

Editorial

Galaktische Herausforderungen

Dirk Fox, Stefan Falk

Die kürzeste Distanz zwischen Erde und Mars beträgt rund 54,5 Mio. km, die größte 403,1 Mio. km. Der minimale Abstand wird nur etwa alle 15 Jahre erreicht. Die NASA-Sonde, die den Mars-Rover mit dem sperrigen Namen „[Perseverance](#)“ transportierte und nach 203 Flugtagen [am 18.02.2021 auf dem Mars landete](#), hatte aus Energiespargründen eine 470 Mio. km lange Strecke gewählt, den [Hohmann-Transfer](#).

Mit einer mittleren Reisegeschwindigkeit von knapp 100.000 km/h (relativ zur Sonne) war die Sonde etwa 100 Mal so schnell unterwegs wie ein Passagierflugzeug. Die Funkverbindung, mit der Sonde und Rover gesteuert und über die Messdaten, Bilder und Videos an die Erde übermittelt werden, hat eine Signallaufzeit von drei bis 14 Minuten. Unter diesen extremen Bedingungen ist es der NASA gelungen, den eine Tonne schweren und 3 m langen Rover unversehrt ziemlich genau in der Mitte des [Zielgebiets mit nur 7 km Durchmesser](#) abzusetzen – ohne dass der Rover beim Eintritt in die Atmosphäre mit Temperaturen von über 1.300° C beschädigt wurde.

Unser [Nachbarplanet Mars](#) hat etwa den halben Durchmesser der Erde. Auch er dreht sich um sich selbst; mit ca. 24,5 h dauert ein „Marstag“ etwa so lang wie ein Erdentag. Auf dem Mars gibt es (unterschiedlich lange) Jahreszeiten; ein Marsjahr ist mit 687 Tagen fast doppelt so lang wie ein Erdjahr. Damit enden aber auch die Ähnlichkeiten mit unserem Heimatplaneten. Die deutlich dünnere Atmosphäre des Mars besteht zu 96% aus CO₂, die Temperatur auf der Marsoberfläche schwankt zwischen 20°

und -85° C und liegt im Mittel bei -55° C. Auf der mit rötlichem Eisenoxyd-Staub bedeckten Oberfläche des Mars gibt es weder Wasservorkommen noch Vegetation – eine aus „irdischer“ Sicht also äußerst lebensfeindliche Umgebung.

Dennoch bereiten sich NASA, Roskosmos, China, Indien, Blue Origin und SpaceX auf eine [bemannte Marsmission](#) vor. Bis das gelingen kann, sind jedoch noch einige Probleme zu lösen: Der lange Flug setzt Menschen zu, denn kosmische und solare Strahlung zersetzen DNA und organisches Gewebe, und die lange Schwerelosigkeit reduziert die Knochendichte. Bisher ist unklar, ob die niedrigen Temperaturen überhaupt einen Raketenstart vom Mars ermöglichen. Schließlich müssen aus der Mars-Atmosphäre Sauerstoff gewonnen und Marsbesucher und Ausrüstung vor Sandstürmen und Meteoriten geschützt werden.

Eines ist daher gewiss: Sollten wir eines Tages alle Probleme und Geheimnisse unseres „blauen“ Planeten gelöst haben, dürfen wir getrost darauf vertrauen, dass auf dem „roten“ noch genügend ungelöste auf uns warten. Die erste bemannte Reise zum Mars wird für das Jahr 2035 erwartet, wenn er der Erde wieder besonders nahe kommt. Vielleicht haben dabei dann sogar einige von euch ihre „Finger im Spiel“. Zur Vorbereitung empfehlen wir ... na, was wohl?

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

Galaktische Herausforderungen.....	2
Oster-Rätsel.....	4
Schmetterling.....	5
Kaulquappen (Teil 12).....	7
Getier im Frühling	13
Die fischertechnik-Werkzeugkiste	20
The fischertechnik Toolbox	22
ft-refurbishment (Teil 2).....	24
Paternoster	29
Strandbeester	33
Ein Michelson-Interferometer mit fischertechnik.....	41
Drei Clowns und ein Krokodil	48
Großprojekt Seilbahn (Teil 1): Von der Idee zum Kick-Off.....	56
Mecanum-Räder und Omniwheels	66
Motorsteuerungen (7): Weinbergbahn- Schaltung mit Relais ..	75
Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 1).....	80
Elektronik-Module (Teil 6)	94
Zählsystem	100
Von Lucky Logic zu ROBO Pro Coding.....	103
ROBO Pro simuliert: Würfeln und Rechnen	110
TX Controller und ftDuino im Vergleich	114
fischertechnik-Roboter mit Arduino (Teil 3): Steuerung mit dem Joystick Shield	119
6-Achs-Roboterarm RS 816.....	128

Impressum

<http://www.ftpedia.de>

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

Autoren: Florian Bauer, Arnoud van Delden, Stefan Falk, Dirk Fox, Hans-Christian Funke, Andreas Gürten, Till Harbaum, Helmut Jawtuschk, Benjamin Klingebiel, Peter Krijnen, Wilhelm Lichtenberg, Kurt Mexner, Rüdiger Riedel, Tilo Rust, Harald Steinhaus, Dirk Wölffel, Robin Nikolas Woszidlo.

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

Rätsel

Oster-Rätsel

Dirk Fox

Ostern naht: mit Ferien, erneut verschärftem Lockdown und ohne Urlaubsreise. Für einen fischertechniker ist das eher ein Versprechen als eine Drohung – sofern es genug Essen im Haus und ausreichend Bauteile in den Kisten gibt. Eine seltene Chance, sich für einige Tage in Ideen, Konstruktionen und Experimenten zu verlieren.

Damit euch an den kommenden freien Tagen die Anregungen für fischertechnik-Modelle nicht ausgehen, hat uns der dpunkt-Verlag anlässlich dieser umfangreichsten ft:pedia aller Zeiten zehn Bücher zur Verfügung gestellt, die wir unter den Lesern verlosen dürfen: fünf Exemplare des ‚angehenden Klassikers‘ „Technikgeschichte mit fischertechnik“ [1] und fünf Exemplare des jüngsten Buchs von Dirk Fox und Thomas Püttmann „fischertechnik-Roboter mit Arduino“ [2].

Um die Verlosung mit ein wenig Spannung aufzuladen, haben wir sie mit zwei kleinen Rätseln verknüpft – für jedes Buch eines. Wer uns **bis zum 01.05.2021, 24 Uhr** per E-Mail an ftpedia@ftcommunity.de eine richtige Antwort schickt, nimmt automatisch an der entsprechenden Verlosung teil.

Hier kommt die Frage zur Verlosung des Buchs „Technikgeschichte mit fischertechnik“:

Frage 1: Der für das Informationszeitalter vielleicht entscheidende Meilenstein der Technikgeschichte, der auch mit einem Physik-Nobelpreis gewürdigt wurde, war der Transistor – erst damit wurden kleine, zuverlässige, schnelle und bezahlbare Computer möglich. In welchem Jahr wurde der Transistor erfunden?

Und nun die Frage zur Verlosung des Buchs „fischertechnik-Roboter mit Arduino“:

Frage 2: Der Arduino hat der Welt einen preisgünstigen und einfach zu erlernenden Zugang zu Mikrocontrollern eröffnet – und bis heute eine beispiellose Erfolgsgeschichte hinter sich. In welchem Jahr erblickte der erste Arduino das Licht der Welt?

Übrigens: Bis zum 11.04.2021 bietet der Verlag außerdem die [eBook-Fassung des Buchs „fischertechnik-Roboter mit Arduino“](#) zum um 20% vergünstigten Preis von 20,99 € an.

Und wer bereits die gedruckte Fassung eines der Bücher besitzt, kann die zugehörige digitale Fassung kostenlos herunterladen, wenn er für 9,90 € [Mitglied bei „dpunkt-plus“](#) wird.

Jetzt aber: freudiges Rätseln, viele Ostereier und vor allem tolle Ideen für euren „fischertechnik-Flow“ in den kommenden Tagen!

Referenzen

- [1] Dirk Fox, Thomas Püttmann: [Technikgeschichte mit fischertechnik](#). dpunkt-Verlag, 2. Auflage, Heidelberg 2017.
- [2] Dirk Fox, Thomas Püttmann: [fischertechnik-Roboter mit Arduino](#). dpunkt-Verlag, Heidelberg 2020.

Modell

Schmetterling

Rüdiger Riedel

Schmetterling, du kleines Ding... es ist so schön, wenn der Frühling da ist.

Der Zitronenfalter, *Gonepteryx rhamni*, ist einer der ersten Vorboten des Frühlings.



Abb. 1: *Gonepteryx rhamni* [1]

Sobald die ersten etwas wärmeren Frühlingstage da sind, flattern auch schon Zitronenfalter durch Garten, Park und Wald (dieses Jahr 2021 erste Sichtung in Siegen-Wittgenstein am 20. Februar). Die Falter können so zeitig im Jahr unterwegs sein, weil sie, anders als viele andere Falterarten, als ausgewachsenes Tier überwintern. Dazu benötigen sie nicht einmal geschützte Höhlen oder Schuppen wie das z. B. beim Tagpfauenauge oder dem Kleinen Fuchs der Fall ist. Sie reduzieren den Wassergehalt in ihrem Körper und bilden körpereigene Frostschutzmittel. So können sie Temperaturen bis zu minus 20 Grad Celsius unbeschadet überstehen.

Der Zitronenfalter ist einer der langlebigsten Schmetterlinge. Er schlüpft aus der Puppe ab Juli, überwintert als Falter und erscheint danach im Frühjahr bis etwa Mai,

sodass er ein Alter von über zehn Monaten erreichen kann.

Außer beim Fliegen kann man den Zitronenfalter nur selten mit offenen Flügeln beobachten. In Ruhestellung hat er die Flügel fast stets geschlossen. Deshalb ist Abb. 1 als Naturfoto (nicht aufgespießt) durchaus ungewöhnlich.

Der mit fischertechnik nachempfundene Zitronenfalter hat Flügel aus zwei gelben Seitenteilen:

- 1 Seitenteil / Wing 45 links ([172546](#))
- 1 Seitenteil / Wing 45 rechts ([172547](#))



Abb. 2: Der fischertechnik-Schmetterling

Dazu kommen nur wenige weitere Bauteile für unseren fischertechnik-Schmetterling:

- 2 Winkelsteine 60° ([31010](#))
- 1 Baustein 7,5 ([37468](#))
- 1 Schlauchanschluss D4 abgewinkelt ([163203](#))
- 1 Schlauchanschluss D4 gerade ([163204](#))
- 1 Lagerhülse 15 ([36819](#))

Zur Verschönerung können wir noch zwei „Kunststoffachsen 15, Seilklemmstift“ ([107356](#)) in die freien Nuten der Winkelsteine drücken.



Abb. 3: Ansicht von hinten

Den Ständer bauen wir aus einem V-Rad 23 · 10 ([154452](#)) und einer Rastachse.

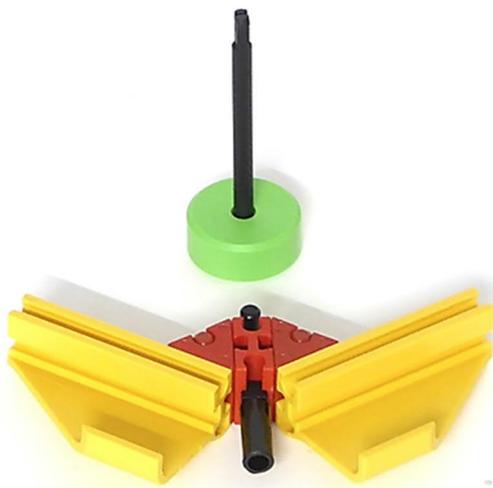


Abb. 4: Der fischertechnik-Schmetterling liegt auf dem Rücken

In dem alten „Meyers Konversationslexikon“ von 1885-1892 fand ich keinen Zitronenfalter (als reines Schlagwort gibt es den Zitronenfalter), aber der Schwalbenschwanzspanner ist auch ein sehr hübsches Beispiel für einen Schmetterling.

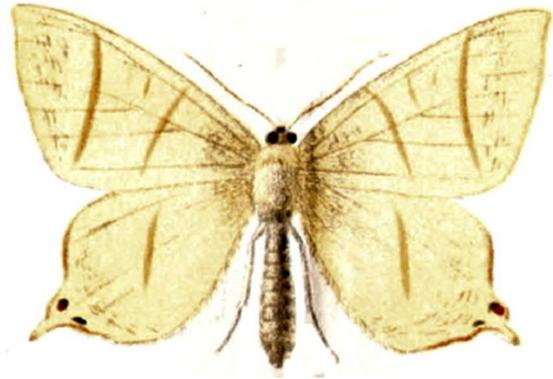


Abb. 5: Der Schwalbenschwanzspanner

Die Bezeichnung „Spanner“ kommt von der Art der Fortbewegung seiner Raupe [3].

Quellen

- [1] Marion Friedrich: *Gonepteryx rhamni* (Linnaeus, 1758) Zitronenfalter. Auf arthropodafotos.de.
- [2] Meyers Konversationslexikon 1885-92: *Schmetterlinge* (Tafel). Auf ret-robibliothek.de.
- [3] Rüdiger Riedel: *Das Klettermännchen*. ft:pedia 3/2019, S. 6-8.

Tipps & Tricks

Kaulquappen (Teil 12)

Harald Steinhaus

Es wird Frühling, und im Frühling werden die Tage länger. Außerdem regen sich die Triebe. Das bestätigt sich auch beim Blick in den hiesigen fischertechnik-Froschteich. Im Detail geht es um Schneckentriebe, Seiltriebe, Linearantriebe und diverse andere Antriebe.

P-Motoren befestigen

Das Befestigen von Power-Motoren gestaltet sich schon mal schwierig, weil es nur an der Stirnseite möglich ist und da auch noch die Antriebsachse herauskommt. Mit der Grundplatte der BSB-Lok ([31557](#)) sieht das ganz anders aus. Der Motor wird mit vier Federnocken montiert, die Zahnräder sind seitlich im Raster und nur in Längsrichtung muss am Abstand justiert werden.

P-Motoren und Rast-differenziale

Abb. 2 Mitte: In die Öffnung in der BSB-Grundplatte passen zwei Motoren übereinander, als Nachbarn oder sich gegenüberstehend. Der obere treibt hier ein Rastdifferenzial an.

Links: Das Rastdifferenzial könnte seinen Namen auch davon haben, dass es nicht im fischertechnik-Raster arbeitet. Links außen sieht man die Differenz gegenüber den gelben Statikteilen. Das zweite Differenzial passt aber bis auf einen kleinen Spalt. Der

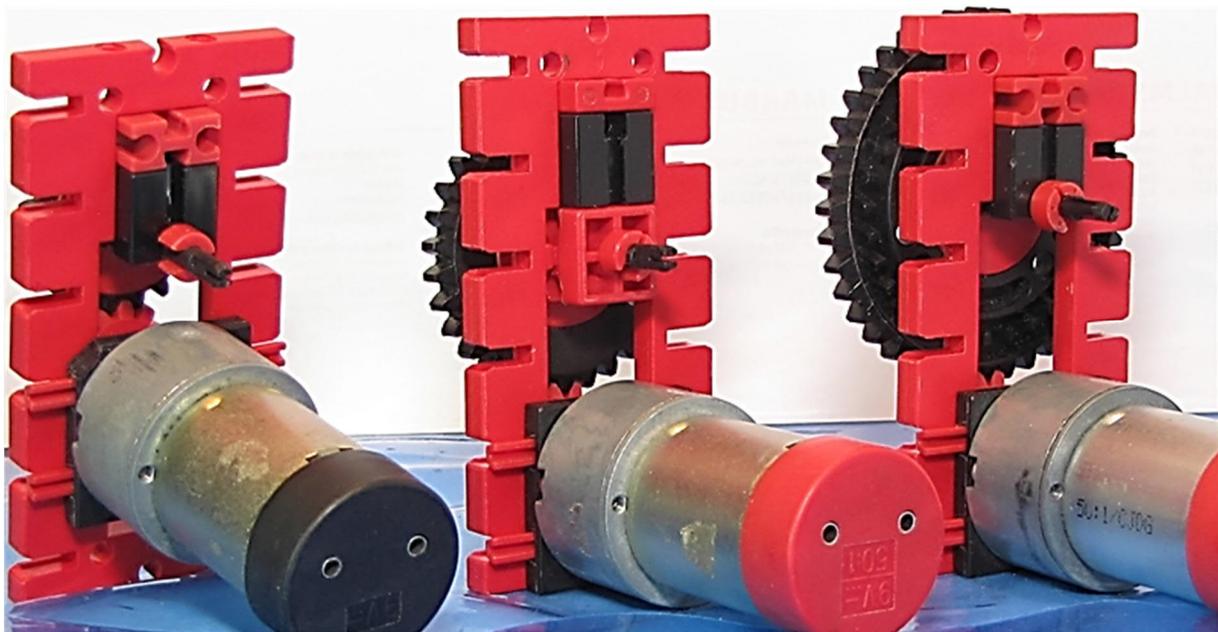


Abb. 1: P-Motoren in der BSB-Grundplatte befestigen

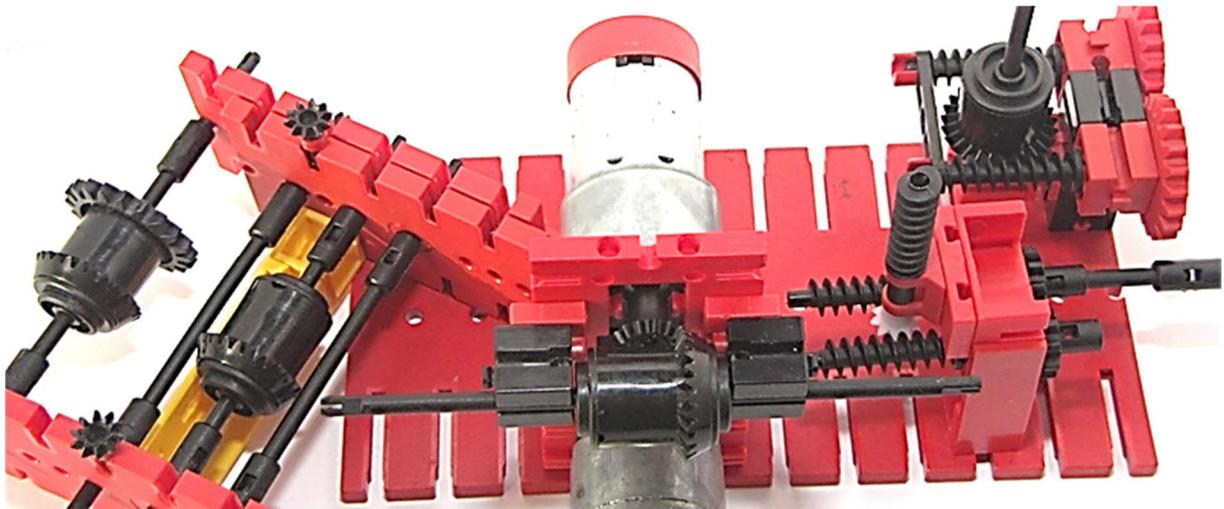


Abb. 2: P-Motoren und Rastdifferenziale

Grund dafür sind seine Innereien: es hat beiderseits Rastkegelachsen von innen nach außen montiert, die mit einem Abstandsring versehen sind. Muster sind von oben auf die Grundplatte aufgesteckt.

Rechte Seite: die Schnecke m1 kann nur auf Druck arbeiten und zieht sich bei Zug aus ihrem Lager. Als Abhilfe verbaut man sie doppelt. Das funktioniert mit den Rastkegeln schon seit der „Ente“ (Citroën 2CV [1]), aber natürlich auch mit dem Kegel am Differential.

Z04 und Rastdifferenzial

Abb. 3 Mitte: Auch dieses Differential ist mit einem Rastkegelzahnrad bestückt, allerdings nur auf der unteren Seite und ohne Abstandsring. Dadurch wird es zur Kuppung: Bei gezogenem Hebel ist der Strang unterbrochen. Wenn der schwarze Hebel eingedrückt wird, kommt das Kegelzahnrad im Gehäuse in Eingriff mit den beiden anderen und der Antriebsstrang vom Klemm-Z10 zum Differentialgehäuse ist geschlossen.

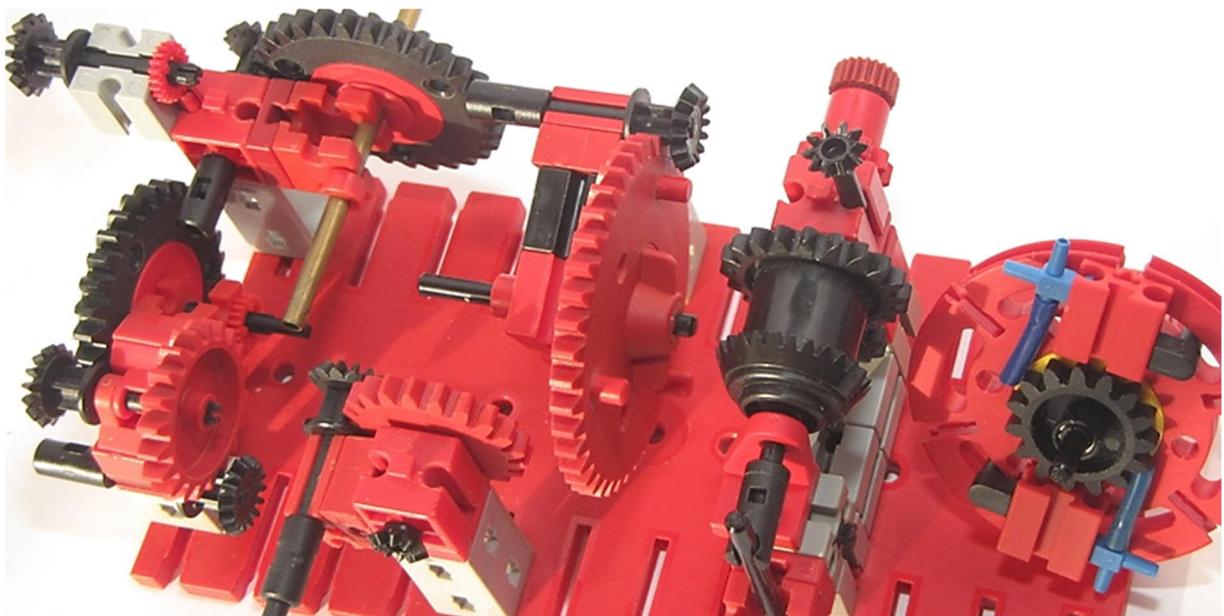


Abb. 3: Z04 und Rastdifferenzial

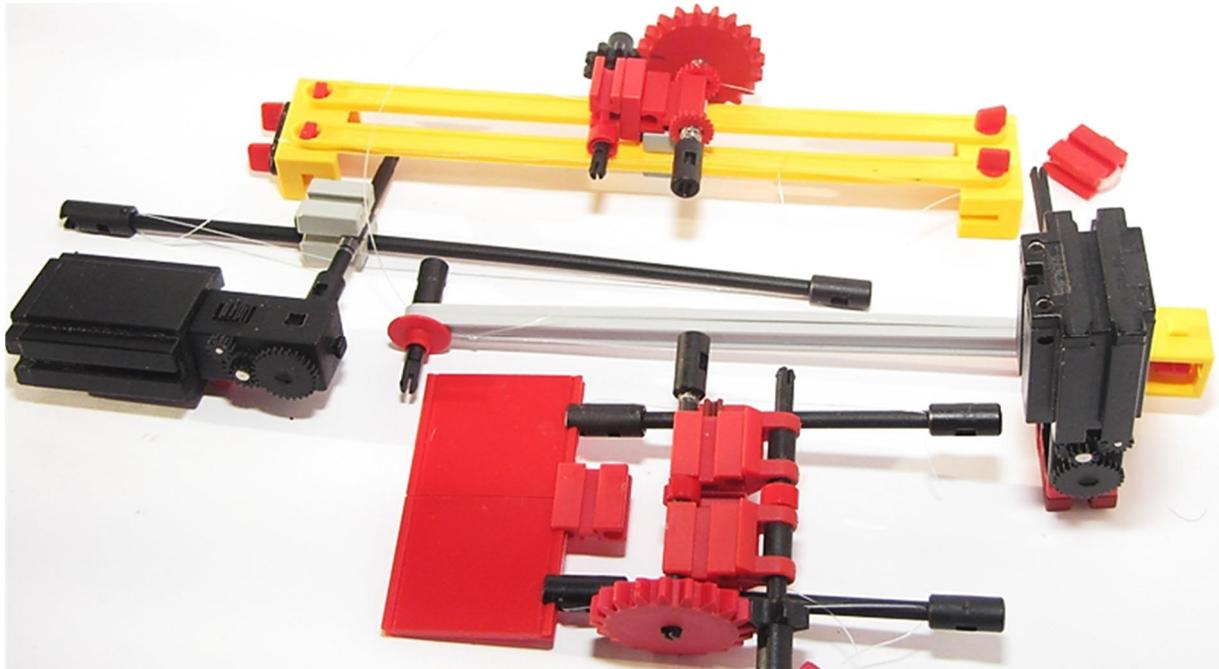


Abb. 4: Linearvorschübe

Links: das Differenzial-Antriebsrad Z14 ([31414](#)) hat hinter dem Zahnkranz vier Stege. Mit etwas gutem Willen und nicht ganz rundem Lauf liefert das Übersetzungen 1:5, 2:15, 1:10, die für geringe Lasten und Drehzahlen brauchbar sind.

Rechts: P-Schläuche sind elastisch, aber drucksteif. Darauf beruht dieser Freilauf. Das gelbe ist eine fischertechnik-Freilaufnabe. Die schwarzen „Schlauchanschluss D4 abgewinkelt“ ([163203](#)) helfen dabei, die BS7,5 am Abrutschen nach außen zu hindern.

Linearvorschübe

Die Angelschnur ([124875](#)) ist seit dem Tütchen „Weihnachtsdeko“ offizielles fischertechnik-Bauteil. Hier dient sie zum Verschieben von Streben und Achsen in einer Längsführung. Die Seilwickel müssen genügend Material für den gesamten Verfahrensweg enthalten.

Oben und unten in Abb. 4: Das Seil ist zwei Mal über die Länge geführt und mit gleichem Wickelsinn um die Achse gewickelt. Die Achse mit dem Z20 klemmt das Seil auf beiden Seiten, womit der Antrieb nicht

durchrutschen kann. Für einen majestätisch langsamen Vorschub sorgt oben eine Untersetzung Z10:Z20, unten eine Untersetzung Z5:Z20. Das „Z5“ ist ein Rast-Impulszahnrad Z5 ([35995](#)).

Links und rechts: das Seil ist nur an den Enden geklemmt und mehrfach um die Antriebsachse geschlungen. Bei zu geringer Seilspannung rutschen diese Antriebe durch.

Linearvorschübe mit Rastschnecke

Abb. 5. zeigt vier Schneckentriebe mit der Rastschnecke ([35072](#)).

Mehrere „Hülse mit Scheibe“ ([35981](#)) auf einer Achse aneinander gereiht ergeben eine runde Zahnstange mit *fast* den richtigen Abständen. Die Abweichung wirkt sich aber nur auf größeren Längen aus und hilft dabei, das Spiel zu begrenzen.

Links außen sind nur zwei Schnecken verbaut. Je nachdem, wie die Z10/Schnecken zueinander stehen, ergeben sich mehr oder weniger schwergängige und spielfreie Vorschübe.

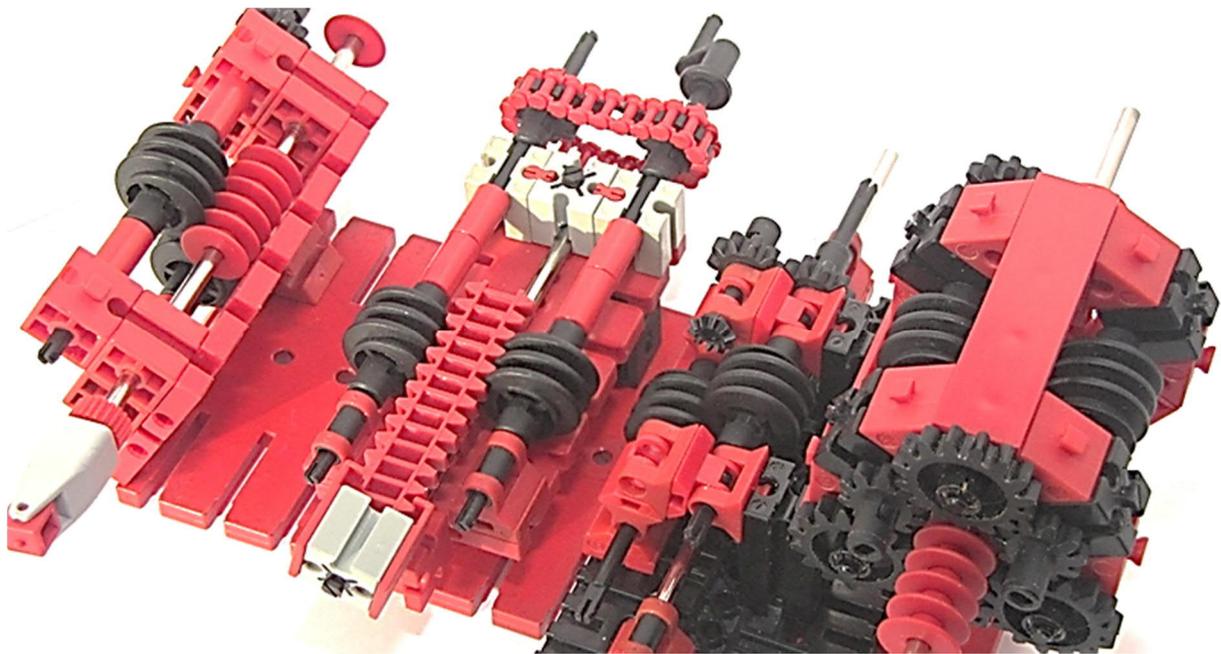


Abb. 5: Linearvorschübe mit Rastschnecke

Rechts außen: die drei Schnecken ([35072](#)) werden von Z10 angetrieben, die ihrerseits mit Z15 verbunden sind.

Mitte rechts wird ein fischertechnik-Schneckenenteil ([37926](#)) als Vorschubelement verwendet (hier verdeckt; es ist auf die Achse aufgeklebt, indem ein Stück Angelschnur dazu gesteckt wurde), Mitte links wird eine Zahnstange m1,5 verwendet.

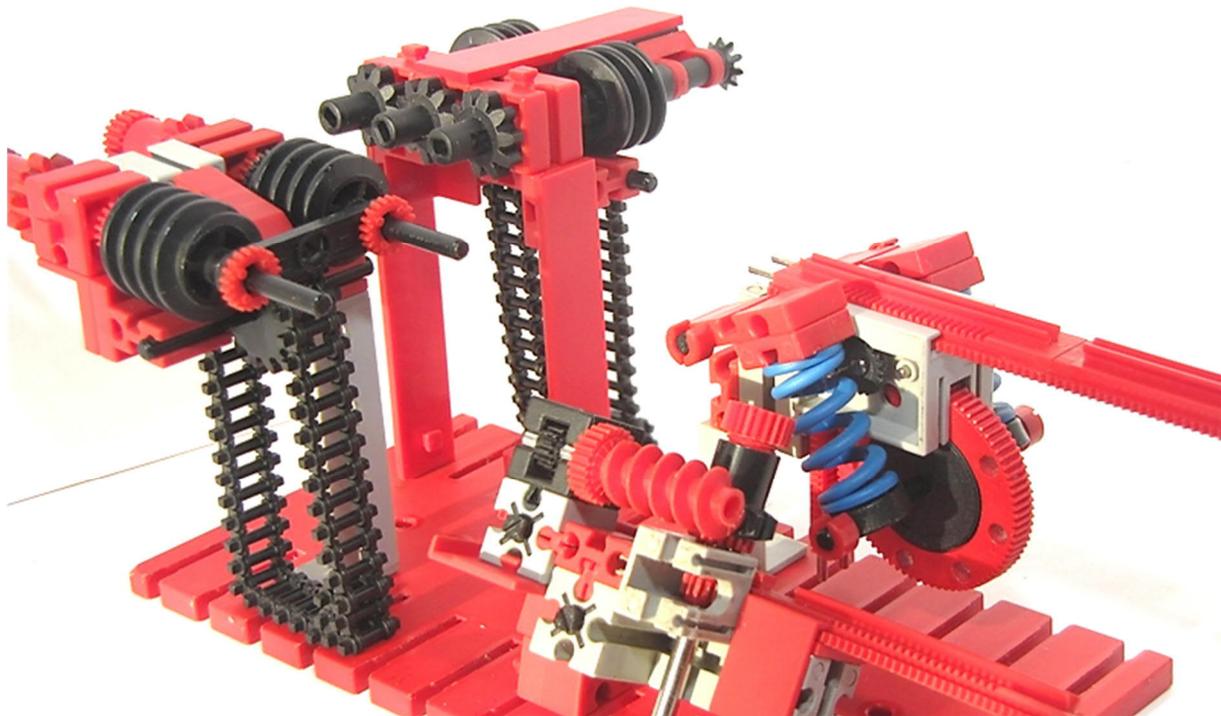


Abb. 6: Ketten und Hubzahnstangen

Mit den Führungsplatten ([32455](#)) kann vom letzten Zahn aus angekuppelt werden. Dieser Antrieb ist flacher und hat mehr Hubweg als derjenige der „Hubvorrichtungen“ [2].

Ketten und Hubzahnstangen

Abb. 6 links und oben: Zwei langsam laufende Antriebe für fischertechnik-Ketten. Die Rastschnecken greifen direkt in die vorstehenden Noppen der schwarzen Kette. Gegenüber den Kettentrieben aus Kaulquappen Teil 8 [3] laufen die Ketten hier reibungsärmer auf Zahnrädern Z15. Sie werden außerdem mit BSB-Kesselhaltern ([31592](#)) am Abspringen gehindert.

Oben: der Kesselhalter ist verdeckt. Er ist am BS15 „gegenüber“ befestigt. Die Achse des Z15 ist im BS7,5 zu erkennen.

Unten: hier kann die Führungsplatte ([32455](#)) einmal mehr glänzen: der Antrieb dieser Zahnstange geht über zwei mini-mot-Getriebe langsam und präzise einstellbar vor sich.

