebenfalls aufgesetzt.
- Auf den Trägern sitzt ein Teil der elektrischen Anlagen und das *Dach* in Form einer Haube.
- Am Hauptsteher befinden sich die *Spannzylinder*, welche wir in unserem Modell durch ein verstecktes Gewicht (10a) unterstützen.

Funktionsabschnitte

Die Aufteilung der Station ist wieder in mehrer Funktionsabschnitte aufgeteilt (Abb. 3 und 4). Bei einer kuppelbaren Einseilumlaufbahn (kurz MGD) sind das:

- Die der Station *vorgelagerte Stütze mit Niederhaltebatterie* (1, blauer Bereich): Sie sorgt dafür, dass das Seil horizontal in die Station einläuft.
- Der Bereich zum *Eingleisen* (2): Die Gondeln fahren jetzt gleichzeitig auf dem Seil und auf Schienen, die sie dann durch die ganze Station leiten. Dieser Bereich muss später starke Belastungen der schwingenden Gondeln aushalten.
- *Kuppelbereich* (3 – grüner Bereich): Die Kuppelklemmen (bei unserem Modell sind das Totpunktklemmen nach dem Vorbild von Doppelmayr) werden in ca. 0,85 Sekunden geöffnet. Die Gondel ist noch so schnell wie das Seil, fährt aber nur noch auf den Schienen. Danach taucht das Seil nach unten ab und wird nach innen zur Seilscheibe geführt.
- *Verögerer* (4 – roter Bereich): Die Gondeln werden mit den Reifenförderern gebremst. Wir werden in 13 Stufen von

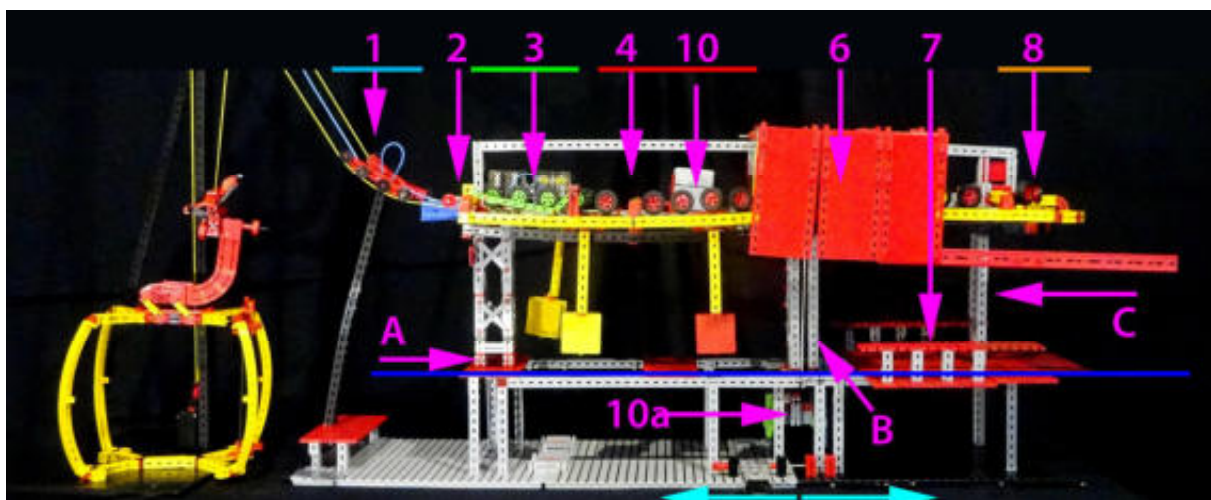


Abb. 3: Das Mini-Modell ist nicht maßstabsgerecht, nicht verhältnismäßig und nicht funktionsfähig. (Die Gondeln sind hier als fischertechnik-Kästchen an den statischen Trägern symbolisiert. Zum Größenvergleich die Gondel des Originalmodells, links neben der Station.) Die Grundlinie der Station (blau) steht auf einem Grundgestell (s. u.). Sie kann in zwei Module getrennt werden (türkise Pfeile).

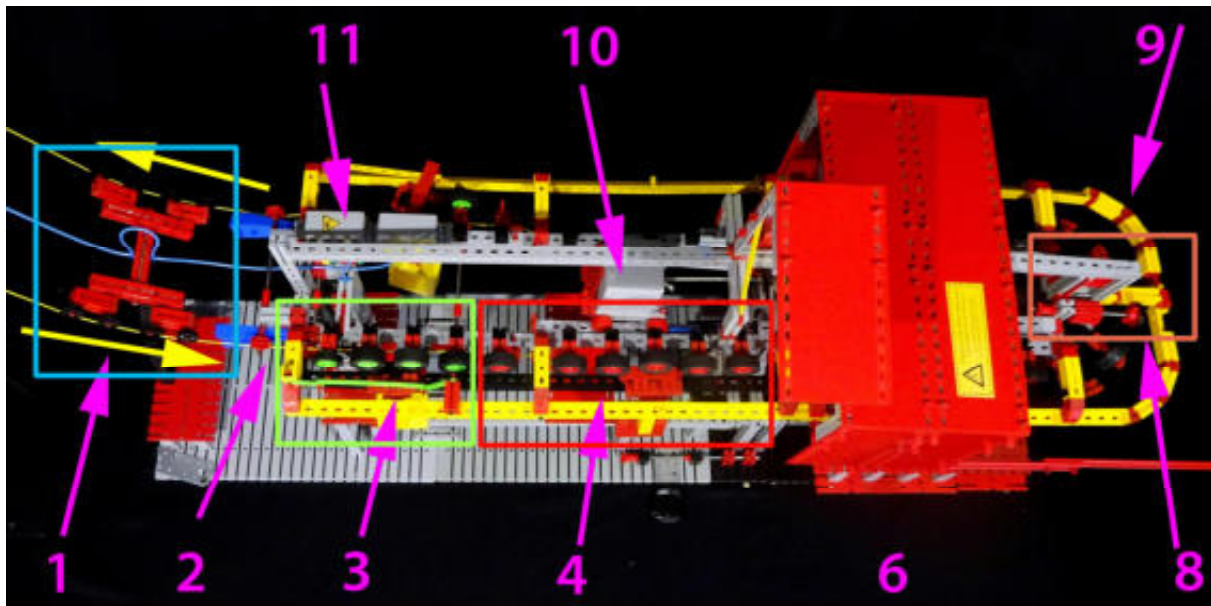


Abb. 4: Das Mini-Modell, Ansicht von oben: Gut zu erkennen sind die einzelnen Bereiche (siehe Text). Die Bauteile sind (soweit möglich) nach Farben getrennt: klassisch in Grau stellt alle Industrieprofile dar, schwarz die Laufschiene, gelb die Stabilisationsschiene.

60 cm/s auf 3 cm/s bremsen, genau wie die Originale (im Maßstab 1:10).

- **Türöffnungsbereich** (6 – hinter der Dachhaut verborgen): Über einen Hebel am Gondelgehänge wird die Tür geöffnet.
- **Ausstiegsbereich** (7): Hier befindet sich der Bahnsteig, der passgenau an die Gondel geführt wird.
- **Regelbereich** (8 – orange): In der Kurve der Station, in der keine Passagiere aus- oder zusteigen, befinden sich einige Rollen des Reifenförderers, die bedarfsgerecht etwas schneller oder langsamer laufen können, um den Abstand der Gondeln am Seil zueinander zu regeln.
- **Weiche** (9, etwa hinter dem Regelbereich): Ein ziemlich komplizierter Bereich, an dem die Gondeln aus der Station gefahren werden können, um sie zu reparieren oder in Betriebspausen in eine Garage zu bringen. (Wir werden die Garagierung in unserem Modell ebenfalls bauen.)

Danach kommen wieder die Bereiche in umgekehrter Reihenfolge, also Einstieg, Türschließen, Beschleunigen, Einkuppeln, Ausfahrt.

Die Seilscheibe und der Antrieb (10) sind in den Stationen je nach Anforderung untergebracht. In der Anlage von Doppelmayr auf der BUGA23 werden in beiden Stationen Spannwagen mit je 7 m Spannweg vorhanden sein. Der Antrieb befindet sich in der Station „Spinelli“. (Der Name kommt vom Parkgelände, in dem die Station stehen wird. Es entspricht der Tal- oder Antriebsstation. Die Umkehr- oder Bergstation wird etwa auf gleicher Höhe im Luisenpark gebaut.) In unserem Modell müssen wir aber aus Platzgründen auf den Spannweg in der „Luisenpark“-Station verzichten, da das Modell im Fördertechnik-Museum in Sinsheim [6] nicht so viel Platz haben wird.

Problembewältigung

Jeder Bereich der Station bringt seine eigenen technischen Herausforderungen mit. Um diese anzugehen, haben wir zuerst ein Mini-Modell gebaut, also ein Modell unseres Modells. Es ist *nicht* maßstabsgetreu und die Verhältnisse stimmen nicht, es funktioniert nicht und ist nicht stabil. An diesem Mini-Modell können wir aber die

einzelnen Bereiche sowie Fallstricke erkennen und umgehen. Im Folgenden sind einige davon beschrieben.

Dieses Mini-Modell wird auch auf unserem YouTube-Kanal ausführlich vorgestellt und ist auf der ft:süd:convention 2021 in Sinsheim zu sehen.

Seilspannung

Das kombinierte Trag- und Zugseil unseres Modells muss mit 500 N (entspricht etwa dem Gewicht einer Masse von 50 kg) gespannt werden. Wir haben hierüber bereits in der ft:media 2/2021 berichtet [7] und ein Video auf unserem YouTube-Kanal veröffentlicht [8]. Dazu ist die Seilscheibe mit ca. 80 cm Durchmesser samt Antrieb auf einem Wagen montiert, der leicht schräg nach unten entlang der Bahnachse geschoben werden kann und somit das Seil strafft. Mit den Hydraulikzylindern von fischertechnik ist es aber definitiv nicht möglich, diese Kraft aufzubringen, geschweige denn 70 cm Hub zu erzeugen.

Wir gestalten also modifizierte Zylinder nur für die Optik. Die Zugkraft wird von einem Gewicht unter der Station aufgebracht. Es ist versteckt; die Seile werden bestmöglich kaschiert. Im Mini-Modell können wir tüfteln, wo das Seil entlanggeführt werden muss, um später im Hauptsteher untergebracht zu sein. Knifflig: Das Gewicht muss im Unterbau untergebracht werden und hat nur 35 cm Hub. Deswegen werden wir ein Gewicht von 100 kg einbauen, das an einem Flaschenzug angebracht ist.

Transportproblem

Die Anlage muss später transportabel sein. Unsere erste Idee war, sie auf Europaletten zu montieren. Mit deren Größe von nur 80 × 120 cm müssten wir aber unsere Station in viele Module teilen. Immerhin wird sie ca. 320 cm lang, über 140 cm breit und fast 80 cm hoch (ohne Unterbau). Deswegen haben wir uns entschlossen, die Station in nur zwei Teile zu trennen, und zwar genau am Hauptsteher.

Wir werden die Anlage dann auf einen eigens konstruierten Unterbau stellen – hierzu gleich mehr. Wir denken, dass wir damit durch normale Doppelflügeltüren durchkommen sollten (wie sie z. B. beim Aufbau auf einer Messe zu erwarten sind).

Im Mini-Modell können wir überlegen, wo wir die Station teilen. Wir können die Verbindungen sehen und erkennen, wie viele Stellen wir trennen müssen. Über die Elektrik und die Dachkonstruktion haben wir uns natürlich auch Gedanken gemacht.

Die Stützen und Gondeln sowie Zubehör werden wir aber nach wie vor auf Europaletten verlasten.

Dachkonstruktion

Eine der Herausforderungen wird die Dachkonstruktion sein. Weniger der Umstand, dass wir wie bei der BUGA23 eine Medienfassade einbauen möchten, also Bildschirme, die unseren Besuchern Informationen zeigen, sondern mehr, dass das Dach ebenfalls teilbar sein muss und zusätzlich geöffnet werden kann. Schließlich können wir nicht, wie in den großen Originalen, mit einer Treppe in den Maschinenraum gelangen, um Wartungen durchzuführen.

Hier zeigt sich der Vorteil des Mini-Modells: Ursprünglich hatten wir geplant, die Dachhaube nach hinten wie eine Kofferraumhaube zu öffnen. Dabei würde aber, selbst bei einem komplexeren Hubmechanismus, die Haube mit der Überführung in die Garage kollidieren. An der Trennstelle kämen sich die Hauben außerdem selbst ins Gehege.

Unser Projektmitglied Alexander Salameh hat während eines unserer Bautage im Museum die Lösung gefunden: Das Dach wird in einige Segmente getrennt, die dann seitlich wie Flügeltüren von Sportwagen hochgeklappt werden. Dazu erhält die Anlage einen zusätzlichen Längsträger in der Mitte des Daches, der außerdem zur Stabilität beiträgt.

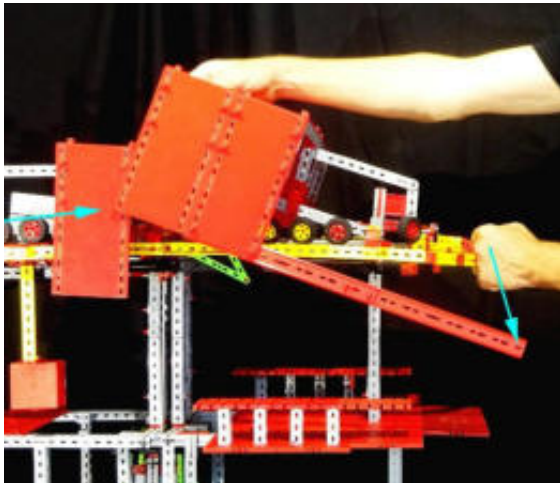


Abb. 5: Das war die Idee eines klappbaren Daches. Doch zeigt das Mini-Modell eindeutig, dass wir an der Trennlinie und im Übergang zur Garagierung (durch Faust angedeutet) mit der Haube anstoßen würden (Pfeile). Die Laufschiene symbolisiert hier die Unterkante der Dachhaube.

Stationsteilung

Die Teilung der Station wirft aber noch weitere Probleme auf: Der Spannwagen muss definiert auf einem einzigen Modul lokalisiert sein und darf nicht darüber hinweg ragen. Antrieb und Technik müssen auf die Module elegant verteilt werden. Besonders der Antrieb der Reifenförderer wird hier zum Problem. Im Original besitzt eine Seilbahn nur einen einzigen Motor! Den Hauptantrieb nämlich, der über die Seilscheibe das Förderseil bewegt und damit auch die Reifenförderer antreibt. Und zwar wirklich trickreich: Zwei Rollen am Eingang und Ausgang der Station erhalten vom Seil Abtrieb, werden also von diesem angetrieben! Und diese Rollen treiben über Keilriemen den kompletten Reifenförderer an. Das hat den Vorteil, dass alle Elemente vollkommen synchron laufen, egal wie schnell die Anlage fährt, und bei einem Halt wirklich alles steht. Ein Ausfall eines

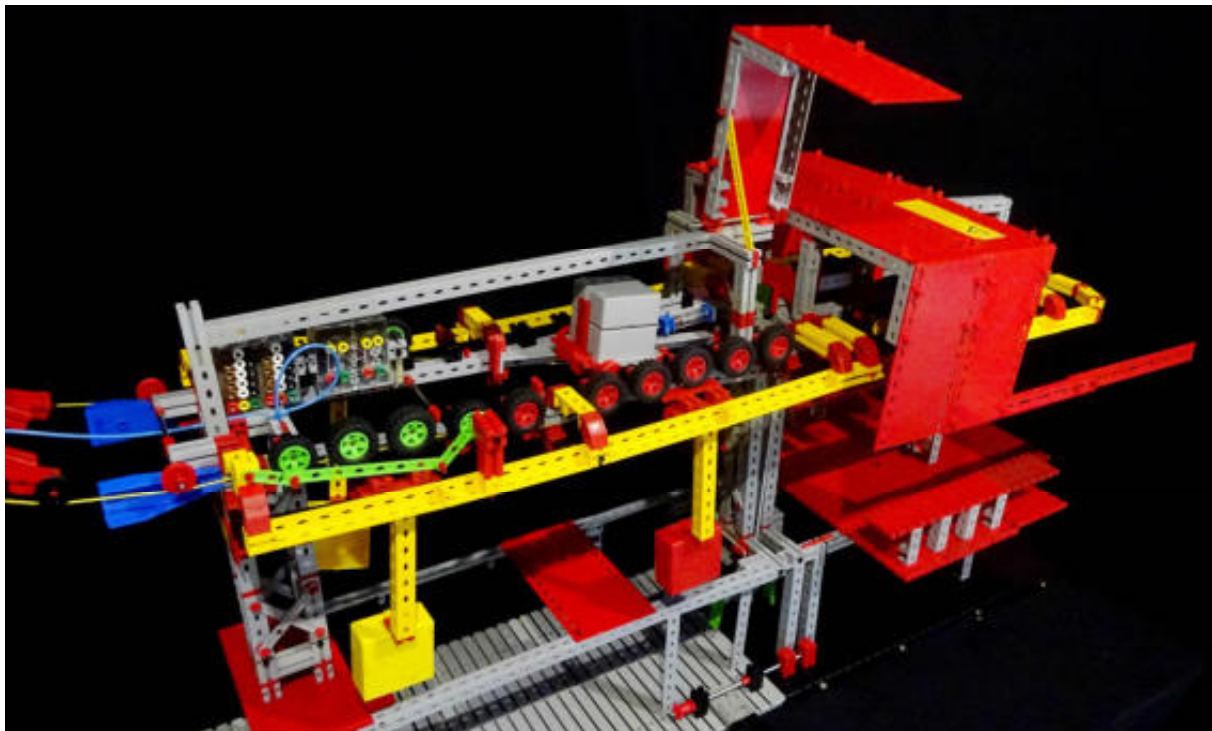


Abb. 6: Hier ist die bessere Lösung: Die Abschnitte des Daches werden an einem mittleren Träger aus Industrieprofilen nach oben geklappt. Wir können sogar Linearantriebe einsetzen, um dies zu automatisieren. Das Bild gibt auch einen herrlichen Überblick über die Station und zeigt, dass das Dach wie eine Haube in der Mitte von den Stehern und der Trägerkonstruktion getragen wird.

zusätzlichen Motors oder der Energieversorgung wird dadurch ebenfalls ausgeschlossen. Wird die Anlage im Notbetrieb gefahren, funktioniert dennoch jede Komponente auch ohne Strom.

Für uns ist das nur teilweise machbar. Nicht nur wegen der Kräfte, die zu bewältigen sind, sondern auch wegen der Teilung der Anlage. Deswegen werden wir (versteckte) Hilfsmotoren einsetzen, deren Positionen schon im Mini-Modell zu ermitteln sind.



Abb. 7: Die Station wird in zwei Module getrennt. Für alle Träger, die elektrischen Verbindungen und die Mechanik müssen Trennstellen definiert werden, die beim Zusammenbau einfach einzustecken sind und dennoch exakt und nahtfrei passen sowie den Belastungen standhalten.

Ein weiteres Problem ist, dass die Anlagenteile exakt montiert und beim Zusammenfügen genau ausnivelliert werden müssen.

Hierzu haben wir Führungs- und Verbindungsmechanismen entwickelt, über die wir in weiteren Beiträgen berichten werden.

Zusätzlich müssen wir daran denken, dass wir die Steuerleitungen (im Mini-Modell mit blauen Pneumatikschläuchen dargestellt) zu den Stützen und Bergstation an den Stationsenden trennbar vorsehen.

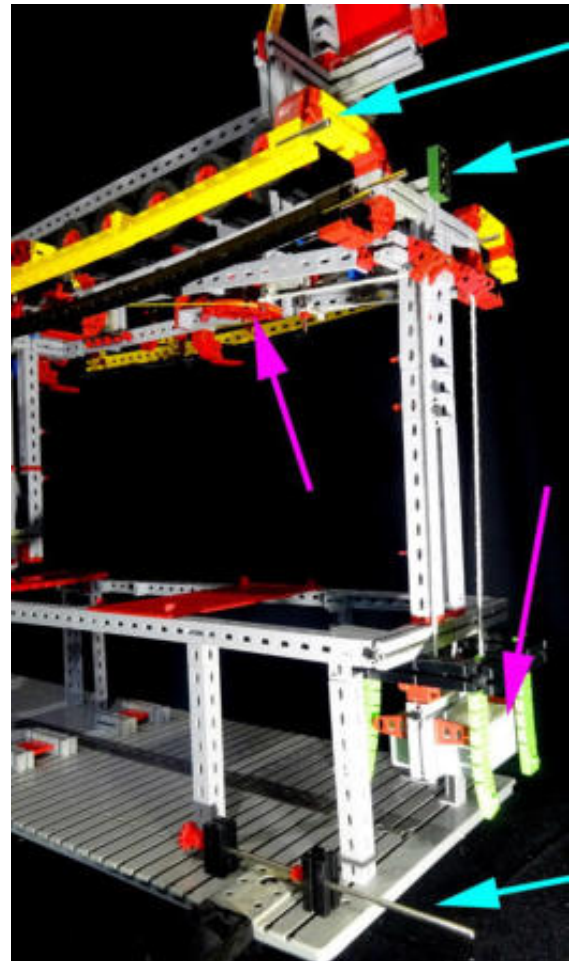


Abb. 8: Der vordere Teil der Station nach der Trennung. Zu sehen sind einige Kontaktstellen sowie die Verriegelung des Unterbaus. Nun erkennt man auch die Seilscheibe, die im Mini-Modell allerdings viel zu klein ist, und das Spanngewicht, das im Untergestell untergebracht wird.

Seilführung

Ein Problem, das nur wir Modellbauer haben, ist das Seil. Es ist in unserem Modell wie im Original endlos gespleißt, hat also keine Öffnung. Schaut man sich die Seilführung an, so stellt sich heraus, dass die

Anlage nicht mehr demontiert werden kann, wenn das Seil einmal eingelegt wurde. Im Original kein Problem, denn dort wird die Anlage errichtet, als letztes das Seil aufgelegt, dann erst zusammengespleißt und nie wieder auseinandergenommen. Im Modell ist das keine Option, da es mehrfach auf- und wieder abgebaut werden soll, um an unterschiedlichen Orten ausgestellt zu werden.

Unser Projektmitglied Ulrich Bessler entwickelte die Lösung: Nachdem alle Gondeln abgehängt wurden und das Spannungsgewicht vollkommen entlastet ist, kann das Seil aus der Station ausgebaut werden. Zuerst müssen die Laufschienen nacheinander demontiert werden, das Seil wird nach unten fallen gelassen. Dann wird der vordere Steher geteilt. Er besitzt ein Segment, welches nach Entriegelung herausgeschoben werden kann. Dieses ist wiederum zweigeteilt. Zuerst wird der Steher hinten geöffnet, das Seil in die Mitte geführt. Dann das entfernte Teil wieder eingesetzt und verriegelt, so dass die Stabilität der Anlage wieder hergestellt wird.

Dann wird am Steher der vordere Bereich geöffnet und das Seil ist frei.

Der Aufbau geschieht sinngemäß in umgekehrter Reihenfolge.

Erst nachdem wir dieses Problem gelöst hatten, konnten wir sagen, dass die Anlage tatsächlich transportabel ist. Die Verbindungsstellen zur Aufhängung der Laufschiene und der genaue Mechanismus im Steher wurden als Prototyp gebaut und können jetzt im Modell eingesetzt werden.

Unterbau

Dass unsere Anlage kein „Tischmodell“ mehr ist, wird bei der Dimension klar. Nicht nur die 30 m Förderstrecke und die über 4,60 m hohen Stützen sind gewaltig, sondern auch die Station. Dennoch muss sie im Museum relativ einfach zerlegt werden können, um auf anderen Ausstellungen wieder aufgebaut zu werden. Gleichzeitig kann sie nicht einfach auf dem Boden stehen.

Die Talstation (Spinelli) wird ihre Nulllinie etwa auf Kniehöhe haben. Die Bergstation

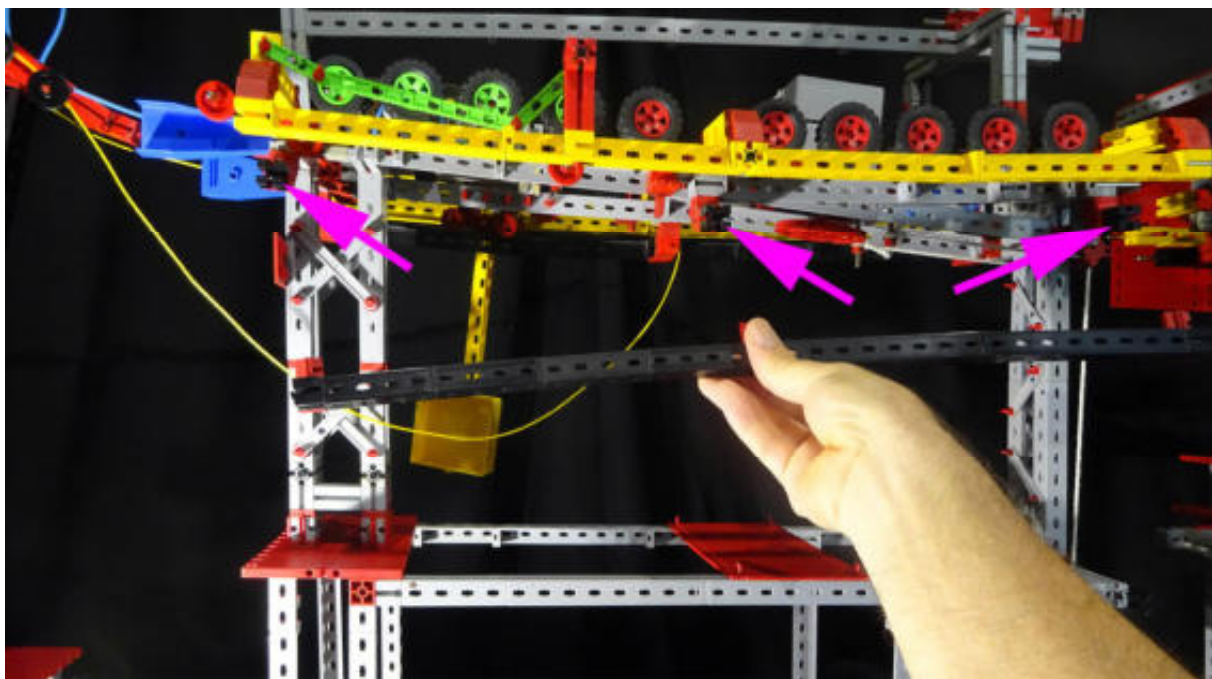


Abb. 9: Die Fahrschiene wird an den C-Stücken (Pfeile) demontiert. Nun kann das Seil (gelb) heruntergenommen werden.

(Luisenpark) soll sogar auf einem eigenen Gestell montiert werden, in das die Besucher eintreten können, wobei die Station dann auf einer Plexiglasscheibe über den Köpfen steht und so von unten betrachtet werden kann.

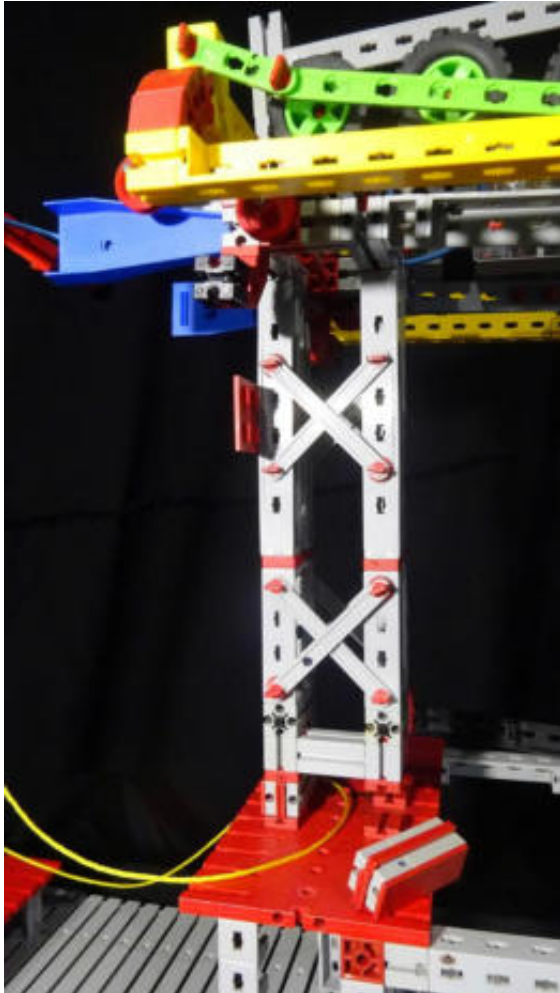


Abb. 10: Der vordere Steher (A) kann am Fuß durch ein entriegeltes Stück geöffnet werden. Das Seil wird in die Mitte eingelegt, dann das Stück wieder eingesetzt. Anschließend folgt die vordere/linke Öffnung und das Seil ist frei.

Diese Gestelle werden von uns aus speziellen Industrieprofilen gebaut, welche sowohl die Lasten aufnehmen als auch präzise gefertigt werden können.