Rechts: hier wird die Zahnstange m0,5 ganz „ordnungsgemäß“ in einem Hubgetriebe

geführt. Das Zahnrad Z80 m0,5 (Details im nächsten Bild) rastet in der vertikalen kurzen Zahnstange ein und hat über die Zahnräder im Getriebe sozusagen einen sehr langen Hebel, um ein ungewolltes Verschieben zu verhindern. Zur Grobverstellung drückt man das Z80 nach unten und verfährt die Zahnstange. Zur Feinverstellung zieht man das Z80 nach rechts und dreht es um seine Achse. Auf die schwarze Freilaufnabe kann man verzichten, wenn man auf der Gegenseite eine Nabenmutter ohne Flügel einsetzt.

Zahnrad Z80 m0,5

Offiziell ist dieses Zahnrad das „Drehschalter-Oberteil“ ([31311](#)). Es setzt die Aufzählung der „Getriebe mit feiner Verzahnung“ [4] von Stefan Falk fort.

Die Z80 m0,5 haben (mit Ausnahme des im Bild unten angeschnittenen Exoten) keine Mitnehmer im Nabensitz. Sie drehen deshalb auf einer fischertechnik-Nabe frei durch. Will man eine Achse mittels des Z80 antreiben, muss man für Reibung sorgen,

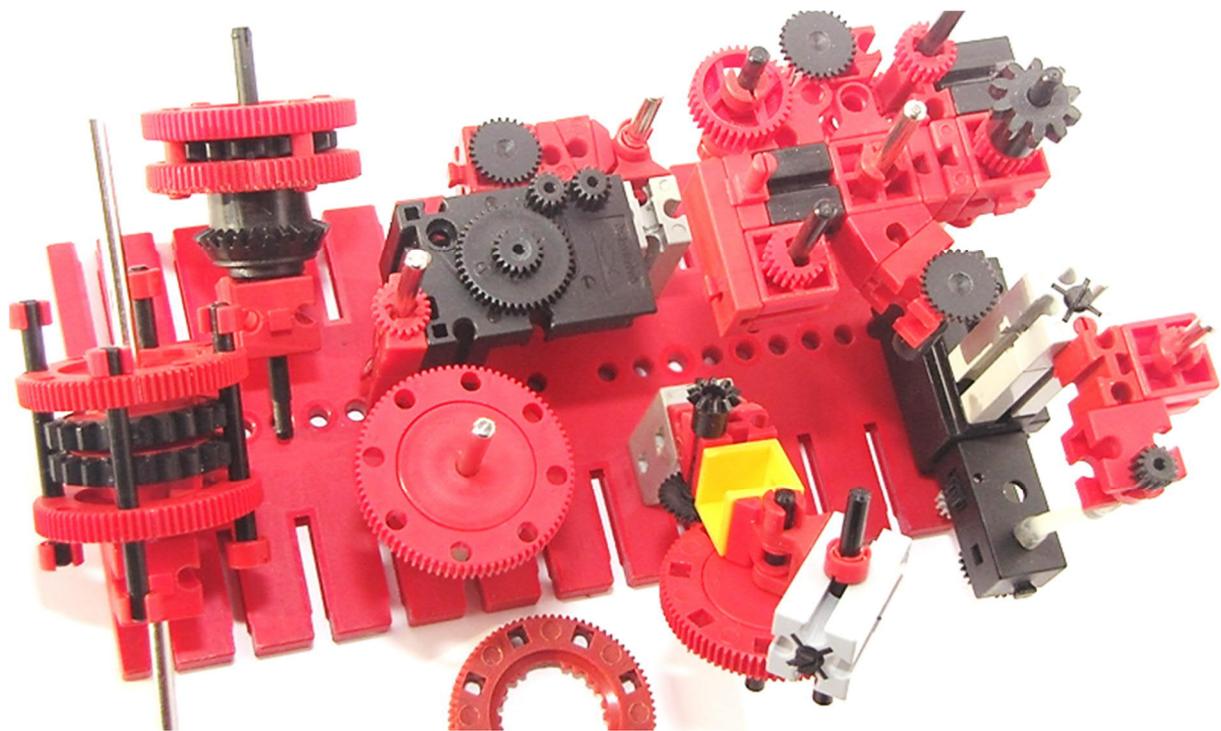


Abb. 7: Zahnrad Z80 m0,5

etwa durch Einklemmen von Papier, Bindfaden oder Angelschnur.

Abb. 7, rechte Seite: die vier „leeren“ Metallachsen zeigen an, wo das Z80 eingebaut werden kann, um mit den gezeigten Nachbar-Zahnrädern (neun Stück, allesamt auf K-Achsen) zu kämmen.

Linke Seite: durch Einstecken von Achsen in die rundum verteilten acht Löcher des Z80 kann man ein Z20 festhalten, z. B. um eine längenveränderliche und begrenzt knickbare Kraftübertragung zu erhalten (links außen) oder das Rastdifferenzial über Zahnräder m0,5 anzutreiben (links oben).

Zahnrad Z80 m0,5

Der Motor-Drehschieber ([31070](#)) ist hier zweifach verbaut und sorgt für den richtigen Abstand des Z80 zum Schneckengetriebe. Dieses Bild stammt aus den Kaulquappen Teil 3 [5].

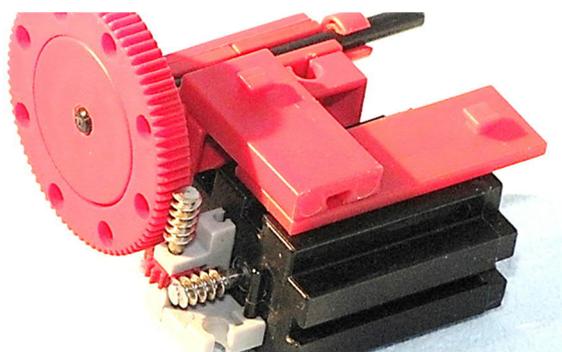


Abb. 8: Zahnrad Z80 m0,5

Monitor mit Z80 m0,5 (Rückseite)

„Monitor“ ist der Fachbegriff für ein Strahlrohr, das wie ein Geschütz bedienbar auf einem Feuerwehrfahrzeug oder -boot montiert ist. Der P-Schlauch wird also mit Wasser befüllt, das dann aus den P-Düsen gespritzt wird. Der Motor regelt die Strahlweite durch Verstellen des Neigungswinkels der Düsen.

Der Endtaster sitzt auf zwei Motor-Drehschiebern ([31070](#)), die auch hier für den

richtigen Abstand zwischen Z80 und der Schnecke sorgen.

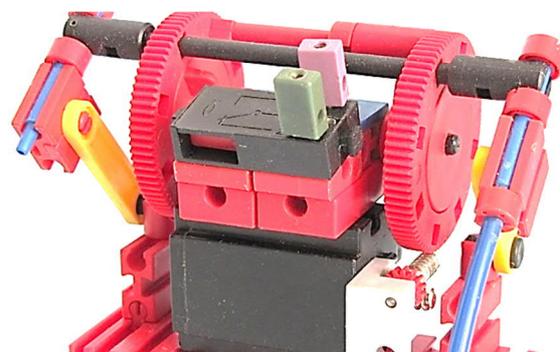


Abb. 9: Monitor mit Z80 m0,5 (Rückseite)

Monitor mit Z80 m0,5 (Vorderseite)

Der zweite Endtaster wird über einen BS5 in der Nut des Motors platziert und wird von der roten Achse betätigt.

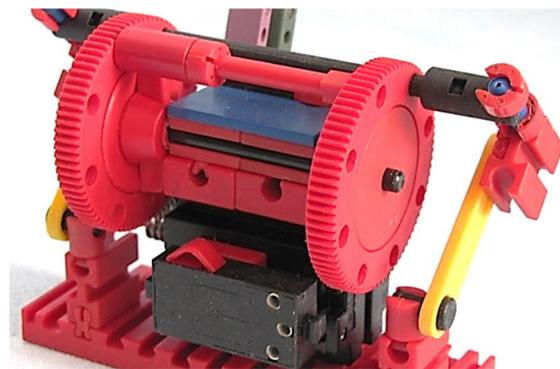


Abb. 10: Monitor mit Z80 m0,5 (Vorderseite)

Quellen

- [1] Harald Steinhaus: *Döschwo (2CV, Ente)*. Im [Bilderpool](#) der ft-Community.
- [2] Harald Steinhaus: *Hubvorrichtungen*. Im [Bilderpool](#) der ft-Community.
- [3] Harald Steinhaus: *Kaulquappen (Teil 8)*. [ft:pedia 2/2016](#), S. 6-7.
- [4] Stefan Falk: *Getriebe mit feiner Verzahnung*. [ft:pedia 3/2019](#), S. 18-21.
- [5] Harald Steinhaus: *Kaulquappen (Teil 3)*. [ft:pedia 3/2012](#), S. 24-26.

Modell

Getier im Frühling

Rüdiger Riedel

Der Frühlingsbeginn ist die Tagundnachtgleiche. In diesem Jahr ist der astronomische Frühlingsanfang am Samstag, 20. März um 10:37 Uhr. Na prima, die Natur erwacht, es fängt an zu krabbeln, kriechen, fliegen. Was mag das alles sein? Das wollen wir uns näher ansehen.

Das Gewimmel in der Übersicht

Alle Tiere in Abb. 1 sind Gliedertiere (*Articulata*), auch der nachempfundene Ringelwurm (*Annelida*) gehört dazu. Die anderen

gehören zu der Schwestergruppe der Gliederfüßer (*Arthropoda*). Allerdings zeigten biochemische Untersuchungen so große Unterschiede, dass Ringelwürmer und Gliederfüßer wohl doch keine Schwestergruppen sind, d. h. die Annahme eines *Taxons*



Abb. 1: Wimmelbild „Allerlei Getier“

(eine als systematische Einheit erkannte Gruppe von Lebewesen) „*Articulata*“ ungültig sein könnte.

Die Einteilung der Lebewesen in Systematiken ist also nicht starr, sondern wird immer wieder durch neue Erkenntnisse angepasst.

Spinnentiere

Der Körper der Spinnentiere ist grob in zwei Teile gegliedert, *Prosoma* (Vorderleib) und *Opisthosoma* (Hinterleib). Diese Glieder können sowohl deutlich voneinander getrennt (z. B. Webspinnen, Skorpione) als auch miteinander verwachsen sein (Weberknechte, Walzenspinnen, Milben). Markantestes Merkmal sind ihre vier Paar Laufbeine.

Weitere Extremitäten sind zu Werkzeugen wie Giftklauen, Scheren, Tastern oder Mundwerkzeugen umgebildet. Die meisten Spinnentiere sind Jäger, die ihre Beute mit Gift töten.

Skorpion

Skorpione sind die ältesten bekannten Spinnentiere, die schon im Zeitalter des Silurs (Erdgeschichtliches Zeitalter vor 443 bis etwa vor 419 Millionen Jahren) die Erde bevölkerten. Der älteste Fund stammt aus Schottland und ist 438 Millionen Jahre alt. Skorpione besitzen einen langen Schwanz mit Giftstachel.

Für unseren fischertechnik-Skorpion brauchen wir wie für alle weiteren Tiermodelle etwas Fantasie, aber dann erschließt sich uns ein ungeahntes Feld von Gestalten. Deshalb verzichte ich auf detaillierte Bauanleitungen und gebe nur kleine Tipps bei Besonderheiten. Die Bilder mögen als Anregung gelten. Für den Kopf verwende ich gerne Bausteine 15 · 30 rund, hier in Rot ([163439](#)).

Sie sind zwar weit entfernt von den Vorbildern, trotzdem gefallen mir die „Seitenteil Verlängerungen/Wing 15 Mitte“ ([163438](#) oder [163200](#)) als Beine sehr gut.



Abb. 2: *Bedrohlich*

Als Erkennungsmerkmal dienen hier die beiden Scheren aus Rastkardangeln 15 ([35971](#)) und der Giftstachel am Schwanzende aus einem Rastkardangelnk und einem Federnocken ([31982](#)).



Abb. 3: *Der Skorpion*



Abb. 4: *Blick auf die verschiedenen Beingelenke*

Für alle unsere fischertechnik-Gliederfüßer können die Beingelenke starr, beweglich oder verstellbar sein.

Die vier mittleren Gelenke in Abb. 4 sind beweglich aus Gelenkwürfel-Klaue ([31436](#)) und -Zunge ([31426](#)) aufgebaut, alternativ aus Hubgelenkstein-Klaue 7,5 ([38446](#)) und Hubgelenkstein-Zunge ([37280](#)). Die anderen Gelenke sind verstellbar:

Oben rechts und links je ein Schlauchanschluss D4 abgewinkelt ([163203](#)) und eine Klemmhülse 7,5 ([35980](#)).

Unten rechts und links je zwei Gelenkwürfel-Klauen, verbunden mit je einer Lagerhülse 15 ([36819](#)).

Kreuzspinne

Kreuzspinnen werden bis zu drei Jahre alt, die häufigste Art bei uns ist die Gartenkreuzspinne.



Abb. 5: Kreuzspinne mit angezogenen Beinen

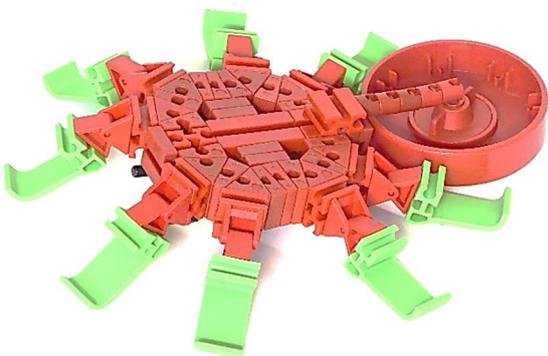


Abb. 6: Kreuzspinne auf dem Rücken

Den Hinterleib unserer fischertechnik-Spinne bildet eine Schwungscheibe ([39006](#)), verbunden durch eine Kette von Klemmhülsen 7,5 und eine V-Achse 20 ([31690](#)).

Der Kopf ist wieder ein Baustein 15 · 30 rund, jetzt gelb ([172544](#)). Für die „Giftzangen“ verwende ich zwei „Schlauchanschlüsse D4 abgewinkelt“.

Kleine Spinne

Die kleine Spinne hat einen Hinterleib aus einem Walzenrad 40 · 12 ([35386](#)). Am Vorderleib ist er befestigt mit:

- 2 Schlauchanschlüssen D4 abgewinkelt
- 1 Schlauch D4 L:30 ([172548](#))

Verzierung mit zwei Reedkontakt-Haltern 7,5 ([35969](#)) und einem Baustein 7,5 ([37468](#)).

Die Beine sind Rastachsen mit Rastadaptern 20 ([36227](#)), die in „Schlauchanschlüsse D4 abgewinkelt“ greifen.



Abb. 7: Kleine Spinne

In der Mitte des Körpers steckt ein Baustein 7,5 mit zwei E-Magnet-Führungsplatten ([32455](#)).

Die beiden Rastkegelzahnräder ([35061](#)) sollen das Aussehen bedrohlicher gestalten.



Abb. 8: Von unten

Rundspinne

Dies ist ein reines Phantasietier.



Abb. 9: „Rundspinne“

Im achteckigen Rumpf steckt ein Rastketten-Magnetkugelhalter ([119850](#)) und im Kopf ein Neodym-Stabmagnet (Abb. 10) 4 mm 10 mm [1].

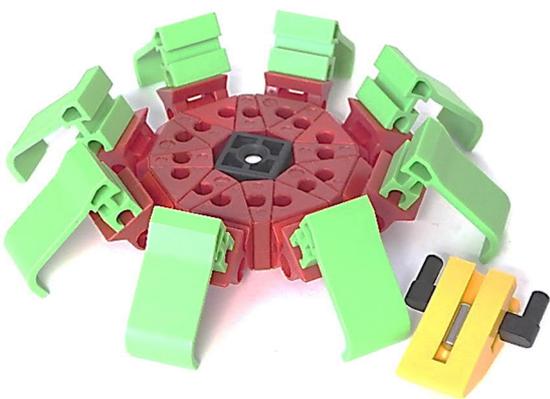


Abb. 10: „Rundspinne“ ohne Kopf

Weberknecht

Den kennen wir alle: rundlicher Körper und extrem lange, dünne Beine.



Abb. 11: Der Weberknecht

Die Beine sind starr befestigt, sie bestehen aus Rastachsen, Rastkupplungen 15 ([35073](#)), Rastadaptern 20 ([36227](#)), Federnocken ([31982](#)) und Rastaufnahmeachsen 22,5 ([130593](#)).

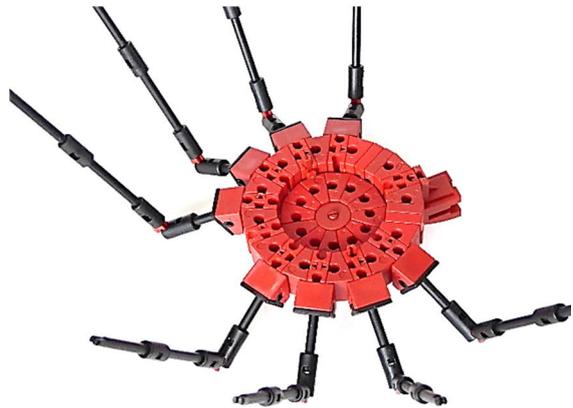


Abb. 12: Unterseite des Weberknechtes

Der Körper besteht aus zwei ineinander gesteckten Ringen (aus Winkelsteinen 30° ([31011](#)) bzw. Winkelsteinen 30° und Bausteinen 7,5), wobei der kleinere nur durch Federnocken am Durchrutschen gehindert wird (Abb. 13).

Der Verschluss des kleinen Loches im oberen Ring erfolgt mit zwei Hülsen + Scheibe 15 ([35981](#)) und einer V-Achse 17 ([35404](#)) oder einer V-Achse 20 Rastachse ([31690](#)).

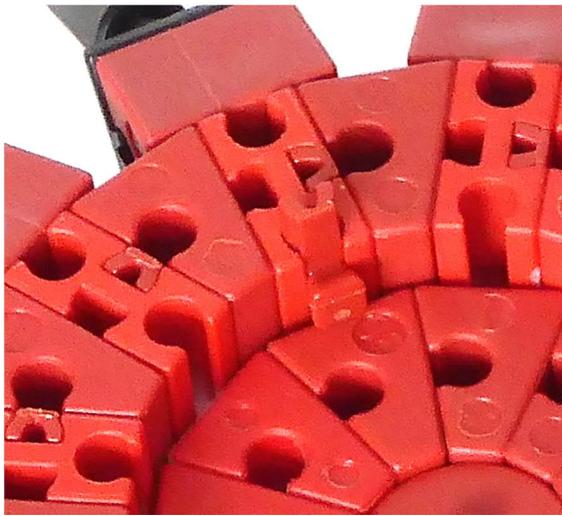


Abb. 13: Detail

Vorlage

Auf der Suche nach Vorlagen für die Krabbeltiere schaue ich gerne in Meyers Konversationslexikon von 1885-1892 [2]. Mit der Suchfunktion kommt man immer wieder auf interessante Seiten.



Abb. 14: Vorlage

Die in diesem Beitrag vorgestellten Modelle sollen die Fantasie anregen. Bessere Annäherungen an die natürlichen Vorbilder sind bestimmt möglich.

Insekten

Grundsätzlich folgt der Körperbau der Insekten dem Schema: Kopf (*Caput*), Brust (*Thorax*) und Hinterleib (*Abdomen*).

Die drei Beinpaare sitzen an der Brust, ebenso meist zwei Paar Flügel (bei der Stubenfliege z. B. ist ein Paar davon zu Schwingkölbchen zurückgebildet).

Wespe

Mit den gelben und schwarzen Bausteinen 15 · 30 rund lässt sich das Farbmuster einer Wespe nachbilden.



Abb. 15: Wespe

Unsere „fette Wespe“ hat zwei winzige Flügel aus

- 1 Seitenteil / Wing 45 links (172546)
- 1 Seitenteil / Wing 45 rechts (172547)



Abb. 16: Wespe von unten

Für den Kopf eignen sich die Bausteine 15 · 15 rund ([172543](#)) sehr gut.

Käfer

Auch Käfer haben vier Flügel, aber wie wir von den Maikäfern wissen, unterscheiden sie sich in zwei harte Deckflügel und darunter die meist größeren, gefalteten Hautflügel. Hier müssen unsere Käfer noch ohne Flügel auskommen.

Alle folgenden fischertechnik-Käfer sind Fantasiegebilde.



Abb. 17: Der kleine Dickkopf

Der flache Käfer von Abb. 18 erinnert an eine Küchenschabe oder Kakerlake.



Abb. 18: Der Flachkäfer

Beim rot-schwarzen Rundkäfer sind die Fühler aus schwarzem Silikonschlauch von fischerfriendsman [3]. Der Körper wird aus Bausteinen 15 · 15 rund zusammengesetzt und das Hinterteil bildet ein Baustein 15 · 30 rund.



Abb. 19: Käfer Rot-Schwarz

Die Befestigung des Kopfes erfolgt mit drei Stabmagneten 4 mm · 10 mm, einer sitzt im Baustein 15 · 15 rund, die beiden anderen stecken zusammen mit zwei Metallachsen 30 (31034) im Rumpf.



Abb. 20: Befestigung des Kopfes mit Magneten

Unten und an den Seiten sieht man die Verbindungen 15 (31060) und 30 (31061).



Abb. 21: Rundkäfer in Rückenlage

Die Beine der Käfer können auch aus Ketten von Klemmhülsen 7,5 gebildet werden, siehe „Flachkäfer Zwo“ in Abb. 22 und 23.



Abb. 22: Noch ein Flachkäfer

Sie sind hier verstellbar am Körper angebracht.

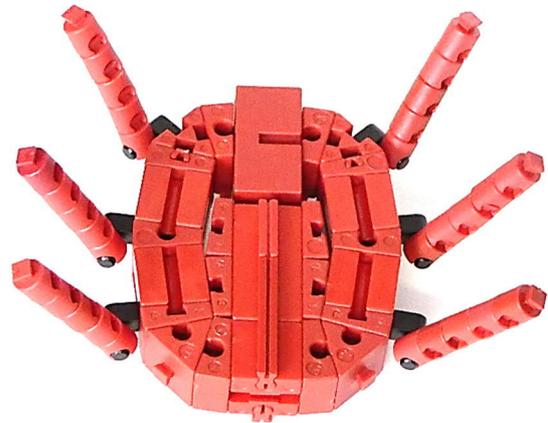


Abb. 23: Flachkäfer Zwo auf dem Rücken:

Der Kopf sitzt auf einem Baustein 5 15 · 30 3N ([38428](#)) und einem Baustein 5 15 · 30 ([35049](#)) und ist dadurch etwas versenkt angeordnet. Er wird seitlich von zwei Federn gehalten.

Übrigens besteht der Ringelwurm in Abb. 1 aus einem Stück Silikonschlauch, vielen Abstandsringen 3 ([31597](#)) und zwei Pneumatik-Anschlüssen schwarz ([36200](#)).

Quellen

- [1] fischerfriendsman: [Stabmagnet 7348fg](#)
- [2] Meyers Konversationslexikon 1885-92: [Waldverderber \(Tafel\)](#).
- [3] fischerfriendsman: [Silikon-Schlauch](#)

Tipps & Tricks

Die fischertechnik-Werkzeugkiste

Robin Nikolas Woszdlo

fischertechnik ist ein Baukastensystem, bei dem eigentlich alles enthalten ist, was man braucht. Normalerweise benötigt man kein Werkzeug, und wenn doch, wird es wie der kleine gelbe Schraubendreher immer mitgeliefert. Über die Jahre stellt man aber als Hardcore-Bauer fest, dass man doch manchmal Werkzeug braucht. Weil es nervig ist, wenn man dafür an die richtige Werkzeugkiste muss, habe ich mittlerweile eine Box 500 mit allem Werkzeug, das ich spezifisch für fischertechnik benötige. Das ist auch deshalb sehr praktisch, weil ich für Conventions an nichts denken muss, wenn die Box dabei ist.



Abb. 1: Gesamtansicht

Es ist alles enthalten, was ich zur Verkabelung, Montage, Nachbearbeitung von Teilen sowie die Programmierung von Controllern brauche.

Verkabelung

Bei der Montage von Steckern nutze ich eine Abisolierzange *Weicon Nr. 5*; diese bietet einen guten Kompromiss aus Preis und Leistung. Spezifiziert ist sie für Kabelquerschnitte ab $0,2 \text{ mm}^2$; für die fischertechnik-Doppellitze mit zweimal $0,14 \text{ mm}^2$ funktioniert sie nach meiner Erfahrung aber auch sehr gut. Dabei spielt es keine Rolle, ob man beide Adern auf einmal oder einzeln abisolieren möchte.

Zum Festdrehen der Schrauben nutze ich einen *Wera 118005* mit Klinge $0,4 \text{ mm} \cdot 2 \text{ mm}$. Der ersetzt den gelben fischertechnik-Schraubendreher. In der Handhabung ist das Modell von Wera aber deutlich angenehmer, weil es länger ist und am Griff einen Drehteller hat.



Abb. 2: Schraubendreher und Zange

Montage

Das Problem der wunden Finger kennen wir alle, und manchmal reicht es trotzdem nicht und eine Nabe oder Spannzange rutscht auf der Achse durch.

Insbesondere für Spannzangen und Zangenmuttern hat sich bei mir ein Mikrofasertuch bewährt. Mit diesem kann ich alle Zangenmuttern (und die Schnecken, auf denen ich sie montieren will) festhalten und problemlos bis zum Anschlag festdrehen. Das Mikrofasertuch hält dabei sehr gut, weil es sich auch auf der Schnecke an der Mikro-Rauigkeit festhält; gleichzeitig werden die Finger geschont.

Für Flachnaben nehme ich ggf. noch den Nabenschlüssel von LPE. Diesen brauche ich aber dank des Tuchs fast nie, und dann nur an schwer erreichbaren Stellen.

Für die Montage von Madenschrauben bei diversen Fremdteil-Achsverbindern (z. B. einen Spezialverbinder für 5 mm Powermotor auf 4 mm fischertechnik-Metallachse) habe ich außerdem den passenden Innensechskantschlüssel in der Kiste.



Abb. 3: Sechskantschlüssel, Nabenschlüssel und Mikrofasertuch

Nachbearbeitung

Hier scheiden sich die Geister: Darf ein fischertechnik-Teil bearbeitet werden oder nicht? Ich beantworte diese Frage mit „Ja“ und habe deshalb natürlich immer ein Messer griffbereit. Aus einem einfachen Set von Rossmann habe ich ein kleines Messer, das sehr gut in die Kiste passt. Das große davon

ist in meiner normalen Werkzeugkiste, bei schwierigeren Arbeiten nehme ich lieber das große.

Dazu ergänze ich noch eine Kneifzange, eine filigrane Elektronikzange *Knipex Super-Knips 78 61 125*, selbstöffnend mit Feder, ohne Facette. Insbesondere zum Durchtrennen von Achsen und abtrennen von Zapfen eignet sie sich sehr gut.



Abb. 4: Messer und Seitenschneider

Programmierung

Zur Programmierung von Controllern habe ich die beiden gängigen Anschlusskabel in der Kiste – nur für den Notfall, damit ich sie auf Conventions dabei habe. Zu Hause habe ich noch weitere Kabel auf dem Tisch liegen. Es handelt sich hierbei um ein Kabel USB auf USB A, wie es früher bei Druckern üblich war und für ältere Controller gebraucht wird, und ein Kabel USB auf mini-USB, wie man es für den TXT und den ftDuino benötigt.

Ich hoffe, mit diesem Beispiel Anregungen zu liefern, sodass jeder zu seiner persönlichen fischertechnik-Werkzeugkiste findet.

Referenzen

- [1] Gerhard Birkenstock: *Die fischertechnik-Werkzeug-Wanne*. [ft:pedia 4/2015](#), S. 12–14.

Tipps & Tricks

The fischertechnik Toolbox

Robin Nikolas Woszdlo

fischertechnik is a modular construction system which should contain everything out of the box. Usually, you would not need any tools, and if you do, they are included, like that little yellow screwdriver. Over the years you will notice though, that sometimes a few tools are needed. It is annoying to always access my large toolbox for that, so I packed together my personal fischer-technik Box 500, with all the tools I need specifically for ft.



Abb. 1: Full view

It includes everything I need for wiring, mounting, or reworking of parts, or programming controllers.

Wiring

For mounting the plugs on wire, I first use a *Weicon No. 5* wire stripper, which offers a good compromise between price and usability. It is specified for cable diameters 0.2 mm² and larger. According to my experience, it also works well for the fischer-technik 0.14 mm² wire. Stripping both wires at once works just as well as stripping one after the other.

To tighten the screws, I use a *Wera 118005* screwdriver with a 0.4 mm · 2mm blade. That is the same as the yellow fischer-technik

screwdriver, but the Wera one has enhanced usability because it is longer and has a rotatable cap on its handle.



Abb. 2: Screwdriver and wire stripper

Mounting

You probably all know the feeling of sore fingers after a long day of building, but even that is sometimes not enough, and a hub will slip on an axle.

Especially for collet hubs and hub nuts, I found a microfibre rag to be very useful. By using it, I can grip all hub nuts (and the worms I want to mount them on) very hard and seize them to the maximum. The microfibre works so well, because it will grip even the worm very well, because of its micro roughness. At the same time, it is soft

for the fingers and prevents soreness and injuries.

For flat hubs I sometimes use the hub wrench from LPE, but thanks to the microfibre rag I rarely must do so. And if I do, it is usually only in areas difficult to access by hand.

A little hex key is used for small grub screws contained in various aftermarket axle connectors (e.g., a connector 5 mm Power Motor to 4 mm ft-metal-axle).



Abb. 3: Hex key, hub wrench and microfibre rag

Modding

Some people ask: “Is it okay to modify fischertechnik parts, or not?” I would always answer “Yes” and therefore always have a small knife at hand. This one comes from a set bought in a local drugstore, and it fits nicely into the box. The larger one, which was also contained in the set, is in my normal toolbox. When doing more difficult modding work, I prefer to use the large one because of its larger handle.

Additionally, there is a pair of pliers, I use filigree electronics end-cutting pliers of the

type *Knipex Super-Knips 78 61 125*, self-opening by spring, without bevel. It is especially useful for separating axles or cutting of cams.



Abb. 4: Knife and pliers

Programming

To program controllers, the box contains the two mostly used types of cables. They are only in that box for emergencies on exhibitions, at home I have all necessary cables on my desk.

The two cables are a USB-to-USB-A cable, which was widely common for printers, external hard drives and the older controller generations, and a USB to mini-USB, as needed for TXT and ftDuino.

I hope to have given some inspiration on how to put together your very own fischertechnik toolbox.

References

- [1] Gerhard Birkenstock: *Die fischertechnik-Werkzeug-Wanne*. [ft:pedia 4/2015](#), S. 12–14.

Tipps & Tricks

ft-refurbishment (Teil 2)

Wilhelm Lichtenberg

In Teil 1 der Reihe „ft-refurbishment“ (ft:pedia 1/2019 [1]) habe ich eine Methode zum Wiederbeleben der Funktionsfähigkeit z. B. eines BS30 vorgestellt. Jetzt geht es den offensichtlichen Schönheitsfehlern und Verschmutzungen unserer Bauteile an den Kragen – meist verursacht durch Gedankenlosigkeit oder zu intensiven Gebrauch. Mit der richtigen Reinigungsmethode kann man aber so manche Bauteile wieder schön machen.

Die Feststellung

Der ambitionierte fischertechniker oder auch der Einsteiger hat oftmals ein Konvolut aus gebrauchten fischertechnik-Bauteilen oder kompletten Kästen in seinem Bestand. Betrachtet man seine Sammlung etwas genauer, stellt man häufig Schönheitsfehler an den Bauteilen oder Sortierkästen fest. Meist stammen diese Ansammlungen von Schönheitsfehlern von einem selbst oder man hat sie bereits durch ein Gebrauchtangebot dazu bekommen. Eine einfache Methode zeigt, wie man diese Gebrauchsspuren mit Haushaltsmitteln beseitigen kann.

Hilfsmittel

Nicht jedes Hilfsmittel, das einem in die Hände kommt, erfüllt auch seinen Zweck. Als kleiner Junge (was schon einige Dekaden her ist) habe ich einmal schnell zu Mamas Nagellackentferner gegriffen, um eine mit Edding bemalte rote Platte von den Resultaten dieser Untat zu befreien. Damals enthielt diese noch Aceton. Danach wusste ich, dass ich lieber die Finger davon gelassen hätte. Daher empfehle ich, nur die folgenden Putz- und Reinigungsmittel zu verwenden. Das Ganze ist nur als Empfehlung zu verstehen und kann nach Belieben erwei-

tert werden. Vieles davon ist meistens sowieso im Haushalt vorhanden und braucht nicht extra angeschafft zu werden.



Abb. 1: Hilfsmittel

- Waschbenzin
- Universalverdünnung
- Ceranfeldschaber
- Messer
- Allzweckreiniger
- Chromputzmittel
- Lappen und Schwämme
- Gummihandschuhe

Sind vorhandene Teile wirklich zerstört, so kann man sie aber dennoch für das „modding“ weiterverwenden. Hierzu gibt es einen schönen Artikel von Harald Steinhaus

in der ft:pedia 3/2011 [2]. Ich selbst sammle alle noch so kaputten Teile in einer separaten Aufbewahrungskiste.

Jetzt kann man sich natürlich fragen, ob es überhaupt Sinn ergibt, Bauteile zu reinigen oder zu reparieren, denn schließlich sind die verschmutzten Teile teilweise von so geringem Wert, dass man sie schnell z. B. bei Fischerfrindsman [3] nachbestellen kann. Viele von uns fischertechnikern kennen das noch aus ihrer eigenen Jugend, wo man jedes Teil gehegt und gepflegt hat, bis auf die Eskapaden mit Tesafilm, Edding und Co.

Mir geht es hier in diesem Beitrag darum, mit kleinen Handgriffen vorhandenes Material zu „retten“ und wieder dem Spielbetrieb zuzuführen. Sicherlich ist es dem Bauteil egal, ob es bemalt oder beklebt ist oder nicht. Aber wer schon einmal ein Konvolut „geschossen“ hat, der weiß, dass man ungern mit klebrigen Bausteinen spielt. Womöglich sind vielleicht noch die Reste von Mamas Schnittchen in den Nuten der Steine einmassiert, die sich über Jahrzehnte zu einem undefinierten Brei entwickelt haben.

Erste Schritte

Hat man die Bauteile und/oder Sortierkästen gesichtet, die eine Dusche benötigen, geht es auch schon los. Bei einer Handvoll Bauteile mit kleinen Dimensionen kann man auch einen Eimer nehmen, damit man nicht so viel Wasser verbraucht. Bei den bereits in Teil 1 erwähnten 21 Stück UT-1 Kästen kommt da schon eine Menge an Material zusammen, das ich damals in der Badewanne gereinigt habe. Versuche mit dem Hochdruckreiniger kann ich nicht empfehlen, da ich natürlich auch das ausprobiert habe und mir die Teile aus dem Eimer herausgeschossen sind. Die anschließende Suche im Garten ist etwas aufwändiger.