Diese Profile bilden aber auch den statischen Grundaufbau der Station: Aus ihnen sind die Steher, Quertraversen und Längsträger gefertigt. Das ist nötig, da wir mit fischertechnik die Lasten nicht aufnehmen

(auch nicht mit den Alu-Profilen) und gleichzeitig stabil und modular bleiben könnten. Die Profile werden mit fischertechnik verdeckt. Sie haben außerdem einen wesentlich geringeren Kostenfaktor, denn bei den Längen, die wir benötigen, würden unsere Aluprofile jedes Budget sprengen.

An den Untergestellen werden auch versenkbare Rollen montiert, sodass wir die Module leicht an den Ausstellungsort schieben können. Aufnahmen für Gabeln von Hubfahrzeugen werden vorgesehen, da im Museum die Station auf einer Empore stehen wird, von der sie beim Verleih heruntergehoben werden muss. Außerdem kann das Modul damit leicht auf einen Lkw verladen werden. Justierbare Stützen zum Nivellieren und Halterungen für Transport Sicherungen müssen vorgesehen werden. Um das alles zu verstehen, haben wir sogar ein Mikro-Modell gebaut: ein Modell vom Modell des Modells (Abb. 11).

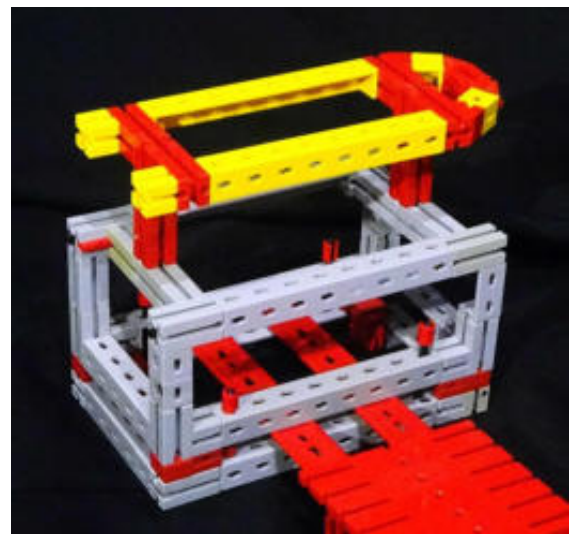


Abb. 11: Das Mikro-Modell des Unterbaus (in grau) aus Industrieprofilen. Es ist mit Hubwagen zu transportieren, fährt auf eigenen Rollen, hat justierbare Stützen und trägt das komplette Modell.

Alleine dieser Unterbau wird also eine Menge Grips erfordern und uns noch lange beschäftigen. Dennoch: Die Mini- und Mikro-Modelle haben uns sehr geholfen, die Grundprobleme zu lösen – jetzt geht es ans Detail.

Vom Mini-Modell zum Original

Ein Modell in dieser Komplexität (und diesem Kostenfaktor) zu bauen, ist nicht nur eine Herausforderung mit fischertechnik. Auch Logistik und Technik für die Ausstellung sind zu beachten. Deswegen war es jetzt schon klug, ein Mini-Modell zu bauen. Viele Fallstricke können wir damit jetzt schon erkennen und umgehen. Vor allem aber verstehen wir (und unsere Sponsoren) nun, wie komplex alles ist und wo wir im Modell vom Original abweichen müssen.

Im nächsten Schritt bauen wir nun einige Elemente im finalen Maßstab:

- Ein Segment der Führungsschienen und Stabilisierung, inklusive Trennmöglichkeit für die Entnahme des Seils ist bereits gebaut. Damit lassen sich der Luftraum und die Stabilität sowie die Kräfte ermitteln.
- Der Bereich zum Ein- und Auskuppeln wird im Original gebaut und getestet. Schließlich donnern hier alle 10 Sekunden die Gondeln hindurch und werden in weniger als 0,9 s ausgekuppelt bzw. eingekuppelt – den ganzen Tag lang, über mehrere Monate.
- Der Reifenförderer muss gebaut und getestet werden. Wie groß muss der Anpressdruck sein, wieviel Drehmoment benötigt die Förderung?
- Der Spannschlitten kann mit den Industrieprofilen gebaut werden, um den Antrieb aufzunehmen. Passen die Übergänge ins fischertechnik-Raster?

Anhand dieser Module können wir dann die Anzahl der Teile, die wir benötigen, berechnen und bestellen. Hier danken wir insbesondere dem Fördertechnik Museum [6] in Sinsheim, das uns für die Prototypen fischertechnik leihweise zur Verfügung stellt und in deren Werkstatt die Industrieprofile gesägt und montiert werden.

Die Zeit drängt

Doch es ist noch ein langer Weg und die Zeit wird knapp. Nicht nur die Statik, auch die Mechanik und Elektrik müssen gebaut werden. Wir müssen testen und optimieren, damit die Anlage den Dauerbetrieb aushält.

Dokumentation [9] und Videoproduktion, Artikel schreiben, am Original forschen und Bestellungen auslösen, auf Teile warten und diese dann zusammenbauen. An Deko und Ausstellungsmaterial ist noch nicht mal gedacht. Wir brauchen noch viele Helfer [10].

Quellen

- [1] Bundesgartenschau [BUGA23](#) in Mannheim
- [2] Webseite von [Doppelmayr/Garaventa](#)
- [3] [Youtube-Kanal](#) des Projekts
- [4] Standseilbahnen von Doppelmayr/Garaventa: [Cable-Liner](#)
- [5] Seilbahnprojekte im [Bilderpool der ftc](#).
- [6] [Fördertechnik-Museum Sinsheim](#)
- [7] Tilo Rust: *Großprojekt Seilbahn (Teil 2): Erste Elemente*. [ft:pedia 2/2021](#), S. 45–53.
- [8] Video: [Seilspannung von Seilbahnen / Spanngewicht](#). Youtube.com
- [9] Bauanleitungen und fischertechnik-Designer-Dateien zum [Download](#).
- [10] Kontakt zur Projektgruppe „Seilbahn“: Projektleiter Tilo Rust, Schifferstadt, ft.seilbahn@gmail.com
- [11] fischertechnik community Forum „[Community-Projekt: Seilbahn](#)“
- [12] Öffentlicher Mediapool des Seilbahnprojekts [auf Google Drive](#)

Elektronik

Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 4)

Peter Krijnen

Da die Silberlinge an ihren Ausgängen nur 20 mA vertragen, braucht man eine Möglichkeit, größere Ströme zu schalten: das Relais.

Im Laufe der Jahre umfasste das fischertechnik-Sortiment mehrere Relais.

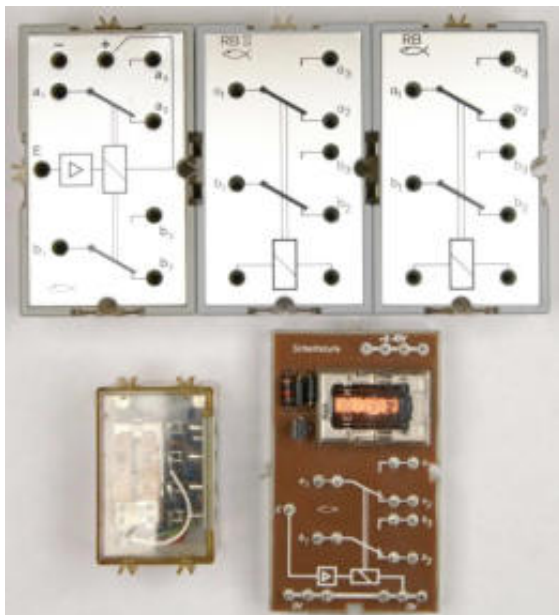


Abb. 88: Auf einen Blick: Alle von fischertechnik hergestellten Relais

1970 stellte fischertechnik die Licht-Elektronik-Kästen l-e1 ([30081](#)) und l-e2 ([30082](#)) vor. Im gleichen Gehäuse wie der Batteriestab [31041](#) ist ein Relais eingebaut, das von einem kleinen Verstärker angesteuert wird ([31360](#)). Diese Version war auch im Schulkasten u-t4 ([30609](#)).

1971 kommt für die Elektromechanik-Kästen e-m1 ([30071](#)) und e-m2 ([30072](#)) ein separates Relais ([35793](#)) (Bild 89) auf den Markt: e-m5 ([30075](#)). Dieses 6 V-Relais mit zwei Wechselskontakten ist in einem $30 \times 30 \times 45$ mm kleinen Gehäuse eingebaut.



Abb. 89: Das erste Relais ([35793](#))

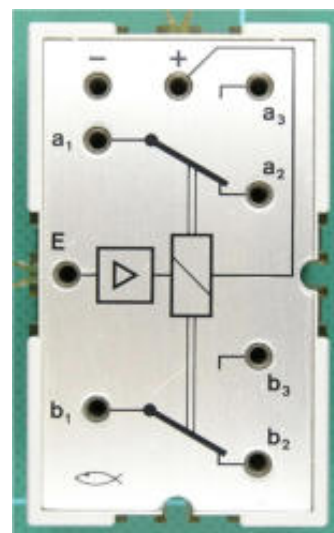


Abb. 90: Relaisbaustein ([36392](#))

1972 wurden die l-e-Kästen durch die e-c-Kästen ersetzt, und auch die e-m-Kästen werden ersetzt. Wir sehen das Relais

([35793](#)) in hobby 3 ([30623](#)) und dem davon abgeleiteten Schulkasten u-t3 ([30608](#)).

Der neue e-c-Kasten ([30085](#)) enthält neben einem Gleichrichtermodul ([36393](#)) auch ein Relaismodul mit Verstärker ([36392](#), Abb. 90). Beide sind mit einem $45 \times 75 \times 30$ mm kleinen transparenten Gehäuse mit silberfarbenem Deckel ausgestattet: die Silberlinge. Dieses Relais finden wir auch im neuen Elektronikkasten hobby 4 ([30624](#)).

1973 wird u-t4 durch eine Version mit Silberlingen ersetzt. Diese Box enthält jedoch ein weiteres Relais: Dieses Relais ([36734](#), Abb. 88 rechts oben) ist mit einem Gleichrichter ausgestattet, der mit vier Dioden aufgebaut ist.

1975 wird Relais [35793](#) durch Relais RBII ([37683](#), Abb. 88 oben Mitte und Abb. 99) ersetzt. Dieses Relais befindet sich ebenfalls in einem Silberling-Gehäuse. Es hat die gleiche Frontplatte wie das Relais [36734](#), aber besitzt keine weitere Elektronik.

1977 wird das IC-Digital-Praktikum ([30630](#)) vorgestellt. Dies ist der letzte Kasten, die noch ein Relais ([38617](#), Abb. 88 rechts unten) enthält. Mit einem Verstärker ausgestattet, verfügt auch dieses Relais über zwei Wechselkontakte. Die großen Änderungen liegen in den Abmessungen ($45 \times 75 \times 15$ mm) und der Art der Anschlüsse. Die Silberlinge verwendeten

Relais	Artikel	Typ	Hersteller	Nenn-Spannung	Widerstand Ohm	Ansprech-Spannung	Maximal-Spannung	Minimal-Strom
e-m5	35793	?	Gruner	6 V	99 Ω	2,9 V	12 V	30 mA
e-m5	35793	?	Gruner	6 V	98 Ω	2,4 V	12 V	20 mA
e-m5	35793	?	Gruner	6 V	111 Ω	3,4 V	12 V	30 mA
e-m5	35793	?	Gruner	6 V	104 Ω	3,0 V	12 V	30 mA
h4 RB-v1	36392	V23012-A0131-A001	Siemens	9 V	150 Ω	5,5 V	16,5 V	40 mA
h4 RB-v2	36392	V23012-A2131-A001	Siemens	9 V	148 Ω	4,9 V	16,5 V	30 mA
u-t4 RB	36734	V23012-A0131-A001	Siemens	9 V	153 Ω	5,1 V	16,5 V	30 mA
h3 RBII	37683	V23012-A2131-A001	Siemens	9 V	153 Ω	5,3 V	16,5 V	30 mA
h3 RBII	37683	V23012-A2131-A001	Siemens	9 V	151 Ω	5,0 V	16,5 V	30 mA
h3 RBII	37683	V23012-A2131-A001	Siemens	9 V	154 Ω	4,5 V	16,5 V	30 mA
h3 RBII	37683	V23012-A2131-A001	Siemens	9 V	148 Ω	5,3 V	16,5 V	30 mA
IC DP SST	38617	V23012-A2131-A001	Siemens	9 V	154 Ω	5,2 V	16,5 V	30 mA

Tab. 1 : Kenndaten der fischertechnik-Relais

Stecker, die neuen Module basieren auf Lötstiften.

Nachdem das IC-Digital-Praktikum 1981 und em10 1989 aus dem Sortiment genommen wurde, gab es kein Relais von fischertechnik mehr.

Ohne Gehäuse

Betrachtet man zunächst das eigentliche Relais ohne das von fischertechnik umgebaute Gehäuse, fällt als erstes auf, dass die Typennummern im Datenblatt [1], das im Internet zu finden ist, nicht zu finden sind. Vergleicht man auch die im Datenblatt abgedruckte Zeichnung des Relais mit dem Original-Layout (Abb. 94), sieht man, dass ein Wechselkontakt gedreht wurde. In der Tab. 1 unten habe ich alle Daten meiner Relais aufgenommen.

Wenn wir nun Tab. 1 mit Tabelle 2 des Datenblatts [1] vergleichen, können wir die Relais basierend auf dem Widerstand zwischen den 5 V- und 12 V-Typen eingeben. Die maximale Spannung sollte dann ca. 16,5 V betragen. Leider habe ich keine Informationen über die in e-m5 eingebauten Gruner-Relais finden können.

Insgesamt gibt es fünf verschiedene Relaisbausteine. Zwei davon möchte ich hervorheben.

Relais 36392

Von diesem Modul (Abb. 90) gibt es zwei Versionen, wobei die zweite Version drei Dioden anstelle der zwei in der ersten Version hat. Es ist mir nicht klar, warum diese dritte Diode hinzugefügt wurde.

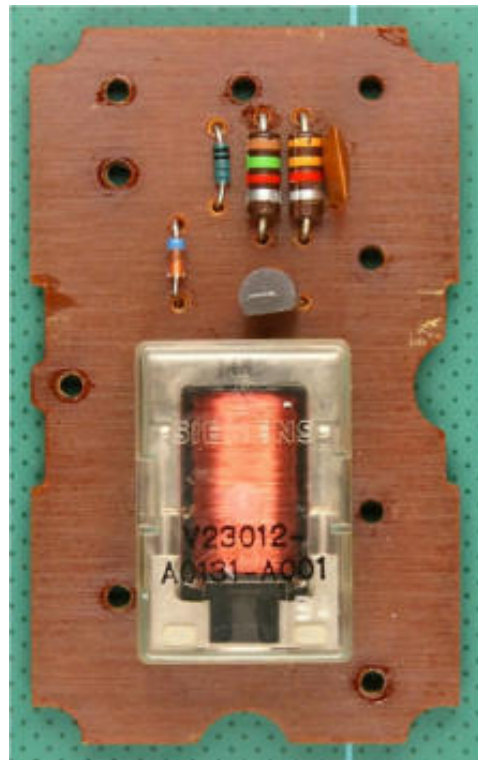


Abb. 91: Platine des Relaisbaustein (36392) erste Version

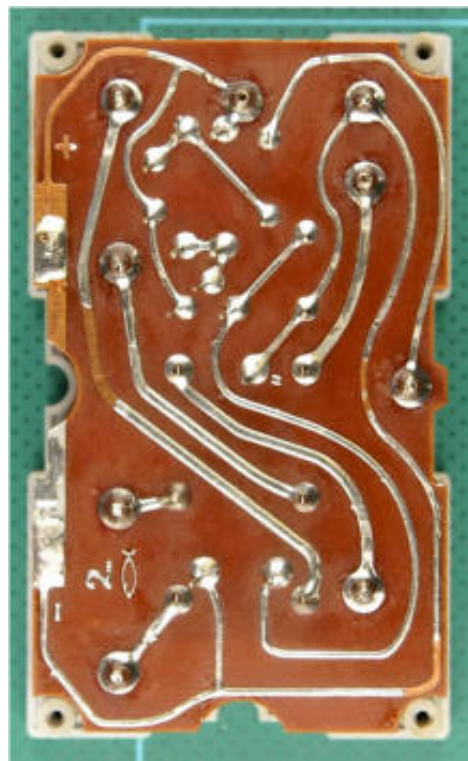


Abb. 92: Leiterbahnseite des Relaisbaustein (36392) erste Version

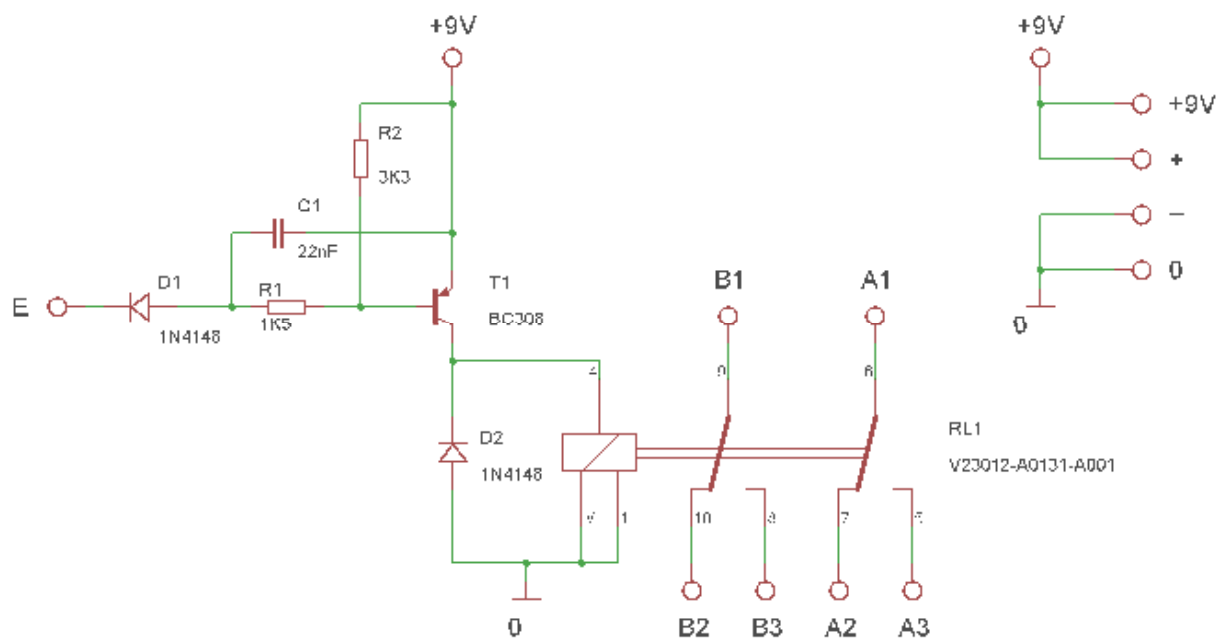


Abb. 93: Schaltbild des Relaisbaustein (36392) erste Version

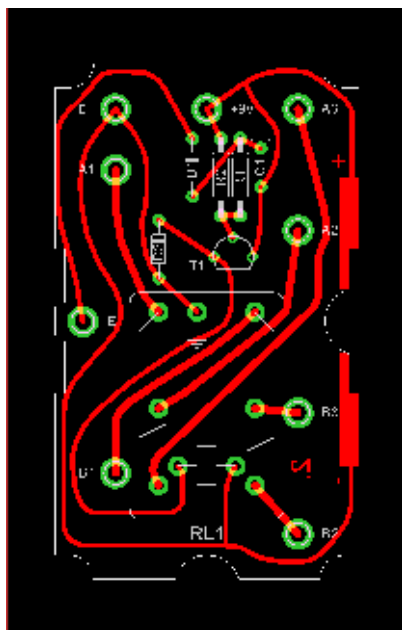


Abb. 94: Layout des Relaisbaustein (36392) erste Version



Abb. 95: Platine des Relaisbaustein (36392) zweite Version

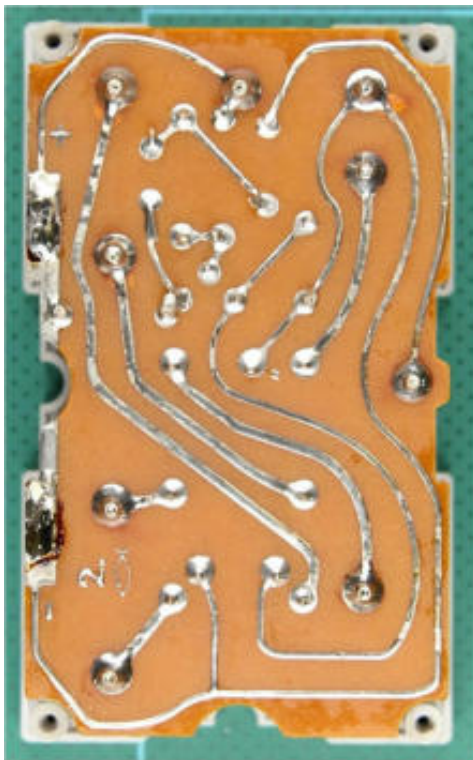


Abb. 96: Leiterbahnseite des Relaisbaustein (36392) zweite Version

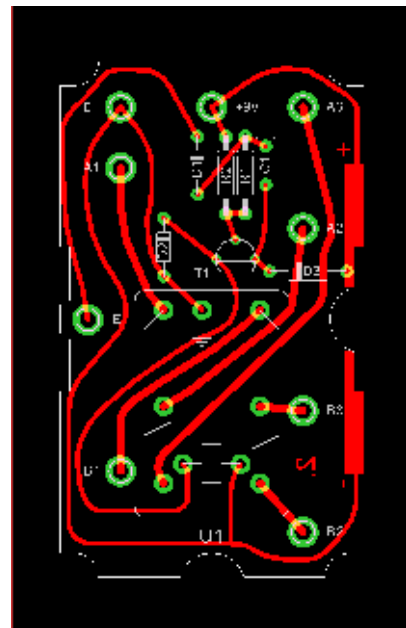


Abb. 98: Layout des Relaisbaustein (36392) zweite Version

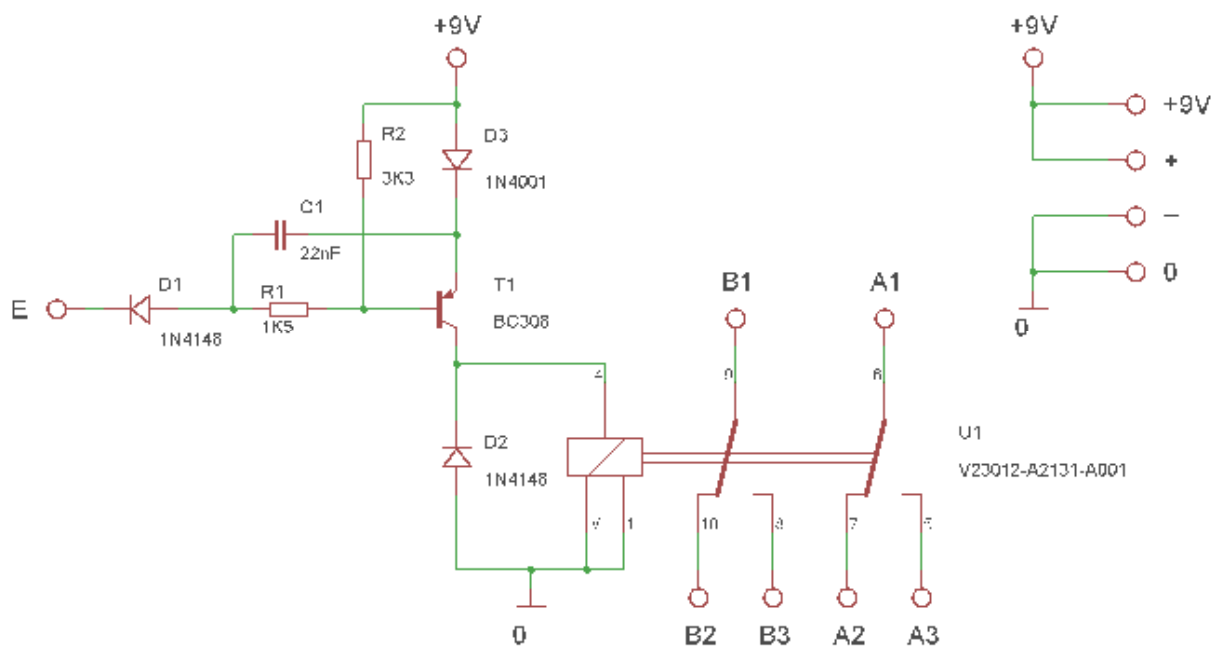


Abb. 97: Schaltbild des Relaisbaustein (36392) zweite Version

Relais RBII 37683

Im Gegensatz zu Relais [36392](#) hat Relais [37683](#) (Abb. 99) keinen eingebauten Verstärker, denn dieses Relais war für die Elektromechanik-Kästen gedacht. Da keine schwachen Signale zu erwarten sind, konnte auf den Einbau eines Verstärkers verzichtet werden.

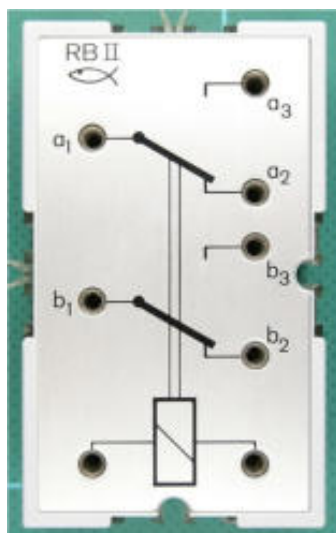


Abb. 99: Relaisbaustein RBII ([37683](#))

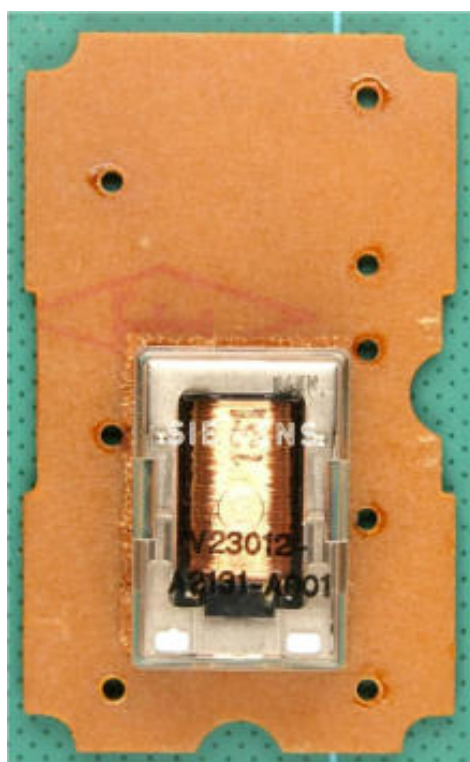


Abb. 100: Platine des Relaisbaustein RBII ([37683](#))



Abb. 101: Leiterbahnseite des Relaisbaustein RBII ([37683](#))

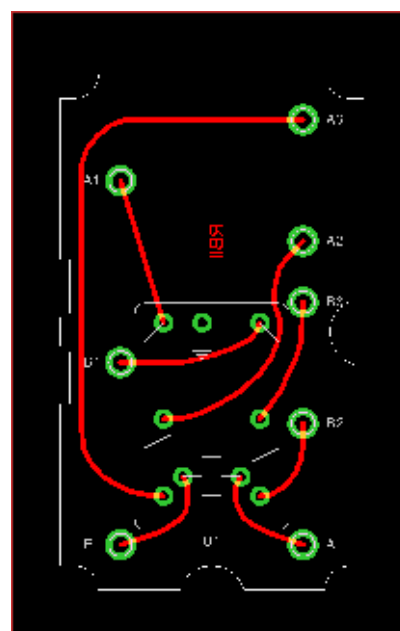


Abb. 102: Layout des Relaisbaustein RBII ([37683](#))

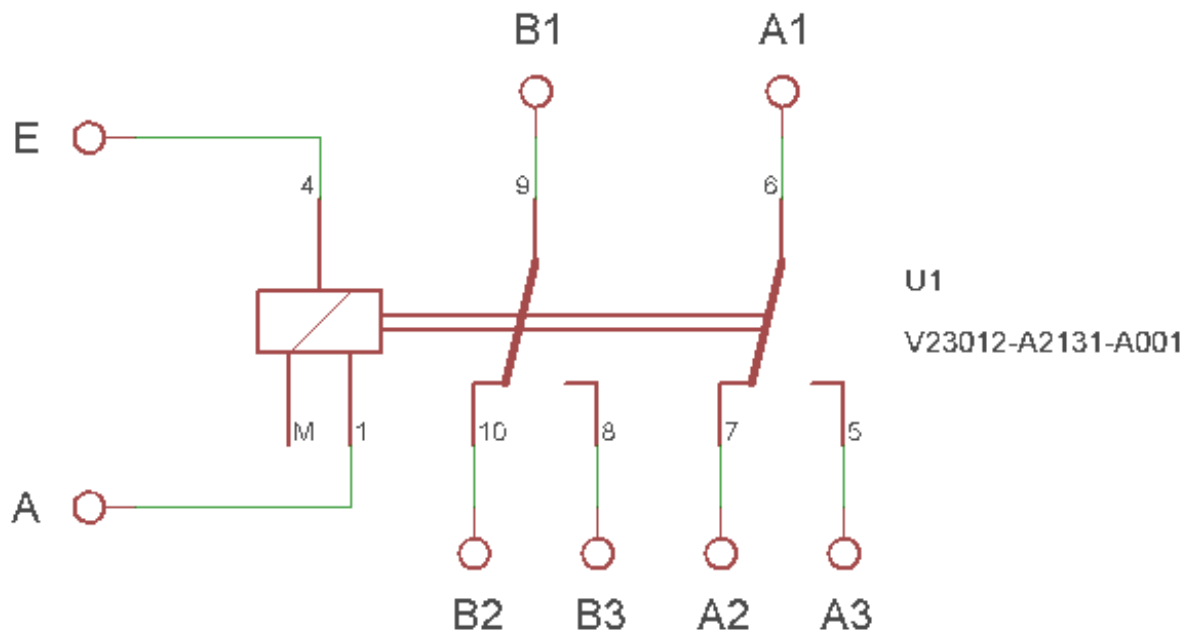


Abb. 103: Schaltbild des Relaisbaustein RBII ([37683](#))

Relais-Ersatz?

Bei allen Modulen ist es ziemlich einfach, sie nachzubauen. Für die Potentiometer gibt es reichlich Ersatz. Und auch LEDs als Ersatz für die Lämpchen sind kein Problem.

Ein Ersatz für das Relais war jedoch ein Problem, wenn auch ein kleines. Sucht man im Internet, bekommt man recht viele Treffer, leider jedoch nicht die Typen, die wir brauchen. Und die angebotenen Relais sind auch sehr teuer.

Ein kleines Problem aber, da im CAD-Programm EAGLE noch viele weitere Relais zur Verfügung stehen. Ich habe mir einfach das Kleinste herausgesucht: das Omron G6A. Das gibt es laut Datenblatt [2] in verschiedenen Ausführungen und für unterschiedliche Spannungen. Es gibt auch 9 V-Versionen, diese werden jedoch von den namhaften Händlern nicht angeboten – oder man muss 5.000 Stück auf einmal kaufen, mit mindestens sechs Monaten Lieferzeit.

Da ich möglichst alle Komponenten von Conrad kaufen wollte, habe ich mich sowohl für die 5 V- (Conrad 503801) als auch für die 12 V-Version (Conrad 503803) entschieden. Es ist jedoch zu beachten, dass die Mindestspannung, bei der das Relais anspricht, mindestens 70 % der Nennspannung beträgt. Dies gilt auch für die maximale Spannung: maximal 200 % der Nennspannung.

Ich habe gemessen, dass die 5 V-Version bereits bei 3 V anspricht und die 12 V-Version erst bei 7 V. Wenn man möchte, dass die Silberlinge mit 5 V arbeiten, muss man die 5 V-Version nehmen. Die Versorgungsspannung darf jedoch 10 V nicht überschreiten. Dann ist es besser, mit einem 9 V-Spannungsstabilisator zu arbeiten.

Nachbauten

Abb. 104 zeigt alle von mir gebauten Versionen.

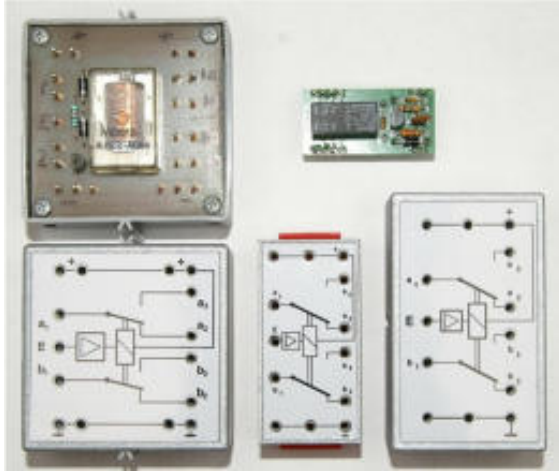


Abb. 104: Alle von mir gebauten Relais-Bausteine

Im Gegensatz zum Grundbaustein ist auf der Frontplatte des Relaisbausteins genügend Platz, um mehrere Anschlüsse für die Spannungsversorgung einzubauen. Dies ist auch für die Verbindung der Bausteine notwendig. Dies bedeutete, dass die eigentlichen Anschlüsse des Relais um eine Position verschoben werden mussten.

Nachbau 1

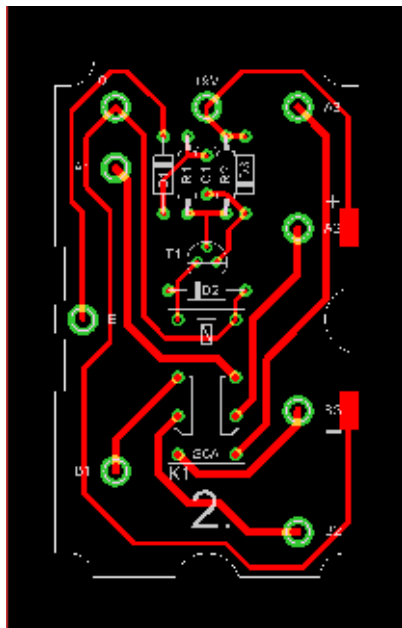


Abb. 105: Nachbau 1: Ersatz-Layout für das Original Silberling-Gehäuse

Für Relais [36392](#) habe ich auch eine Ersatzplatine entworfen. Das Layout davon ist in Abb. 105 zu sehen.

Nachbau 2

Da das von mir entworfene Gehäuse (45×75 mm) keine seitlichen Kontakte für die Spannungsversorgung hat, mussten auf der Frontplatte mehrere Anschlüsse für die Spannungsversorgung angebracht werden. Ich habe deshalb drei „+“ Anschlüsse und drei „-“ Anschlüsse eingebaut.

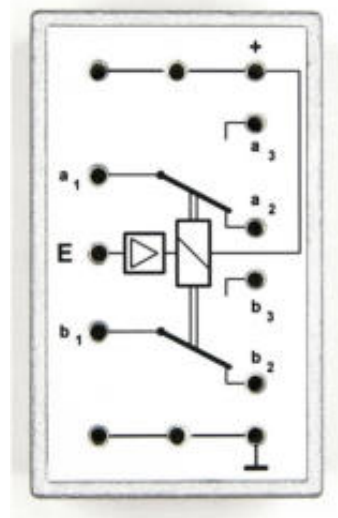


Abb. 106: Nachbau 2: Frontplatte für das 45×75 -Gehäuse



Abb. 107: Nachbau 2: Platine für das 45×75 -Gehäuse

Abb. 107 zeigt, dass auf der einseitigen Leiterplatte nur wenige Bauteile vorhanden sind. Das Omron-Relais hat die gleiche Größe wie ein 16-poliger IC-Sockel. Da ich mir noch nicht sicher war, welches Relais ich verwenden würde, die 5V- oder die 12V-Version, habe ich einfach einen IC-Sockel eingebaut. Dann kann ich das Relais wechseln, wann immer ich es für nötig halte.

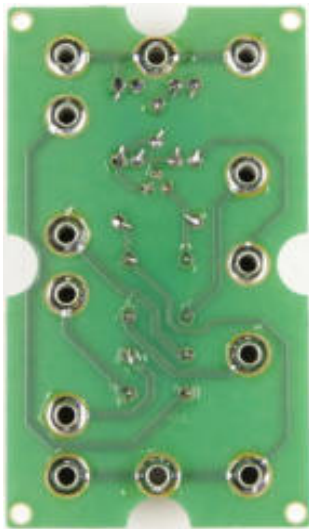


Abb. 108: Nachbau 2: Leiterbahnseite 45 × 75

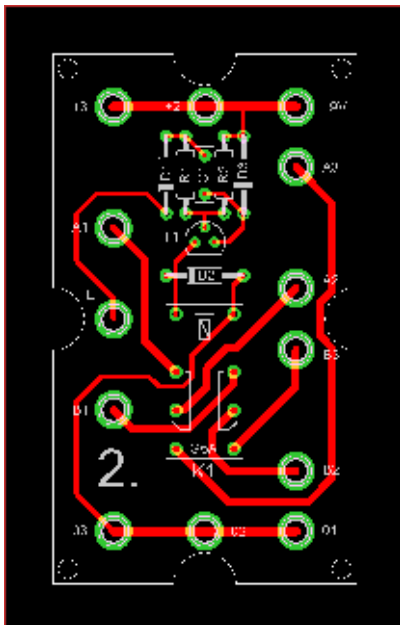


Abb. 109: Nachbau 2: Layout 45 × 75

Nachbau 3

Auch hier habe ich extra Anschlüsse für die Stromversorgung vorgesehen: viermal „+“ und viermal „-“.

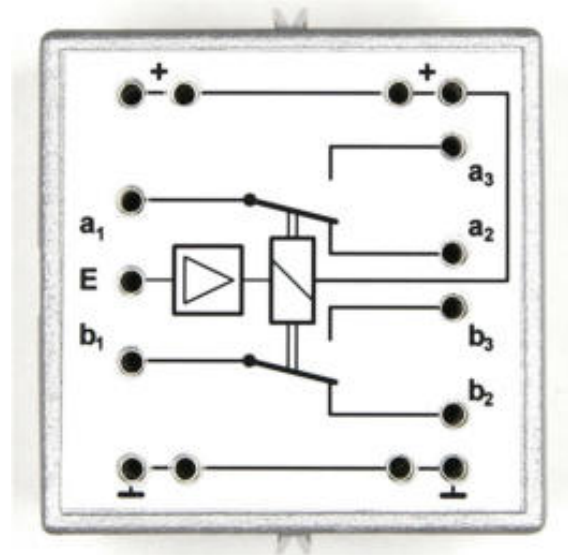


Abb. 110: Nachbau 3: Frontplatte für das 60 × 60-Gehäuse

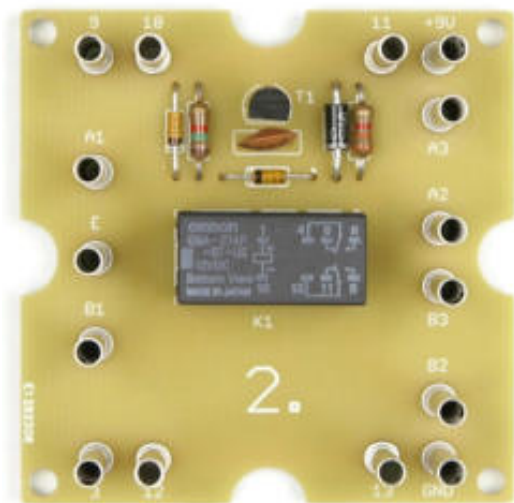


Abb. 111: Nachbau 3: Platine für 60er Kassette ([32076](#))

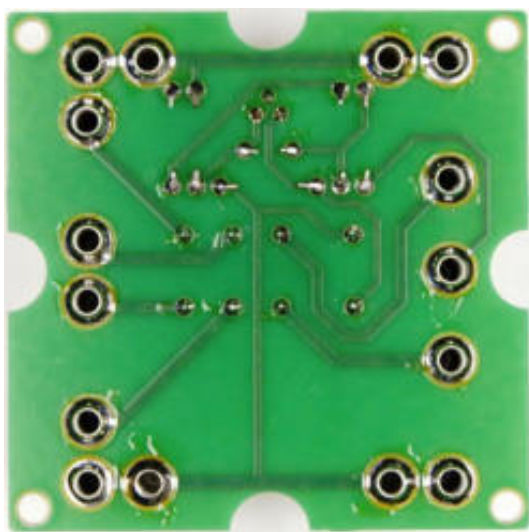
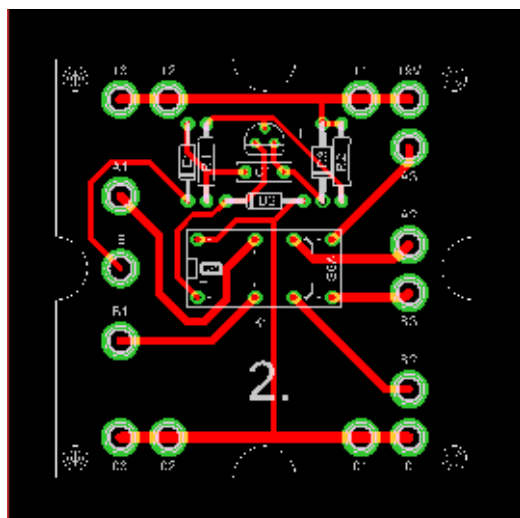


Abb. 112: Nachbau 3: Leiterbahnseite 60×60



*Abb. 113: Nachbau 3: Layout für 60er
Kassette (32076)*

Nachbau 4

Diese Version entspricht der von Nachbau 2, nur dass sie sich in einem Batteriegehäuse ([32263](#)) befindet. Da die Leiterplatte kleiner ist, musste ich nun von einer doppelseitigen ausgehen.

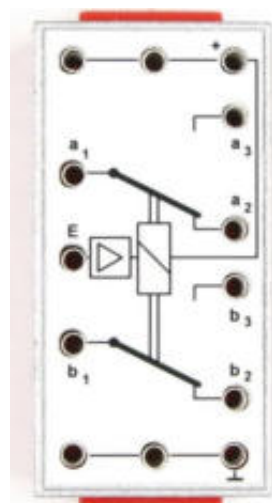


Abb. 114: Nachbau 4: Frontplatte für das Batteriegehäuse ([32263](#))

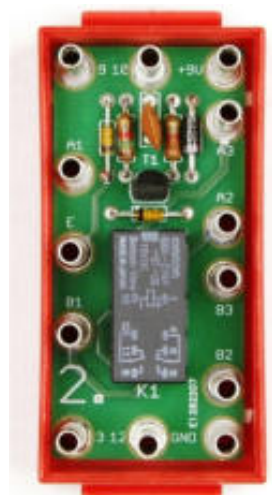


Abb. 115: Nachbau 4: Platine im Batteriegehäuse ([32263](#))

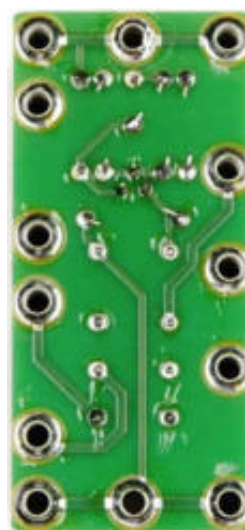


Abb. 116: Nachbau 4: Leiterbahnseite 30×60

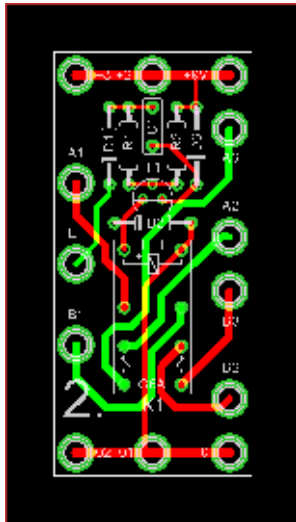


Abb. 117: Nachbau 4: Doppelseitiges Layout für das Batteriegehäuse ([32263](#))

Nachbau 5: Der Shield

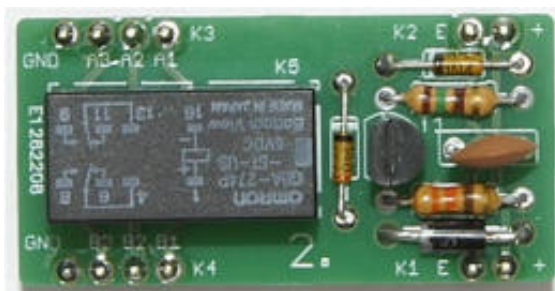


Abb. 118: Nachbau 5: Für ein Breadboard: Relaisbaustein als Shield

Wegen der zu verwendenden Stiftleisten musste ich wieder von einer doppelseitigen Leiterplatte ausgehen. Im Gegensatz zu den anderen Versionen habe ich die Anschlüsse des Relais direkt nach außen verlegt und nicht erst unter dem Relais auf die andere Seite verlegt.

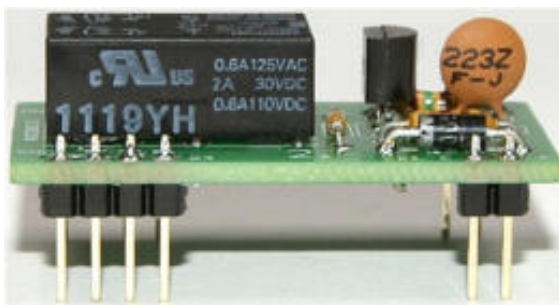


Abb. 119: Nachbau 5: von der Seite

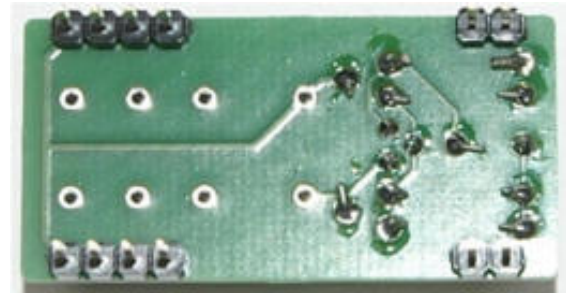


Abb. 120: Nachbau 5: Leiterplattenunterseite

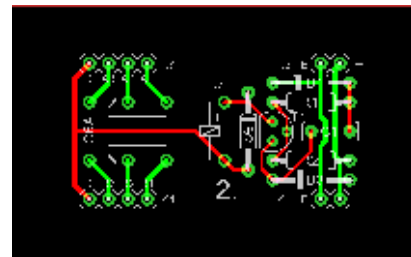


Abb. 121: Nachbau 5: Doppelseitiges Layout des Shields

Nachdem ich nun eine Weile mit diesen Omron-Relais gearbeitet habe, kann ich berichten, dass sie gut funktionieren. Einen kleinen Nachteil haben sie jedoch: Sie machen keine Geräusche. Mein Gehör ist leider nicht mehr so gut, aber die Siemens-Relais machen beim Schalten deutlich mehr Lärm.

Es ist jedoch möglich, Diode D1 durch eine LED zu ersetzen. Dann gibt es zumindest eine optische Anzeige wie bei den anderen Silberlingen.

Das war es also für dieses Mal. Teil 5 der Beitragsserie handelt vom FLIP-FLOP.

Zum Schluss noch ein Hinweis: Alle Schaltbilder und Layouts der Silberlinge sind im [Downloadbereich der ft:pedia](#) verfügbar.

Quellen

- [1] Siemens: [V23012 Relais](#). Datenblatt.
- [2] Omron: [G6A Relais](#). Datenblatt.

Elektronik

Labor für digitale Elektronik

Hans-Christian Funke

Auf digitaler Elektronik basiert jeder PC, jedes Notebook, Tablet, Smartphone usw. Ohne die digitale Elektronik geht in unserer Gesellschaft kaum noch etwas. Aber wie funktioniert das mit der digitalen Technik? Was sollte man darüber wissen? Wie kann man einen Einstieg bekommen? Und kann man die auch für Fischertechnik einsetzen, ohne nur eine Black Box in seinem Modell zu integrieren?

Klar, und dafür eignen sich die Elektronikmodule ganz hervorragend. Diese Module bieten alle grundlegenden Bausteine der digitalen Elektronik. Aus diesem Grund habe ich ein „Labor für digitale Elektronik“ zusammengestellt für alle, die sich mit der digitalen Welt vertraut machen wollen.

Natürlich gibt es viele Möglichkeiten im Internet, sich die Grundlagen der digitalen Technik erklären zu lassen. Mit dem Labor

könnt ihr aber etwas erleben! Schaltungen selbst zusammenstecken, knobeln am leibhaftigen Objekt und eigene Ideen ausprobieren.

Heute möchte ich euch erst einmal nur einen Einblick in das Labor geben. Die Technik ist fertiggestellt, aber zum Labor gehört auch ein ordentliches Handbuch.

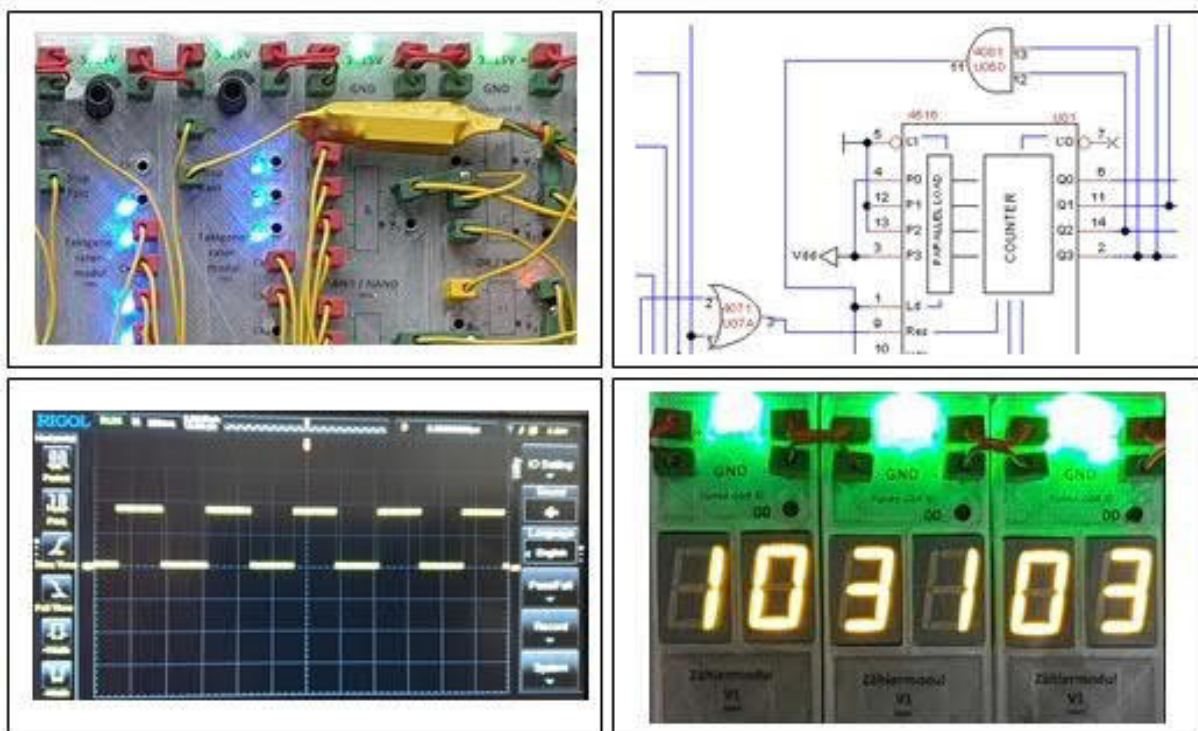


Abb. 1: Arbeiten mit dem Labor

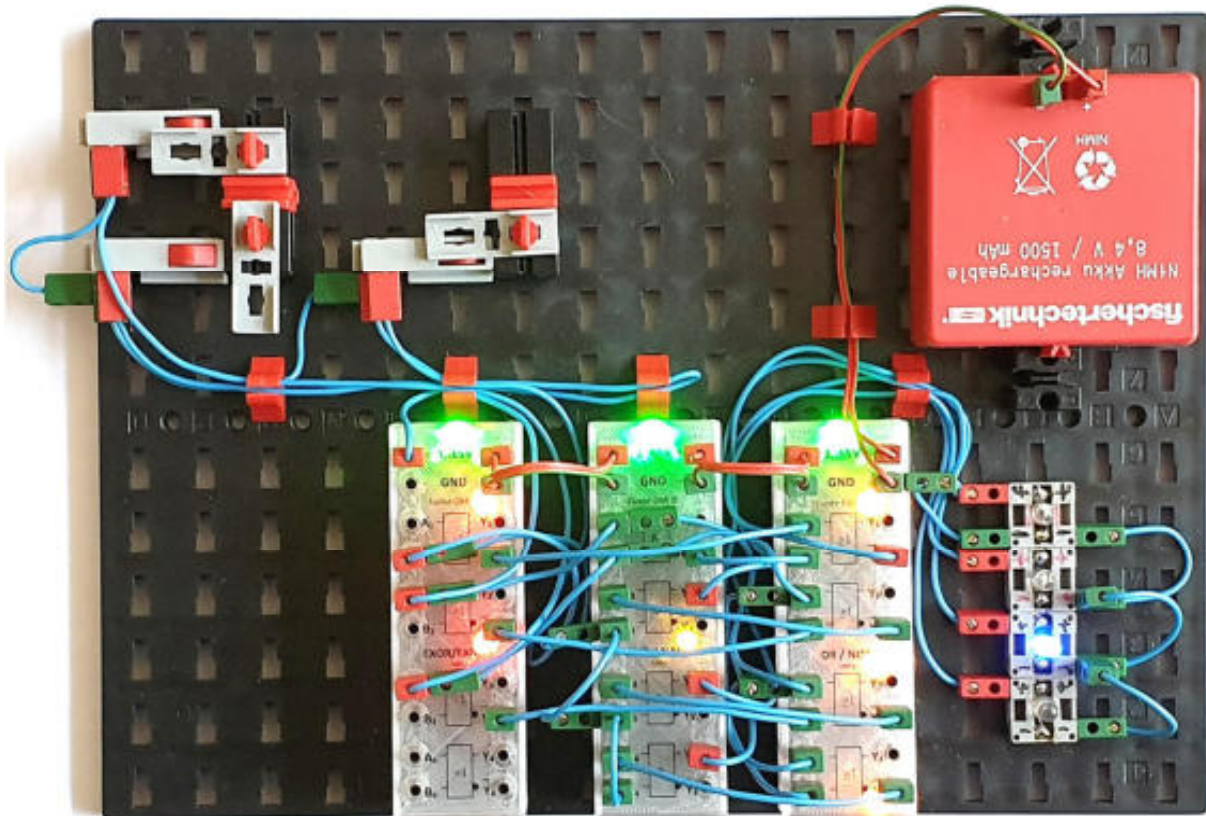


Abb. 2: Schaltungs Aufbau aus dem Labor

So soll – ähnlich wie die Bücher zu den Hobby-Baukästen – ein Leitfaden die Interessenten Stück für Stück in die digitale Welt einführen, von den Grundlagen über die Logik bis zu den elektrischen Elementen der Gatter und Speicher. Zu jeder neuen Erkenntnis solle es auch eine kleine Schaltung zum Nachbauen geben, die das theoretisch vermittelte Wissen durch Aufbau einer Schaltung praktisch festigen soll. In Abb. 2 ist ein Beispiel für den Aufbau einer Laborschaltung zu sehen.

Dieser Leitfaden ist derzeit noch im Aufbau. Dadurch dass ich diese Elektronikmodule völlig im Alleingang aus dem Boden gestampft habe, ohne ein Heer an Personal, an Designern, Ingenieuren und anderen Fachleuten, sondern nur mit meiner Familie zusammen, dauert alles ein wenig länger und ist auch nicht so zielsicher mit einem Termin belegbar. So ist der Wunschtermin für die Fertigstellung zwar

Ende Oktober 2021, aber dies kann ich heute noch nicht mit Sicherheit garantieren.

Es gibt aber schon Bilder des Labors, und es gibt einiges zu der späteren Veröffentlichung und Gestaltung des Labors zu berichten. Den ersten Prototyp von dem Labor könnt ihr auf den Abb. 3 und 4 sehen.

Das ist natürlich Elektronik kompakt. Diese kompakte Version ist mit der Idee entstanden, dass die meisten doch schon ausreichend mit Kabeln, Tastern und fischertechnik-Teilen ausgestattet sind, und so habe ich diese Komponenten einfach weggelassen.

Das Labor beinhaltet alle notwendigen Elektronikmodule und einige Zubehörteile, die nicht zu den Standard-Teilen von fischertechnik gehören (Abb. 5 und 6). Bis auf die acht Stecker, die für die beiliegenden passiven Elektronikteile benötigt werden, sind keine weiteren fischertechnik Teile enthalten.



Abb. 3: Labor für digitale Elektronik (75000)



Abb. 4: Innenansicht – Elektronikmodule und Zubehör

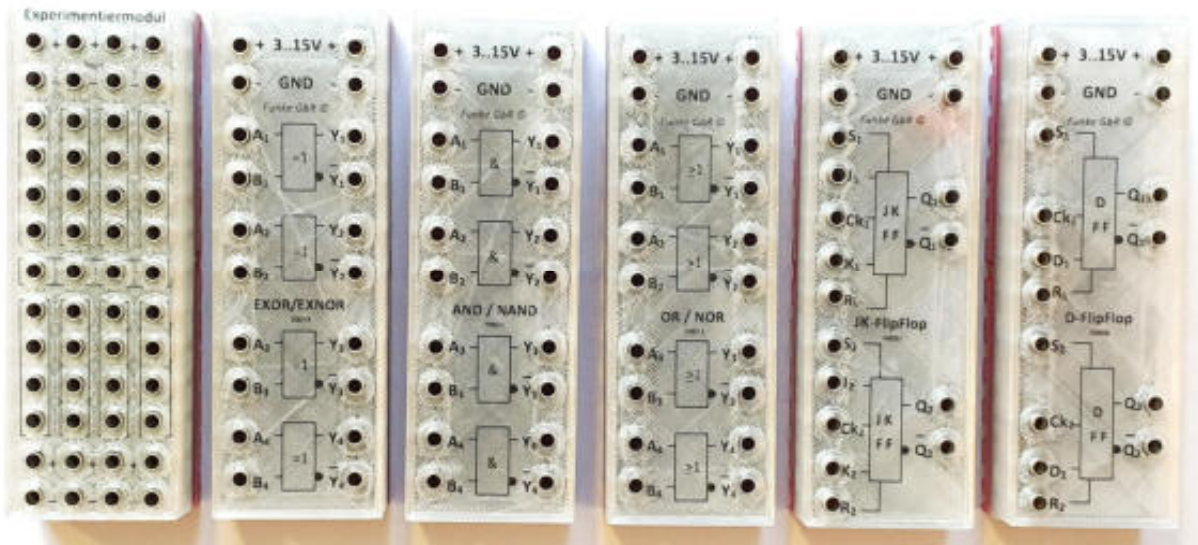


Abb. 5: Sechs verschiedene Elektronikmodule im Labor für digitale Elektronik

In den Leuchtbausteinen sind spezielle LEDs enthalten, die nur 1-2 mA benötigen und somit an den Ausgängen der Elektronikmodule direkt angeschlossen werden können. Des Weiteren finden sich vier Dioden, drei Kondensatoren und zwei Widerstände beim Zubehör.