Ich bevorzuge die Reinigung mit einer Handbürste, Handschuhen und einem Allzweckreiniger. Danach werden alle Bauteile auf ein altes großes Handtuch gehoben und es wird nochmals geschaut, ob nicht

noch Kleinteile unter dem Badeschaum versteckt sind. Die könnten schnell mit dem ablaufenden Wasser auf Nimmerwiedersehen verschwinden. Das Trocknen kann mitunter etwas länger dauern, bis alle Nuten abgetrocknet sind, oder man bemüht noch einen Fön. Somit wären die ersten Spuren beseitigt, einschließlich Mamas Schnittchenresten. Man glaubt gar nicht, was da schon alles herauskommt. Selbstverständlich brauche ich hier nicht zu erwähnen, dass sämtliche Elektro- und Elektronikbauelemente nicht in die Badewanne gehören. Ebenfalls wäre ich mit Pneumatik- und Hydraulikzylindern vorsichtig.

Vorher – Nachher

Widmet man sich nun den Bauteilen, die mit z. B. einem Edding beschrieben wurden, kann man deren nicht mehr gewünschte Beschriftung mittels Universalverdünnung entfernen. Es ist aber darauf zu achten, aus welchem Grundmaterial das Bauteil besteht. Bei Naben, Platten und Winkelsteinen gibt es keine Probleme. Letztendlich sollte man immer eine Werkstoffprobe machen. Hier kann selbstverständlich keine Verantwortung übernommen werden. Aber man sieht am Resultat, dass es sich durchaus lohnen kann.



Abb. 2: Mit Edding bemalte Bauteile (vorher)

Es bleiben weder Rückstände von Edding übrig noch Schlieren von der Verdünnung. Das Ergebnis kann sich also sehen lassen, wie ich finde.



Abb. 3: Gereinigte Bauteile (nachher)

Bei verklebten Bauteilen, die z. B. mit Pritt-Stift und Pappe beklebt wurden, lassen sich die Rückstände meistens mit einem weichen Kunststoffgegenstand und warmem Wasser abschaben.



Abb. 4: Mit Pritt-Stift verklebtes Bauteil

Zusätzlich kann man mit Verdünnung oder Waschbenzin den Glanz eines Bauteils wiederherstellen. Auch hier ist das Resultat sehenswert. Ich hatte in meiner Sammlung eine Menge solcher verklebter Winkelsteine, die ewig in einer Kiste ungenutzt herumlagen, bis ich sie wieder gereinigt hatte.



Abb. 5: Gereinigter Winkelstein

Die o. a. Verunreinigungen sind sicherlich eher selten. Ich habe auch gute Erfahrungen mit Waschbenzin an den grauen und blauen Sortierkisten inklusive 500er oder 1000er Bauplatten gemacht.

Nun gehen wir weiter zum nächsten Material, den Metallachsen. Die folgenden oberflächlichen Verrostungen der Metallachsen kennt sicher jeder von uns. Meist fällt es einem erst auf, wenn z. B. Gleitführungen gut und geschmeidig laufen müssen, dass stumpfe oder mit leichtem Rost versehene Metallachsen ein Problem bei einem Bauvorhaben bereiten. Aber auch hier gibt es eine sehr einfache und effektive Abhilfe: Chromputzmittel. In den Jahren meiner Kindheit waren Fahrräder oft mit Chrombauteilen versehen, die man gerne poliert hat. Da wurde schnell zum Chromputzmittel gegriffen, um Metallteile wieder zum Glänzen zu bringen, und genau das wende ich bei den fischertechnik-Metallachsen an.



Abb. 6: Leicht verrostete Metallachsen

Sind die Rostpartikel schon zu tief ins Chrom eingedrungen, kann auch das Putzmittel nicht mehr helfen; diese Achsen müssen dann leider aussortiert werden.



Abb. 7: Polierte Metallachsen

Bitte nicht ausprobieren

Wie bereits erwähnt kann man mit den falschen Reinigungsmitteln die fischertechnik-Bauteile für immer verunstalten. Ein Beispiel hierfür ist die Behandlung eines Klarsichtdeckels aus Polycarbonat mit Universalverdünnung. Das Ergebnis ist eine irreversibel geschädigte Oberfläche.

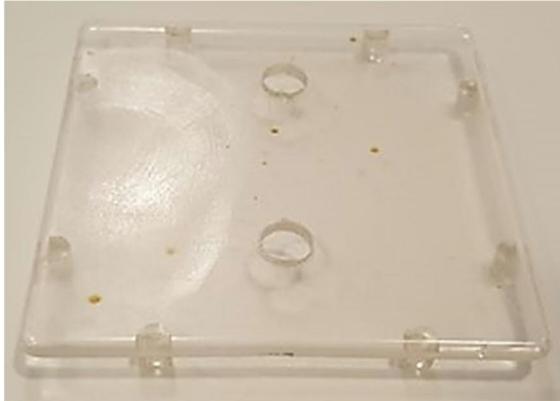


Abb. 8: Die linke Seite ist durch Universalverdünnung blind geworden

Erfolgreiche Versuche



Abb. 9: Bausteinlagerung in Kaisernatron

Auch möchte ich nicht vorenthalten, dass Versuche mit Kaisernatron zu keiner Verbesserung der Oberflächen geführt haben. Als Beispiel wurden verfärbte graue BS30 Bausteine über mehrere Tage in einem Glas

mit gelöstem Kaisernatron gelagert. Hier konnte ich keine Verbesserung feststellen.



Abb. 10: Keine Änderung zum Ausgangszustand

So bitte auch nicht

Was mir immer wieder bei Gebrauchtangeboten auffällt ist, dass die Anleitungen gelocht sind. Das ist sicherlich Geschmacksache, wenn diese dann wenigstens ordentlich aufbewahrt wurden, aber viel schlimmer ist es, wenn die Stücklisten mittels Stifte „abgehakt“ wurden. Sicherlich erst einmal nicht schlimm, denn schließlich will man die Bauteile zum Spielen verwenden. Wer aber einen langersehnten hobby 4 Baukasten sein Eigen nennen will, der ärgert sich schon ein wenig, wenn ein vermeintlich schöner Kasten solche Mängel aufweist.



Abb. 11: Gelochte Anleitungen

In der Regel verwahre ich die Anleitungen, geschützt separat in einer Kiste auf und nutzte meistens die Online-Ausgaben auf der niederländischen fischertechnik Club-Seite [4].

Einzelteilübersicht Spare parts list Liste des pièces détachées		Onderdelenoverzicht Lista da peças Resumo de peça individual	
	1x		1x
	1x		1x
	4x		1x
	4x		1x
	1x		3x
	2x		1x
	2x		1x
			2x
			1x
			1x
			2x
			1x
			1x
			2x
			1x

Abb. 12: Markierte Stücklisten

Fazit

Durch die aufgeführten Reinigungsmethoden und in der ft:pedia Ausgabe 1/2019 in Teil 1 erwähnte Methode zur Rettung von Bausteinen greife ich heute öfter zu etwas augenscheinlich desolateren Konvoluten,

um preisgünstig meine Sammlung zu erweitern oder Großprojekte möglichst kostengünstig zu halten. Darüber hinaus erzielt man bei einem Wiederverkauf von vollständigen und gereinigten Baukästen oder Bauteil-Zusammenstellungen durchaus auch bessere Preise und erhält das fischertechnik-System für die Nachwelt mit einem bescheidenen Ansatz der Nachhaltigkeit.

Quellen

- [1] Wilhelm Lichtenberg: *ft-refurbishment (Teil 1)*. [ft:pedia 1/2019](#), S. 12-14.
- [2] Harald Steinhaus: *Neue ft-Teile selbstgemacht: Teile-Modding*. [ft:pedia 3/2011](#), S. 20-24.
- [3] Stefan Roth: [fischerfriendsman.de](#)
- [4] Niederländischer [fischertechnik-Club](#)

Modell

Paternoster

Andreas Gürten

Ein Paternoster ist eine besonders faszinierende Aufzugsanlage. Kein Wunder, dass auch Fischertechniker davon fasziniert sind – und ein Paternoster-Modell konstruieren...

Ein Paternosteraufzug, kurz Paternoster, technisch Personen-Umlaufaufzug genannt, ist eine Sonderform einer Aufzugsanlage zur Personenbeförderung.

Beim Paternosteraufzug verkehren mehrere an einer Kette hängende Einzelkabinen (üblicherweise für ein bis zwei Personen je Kabine) im ständigen Umlaufbetrieb (Abb. 1). Die Kabinen werden am oberen und unteren Wendepunkt über große Scheiben in den jeweils anderen Aufzugsschacht umgesetzt. Die Beförderung von Personen beim Wendevorgang ist vorgesehen und gefahrlos. Die Beförderungsgeschwindigkeit beträgt ca. 0,2 bis 0,45 Meter pro Sekunde [1].

Geschichte

Das Prinzip stammt vom Paternosterwerk aus dem Bergbau, einem stationären Transportmittel mit einer endlosen Kette. Auch früher übliche Sackaufzüge mit vertikalem Endlosförderband hatten ein ähnliches Konstruktionsprinzip. Der heute bekannte Paternoster wurde in England entwickelt. Der erste Paternosteraufzug der Welt wurde 1876 im General Post Office in London zum Transport von Paketen eingebaut. Ab 1883 diente er der Personenbeförderung. Die Deutschlandpremiere des Paternoster war 1885 in Hamburg, als eine englische Anlage im Dovenhof installiert wurde. Paternosteraufzüge sind lediglich in Kontinentaleuropa und Großbritannien anzutreffen, in den USA sind solche Anlagen vollkommen unbekannt.



*Abb. 1: Funktionsprinzip eines Paternoster
(Foto: Technoseum Mannheim)*

Herkunft des Namens

Der Name Paternoster steht mit dem katholischen Rosenkranz im Zusammenhang, einer Zählkette für Gebete. Beim Rosenkranz folgt auf zehn kleinere Kugeln für die Ave Marias eine davon abgesetzte für das Vater Unser (lateinisch: Pater Noster). Diese Zählkette ist früher auch als Paternoster-schnur bezeichnet worden. Darüber hinaus nennt man auch die elfte Kugel, entsprechend dem dazugehörigen Gebet, Paternoster. Auf gleiche Weise sind bei einem Umlaufaufzug die Personenkabinen wie auf einer Schnur aufgefädelt. Die Bezeichnung wurde als Erstes von Grubenarbeitern für die Lastenaufzüge verwendet, da diese dem Rosenkranz ähnelten.

Rechtssituation

Seit 1974 dürfen in Westdeutschland keine neuen Paternosteraufzüge mehr in Betrieb genommen werden. 1994 war eine Änderung der Aufzugsverordnung geplant, die eine Stilllegung der bestehenden Anlagen bis 2004 vorsah. Gegen diese Befristung erhob sich Widerstand, unter anderem durch einen eigens in München gegründeten „Verein zur Rettung der letzten Personenumlaufaufzüge“. Der Bundesrat hob deshalb die geplante Änderung auf, so dass sich bis auf weiteres die bestehenden Paternoster weiter drehen dürfen. Paternosteraufzüge müssen nach dem Stand der Technik betrieben werden. Die entsprechenden Technischen Regeln sind seit 1972 in der TRA 500 („Technische Regeln für Aufzüge – Personen-Umlaufaufzüge“) festgelegt (zuletzt 1985 geändert) [1].

Vor- und Nachteile

Vorteile der Paternosteraufzüge sind die ständige Verfügbarkeit für beide Richtungen, dadurch ist ein schneller Wechsel zwischen nahe beieinander liegenden Stockwerken möglich. Eine Durchfahrt der Endpunkte für Personen ist problemlos möglich. Eine Wartezeit entfällt, die Förderleistung ist ähnlich einer senkrecht eingebauten

Rolltreppe sehr hoch. Falls der Paternoster stehenbleibt, kann man jederzeit entweder nach oben oder nach unten aussteigen (klettern).

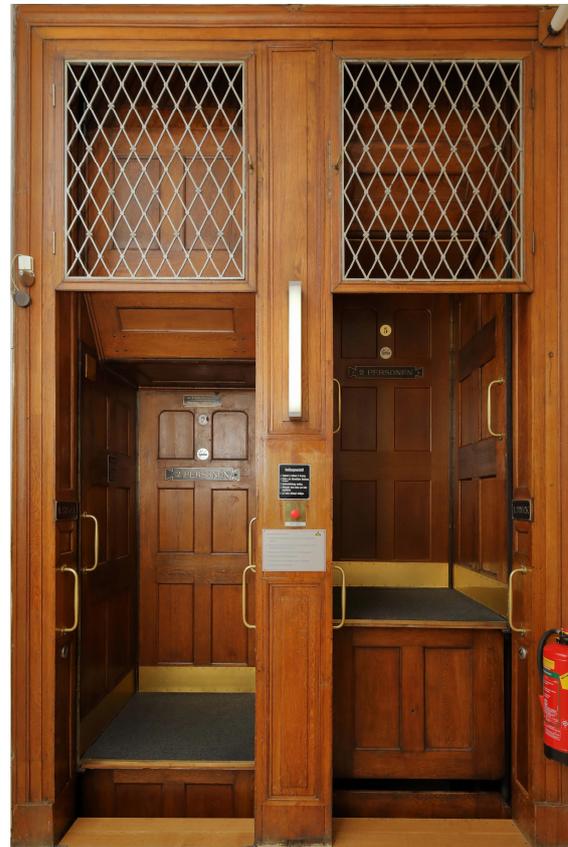


Abb. 2: Paternoster in Wien
(Foto: Bwag, [CC-BY-SA-4.0](#))

Nachteilig sind die längeren Wechselzeiten zwischen weiter entfernten Ausstiegen. Ein Einbau in moderne Hochhäuser scheidet daher aus. Das Betreten und Verlassen der Kabinen während der Fahrt ist nicht für jeden Benutzer gleich gut möglich, die Unfallgefahr ist größer. Für behinderte Personen besteht Sturzgefahr, insbesondere ist eine Nutzung durch Rollstuhlfahrer nahezu unmöglich. Aber auch den durchschnittlichen, unachtsamen Menschen trifft es häufiger. Ein Lastentransport ist verboten. Es gab auch tödliche Unfälle dadurch, dass jemand unbedingt noch an einer Etage aussteigen wollte und dann eingeklemmt wurde. Das Aussteigen ist tunlichst zu vermeiden, wenn die Kabine die Etage schon deutlich passiert hat; im Zweifel fährt man eine Etage weiter

und dann wieder zurück. Um ein Einklemmen zu verhindern, haben manche Aufzüge und ihre Einstiege nach oben öffnende Klappen.

Auch die Energiebilanz fällt meist schlecht aus: Ein herkömmlicher Aufzug fährt nur, wenn er gebraucht wird, eine Paternosteranlage ist immer in Betrieb. Außerdem verursacht die Paternostermechanik mit ihren Treibketten höhere Reibungsverluste, was in der Regel auch eine stärkere Geräuschentwicklung im Verhältnis zu gewöhnlichen Aufzügen mit sich bringt.

Ein weiterer Nachteil ist die gegenüber herkömmlichen Aufzügen verminderte Brandschutzsicherheit, da sich im Falle eines Brandes das Feuer einfach über mehrere Stockwerke eines Hauses ausbreiten kann. Dies ist bei normalen Aufzügen wegen der oftmals als Brandschutztüren fungierenden Einstiegstüren nicht so leicht möglich. Daher sind diese Anlagen zumindest im deutschsprachigen Raum nicht mehr bzw. nur noch für eine Übergangszeit zugelassen. Häufig finden sich Paternoster vor allem dort, wo der Benutzerkreis gleich bleibt, etwa in Behörden ohne Publikumsverkehr, so dass man voraussetzen kann, dass die Benutzer eine gewisse Übung im Umgang mit der Anlage haben. Oftmals erfolgt ein Umbau in langsamere, konventionelle Aufzugsanlagen.

fischertechnik-Modell

Für eine Konstruktion mit Fischertechnik liegt die Verwendung der Drehkränze für die Kettenführung und die Umsetzung der Kabinen am oberen und unteren Ende nahe. Damit liegt zugleich die Breite des Gesamtmodells fest (Abb. 3). Die Kabinen müssen etwas schmaler als die Umlenkrollen konstruiert werden, damit die Kabinen nicht kollidieren. Als Antrieb sollte wegen des hohen Reibungswiderstands ein möglichst starker Motor gewählt werden; in meinem Modell habe ich einen Powermotor 1:50 (rot; [104574](#)) eingesetzt.

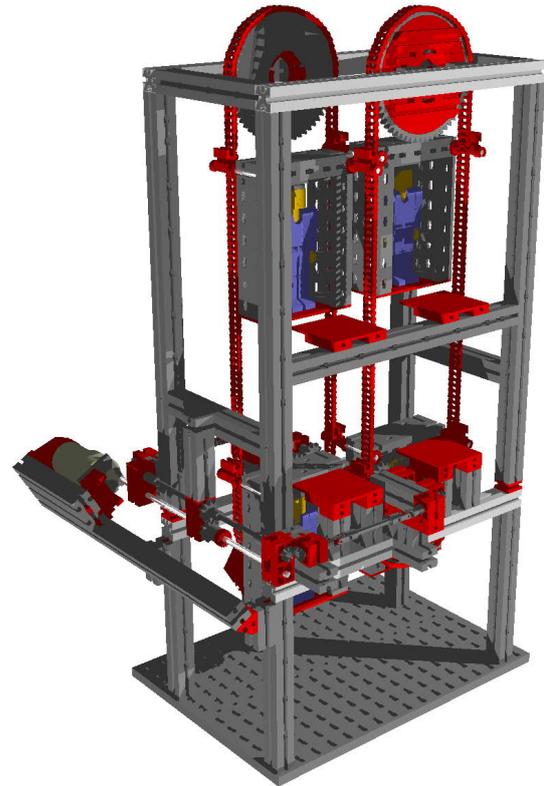


Abb. 3: fischertechnik-Paternoster

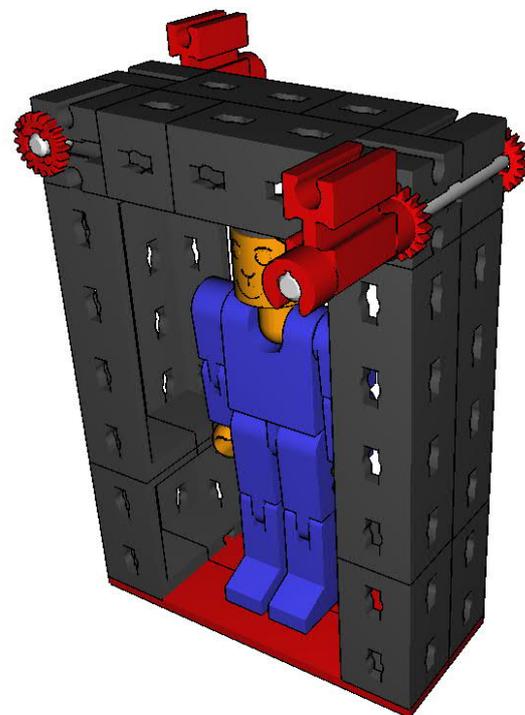


Abb. 4: Kabine

Das Modell passt perfekt auf eine Experimentierplatte 500 ([32985](#)), und die Kabinen haben exakt die richtige Größe für unsere fischertechnik-Figuren (Abb. 4).

Bei der Konstruktion muss sehr genau gearbeitet werden. Die präzise Justierung der beiden Kettenführungen ist entscheidend für den ruckelfreien Antrieb des Aufzugs (Abb. 5).

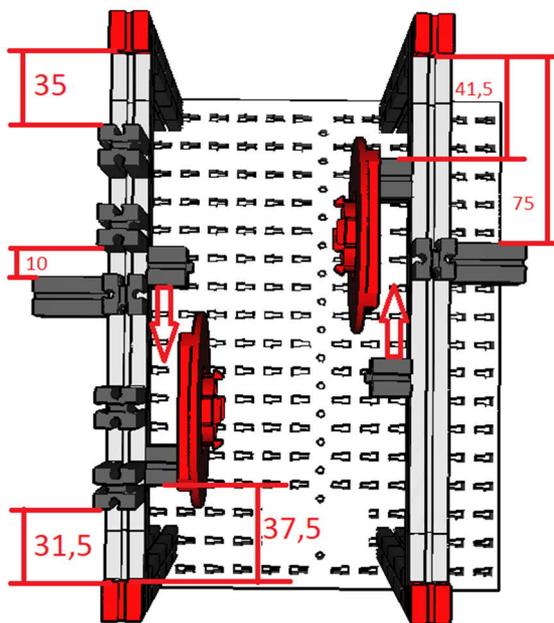


Abb. 5: Genaue Positionierung der Kettenführungen

Zwei Sonder-Bauteile habe ich in meinem Paternoster-Modell verwendet:

- vier 240er Alus (Makerbeam), erhältlich bei [fischerfriendsman](#)
- eine Spezialnabe von TST (Andreas Tacke), verbaut zwischen Power-Motor und Achse, ebenfalls erhältlich bei [fischerfriendsman](#)

Ein kleines [Video des Modells](#) zeigt die Funktionsweise – und die einem echten Paternoster vergleichbare Geräusentwicklung im Betrieb...

Bauanleitung

Für den Nachbau habe ich eine Bauanleitung erstellt, die die wesentlichen Konstruktionsschritte erläutert. Eine Schritt-für-Schritt-Anleitung in 15 Bauabschnitten bietet die fischertechnik-Designer-Datei, die zusammen mit einer Bauteilliste und der Bauanleitung als Anlage zu dieser Ausgabe von der ft:pedia-Webseite heruntergeladen werden kann [3].

Quellen

- [1] Wikipedia: [Paternosteraufzug](#).
- [2] Die Maus: [Paternoster](#). Lach- und Sachgeschichten. WDR (Video).
- [3] ft:pedia: [ft:pedia-Webseite](#).

Modell

Strandbeester

Benjamin Klingebiel

Strandbeester sind vom niederländischen Künstler Theo Jansen entwickelte Laufmaschinen, die sich, vom Wind angetrieben, fortbewegen. In diesem Beitrag erkläre ich die zu Grunde liegende Beinmechanik und stelle zwei verschiedene Varianten zum Nachbau aus fischertechnik-Teilen vor.

Einleitung

Seit 1990 lassen sich bevorzugt an niederländischen Stränden teils riesige skelett-artige Gebilde beobachten, die sich angetrieben von Segeln oder Windrädern mittels einer Vielzahl von mechanischen Beinen fortbewegen (Abb. 1). Entwickelt werden diese kinetischen Kunstwerke vom niederländischen Künstler Theo Jansen. Er sieht seine Arbeit als evolutionären Prozess, bei dem er seine Wesen stetig weiterentwickelt, damit sie sich irgendwann am Strand unter wechselnden Umgebungsbedingungen (Fluten, Stürme und Flauten) eigenständig bewegen

können. Seine neueren Modelle verwenden u. a. Druckluftspeicher, um Windenergie zu speichern und sich so bei Flauten fortzubewegen und können sich selbst bei Sturm im Sand verankern. Über einfache Sensoren nehmen sie ihre Umgebung wahr und können z. B. ihre Richtung ändern, sobald sie ins Wasser laufen [2]. Zum Bau der Konstruktionen verwendet er fast ausschließlich Kunststoffrohre aus PVC, die sonst für Elektroinstallationen verwendet werden. Diese bringt er unter Zuhilfenahme von Heißluftföhn und vielen Kabelbindern in Form.



Abb. 1: Strandbeest Plaudens Vela (Höhe 2 m), gebaut von Theo Jansen ©, 2017, Screenshot aus youtube-Video reproduziert mit freundlicher Genehmigung des Künstlers [1].

Inzwischen haben seine Werke große Aufmerksamkeit erregt und sind in zahlreichen Medien und Dokumentationen gezeigt worden (bis zu den Simpsons [3]). Genauso hat die Faszination für die Strandbeester viele Hobbykünstler zu Nachbauten und Miniaturmodellen inspiriert. Bei einem Vortrag im Rahmen der TED-Talks hat Theo Jansen dies als „Fortpflanzungsmethode“ der Strandbeester bezeichnet, die durch unsere Nachbauten in immer neuen Varianten geboren werden [4]. Es ist also an der Zeit, dass ein Strandbeest auch aus fischertechnik-Teilen entsteht.

Die Beinmechanik

Das gemeinsame Merkmal vieler Generationen von Strandbeestern ist die einzigartige Beinmechanik, die von Theo Jansen entwickelt wurde. Diese dient dazu Bewegungsenergie aus einer rotierenden Welle (angetrieben durch ein Windrad, Druckluft oder die Flatterbewegung eines Segels) in eine gleichmäßige Vorwärtsbewegung der Füße umzuwandeln.

Die Beinmechanik in den Original-Proportionen ist in Abb. 2a abgebildet. Diese besteht aus einem System von acht beweglich miteinander verbundenen Gliedern, welches über zwei weitere Glieder mit einer Kurbel verbunden ist. Das Gelenksystem ist an zwei Fixpunkten (blau markiert) aufgehängt. Der rechte Teil ist ein System von zwei Kurbelschwingen (fett gezeichnet), welches sich entlang von Kreisbögen bewegt (K_1 und K_2 grau gepunktet).

Durch die Kopplung über zwei zusätzliche Gelenke G_1 und G_2 führt nun eine gleichmäßige Kreisbewegung der Kurbel (oberer grüner Punkt) zu einer komplexen abgeflachten Bewegungskurve des „Fußes“ (unterer grüner Punkt).

Das Besondere der Konstruktion ist, dass sich der Fuß über eine längere Strecke horizontal und mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegt. Umgekehrt kann dies zur Vorwärtsbewegung der ganzen Konstruktion parallel zum Erdboden verwendet werden.

Entscheidend für die optimale Form der Bewegungskurve ist das Längenverhältnis der zehn Glieder zueinander und zur Länge der Kurbel, sowie die Positionen der Kurbel und des zweiten Fixpunkts (blaue Punkte).

Die Abhängigkeit der Form der Bewegungskurve von den Längenverhältnissen der Glieder ist mathematisch nicht trivial. Aus diesem Grund hat Theo Jansen die Längenverhältnisse nicht berechnet, sondern durch einen evolutionären Algorithmus optimiert, bei dem ein Simulationsprogramm ausgehend von willkürlich gewählten Längenverhältnissen zufällige Änderungen vornahm und dann die Bewegungskurve analysierte. Vorteilhaft Änderungen wurden dann in der nächsten Generation weiterverwendet.

Dieses Optimierungsverfahren resultierte in den in Abb. 2a dargestellten Längenverhältnissen, die von Theo Jansen als elf „heilige“ Zahlen bezeichnet werden. (Die Kurbellänge skaliert dabei das gesamte System und die Position der zwei blauen Fixpunkte wird nur durch ihre Distanz ausgedrückt.)

Diese Beinmechanik wird von ihm seitdem zum Bau der Strandbeester verwendet. Ein wesentlicher Vorteil ist, dass diese Mechanik auf glattem Untergrund zu einer energieeffizienten Fortbewegung verwendet werden kann, weil der Körper der Strandbeester beim Gang keine Auf- und Ab-Bewegung durchführt (wie es bei Zweibeinern der Fall ist).

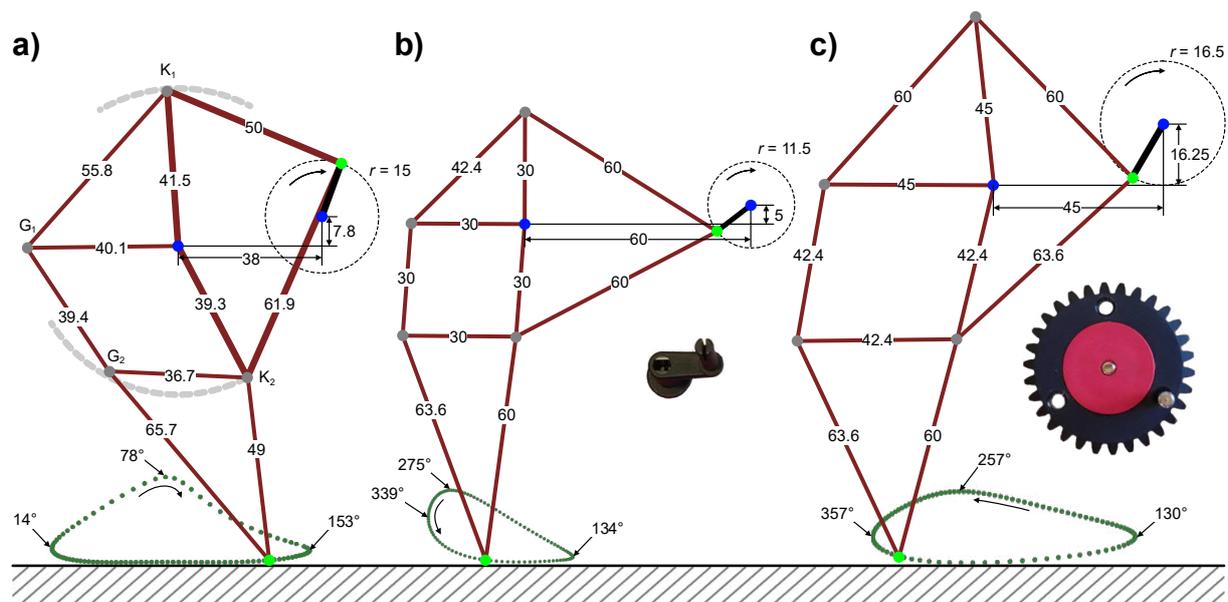


Abb. 2: Geometrie der von Theo Jansen entwickelten Beinmechanik und resultierende Bewegungskurven der Füße bei Kreisbewegung der Kurbeln (grüne Punkte). a) Optimierte Proportionen des Original-Strandbeests. b) Realisierung mit fischertechnik Statik-Streben und Rastkurbel. c) Realisierung mit Zahnrad Z30. Simulationen mit Geogebra [2].

Nachbau mit fischertechnik

Für den Nachbau der Beine mit fischertechnik bieten sich Statikstreben aufgrund ihres geringen Gewichts an. Zur Bewegung der Streben wurden zunächst Rastkurbeln ([35071](#) u. [35088](#)) verwendet (Version 1). In einem weiteren Nachbau (Version 2) wurden stattdessen Zahnräder Z30 ([36264](#)) mit daran befestigten Achsen als Kurbeln verwendet. Aufgrund der unterschiedlichen Kurbelradien (11,5 mm für die Rastkurbeln, bzw. 16,5 mm für die Zahnräder) ergeben sich unterschiedliche Dimensionen der Beine: Hierzu wurden die Originalproportionen aus Abb. 2a mit den jeweiligen Kurbelradien skaliert und die resultierenden krummen Maße der Beinsegmente durch die verfügbaren Längen der fischertechnikstreben soweit wie möglich angenähert.

Da die Proportionen der Beine nun nicht mehr der von Theo Jansen optimierten Geometrie entsprechen, ergeben sich abweichende Bewegungskurven, die mit Hilfe von Geogebra [2] simuliert wurden und in Abb. 2b und c dargestellt sind. Mit Hilfe der Software wurde nun die Geometrie durch

Variation der Strebenlängen soweit wie möglich optimiert, sodass sich eine unten möglichst flache Bewegungskurve ergibt.

Etwas mehr Spielraum als es die Strebenlängen ermöglichen erlaubte die Verschiebung der Achsen (blaue Punkte in Abb. 2) durch Einbau unterschiedlicher Bausteine an den Lagern von Kurbel und Achse. Hierdurch konnte zumindest die Bewegungskurve soweit rotiert werden, dass sich die Füße möglichst parallel zum Boden bewegen.

Aufgrund des zu erwartenden Gelenkspiels der Konstruktion und der unvermeidlichen Verbiegung der Streben unter Belastung, wurde zudem darauf geachtet, dass die Amplitude der Bewegungskurve nicht zu gering ist. Dadurch sollte vermieden werden, dass die Füße insbesondere im rechten Umkehrpunkt über den Boden schleifen. Um dies zu erreichen, wurde bei der Konstruktion in Abb. 2c die Kurbelachse etwas mehr angehoben, als es anhand der Bewegungskurve nötig erscheint. Dies zeigt, dass Simulationen immer auch durch Experimente ergänzt werden sollten.

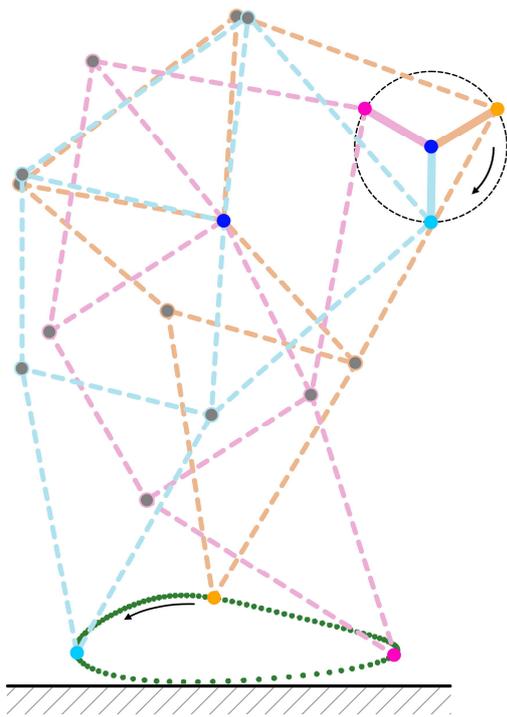


Abb. 3: Beinstellung bei Veränderung der Kurbelstellung in 120°-Schritten für die Geometrie aus Abb. 2 c. Simulation mit Geogebra. [2]

In Abb. 3 ist die Stellung eines Beins aus Abb. 2c in Abhängigkeit vom Winkel der Kurbel in 120° Schritten abgebildet. Aus der Position des hellblauen und des pinken Punkts ist ersichtlich, dass der Fuß sich bei einem Winkelabschnitt der Kurbel $< 120^\circ$ im unteren Bereich der Bewegungskurve befindet. Damit mindestens immer ein Fuß gerade eben noch den Boden berührt, müssen also drei Beine mit einem Winkelversatz von 120° kombiniert werden. Da das Gewicht der Konstruktion aber auf möglichst viele Beine verteilt werden sollte, damit diese nicht abknicken, sollte das fischertechnik-Strandbeest möglichst mehr als drei Beine auf jeder Seite besitzen und der Kurbelversatz sollte geringer gewählt werden (z. B. $4 \cdot 90^\circ$ oder $6 \cdot 60^\circ$). Zum Vergleich ist bei der Originalgeometrie aus Abb. 2a der Winkelabschnitt, in dem der Fuß im horizontalen Bereich ist, größer als 200°. Daher benötigt das Original-Strandbeest weniger Beine, bzw. das Gewicht verteilt sich immer gleichzeitig auf mehr Füße.