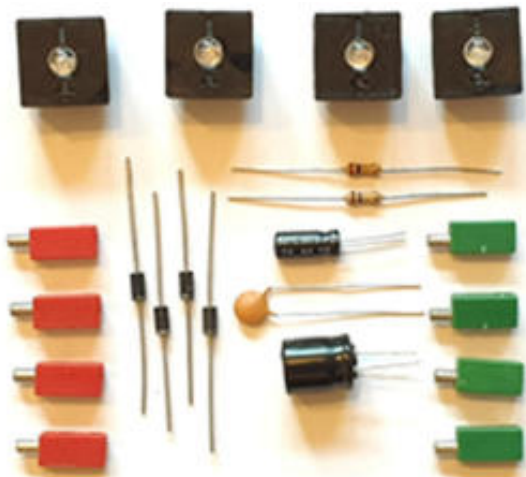


Abb. 6: Zubehörteile

Zum Labor gibt es Ergänzungssets, die jeder nach seiner persönlichen Situation damit kombinieren kann (die Ergänzungssets können nur zusammen mit einem Labor bestellt werden – eine spätere nachträgliche Bestellung ist aber auch noch möglich):

- 75001 Ergänzungssset E (Elektronik)
- 75002 Ergänzungssset T (Technik)

- 75003 Ergänzungssset V (Versorgung)
- 75004 Labor für digitale Elektronik – Ausbildungsversion
- 75005 Ergänzungssset A (Akku) für Ausbildungsstätten

Ergänzungssset E



Abb. 7: Set mit 34 Kabeln



Abb. 8: Minitaster

In diesem Set sind sechs Minitaster und die komplett vorkonfigurierten Kabel enthalten, die für den Aufbau der Laborschaltungen benötigt werden – Abb. 7 und 8. Das Set enthält also alle zusätzlichen zum Labor benötigten elektronischen Komponenten:

Anzahl	Bezeichnung	Art.-Nr.
6	Minitaster	37783
8	Kabel 200 mm mit Steckern	
10	Kabel 80 mm mit Steckern	
12	Kabel 50 mm mit Steckern	
3	Doppellitze 50mm mit Steckern	
1	Doppellitze 200mm mit Steckern	

Tab. 1: Stückliste Ergänzungsset E (alle Kabel sind mit Steckern fertig montiert)

Ergänzungsset T

Hier wurden alle notwendigen fischertechnik-Teile für das Labor zusammengestellt – Abb. 9. Wer wenig oder noch kein fischertechnik besitzt, sollte sich dieses Paket holen. Die Teile in dem Set sind günstiger als bei einer Einzelteilebestellung:

Anzahl	Bezeichnung	Art.-Nr.
6	S-Lasche 15, rt	31667
11	Federnocke, rt	31982
8	Baustein 15, sw	32881
1	Grundplatte 259 × 187, sw	32985
10	Kabelhalter, rt	35969
6	S-Riegel, rt	36323
3	Baustein 7.5, rt	37468

Tab. 2: Stückliste Ergänzungsset T



Abb. 9: Set mit 45 fischertechnik Teilen (nicht auf dem Foto: die enthaltene Grundplatte 259 × 187)

Ergänzungsset V

Das Labor ist so konzipiert, dass es ideal mit einem Akku-Pack (8,4 V) betrieben werden kann. Alternativ kann das Labor auch über ein Versorgungsmodul betrieben werden, an dem ein Trafo oder Steckernetzteil angesteckt wird. Stehen beide Möglichkeiten nicht zur Verfügung, bietet dieses Set eine Versorgung über USB mit 5 V – Abb. 10.



Abb. 10: Steckernetzteil USB mit Kabel

Anzahl	Bezeichnung
1	Netzstecker für 230 V auf USB-A
1	Kabel USB-A – fischertechnik Stecker

Tab. 3: Stückliste Ergänzungsset V

Labor für digitale Elektronik – Ausbildungsversion

Für Ausbildungsstätten, Schulen, Universitäten oder andere Lehrbereiche gibt es eine Ausbildungsversion, die das Labor (75000), alle Ergänzungssets (75001-3) und zwei Sortierwannen zum praktischen Stapeln des Lehrmaterials beinhaltet – siehe Abb. 11 bis 14.



Abb. 11: Seitenansicht



Abb. 12: Das Set wird im großen Karton geliefert



Abb. 13: Innenansicht mit Grundplatte



Abb. 14: Alle Teile und Sets in zwei Sortierwannen

Ergänzungsset A

Die Ausbildungsversion enthält von Hause aus das USB-Steckernetzteil. Sollte sich ein Akku-Betrieb als sinnvoller erweisen, kann das Labor problemlos mit dem Akku-Set ergänzt werden (5er Set + Ersatzakku; 1 × Ladegerät).

Anzahl	Bezeichnung	Art.-Nr.
6	Akku-Pack 8,4 V NiMH	35537
1	Akku-Ladegerät für 8,4V NiMH Akkus	522460

Tab. 4: Stückliste Ergänzungsset A

Das Labor und alle Ergänzungssets werden über den offiziellen fischertechnik-Servicepartner Franz Santjohanser „santjohanser Spielen. Lernen. Technik.“ im Online-Shop erhältlich sein [1].

Wir wollen das Labor für digitale Elektronik und die Erweiterungssets bereits in den nächsten Tagen online stellen, damit diese vorbestellt werden können.

Quellen

- [1] „santjohanser Spielen. Lernen. Technik.“: Online-Shop von Franz Santjohanser: <https://santjohanser.de>

Elektronik

Der Zauberling (Teil 1): Der Zauberstab

Arnoud van Delden

Der „Silberling“ war für viele vor langer Zeit der Einstieg in die schwer fassbare magische Welt der Elektronik. Diese Zauberei wurde seitdem um zeitgemäße Alchemisten wie Mikrocontroller und Computer erweitert. Doch ein moderner Zauberlehrling denkt über die Zugehörigkeit zu den Magiern von einst nach. Könnte eine magische Brücke zwischen den beiden Universen gebaut werden? In diesem ersten Teil tauchen wir in das Wurmloch ein und schauen uns die mögliche Hardware für einen solchen Zauberlehrling an. Denn wie kann ein Magier ohne die richtigen Attribute staunen und verzaubern? Der Zauberstab muss stimmen!

Der magische Silberling

Obwohl die Silberlinge nun etwa fünfzig Jahre alt sind, bleiben sie magische Kästchen. Viele ließen sich einst von ihrer Magie verzaubern, und auch heute ist es verlockend, mit der klassischen Funktionalität diskreter Elektronik zu experimentieren. Schon allein um die Experimente aus der Hobby-4-Reihe tatsächlich zu bauen. So ist das Silber der Silberlinge zwar manchmal vergilbt, aber noch nicht ganz in Vergessenheit geraten. Andererseits: Dass auch die Rekonstruktion des antiken Silberlings die Fantasie anregt, zeigen die vielen Beiträge im fischertechnik-Forum und aktuelle Beiträge in der ft:media.

Viele von uns verwenden heute modernere Techniken in unseren Experimenten. Und auch fischertechnik hat sich weiterentwickelt. Nach dem Elektronik-Praktikum, dem Hobbylabor und dem IC-Digital-Praktikum folgten Schnittstellen für Mikrocomputer und schließlich eine programmierbare Steuerung, die derzeit ihre jüngste „Inkarnation“ erfährt. Darüber hinaus wächst das Angebot an Arduino-basierten Mikrocontrollern, mit denen nahezu alle diskreten Funktionen und Automatisierungsprobleme in Software programmierbar gelöst werden

können – ganz ohne das Einstecken von Steckern.

Trotzdem lockt es nach wie vor, Hardware mit Drahtverbindungen und einem modularen System wie den bewährten Silberlingen programmieren zu können. Mit den von der Knobloch GmbH entwickelten E-Tec-, Elektronik- und Robotics-Modulen verzichtet fischertechnik jedoch auf die direkte Kompatibilität mit diesem Erbe. Obwohl die verschiedenen logischen Funktionen in diesen Modulen wieder auftauchen, fühlen sie sich für den echten Entwickler dennoch zu eingeschränkt an, da sie nicht mit einer eigenen, angepassten oder zusätzlicher Software genutzt werden können.

Alt und Neu verbinden

So entstand die Idee zu untersuchen, ob sich die traditionelle Domäne der Silberlinge mit der Leistung von Mikrocontrollern erweitern lässt. Mit etwas moderner Alchemie sollte es möglich sein, ein verbindendes Modul zu bauen, sowohl im wörtlichen als auch im übertragenen Sinne. Ein neuer Silberling, der in Formfaktor, digitaler Logik und analogen Spannungspegeln abwärtskompatibel ist. Ein Modul, das es ermöglicht, neben dem klassischen Druckschalter, Fotowiderstand und moderneren Fototransistoren auch aktuelle Sensoren wie

IR-Objekt-Detektoren oder Hall-Effekt-Sensoren zu verwenden. Im Idealfall würde es die Schwellenwerte von Sensoren selbst herausfinden und TTL-Pegel mit der 9 V-„negativ-Logik“-Welt des klassischen Silberlings kombinieren. Wenn ein solches Modul auch größere Verbraucher direkt ohne Relais ansteuern und vielleicht sogar gleichzeitig Servos bewegen kann, wird es richtig magisch!

Der Zauberling

Inspiziert von den Experimenten anderer baute ich auch einige Flip-Flops und schaltbare UND/ODER-Logikglieder in Gestalt von Silberlingen. Aber als ich mich in der Welt der Mikrocontroller immer mehr zu Hause fühlte, wurde der Wunsch, direkt mit den Silberlingen zusammenzuarbeiten, immer stärker. Entstanden ist ein flexibler und programmierbarer Silberling für spezifische eigene Anwendungen (Abb. 1).



Abb. 1: DIY-Silberling mit Arduino Pro Mini Atmega328P

So ein Zauberer sollte nahtlos mit den klassischen Silberlingen zusammenarbeiten können. Durch die Programmierbarkeit sollten diesem Zauberlehrling immer wieder neue Tricks beigebracht werden können, die die Funktionalität der fischertechnik-Module anpassen und verbessern. Ein echter Zauberlehrling, ein echter ‚Zauberling‘...

Power-Silberling

Die Anordnung von Mr. Lemniskate [1] hatte ich zuerst mit den klassischen Silberlingen gebaut, aber es fühlte sich immer noch wie ein Umweg an, die Spule eines Relaismagneten bestromen zu müssen, um dann einen anderen Elektromagneten zum Laufen zu bringen. Abgesehen vom unnötigen Geräusch und Verschleiß an den Kontakten musste zum Beispiel das Schaltmoment um einige Grad gedreht werden, um die „doppelte Verzögerung“ durch das nacheinander erfolgende Bestromen der beiden Magnetspulen zu kompensieren.

Außerdem stellte sich heraus, dass die 9 V-Stromversorgung des fischertechnik-Gleichrichtermoduls für die im Modell verwendeten starken Elektromagnete nicht ausreichte. Dies führte zu einem selbstgebauten Drehzahlregler und Flip-Flop-Modul in fischertechnik-Kassetten ([35359](#)). Das Flip-Flop-Modul erhielt Treiberausgänge, die einen Elektromagneten oder Motor ohne zusätzliches Relaismodul direkt steuern konnten. Seine externe Stromversorgung kann mit Steckern durchgeschleift werden. Dadurch bleibt die Front frei von den notwendigen Durchschleif- und Anschlusskabeln. Das gleiche Prinzip habe ich auf eine allgemein verwendbare ‚Schalttafel‘ mit Drehzahlregelung angewendet, die ich ebenfalls in fischertechnik-Kassetten untergebracht habe (Abb. 2).



Abb. 2: Leistungsmodule und Drehzahlregler in fischertechnik-Kassetten

Silberling-Kompatibilität

Beim Bauen inspirierten mich die Produkte von Hans-Christian Funke und die Beiträge von Peter Krijnen in den jüngsten ft:pedia-Ausgaben [2]. Und bei den lebhaften Diskussionen im fischertechnik-Forum sowie den älteren Plänen und Ideen von beispielsweise Peter Storck, Thomas Habig und anderen zeigte sich, dass die Silberlinge noch immer die Fantasie anregen.

Die in der fischertechnik-Kassette oder dem 9 V-Batteriehalter (32263) verbauten Module lassen sich jedoch nicht immer optimal mit dem traditionellen Silberlingen kombinieren. Das Verbinden und Durchschleifen der Stromversorgung benötigt aufgrund der relativ großen fischertechnik-Anschlussstecker oft unverhältnismäßig viel Platz. Ein elegantes technisches Merkmal der Silberlinge ist gerade, dass die Stromversorgung nicht zwischen den Anschlüssen und Bedienelementen an der Front vorgenommen werden muss: Sie erfolgt seitlich mit zweipoligen Anschlussklemmen (Abb. 3).



Abb. 3: Das elegante Stromversorgungssystem mit den zweipoligen Anschlusssteckern

Für anspruchsvollere Stromverbraucher wie Elektromagnete und Motoren muss jedoch ein externes Netzteil angeschlossen werden, damit diese über die Leistungsausgänge kontinuierlich angesteuert werden können, ohne das reguläre Netzteil unnötig zu belasten.

In der Zwischenzeit hatte ich Peter Krijnens exzellentes 3D-Silberling-Design¹ leicht modifiziert, sodass der letzte meiner oben genannten Wünsche bereits realisiert werden konnte.² Ich habe damit ein schaltbares UND/ODER-Glied gebaut, das kein externes Netzteil benötigte und somit direkt aus dem Gleichrichtermodul h4 GB mit Strom versorgt werden konnte. Damit war mir die Kompatibilität mit den Silberlingen bereits gelungen (Abb. 4).

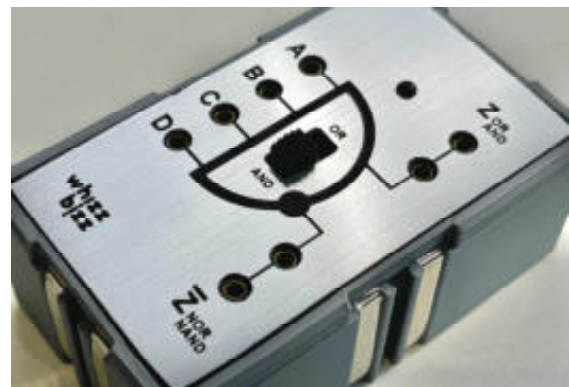


Abb. 4: Selbstgebauter ODER/UND-Silberling zum Anschluss an Gleichrichtermodul h4 GB

¹ Siehe die 3D-Dateien von Peter Krijnen auf thingiverse.com.

² Die 3D-Dateien finden sich ebenfalls auf thingiverse.com.

Das Ergebnis ähnelt schon ein wenig den Silberlingen. Doch die Suche nach dem idealen Material für die Herstellung der Frontplatten ist noch nicht beendet. Das Originalmaterial ist eloxiertes Aluminiumblech, in das die Beschriftung fotografisch geätzt wurde. Allerdings habe ich noch keine Adresse gefunden, wo es möglich ist, eine kleine Stückzahl günstig produzieren zu lassen. Für den Prototypen habe ich mich daher für ein 2,6 mm dickes schwarzes Plastikmaterial entschieden, bei dem die hauchdünne silberfarbene Folie gelasert werden kann. Allerdings ist die Oberfläche dieses Materials beim Finishen, Sägen und Bohren sehr empfindlich und glänzt auch mehr als bei den originalen Silberlingen. Kurzum, das Ergebnis ist schon sehr schön, allerdings bin ich an diesem Punkt noch nicht fertig mit dem Experimentieren.

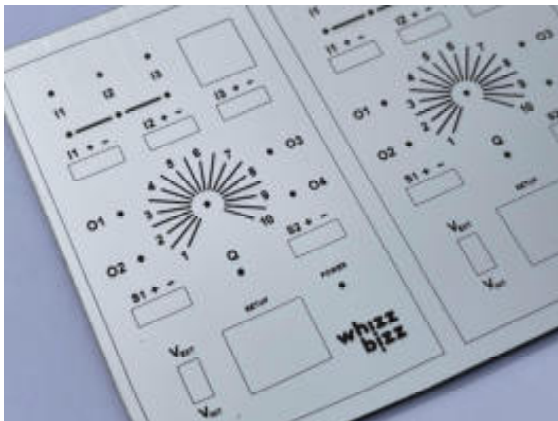


Abb. 5: Gelaserte Frontplatten;
Handarbeit ist heikle Arbeit

Die Wunschliste

Die Möglichkeiten der gängigen Mikrocontroller und die traditionell von fischertechnik zum Beispiel im E-Tec-Modul gebotenen Funktionalitäten haben mich auf Trab gehalten. Also ließ ich meiner Fantasie freien Lauf, träumte von meinem idealen magischen Silberling und hatte schon bald eine Wunschliste:

- In Form, Größe und Material möglichst nah an den traditionellen Silberlingen, damit sie gemeinsam in einer Schaltung verwendet werden können.
- Verwendung der zweipoligen Anschlussstecker an den Seiten des Silberlings für die Grundversorgung.
- Größere Stromverbraucher wie Motoren, Magnete oder Magnetventile sollen von einer externen Spannungsversorgung von 5 bis 24 V versorgt werden können.
- Mindestens drei Eingänge, die sowohl mit positiver als auch mit negativer Logik arbeiten können. An der Front sind Buchsen für die traditionellen fischertechnik-Stecker, aber auch eine dreipolige Kopfleiste mit Pins für die Stromversorgung von Sensoren, die eine eigene Stromversorgung benötigen (meist 5 V).
- Eine automatische Einstellung für die Schwellenwerte der Sensoren an den Eingängen. Die Empfindlichkeit und Hysterese (erforderlich bei einem passiven Sensor mit schwacher Ausgangskurve wie z. B. einem NTC-Widerstand) müssen einstellbar sein.
- Es müssen sowohl passive Sensoren (wie ein Fotowiderstand oder NTC-Widerstand usw.) als auch die verschiedenen heute im Handel erhältlichen Module verwendet werden können, die ein 5 V-Ausgangssignal liefern (Hall-Effekt, IR-Sensor, PIR-Bewegungssensor usw.).
- Visuelle Rückmeldung durch LEDs für alle Eingänge, damit sofort sichtbar ist, was an den Eingängen passiert und ob Schwellenwerte der Sensoren erreicht wurden.
- Einstellungen für bestimmte Funktionen (z. B. Pulszeit eines Monoflops oder Frequenz eines Blinklichts) müssen frontseitig mit einem kleinen Potentiometer möglich sein.
- Es kann sinnvoll sein, dass auch Servos daran angeschlossen werden können. Im Idealfall verfügen sie dann über eine eigene 6 V-Stromversorgung, direkt an ihrem dreipoligen „Header-Connector“.
- Mindestens zwei analoge Motorausgänge, vollständig steuerbar in Drehzahl und Drehrichtung, die auch als einzelne

analoge Ausgänge verwendet werden können.

- Sichtbares Feedback durch eine mehrfarbige LED, die einen Eindruck von Drehrichtung und Geschwindigkeit (Polarität und Pegel) vermittelt.
- Die (zumindest digitalen) Ausgänge müssen auch als Eingangssignal für die Silberlinge genutzt werden können.
- Das eventuelle Durchschleifen einer externen Versorgungsspannung darf frontseitig die Bedienung und die Anschlüsse nicht behindern und sollte vorzugsweise seitlich oder rückseitig erfolgen.
- Neben dem ‚Basisprogramm‘ müssen alle allgemeinen Funktionen des E-Tec-Moduls und des späteren Elektronikmoduls vorhanden sein. Das Modul muss daher auch als Flip-Flop oder einfaches UND- oder ODER-Logikglied funktionieren.
- Die Auswahl der gewünschten Funktionalität bzw. des gespeicherten Programms sollte mit DIP-Schiebeschaltern an der Frontseite des Moduls leicht einzustellen sein.
- Ich wollte eine Variante des E-Tec-‚Basisprogramms‘ haben, die die gesteuerten Motoren nicht abrupt schaltet, sondern dies schrittweise tut, damit Belastung und Verschleiß der Motoren minimiert werden (Näheres dazu in Teil 3).
- Die Herausforderung, die den magischen Silberling zu einem echten „Zauberling“ macht: Die Möglichkeit, zukünftige Erweiterungen oder spezifische Programme selbst zu ergänzen.

Begrenzter Innenraum

Der Innenraum eines Silberling-Gehäuses misst nur 38 x 68 mm. Als Einbauraum für einen Mikrocontroller, der auch noch mit einem Motortreiber und einigen anderen Teilen ergänzt werden muss, ist das nicht sehr geräumig.

Zum Beispiel ist der normale Arduino Uno mit seinen 53,4 x 68,6 mm schon zu breit. Ganz zu schweigen von den noch größeren Varianten wie dem Mega und dem Due (53,4 x 101,52 mm). Ein Raspberry Pico, ESP32 oder Arduino Nano passt, aber der Arduino Compatible Pro Mini Atmega328P lieferte das beste Verhältnis zwischen der Anzahl der verfügbaren Eingangs-/Ausgangspins und den Abmessungen (Abb. 6). Dies ist ein extrem kleiner Arduino, der wie der Arduino Uno mit 5 V bei 16 Mhz läuft und auf dem Computer mit der den meisten Entwicklern vertrauten Arduino-IDE programmiert werden kann.

Diese sehr kleine Platine von nur 34 x 18 mm bietet 20 Ein- und Ausgänge, darunter sechs analoge Ein- und sechs Ausgänge mit Pulsweitenmodulation (PWM).

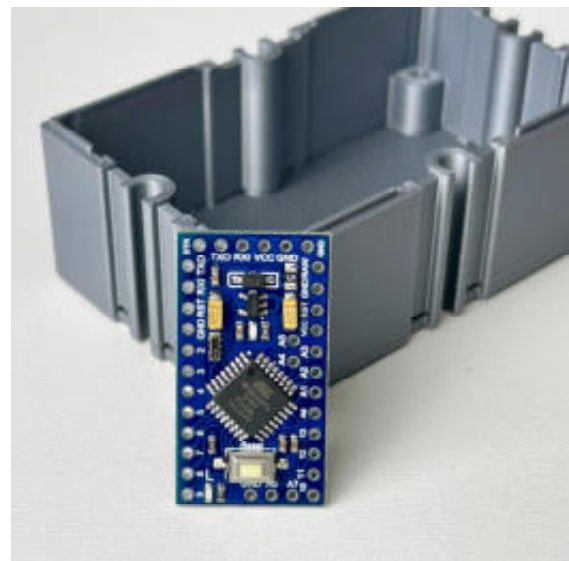


Abb. 6: Der Pro Mini Atmega328P ist nur 34 x 18 mm groß, das passt problemlos!

Programmierung

Der Pro Mini Atmega328P hat nur das Nötigste auf der Platine. Er hat eine Reset-Taste, deren Anschluss seltsamerweise doppelt an den Kantenkontakten anliegt, während nutzbare Ein- und Ausgänge wie A4 und A5 aus Platzgründen in der Mitte der Platine platziert sind. Dem Board fehlt eine USB-Schnittstelle; daher kann es nicht wie die meisten Arduino-Boards direkt an

den USB-Anschluss eines Computers angeschlossen werden. Das Hochladen der Software erfolgt auf TTL-Niveau und daher ist für die Programmierung ein USB-auf-TTL-Seriell-Adapter erforderlich.

Glücklicherweise gibt es dafür verschiedene Schnittstellenoptionen. Manchmal sind diese Schnittstellen als Kabel mit losen Messleitungen konfiguriert, die an den Pro Mini Atmega328P angeschlossen werden können. Es gibt aber auch Schnittstellen, und bei denen ein Stecker direkt auf den Stiftstecker des Pro Mini aufgeschoben werden kann. Sie sind oft zwischen 3,3 und 5 V umschaltbar, sodass auch der Pro Mini mit 8 MHz, der mit einer Versorgungsspannung von 3,3 V arbeitet, programmiert werden kann.

Am einfachsten zu bedienen sind die Typen, die auch eine DTR-Verbindung (*Data Terminal Ready*) bieten, damit der Computer den Upload selbst initiieren kann. Wenn die Schnittstelle darüber nicht verfügt, muss der Upload von der Arduino IDE jedes Mal manuell erzwungen werden, indem der Atmega328P zum richtigen Zeitpunkt zurückgesetzt wird. Dies kann mit dem Reset-Knopf auf der Platine erfolgen, der jedoch in vielen Fällen nach der Installation nicht mehr zugänglich ist.

Wer mit Apple-Geräten arbeitet, entscheidet sich am besten für eine Schnittstelle mit dem CH340G-Chip. Die Schnittstelle mit FT232RL-Chip wurde auf meinem iMac unter macOS nicht erkannt. Windows ist verzeihlicher und erkennt beide Chips problemlos. Letztendlich habe ich mich für eine noch elegantere Lösung entschieden, indem ich den ATmega328-Chip aus dem Sockel eines Uno herausnahm und so den angenehmen Mega16u2-USB-Chip zum Programmieren nutzen konnte [3].

Die Programmierschnittstelle des Atmega328P bleibt durch eine Öffnung im Boden des Zauberlings erhalten. Sicherheitshalber habe ich auch den Reset-Pin auf diesen Anschluss geroutet, falls das Hochladen ohne DTR-Steuerung in Zukunft unerwartet einen manuellen Reset erfordern sollte.

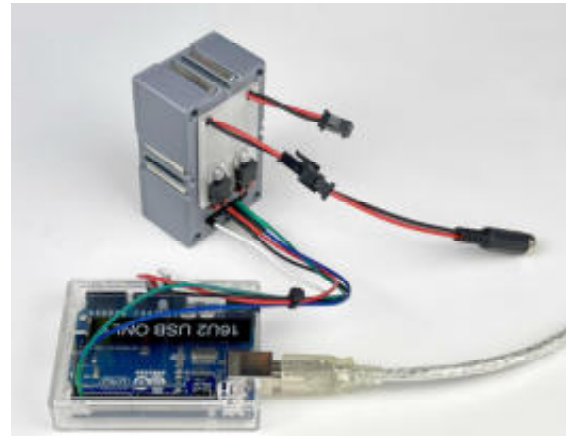


Abb. 7: Am Ende habe ich mich für eine Upload-Lösung über ein Arduino Uno entschieden

Vielleicht beispielhaft waren die Upload-Probleme, auf die ich bei einem der Pro Minis gestoßen bin. Das Programm konnte mit keiner der TTL-Schnittstellen hochgeladen werden – der Upload-Vorgang startete einfach nicht, trotz eines manuellen Resets zum richtigen Zeitpunkt, während der Mikrocontroller selbst einwandfrei zu funktionieren schien und er seinen Blink-Sketch weiterführte. Der Lötkolben war vor der Demontage bereits warm, als ich zum Glück noch rechtzeitig herausfand, dass es funktionierte, wenn ich ihn als Atmega168 (5 V, 16 MHz) statt Atmega328P (5 V, 16 MHz) in der IDE einstellte. Der einzige Unterschied scheint zu sein, dass die Upload-Geschwindigkeit der Arduino-IDE von 57.600 auf 19.200 reduziert wird; damit konnte der Sketch erfolgreich geladen werden. Denkt also daran, wenn ihr auf einen widerspenstigen Atmega328P stößt!

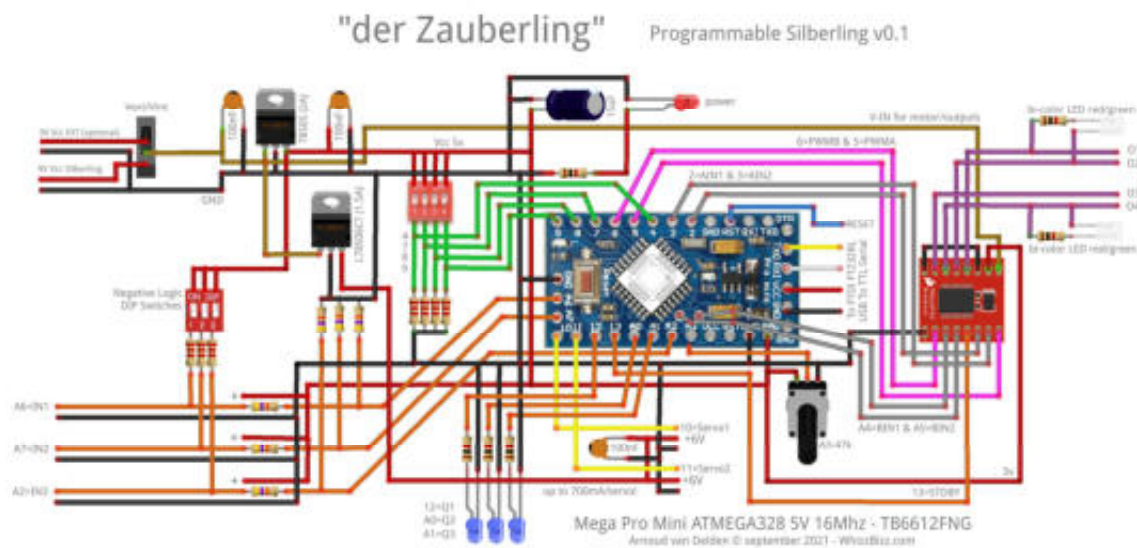


Abb. 8: Der Schaltplan des Zauberlings

Die Eingänge zum Zauberling

Wie im Schaltplan des Zauberlings (Abb. 8) zu sehen ist, werden alle Ein-/Ausgänge des Atmega328P für den Zauberling verwendet. Bei den Eingängen wurde die Schaltanalogie des ftDuino- und fischertechnik-eigenen TXT-Controllers befolgt, wobei die Sensoren an den Eingängen auf Null (Masse/GND) geschaltet werden. Das ist praktischer als beim E-Tec-Modul, wo die Sensoren an +9 V angeschlossen werden, sodass aktive Sensoren mit eigener Ausgangsspannung (meist 5 V) an den Eingängen mangels gemeinsamer Masse nicht verwendet werden können.



Abb. 9: Verschiedene passive Sensoren

Die Eingänge sind mit einem Spannungsteiler ausgestattet, der bis zu Eingangsspannungen bis 10 V schützt und es ermöglicht

(bei einer externen Eingangsspannung von 9 V), die Ausgänge als digitales oder analoges Signal an den Eingängen zu nutzen. Dadurch ist eine Kombination mit den historischen Silberlingen möglich.

Mittels DIP-Schiebeschaltern kann für passive Sensoren wie Taster, Reedschalter, Fotowiderstände oder Transistoren, NTC-Widerstände etc. (Abb. 9) pro Eingang eine Vorspannung angelegt werden. Diese Sensoren senken dann die Spannung am jeweiligen Eingang, da ihr Widerstand bei Änderungen der Umgebung abnimmt. Der Zauberling wird daher sowohl mit „positiver Logik“ als auch mit „negativer Logik“ umgehen können.

Die Interpretation und Verarbeitung der gemessenen Eingangsspannungen kann in Software gelöst werden. Dadurch konnten die Anschlüsse hardwaremäßig relativ einfach gehalten werden. Die maximale Eingangsspannung des (optionalen) externen Netzteils habe ich vorerst auf 9 V eingestellt. Sollte sich in Zukunft herausstellen, dass eine externe Spannung von 12 V (oder sogar mehr) sinnvoll ist, kann es sinnvoll sein, in einer späteren Version die Eingänge des Mikrocontrollers mit einer 5,1 V Zener zu schützen.

Einige historische Silberlinge verfügen über eine Signalleuchte, an der der Status des Ausgangs abgelesen werden kann. Allerdings ist nicht sofort erkennbar, was digital an den Eingängen genau passiert. Der Zauberling liefert pro Eingang mittels einer LED Feedback; dadurch besteht jederzeit Klarheit über den aktuellen Status der drei Eingänge.

Für den Anschluss aktiver Sensoren (wie Hall-Effekt, IR-Hindernis, PIR-Detektor, etc., Abb. 10), die oft als kleine Module ausgeführt sind, wird die notwendige 5 V-Spannungsversorgung auf einem dreipoligen Stecker geführt. Außerdem können für die Anschlüsse an den Eingängen auch die bekannten fischertechnik-Stecker am Prototypen verwendet werden.

Wie die Erkennungsschwellen von Sensoren an den Eingängen des Zauberlings ‚selbstlernend‘ sein können, warum für Schaltgeräusche an den Eingängen keine Störunterdrückung erforderlich ist oder welche Programme ausgeführt werden, ist komplett softwaregesteuert. (Mehr dazu in Teil 2 dieses Beitrags.)

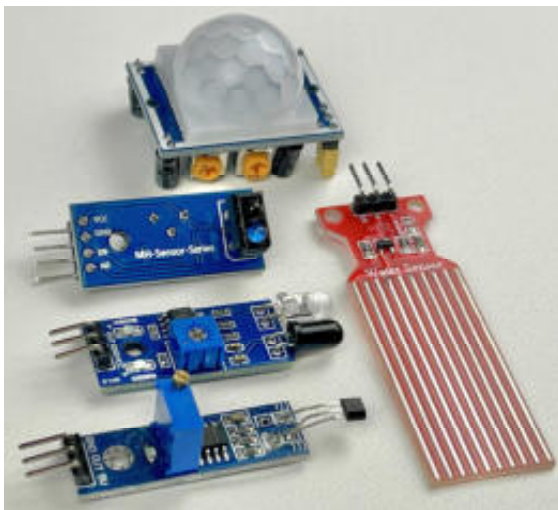


Abb. 10: Verschiedene aktive Sensoren

Die Ausgänge des Zauberlings

Als Ausgänge werden die Dual-Ausgänge eines TB6612FNG-Motortreibers mit PWM-Steuerung verwendet. Jeder Ausgang dieses kleinen Moduls kann bis zu 2 A

liefern. Diese Treibermodule habe ich bereits in verschiedenen Projekten eingesetzt; in der Praxis benötigen sie keinen eigenen Kühlkörper.

Dieses Modul beansprucht mit sieben Pins (von denen zwei PWM-fähig sein müssen) einen relativ großen Teil der 20 Ein- und Ausgänge des Atmega328P. Wenn die Motorleistung auf O3-O4 immer invertiert der Motorleistung O1-O2 folgt, könnten wir hier Datenleitungen einsparen. Dennoch behalten wir in der Software weiterhin die volle Kontrolle über zwei unabhängige Motorausgänge. Dies ist derzeit zwar nicht notwendig (z. B. im ‚Basisprogramm‘), bietet aber die Möglichkeit, die beiden Motorausgänge zukünftig als vier separate Ausgänge zu nutzen.

Wie in dem mit Fritzing gezeichneten Schaltplan zu sehen ist (Abb. 8), sind auch Anschlüsse für zwei Servos vorgesehen. Die Anschlüsse haben dafür eine eigene Versorgungsspannung von 6V.

Programmauswahl mit DIP-Schiebeschaltern

Zur Programmauswahl werden DIP-Schiebeschalter ausgelesen, wie z. B. auch beim E-Tec-Modul. Das serielle Lesen einer (im Prinzip unbegrenzten) Anzahl paralleler Wahlschalter erfordert mindestens vier Datenleitungen und ein oder mehrere 74HC165 8-Bit-Schieberegister.

Zur Programmwahl verfügt der Zauberling über einen DIP-Schiebeschalter mit vier Schiebeschaltern, mit denen 16 verschiedene Programme ausgewählt werden können. Zum Auslesen dieser Einstellungen wurden daher einfach vier parallele Datenleitungen verwendet, da sich das serielle Auslesen solcher Schiebeschalter erst bei deutlich mehr DIP-Schiebeschaltern (und Optionen) lohnt. Sollte in Zukunft an Eingängen gespart werden müssen, gibt es noch einen weiteren cleveren Trick, die vier DIP-Schalter mit nur einem Analogeingang einzulesen [4].

Versorgungsspannung und Kompatibilität

Der Gleichrichter-Baustein h4 GB ([36393](#)) konnte laut Originalspezifikationen einen maximalen Strom von 800 mA liefern. Abgesehen davon, dass dieser Maximalstrom durch die verwendete Brückenzelle bestimmt wird, wird er insbesondere durch den verwendeten fischertechnik-Transformator begrenzt. Die originalen fischertechnik-Transformatoren 812 und 814 liefern 5 VA bzw. 7 VA (Watt). Bei der angegebenen AC-Spannung von 6,8 V würde das einen maximalen Strom von $(5/220=)$ 735 mA bzw. $(7/220=)$ ~1 A bedeuten, obwohl fischertechnik – wohl sicherheitshalber – nur 0,5 A am AC-Ausgang angibt.

In der Praxis sollten mit dem Gleichrichtermodul h4 GB mehrere rein digital genutzte (< 800 mA) Zauberlinge aus dem originalen fischertechnik-Netzteil versorgt werden können. Der Transformator liefert nach Angaben von fischertechnik eine Wechselspannung von 6,8 V, was zu einer gleichgerichteten Spannung von ~9 V führt. Die fischertechnik-Transformatoren stammen jedoch aus dem Anfang der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, als die Netzspannung noch 220 V betrug. Diese liegt heute bei 230 V, wobei sich in der Praxis (in verschiedenen Stichproben) der tatsächliche Wert oft zwischen diesen beiden Grenzwerten befindet. Das kann regional oder national unterschiedlich sein.

Aufgrund von Erfahrungen und (neueren) Veröffentlichungen von fischertechnik-Kollegen habe ich mich entschieden, mir die Ausgangsspannung am Oszilloskop anzuschauen. Es wurde bestätigt, dass die Trafoausgänge der von mir getesteten Trafos 812 und 814 (ohne Last) eine Wechselspannung mit Spitzen von bis zu 12,8 V aufwiesen. Glücklicherweise lag der RMS-Wert (Energieinhalt) mit etwa 8,7 V näher am angegebenen Wert von 6,8 V. Die h4 GB-Gleichrichtermodule erzeugen hier

(ohne Last) einen durchschnittlichen Gleichstrom von ca. 11 V, der unter Last (z. B. mit einem kleinen fischertechnik-Motor) auf ca. 10 V absinkt.



Abb. 11: Mehrere h4 GB-Gleichrichtermodule auf dem Prüfstand

Es ist klar, dass die Möglichkeit, ein externes 9 V-Netzteil anzuschließen, sehr schön ist. Vor allem, wenn mehrere Motoren oder andere Verbraucher, wie Magnetventile bei einem pneumatischen Modell, angesteuert werden müssen. Idealerweise verfügt das Modul daher über eine eigene 5 V-Spannungsregelung für den Mikrocontroller und die Versorgung aktiver Sensoren und der Servos. Wie viel Wärme dabei entstehen würde und ob beispielsweise die Servos (die unter Last bis zu 650 mA ziehen können) beispielsweise eine eigene 6 V-Versorgung benötigen, war schwer abzuschätzen. Deshalb habe ich die Schaltung zunächst experimentell aufgebaut.

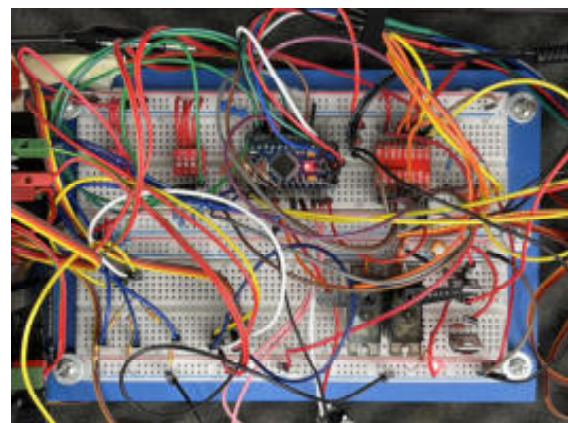


Abb. 12: Der experimentelle Versuchsaufbau

Die Versuche zeigten, dass die Grundschaltung des Zauberlings im Ruhezustand nur 66 mA zieht. Beim Testen der Motorleistungen wurden Spitzen von 400 mA gemessen. Ein einzelner Spannungsregler 8705 kann maximal 1 A liefern und wurde sofort ziemlich heiß. Ich habe es durch einen 7805CV ersetzt, der maximal 1,5 A liefern kann.

Beim Testen mit den beiden Servos nahm die Wärmeentwicklung weiter zu. Ein sich bewegendes und leicht belasteter MG90S Mini-Servo zog im Testaufbau bis zu 425 mA. Hier darf die Last laut Spezifikationen problemlos bis zu 650 mA betragen. Das bedeutet, dass zwar kurzzeitig auch der Einsatz von zwei Servos gleichzeitig möglich ist, es aber klüger ist, den Servos einen eigenen Spannungsregler 87S06 für 6 V zu spendieren und einen noch belastbareren 87S05 (maximal 2 A) für die 5 V-Versorgung zu verwenden – nicht so sehr wegen der Stromstärke, sondern weil etwas Überdimensionierung nie schaden kann.

Außerdem hat sich bei diesem Test gezeigt, dass es sinnvoll ist, sicherheitshalber beide Spannungsregler auf einem Kühlkörper zu montieren.

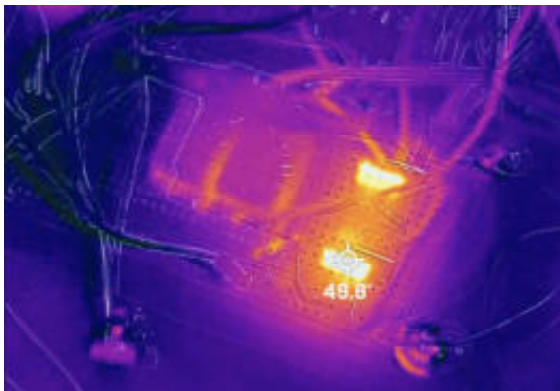


Abb. 13: Ein Kühlelement für die Spannungsregler erscheint sinnvoll

Letztendlich habe ich mich entschieden, die Stromversorgung der Module über die Kontaktschienen durchzuschleifen und den Spannungsreglern ein kleines Kühlelement auf der Rückseite des Silberlings in Form

eines Stücks Aluminiumplatte zu verpassen. Dies ist für den Prototyp, Version 0.1, in Ordnung. Die nächste Version sollte eine separate Netzteilplatine an der Unterseite des Gehäuses erhalten, die auch direkt die Anschlüsse für die externe Stromversorgung beherbergt. Dies würde die Installation erleichtern. Außerdem können die Stecker für das eventuelle Durchschleifen der Versorgungsspannung dann auch direkt einen Platz finden, sodass lose Kabel mit manchmal ungenutzten Steckern vermieden werden.



Abb. 14: Zauberling mit Anschlusssteckern und Kühlung auf der Rückseite

Der Prototyp

Das Zusammenbauen und Testen des Prototyps (Abb. 15) erforderte präzise Arbeit, aber es gab keine nennenswerten Rückschläge. Aus den Drahtspaghetti des Versuchsaufbaus war ein Zauberling geworden. Beim Zusammenschrauben hatte ich das Gefühl, als würde ich den Geist in der Lampe einsperren...☺

Der Zauberling funktionierte fast sofort, wie bereits auf dem Steckbrett getestet. Das kleine Kühlelement auf der Rückseite eignet sich hervorragend; selbst unter Volllast wird es nicht mehr als lauwarm.

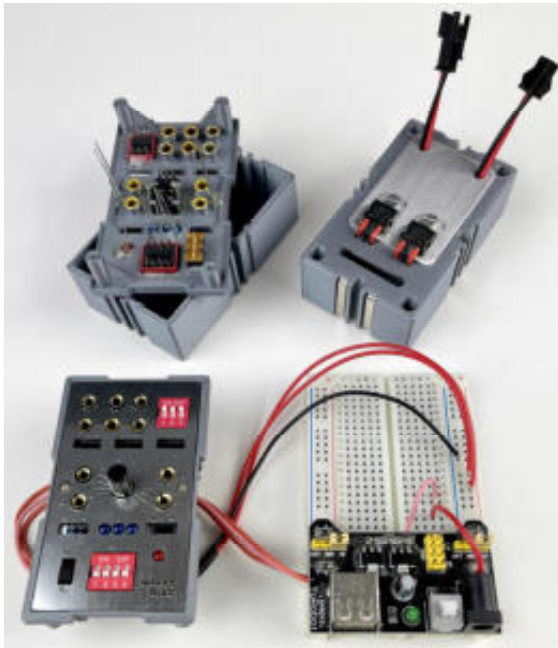


Abb. 15: Verschiedene Entwicklungsphasen

Fazit

Es könnte eine Überlegung wert sein, den Zauberling in Zukunft mehr in SMD-Technik zu bauen. Denn sowohl der Mikroprozessor als auch der Motortreiber sind bereits in SMD-Technik realisiert. Dies ist für den TB6612FNG sicherlich eine Überlegung wert; das von mir verwendete Kompletmodul hat kaum zusätzliche Komponenten. Andererseits: Die einzelnen Chips sind in der Praxis wohl genauso teuer wie die kompletten Module. Diese haben den Vorteil, dass sie „huckepack“ auf der Hauptplatine montiert werden können, was das Design vereinfacht und den (vertikalen) Platz besser nutzt.

Bisher habe ich die Servoausgänge nicht benötigt. Sie erscheinen zwar sinnvoll, aber vielleicht kommt dafür in Zukunft ein separater Servo-Silberling mit mehr manuellen Einstellmöglichkeiten pro Servo in Frage. Eine weitere Überlegung ist, ob die nächste Version noch Buchsen für die fischertechnik-Stecker haben soll. Die moderneren Stiftleisten erleichtern nicht nur das Mitführen der Stromversorgung für aktive Sensoren, sondern nutzen auch den

freien Platz auf der Vorderseite des Zauberlings viel effizienter. Und außerdem: Die bewährten fischertechnik-Stecker müssen im Prinzip nur auf der Seite der kontrollierten fischertechnik-Komponenten im Modell verwendet werden.

Was in Zukunft sicherlich einen Platz auf der Front bekommen wird ist ein Reset-Knopf. In der Praxis habe ich schon gemerkt, dass das sehr hilfreich sein kann, zum Beispiel nach Programmänderungen mit den DIP-Schiebeschaltern. Fürs Erste habe ich das gelöst, indem ich einen Mikroswitcher in die Verkabelung des Uno eingebaut habe, den ich zum Programmieren verwende. Es ist auch möglich, den Vext/Vint-Schieberegler kurz in die neutrale Mittelstellung zu bewegen und so ein Reset zu erzwingen.

Der Zauberling hat jetzt seinen (ersten) Zauberstab. Aber was ist ein Magier ohne seine Zaubersprüche? In Teil 2 dieser Serie schauen wir uns daher die (erste) Software für diesen selbstgebauten Silberling an; in Teil 3 folgt eine erste Anwendung des Zauberlings.

Quellen

Eine Beschreibung, weitere Informationen und einen [Link zu einem Video](#) zu diesem Projekt findet ihr [auf meiner Webseite](#).

- [1] Arnoud van Delden: *Die unendliche Lemniskate*. [ft:media 2/2021](#), S. 36–44.
- [2] Peter Krijnen: *Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 1)*. [ft:media 1/2021](#), S. 80–93; *Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 2)*. [ft:media 2/2021](#), S. 80–89; *Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 3)*. [ft:media 2/2021](#), S. 90–100.
- [3] Harsh Dethe: [How to Program Arduino Pro Mini Using Arduino UNO](#). Instructables.com
- [4] Allan Schwartz: [Creative solutions to your ID circuit](#). Whatimade.today

Computing

Sensoren am TXT: Der LDR

Kurt Mexner

Mit verschiedenen Sensoren werden die Möglichkeiten des TXT Discovery Sets erheblich erweitert. Mit dieser Reihe möchte ich einige dieser Sensoren vorstellen. Heute geht es um die Wahrnehmung von Licht.

„Fremdsensoren“ für den TXT

Das Gute am TXT ist seine Offenheit für „Fremdsensoren“. Ohne große Probleme lassen sich preisgünstige Sensoren der Elektronik-Bauteile-Händler (Conrad, Pollin, Reichelt u. a.) anschließen und in ROBO Pro nutzen.

An den Eingängen I1 bis I8 können beispielsweise

- LDR (lichtempfindliche Widerstände)
- Reedkontakte (schalten bei Kontakt mit einem Magneten)
- Infrarot-Fotodioden und -transistoren
- Temperatursensoren
- Miniaturschalter
- Neigungsschalter

angeschlossen werden und ermöglichen ROBO Pro recht sensibel zu werden.

Auch „Fremdaktoren“ wie handelsübliche LED in allen Farben können an den Ausgängen des TXT angeschlossen werden. Sie können mit 3-9 Volt angesteuert werden und verbrauchen ca. 20mA bis 100mA.

Wichtig ist, auf die richtige Polung zu achten und einen Vorwiderstand zu verwenden. Da der Ausgang des TXT mit 9 Volt arbeitet, sind wir mit einem Wert von 390 Ohm/0,25 Watt auf der sicheren Seite.

Alle diese Bauteile kosten nur Centbeträge und erlauben vielfältige Experimentiermöglichkeiten und Anwendungen. Häufig gelingt es auch, diese mit Heißkleber in fischertechnik-Bausteine zu „integrieren“ (Abb. 2).

Alle von mir im Folgenden vorgestellten Sensoren, Schaltungen und Programme wurden von mir ausprobiert und getestet. Trotz aller Sorgfalt meinerseits kann ich keine Haftung für Schäden übernehmen, die durch die Umsetzung meiner Vorschläge entstehen.

Im Gegensatz zu meinen früheren Beiträgen muss hier der TXT Controller eingeschaltet werden, da die Sensoren im Simulationsmodus nicht ausgewertet werden können.

ROBO Pro geht ein Licht auf

LDR mit Schwellenwert-Einstellung

Ein LDR (*Light Dependent Resistor*) reagiert ähnlich wie der fischertechnik-Fototransistor auf Licht. Im Unterschied zu jenem muss man hier nicht auf die richtige Polung achten und kann ihn direkt an einen Universaleingang anschließen. Im Eingangselement wählt man „Fotowiderstand“ und erhält dann Werte zwischen 0 und 15.000. Mit steigender Helligkeit sinkt der Widerstandswert; bei Abschattung oder Verdunklung steigt sein Wert. Mit weiterem Programmcode kann man Schwellenwerte bestimmen und LEDs, Motoren oder Summer ansteuern.

Im herunterladbaren Programm „LDR mit Schwellenwerteinstellung“ (siehe [Downloaddatei zum Beitrag](#)) übernimmt die Variable VAR1 den aktuell gemessenen Helligkeitswert. Über den Regler wird der Schwellenwert (Schaltpunkt) der Variablen VAR2 mitgeteilt. Das Vergleichselement wertet beide Variablen aus. Wenn VAR1 größer ist, wird die Lampe im Programmierfeld ein-, ansonsten ausgeschaltet. Der Regler erhöht den Bedienkomfort. Die Empfindlichkeit kann so entsprechend den jeweiligen Lichtverhältnissen angepasst werden.

Folgende Anwendungen bieten sich an:

- Dämmerungsschalter (wenn das Zimmer verdunkelt wird, geht die Beleuchtung am fischertechnik-Modell an)
- Lichtschranke (Rundenzähler bei einer Eisenbahn oder Autorennbahn, Alarmanlage)

Wer keinen der fischertechnik-LDR-Sensoren besitzt (Abb. 1), findet im Elektronik-Bauteile-Handel für unter einem Euro Ersatz (Abb. 2).



Abb. 1: fischertechnik-Fotowiderstände ([31361](#), [32697](#), [32698](#))



Abb. 2: LDR im BS 7,5

LDR mit automatischer und kontinuierlicher Schwellenwert-Anpassung

Am Beispiel einer Eisenbahn mit Rundenzähler wird folgendes Problem deutlich: Der LDR ist so angebracht, dass die vorbeifahrende Eisenbahn ihn abdunkelt. Im Laufe des Tages verändert sich jedoch die Helligkeit: Wolken treten vor die Sonne oder die Sonne steht tiefer. Der Schwellenwert des LDR müsste alle ca. 10 Minuten verändert werden. Es wäre doch schön, wenn ROBO Pro das automatisch tun würde.

Genau das macht das Programm „LDR mit automatischer und kontinuierlicher Schwellenwert-Anpassung“, das ebenfalls von der [ft:media-Webseite](#) heruntergeladen werden kann.

Im Hauptprogramm finden sich grau gefärbte Bereiche. In einem kann mit dem Schieberegler ein Prozentwert eingestellt werden. Dieser Wert regelt die Empfindlichkeit. Je höher der Prozentwert, desto unempfindlicher ist die Anlage. Der Zug muss sehr nahe am LDR vorbeifahren, damit er schaltet. Je geringer der Prozentwert, desto empfindlicher ist die Anlage. Hier wird eine Annäherung des Zuges viel früher erkannt.

Darunter wird der Schwellenwert berechnet. Er liegt x Prozent über dem aktuell gemessenen Wert.

Im grauen Feld rechts oben wird der aktuell gemessene Wert angezeigt.

Darunter wird durch die grüne Lampe signalisiert, wenn der Schwellenwert überschritten wurde und ROBO Pro einen Schaltvorgang (z. B. einen Zählvorgang, ein Signal, eine Bahnschranke) auslöst. Die rote Lampe signalisiert, dass aktuell kein Schaltvorgang ausgelöst werden kann, da neu gemessen wird. Dies dauert nur den Bruchteil einer Sekunde. Es könnte aber theoretisch ein Zug, der vorbeifährt, nicht erkannt werden. Dies ist nur ein Detail – in

einer professionellen Schaltung könnte dies aber wichtig sein.

Im grauen rechten unteren Feld (alle x Sekunden wird gemessen) wird die Variable „Zeit“ angezeigt. Bei einer Einstellung von z. B. 60 wird alle 60 Sekunden der aktuelle Helligkeits-Wert abgefragt und in eine der Variablen Wert 1 bis Wert 4 übertragen.

Grundeinstellungen:

- Beim Starten sollte ein Prozentwert eingegeben werden. Ich empfehle 10%.
- Im grauen Feld (alle x Sekunden wird gemessen) ist als Standardwert 60 eingetragen. Dies kann geändert werden

Programmbeschreibung:

Beim Start wird im Hauptprogramm einmal der Wert des LDR gemessen und den Variablen Wert 1 bis Wert 4 zugewiesen. Im weiteren Verlauf wird der Wert alle 60 Sekunden neu gemessen und nacheinander Wert 1 bis Wert 4 zugewiesen. Dies geschieht im Unterprogramm „Messen“, das viermal hintereinander aufgerufen wird.

Nach dem Messen wird der Wert verarbeitet. Die vier gemessenen Werte werden addiert, durch 4 geteilt und damit ein Durchschnittswert (Variable Wert 5) errechnet. Somit führt eine schleichende Helligkeitsveränderung zu einem geänderten Durchschnittswert. Im grauen Bereich des Hauptprogrammes (Schwellenwert liegt x Prozent ...) wird daraus der Schwellenwert (= Schaltpunkt) berechnet, der x Prozent über dem Wert von Wert 5 liegt.

Im letzten Unterprogramm „Schalten“ wird der Schwellenwert mit dem aktuellen Wert (Var10) verglichen. Wenn der aktuell gemessene Wert über dem Schwellenwert liegt, wird geschaltet (Abb. 3).

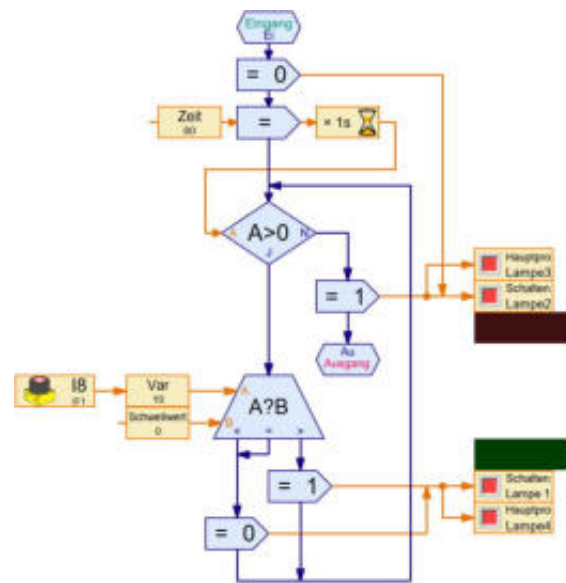


Abb. 3: Unterprogramm „Schalten“

Diese Reihenfolge (Messen, Verarbeiten, Schalten) wird noch dreimal wiederholt. Dann geht es von vorne los.

Hinweis:

Wenn der aktuelle Messwert bei ca. 13.000-14.000 liegt, ist es zu dunkel. Der errechnete Schwellenwert liegt dann über 15.000; das ist der Maximalwert, den ROBO Pro beim LDR erfassen kann.

ROBO Pro sucht Saarländer

Ich stehe euch für Fragen, Anregungen oder Korrekturen gerne zur Verfügung. Zum Schluss noch ein persönliches Anliegen: Falls es im Saarland noch mehr fischertechniker gibt, würde ich mich über eine [Kontaktaufnahme](#) zum Erfahrungsaustausch freuen. Mein Schwerpunkt ist der Robotics TXT Controller mit der ROBO Pro Software.

Computing

Revival: Relais und Gabellichtschranke an TXT und ftDuino

Matthias Dettmer

Mal Hand auf's Herz: Wer hat zuletzt etwas mit einem oder mehreren Silberlingen, etwa dem h4RB (36392), dem alten Relaisbaustein RBII (37683) oder gar einer Gabellichtschranke (32357) aus dem ersten Robotics-Baukasten gebaut? Für mein Projekt „Solarfarm“ brauchte ich mindestens sechs, besser acht Relais, um zwischen Solarzellen, Verbrauchern und Speichern „herumschalten“ zu können. Tief unten in meinem Fundus fand ich acht h4RB – also los.