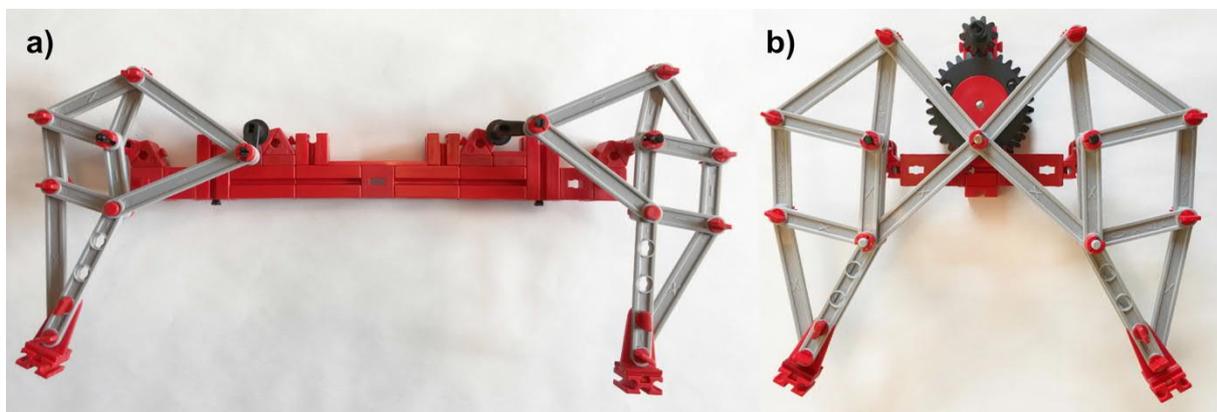


Abb. 4: Aufbau eines Beinpaars basierend auf der Geometrie aus Abb. 2b (a) und Abb. 2c (b).

Abb. 4 zeigt den Aufbau je eines Beinpaars für die fischertechnik-Strandbeester-Version 1 (a) und 2 (b) basierend auf den optimierten Geometrien aus Abb. 2. Für Version 1 mit den Rastkurbeln wurde eine breite Konstruktion mit je einer Kurbelwelle für die Beine auf der linken und rechten Seite verwendet. Dadurch steht in der Mitte genügend Platz für den Antrieb zur

Verfügung. Version 2 mit den Zahnrädern Z30 als Kurbeln verwendet eine gemeinsame Kurbelwelle für alle Beine. Diese Konstruktion ist näher an dem Vorbild von Theo Jansen. Nachteil ist, dass der Antrieb nun über der Kurbelwelle Platz finden muss. Dadurch ist der Schwerpunkt höher und die ganze Konstruktion etwas wackeliger. Für die Beine aus Statikstreben wurden

S-Riegel 8 ([36457](#)) mit Riegelscheiben für alle Gelenke an denen drei Streben verbunden sind, verwendet. Für den Verbindungspunkt der vier Streben wurde in Version 1 ein V-Bolzen ([31690](#)) + Klemmbuchse verwendet. Wenn mehr Teile zur Verfügung stehen, können die Statikstreben, die sich an diesem Punkt treffen, auch doppelt ausgeführt werden, um die Stabilität zu erhöhen. Dann muss stattdessen hier eine Achse 30 mit Klemmbuchsen verwendet werden.

Dies erfolgte bei Version 2 (Abb. 4b). Es empfiehlt sich alle beweglichen Verbindungen zu schmieren (z. B. mit Silikonöl), da sich die Reibungsverluste bei vielen angetriebenen Beinen addieren. Die Füße sind schließlich aus je einem dreifachen Kuppelungsstück ([38260](#)) und Baustein 7,5 gebaut. Federnocken verhindern, dass die Kuppelungsstücke aus den Bausteinen rutschen.



Abb. 5: fischertechnik-Strandbeest (Version 1) mit acht Beinpaaren (Aufbau Abb. 4 a), angetrieben von drei S-Motoren.

Abb. 5 zeigt den kompletten Aufbau eines Strandbeests Version 1 mit acht Beinpaaren. Details des Kurbelantriebs sind in Abb. 6 ersichtlich. Je eine doppelte Kurbel aus [35071](#) u. [35088](#) wird durch eine Rastschnecke mit Zapfen ([35977](#)) angetrieben (gelagert in Winkelsteinen 15°). Eine unvermeidliche Schwachstelle sind die sehr kurzen Kurbelachsen, die sich inklusive der Gelenkwürfelklaue unter Belastung leicht

verbiegen. Aus diesem Grund ist die Gelenkwürfelklaue durch eine Bauplatte $15 \cdot 15$ (in Abb. 6 darunter erkennbar) leicht eingeklemmt. Weitere Bauplatten $15 \cdot 45$ (Abb. 4a in der Mitte) verhindern, dass die gesamte Lagerung der Antriebswelle sich verschiebt. Für die lange unbewegliche Achse der Beinlagerung wird in dieser Konstruktion eine gestückelte Rastachse als Kompromiss aus Gewicht und

Stabilität verwendet. Insbesondere wenn stärkere Motoren eingesetzt werden (s. u.) kann an dieser Stelle aber auch durch Einsatz einer langen Metallachse die Steifigkeit der gesamten Konstruktionen erhöht werden.

Zum Aufbau ist noch zu erwähnen, dass alle Beine exakt identisch und so aufgebaut werden sollten, dass die Streben gerade bezüglich der Laufrichtung stehen, damit das Bein auch unter Belastung möglichst senkrecht steht und nicht seitlich wegknickt. Um dies zu erreichen wurden unterschiedliche Klemmbuchsen und Distanzringe verwendet (Abb. 6).

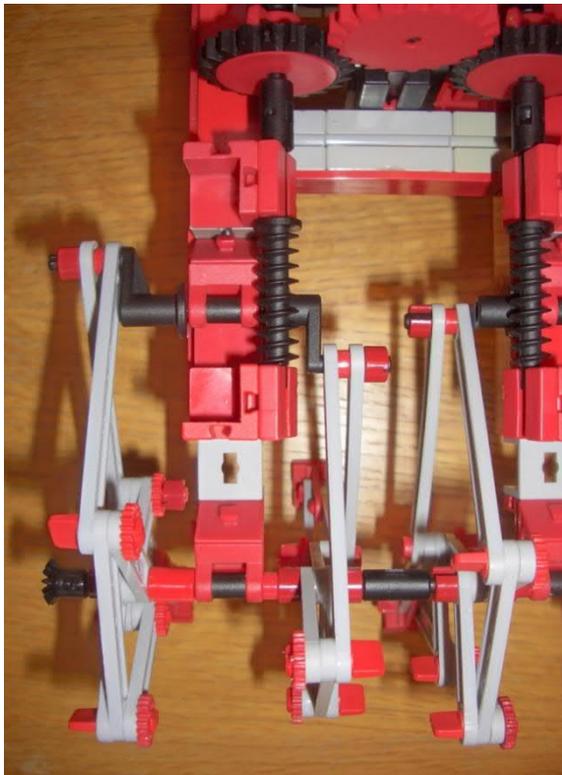


Abb. 6: Detail des Kurbelantriebs des Strandbeests aus Abb. 5.

Zum Antrieb wurden in Version 1 drei über Zahnräder synchronisierte S-Motoren verwendet (als Kompromiss zwischen Gewicht und Leistung). Details der Motorisierung zeigt Abb. 7. Vor Einbau der roten Zahnräder an den Motoren wurde die Kurbel eingestellt. Wie oben erklärt wurde jede Achse jeweils um 90° verdreht. (Beim Nachbau beachten, dass die Motoraufhängung um die

Dicke einer Bauplatte 15 · 45 nach oben in Abb. 7 versetzt ist, damit die schwarzen Zahnräder Z20 nicht an den Motorblöcken schleifen.) Damit läuft das Strandbeest auf glattem Boden sehr gut (Video [6]). Alternativ bietet die Konstruktion aber auch genügend Platz für den Antrieb durch einen (schwereren) XM- oder Traktormotor (Video [7]).



Abb. 7: Detail der Motorisierung des Strandbeests aus Abb. 5.



Abb. 8: fischertechnik-Strandbeest (Version 2) mit acht Beinpaaren (Aufbau Abb. 4 b), angetrieben von zwei S-Motoren.

Version 2 des fischertechnik-Strandbeests wurde mit Zahnrädern Z30 als Kurbeln aufgebaut. Abb. 8 zeigt den kompletten Aufbau mit acht Beinpaaren aus Abb. 4b. Der offensichtliche Vorteil dieser Konstruktion ist, dass der Rahmen leichter ist und viel weniger Teile benötigt werden.

Abb. 9 zeigt eines der vier Kurbellager. Auch bei Version 2 tendieren die Kurbelachsen inkl. Lager dazu sich unter Belastung zu verbiegen. Deswegen sollte der Lagerbaustein 15 möglichst stabil umbaut werden.

Alternativ kann auch eine Schneckenmutter (35973) mit Kugellager zur Verringerung der Reibung verwendet werden. Sinnvoll ist außerdem die Verwendung einer Metallachse 40, die leider nur im Zubehörhandel erhältlich ist [8].

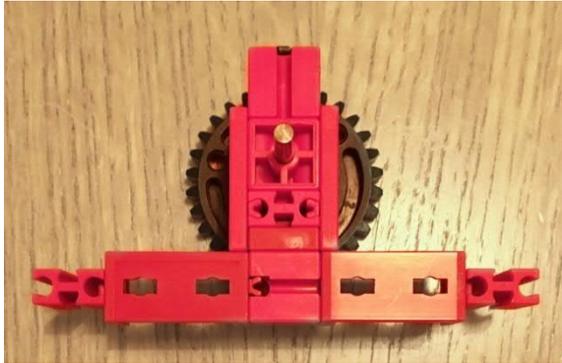


Abb. 9: Detail des Kurbellagers des Strandbeests aus Abb. 8.

Für das Grundgestell werden vier dieser Lager zusammengefügt (Abb. 10). Als eigentliche Kurbeln dienen Metallachsen 30.



Abb. 10: Grundgestell des Strandbeests aus Abb. 8.

Auch bei dieser Konstruktion tragen die fixen Achsen wesentlich zur Gesamtstabilität bei. Die Beine werden durch Klemmbuchsen und Distanzhülsen fixiert (Abb. 11). Der Winkelversatz wurde bei Version 2 so eingestellt, dass jedes Zahnrad um 60° weitergedreht wird. Dadurch ergibt sich ein möglichst gleichmäßiger Geradeauslauf.



Abb. 11: Aufsicht des Strandbeests aus Abb. 8 mit demontiertem Antrieb zur Einstellung der Kurbeln.

Zum synchronen Antrieb aller acht Zahnräder Z30 wurde eine gestückelte Rastachse mit Rastritzeln Z10 verwendet (Abb. 8). Der Antrieb erfolgt über zwei S-Motoren mit Schneckenantrieb über Z20, die gerade ausreichend Kraft liefern. Aufgrund des hohen Schwerpunkts waren Versuche mit einem leistungsstärkeren XM-Motor leider nicht erfolgreich. Der Vorteil der kleinen

Standfläche ist allerdings, dass das Strandbeest Version 2 mit den zwei S-Motoren im Prinzip lenkbar ist. Dafür werden einfach die mittlere Rastachse unter dem Akku in Abb. 8 entfernt und die Motoren über einen IR- oder Bluetooth-Empfänger angesteuert. (Da jede Antriebseinheit nur noch aus vier Beinpaaren besteht, sollte der Winkelversatz der Z30 dabei auf 90° eingestellt werden.)

Dann lässt sich das Strandbeest (auf Kosten eines gleichmäßigen Geradeauslaufs) über die Fernbedienung lenken. Insbesondere die Drehung auf der Stelle (bei voller Leistung beider Motoren in entgegengesetzter Richtung) funktioniert auf glatter Fläche hervorragend (Video [9]).

In diesem Beitrag habe ich die Beinmechanik der von Theo Jansen entwickelten Laufmaschinen vorgestellt und gezeigt, wie sich die Bewegung mit Hilfe von Geometriesoftware wie Geogebra [5] optimieren lässt. Anschließend wurden zwei verschiedene motorisierte Strandbeester aus fischertechnik nachgebaut, die auf ebener Fläche laufen und einen Eindruck von der Faszination der großen Vorbilder geben.

Wie bei den großen Exemplaren des Künstlers durchlaufen auch die Modelle eine ständige Weiterentwicklung. So ist es möglich, dass sich auch unter ausschließlicher Verwendung von fischertechnik-Teilen noch bessere Ergebnisse erzielen lassen, z. B. durch Ersatz der biegsamen Statikstreben durch andere Bauteile. Zuletzt ist die hier verwendete Beinmechanik auch nur eine

Variante von vielen Möglichkeiten, eine Fortbewegung nach biomechanischem Vorbild zu erzielen.

Quellen

- [1] Screenshot: [Strandbeest Plaudens Vela](#), Theo Jansen.
- [2] Website: [Theo Jansens Explains](#).
- [3] Die Simpsons: [S28, E10](#).
- [4] Teo Jansen: [Vortrag TEDx Delft](#), 06.11.2011.
- [5] [Geogebra Geometrie-Simulator](#)
- [6] Video: [Strandbeest Version 1](#).
- [7] Video: [Strandbeest Version 1, mit Powermotor](#).
- [8] Bezugsquelle für [Metallachsen und Kugellager](#).
- [9] Video: [Strandbeest Version 2](#).
- [10] Ralf Geerken: [Die Geradföhrung einer Viergelenkkette im Einsatz bei einer kleinen Laufmaschine](#). ft:pedia 4/2012, S. 4-10.

Optik

Ein Michelson-Interferometer mit fischertechnik

Florian Bauer

Mit der Verfügbarkeit von Halbleiterlasern ist es inzwischen möglich, interessante Experimente zu optischen Messungen und Interferenz zu Hause mit geringem Kostenaufwand aufzubauen.

Michelson-Interferometer

Aus dem Physikunterricht in der Schule kennt man beispielsweise das *Michelson-Interferometer*, eines der Schlüsselexperimente der modernen Physik im Bereich Interferenz [1]. Damit kann die Wellennatur des Lichtes gut demonstriert werden.

Der schematische Aufbau dieses Experiments ist in Abb. 1 dargestellt.

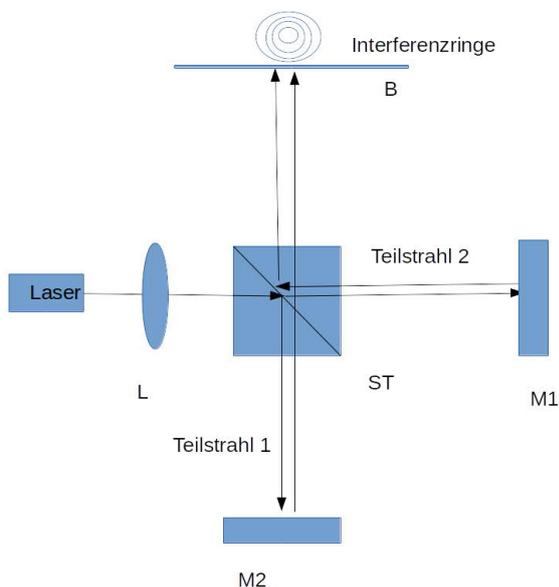


Abb. 1: Schematischer Aufbau des Interferenz-Experiments

Der Lichtstrahl eines Lasers wird in einem Strahlteiler (ST) in zwei Teilstrahlen mit ca. 50% Intensität aufgeteilt und durchläuft das Experiment in zwei unterschiedlichen Wegen, den sogenannten *Interferometerarmen*. Der Strahlteiler kann ein Strahlteilerwürfel

sein oder eine Glasplatte mit einer dielektrischen Beschichtung. Im Falle einer Glasplatte wird oft eine Kompensationsplatte mit gleicher Dicke wie die Strahlteilerplatte verwendet, um unterschiedliche Wege im Glas zu kompensieren.

Ein Strahl wird um 90 Grad abgelenkt und trifft auf Spiegel M2, von wo er durch den Strahlteiler zurückgeworfen wird, um auf dem Beobachtungsschirm B aufzutreffen. Der zweite Strahl geht geradewegs zu Spiegel M1, wird von dort ebenfalls zurückgeworfen und wird beim Rücklauf am Strahlteiler um 90 Grad auf den Beobachtungsschirm B abgelenkt.

Wenn sich beide Teilstrahlen auf dem Beobachtungsschirm treffen, kann unter bestimmten Bedingungen Interferenz auftreten. Dies ist der Fall, wenn die Lichtstrahlen exakt gleiche optische Weglängen oder ein Vielfaches der Wellenlänge des Lichtes durchlaufen. Dann können die Lichtwellen der beiden Teilstrahlen konstruktiv miteinander interferieren. Die Amplituden („Wellenberge“) der elektromagnetischen Lichtwelle addieren sich dann – es kommt dann zu einem Intensitätsmaximum. Wenn einer der Lichtstrahlen einen um die halbe Wellenlänge (plus ganzzahlig Vielfaches der Wellenlänge) des Lichtes kürzeren oder längeren Weg zurücklegt, treffen Wellenberg und Wellental der elektromagnetischen Lichtwelle aufeinander und die Über-

lagerung führt zu einem Intensitätsminimum. Man spricht dann von *destruktiver Interferenz*.

Im praktischen Experiment kann man vor dem Strahlteiler eine Sammellinse L installieren, die den Strahl aufweitet und dann auf dem Beobachtungsschirm ein Ringmuster entstehen lässt. Dieses Muster entsteht aus Interferenzen gleicher Neigung und wird *Haidingersches Ringsystem* genannt.

Es hat sich als sinnvoll erwiesen, die Richtungsüberlagerung der beiden Teilstrahlen nur über M2 fein einzustellen und die Änderung des optischen Weges nur über Verschiebung von M1.

Im Prinzip also ein einfaches Experiment, wenn es da nicht ein paar Herausforderungen geben würde.

Vibrationen

Rotes Licht hat eine Wellenlänge von 600 nm. Wenn sich der Unterschied des optischen Weges der beiden Teilstrahlen – z. B. Aufgrund von Vibrationen des Versuchsaufbaus – nur um 300 μm verändert, ist das Interferenzmuster nicht mehr stabil.

Aus diesem Grund werden Interferenz-Experimente zweckmäßigerweise auf schweren optischen Tischen aufgebaut, die gedämpft gelagert sind. Je schwerer die Halterungen sind, desto unempfindlicher ist der Aufbau gegenüber Schwingungen. Bei dem hier vorgestellten Aufbau mit fischertertechnik wurden Lichtquelle und Interferometer auf zwei Sortierboxen aufgebaut. Ein Herumschrauben an der Lichtquelle hat dann keine Auswirkungen auf die Einstellungen des Interferometers. Darüber hinaus kann man die Boxen mit Sand füllen und auf Schaumstoffmatten lagern um die Schwingungseinflüsse weiter zu verringern. Zudem eignen sich die Nachtstunden für Experimente am besten, da dann die „Vibrationen aus dem Haushalt“ am geringsten sind.

Feinverstellung der Spiegel

Damit die Strahlen überlagern können, müssen sie sehr genau auf wenige mGrad aufeinander ausgerichtet werden. Der Spiegelhalter sollte sehr feinfühlig in zwei Richtungen verstellbar sein. Die Kopplung der beiden Richtungen sollte minimiert werden. Dafür empfiehlt sich eine kardanische oder kinematische Lagerung, bei der die Drehachsen des Verstellmechanismus‘ in der Spiegelebene liegen oder zumindest nahe daran. Denn sonst verändert man bei Verkippung auch die optische Wegdifferenz.

Die Kohärenzlänge

Licht ist nur interferenzfähig innerhalb der sogenannten *Kohärenzlänge*. Wenn der Wegunterschied der beiden Teilstrahlen größer ist als diese Länge können die Lichtstrahlen nicht mehr miteinander interferieren. Natürliches weißes Licht hat eine Kohärenzlänge von ein paar Mikrometern. Will man mit so einem Licht Interferenzen erzeugen, muss man die beiden Interferometerarme in diesem Bereich abgleichen können, was normalerweise teure optische Verstelleinrichtungen erfordert.

In diesem Beitrag werde ich darlegen, wie man so etwas näherungsweise mit fischertertechnik erreichen kann.

Laser sind interessante Lichtquellen, unter anderem weil ihre Kohärenzlängen im Allgemeinen viel größer sind. Mit Frequenzstabilisierung sind durchaus ein paar km möglich. Solche Laser kommen z. B. bei interferometrischen Gravitationswellen-Dektoren zum Einsatz. Herkömmliche Laserdioden aus Laserpointern haben eine Kohärenzlänge von wenigen cm. Eine Abstimmung in diesem Bereich kann man mit sehr einfachen Mitteln erreichen. Mit zwei Taschenspiegeln und einer CD-Hülle als Strahlteiler lässt sich schnell ein Michelson-Interferometer aufbauen.

Steve Schuler hat 2016 ein Interferometer mit Lego gebaut [2], und es gibt sogar ein Buch (von Ricardo Linke) darüber, wie man ein Michelson-Interferometer mit Lego aufbauen kann [3]. Was man mit Lego hinbekommt, sollte man mit fischertechnik prinzipiell auch konstruieren können.

Feinverstellung des optischen Weges

Um den Spiegel M1 zu verschieben braucht man eine sehr feinfühlig einstellbare Linearführung, die bei Verstellung eine sehr geringe Winkelabweichung erzeugt. Dies ist insbesondere für Weißlicht-Interferometrie wichtig, bei der man Lichtquellen mit kleiner Kohärenzlänge einsetzt. LEDs haben z. B. Kohärenzlängen von etwa 18 Mikrometern.

Folgende Nicht-fischertechnik-Bauteile werden benötigt:

- Laser (Laserpointer oder Alignment-Laser aus dem Baumarkt)
- Lochblende (zum Justieren, aus Karton)

- Beobachtungsschirm (Blatt Papier)
- Linse (z. B. aus alter Kamera mit $f = 35 \text{ mm}$)
- Strahlteilerwürfel oder Strahlteilerplatte [4]
- superhelle LED mit Vorwiderstand und Batterie

Der Aufbau hat folgende Komponenten:

1. Lichtquelle auf Sortierbox mit optischer Bank mit Halterungen für Laser, Linse, Blende und LED (Abb. 2). Die schwarze Lochblende kann in die Halterung vor dem Laser gesteckt werden.

2. Interferometer auf Sortierbox mit

- Halterung für Strahlteilerwürfel mit Drehkranz
- Lineare Verstelleinrichtung für M1
- Verstelleinrichtung für M2 für die Strahlorientierung

Der Aufbau des fischertechnik-Interferometers ist in Abb. 3 dargestellt.

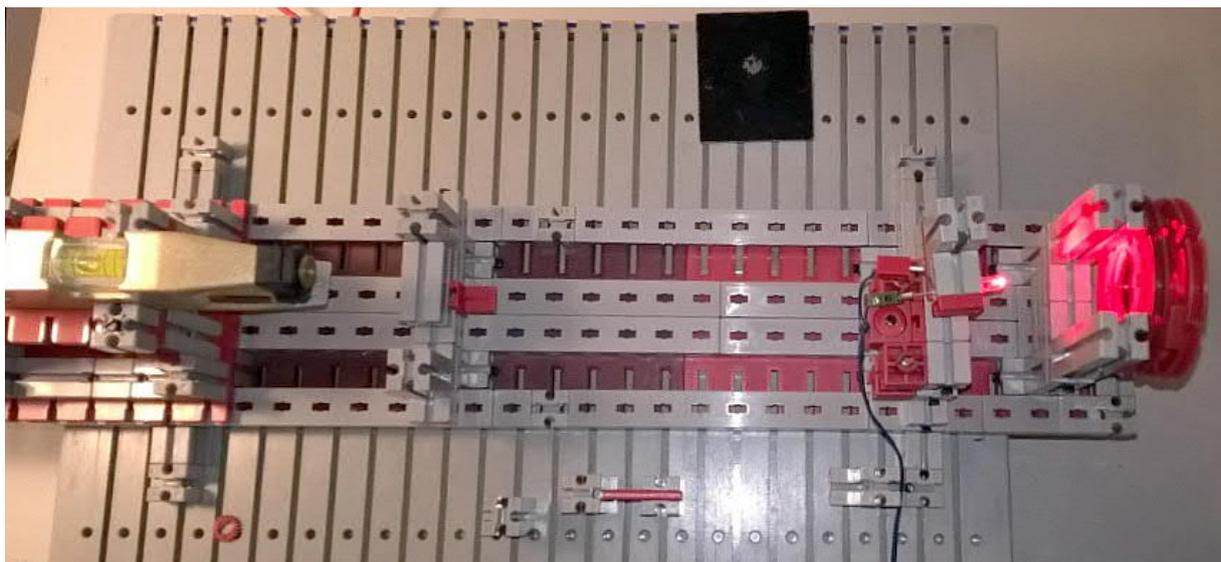


Abb. 2 zeigt die „Kiste“ mit der optischen Bank. Links ist der Baumarkt-Laser zu sehen, rechts die LED vor der Halterung mit der Sammellinse ($f = 35 \text{ mm}$)

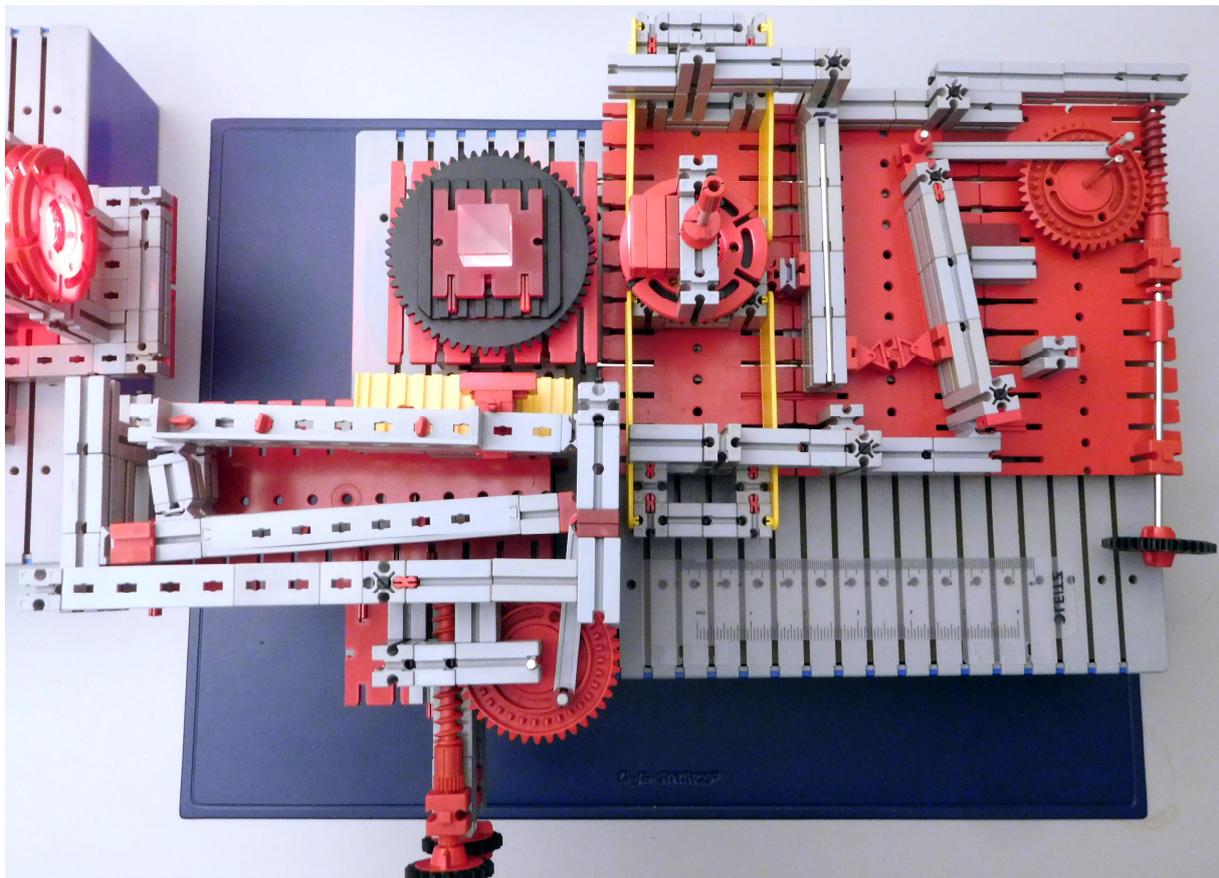


Abb. 3: Links unten: der Verstellmechanismus für M2, links oben: Drehtisch mit Strahlteilerwürfel, rechts: Flexure-Verstellmechanismus für M1

Halterung für Strahlteilerwürfel mit Drehkranz

Der Drehtisch für den Strahlteiler ist sehr einfach aus einem Drehkranz und Grundbausteinen aufgebaut. Der obere Teil des Tisches mit dem Drehkranz ist mit dem unteren über Verbinder 30 befestigt. Eine Verstellung erfolgt durch Verschiebung des oberen Teils des Strahlteilerisches entlang der Verbinder. Damit kann man sowohl die Höhe als auch die Neigung des Tisches in alle Richtungen einstellen. Mit dem Drehkranz kann der Strahlteilerwürfel um die Vertikalachse gedreht werden.

Lineare Verstelleinrichtung für M1

Um es gleich vorweg zu sagen: eine winkeltreue Verstellung über mehrere cm habe ich mit fischertechnik noch nicht hinbekommen. Gleitlagerführungen in Stahlachsen mit Schneckentrieb oder Kette führten bei

mir bei Verstellung zu minimalen Verkippungen, die ein Nachregeln der Strahlausrichtung erforderten. Einen größeren Verstellbereich bräuchte man, wenn man das Interferenzmuster automatisiert auslesen will. Für qualitative Experimente mit Handjustage ist aber ein kleinerer Verstellbereich ausreichend.

Die hier vorgestellte Konstruktion ist eine lineare Flexure-Konstruktion, die über einen zweistufigen Hebel und eine Schnecke angetrieben wird. Die Flexure-Konstruktion besteht aus vier flexiblen Platten, die bei Verschiebung theoretisch keine Winkelabweichung erzeugt. Da bei fischertechnik alles irgendwie flexibel ist stimmt das nicht ganz. Aber das Ergebnis ist brauchbar.

Als Lager für den Hebelmechanismus kommen jeweils zwei übereinander montierte Statik-Kipplager zum Einsatz. Man beachte, dass die Ankopplung des Hebels an

die Flexure-Konstruktion nur über eine Gleitfläche erfolgt. Es kommt hier kein Verbinder zur Anwendung, denn bei der Verstellung des Hebels kommt es zu einer zwar kleinen, aber bemerkbaren Verschiebung des Koppel-Lagers, was bei einer starren Verbindung ein Drehmoment auf die Flexure-Konstruktion erzeugen würde.

Mit dieser Konstruktion lassen sich sehr feinfühlig winkeltreue Verschiebungen über eine Länge von ca. 2 mm realisieren. Die Spiegelhalterung von M1 ist unkritisch, da die Feinverstellung der Ausrichtung mit M2 erfolgt.

Die Konstruktion hat den Vorteil, dass man sie über „Autokollimation“ eines Lasers in gewissem Rahmen auf Winkeltreue „tunen“ kann. Hierzu beobachtet man, wie der durch eine Lochblende geleitete reflektierte Strahl bei Verschiebung „wandert“ und justiert die Positionen der Übertragungslager durch Verschiebung so, dass der Strahl nicht mehr ausweicht.

Dies sollte man auf jeden Fall machen, bevor man die Konstruktion im Interferometer verwendet.

Die eingesetzte Hebelübersetzung beträgt 112:7800 (Schnecke: 4:60, Hebel 1: 4:13, Hebel 2: 7:10). Eine ganze Umdrehung der Schnecke erzeugt eine Verschiebung von ca. 70 μm . Für die Grobeinstellung ist die Konstruktion auf zwei mit Metallachsen verstärkten Leisten aus normalen fischer-technik-Grundbausteinen verschiebbar.

Verstelleinrichtung für M2 für die Strahlorientierung

Die Verstelleinrichtung für Winkel von M2 wurde analog zur linearen Verstellung mit jeweils einer Sacke, einem 40er Zahnrad und zwei Hebeln realisiert (Übersetzungsverhältnis 24:14280; Schnecke: 1:15, Hebel 1: 3:14, Hebel 2: 2:17).

Der obere Hebel drückt auf die Achse, um den Spiegel nach vorne zu kippen (eine zu-

sätzliche Übersetzung). Die Grobjustage erfolgt durch Verschieben des Statik-Kipp-Lagers auf der gelben Bauplatte. Die Grobeinstellung macht man durch Verschiebung der Statik-Kipp-Lager in der 3er-Reihe Grundbausteine auf der rechten Seite, die Feinjustage gelingt mit den Schnecken.



Abb. 4 zeigt die Verstelleinheit von vorne. Man erkennt zwei Verstellebenen: die untere für die horizontale Ausrichtung, die obere für die vertikale

Das untere Hebel-Set erzeugt die horizontale Verkippung, das obere Hebel-Set die vertikale. Grundsätzlich hat die Konstruktion leider etwas Spiel (Backlash) und die Entkopplung der beiden Achsen ist nicht optimal. Eine horizontale Verstellung erfordert meist eine kleine Nachjustage der vertikalen Richtung.



Abb. 5 zeigt die Verstelleinheit von hinten

Justage des Interferometers

Schritt 0: Ausrichtung des Lasers

Der Laser wird parallel zur optischen Bank ausgerichtet. Die Höhe des Laserstrahls muss nun so eingestellt werden, dass dieser den Spiegel M1 in der Höhe mittig trifft.

Schritt 1: Ausrichtung der optischen Achse des Lasers

Die Orientierung des Interferometers relativ zum Laser wird so eingestellt, dass dieser durch die Mitte der Drehachse des Drehkranzes geht und den Spiegel M1 mittig trifft.

Schritt 2: Ausrichtung von Spiegel M1

Vor den Laser wird eine Lochblende gestellt. Spiegel M1 muss so eingestellt werden, dass der reflektierte Strahl wieder durch die Lochblende zurückgeworfen wird.

Schritt 3: Ausrichtung Strahlteiler

Der Strahlteiler wird mittig auf den Drehkranz gelegt und so gedreht und gekippt, dass der Reflex von der Frontseite des Würfels wieder auf die Lochblende zurückgeworfen wird.

Schritt 4: Ausrichtung von Spiegel M2

M2 wird so eingestellt, dass der Strahl wieder zur Blende zurückgeworfen wird. Der Strahlteilerwürfel muss ggf. in der anderen Richtung noch verkippt werden, bis die Satellitenreflexe (Hinweis auf falsche Verkipfung) aller Flächen zusammen fallen.

Auf dem Beobachtungsschirm stellt man M2 nun so ein, dass die beiden Teilstrahlen überlagern. Die grobe Einstellung erfolgt über Verschiebung der Statik-Kipp-Lager, die Feineinstellung über die Schnecken.

Nun wird die Linse im Strahlengang platziert und es sollte das Ringsystem oder zumindest ein Teil davon auf dem Beobachtungsschirm zu sehen sein. Mit den Verstell-Schnecken wird das Ringsystem so eingestellt, dass es mittig ist.

Schritt 5: Ausrichtung von Spiegel M1 auf Weißlichtposition

Die Linearverstellung von M1 kann grob auf der Unterkonstruktion verschoben werden. Man sollte diese mit einem Lineal so einstellen, dass beide Spiegel den gleichen Abstand vom Strahlteiler haben. Man kann nun an der Verstellerschraube der Linearverstellung vorsichtig drehen und sehen, wie die Ringe entweder nach innen oder nach außen laufen.

Je nach Vorjustage der Linearverstellung bleibt das Zentrum des Ringsystems bei Verstellung entweder fest oder verschiebt sich. In diesem Fall muss M2 (nicht M1) vorsichtig nachjustiert werden.

Sollte man mal das Interferenzmuster verloren haben entfernt man die Linse und bringt die Spots der beiden Teilstrahlen auf dem Schirm wieder zur Deckung.

Bei der Weißlichtposition ist der zentrale Fleck am größten. Man kann sie auch finden, indem man beobachtet, in welcher Richtung die Ringe bei vorsichtiger Verstellung von M1 wandern. Bei der Weißlichtposition, bei der beide Interferometerarme exakt abgeglichen sind, findet ein Richtungswechsel der Ringbewegungen statt. Wenn sie vor der Position nach außen gelaufen sind werden sie danach nach innen laufen. An dieser Stelle kann man den Laserstrahl durch eine LED ersetzen und in beide Richtungen +/- 15 vorsichtige Justierbewegungen (1-2 Grad) vornehmen, bis man das Interferenzmuster der LED sieht. Die LED wird ca. 2 cm vor der Linse L eingebracht und Höhe und seitliche Position werden so eingestellt, dass sie in etwa mit der des Lasers übereinstimmen.

Nach jeder Verstellung: Hände weg und 1-2s warten! Nicht verzagen, wenn es nicht gleich funktioniert. Evtl. muss man in einem größeren Bereich suchen. Nach größeren Verstellungen ist Kontrolle und ggf. Nachjustage des Interferenzmusters mit dem Laser ratsam.

Die Orientierung der LED ist unkritisch, allerdings sind nicht alle LEDs geeignet. Am besten hat es bei mir mit einer roten, klaren 5 mm, superhellen LED geklappt (Abb. 6).



Abb. 6: Interferenzbild einer roten LED

Man sollte mehrere ausprobieren. Trübe LEDs eignen sich nicht, da sie aufgrund der geringeren räumlichen Kohärenz nur ein kontrastarmes Interferenzbild erzeugen. Dagegen konnte ich mit einer LED-Taschenlampe auf Anhieb farbige Interferenzringe erzeugen (Abb. 7).



Abb. 7: Farbige Interferenzmuster

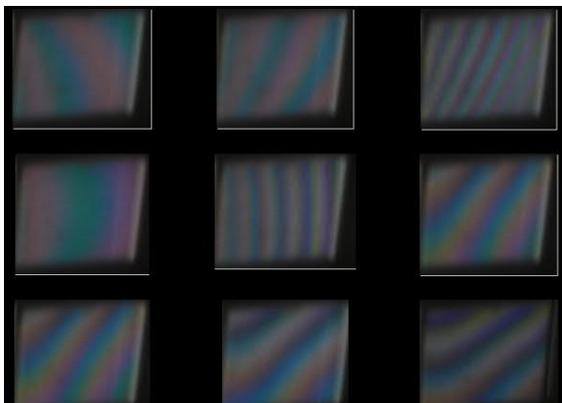


Abb. 8: Reihe von Streifen-Weißlicht-Interferogrammen mit recycelten Aluminiumspiegeln aus einem alten Scanner

Ausblick

Es wäre schön, wenn man ein Interferogramm aufzeichnen könnte. Dazu müsste man aber einen winkeltreuen Verschiebemechanismus haben, den man über mehrere cm verstellen kann.

Eine elektrische Spiegelverstellung mit einem auf einem auf einem Lautsprecher aufgeklebten Spiegel hat bereits funktioniert. Die Verstellung umfasst aber nur ein paar Mikrometer.

Referenzen

- [1] Hochschule für Angewandte Wissenschaften München: [Michelson Interferometer \(MIF\)](#). Physikalisches Praktikum II, 2013/2014.
- [2] Steve Schuler: [Lego Optics Lab: Laser Interferometer](#). Hackaday.io, 25.04.2016.
- [3] Ricardo Linke: *Ein Michelson-Interferometer aus LEGO®-Bausteinen*. Untersuchung technischer und affektiver Aspekte. Springer Spektrum, 2017.
- [4] Optikbaukasten.de: [Strahlteilerwürfel](#).
- [5] Professionelle [kinematische Spiegelhalterung](#).
- [6] Andreas Gail: [Einstieg in Experimente mit Lasern](#). ft:pedia 2/2014, S. 14-17.

Modell

Drei Clowns und ein Krokodil

Rüdiger Riedel

Mit dem Electronics-Modul *rt-tp* ([152063](#)) lassen sich auf einfache Weise Figuren in Bewegung versetzen.

Zirkusnummer

Drei Clowns studieren eine neue Zirkusnummer ein. Als Attraktion haben sie sich ein Krokodil dazu geholt. Ob das eine gute Idee war?

Das Krokodil schnappt, zwei Clowns wedeln vor Angst mit den Armen und ein dritter Clown schlägt die Trommel im Takt. Gedacht ist die Szene als Kinderbelustigung auf einer Ausstellung, auf einer Convention. Darauf freue ich mich.

Der Antrieb

Wir erzeugen Bewegung mit Stromimpulsen auf Elektromagnete, deren Magnetfeld auf kleine Stabmagnete (Neodym-Magnete mit 4 mm Durchmesser und 10 mm Länge [2, 3] einwirkt.

Alle drei Typen von fischertechnik-Elektromagneten in Abb. 2 (links oben ([31324](#)), links unten ([32363](#)), rechts ([142504](#))) sind nur auf dem Gebrauchtmart erhältlich. Der rechte Typ ist ein sogenannter Topfmagnet,

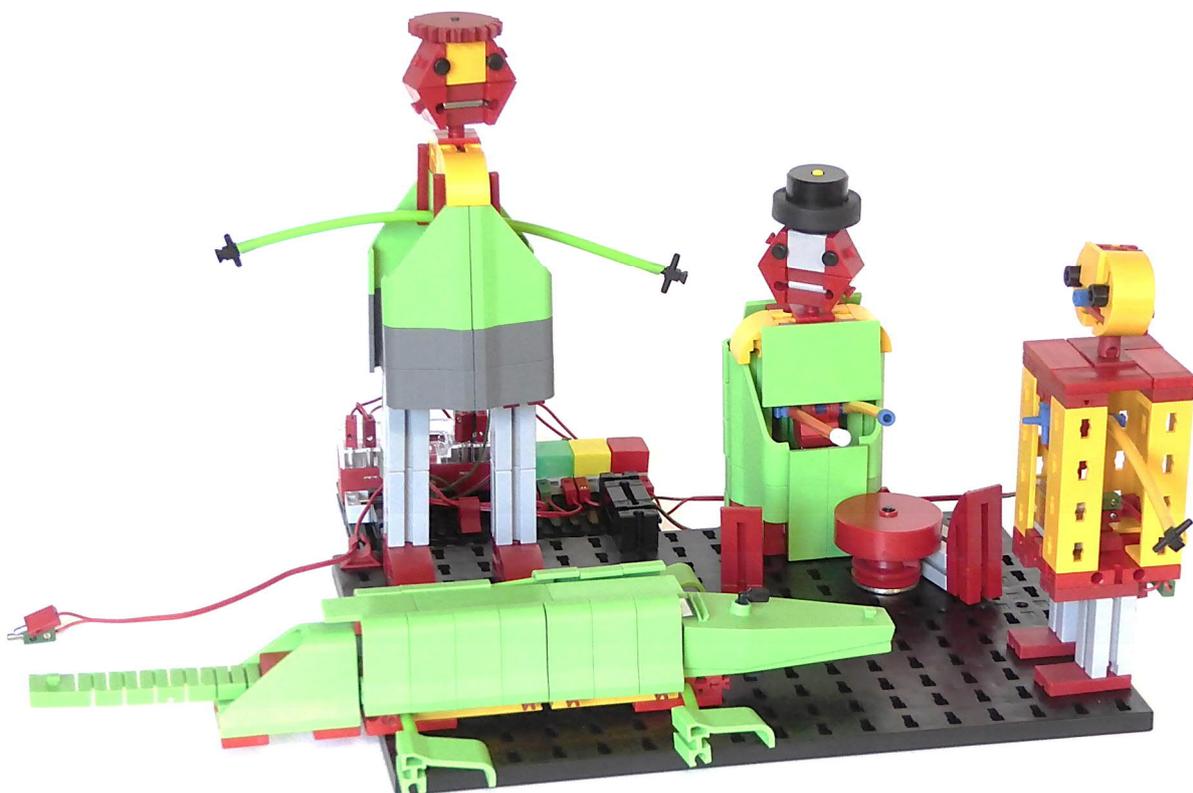


Abb. 1: Gesamtansicht

dafür gibt es perfekt passende Ersatztypen im Internet und insbesondere bei fischerfriendsman [2]. Sie werden an einen Baustein 15 mit Ansenkung (32321) geschraubt.

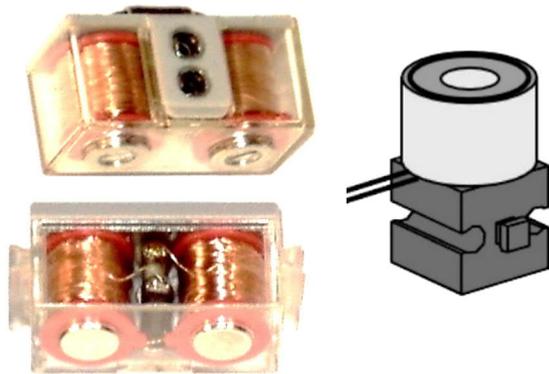


Abb. 2: Die E-Magnete

Das Antriebsprinzip des großen Clowns zeigt Abb. 3. Es besteht aus einem Topfmagnet und dem Pendel gemäß Abb. 4.



Abb. 3: Wackelzeiger

Dieses wird aus Gelenkwürfel-Klaue und -Zunge (31436 und 31426) mit einem Baustein 5 (37237) und daran zwei Klemmhülsen (35980) zusammengesetzt. In den Klemmhülsen werden die beiden Stabmagnete so eingeklemmt, dass sie einander abstoßen.

Durch die Gelenkwürfelzunge wird ein Stück Pneumatik-Schlauch geschoben und in dessen Enden werden ein oder zwei T-Stücke (31642) eingesteckt.



Abb. 4: Pendel für Topfmagnete

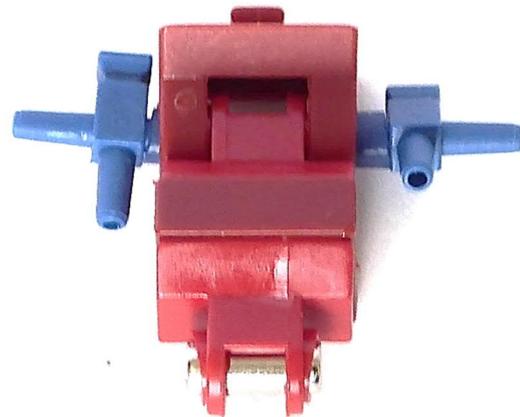


Abb. 5: Pendel für E-Magnete mit U-Kern

Haben wir E-Magnete vom U-Typ (Abb. 2 links), dann bauen wir das Pendel nach Abb. 5 aus Gelenkwürfel-Klaue und -Zunge (31426), einem Baustein 5 2Z (37238 oder BS5 plus Federnocke) und einer Gelenkwürfel-Zunge (31436) zusammen und stecken in diese den Stabmagnet.

Zur Impulserzeugung verwenden wir das Electronics-Modul rt-tp (152063). In dem Heft „Zusatzprogramme Electronics“ [4] ist im Kapitel 1.4.7 die Schaltung für vier unabhängige Blinker beschrieben. Wir übernehmen die DIP-Schalterstellungen.

Die Taster an den Eingängen brauchen wir nicht; E1 bis E3 werden mit dem Minus-Pol verbunden. An jeden Ausgang O1 bis O4 habe ich die Plus-Seite einer LED ange-

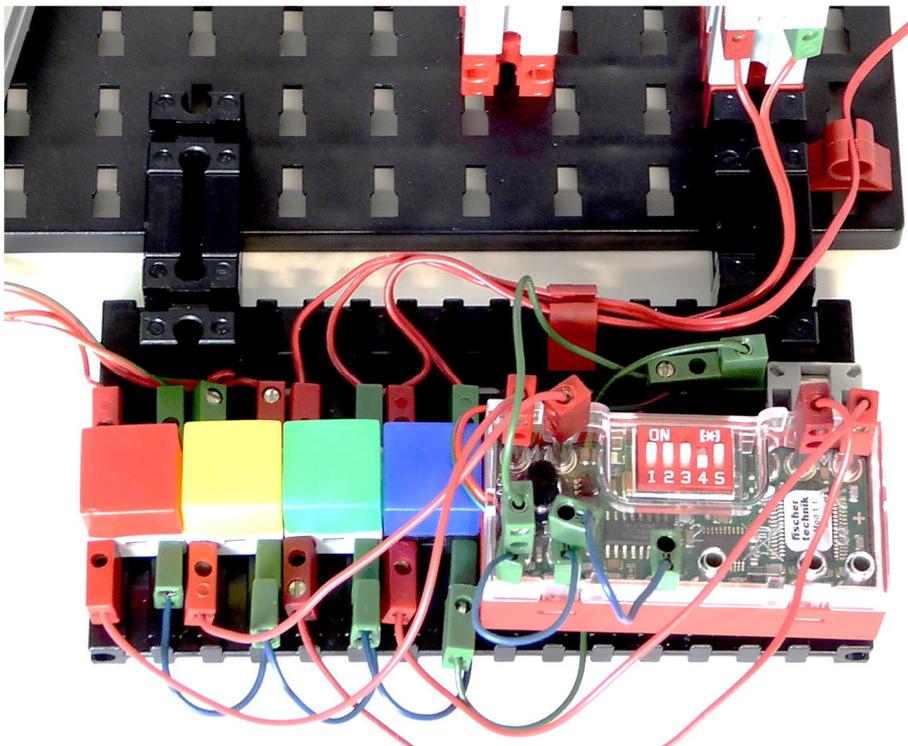


Abb. 6: Electronics-Modul verdrahtet

schlossen und alle Minus-Seiten an die Batterie. Parallel zu den LEDs können wir jetzt jeweils ein bis zwei Elektromagnete anschließen; acht E-Magnete schafft das Modul! Die vier Stück für die Clowns-Szene betreibt es problemlos.

Die Polung der E-Magnete ist nicht egal; wenn das Pendel nicht richtig ausschlägt: umpolen.

Das Krokodil

Das Krokodil ist bissig! Es macht das Maul auf und zu (Abb. 8), angetrieben von einem Topfmagnet.



Abb. 7: Das einäugige Krokodil

Den Bau beginnen wir mit der gelben Bodenplatte $30 \cdot 90 \cdot 7,5$ ([32861](#)), auf die wir

den Topfmagnet, z. B. von fischerfriendsman [1], aufschrauben (Abb. 9).

Das Maul besteht aus zwei Kugelbahn-Wechselweichen ([151716](#)), die mit einem Stück Silikonschlauch und zwei Pneumatik-Anschlusswinkeln ([36915](#)) verbunden werden. Der Kopf sitzt auf zwei Bausteinen 7,5 und diese auf zwei Bauplatten $15 \cdot 30 \cdot 3,75$ 1N ([32330](#)), alles zusammengehalten mit Federnocken ([31982](#)). Betätigt wird das Maul von einer Schwingfeder ([31329](#)), die am Ende von zwei Schlauchanschlüssen D4 gerade ([163204](#)) und zwei Klemmbuchsen 5 ([37679](#)) gehalten wird.

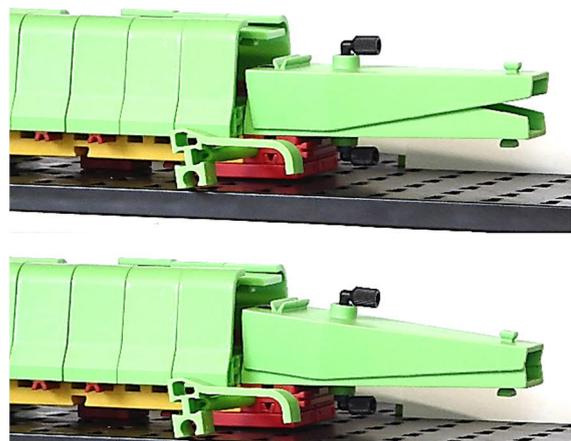


Abb. 8: Maul auf, Maul zu

Die Abdeckung des Körpers nach oben bilden zwei Bauplatten $15 \cdot 45$ 2Z ([163041](#)), verbunden durch eine Bauplatte $15 \cdot 30 \cdot 3,75$ 1N. Eine Bauplatte $5 \cdot 15 \cdot 30$ ([35049](#)) und eine Bauplatte $15 \cdot 30$ ([156504](#)) ergänzen den Rücken. Dieser wird

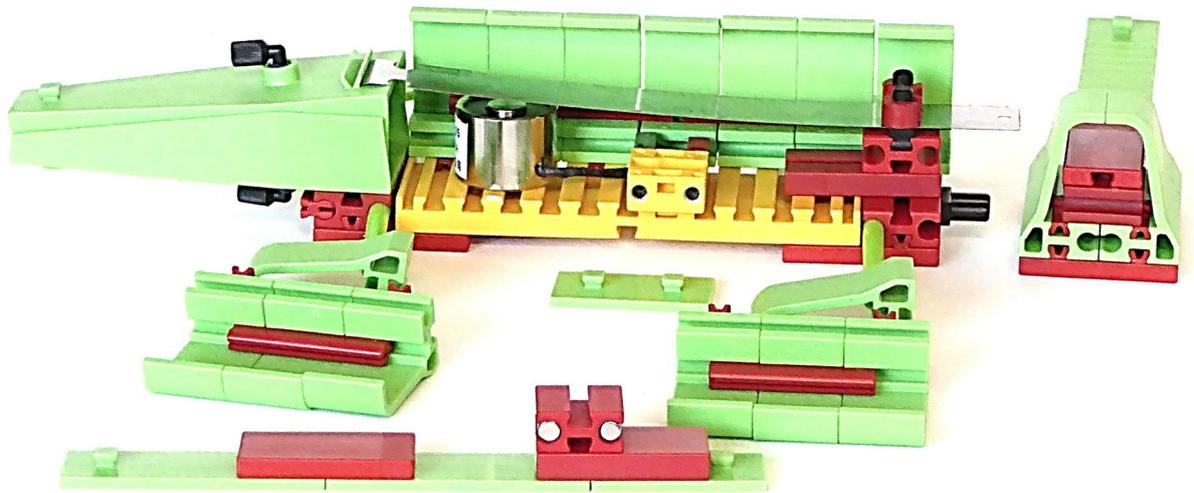


Abb. 9: Die Innereien

auf der Schwingfeder von zwei Stabmagneten 4 mm · 10 mm [1, 2] in einem Baustein 7,5 gehalten.

Ganze stecken wir mit zwei Schlauchanschlüssen D4 gerade an den Körper (Abb. 11).



Abb. 10: Draufsicht

Für den Körper und die Füße verwenden wir 17 Seitenteil-Verlängerungen ([163200](#)). Für den Körper werden sie zusammengehalten von Verbindern 30 ([31061](#)) und an der Bodenplatte mit Federnocken befestigt.

Ein Seitenteil links ([163198](#)) und ein Seitenteil rechts ([163199](#)) fügen wir als Übergang zum Schwanz, einem Kugelbahn-Flexprofil 90 ([155901](#)), zusammen. Das

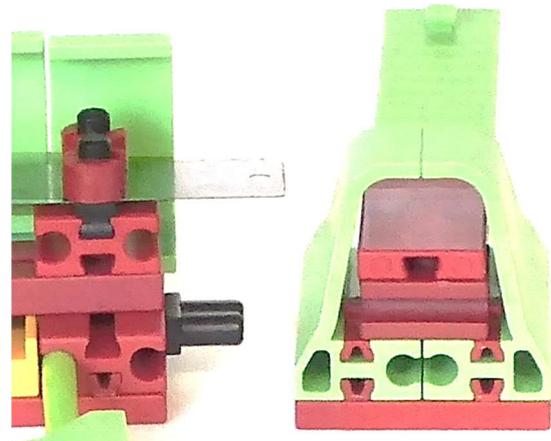


Abb. 11: Das Ende

Für die Beine gibt es bei fischerfriendsman grünen Silikonschlauch. Dieser wird durch Bausteine 7,5 gezogen (Abb. 11) und in die Seitenteil Verlängerungen gequetscht. Die glücklichen Besitzer des alten fischertechnik-Magnetventils ([32340](#)) können ein kürzeres Krokodil bauen.

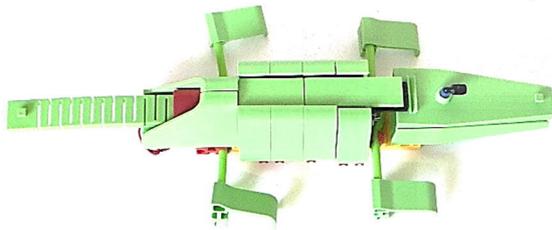


Abb. 12: Kleines Krokodil

Das Ventil und die beiden Führungsplatten werden entfernt und der Magnet auf die Grundplatte geschoben.

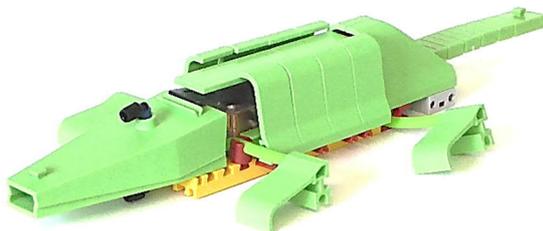


Abb. 13: Kleines Krokodil

Alles Weitere ergibt sich aus den Abbildungen.

Das Hinterteil mit den beiden Seitenteilen/Wing 45 ([163198](#) und [163199](#)) ist nur eingeklemmt am Baustein 5 15 · 30 ([35049](#)).

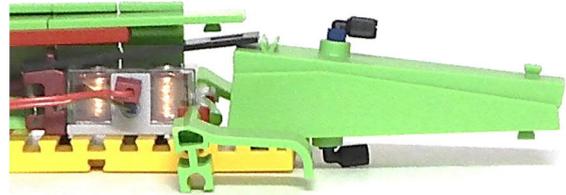


Abb. 15: Das Herz

Schnapp, schnapp...

Die Clowns

Zwei der Clowns haben Köpfe aus Winkelsteinen 30° rechtwinklig ([31012](#)), die gibt es z. B. bei fischerfriendsman. Verbunden werden sie mit zwei Bausteinen 15 mit Bohrung ([32064](#)), hinten zusammengehalten von einer Bauplatte 15 · 30 · 3,75 1N ([32330](#)) und zwei Federnocken.

Der große Clown

Das Unterteil wird um den Baustein 15 mit Ansenkung ([32321](#)) des Topfmagneten aufgebaut. Die Körperoberfläche besteht aus den schon bekannten Teilen; zur Abwechslung auch mit den grauen (silber genannten) Seitenteil-Verlängerungen / Wing 15 Mitte ([163438](#)).

An der Schulter aus zwei gelben Bausteinen 15 und zwei gelben Bausteinen 15 · 15 rund ([172543](#)) hängt das Pendel für die Arme gemäß Abb. 4. Diese sind aus grünem Silikon-schlauch von fischerfriendsman [2]; da gibt

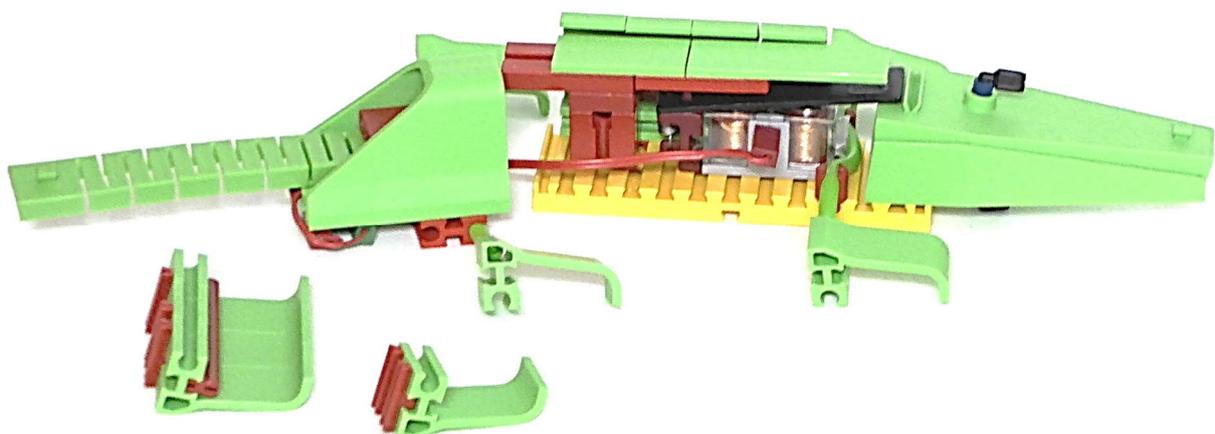


Abb. 14: Seite geöffnet

es auch roten und gelben Silikonschlauch für die anderen Clowns.

Die Hände sind zwei schwarze Pneumatik-T-Stücke ([156042](#)).

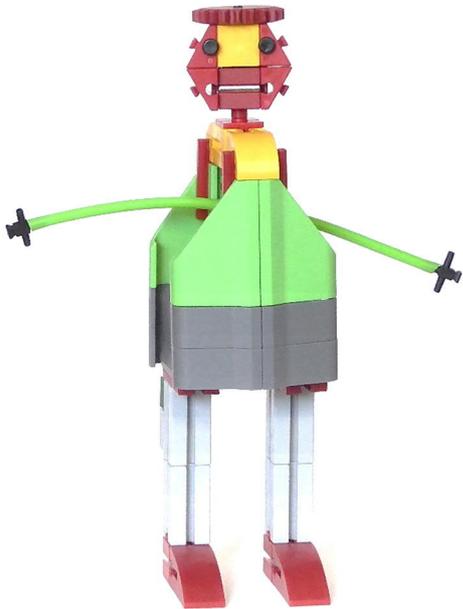


Abb. 16: Der große Clown



Abb. 17: Seitenansicht

Die großen Füße stecken in Schuhen aus je einem roten Baustein 15 und einem roten Baustein 15 · 30 rund ([163439](#)).

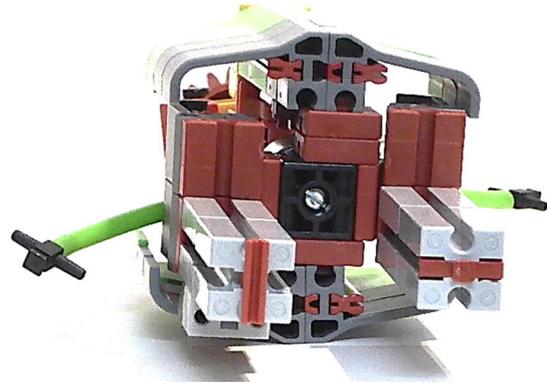


Abb. 18: Ansicht von unten

Der kleine Clown

Hier kommt der Elektromagnet Typ [32363](#) zum Einsatz. Es geht auch mit dem Typ [31324](#), da sind aber Anpassungen nötig, siehe Abb. 2.

Vier Bausteine 15 · 15 rund ([172543](#)) und zwei Bausteine 7,5 werden zu seinem Kopf zusammengefügt. Augen aus zwei S-Verbindungsstopfen 6 ([32316](#)), die Nase aus einem Pneumatik-Stopfen ([31708](#)), der Mund aus einem roten Stück Silikonschlauch und die Stirn aus einer gelben Bauplatte 15 · 15 1Z ([38236](#)).

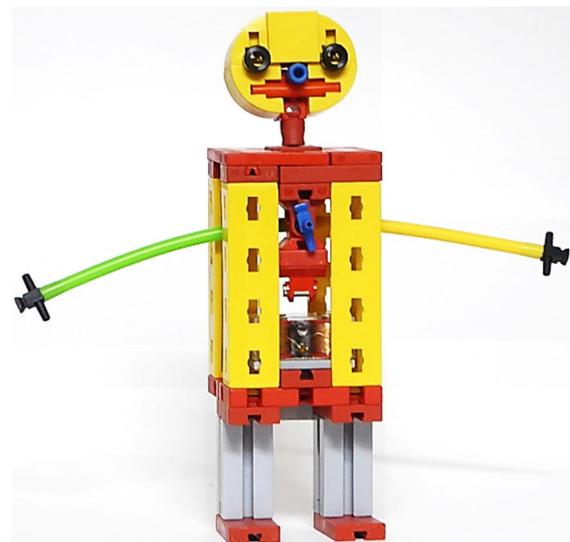


Abb. 19: Ich bin der kleine Clown

Der Körper ist auf einer V-Grundplatte 45 · 45 · 5,5 ([36593](#)) aufgebaut.



Abb. 20: Ich habe Plattfüße

Der Schelm hat Plattfüße. Wir nehmen zwei Bausteine 5 15 · 30 ([35049](#)), unter einem davon ein Federnocken zur Befestigung auf der Grundplatte 500.

Der sitzende Clown

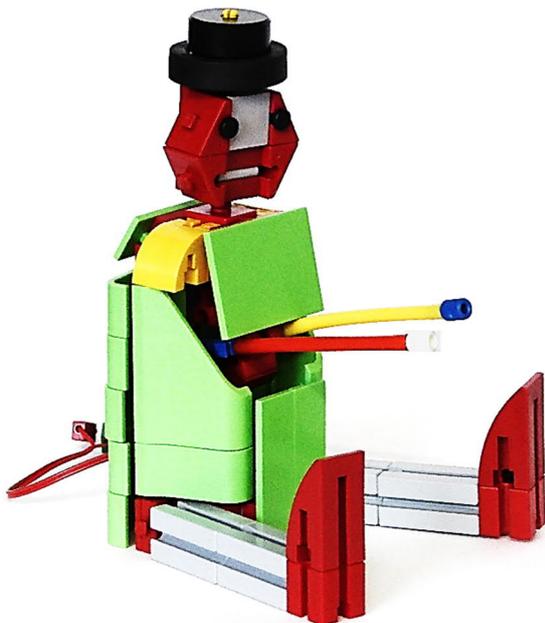


Abb. 21: Trommler mit Zylinder

Fehlt noch der Trommler. Auch hier verwenden wir den Elektromagnet ([32363](#)),

das Pendel nach Abb. 5 schwingt jetzt vor und zurück.

Zum Ausgleich der Armgewichte sind auf der Gegenseite zwei Flachstecker ([31336](#) oder [31337](#)) über je ein Stück Silikon-schlauch befestigt, siehe Abb. 23.



Abb. 22: Ohne Kopf, aber der mit Hut

Zwei V-Räder 23 · 10, ein Gummireifen 32,5 · 8 ([34995](#)) und eine V-Achse 28 oder eine Rastachse 30 werden zum Zylinder.

Ein Walzenrad 40 · 12 nehmen wir für die Trommel. Den Trommelfuß bildet bei mir eine Rückschlussplatte 25 rund ([31326](#)).

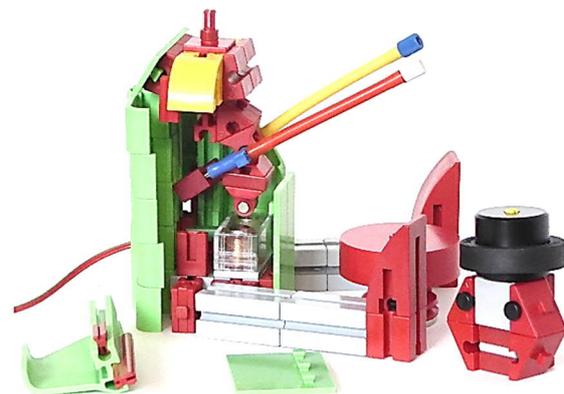


Abb. 23: Seiteneinblick

Wenn wir alles sauber ausrichten, schlagen die beiden Arme mit dem Pneumatik-Stopfen ([31708](#)) bzw. dem Pneumatik-Schlauchanschluss ([121640](#)) rhythmisch und hörbar auf die Trommel.

Einen kleinen Eindruck der Bewegungen vermittelt Abb. 24. Die Geschwindigkeit lässt sich mit dem Drehknopf am Electronics-Modul stufenlos einstellen.