Relais am Controller

Mit der heutigen Technik, also einem TX oder TXT, können die Relaisbausteine nicht direkt verwendet werden. Sie werden nämlich in „negativer Logik“ angesteuert: 0 Volt am Eingang „E“ sorgt dafür, dass das Relais anzieht. Schließt man den Relais Eingang direkt an einen Ausgang O1 bis O8 des TXT an, dann zieht das Relais während der Initialisierung des TXT sofort an.

Ein Programm im TXT müsste jetzt den Ausgang auf „High“ („Ein“) setzen, damit das Relais wieder abfällt. Ein erneutes Anziehen müsste invers angesteuert werden.

So etwas ist im Programm hakelig, und der Zustand beim Anlaufen ist nicht gesteuert.

Nun hat fischertechnik inzwischen interessante Elemente im Portfolio, die mir bei den Relais weitergeholfen haben. Alles was ich brauche, um einen Inverter zu bauen, der aus Plus eben Minus macht, sind eine LED für 9 Volt ([162134](#), oder mit Linse [162135](#)) und einen Transistor, bestehend aus dem Gehäuse ([152059](#)) und entweder der Platine ([152218](#)) und einem NPN-Transistor BC 547C ([152860](#)) oder dem „allerneuesten“, bereits aufgelöteten BC847C ([185516](#)) aus dem Profi E-Tronic-Baukasten (Abb. 1).

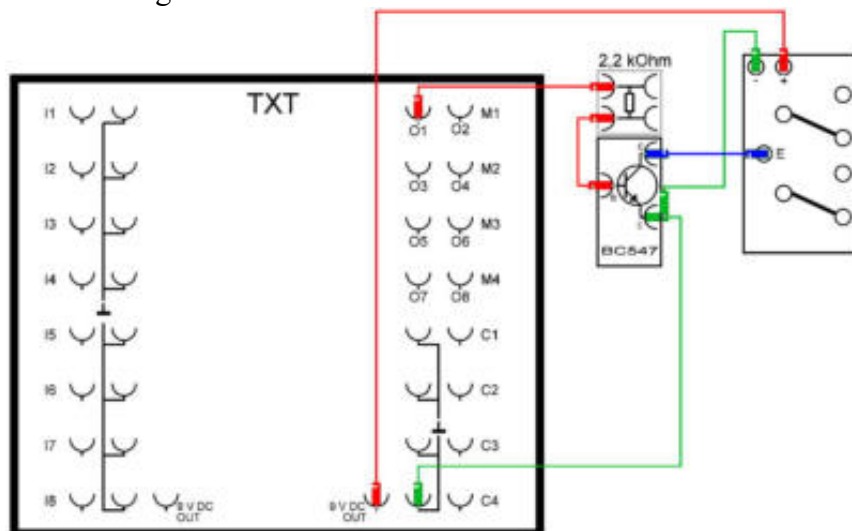


Abb. 1: Inverter am Ausgang des TX/TXT

Auf dem Schaltbild in Abb. 1 ist nicht die LED zu sehen, sondern an ihrer Stelle ein 2k2 Widerstand. Das war der erste, gleich erfolgreiche Versuch. Zu beachten ist, dass der Relaisbaustein über seine Buchsen mit 9 Volt versorgt werden muss. Hier kommt nicht der Gleichrichterbaustein zum Einsatz, sondern ich hole mir die Betriebsspannung direkt beim TXT ab. Weitere Relaisbausteine werden über die roten Steckbrücken mit Spannung versorgt – das Prinzip war damals schon genial, und das ist es meiner Meinung nach immer noch.

Steuere ich den Ausgang (zwischen 1 und 8) mit „1“ an, dann fließen so um die 3 mA durch den Widerstand und die Basis. Der Transistor öffnet, das Relais zieht an. Nun könnte man meinen, weil das ja an O1 mit „1“ pulswidenmoduliert ist, müsste das Relais anfangen wie verrückt zu rasseln. Zur Beruhigung: nein, das tut es nicht. Die Grundfrequenz des pulswidenmodulierten Ausgangs ist so um die 208 Hertz, mithin etwas weniger als 5 ms. Das Relais hat aber Abfallzeiten von bis zu 12 ms, und deswegen hört man nicht einmal etwas.

Natürlich kann der Ausgang gerne auch mit „8“, also zu 100% durchgeschaltet werden. Streng genommen ist das ein wenig sozialverträglicher für die Elektronik, es fließen ca. 10 mA. Vielleicht ebenfalls interessant: Ein angezogenes Relais zieht etwa 33 mA (bei O1 = 1) bis 30 mA (bei O1 = 8) Strom aus der „Versorgung“.

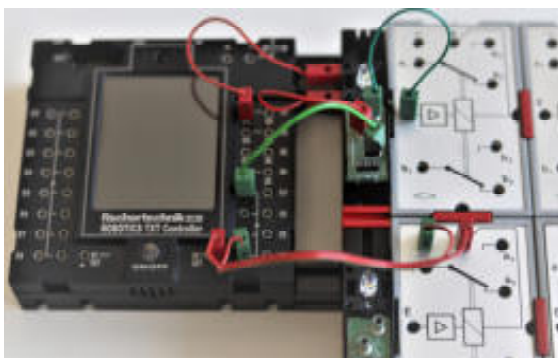


Abb. 2: Versorgung der Relaisbausteine und Ansteuerung

Der Widerstand ist ein handelsüblicher Metallschichtwiderstand, der anstelle eines Birnchens in einer Klemm-Lampenfassung eingebracht wurde: Birnchen raus, Widerstand rein, festgeklemt, fertig. Das Prinzip ist „fischertechnik-kompatibel“; im Profi Electronics-Baukasten gibt es genauso aufgebaute Widerstände, nur mit anderen Werten. Auch die sind neuerdings als fest verlötete Elemente zu haben.

Nun wollte ich eigentlich sehen, ob das Relais „angezogen“ oder im Ruhezustand ist. Die oben erwähnte LED erspart mir das Gefummel mit dem Widerstand und spendiert mir im gleichen Zug die gewünschte Funktion. Ich muss nicht einmal ein fischertechnik-Originalteil verändern – perfekt!

Gabellichtschranke an TXT und ftDuino

Ein weiteres Element in meinem Projekt (über das ich hoffentlich bald auch einen Artikel schreiben kann ☺) ist eine Drehzahlmessung an einem Solarmotor. Der einfachste Ansatz ist ein Finger, der einmal pro Umdrehung eine Lichtschranke durchbricht. Zu schwer darf das Gebilde nicht werden; so stark ist der kleine Solarmotor ja nicht.

Mitte der 1980er Jahr hatte fischertechnik nicht nur Interfaces für die wichtigsten damals gängigen Personal Computer (Atari, Apple, Schneider-CPC, IBM-PC) sondern auch einen Robotics-Baukasten herausgebracht. Mit diesem Baukasten konnte ein schon recht komplexer mehrachsiger Greifarm aufgebaut werden. Drehwinkel und damit indirekt Wege konnten über drei Sätze aus Walzenrädern ([32367](#)) und Gabellichtschranken ([32357](#)) gemessen, genauer: „abgezählt“ werden.

Die Interfaces haben damals maximal 5 Volt an ihren Eingängen „verkräftet“, die Ansteuerung der Motoren geschah über auch heute noch übliche H-Brücken, die aber ein separates Netzteil benötigen [1].

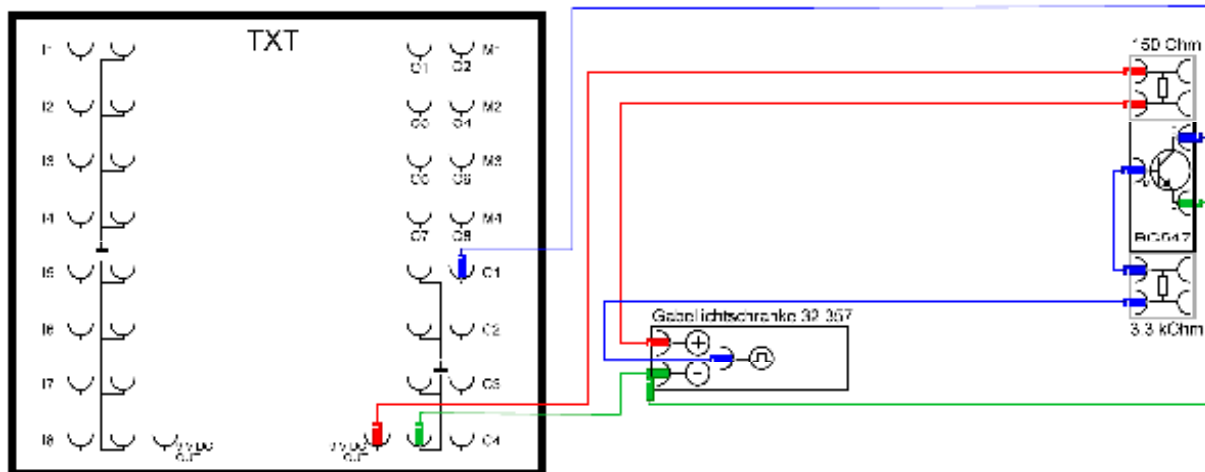


Abb. 3: Gabellichtschranke mit Vorwiderstand und Signalformer

Beim Betrieb an den 9 Volt des TXT werden die Gabellichtschranken sehr heiß und können zerstört werden. Einen kurzen Versuch halten sie aus – aber nicht nachahmen!

Unter anderem bei [fischerfriendsman](#), aber auch im Forum ist eine Schaltung mit einem Vorwiderstand und einem Transistor als Signalformer beschrieben. Scheut man die Fummelei mit anderen als den fischertechnik-üblichen Widerständen nicht, dann kann man die dort beschriebene Vorschaltung recht einfach umsetzen.

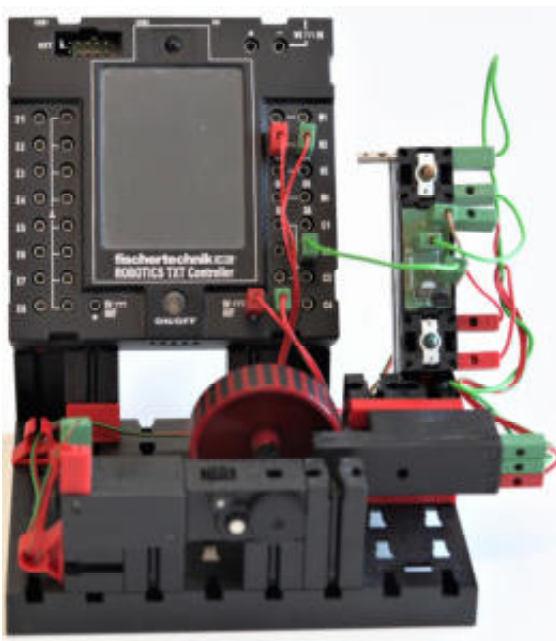


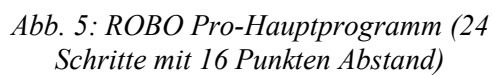
Abb. 4: Gabellichtschranke und Walzenrad am TXT

Ein erster Versuch erfolgt über den Interface-Test in ROBO Pro: Einen Motor an M1 anschließen, Drehzahl eingeben, und auf Pulse warten. Eventuell muss am Stellpotentiometer der Gabellichtschranke nachjustiert werden – das hat aber bei allen meinen Versuchen auf Antrieb (und in der Nähe eines Anschlags, aber hey!) geklappt.

Das Innenleben eines fischertechnik-Steckers diente hier als „Angriffspunkt“ für eine Messung mit einem Oszilloskop. Aber wie oben gesagt: Eine Justage mit einem gelben ft-Schraubendreher im kleinen Loch im Deckel der Gabellichtschranke und unter Verwendung des Interface-Tests funktioniert auch ohne Oszilloskop – einmal bei laufendem Motor hin und her drehen, irgendwo stellen sich Pulse an C1 ein.

Um nun verschiedene „Sprünge“ austesten zu können, wurden das Hauptprogramm und ein Unterprogramm für den TXT getrennt (Abb. 5, 6).

Die „Pulsweiten-Schrittweite“ wurde bewusst so gewählt, dass sie auf einem ftDuino nachgebildet werden konnte. Der ftDuino erlaubt meiner Meinung nach eine viel flexiblere Anwendung des I2C-Bus, deswegen wird mein späteres Projekt zuerst auf einem solchen umgesetzt werden. Also: gleiche Beschaltung, ftDuino ersetzt TXT (Abb. 7).



Die Programmierung setzt das Ganze nur in Text statt in ROBO-Pro-Klötzchen um (Sketch Listing 1).

Listing 1: ftDuino-Sketch (Hauptprogramm)

Der ftDuino bietet statt den 512 Schritten für die Pulsweitenmodulation nur 64 Schritte, also nur ein Achtel an. Die über jeweils 5 Sekunden hinweg gezählten Pulse werden in einer Datei abgelegt.

Ansonsten macht das Unterprogramm des ftDuino nichts anderes als das ROBO Pro-Programm. Die vom Hauptprogramm eingestellte „Schrittweite“ wird erst rechts-, dann linksherum an den Motorausgang ausgegeben. Statt in eine Datei werden die gezählten Pulse über die serielle Schnittstelle des ftDuino ausgegeben und mit einem Terminalprogramm als Textdatei aufgezeichnet (Listing 2).

```
void GetOne () {
    if (Speed > 64) { Speed = 64 ;}
    Serial.print ("Speed : ");
    SpeedTXT = Speed + 0;
    Serial.print ( SpeedTXT );

    ftduino.counter_clear (Ftduino::C2);
    Zaehl = 0;

    // StartZeit = millis();
    ftduino.motor_set ( Ftduino::M2 , Ftduino::LEFT , Speed );
    delay(5000);
    ftduino.motor_set ( Ftduino::M2 , Ftduino::OFF , 0 );
    delay(500);
    // StopZeit = millis();
    // Differenz = StopZeit - StartZeit;
    // Serial.print(TAB8);
    // Serial.print(Speed);

    Zaehl = ftduino.counter_get (Ftduino::C2);
    Serial.print(TAB8);
    Serial.print(Zaehl);

    ftduino.counter_clear (Ftduino::C2);
    Zaehl = 0;

    // StartZeit = millis();
    ftduino.motor_set ( Ftduino::M2 , Ftduino::RIGHT , Speed );
    delay(5000);
    ftduino.motor_set ( Ftduino::M2 , Ftduino::OFF , 0 );
    delay(500);
    // StopZeit = millis();
    // Differenz = StopZeit - StartZeit;
    // Serial.print(TAB8);
    // Serial.print(Differenz);
    Zaehl = ftduino.counter_get (Ftduino::C2);
    Serial.print(TAB8);
    Serial.print(Zaehl);
    Serial.println();
}
```

Listing 2: Unterprogramm „GetOne“

Hier zeigt sich ein wirklich interessanter Umstand: während die gezählten Pulse beim TXT in etwa linear abnehmen, fallen sie beim ftDuino eher exponentiell ab. Im Diagramm in Abb. 8 sind die absolut gezählten Pulse über der Anzahl von 5 Sekunden langen Messungen abgetragen.

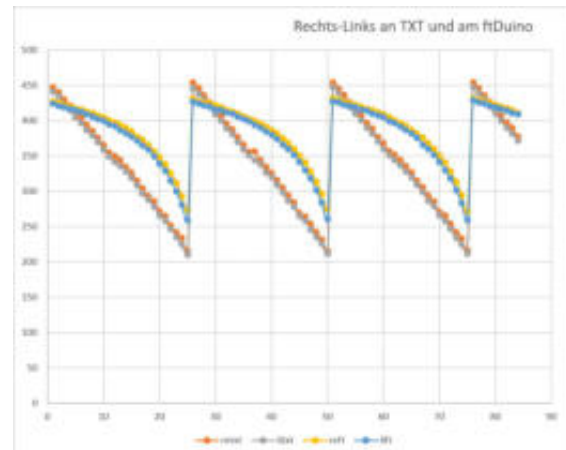


Abb. 8: Vergleich TXT/ftDuino (Drehzahlreduktion)

Das Walzenrad hat 32 Striche auf dem Umfang. Für die wirklichen Umdrehungen muss die Zahl dann durch 32 geteilt werden. 450 Pulse, geteilt durch 32 Striche, geteilt durch 5 wegen der 5 Sekunden „Zählzeit“ und multipliziert mit 60 ergibt um die 170 Umdrehungen pro Minute am Getriebeabgang. Das ist ein Wert, wie er schon an anderer Stelle bestätigt wurde [2].

Mein Hauptziel, nämlich die uralten Elektronik-Bauteile h4RB und die Gabellichtschranke wiederzubeleben, ist damit erreicht. Bei ebay werden selbst für den allereinfachsten Gleichrichterbaustein nicht selten Mondpreise über 40 € und mehr aufgerufen; ein MonoFlop (h4MF) ist nicht unter 89 € zu haben. Was machen eigentlich die Käufer später damit? In eine Vitrine stellen? Weiter oder wieder verkaufen?

Die Silberlinge gehören nicht ins Museum – sie verdienen immer noch, in Modelle eingebaut, genutzt – und ja, bespielt zu werden.

Referenzen

- [1] René Trapp: *V. I. P. – Ein I²C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 2)*. [ft:pedia 3/2017](#), S. 57–68.
- [2] René Trapp: *Kenndaten der ft-Motoren*. [ft:pedia 3/2013](#), S. 9–29.

Computing

WASD-Pad: Gamepad einmal anders

Fabian Harbaum, Till Harbaum

Besonders interessant wird es bei fischertechnik-Konstruktionen eigentlich immer dann, wenn man die fischertechnik-Insel verlässt und sich Problemen außerhalb der Blase widmet, die man dann mit Baukastenelementen löst. Das hier präsentierte Gamepad ist ein solches Projekt.

Hintergrund

Begonnen hat alles mit einem Gamepad, das unser Sohn auf Basis des fischertechnik-Joystick-Adapters gebaut hat [1]. Dieser Adapter stammt noch aus Vor-ftDuino-Zeiten, erfreut sich aber daheim nach wie vor großer Beliebtheit und wird immer wieder zum Bau von Lenkrädern, Joysticks und Gamepads verwendet. Mit preisgünstigen, so genannten „USB-OTG“-Adaptoren lassen sich die Modelle dann sogar an Smartphones und Tablets nutzen.

Allerdings zeigte sich diesmal ein Problem: Ein paar Spiele wollten partout nicht mit dem selbstgebauten Gamepad spielbar sein. Es stellte sich aber schnell heraus, dass das nichts mit dem Adapter oder fischertechnik zu tun hatte. Stattdessen gibt es einfach PC-Spiele, die auf die Benutzung per Tastatur ausgerichtet sind. Konkret wollten Minecraft und vor allem Asphalt8 nicht auf die Befehle des selbstgebauten Gamepads hören. Stattdessen erwarten beide Spiele die Nutzung der Tasten „W“, „A“, „S“ und „D“ für die Richtungssteuerung und der Leertaste für „Aktion“.

Eine erste Lösungsidee der Kinder war ausgesprochen „fischertechnisch“ und sollte ein fischertechnik-Gamepad per Magnetventilen und Pneumatikzylindern mit der vorhandenen PC-Tastatur verbinden. Das Gamepad hätte dann die Tasten der Tastatur mechanisch per Druckluft betätigt.

Dieses Vorhaben scheiterte aber schon in der Planungsphase an einem Magnetventil- und Pneumatik-Zylinder-Mangel, denn benötigt wurden derer mindestens fünf (für vier Richtungstasten und eine Feuertaste).

Hier konnte nun der ftDuino eine seiner Stärken ausspielen [2]. Denn während der alte Joystick-Adapter mit seiner fest verbauten Firmware auf das Thema „Gamepad“ festgelegt ist, ist der ftDuino frei programmierbar: Man kann ihn ebenfalls zu einem USB-Gamepad machen (Abb. 1, 2).

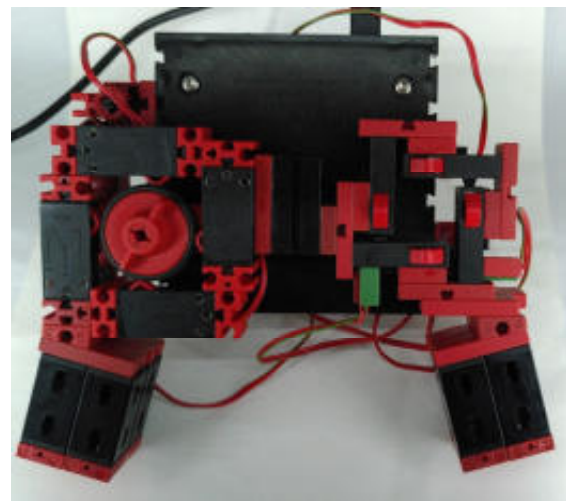


Abb. 1: ftDuino als USB-Gamepad

Die Arduino-IDE bringt dafür zwar keine Bibliothek mit, aber das Internet hat mehrere Lösungen parat, die sich leicht nachinstallieren lassen [3]. Aber damit hätten wir das Gamepad-Problem ja nach wie vor. Noch viel einfacher ist es, auf Arduino-Basis USB-Tastaturen zu bauen.

Die dafür nötigen Funktionen bringt die Arduino-IDE sogar bereits ab Werk mit und auch ein einfaches Beispiel wird gleich mitgeliefert [4].

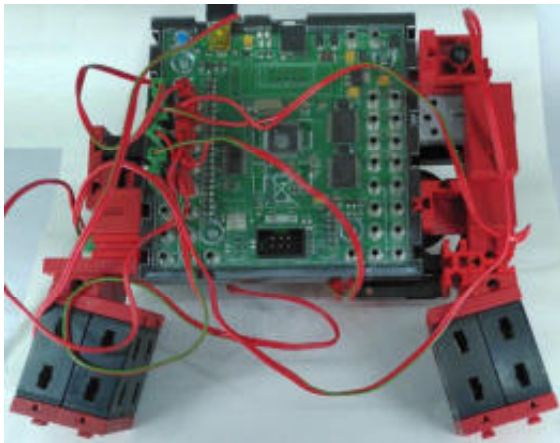


Abb. 2: ftDuino-Gamepad von unten

Dieses Beispiel sendet ganze Textnachrichten auf Tastendruck. Das ist leider nicht ganz das, was wir suchen. Vor allem sendet dieses Beispiel einfache kurze Tastenereignisse. Beim Spielen möchte man aber den Finger häufig auf der Taste liegen lassen,

um z. B. kräftig zu beschleunigen. Auch sollte es möglich sein, mehrere Tasten gleichzeitig zu drücken, um beispielsweise während des Beschleunigens im Rennspiel zu lenken.

Es gibt dazu zwar kein Beispiel in der Arduino-IDE, die zugrundeliegende Bibliothek unterstützt solch detaillierte Steuerung aber durchaus. Die Arduino-Keypress-Funktion [5] und ihr Key-Release-Pendant machen genau das, was wir benötigen: Sie senden explizite „Taste-wird-gedrückt“ und „Taste-wird-losgelassen“-Nachrichten an den angeschlossenen PC.

Der Sketch dazu ist recht kurz gehalten und kann alle 12 Eingänge des ftDuino (I1 bis I8 und C1 bis C4) nutzen. Jeder Eingang kann auf eine eigene Taste abgebildet werden. In der hier präsentierten Variante sind die Eingänge I1 bis I5 auf die eingangs erwähnten Tasten W, A, S, D und die Leertaste abgebildet. Das lässt sich im Sketch leicht ändern und an eigene Spiele anpassen.

```
/*
 * WASD_Pad.ino
 *
 * ftDuino als "WASD"-Tastatur/Gamepad, um Spiele wie Asphalt8 oder
 * Minecraft zu steuern
 */

#include <FtduinoSimple.h>
#include <Keyboard.h>

// Tabelle der Eingänge und der Tasten. Erste Spalte
// ist 0 für I1-I8 und 1 für C1-C4
uint16_t keys[][3] = {
  // 0=I/1=C, Eingang, Taste
  { 0, Ftduino::I1, 'w' },
  { 0, Ftduino::I2, 'a' },
  { 0, Ftduino::I3, 's' },
  { 0, Ftduino::I4, 'd' },
  { 0, Ftduino::I5, ' ' }
};

// Zahl der Eingänge in keys-Tabelle berechnen
#define INPUTS (sizeof(keys)/(3*sizeof(uint16_t)))

uint16_t state[INPUTS]; // Speicher, um Zustand zu speichern
uint32_t lastEvent[INPUTS];
```

```
void setup() {
    Keyboard.begin(); // Tastaturfunktionen starten
    memset(state, 0, sizeof(state)); // Zustände initialisieren
    memset(lastEvent, 0, sizeof(lastEvent));
}

void loop() {
    for(char i=0;i<INPUTS;i++) { // Alle Eingänge aus Tabelle abfragen
        // INPUT bzw. COUNTER lesen
        uint16_t buttonState =
            keys[i][0]?ftduino.counter_get_state(keys[i][1]):
            ftduino.input_get(keys[i][1]);

        // Hat sich der Zustand der Taste geändert?
        if(buttonState != state[i]) {
            // ja, Zeit des Wechsels merken
            lastEvent[i] = millis();
            // und den neuen Zustand merken, damit wir weitere
            // Änderungen erkennen können
            state[i] = buttonState;
        }

        // Gibt es ein unbearbeitetes Ereignis und hat sich der Zustand
        // der Taste seitdem für mehr als 10 Millisekunden nicht geändert?
        if(lastEvent[i] && ((millis() - lastEvent[i]) > 10)) {
            lastEvent[i] = 0; // Zeit dieses Ereignisses vergessen

            // Taste wurde gedrückt bzw. losgelassen -> an PC senden
            if(state[i]) Keyboard.press(keys[i][2]);
            else Keyboard.release(keys[i][2]);
        }
    }
}
```

Listing 1: WASD_Pad.ino

Etwas Vorsicht ist geboten: Fehler im Sketch, die z. B. dazu führen, dass permanent eine Taste als gedrückt gemeldet wird, können den Umgang mit dem ftDuino am PC sehr störrisch machen. Sobald der ftDuino dann am PC steckt fängt er ggf. an, wirre Tastendrücke an den PC zu melden, und der PC ist kaum mehr sinnvoll zu bedienen.

Es gab sogar bereits einen Reklamationsfall, bei dem ein User genau das gemacht hat und den ftDuino verzweifelt zur „Reparatur“ geschickt hat. Die Lösung für dieses Problem ist der Reset-Taster am ftDuino. Solange er gedrückt ist läuft der Sketch nicht und es werden auch keine störenden Tastendrücke an den PC gesendet. Man kann daher währenddessen in Ruhe den Upload eines weniger störrischen Sketches

auf den ftDuino vorbereiten und kurz vor dem eigentlichen Flashvorgang den Reset-Taster loslassen. So wird der störrische Sketch ersetzt und kann keine Verwirrung mehr stiften.

Referenzen

- [1] Till Harbaum: [fischertechnik-Joystick-Adapter](#), github.com
- [2] Till Harbaum: *ftDuino – Open-Source trifft Konstruktions-Baukasten*. [ft:pedia 1/2018](#), S. 85–91.
- [3] Matthew H.: [Arduino-Joystick-Library](#), instructables.com
- [4] [Keyboard-Message-Sketch](#), arduino.cc
- [5] [Arduino Keypress-Funktion](#), arduino.cc

Computing

Experimente mit dem Kombisensor

Dirk Fox

Im Jahr 2018 brachte fischertechnik einen IMU (Inertial Measurement Unit) auf den Markt, der via I²C-Protokoll mit dem TXT verbunden werden kann – den „Kombisensor“ ([158402](#)). Eine etwas unglückliche Bezeichnung, verrät sie doch nicht, was der Sensor alles kann. Zunächst war er nur mit dem Education-Baukasten „Robotics Competition Set“ erhältlich; inzwischen gibt es ihn auch als Einzelteil. Tatsächlich ist damit einiges möglich...

Hinter den Kulissen

Der fischertechnik-Kombisensor [1] enthält das Bosch-Sensormodul BMX055, das einen Magnetsensor, einen Beschleunigungssensor und einen Gyrosensor umfasst [2]. Dank der vielen Milliarden Smartphones erhält man solche – früher koffergroßen, *Inertial Measurement Unit* (IMU) [3] genannten – Sensor-Kombinationen heute für einen kleinen zweistelligen Euro-Betrag, integriert auf einem wenige Quadratmillimeter großen IC.

Der Kombisensor von fischertechnik ist zusätzlich mit einem Step-Down-Wandler ausgestattet, der die 9V-Spannung des TXT auf die von den Sensoren benötigten 3,3V herunterregelt.

Im Einzelteilvertrieb kostet der Kombisensor 48 bis 58 Euro.



Abb. 1: fischertechnik-Kombisensor ([158402](#))

Magnet-, Beschleunigungs- und Gyro-Sensor des BMX055 sind dreidimensional, d. h. sie liefern Messwerte für je drei zueinander senkrechte x-, y- und z-Achsen.

Der **Beschleunigungssensor** ist vermutlich ein BMA253 oder Vorläufer (Chip-ID 0xFA), erreichbar unter der I²C-Adresse 0x18. Er liefert mit 12 bit Auflösung und einer Genauigkeit von 1 mg die Beschleunigung im Verhältnis zur zwei- bis 16-fachen Erdbeschleunigung $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$.