Quellen

- [1] Rüdiger Riedel: *Ersatz für die Elektromagnete*. [ft:pedia 3/2017](#), S. 19-22.
- [2] fischerfriendsman: Stabmagnet [7348fg](#).
- [3] Dirk Fox, Thomas Püttmann: *Technikgeschichte mit fischertechnik*. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2015, S. 218.
- [4] [Profi Electronics](#)

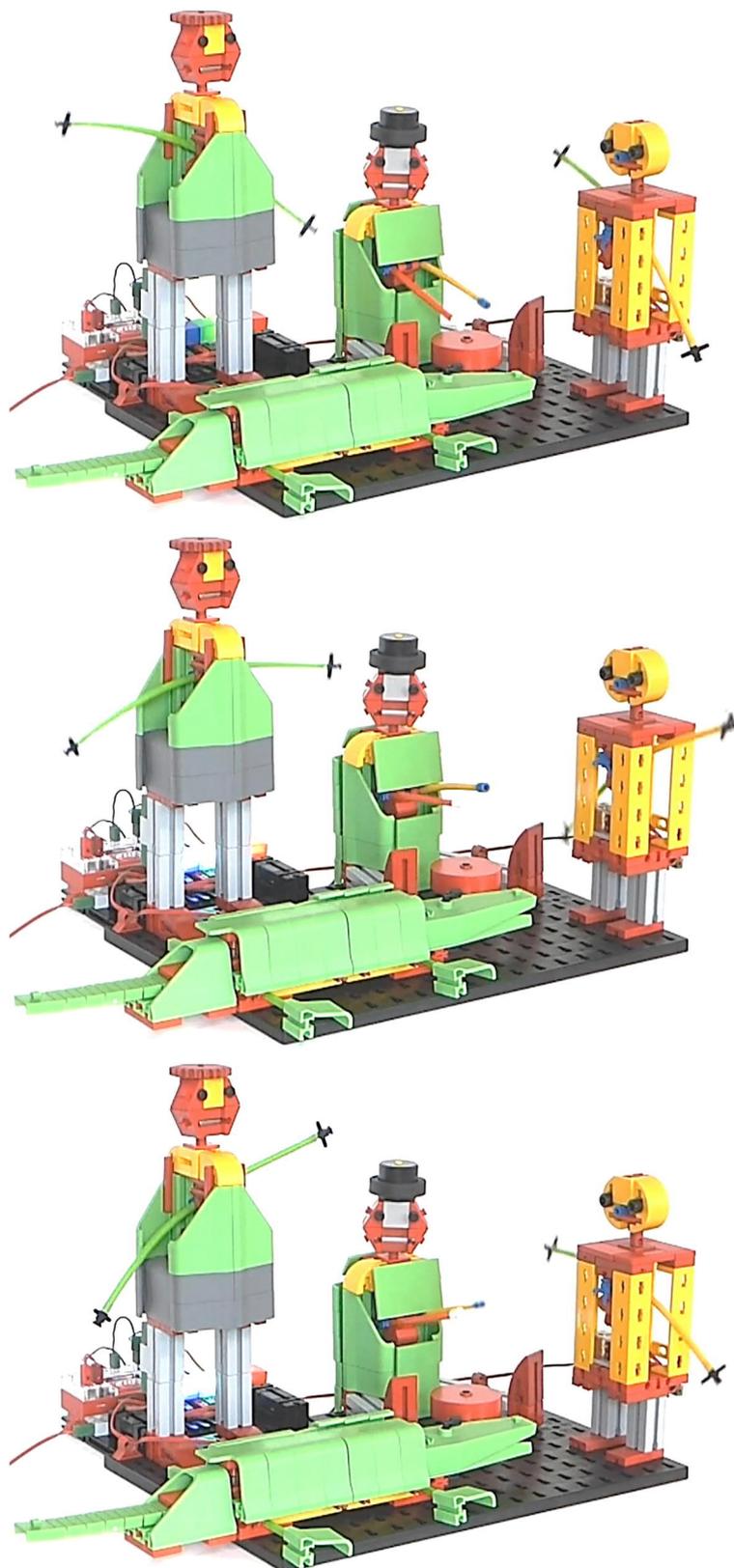


Abb. 24: Die ganze Bande in Bewegung

Modell

Großprojekt Seilbahn (Teil 1): Von der Idee zum Kick-Off

Tilo Rust

Diese Serie begleitet das Großprojekt „Kuppelbare Einseilumlaufbahn / Doppelmayr (10-MGD)“ im Erlebnismuseum Fördertechnik Sinsheim von Anfang bis zur Fertigstellung und Ausstellung auf der BUGA 2023 in Mannheim. Wir berichten über Hintergründe des Projekts, Technik und Entwicklung, sowie Modell und Team.

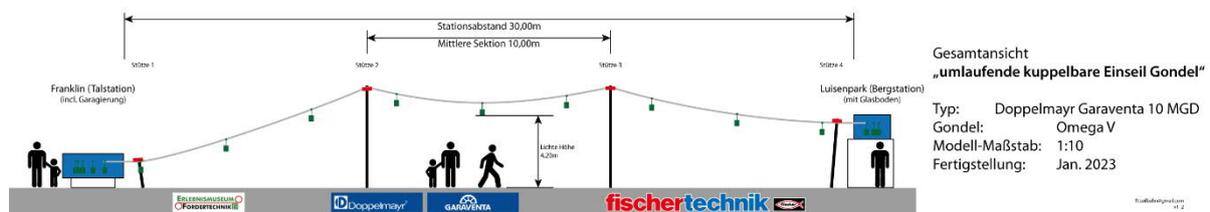


Abb. 1: Gesamtansicht

Die Dimension der gesamten Anlage wird erst begreiflich, wenn sie als Ganzes gesehen wird. In den Stationen drehen sich Seilscheiben (Räder) mit einem Durchmesser von 80 cm, während die Gondeln 25 cm hoch sind (ohne Gehänge). Unter dem Seil kann man gefahrlos durchlaufen und unter der Bergstation wird man stehen können, um die Technik von unten zu betrachten.

Eine Seilbahn ist ein Standardwerk, das wohl schon fast jedes Spielkind unter uns schon einmal gebaut hat. Schnell sind zwei Räder genommen, ein Seil drum herum gelegt und einige Bausteine als Gondeln daran gehängt. Nur noch die Stationen etwas auseinanderziehen und damit das Seil auf Spannung bringen, einen Motor dran und es geht los. Strecken vom Boden auf den Schreibtisch oder gar auf das Regal sind auch gar nicht so schwer. Tatsächlich gibt es selbst von fischertechnik Originalanleitungen für eine Seilbahn, und das legendäre blaue Nylonseil ist dabei ein wichtiger Hauptbestandteil.

Mich selbst haben Seilbahnen und Skilifte bei jedem Winterurlaub fasziniert und der Blick geht beim Einsteigen eher nach oben, um die Technik unter der Haube zu verstehen. Der Trick dieser Anlagen ist, dass die Gondeln in der Station deutlich langsamer laufen als am Seil. Besonders interessant ist diese zuverlässige Klemme. So etwas muss doch mit fischertechnik zu machen sein. Tagelang habe ich nach Lösungen gesucht und Detailaufnahmen aus dem Internet studiert. Doch mit Hilfe unserer Standardteile ist der Miniaturisierung eine Grenze gesetzt. Eine Grenze, die allerdings weit vom Begriff „Mini“ entfernt ist.

Ein guter Tüftler schaut sich erst einmal an, was andere Ingenieure schon erfunden haben. So fand ich aus anderen Bausteinwelten funktionierende kuppelbare Seilbahnen, die allerdings bei genauerem betrachten alles andere als „sanft davon gleiten“. Einzig ein Modell aus handgefertigten Metallteilen bildet die Funktion sauber ab, basiert aber nicht auf einem Baukastenprinzip.

Auch hier in der Szene gibt es interessante Lösungsansätze [1], die allerdings einige meiner selbst an mein Projekt gestellten Anforderungen nicht erfüllen. Dennoch nahm ich Kontakt mit Michael auf, der mit seinem Modell [2] einer Lösung schon ziemlich nahekam.

Großes Problem: kleine Klemme

Michael und ich trafen uns im Sommer 2020 (zwischen den Lockdowns, ganz legal) im Urlaub. Er hatte nicht nur sein „fischertechnik-Reiseset“ dabei, sondern bereits eine funktionierende Seilklemme mit Gondel! Die Seilklemme hatte er aus Holz geschnitzt.

Bei unserem Treffen tüftelten wir eine verbesserte Version aus, die nun auch die Besonderheit der Firma Doppelmayr zeigte: eine so genannte Totpunktklemme (mehr zur Technik in den nächsten Ausgaben der ft:pedia).

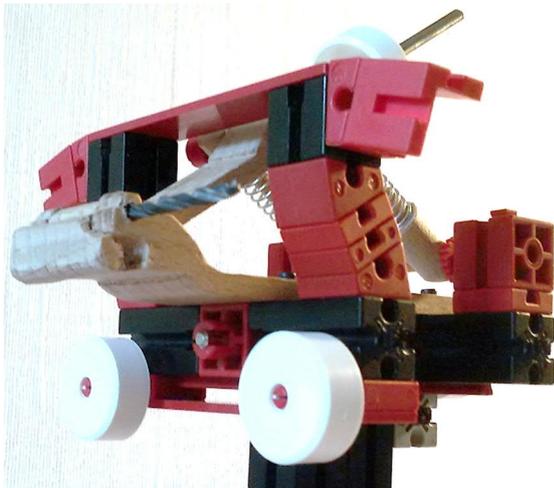


Abb. 2: Die erste Version der Seilklemme von Michael S. Die eigentlichen Bauteile sind aus Holz handgeschnitzt. Noch ist dies keine Doppelmayr-Totpunktklemme.

Dennoch wurden wir uns einig, dass wir es mit den fischertechnik-Standardteilen nicht schaffen würden, eine Seilklemme mit den technischen Anforderungen herzustellen.

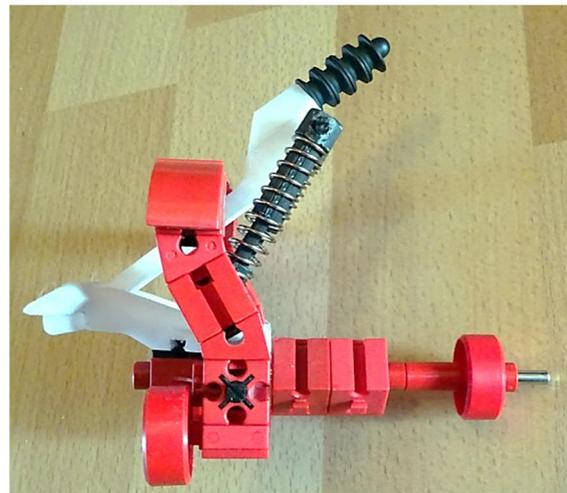


Abb. 3: Aktuelle Seilklemme V3 zu geklemmt

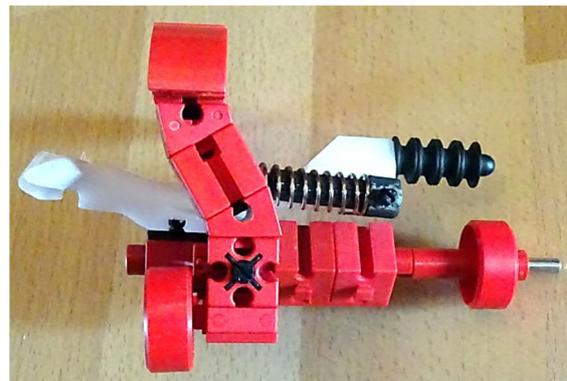


Abb. 4: Aktuelle Seilklemme V3 offen

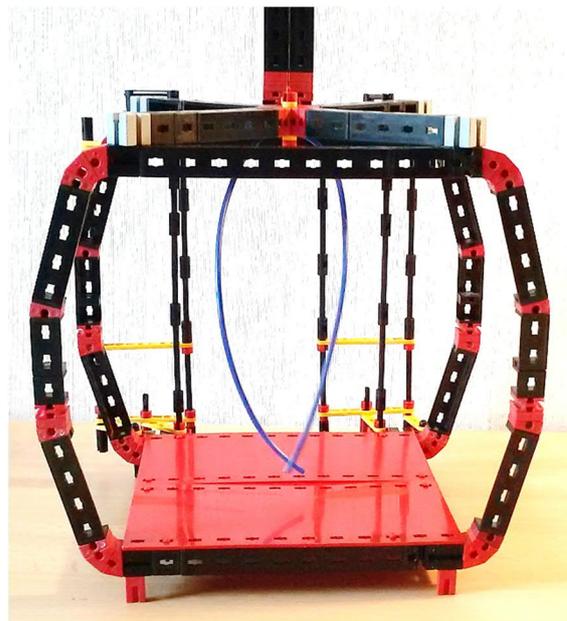


Abb. 5: Der erste Gondel-Entwurf



Abb. 6: Gondel mit geschlossenen Türen

Die aktuelle Version 3 ist eine Weiterentwicklung des Prototyps. Das ist eine Doppelmayr-Totpunkt-Klemme. Lediglich die eigentliche Klemme und die Federbeine stammen aus dem 3D-Drucker. Der Rest wurde im fischertechnik-Designer entwickelt und ist pures fischertechnik.

Diesen ersten Entwurf einer Gondel (bereits mit angesetztem Türmechanismus) hat Michael S. zu unserem ersten Treffen mitgebracht. Anhand dieses Entwurfs ergaben sich die Abschätzung der Modellgröße und später die Festlegung des Maßstabs 1:10.



Abb. 7: Gondel mit geöffneten Türen

Dank der Original-Konstruktionspläne der Firma CWA (Hersteller der Gondeln für Doppelmayr) konnten wir die aktuelle Version 3 unserer Gondel so genau bauen, dass sie nur noch wenige Millimeter von den Originalmaßen der Omega V abweicht. (man vergleiche Abb. 8 mit unserer Version 2 in Abb. 9). Selbst die Türen (in Abb. 6 und 7 mit Pappe dargestellt) werden mit einem Bowdenzug nach Idee von Ralf Geerken [3] bewegt. Auch der Gehängearm und die Klemme (hier herunterhängend) sind nun so weit entwickelt, dass wir sie testen können.

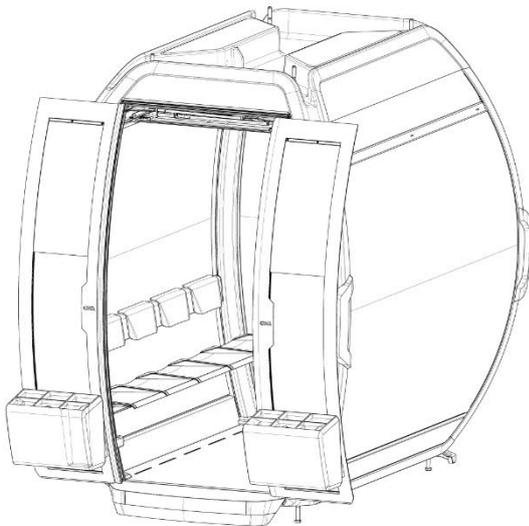


Abb. 8: Original-Konstruktionszeichnung

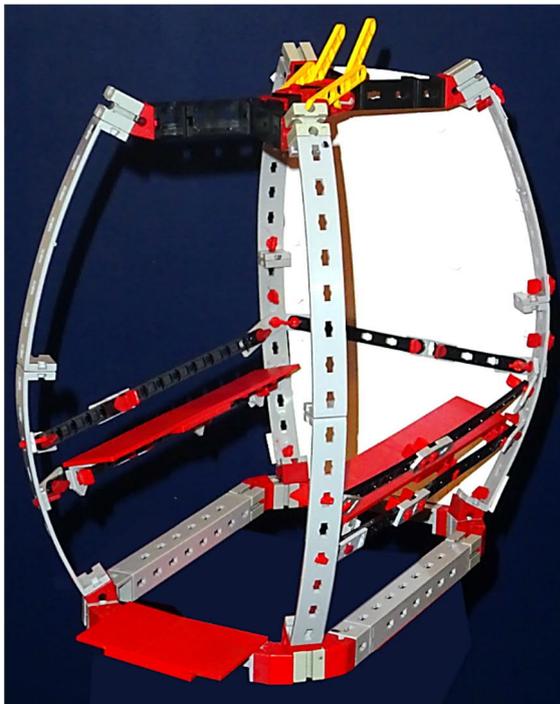


Abb. 9: Der Nachbau, dicht am Original

Die Profis fragen

Doch selbst wenn es mir gelänge, eine solche Klemme zu konstruieren, müsste ich abschätzen, welche Spannkraft am Seil ziehen muss. Und beim Betrachten der vielen Detailfotos und Videos im Internet wurde mir immer klarer, dass hinter diesem Modell viel mehr Know-How steckt, als ich erwartet hatte. Erste Prototypen waren auf-

grund der schon erwähnten Miniaturisierungsgrenze verhältnismäßig groß ausgefallen.

Also nahm ich Anfang 2020 das Telefon in die Hand und bemühte mich, in Kontakt mit den zwei weltgrößten Seilbahnherstellern zu kommen. Wenn man mir doch nur ein wenig mit Know-How helfen könnte...

Aus klein wird groß

Tatsächlich halfen mir die Techniker in wenigen Minuten dabei, die wichtigsten Eckdaten des Modells abzuschätzen:

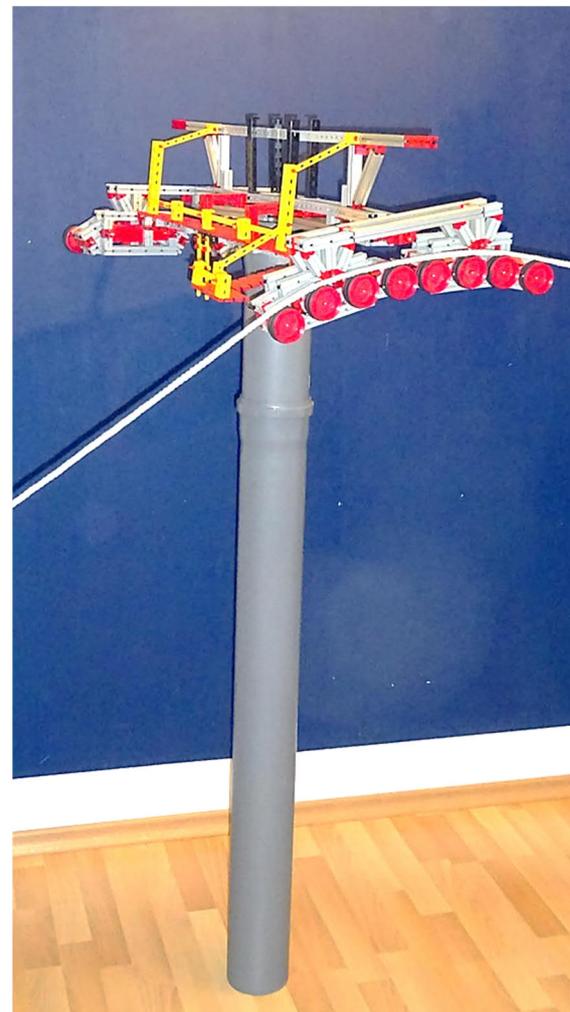


Abb. 10: Stütze mit Rollenbatterie

Mit der funktionalen (rein aus fischertechnik bestehenden) Lösung einer Seilklemme ergab sich die Grenze der Miniaturisierung. Daraus leitete ich mit den Ingenieuren ab, dass die Gondel ca. 20 cm groß werden

würde. Die Seilscheibe benötigt daher einen Mindestdurchmesser von 60 cm, was auch der Spurweite entspricht. Damit wird die Station mindestens 120 cm lang.

Dabei wurde mir klar, dass der Platz auf meinem Boden im Spielzimmer zu klein werden wird. Und für eine Strecke von 1-2 m bis auf den Schreibtisch ist der Aufwand viel zu groß. Eine Seilbahn im Treppenhaus? Oder einmal quer durch den Garten? Ich glaube, das wäre ein Scheidungsgrund.

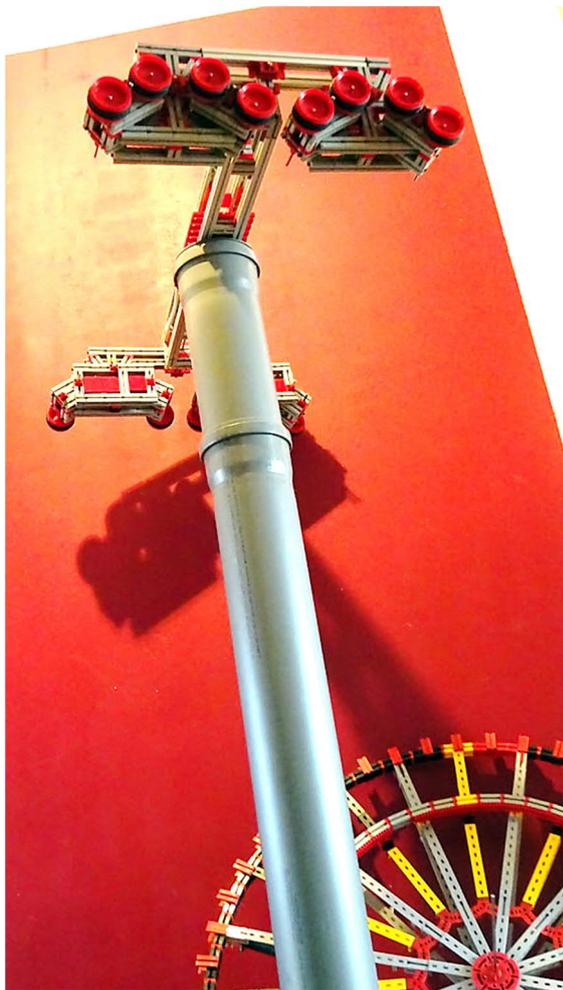


Abb. 11: Stütze und Prototyp der Seilscheibe

Auch die Stütze mit den Rollenbatterien wurden als Prototyp gebaut (Abb. 10). Auf jeder Seite halten vier Rollenpaare das Seil und formen einen sanften Übergang der Steigung. Zusammen mit der Seilscheibe (in Abb. 11 rechts unten noch als Prototyp

Eckdaten des Projekts:

- Länge: 30 m (Abstand der Stationen horizontal)
- Spurweite: 80 cm
- Anzahl Gondeln: (erwartet) 15-25; Türen schwenkbar zu öffnen; Gondelgewicht ca. 1 kg
- Bauzeit: Januar 2021 – Januar 2023 (Einweihung auf der BUGA 2023 in Mannheim)
- Maßstab: 1:10 (Länge der Strecke verkürzt)
- Anzahl der Stützen: 4; Stütze 2 und 3 mit einer Jochhöhe von ca. 4,60 m
- Talstation „Franklin“ mit Garageierung. Dach mit automatischer Öffnung (um Technik zu zeigen und zu warten).
- Bergstation „Luisenpark“ mit transparentem Boden (Besucher können unter die Station treten)

ohne Alu!) bilden diese schon jetzt ein imposantes Modell.

Größerer Platz, noch größeres Modell

Glücklicherweise habe ich vor einigen Jahren Konstantin Eck, den Museumsdirektor des Erlebnismuseum Fördertechnik [4] in Sinsheim kennengelernt. Die Süd-Convention 2019 fand dort in einer großen (leeren) Halle des Museums statt.

Ein Telefonat später wusste ich nicht, wo mir der Kopf steht: Ich hatte eine Zusage, die Seilbahn dort zu bauen – und lange Zeit stehen zu lassen. Ab diesem Moment war klar, dass es für die Größe der Anlage eigentlich keine Grenze mehr gibt, denn die Halle ist etwa 47 m lang und fast 8 m hoch.

Die Community hilft

Natürlich ist Michael und mir klar gewesen, dass wir die Klemmen später nicht einzeln schnitzen wollen. Eine Anfrage im Forum

[5] half binnen weniger Stunden: Peter Habermehl meldete sich und bot an, den Prototyp der Sonderteile mit seinem 3D-Drucker zu fertigen. Wenige Tage später erhielten Michael und ich Post. Danke!

Ebenso hatten sich nun weitere Mitstreiter gemeldet, die zum einen Know-How beisteuern und (sobald die COVID-19-Situation es wieder legal zulässt) auch im Museum mit bauen (dass das nötig ist, wird erst später klar).

Wir suchen noch aktive Mit-Bauer, die aus der (weiteren) Umgebung von Sinsheim kommen und nach unserer Anleitung die Anlage mit bauen möchten – bitte melden [10]!

Aus groß wird riesig

Als Michael und ich die ersten Versionen der Seilscheibe (so nennt man das große Rad, um das das Trag- und Förderseil läuft) konstruierten, wurde uns beiden klar: Mit den eigenen Teilen schaffen wir es nicht,

Pflichtenheft

Hier einige der (uns selbst) auferlegten Pflichten des Projekts:

- Kuppelbare Gondeln mit Totpunktklemme (Doppelmayr). Die Gondeln müssen in der Station vom Seil entkuppelt werden und mit Hilfe einer Klemme nach dem Originalvorbild am Seil eingehängt werden. Dabei muss eine Steigung von mindestens 45° sicher bewältigt werden.
- Die Seilbahn muss eine Einseilumlaufbahn (10 MGD) sein. Verwendet wird ein Stahlseil, endlos gespleißt. Die Gondeln entsprechen in Design und Funktion einer „Omega V“ (Firma CWA).
- Stationsabstand mindestens 30 m (horizontal). Umlaufendes Seil ca. 75 m. Verschiedene Seillängen müssen möglich sein (für Stationsabstände von 10 m etc.).
- Der mittlere Abschnitt muss eine freie Durchfahrt von min. 4,20 m garantieren. Alle Anlagenteile müssen kindersicher und sicher für Ausstellungen gebaut oder abgeschränkt werden.
- Anlage komplett transportierbar (auf Euro-Paletten verlastet/fest montiert). Alle Dekomaterialien und Zubehör (Kabel etc.) müssen mit verpackt werden. Transportsicherungen müssen einen schadfreien Transport auf LKW und Stapler garantieren.
- Der Betrieb der Anlage muss wie beim Original funktionieren. Ein auf Originalanlagen eingewiesener Bediener muss in der Lage sein, das Modell zu bedienen. (Anm.: Möglicherweise verwenden wir hierzu einen original Doppelmayr Connect-Leitstand.) Ein bedienerloser Betrieb (ähnlich dem Doppelmayr/Garaventa „AURO“-System) sollte möglich sein (für den Betrieb im Museum).
- Die Anlage muss eine (automatische) Garagierung haben. Bei Betriebsschluss werden die Gondeln automatisch wie beim Original in die Garagen in den Stationen verbracht. Eine Entnahme von Gondeln zur Wartung erfolgt wie beim Original auf einem Wartungsgleis.
- Die Gestaltung der Stationen und Gondeln hält sich weitest möglich an die BUGA-23-Anlage.
- Es werden soweit möglich original fischertechnik-Teile verwendet. 3D-Drucke oder gemoldete Teile sind deutlich zu markieren (in einer nicht fischertechnik-Farbe) und werden in einer Vitrine ausgestellt.
- Die Anlage muss so gut dokumentiert sein, dass sie auch nach Jahren „im Keller“ von fremden (technisch versierten) Personen wieder in Betrieb genommen werden könnte.

diese Anlage zu bauen. Wir besitzen zwar eine Menge, aber das übersteigt unsere Reichtümer bei Weitem. Zukaufen?

Also wieder ans Telefon, mit Doppelmayr gesprochen, das Projekt, die Größe, die technischen Features vorgestellt, den Plan eröffnet, wer was bezahlen könnte und was mit der Anlage später gemacht werden könnte.

Ich war so nervös, wie bei einem Bewerbungsgespräch – dann die Zusage noch während des Telefonats: Doppelmayr wird unser Hauptsponsor.

Vier gewinnt

Und das ist der (grobe) Plan, auf dem das Projekt nun steht:

- Die Firma Doppelmayr Garaventa [6] wird als Hauptsponsor die Bauteile kaufen. Dafür ist das Modell später deren Eigentum.
- Das Erlebnismuseum Fördertechnik in Sinsheim [4] wird als Sponsor den Bauplatz in der Halle des Museums zur Verfügung stellen. Dafür steht das Modell später als Dauerleihgabe in der Ausstellung.
- Die Firma fischertechnik unterstützt uns mit Sonderpreisen bei den Bauteilen und kann die Anlage für Ausstellungen ausleihen.
- Wir, einige Mitglieder der ftc-„Projektgruppe Seilbahn“ [10] werden die Anlage mit Know-How von Doppelmayr nach deren technischem und Design-Vorbild konstruieren, bauen und betreiben.

Bei so einem großen Projekt mit solch großen Partnern ist es sinnvoll, darüber nachzudenken, ob und wie sich das Projekt rentiert. Der Aufwand, solch eine riesige Anlage über Monate zu konstruieren, würde sich nicht lohnen, wenn das Modell nach Fertigstellung bald wieder auseinanderge-

nommen wird. Da aber alle Teile neu beschafft und somit in einer Hand sind, kann die Seilbahn jahrelang ausgestellt werden.

Das bringt einen weiteren Punkt auf das „Pflichtenheft“ des Projektes: die Seilbahn muss transportabel sein. Das Modell wird deshalb von Beginn an so konstruiert, dass es aus Modulen besteht, die auf Euro-Paletten montiert sind. Diese werden hochkant gestellt und mit Transportsicherungen verpackt. So kann die Seilbahn an jedem ausreichend großen Ort innerhalb vertretbar kurzer Zeit wieder aufgestellt werden.



Abb. 12: Die Sponsoren des Projektes

- Die Firma Doppelmayr Garaventa erhält ein individuelles, riesiges Modell mit technischer Funktion und kann es auf Ausstellungen, Messen und Veranstaltungen nutzen.
- Das Erlebnismuseum Fördertechnik erhält ein weiteres Ausstellungsstück, das besonders Kinder, aber auch technikbegeisterte Erwachsene ansprechen wird, da die Seilbahn später in den Ausstellungsräumen installiert wird. Auch das wurde im Pflichtenheft berücksichtigt: Der mittlere Streckenabschnitt ist so hoch, dass Besucher gefahrlos darunter durchlaufen können. Die Gondeln werden mehr als 4 m über dem Boden

schweben – die Stützen also entsprechend groß werden.

- Die Firma fischertechnik hat ein Modell, in dem eindrucksvoll gezeigt werden kann, was mit fischertechnik möglich ist.
- Schon während des Baus wird das Projekt gut dokumentiert und filmisch begleitet, so dass auch eine virale Nutzung möglich ist. Informationsmaterial und Videos neben dem fertigen Modell werden später die Besucher in die Welt der kleinen und großen Seilbahnen führen.
- Die BUGA 23 bekommt ein interessantes Ausstellungsstück, das Kinder wie Erwachsene für die Fahrt mit der großen Seilbahn begeistert.

Remote Engineering

Nun ist nicht nur COVID „schuld“ daran, dass unsere Konstrukteure weit verteilt sind. Wir benötigen bestimmte Kompetenzen im Modellbau. Und so sind wir froh, dass wir Lösungen haben, um auch über hunderte von Kilometern hinweg miteinander technisch zu kommunizieren. Zu den etablierten Videokonferenz-Systemen benutzen wir eine Software aus der Community.

Der fischertechnik-Designer [7] von Michael Samek ist für uns das Werkzeug, um die Baupläne weiterzugeben. Letztlich ermöglicht dieser auch, dass wir die Teile bei fischertechnik bestellen können und im Museum unsere „Bauarbeiter“ diese nach den Daten des Designers zusammensetzen.

Schon seit langem bietet der fischertechnik-Designer die Möglichkeit, eine Bestellliste herauszugeben. Die Preise darin sind allerdings nicht aktuell. Wieder griff ich zum Telefon – und wenige Minuten später überraschte mich Michael Samek mit einer neuen Version des fischertechnik-Designers. Nun kann eine Bauteilliste des Modells ohne Preise als CSV-Datei ausgegeben werden. Kurz aufbereitet nutzen wir sie

dann als Bestellliste, die direkt von fischertechnik ins System eingespielt werden kann.

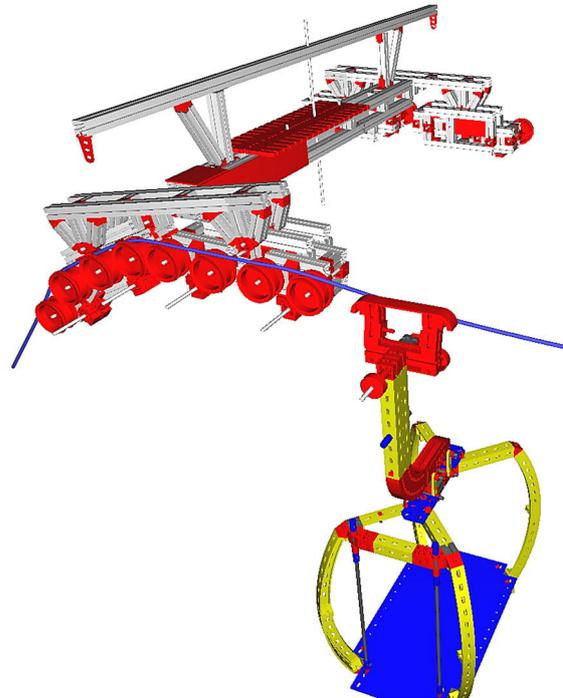


Abb. 13: Selbst die Ansicht der Rollenbatterien mit Klemme, Gehängearm und Gondel lässt sich im fischertechnik-Designer bearbeiten. In diesem Bild sind fast 1000 Bauteile dargestellt.

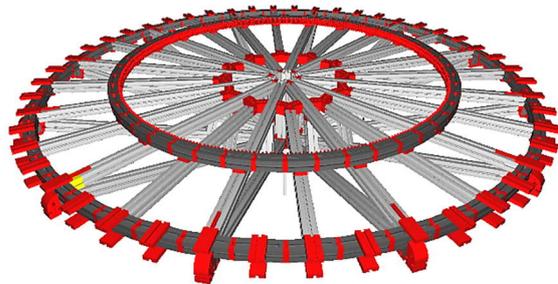


Abb. 14: Auch die Seilscheibe lässt sich sauber im fischertechnik-Designer konstruieren. Die über 700 Bauteile ergeben ein Rad mit ca. 80 cm Durchmesser, welches später eine Zugkraft von etwa 500 N aufnehmen muss. Dazu ist es überwiegend aus Alu hergestellt (mehr dazu im 2. Teil über das Projekt)

Da wir alle Elemente unseres Modells im fischertechnik-Designer dokumentieren, benutzen wir diesen häufig und intensiv. Michael hat daher einige unserer Feature-Requests aufgenommen und umgesetzt und glänzt immer wieder mit neuen Versionen.

Wer die Software noch nicht kennen sollte – meine (Tilo) Empfehlung!

BUGA 23

Ich komme aus Mannheim („mein Herz schlägt im Quadrate-Takt“). So freue ich mich auf die Bundesgartenschau, die 2023 in zwei Parkanlagen stattfinden wird. Noch mehr freut mich, dass diese Parks mit einer Seilbahn verbunden werden. Ganz riesig freut mich, dass diese Seilbahnanlage von Doppelmayr gebaut wird. Denn davon profitiert unser Projekt mächtig.

- Wir haben ein Vorbild en nature, das wir in unserem Modell umsetzen können. Hierfür erhalten wir früh Einsicht in Baupläne und Architektur und gestalten die Seilbahn entsprechend.
- Ein so großes Modell einer Anlage könnte auch auf der BUGA 23 ausgestellt werden. Dank Doppelmayr werden wir versuchen, dies zu realisieren – entsprechende Dekoration und Information zur Seilbahn inbegriffen.
- In dieser Ausstellung können die fischertechnik-Werke, das Erlebnismuseum Fördertechnik und die ft-Community sich präsentieren, ein „Return on Investment“ für alle Beteiligten.
- Während des Baus der original Seilbahn dürfen wir ab und zu dabei sein, um dies zu dokumentieren. Daraus entsteht später ein Film, der Original und Modell Seite an Seite zeigt.

Nach der BUGA wird die Anlage dann (s. o.) ins Museum transportiert.

Gigantismus

Zusammen mit diesen Partnern und Randparametern ist es nun möglich, alle Grenzen des privaten Modellbaus zu sprengen. Die Festlegung der technischen Maße der Anlage zeigt, dass es ein gigantisches Vorhaben wird.

Klar wird, dass die Teile nur dank der Sponsoren beschafft werden können. Dank des Museums ist ein Bauplatz vorhanden,

der trocken, warm, beleuchtet und groß genug ist und uns kostenfrei über mehrere Jahre Bauzeit zur Verfügung steht. Dank der Firma fischertechnik und guter Preisunterstützung können wir uns das Ganze leisten und bekommen die Bauteile direkt ins Museum geliefert. Dank der hellen Köpfe aus der Community lösen wir die technischen Modell-Probleme, dank des fischertechnik-Designers auch remote. Und dank des guten Kontakts zum Seilbahnhersteller und den dortigen Ingenieuren erhalten wir einmalige Einsichten in die Technik, die begeistert.

Letzteres ist mein (Tilo) persönlicher Antrieb dabei: Ich möchte Technik verstehen und hinter die Kulissen schauen. Ein Besuch unseres Modellbauer-Teams im Werk von Doppelmayr in Österreich ist geplant, sobald die Grenzen offen sind. Dort die Herstellung einer Seilbahn zu sehen und in Mannheim beim Bau der Anlage dabei sein zu können, die wir letztlich nachbilden, ist etwas, das man nicht jeden Tag erleben kann – und wenn, dann auch nur mit guten Beziehungen. Auf der BUGA Aussteller zu sein, mit dem Modell durch die Gegend zu ziehen und Menschen, Jung und Alt für (fischer-)Technik zu begeistern macht mir Spaß.

Große Ausdauer

Auch für uns Modellbauer wird dieses Projekt eine Herausforderung. Nicht nur die technischen Feinheiten, die es zu lösen gibt, die gigantischen Kräfte und Dimensionen, mit denen wir hantieren, sondern auch die Logistik der Teile und des fertigen Modells wird uns auf lange Zeit fordern. Bei dem gigantischen Budget, das es verantwortungsvoll zu verwalten gilt, und der Koordination der Helfer sowie anderer Beteiligter über Ländergrenzen hinweg ist es nötig, tief in die Kiste des professionellen Projektmanagements zu greifen. Gut, dass ich das beruflich schon machen durfte – da ist das eigent-

liche Zusammenschieben der Bausteine geradezu meditativ entspannend im Vergleich.

Doch so, wie unser Modell lange brauchen wird, bis die Technik funktioniert und es schließlich 2023 ausgestellt wird, werden wir mit Artikeln in der ft:pedia und Filmen auf YouTube fortwährend berichten. Die Fotos und Videos sowie die ftm-Dateien in unserem Mediapool [9] sind öffentlich zugänglich und werden beinahe tagesaktuell ergänzt.

In der nächsten ft:pedia zeigen wir die ersten Prototypen und stellen den Bauplatz im Museum vor. Wir erklären die Grundlagen einer Seilbahn und was dieses Modell so gigantisch werden lässt.

Quellen

- [1] Seilbahnprojekte im [Bilderpool](#) der ftc.
- [2] Michael Sengstschmid: *Sessellift Mirose*. Im [Bilderpool](#) der ftc.
- [3] Ralf Geerken: *Bowdenzug*. [ft:pedia 1/2017](#), S. 13–16.
- [4] [Erlebnismuseum Fördertechnik Sinsheim](#)
- [5] *Community-Projekt: Seilbahn* im fischertechnik-[Forum](#).
- [6] [Doppelmayr Garaventa](#)
- [7] [fischertechnik-Designer](#) von Michael Samek:
- [8] *Kuppelbare Doppelmayr Seilbahn*: Projektwebsite im [Bilderpool](#) der ftc.
- [9] Öffentlicher Mediapool des Seilbahnprojekts auf [Google Drive](#)
- [10] Kontakt zur Projektgruppe „Seilbahn“: Projektleiter Tilo Rust, Schifferstadt (ft.seilbahn@gmail.com) sowie auf [YouTube](#).

Fahrzeugtechnik

Mecanum-Räder und Omniwheels

Dirk Fox

Wie konstruiert man einen mobilen Roboter, der sich omnidirektional – also in alle Richtungen – bewegen kann? Eine Antwort darauf sind Mecanum-Räder und Omniwheels. Wie genau funktionieren die – und wie baut man sie mit fischertechnik?

Omnidirektionale mobile Roboter

Autonome mobile Roboter operieren häufig unter beengten Verhältnissen oder müssen sehr präzise bewegt und positioniert werden. Dafür sind „klassische“ Vierradantriebe oft ungeeignet, da sie platz- und zeitaufwändige Rangierbewegungen erfordern. Mobile Roboter werden daher entweder auf Schienen gesetzt – damit spart man sich Lenkbewegungen – oder aber mit einem Raupenantrieb ausgestattet bzw. mit zwei Antriebs- und einem Stützrad versehen. Raupen und Dreiräder können auf der Stelle drehen.

Es gibt jedoch zwei elegante Alternativen, bei denen nicht der Antrieb, sondern der Aufbau der Räder verändert wird: Mit Mecanum-Rädern oder Omniwheels kann ein Roboter nicht nur auf der Stelle drehen, sondern sich unmittelbar in alle Richtungen bewegen.

Beide Radkonstruktionen stammen aus den frühen 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts und kommen heute bei vielen Industrie-Robotern zum Einsatz, z. B. bei Gabelstaplern oder Lasttransportern, sowie im Boden von Frachtflugzeugen, um das Positionieren der Ladung zu erleichtern. Auch Rollstühle mit Motorantrieb werden mit Mecanum-Rädern extrem wendig und lassen sich auch noch in schmalen Gängen navigieren.

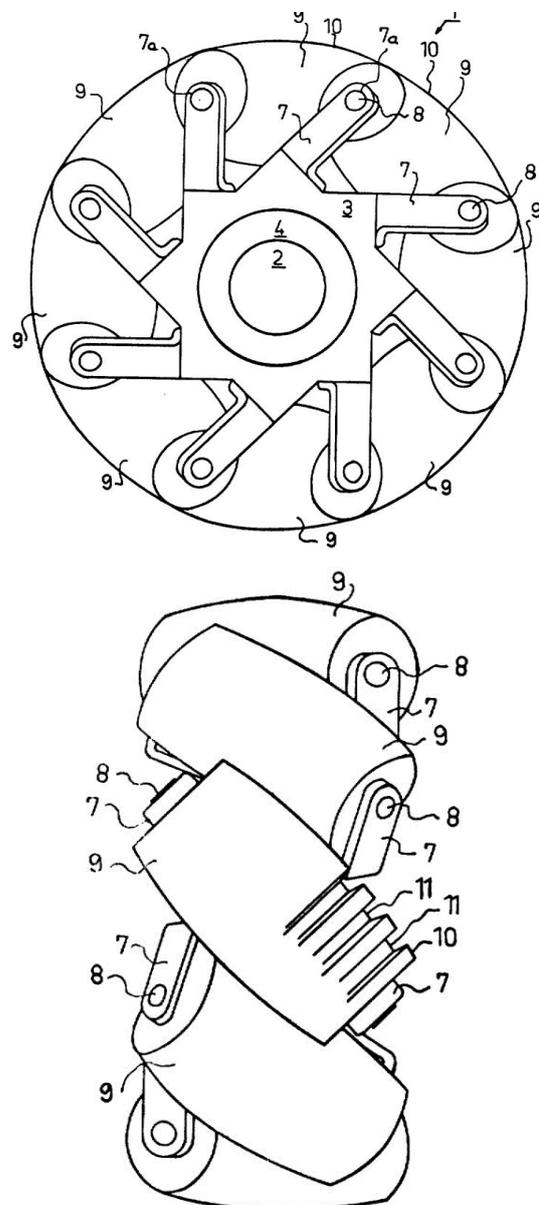


Abb. 1: Mecanum-Rad von B.E. Ilon (Patentschrift 1975) [1]

Das Mecanum-Rad

Die Bezeichnung „Mecanum-Rad“ geht auf den Namen des Unternehmens seines Erfinders zurück, des schwedischen Ingenieurs *Bengt Erlan Ilon* (1923-2008), der diese Konstruktion am 13.11.1972 als US-Patent einreichte. Veröffentlicht wurde das Patent am 08.04.1975 [1].

Die Lauffläche eines Mecanum-Rads besteht aus im 45° -Winkel angeordneten Rollen (Abb. 1, 2).



Abb. 2: Mecanum-Rad

(Foto: Imetron GmbH, [CC-BY SA 3.0](#))

Damit der Roboter sich omnidirektional, also in alle Richtungen bewegen kann, benötigen wir ein Fahrwerk mit Vierradantrieb, dessen Antriebsachsen unabhängig angesteuert werden können.

Die vier Mecanum-Räder werden so montiert, dass die Achsen der Rollen jeweils im 90° -Winkel zu den Achsen der Rollen der beiden benachbarten Räder stehen. Alle Achsen weisen dabei zum Mittelpunkt des Fahrzeugs. Abb. 3 zeigt die Anordnung der Räder schematisch. Dafür benötigen wir zwei verschiedene Räder: zwei, in denen die Rollen von links unten nach rechts oben

und zwei, in denen die Rollen von rechts unten nach links oben weisen.

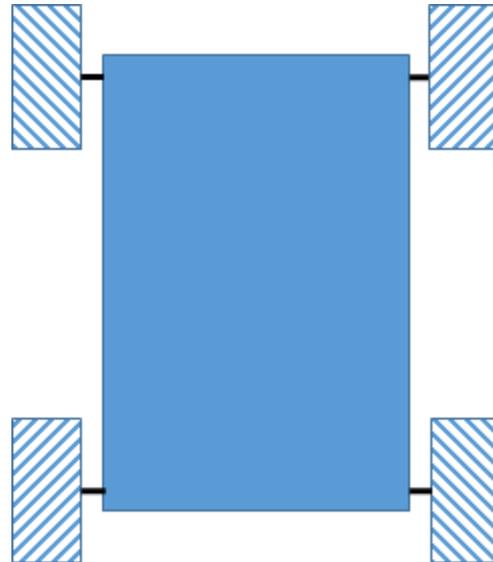


Abb. 3: Anordnung der Mecanum-Räder

Für die Bewegung des Fahrzeugs lassen sich sechs verschiedene Antriebsvarianten unterscheiden (Abb. 4):

- Vorwärts-/Rückwärtsfahrt: Alle Räder drehen sich nach vorne bzw. nach hinten
- Seitwärtsfahrt: Alle benachbarten Räder drehen sich gegensinnig, also diagonal gleichsinnig. Je nach Drehrichtung fährt der Roboter nach links oder rechts.
- Diagonal-/Schrägfahrt: Wie die Vorwärts-/Rückwärtsfahrt, jedoch drehen sich jeweils zwei diagonale Räder nicht oder langsamer.
- Kurvenfahrt: Wie Vorwärts-/Rückwärtsfahrt, jedoch drehen die beiden linken oder rechten Räder nicht oder langsamer.
- Drehung um Achsmittelpunkt: Die vorderen oder hinteren Räder stehen still, das andere Räderpaar dreht sich gegensinnig.
- Drehung um Robotermittelpunkt: Die linken (bzw. rechten) Räder drehen sich vorwärts, die jeweils anderen rückwärts.

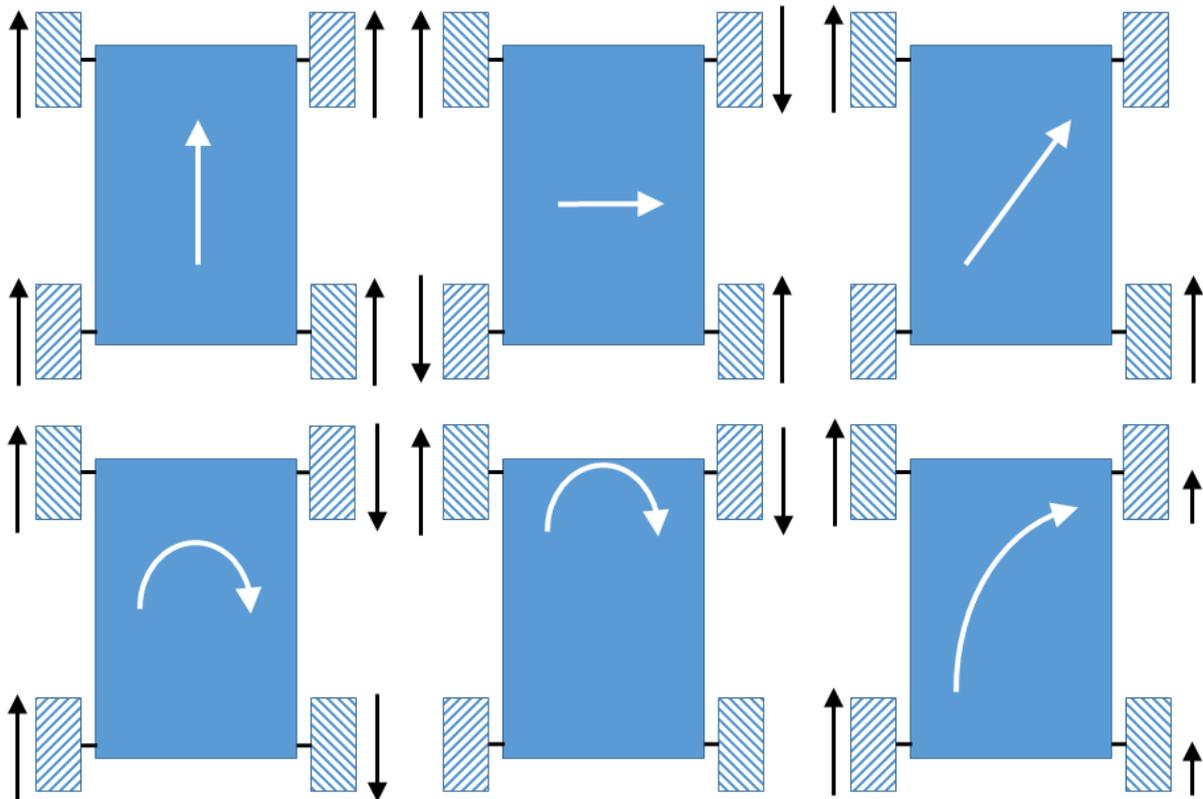


Abb. 4: Antriebsvarianten eines Fahrzeugs mit Mecanum-Rädern

Mecanum-Räder lassen sich auch mit fischertechnik konstruieren. Die erste solche Konstruktion stammt von Frederik aus dem Jahr 2012 [2] (Abb. 5).



Abb. 5: Mecanum-Rad aus fischertechnik mit Seilrollen (Foto: Fredy, 2012)

Der 45°-Winkel wird durch je einen Winkelstein 30 und einen Winkelstein 15 gebildet. Als Rollen verwendet die Konstruktion die fischertechnik-Seilrollen. Der Lauf wird etwas ruhiger, wenn man eine zweite Drehscheibe 60 und mehrere Seilrollen (Abb. 6) verwendet.



Abb. 6: Mecanum-Rad mit zwei Drehscheiben 60 (2014)

Die Auflagefläche der Rollen lässt sich auch durch die Verwendung von V-Rädern 23 ([36581](#)) anstelle der Seilrollen vergrößern (Abb. 7, 8).



Abb. 7: fischertechnik-Mecanum-Rad mit V-Rädern 23 (2020)



Abb. 8: 45°-Montage der V-Räder 23

Beide Varianten haben allerdings den Nachteil, dass die Winkelsteine die Achse seitlich verschieben und die Räder in der Folge mit der Lauffläche nicht ganz exakt im richtigen Winkel aufliegen. Von Thomas Püttmann stammt eine präzisere Konstruktion mit sechs V-Rädern 14 ([36573](#)) (Abb. 9). Hier liegen die Räder im richtigen Winkel; aber auch diese Räder „hoppeln“ wie Räder aus regelmäßigen Sechsecken.



Abb. 9: Mecanum-Rad mit exakter 45°-Lage der Rollenachsen (2021)

Die 3D-Druck-Variante von Richard (Abb. 10) bietet Achslager für ebenfalls sechs Rollen als Aufsatz auf einer Drehscheibe 60; durch den kleineren Umfang des Rads und den größeren Durchmesser der Seilrollen hoppelt das Rad nicht ganz so stark.



Abb. 10: 3D-Druck-Lager für ein Mecanum-Rad von Richard ([CC BY-NC-SA 4.0](#))

Viele Mecanum-Räder verwenden mehr als sechs Rollen, da die Bewegung des Fahrzeugs mit jeder weiteren Rolle gleichmäßiger wird.

Inzwischen gibt es auch ein Mecanum-Rad von fischertechnik (Abb. 11), das Mitte 2021 in den Handel kommt. Es hat die Besonderheit, dass die Achsen entnommen und um 90° gedreht eingesetzt werden können – daher genügt eine Radkonstruktion

für beide Laufrichtungen. Das Rad verfügt über acht Rollen und rollt damit nicht ganz so holprig ab wie die oben gezeigten Konstruktionen.



Abb. 11: fischertechnik-Mecanum-Rad (2021)

Montiert werden die Räder so, dass die Achsen der Rollen zur Fahrzeugmitte zeigen (Abb. 12).

Eine Geradeausfahrt des Roboters erreichen wir, indem wir alle vier Räder nach vorne, für eine Rückwärtsfahrt nach hinten drehen lassen (siehe Abb. 4). Lassen wir die beiden nebeneinander liegenden Motoren gegenläufig drehen, bewegt sich das Fahrwerk nach links bzw. rechts. Über die Geschwindigkeit der einzelnen Antriebsmotoren kann jeder Bewegungswinkel eingestellt werden.

Wenn die beiden linken Räder in eine und die beiden rechten in die entgegengesetzte Richtung angetrieben werden, dreht das Fahrzeug auf der Stelle.



Abb. 12: fischertechnik-Fahrzeug mit montierten Mecanum-Rädern (Rollen stehen im 90°-Winkel zu den Rollen der jeweils benachbarten Räder, Rollenachsen „zeigen“ zur Fahrzeugmitte)

Das Omniwheel

Ein dem Mecanum-Rad sehr ähnliches Konzept, bei dem die Laufflächen der Räder durch orthogonal zur Laufrichtung ausgerichtete Rollen ersetzt werden, wurde sechs Monate zuvor, am 17.04.1972, von *Josef F. Blumrich* (1913-2002), einem Mitarbeiter der NASA, als „Omniwheel“ zum Patent eingereicht [3] (Abb. 13).

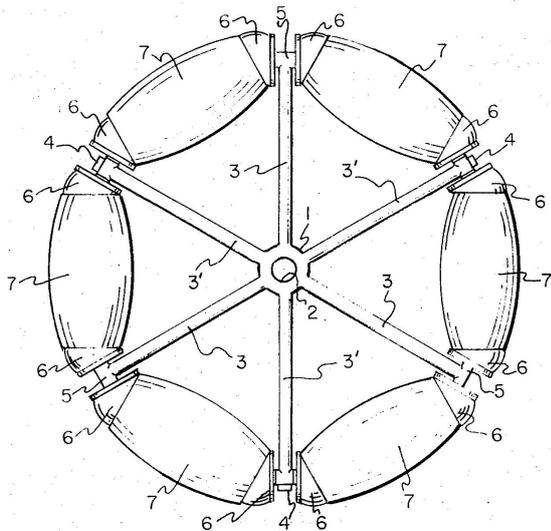


Abb. 13: Omniwheel von J.F. Blumrich (Patentschrift 1974) [3]



Abb. 14: Omniwheel (Wikipedia, [CC BY 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/))

Tatsächlich ist das Omniwheel noch sehr viel älter: Bereits am 03.06.1919 hatte *Joseph Grabowiecki* aus Detroit für sein „Vehicle Wheel“ (Abb. 15) ein US-Patent erhalten [4]. Seine Idee geriet jedoch wieder in Vergessenheit.

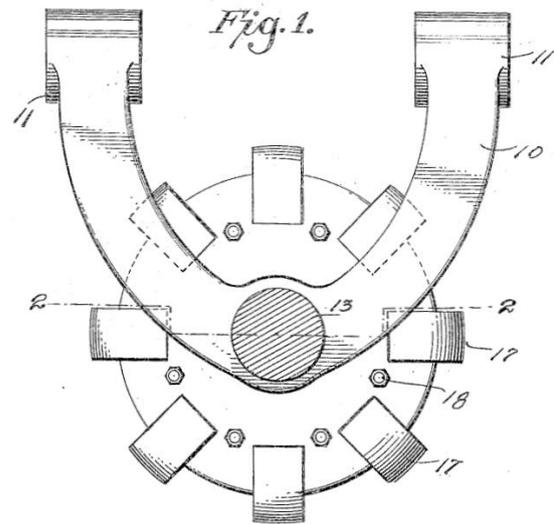


Abb. 15: Omniwheel von J. Grabowiecki (Patentschrift 1919) [4]

Omniwheels (oder „Allseitenräder“) werden üblicherweise nicht an den äußeren Ecken eines Fahrzeugs, sondern seitlich so montiert, dass die Antriebsachsen zur Mitte zeigen.

Wie bei Mecanum-Rädern wird jedes Rad von einem Motor angetrieben. Die Fahrtrichtung lässt sich über Geschwindigkeit und Drehrichtung der Motoren steuern (Abb. 16). Steht ein Rad still, rollt es widerstandslos in Achsrichtung.

Dabei erkennt man, dass die Geradeaus- oder Seitwärtsfahrt im Unterschied zu Mecanum-Rädern nur mit zwei der vier Motoren erfolgt; sie müssen daher entsprechend stärker ausgelegt sein. Tatsächlich genügen sogar drei Omniwheels, um einen Roboter in jede gewünschte Richtung fahren zu lassen.

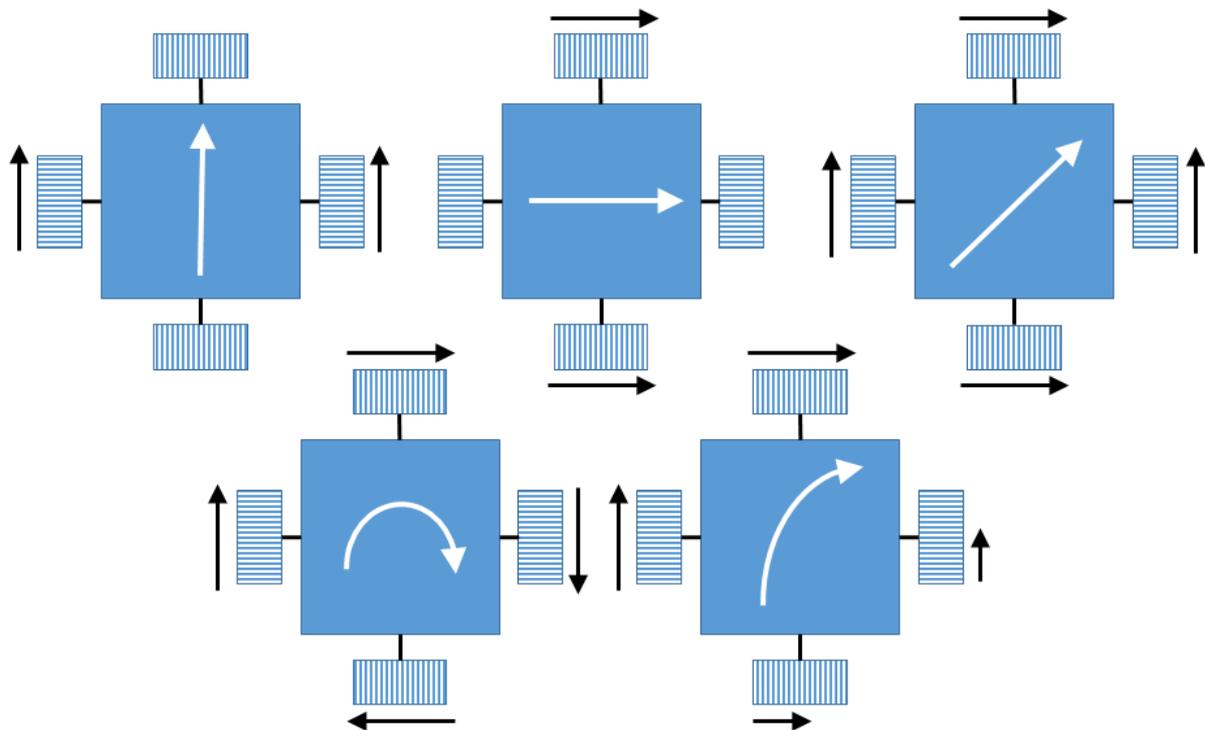


Abb. 16: Antriebsvarianten eines Fahrzeugs mit Omniwheels

Auch Omniwheels lassen sich mit Standard-fischertechnik-Bauteilen konstruieren. Holprig, aber funktionsfähig ist zum Beispiel das in Abb. 17 gezeigte, das wie ein dreieckiges Rad „abrollt“.



Abb. 17: Omniwheel, sechs V-Räder 23 (2020)

Schon etwas bessere Laufeigenschaften hat das Omniwheel aus Abb. 18 mit sechs V-Rädern 14.



Abb. 18: Omniwheel, sechs V-Räder 14 (2020)

Die Konstruktion von Thomas Püttmann mit 12 V-Rädern 14 (Abb. 19) fährt trotz des größeren Radumfangs gleichmäßiger; tauscht man die V-Räder gegen Seilrollen, wird die Steuerung präziser (Abb. 20). Ganz ähnliche Omniwheels hatte schon 2009 pcom konstruiert und sein mit einem Arduino angetriebenes Fahrzeug gefilmt [5]. 2011 baute Julián Dávila ein vergleichbares Fahrzeug und filmte es ebenfalls [6].



Abb. 19: Omniwheel, 12 V-Räder 14 (2021,
Foto: Thomas Püttmann)



Abb. 20: Omniwheel, 12 Seilrollen (2021,
Foto: Thomas Püttmann)

Die kroatische Firma Didacta Advance bietet seit 2020 ein (3D-gedrucktes) Omniwheel mit sechs breiten Rollen an, das auf fischertechnik-Naben montiert wird (Abb. 21) [7].



Abb. 21: Omniwheel von Didacta Advance [7]

In zwei Youtube-Videos von Želimir Bistrović wird die Ansteuerung eines fischertechnik-Fahrzeugs mit drei bzw. vier Omniwheels demonstriert [8]. Ein dreirädriges Fahrzeug mit einer Bluetooth-Steuerung hat auch Lars konstruiert und gefilmt [9].

Auf die 4-mm-fischertechnik-Achsen passende Omniwheels gibt es zahlreich – und mit ihnen lassen sich nicht nur Fahrzeuge konstruieren, wie Willem Evert Nijenhuis schon 2014 mit seinem Ball-Balancier-Roboter gezeigt hat (Abb. 22) [10].

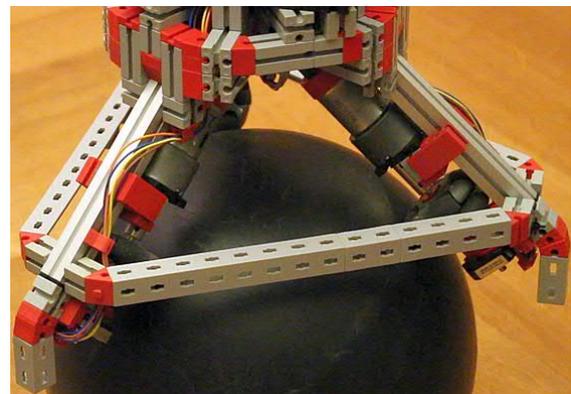


Abb. 22: Ball-Balancier-Roboter
von Willem Nijenhuis (2014,
Foto: Willem Nijenhuis) [10]

Fazit

Mecanum-Räder und Omniwheels sind eine Bereicherung des fischertechnik-Systems, die eine Vielzahl interessanter Konstruktionen im Roboterbau ermöglichen. Zwar werden die Roboter durch die benötigten vier Motoren deutlich schwerer und verbrauchen näherungsweise die doppelte Energie eines einfachen Zwei-Motor-Roboters, dafür gewinnt der Roboter erheblich an Wendigkeit.

Mit den neuen, mit rund 40g vergleichsweise leichten Mecanum-Rädern von fischertechnik ist man dabei zukünftig auch nicht mehr auf „holprige“ Eigenkonstruktionen oder „gewichtige“ Fremdteile angewiesen.

Referenzen

- [1] Bengt Erland Ilon: [*Wheels for a course stable selfpropelling vehicle movable in any desired direction on the ground or some other base*](#). United States Patent No. 3,876,255, 08.04.1975.
- [2] ftcfredy: [*fischertechnik Mecanum-Rad Roboter Version 1*](#). Video, Youtube.com
- [3] Josef F. Blumrich: [*Omnidirectional Wheel*](#). United States Patent No. 3,789,947, 05.02.1974.
- [4] Joseph Grabowiecki: [*Vehicle Wheel*](#). United States Patent No. 1,305,535, 03.06.1919.
- [5] pcom: [*Omnidirectional Wheels 3*](#), 30.09.2009 und [*Triangle manual 2*](#), 20.12.2009, Videos, Youtube.com
- [6] Julián Dávila: [*Omniwheels Fischertechnik V4*](#), 30.11.2011, Video, Youtube.com
- [7] Didacta Advance: [*Omniwheel*](#).
- [8] Želimir Bistović: [*Omni quad model with S motors*](#), 30.04.2020. [*Model with three omni wheels*](#), 05.05.2020. Videos, Youtube.com
- [9] Lars: [*fischertechnik Omniwheel Roboter mit BT-Fernsteuerung \(ftDuo\)*](#). 19.02.2021, Video, Youtube.com
- [10] Willem Evert Nijenhuis: [*Fischertechnik Robot Balancing on a Ball*](#), 18.01.2014, Video, Youtube.com

Schaltungstechnik

Motorsteuerungen (7): Weinbergbahn-Schaltung mit Relais

Stefan Falk

Zur Weinbergbahn aus ft:pedia 3/2018 [1] entwickeln wir hier eine Schaltung mit derselben Funktion, die aber anstatt Elektronik zwei Relais verwendet.

Die Weinbergbahn ([1], Abb. 1) bestand aus einer (im Original durch einen Weinberg) geschlängelten Bahn, auf der ein Wagen mit Arbeitern und Material hoch und runterfahren konnte.

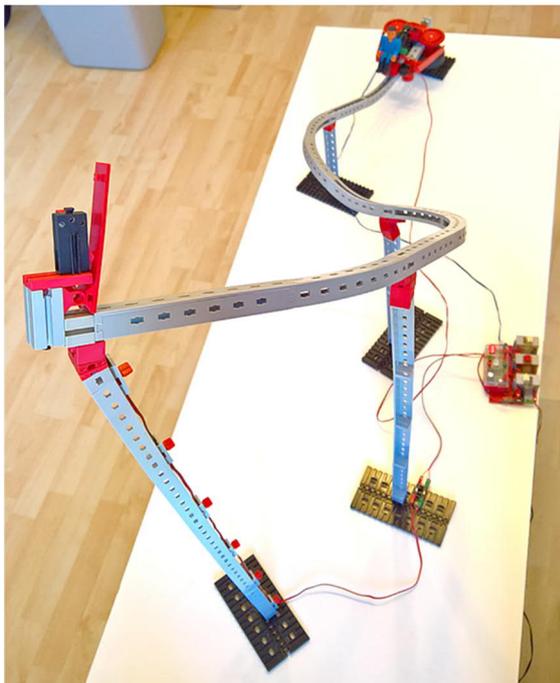


Abb. 1: Die Weinbergbahn [1]

Die Schaltung des Modells erlaubte eine „Einmal-Fahrt“ auf Druck eines Tasters – die Bahn fuhr einmal hoch, kehrte oben um und blieb in der Talstation stehen – und über einen Schalter wählbar auch die Dauerfahrt – immerzu hoch und wieder runter.

Diese Schaltung war mit einem fischertechnik-E-Tec-Modul realisiert. Im fischertechnik-Forum wurde nach der Schaltung mit einem neueren Electronics-Modul gefragt. Die ist funktional identisch und wurde in einem Video [3] dokumentiert. Dabei klang auch eine Anregung an, die Steuerung nur mit Relais aufzubauen.

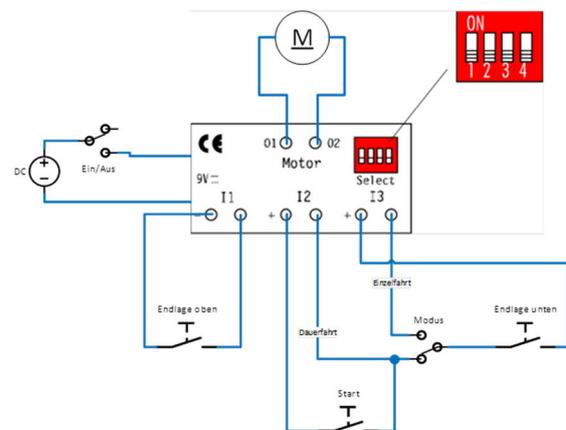


Abb. 2: Schaltung mit E-Tec-Modul

Also bitte schön: Entwickeln wir eine Relais-Schaltung, die dieselbe Funktion bietet!

Schritt 1: Das Relais als Polwender

Ähnlich wie die Polwendeschalter von fischertechnik [4] und ähnlich wie man es mit zwei Tastern kann [5], kann auch ein Relais so verschaltet werden, dass es die Polung eines Motors umschaltet, je nachdem, ob es gerade angezogen oder abgefallen ist:

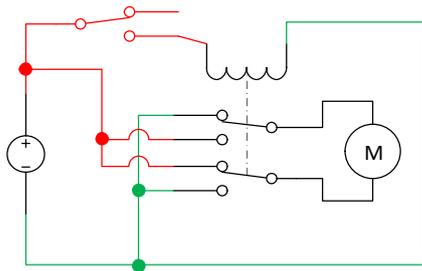


Abb. 3: Relais als Polwender geschaltet

Der Motor läuft in dieser Schaltung immer, aber die Drehrichtung hängt davon ab, ob das Relais über den Taster Strom bekommt oder nicht.

Als Relais können jedes beliebige fischertechnik-Relais und geeignete nicht-fischertechnik-Relais verwendet werden. Wer keines hat, aber einen fischertechnik-Elektromagneten besitzt, kann auch eines aus Standardteilen selbst bauen [6].