Der mit dem BMM050 und BMM150 kompatible **Magnetometer** („Kompassensor“) hört auf die I²C-Adresse 0x10 und liefert die x-, y- und z-Komponente der gemessenen magnetischen Flussdichte in μT mit einer Genauigkeit von 0,3 μT u. 13 bit Auflösung.

Der **Gyrosensor** ist unter der I²C-Adresse 0x68 ansprechbar und misst die Winkelgeschwindigkeit einer Drehung des Sensors um die x-, y- und z-Achse in $^{\circ}/s$. Die Messwerte haben eine Auflösung von 16 bit.

Anschluss an den TXT

Am Robotics TXT Controller wird der Sensor mit dem beiliegenden 10-poligen Flachbandkabel an den EXT-Ausgang angeschlossen. Als Stromversorgung dient ein einadriges Kabel, über das der 9V-Eingang des Sensors mit dem 9V-Ausgang des Controllers verbunden wird (Abb. 2).

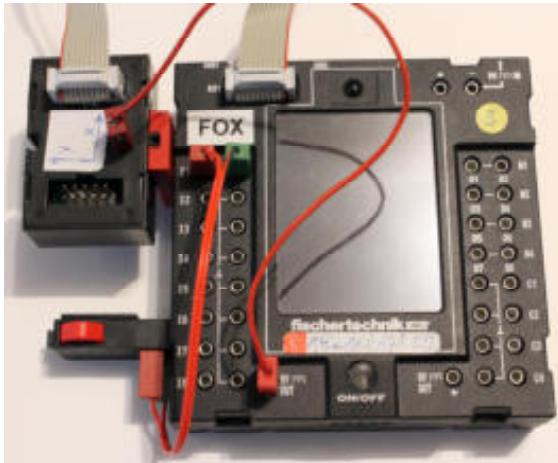


Abb. 2: Kombisensor am TXT

Der Sensor kann auch am neuen Robotics TXT 4.0 Controller genutzt werden. Dort ist fischertechnik wieder zu einer sechspoligen Wannenchse (wie beim TX Controller) zurückgekehrt. Die Verbindung zwischen einem der beiden EXT-Ausgänge des Controllers und dem Sensor kann man entweder mit einem Adapterkabel oder mit drei Female-to-Female-Jumper-Kabeln herstellen. Die folgende Grafik zeigt die zu verbindenden Anschlüsse (Abb. 3).

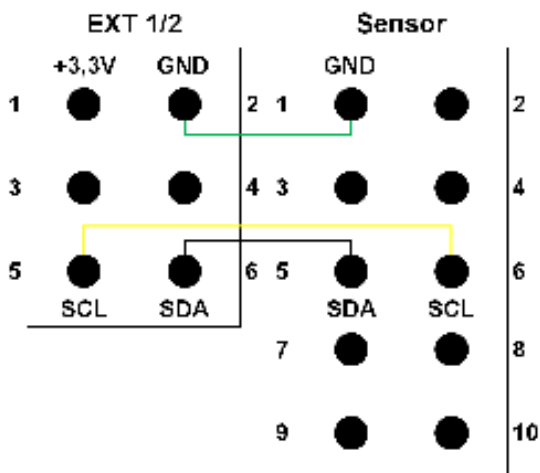


Abb. 3: Anschluss des Kombi-Sensors an den Robotics TXT 4.0 Controller

Die Stromversorgung wird auch hier mit einem einadrigen Kabel zwischen dem 9V-Eingang des Sensors und dem 9V-Ausgang des Controllers hergestellt.

Wer noch einen TX Controller sein eigen nennt, der benötigt einen Level-Shifter, um

die 3V-Logik des Sensors mit der 5V-Logik des TX zu verbinden. Außerdem muss man beachten, dass die Anschlussbelegung des TXT 4.0 von der des ebenfalls sechspoligen EXT-2-Anschlusses des TX-Controllers abweicht: Dort sind Pin 1 (GND) und Pin 2 (5V) genau umgekehrt belegt. Vorsicht also mit alten „vorkonfektionierten“ Kabeln...

Programmierung

Für ROBO Pro hat fischertechnik einen I²C-Treiber für den Sensor BMX055 – genauer: die drei darin enthaltenen Sensoren – entwickelt, der seit Version 4.2.4 mit der ROBO Pro-Software ausgeliefert wird. Den Treiber findet man in der ROBO Pro-Bibliothek unter „I2C“.

Daher können wir uns im Folgenden zunächst auf die Nutzung dieser Bibliothek beschränken. Tatsächlich musste ich sie überarbeiten und erweitern, weil sie einige Fehler enthält, die Temperaturkompensation der z-Achse des Magnetometers nicht implementiert wurde und eine Kalibrierung fehlt (mehr dazu später). Technische Details zur Konfiguration und Nutzung der drei Sensoren finden sich im 172-seitigen Datenblatt von Bosch zum BMX055 [2].

Für die neue fischertechnik-Programmierungsumgebung ROBO Pro Coding (vulgo: Blockly) stellt fischertechnik ebenfalls spezielle Blockly-Befehle bereit, die die Daten des Kombisensors auslesen. Alle folgenden Anwendungsbeispiele lassen sich weitgehend auch in ROBO Pro Coding implementieren. Wegen der großartigen Oszilloskop-Funktion, die es (bisher) in ROBO Pro Coding nicht gibt, habe ich mich bei den Beispielen allerdings auf ROBO Pro beschränkt.

Damit die Daten auf dem Oszilloskop im Bedienfeld angezeigt werden, müssen die Programme im Online-Mode gestartet werden. Im WLAN-Mode (mit dem TXT als WLAN-Client) funktioniert das auch kabellos. Und im Klassenraum kann man die Messergebnisse via Beamer projizieren.

Beschleunigungssensor

Der Beschleunigungssensor misst in Ruhelage die Erdbeschleunigung g : Liegt der Sensor flach auf einem Tisch, so liegt an der nach oben gerichteten z-Achse $1g$ an (1.000 mg), während die x- und y-Komponente deutlich kleinere Werte liefern. Das kann man sich sehr anschaulich mit der Oszilloskop-Funktion in ROBO Pro anzeigen lassen (Abb. 4).

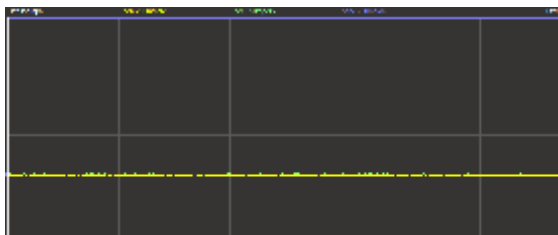


Abb. 4: Beschleunigungssensor in Ruhelage
[Skala: 1s/0,25g]
(Programm: Acc-Oszilloskop.rpp)

Dreht man den Sensor nun in verschiedene Richtungen um 90° , kann man die Ausrichtung der x- und der y-Achse prüfen: Zeigt das Oszilloskop $1g$ an, so ist die entsprechende Sensor-Achse gerade nach oben gerichtet. Die Orientierung der Achsen zueinander lässt sich leicht mit der „Rechte-Hand-Regel“ merken [2] (Abb. 5).

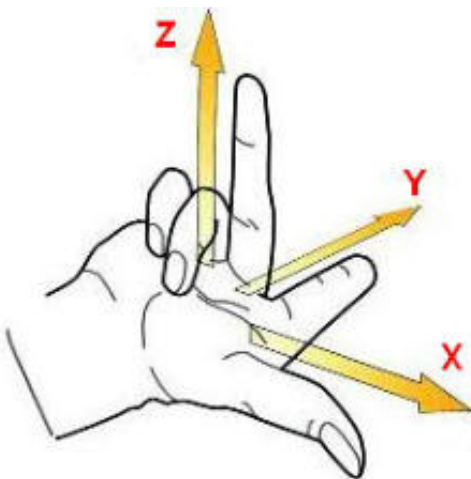


Abb. 5: Rechte-Hand-Regel

Mit einem Aufkleber könnt ihr die Lage der x- und der y-Achse auf dem Sensor kennzeichnen (siehe Abb. 2).

Der fischertechnik-Treiber liefert als Rohdaten 16-bit-Werte, bei denen die niederwertigen vier Bits undefiniert sind (also beliebige Daten enthalten können). Durch einen arithmetischen Shift um vier Bits korrigieren wir daher die Werte gleich nach dem Einlesen (Abb. 6).

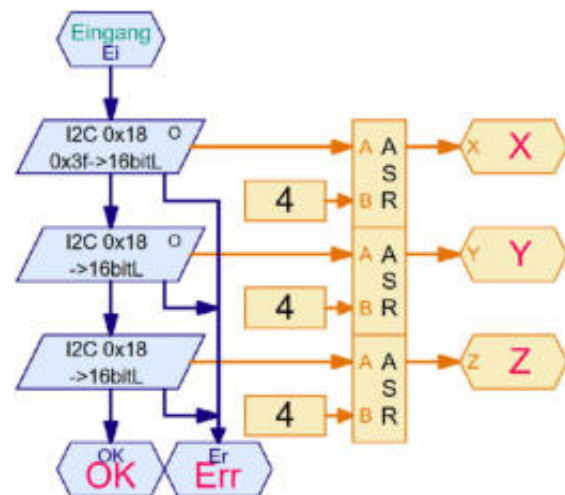


Abb. 6: Einlesen der Rohdaten des Beschleunigungssensors

Um aus den Rohdaten den Wert in mg zu erhalten, müssen wir diese noch nach Tab. 1 abhängig von dem bei der Initialisierung gewählten Messintervall umrechnen [2]:

Range	Acceleration measurement range	Resolution
0011	$\pm 2g$	0.98mg/LSB
0101	$\pm 4g$	1.95mg/LSB
1000	$\pm 8g$	3.91mg/LSB
1100	$\pm 16g$	7.81mg/LSB

Tab. 1: Umrechnung der Rohdaten

Bei einem Messintervall von $\pm 2g$ verwendet der Sensor für die Darstellung von 1.000 mg 1.024 bit – also müssen wir die Rohdaten durch 1.024 dividieren (oder mit $0,9766$ multiplizieren), um die Werte in der Einheit mg zu erhalten. Bei $\pm 4g$ müssen wir durch $0,512$ dividieren, bei $\pm 8g$ durch $0,256$ und bei $\pm 16g$ durch $0,128$ (oder mit $7,8125$ multiplizieren). Dieser Schritt wird auch als ‚Skalierung‘ bezeichnet.

Was kann man nun mit einem solchen Beschleunigungssensor anfangen?

Natürlich kann man mit ihm Beschleunigungen messen. Das macht man z. B. zur Bestimmung von kaum wahrnehmbaren Vibrationen (bspw. in Kameras und in Seismografen, siehe Abb. 7) oder von besonders großen wie der negativen Beschleunigung bei einer Bremsung, einem Crash-Test oder in einer Zentrifuge. Auch beim Auslösen eines Airbags kommen Beschleunigungssensoren zum Einsatz, ebenso bei der Erkennung des „Antippens“ eines Smartphones (plötzliche sehr kurze Beschleunigung).

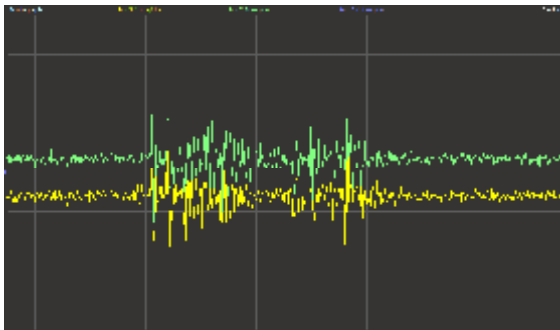


Abb. 7: Seismograf – Messung der von einem „Passanten“ in der Wohnung erzeugten Vibrationen [Skala: 1s/0,01g]

Pendelexperiment

Wir können mit dem Sensor auch physikalische Experimente durchführen. Ein hübsches, einfaches Experiment ist der Nachweis der überraschenden Erkenntnis von [Galileo Galilei](#) (1564–1642) aus dem Jahr 1632, dass die Schwingungsperiode T eines Pendels allein von der Länge l des Pendels abhängt und unabhängig ist von Gewicht und Auslenkung. Es gilt:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

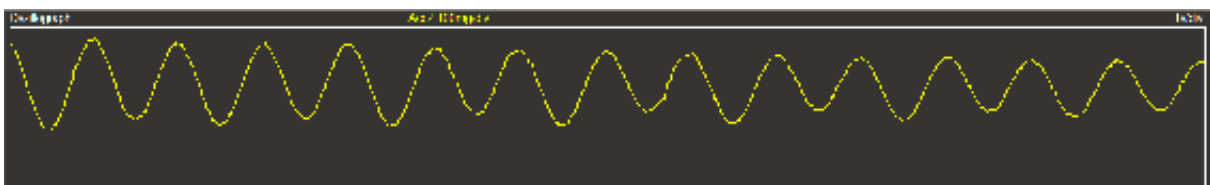


Abb. 8: Messergebnisse des Pendelexperimentes ($l = 99,4 \text{ cm}$) [Skala: 1s/0,1g]
(Programm: Pendelexperiment.rpp, siehe Abb. 9)

Stellen wir die Gleichung um, können wir zu einer gewünschten Periodendauer T die dafür erforderliche Pendellänge bestimmen:

$$l = g \cdot \left(\frac{T}{2 \cdot \pi} \right)^2$$

Ein Pendel, das wie bei einer Standuhr [4] einmal pro Sekunde den tiefsten Punkt passiert (Periodenlänge $T = 2 \text{ s}$), muss eine Länge l von knapp einem Meter (genauer: 99,4 cm) haben. Hängen wir nun den TXT mit einem Haken und seitlich angebrachtem Kombi-Sensor an einen entsprechend langen Faden (gemessen bis zur Mitte des Controllers) und lassen ihn pendeln, zeigt das Oszilloskop für die nach oben gerichtete Achse die Schwingung in Abb. 8 an.

Den niedrigsten Beschleunigungswert misst der Sensor, wenn der TXT nach unten schwingt; wenn er senkrecht hängt und in den „Wendepunkten“ entspricht der Wert der Erdbeschleunigung. Man kann sehr schön erkennen, wie die Amplitude der Schwingung abnimmt, während die Länge der Periode der Sensorwerte konstant bei einer Sekunde liegt.

Nun könnt ihr leicht ausrechnen (und anschließend mit dem TXT-Pendel und dem Programm in Abb. 9 experimentell überprüfen), wie lang das Pendel einer Uhr mit einer Periode von bspw. $l = 1 \text{ s}$ sein muss.

(Zugegeben, das Experiment funktioniert natürlich auch ohne TXT und Kombisensor ganz einfach mit Pendel und Stoppuhr oder einer Uhr mit Sekundenzeiger. Dafür wird hier die Schwingung mit Amplitude sehr anschaulich sichtbar gemacht.)

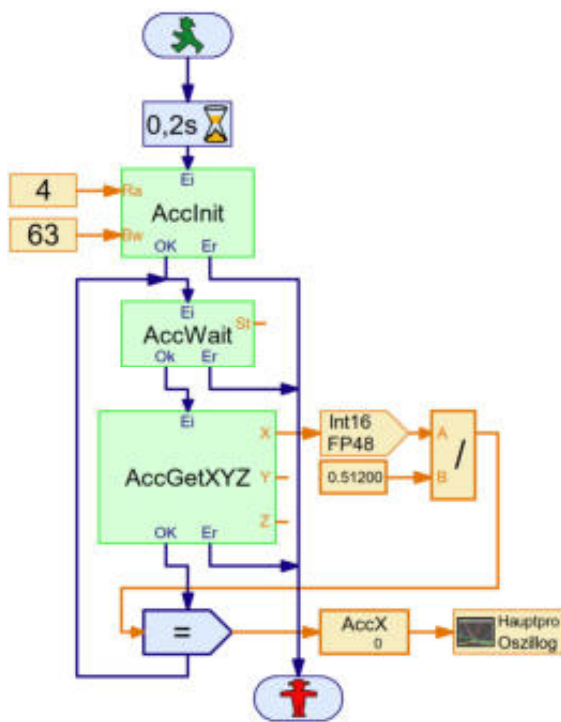


Abb. 9: Programm: Pendulexperiment.rpp

Neigungsmessung

Eine weitere wichtige Anwendung von Beschleunigungssensoren ist die Lagebestimmung (Neigungswinkel oder „Tilt“).

Die Neigung des Sensors wird in zahlreichen Anwendungen genutzt: In Flugzeugen, Hubschraubern, Multicoptern und Raketen ist sie ein Kernelement der Navigation. Mit einem Gimbal kann eine Kamera an einem bewegten Objekt in konstanter Ausrichtung gehalten werden. Und auch bei der Höhenmessung in der Geodäsie ist die exakte Bestimmung des Neigungswinkels zum Erdmagnetfeld wichtig. Schließlich können wir die Neigung – wie beim Nunchuk [5] oder der Smartphone-Steuerung für den Flitzer [6] – als Fernsteuerung für ein Modell nutzen.

Die Neigung wird durch zwei Winkel definiert, die – wie in der Luftfahrt üblich – als „Roll“ (Drehung im Uhrzeigersinn um die in Flugrichtung zeigende x-Achse) und „Pitch“ (Drehung um den rechten Flügel, ebenfalls im Uhrzeigersinn) bezeichnet werden. Die Winkel werden dabei jeweils in Bezug auf eine horizontale Fluglage bestimmt (Abb. 10).

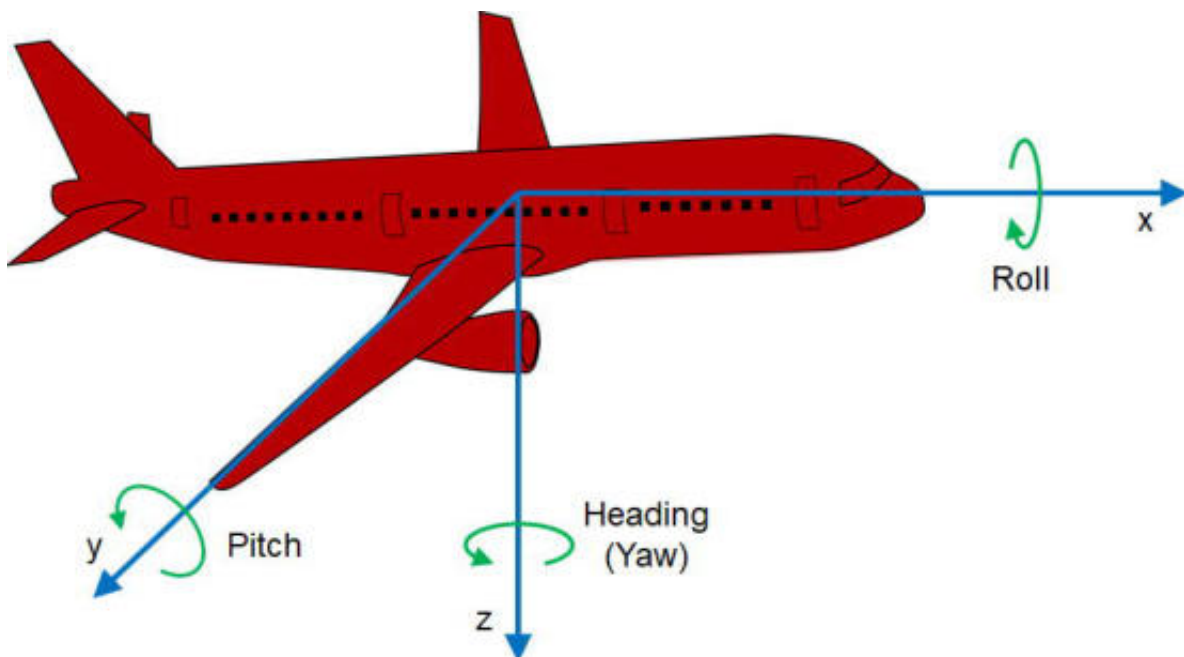


Abb. 10: Pitch, Roll und Heading beim Flugzeug

Auch bei Flugzeugen sind die Beschleunigungsachsen nach der Rechte-Hand-Regel (Abb. 5) ausgerichtet, allerdings zeigt hier die z-Achse nach unten; das Koordinatensystem ist um 180° um die x-Achse gedreht.

Die Drehung um die z-Achse wird „Yaw“ oder „Heading“ genannt. Nur mit dem Beschleunigungssensor können wir jedoch keinen Bezugswert für das Heading festlegen (wie die horizontale Lage für Pitch und Roll): Um die Abweichung von der Ausrichtung auf den geomagnetischen Nordpol zu bestimmen, benötigen wir zusätzlich einen Kompassensensor (Magnetometer) [7].

Nun möchten wir zunächst Pitch und Roll aus den Werten unseres Kombisensors berechnen. Die Herleitung der Formel spare ich mir – das ist einfache Trigonometrie. Eine sehr schöne Darstellung findet sich z. B. in [8]. Im Folgenden bezeichnen der Winkel θ Roll, der Winkel φ Pitch und Acc_x , Acc_y und Acc_z die vom Sensor gemessene x-, y- und z-Komponente der Beschleunigung. Damit gilt [8, 9]:

$$\tan \theta = \frac{Acc_y}{Acc_z}$$

$$\tan \varphi = \frac{-Acc_x}{Acc_y \cdot \sin \theta + Acc_z \cdot \cos \theta}$$

Da der Tangens nur zwischen -90° und 90° definiert ist, berechnen wir θ und φ nicht mit der Arkustangens- sondern der atan2 -Funktion (Abb. 11), die mit zwei Eingabewerten (x, y) rechnet und einen Winkel zwischen -180° und $+180^\circ$ liefert [10].

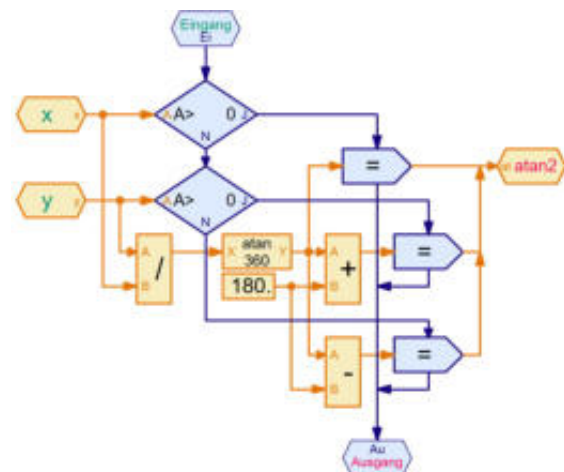


Abb. 11: atan2 -Implementierung in ROBO Pro

Auf die Berechnung von θ hat die Drehung des Koordinatensystems keinen Einfluss; beim Pitch hingegen müssen wir das Vorzeichen des Ergebnisses invertieren (Abb. 12).

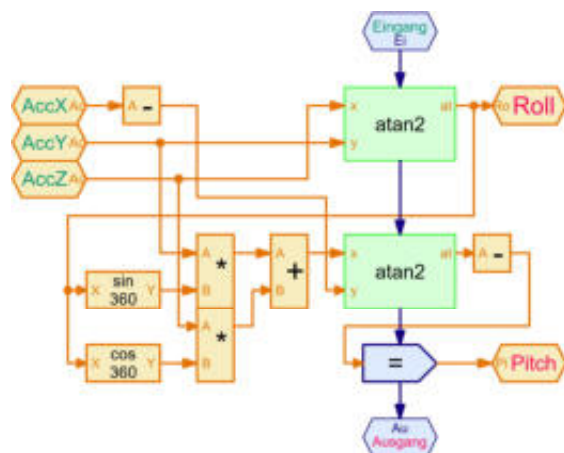


Abb. 12: Berechnung von Pitch und Roll

Abb. 13 zeigt Pitch und Roll, wenn der Sensor auf zwei im 90° -Winkel zueinander versetzten Winkelsteinen $7,5^\circ$ montiert wird.



Abb. 13: Pitch und Roll, wenn der Sensor auf zwei um 90° versetzten Winkelsteinen $7,5^\circ$ montiert wird [Skala: $1s/1^\circ$] (Programm: Berechnung von Pitch und Roll.rpp, siehe Abb. 14)

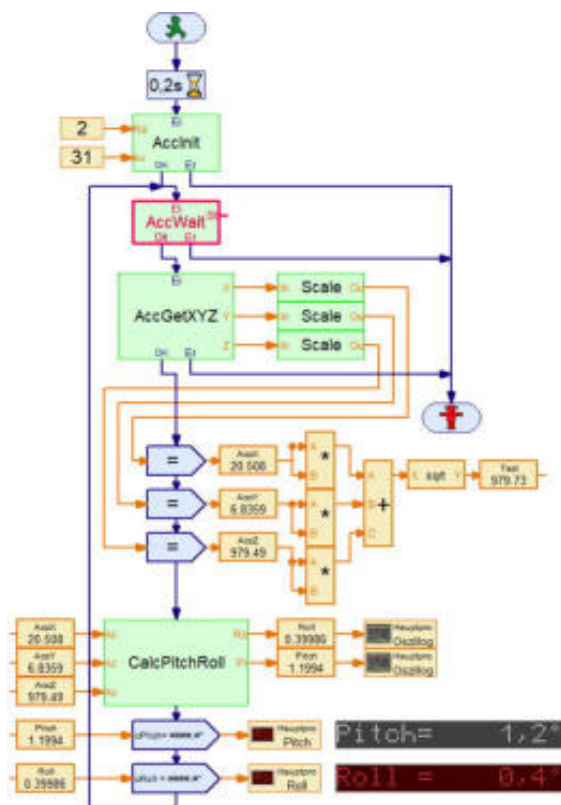


Abb. 14: Berechnung von Pitch und Roll
(Programm: Berechnung von Pitch und Roll.rpp)

Im ROBO Pro-Programm zur Berechnung von Pitch und Roll in Abb. 14 sind die drei Schritte gut zu erkennen:

- Auslesen der Rohdaten des Sensors
- Skalierung auf mg
- Berechnung der Winkel θ und φ

Wenn der Pitch sich 90° nähert, steigt der Wert von Roll plötzlich ebenfalls stark an. Das könnt ihr mit dem Programm selbst ausprobieren, indem ihr den Sensor um die x-Achse dreht. Dieser Effekt ist dem Berechnungsverfahren geschuldet, bei dem im „Randbereich“ das Rauschen des Sensors größere Fehler induziert [9]. Da unsere Pitch-Werte eher im Bereich bis $\pm 45^\circ$ liegen betrifft uns das allerdings nicht weiter.

Für die Korrektheit des Ergebnisses ist es wesentlich, dass sich der Sensor in Ruhe befindet, also keine andere Beschleunigung als die der Erdanziehungskraft auf ihn wirkt. Das erkennen wir daran, dass der

Betrag des Beschleunigungsvektors etwa $1g$ entspricht [11]:

$$\sqrt{Acc_x^2 + Acc_y^2 + Acc_z^2} = 1000 \text{ mg}$$

Diese Bedingung können wir auch im Programm prüfen (Variable „Test“ in Abb. 14).

Mit den Werten von Pitch und Roll können wir nun eine Neigungssteuerung implementieren oder mit Servos einen Gimbal steuern. Wie das geht, werde ich in einem separaten Beitrag vorstellen.

Magnetometer

Die vom Magnetometer des Kombisensors gemessene Magnetflussdichte des Erdmagnetfelds liegt auf der Erdoberfläche zwischen 22 und $67 \mu\text{T}$ und ist auf den geomagnetischen Nordpol ausgerichtet. Genau genommen ist es magnetisch ein Südpol – sonst würde die Kompassnadel nicht nach Norden zeigen. An den geomagnetischen Polen sinkt die Magnetflussdichte auf $0 \mu\text{T}$.

Deklination

Tatsächlich ist das Erdmagnetfeld ungleichmäßig und stimmen die geomagnetischen nicht mit den geografischen Polen überein, sodass es zu Abweichungen zwischen der Richtung der Kompassnadel und dem geografischen Nordpol kommt. Diese sogenannte Deklination wurde erstmalig von dem Chinesen [Yi Xing](#) (683-727) im Jahr 720 gemessen. Sie ist zudem nicht stabil, denn das Erdmagnetfeld unterliegt permanenten Änderungen und wird auch – sogar im Tagesverlauf – vom Sonnenwind beeinflusst. In Deutschland liegt die Deklination derzeit bei etwa $1\text{-}4^\circ$ Ost; das ist sehr wenig im Vergleich mit Gegenden in Polarnähe.

Wir vernachlässigen die Deklination daher und konzentrieren uns darauf, die magnetische Nordrichtung zu bestimmen.

Inklination

Das Erdmagnetfeld wirkt auch nicht überall parallel zur Erdoberfläche. Den Winkel, in

dem die Wirkung (die magnetischen Feldlinien) gegenüber der Horizontalen geneigt ist, nennt man Inklination. Sie wurde erstmalig im Jahr 1544 von dem deutschen Mathematiker [Georg Hartmann](#) (1489-1564) beschrieben. Am Äquator beträgt sie 0° , an den geomagnetischen Polen 90° . In Deutschland liegt sie immerhin bei 62° bis 70° . Sie beeinflusst allerdings unsere folgenden Rechnungen nicht, daher werden wir auch sie ignorieren.

Auslesen der Rohdaten

Beim Auslesen der Sensor-Rohdaten des Magnetometers müssen wir berücksichtigen, dass die x- und y-Komponente jeweils 13 bit, die z-Komponente jedoch 15 bit umfasst. Wie beim Beschleunigungssensor shiften wir die Rohdaten zunächst, bevor wir sie weiter verarbeiten (Abb. 15); das wurde im fischertechnik-Treiber vergessen.

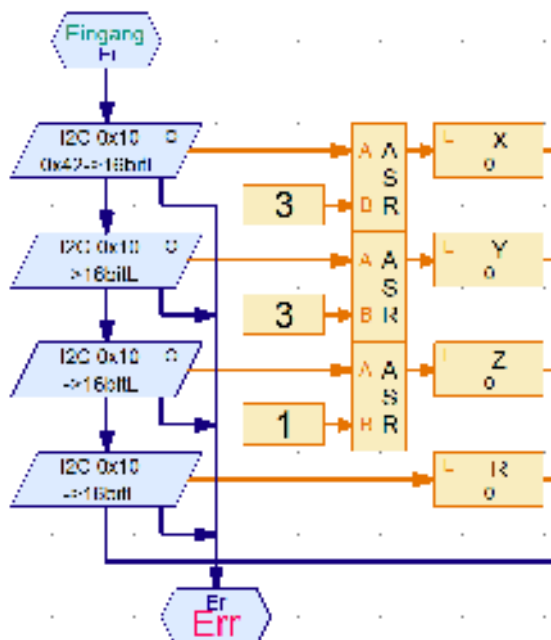


Abb. 15: Auslesen der Rohwerte des Magnetometers

Temperaturkompensation

Bevor wir die Rohdaten des Magnetsensors auswerten können müssen wir eine Temperaturkompensation vornehmen, da sich die Messwerte bei der Erwärmung des Sensors verändern. Für die x- und y-Komponente

enthält der ROBO Pro-Treiber von fischertechnik dafür bereits eine Funktion – hier müssen wir daher zunächst nichts weiter berücksichtigen.

Die z-Komponente benötigen wir bei den folgenden Anwendungen nicht. Diese im fischertechnik-Treiber fehlende Temperaturkompensation habe ich in meiner Implementierung für spätere Anwendungen ergänzt.

Rauschen

Die Rohdaten des Magnetometers schwanken sehr stark. Das lässt sich mit einem einfachen Filter wie dem gleitenden Durchschnitt über mehrere Messwerte verringern (Abb. 16).

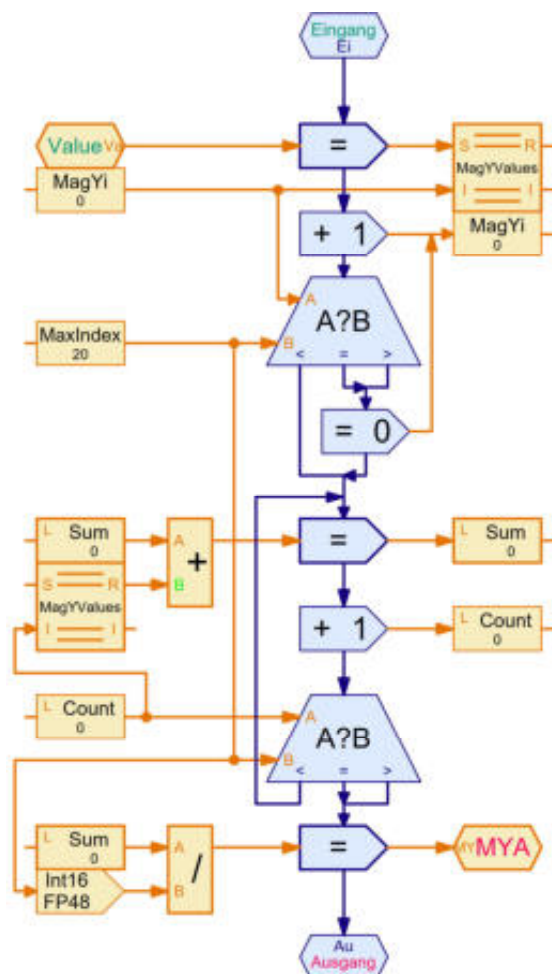


Abb. 16: Gleitender Durchschnitt über 20 Rohwerte der y-Komponente (Magnetsensor)

Mit einem Kalman-Filter gelingt das wahrscheinlich noch besser; für viele Zwecke genügt unser Filter jedoch. Dabei ist allerdings zu beachten, dass sich sprunghafte Änderungen des Magnetfelds erst verzögert bemerkbar machen – bei 30 Messungen pro Sekunde und einer Mittelwertbildung über 20 Messwerte wirkt sich die Änderung erst nach rund 0,67 s voll aus.

Die Mittelwertbildung müssen wir für jede der drei Komponenten vornehmen.

Kalibrierung

Der Sensor reagiert sehr empfindlich auf Störungen des Magnetfelds, die z. B. durch ferromagnetisches Material verursacht werden. Solche konstanten Störungen werden als „Hard Iron“-Fehler bezeichnet.

Die fischertechnik-Implementierung des BMX055-Treibers berücksichtigt diese Störungen nicht. Um die durch sie verursachten Messfehler zu korrigieren führt man üblicherweise nach dem Einbau eines Sensors in ein Modell eine Kalibrierung durch. Dazu genügt es, den Sensor ein paar Mal gleichmäßig um sich selbst zu drehen. Dabei bestimmt man die maximalen und minimalen Magnetfeldstärken für die x- und die y-Achse [12] (Abb. 17).

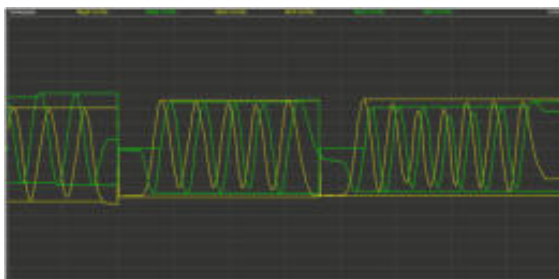


Abb. 17: Kalibrierung [Skala: 5s/5 μ T]
(Programm: Kalibrierung Hard Iron.rpp)

Man erkennt sofort, dass die Maximal- und Minimalwerte der x- und der y-Achse nicht übereinstimmen – die beiden Kurven sind also zueinander und zur jeweiligen 0-Achse verschoben. Die Verschiebung muss von den (temperaturkompensierten) Rohdaten des Magnetometers abgezogen werden,

bevor wir weiterrechnen und bspw. die Abweichung von der Nordausrichtung bestimmen. Das macht das Kalibrierungsprogramm, sobald der Taster an I1 gedrückt wird.

Nach korrekter Kalibrierung sollten die x- und y-Werte des Magnetometers beim Drehen um die eigene Achse einen einigermaßen runden Kreis um den Nullpunkt bilden; in der Oszilloskop-Darstellung müssen die Mittelpunkte der x- und der y-Kurve auf der 0-Achse liegen.

Die Werte der Variablen „CalX“ und „CalY“ solltet ihr anschließend notieren: Diese beiden Kalibrierungswerte gelten für euer Modell.

Schwieriger herauszurechnen sind „Soft-Iron“-Fehler, die sich mit der Position des Sensors ändern. Sie können bspw. von stromdurchflossenen Leitern verursacht werden. Wir ignorieren diese Fehler hier und sorgen stattdessen dafür, dass wir den Sensor möglichst weit von Stromflüssen und anderen Magnetfeldern entfernt montieren.

Ausrichtung des Sensors

Norden ist üblicherweise die Richtung, in der der Wert der x-Komponente des Magnetometers sein Maximum erreicht, und Westen die, in der der Wert der y-Komponente maximal wird [13].

Beim BMX055 sind die Achsen des Magnetometers zwar ebenfalls nach der Rechte-Hand-Regel angeordnet, allerdings ist auch hier das Koordinatensystem gedreht: Die x-Achse des Magnetometers liegt auf der y-Achse des Beschleunigungssensors und die y-Achse auf dessen negativer x-Achse (Abb. 18).

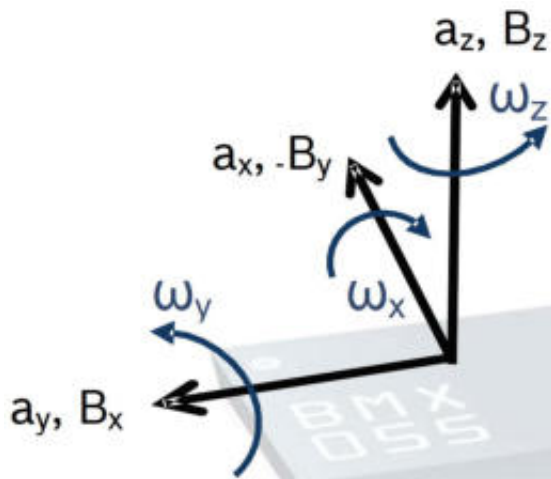


Abb. 18: Ausrichtung der Achsen von Magnetometer, Gyrosensor und Accelerometer [2]

Daher zeigt die x-Achse des Beschleunigungssensors nach Süden, wenn die y-Komponente den maximalen Wert annimmt, und die y-Achse des Beschleunigungssensors nach Norden, wenn die x-Komponente maximal ist. Das veranschaulicht das ROBO Pro-Programm „Mag-Oszilloskop.rpp“.

Um die Werte des Magnetometers auf unser nach der x-Achse des Beschleunigungssensors ausgerichtetes Koordinatensystem abzubilden, definieren wir die folgenden Kompass-Koordinaten:

$$Comp_x := -Mag_y$$

$$Comp_y := Mag_x$$

Liegt ein Kompass-Sensor in der horizontalen Ebene, dann ist die Bestimmung der Abweichung ψ von der Nordrichtung, das „Heading“ (oder „Yaw“, d. h. die Drehung der magnetischen x-Achse um die magnetische z-Achse im Uhrzeigersinn, Abb. 10) einfach: Wir können sie direkt aus dem Quotienten der y- und der x-Komponente des Kompass-Sensors berechnen:

$$\tan \psi = \frac{Comp_y}{Comp_x}$$

Auch hier berechnen wir (wie bei der Lagebestimmung) die Umkehrung des Tangens mit der Funktion *atan2* (Abb. 11).

Die Funktion liefert uns einen Winkel zwischen -180° und 180° : Damit lässt sich die Abweichung von der Nordrichtung im Oszilloskop besser darstellen als mit den 360° -Werten, die die Funktion *MagGetA* des fischertechnik-Treibers zurückgibt. Für die Berechnung des Headings habe ich die Funktion *MagGetA* des fischertechnik-Treibers an unsere Sensor-Ausrichtung angepasst und in *MagGetHeading* umbenannt.

Beim Vergleich der Berechnung mit den korrigierten und kalibrierten Rohdaten (Funktion *MagGetCompCalHeading*) und der Berechnung mit der Funktion *MagGetHeading* des fischertechnik-Treibers ist in Abb. 20 gut zu erkennen, dass der fischertechnik-Treiber (rote Linie) einen Winkelfehler von etwa 8° verursacht. Je nach Umgebung kann der Wert auch deutlich größer ausfallen. Da der fischertechnik-Treiber auch keine Mittelwertbildung vornimmt, ist das Ergebnis des Treibers praktisch unbrauchbar.

Nach Kalibrierung und Mittelwertbildung erreicht der Sensor eine Genauigkeit von $\pm 0,5^\circ$ – leicht zu überprüfen, indem wir den TXT mit einem Kompass exakt nach Norden ausrichten (Abb. 19).



Abb. 19: Exakte Ausrichtung der x-Achse des Beschleunigungssensors nach Norden (AccX)



Abb. 20: Heading ψ des mit der x-Achse des Beschleunigungssensors nach Norden ausgerichteten Kombisensors ohne (rot) und mit (gelb) Kalibrierung sowie als gleitender Durchschnitt über 20 Messwerte mit Kalibrierung (grün) [Skala: 1s/1°]
(Programm: Kalibrierte Kompass-Messung mit Mittelwertbildung.rpp)

Gyrosensor

Das Gyroskop im Kombisensor misst die Geschwindigkeit einer Drehung um eine oder mehrere der drei Achsen in Winkelgrad pro Sekunde. Diese Winkelgeschwindigkeit kann mit dem BMX055 in fünf verschiedenen Auflösungen gemessen werden:

Full Scale	Resolution
$\pm 2000^\circ/\text{s}$	16.4 LSB/ $^\circ/\text{s}$ \Leftrightarrow 61.0 m $^\circ/\text{s}$ / LSB
$\pm 1000^\circ/\text{s}$	32.8 LSB/ $^\circ/\text{s}$ \Leftrightarrow 30.5 m $^\circ/\text{s}$ / LSB
$\pm 500^\circ/\text{s}$	65.6 LSB/ $^\circ/\text{s}$ \Leftrightarrow 15.3 m $^\circ/\text{s}$ / LSB
$\pm 250^\circ/\text{s}$	131.2 LSB/ $^\circ/\text{s}$ \Leftrightarrow 7.6 m $^\circ/\text{s}$ / LSB
$\pm 125^\circ/\text{s}$	262.4 LSB/ $^\circ/\text{s}$ \Leftrightarrow 3.8 m $^\circ/\text{s}$ / LSB

Tab. 2: Auflösungen des Gyrosensors [2]

Die Auflösung wird bei der Initialisierung eingestellt (default: 2000 $^\circ/\text{s}$). Die 16-bit-Rohdaten, die der Sensor liefert, müssen je nach gewählter Auflösung mit den in Tabelle 2 angegebenen Werten multipliziert werden, um den Wert der Winkelgeschwindigkeit in Tausendstel $^\circ/\text{s}$ zu erhalten, da wie beim Beschleunigungssensor der Messbereich auf 2^{15} Werte verteilt wird. Die erhaltenen Rohdaten müssen wir exakt durch 16,384 (bzw. 32,768/65,536/131,072/262,144) dividieren (skalieren).

Die Winkelgeschwindigkeit einer Drehung um die x- und y-Achse (Roll und Pitch) ist insbesondere in Flugzeug-Autopiloten von großer Bedeutung: Mit ihr lässt sich ein Übersteuern verhindern. Mit dem Sensor kann man aber auch Umdrehungsgeschwindigkeiten von Objekten (bspw. Rädern) messen und regeln. Nachteil dieser Messmethode: Der Sensor – wegen der Kabelverbindung damit in der Regel auch der Controller – muss sich mitdrehen.

In der Programmsammlung findet ihr das „Gyr-Oszilloskop.rpp“, mit dem ihr euch die Werte des Gyrosensors veranschaulichen könnt.

Messung der Zentripetalkraft

Ein sehr schönes Physik-Experiment können wir mit dem Gyrosensor durchführen: die Bestimmung der Zentripetalbeschleunigung und deren Verhältnis zur Winkelgeschwindigkeit. Dafür versetzen wir den TXT mit seitlich montiertem Sensor in eine immer schnellere Drehung und messen dabei die Winkelgeschwindigkeit und die Beschleunigung mit dem Kombisensor.

Damit der TXT die Drehgeschwindigkeit selbst steuern und schrittweise erhöhen kann, montieren wir unter dem Controller einen XS-Motor mit U-Getriebe ([31068](#), [31078](#)) so, dass die Getriebeachse nach unten zeigt (Abb. 21).

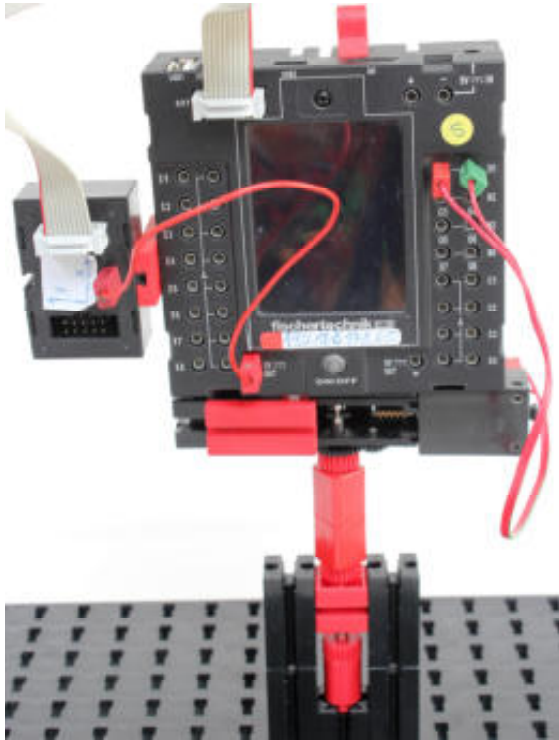


Abb. 21: Aufbau Beschleunigungsexperiment

Die Achse befestigen wir auf einer Experimentierplatte 500 ([32985](#)), den XS-Motor schließen wir an den M1-Ausgang des TXT an.

Jetzt müssen wir den (sich drehenden) TXT noch mit Strom versorgen. Dafür können wir entweder einen Akku ergänzen (zu viel Gewicht), einen fischertechnik-Schleifring ([31301](#)) aus den em-Kästen der 60er Jahre verwenden (führt leider gelegentlich zu kurzzeitigen Unterbrechungen der Stromversorgung, wodurch der TXT neu bootet) oder den Versuchsaufbau um Thomas Püttmanns genialen „Selbstenttwister“ erweitern [14] (macht leider den Aufbau wackelig, was die Messwerte verfälscht). Da wir die Messung nur für rund 20 Umdrehungen durchführen, können wir stattdessen ein langes fischertechnik-Kabel verwenden und in Kauf nehmen, dass es sich verdrillt.

Damit wir die Sensorwerte auf dem ROBO Pro-Oszilloskop anzeigen lassen können, verbinden wir den TXT via WLAN und lassen uns die gewünschten Werte – Winkelgeschwindigkeit der x- und Beschleunigung der y-Achse – kabellos übermitteln.

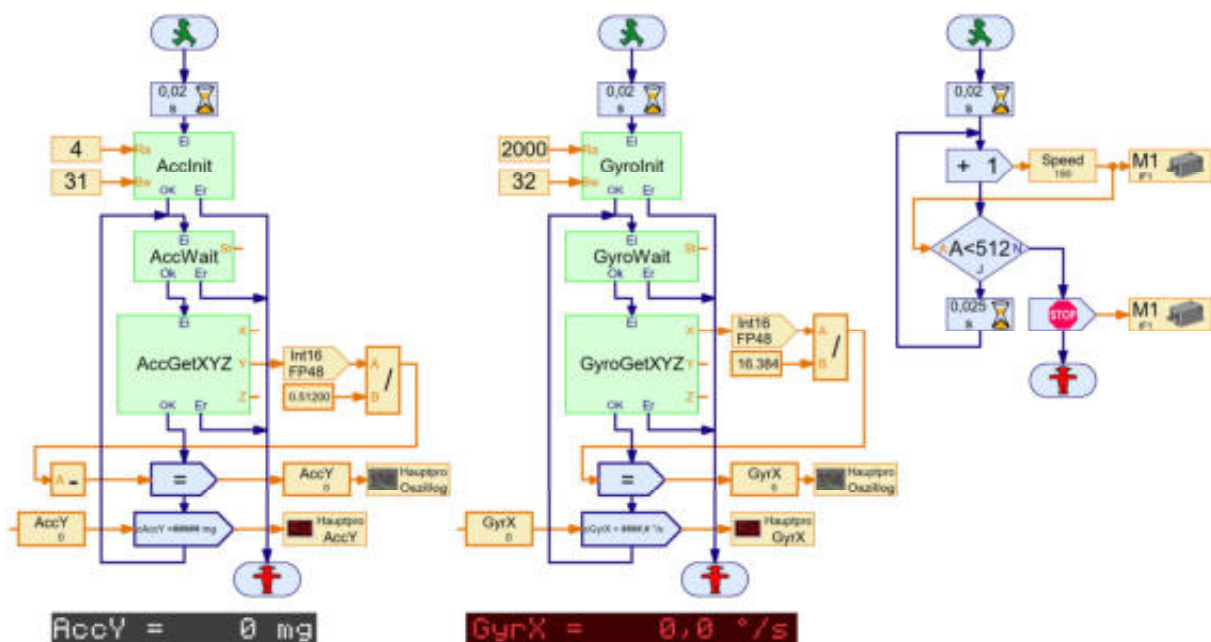


Abb. 22: Programm: Zentripetalbeschleunigung.rpp

Die Messergebnisse in Abb. 23 zeigen den steilen Anstieg der Beschleunigung (gelb) auf ca. $0,99g$ innerhalb von 12 Sekunden, während die Winkelgeschwindigkeit (grün) linear auf etwa $670^\circ/s$ (knapp zwei U/s) steigt.

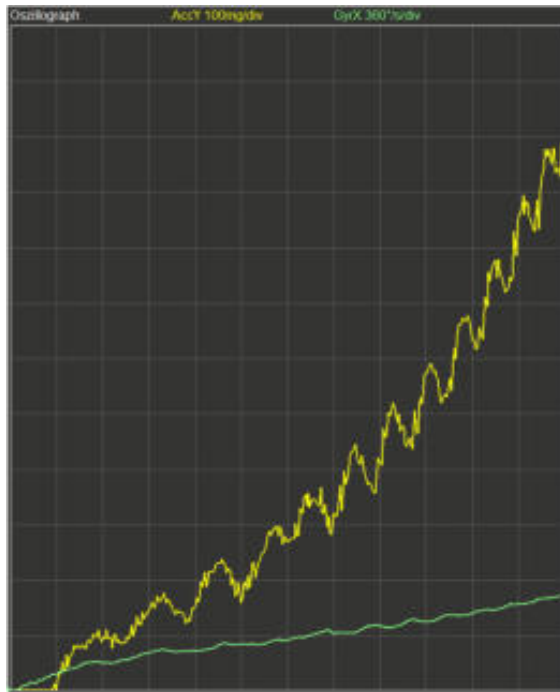


Abb. 23: Messwerte des Experiments
Zentripetalbeschleunigung [Skala: $1s/100mg$]
(Winkelgeschwindigkeit, Beschleunigung)

Für das Verhältnis der Winkelgeschwindigkeit ω zur Zentripetalbeschleunigung a_z gilt:

$$a_z = \frac{\omega^2}{r}$$

Dabei ist r der Abstand des Sensors zum Mittelpunkt der Drehachse. In unserem Modell ist $r \approx 7$ cm. In unserem Versuch wächst ω auf etwa $670^\circ/s$; das entspricht einer Geschwindigkeit von

$$2\pi \cdot r \cdot \frac{670}{360} \frac{cm}{s} \approx 81,86 \frac{cm}{s}$$

Daraus errechnet sich eine Zentripetalbeschleunigung von $9,57 \frac{m}{s^2}$. Der Wert unserer Messung liegt mit $9,7 \frac{m}{s^2}$ (genauer: $0,99 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$) nicht sehr weit entfernt. Eine

Ungenauigkeit steckt jedoch in unserer Rechnung: die Position des Gyrosensors im 3 cm breiten Sensorgehäuse habe ich geraten; von ihr hängt die exakte Größe des Radius r ab.

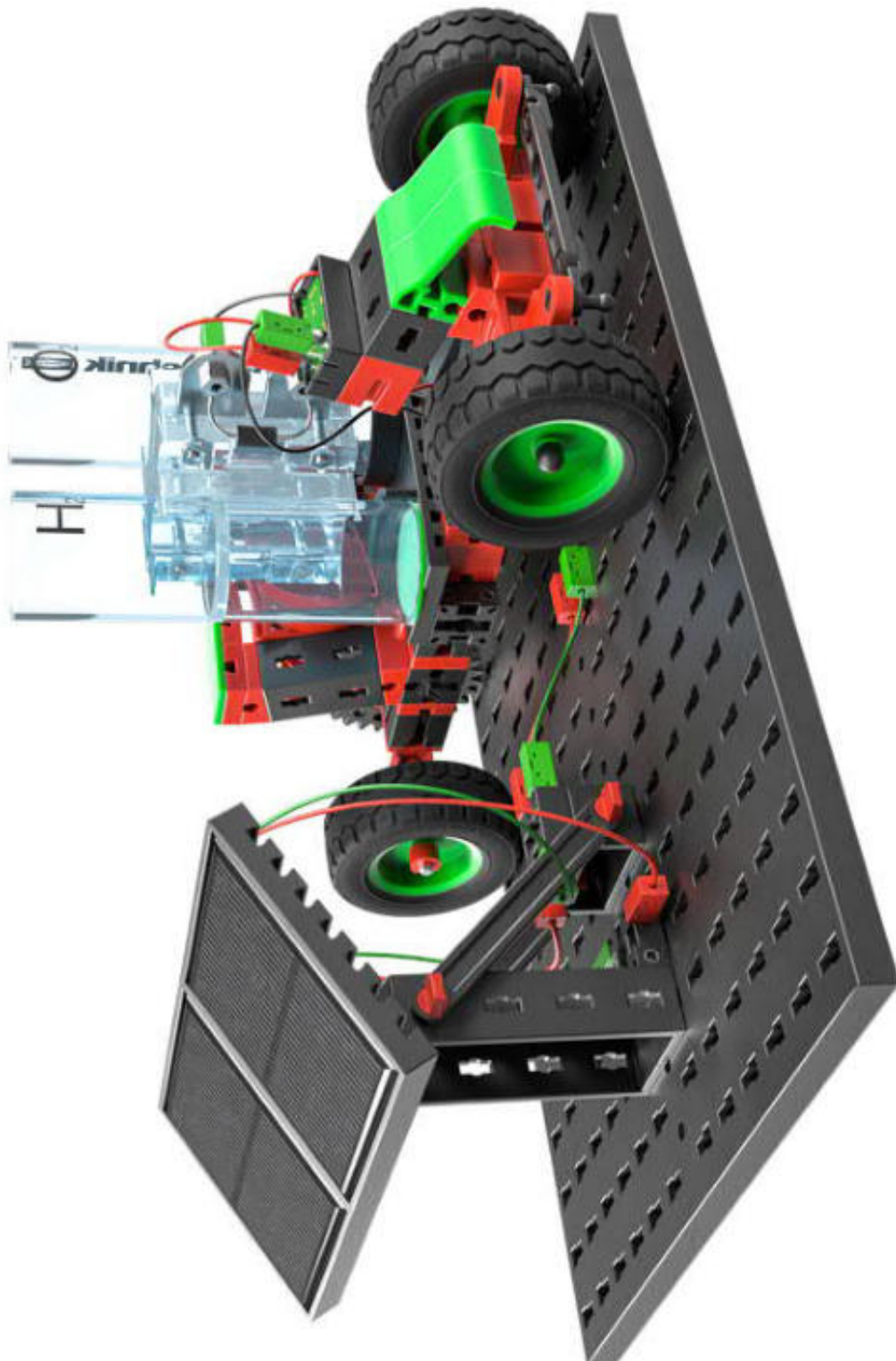
Mit dem Sensor können wir nun eine Zentrifuge für das Astronautentraining unserer fischertechnik-Figuren exakt ausmessen – konstruiert wurde sie ja schon einmal [15]. Aber auch ein Segway (oder „inverses Pendel“ [16]) rückt in den Bereich des Möglichen – mehr dazu in einem eigenen Beitrag.

Alle ROBO Pro-Programme aus diesem Beitrag findet ihr auf der [Webseite der ft:pedia](#) zum Download.

Referenzen

- [1] fischertechnik: [Kombisensor Art.-Nr. 158402 3-in-1 Orientierungssensor](#). Kurzanleitung, 09.06.2017.
- [2] Bosch: [BMX055. Small, versatile 9-axis sensor module](#). Data Sheet. Revision 1.1, 07.11.2014.
- [3] Wikipedia: [Inertiale Messeinheit](#).
- [4] Dirk Fox, Thomas Püttmann: [Technikgeschichte mit fischertechnik](#). dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2015.
- [5] Dirk Fox: *I²C mit dem TX – Teil 4: Nunchuk-Fernsteuerung*. [ft:pedia 2/2013](#), S. 41–49.
- [6] Dirk Fox: *fischertechnik-Roboter mit Arduino (Teil 1): Smartphone-Steuerung über BLE*. [ft:pedia 3/2020](#), S. 93–100.
- [7] Dirk Fox: *I²C mit dem TX – Teil 10: Kompass-Sensoren*. [ft:pedia 2/2014](#), S. 57–64.
- [8] Talat Ozyagcilar: [Implementing a Tilt-Compensated eCompass using Accelerometer and Magnetometer Sensors](#). AN4248, Application Note, Freescale Semiconductors, Rev. 4.0, 11/2015.

- [9] Mark Pedley: [*Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer*](#). AN3461, Application Note, Freescale Semiconductors, Rev. 6, 03/2013.
- [10] Wikipedia: [*arctan2*](#).
- [11] Andrea Vitali: [*Computing tilt measurement and tilt-compensated eCompass*](#). Design Tip DT0058, STMicroelectronics, v3, 07.01.2021.
- [12] Michael J. Caruso: [*Applications of Magnetic Sensors for Low Cost Compass Systems*](#). In: IEEE Symposium on Position Location and Navigation (PLANS), 2000, S. 177-184.
- [13] Mark Pedley: [*Build and Calibrate a Tilt-Compensating Electronic Compass*](#). In: Circuit Cellar, Issue 265, 8/2012, S. 1-6.
- [14] Thomas Püttmann: *Selbstent-twistung*. [*ft:pedia 3/2015*](#), S. 20–24.
- [15] Dirk van Wijngaarden: [*G Force Machine*](#). Youtube.
- [16] Wikipedia: [*Inverses Pendel*](#).



*Brennstoffzellenfahrzeug im neuen fischertechnik-STEM-Baukasten
„[Renewable Energies](#)“ ([559881](#))*