Schritt 2: Selbsthalten und freigeben mit zwei Tastern

Die Weinbergbahn aus [1] – oder ein Aufzug, Schrägaufzug, was auch immer man steuern möchte – hat zwei Endlagen, namentlich die Tal- und Bergstation. Bei jeder befindet sich ein Endlagen-Taster. Eine Relais-Schaltung mit „Selbsthaltung“ hatten wir in [6] bereits besprochen:

Der in Abb. 6 rechts oben eingezeichnete Endlagentaster (nennen wir ihn schon mal „Talstation“) schaltet das Relais ein. Über den Arbeitskontakt des Relais und den als Öffner verschalteten zweiten Taster („Bergstation“) versorgt es sich danach aber selbst mit Strom. Es bleibt also angezogen, auch wenn der Taster der Talstation losgelassen wurde. Sobald aber der Taster der Bergstation betätigt wird, unterbricht dieser die Stromzufuhr zum Relais, sodass es wieder abfällt.

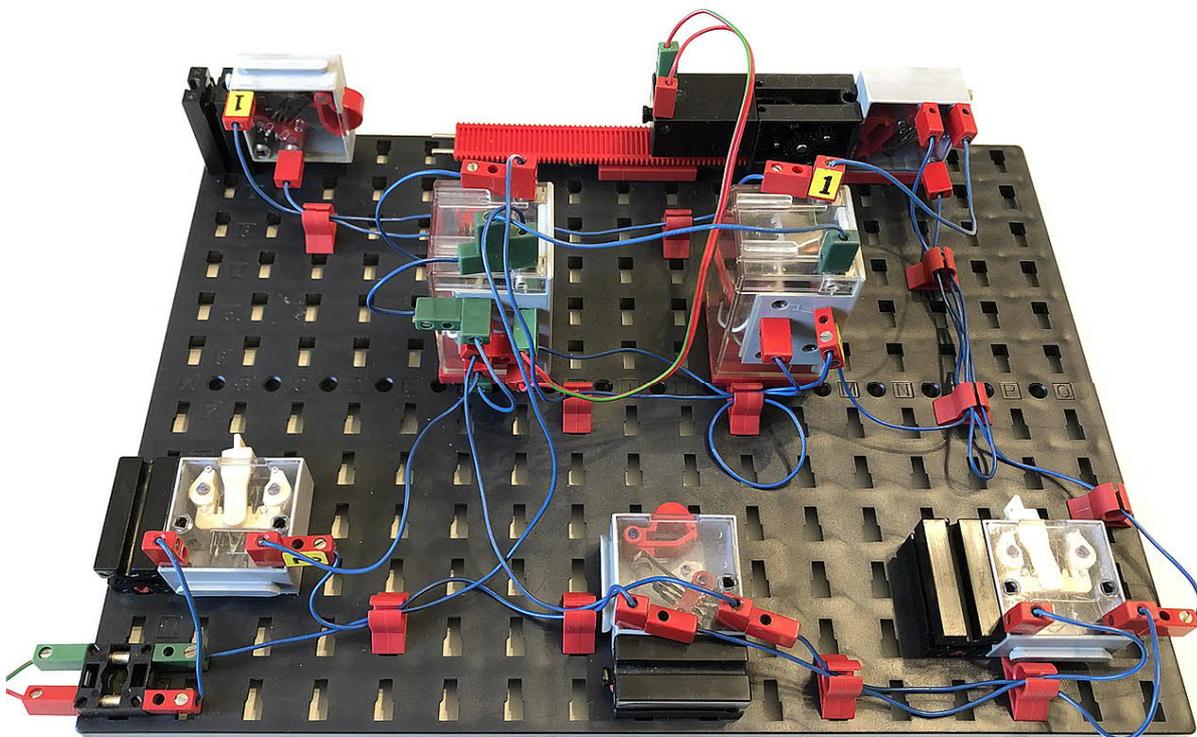


Abb. 4: Der komplette Testaufbau – oben links die Bergstation, rechts die Talstation, unten von links nach rechts Ein-/Ausschalter, Start-Taster und Modus-Schalter (nach links Einzelfahrt, nach rechts Dauerbetrieb)

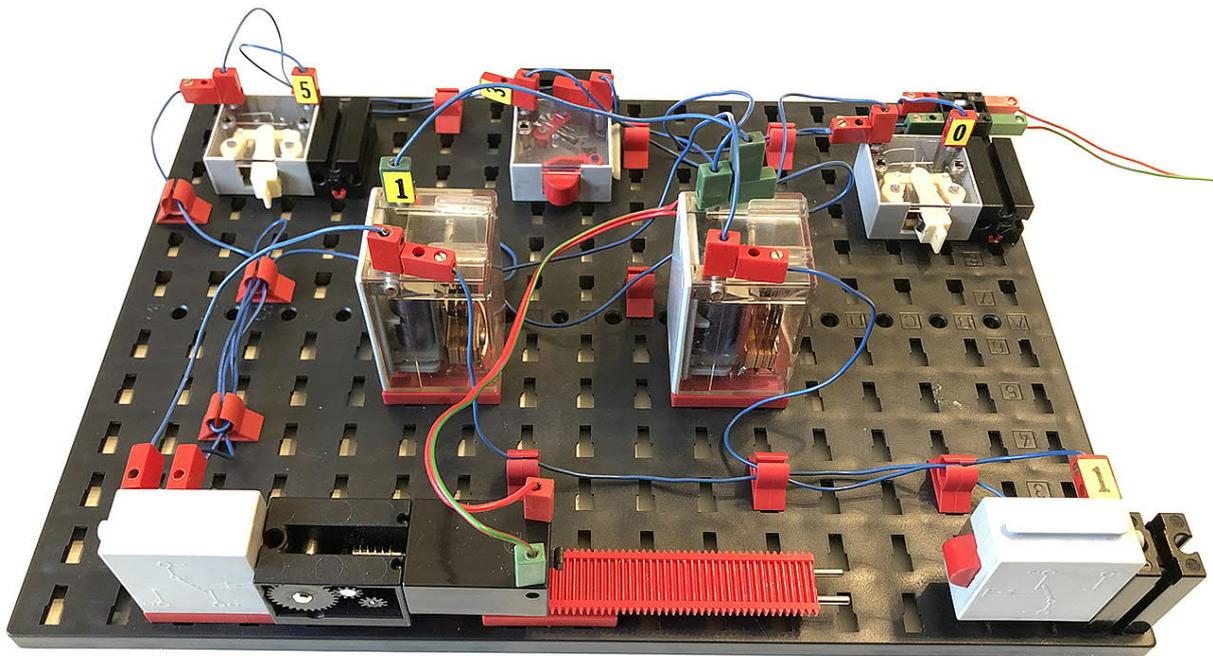


Abb. 5: Ansicht von der Motorseite aus

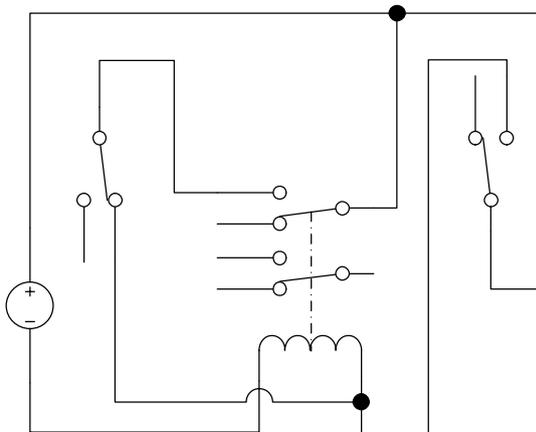


Abb. 6: Relais mit Selbsthaltung und -sperrung

Der rechte Taster schaltet das Relais also ein (und es bleibt eingeschaltet), der linke schaltet es aus (und es bleibt ausgeschaltet).

Schritt 3: Kombination von Umpolung und Selbsthaltung

Nun kombinieren wir die Schaltungen 3 und 4, sodass das Relais mit Selbsthaltung die Umpolung des Motors steuert (Abb. 7). Die blau eingezeichnete Verbindung bewirkt

die Weitergabe des Signals des Selbsthaltungs-Relais ans Umpol-Relais.

Schritt 4: Modussteuerung

Für die vollständige Funktionalität fehlen uns noch drei Eigenschaften:

- Wir benötigen eine Möglichkeit zum Anhalten (anstatt einfach nur Umpolen) in der Talstation.
- Ein Taster soll bei Halt in der Talstation eine komplette Fahrt (zur Bergstation, dort Umpolen und wieder zurück zur Talstation) anstoßen.
- Ein Modus-Schalter soll die Anlage auf den Dauerbetrieb stellen können, um wieder die ständige Fahrt mit Umpolen an beiden Endlagen zu erhalten.

Nur der in der Schaltung rechte Endlagentaster (der der Talstation) muss dazu noch anders wirken können. Zu diesem Zweck führen wir drei Änderungen an der Schaltung durch:

1. Die in Abb. 7 rot eingezeichnete Verbindung beim Umpol-Relais wird nicht direkt mit „+“ verbunden, sondern nur über

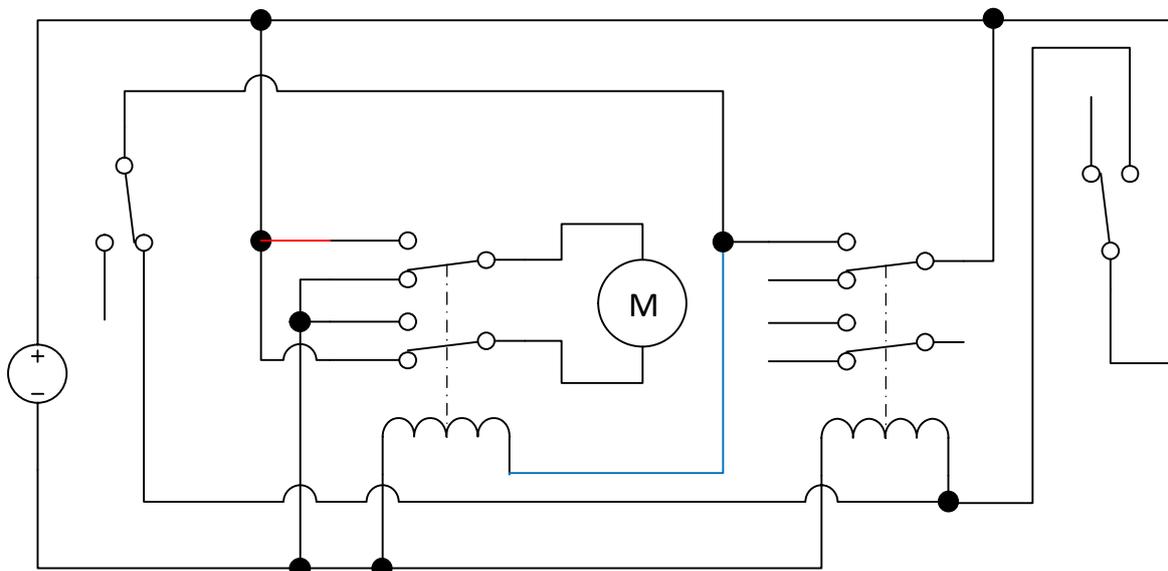


Abb. 7: Automatische Umpolung in den Endlagen

den Ruhekontakt des Talstation-Endlagentasters. Damit unterbrechen wir die Stromzufuhr in Talrichtung bei Erreichen der Talstation. Wohlgermerkt unterbrechen wir die Stromzufuhr nicht, wenn die Bergstation erreicht wurde. Dort soll der Motor ja weiterlaufen, nur eben zurück in Richtung Tal.

2. Damit man trotzdem eine Fahrt starten kann, wird ein Taster verwendet, um den im Tal unterbrochenen Ruhekontakt des dortigen Endlagentaster zu überbrücken.
3. Der Modusschalter schließlich wird einfach parallel zum Starttaster geschaltet. Er wirkt also in Stellung „Dauerfahrt“, wie wenn der Starttaster ständig gedrückt wäre und leitet bei Erreichen der Talstation sofort wieder die Bergfahrt ein.

Damit haben wir die komplette Funktionalität der E-Tec-Schaltung mit zwei Relais gebildet. Abb. 10 zeigt die vollständige Schaltung. Dem Fahrbetrieb steht jetzt nichts mehr im Wege. Ein Video findet sich unter [7].

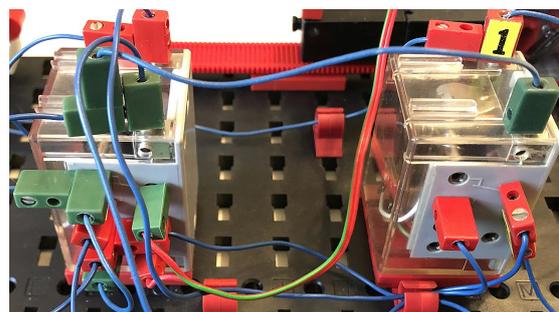


Abb. 8: em-5-Relais von der Anschlussseite

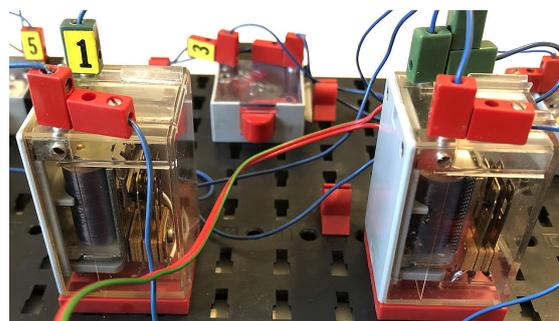


Abb. 9: Blick in die em-5-Relais

Quellen

- [1] Stefan Falk: *Weinbergbahn*. ft:pedia 3/2018, S. [25–32](#).
- [2] Wernerhmt: *Steuerung Weinbergbahn*. Im [ftc-Forum](#), 2019.

- [3] Stefan Falk: *fischertechnik: Weinbergbahn-Schaltung mit Electronics-Modul*. Auf [YouTube](#), 2020.
- [4] Stefan Falk: *Perlentauchen (Teil 3)*. ft:pedia 1/2013, S. [22–31](#).
- [5] Stefan Falk: *Motorsteuerungen (Teil 1)*. ft:pedia 1/2011, S. [4–8](#).
- [6] Stefan Falk: *Motorsteuerungen (Teil 4)*. ft:pedia 4/2011, S. [6–20](#).
- [7] Stefan Falk: *fischertechnik: Weinbergbahn-Schaltung mit Relais*. Auf [YouTube](#), 2021.

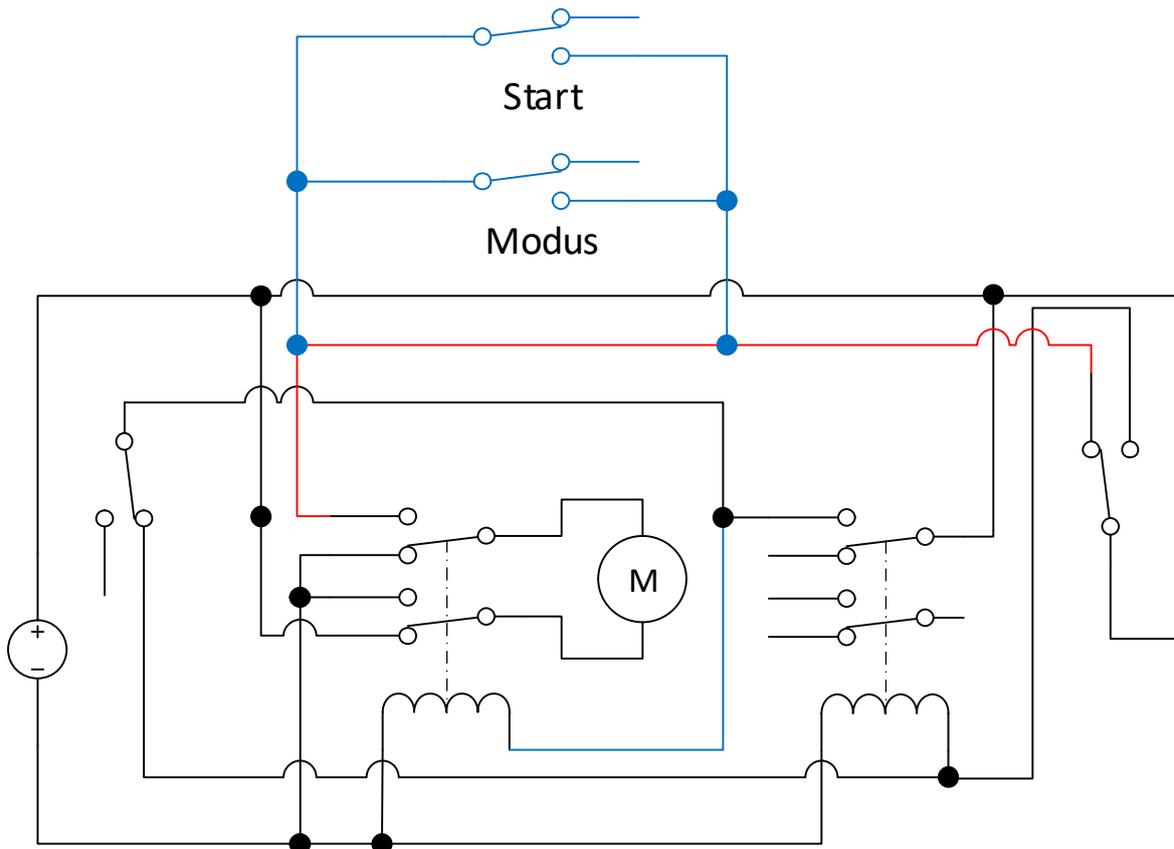


Abb. 10: Die vollständige Schaltung

Elektronik

Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 1)

Peter Krijnen

Was ist das, in einer Zeit von Smartphones und Apps, diese Vorliebe für die Silberlinge? Neu sind sie nicht mehr zu kaufen und über eBay werden sie wie Gold gehandelt. Obwohl es jetzt möglich ist, ein Modell mit einem Computer und Interfaces zu steuern, zieht die Nutzung der Silberlinge immer wieder an.

Ich lese regelmäßig im Forum, dass wieder jemand versucht, einen der Silberlinge nachzubauen. Normalerweise haben sie ein Problem mit etwas und stellen im Forum Fragen in der Hoffnung auf eine Antwort, die ihnen weiterhelfen könnte. Ich lese auch, dass auf die Dokumentation verwiesen wird, die ich einmal in den 1990er Jahren erstellt habe und die im Clubmagazin des Holland-Clubs abgedruckt wurde. Da ich herausgefunden habe, dass ich damals Fehler gemacht habe und es keine vollständige Dokumentation über die Silberlinge gibt, habe ich mich jetzt dazu entschlossen, das nachzuholen.

Geschichte

1971 kamen die Fischerwerke mit den elektronischen Modulen. hobby 4 enthielt einen Gleichrichter, ein Relais,

ein Mikrofon/Lautsprecher und ein Basismodul, den Elektronik-Grundbaustein. Anschließend wurden mehrere weitere Module freigegeben. 1973 wurde der u-t4 hinzugefügt. Die in diesem Schulkasten enthaltenen

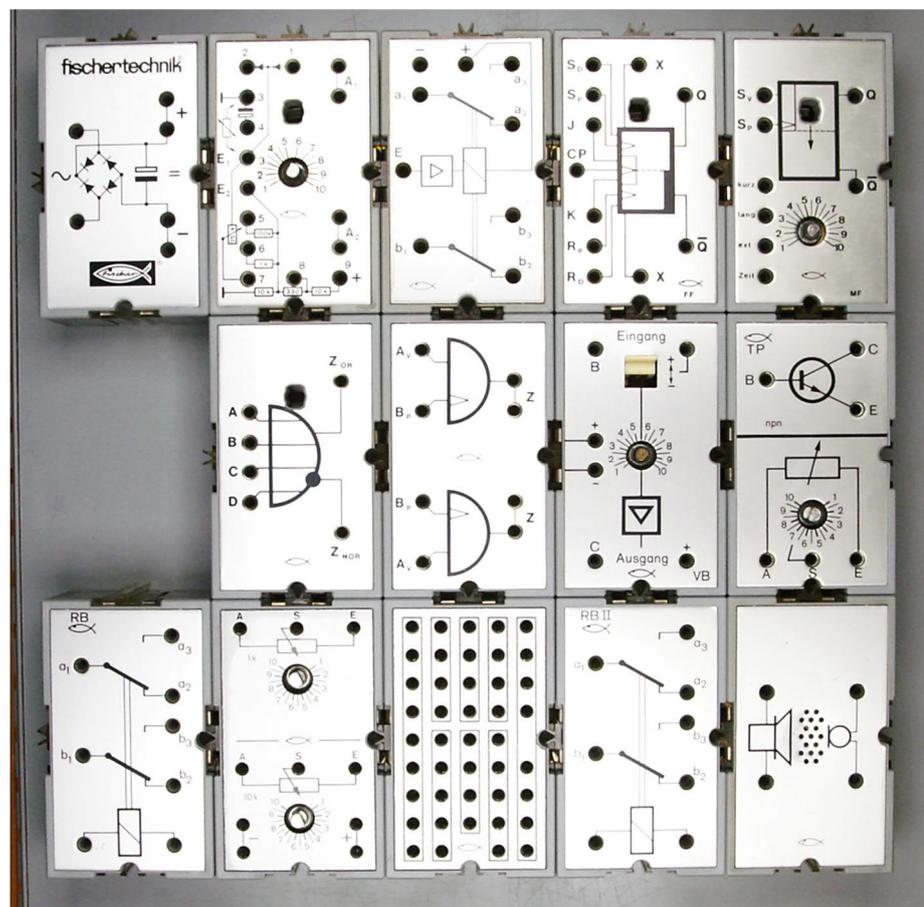


Abb. 1: Silberlinge

Module haben ungefähr die gleiche Funktion wie das Modul aus den zuvor auf dem Markt befindlichen Kästen l-e1 und l-e2. 1974 wurde auch das Hobby-Labor eingeführt, das zwei neue Module enthielt. 1977 verschwanden die hobby-Kästen wieder und wurden durch die ec- und em-Kästen ersetzt. Ab 1981 ist nur noch das Relais RB2 vom em10 übrig. Die Schulkästen enthalten bis 1989 noch ein Relais 2. In den vergangenen 18 Jahren wurden insgesamt 15 verschiedene Module hergestellt.

Dokumentation

Seit 1981 beschäftige ich mich mit dem Nachbau der Silberlinge. In diesem Jahr wurde ich in der Schule im Entwerfen, Entwickeln und Ätzen von Leiterplatten unterrichtet. Insbesondere der Grundbaustein und der Relaisbaustein hatten meine Aufmerksamkeit (Abb. 2, 3).

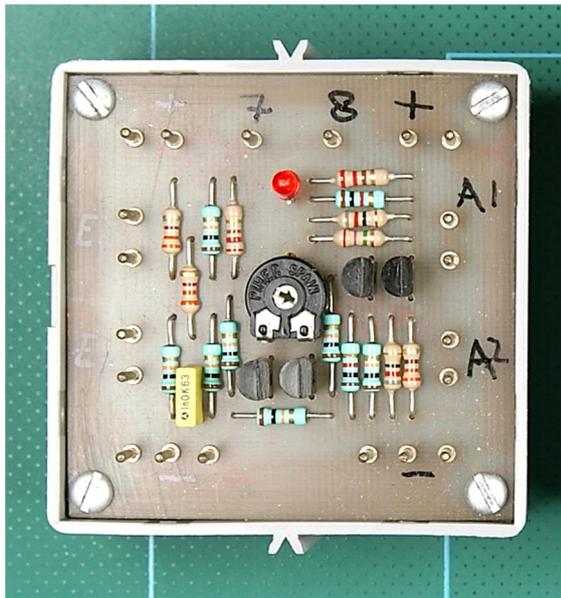


Abb. 2: Nachbau des h4G Grundbausteins

Es stellt sich heraus, dass ich nicht allein bin. In den letzten Jahren waren mehrere Personen mit dem Nachbau der Silberlinge beschäftigt. Wenn ich den in den verschiedenen Beiträgen angegebenen Links folge, stelle ich fest, dass in jedem sichtbaren Schaltbild ein Fehler vorliegt. Bei einem ist der Wert eines Potentiometers unterschiedlich oder falsch gezeichnet, und in einem

anderen Schaltbild ist ein Widerstand falsch. Wieder andere haben sich einfach an meine Zeichnungen gehalten – was immer noch die Fehler enthält, die ich selbst gemacht hatte.

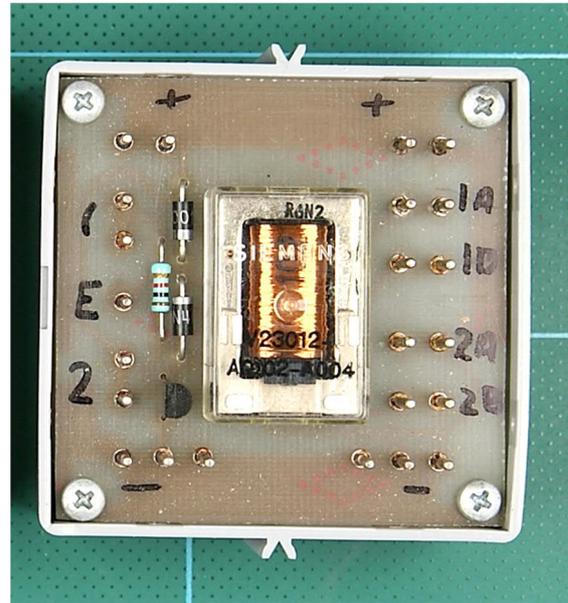


Abb. 3: Nachbau des h4RB Relais-Bausteins

Bei der Neudokumentation bin ich von den Diagrammen ausgegangen, die 2003 von Michael Becker gezeichnet wurden und auf ftcommunity.de zu finden sind. Ich nahm alle Module auseinander und entlötete die Leiterplatten. Dann habe ich die Kupferseite und die Komponentenanzordnung fotografiert. Ich habe auch Fotos von der Unterseite der Deckel und den Frontplatten gemacht. Auf dem Computer habe ich die Fotos von der Kupferseite gespiegelt. Dies machte es etwas einfacher, die Layouts zu zeichnen.

Vor dem Zeichnen der Leiterplatten habe ich zuerst die Schaltpläne neu gezeichnet. Ich mache das seit mindestens 20 Jahren mit *Eagle* [1], danach habe ich die Layouts gezeichnet. Beim Platzieren der Komponenten und Zeichnen der Leiterbahnen wurde schnell klar, wo die Fehler waren, die in den verschiedenen Schaltbildern zu finden sind.

Allgemeine Details

Die Gehäuse der 15 Module sind alle gleich. Es gibt jedoch fünf verschiedene Deckel. Die Potentiometer werden mit einer Mutter am Deckel festgeschraubt. Auf diese Mutter kann jedoch nicht mehr zugegriffen werden, da die Aluminiumfrontplatte auf den Deckel geklebt ist. Die Anschlussbuchsen sind im Deckel festgeklemmt und befinden sich in einem Raster von 8 mm · 12 mm. Für die beiden Module aus dem Hobby-Labor ist das Raster jedoch 7,5 mm · 7,5 mm.

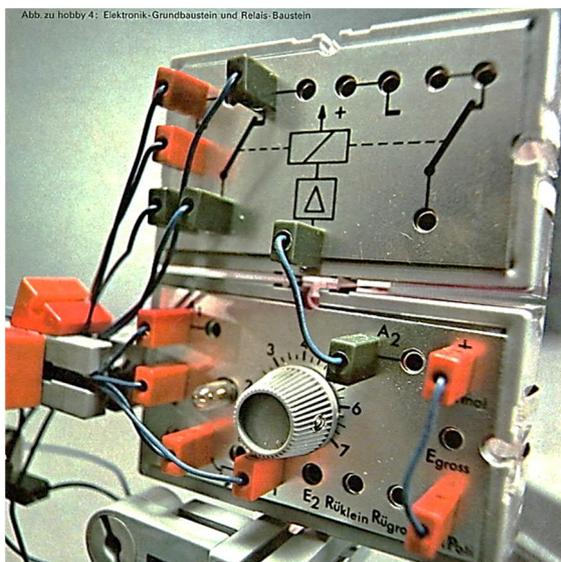


Abb. 4: Grund- und Relaisbaustein in einer Vorserien-Version

Ein Prospekt aus dem Jahr 1971 (Abb. 4) enthält ein Bild der „Ur“-Versionen des Grundbausteins und des Relaisbausteins. Wenn Sie sich die Beschriftungen dieser Module ansehen, sehen Sie, dass die Module ursprünglich „horizontal“ ausgerichtet sein sollten. Später wurde es „stehend“. Das Gehäuse sieht auch etwas anders aus. Alle Module haben an allen vier Seiten 2 Kontaktleisten für die Stromversorgung. Da nicht jedes Modul eine interne Nummer auf der Leiterplatte hat, habe ich den anderen Modulen selbst eine Nummer gegeben.

Besonderheiten der Module

0 h4 GB – Gleichrichterbaustein

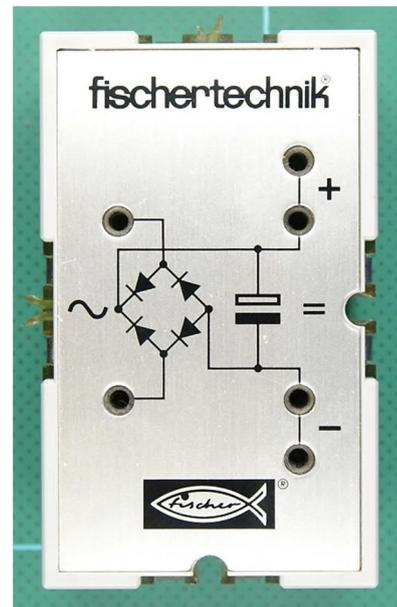


Abb. 5: h4GB Gleichrichter

- Artikelnummer: [36393](#)
- Deckeltyp 1
- Dieses Modul hat keine Leiterplatte. Der Kondensator und der Brückengleichrichter werden mit Drähten direkt an die Klemmen gelötet.
- Die „Minus“-Anschlüsse befinden sich unten und die „Plus“-Anschlüsse oben im Modul.

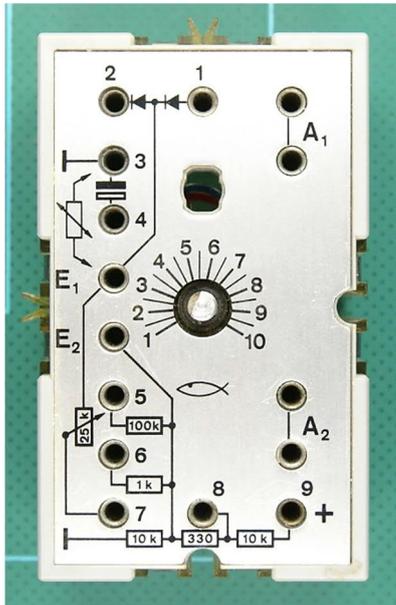
1 h4 G – Grundbaustein

Abb. 6: h4G Grundbaustein

- Artikelnummer: [36391](#)
- Deckeltyp 1
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Das Potentiometer ist in den Deckel eingeschraubt und befindet sich in der Mitte des Deckels.
- Der „-“-Anschluss „3“ befindet sich oben links und der „+“-Anschluss „9“ unten rechts.
- Version 1:
 - Widerstände vom Typ 0309/12 und 0411/15 für 82 Ω
 - Potentiometer 50 kΩ
- Version 2:
 - Widerstände vom Typ 0207/12 und 0309/15 für 82 Ω
 - Potentiometer 25 kΩ
 - Das Layout ist etwas anders.

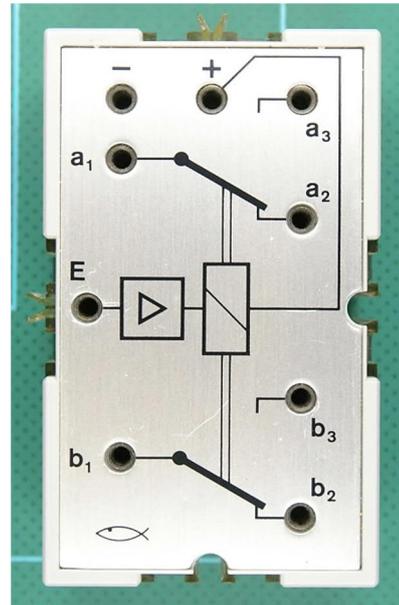
2 h4 RB – Relais

Abb. 7: h4RB Relais

- Artikelnummer: [36392](#)
- Deckeltyp 1
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Der Anschluss „-“ befindet sich oben links und „+“ oben in der Mitte.
- Version 1:
 - Relais, Siemens V23012-A131-A001
 - Widerstände sind vom Typ 0309/12
- Version 2:
 - Relais, Siemens V23021-A231-A001
 - Widerstände sind vom Typ 0207/12
 - Version 2 hat eine dritte Diode in Reihe mit „+“, daher ist auch das Layout anders.

3 h4 FF – Flip-Flop

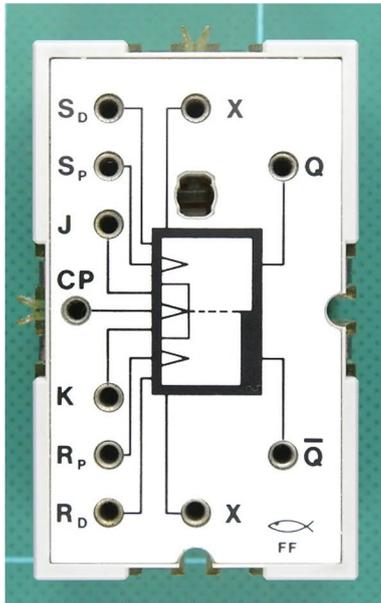


Abb. 8: h4FF Flip-Flop

- Artikelnummer: [36479](#)
- Deckeltyp 1
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Version 1: Widerstände vom Typ 0309/12 und 0411/15 für 82 Ω

4 h4 MF – Mono-Flop

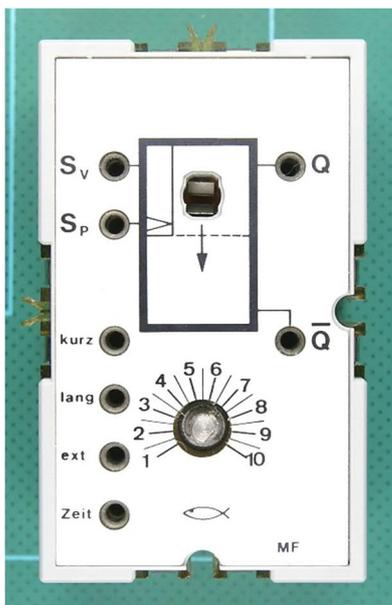


Abb. 9: h4MF Mono-Flop

- Artikelnummer: [36480](#)
- Deckeltyp 2
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.

- Das Potentiometer ist in den Deckel eingeschraubt und befindet sich im unteren Teil des Deckels.
- Version 1: Widerstände vom Typ 0309/12 und 0411/15 für 82 Ω

5 h4 AN - AND-NAND

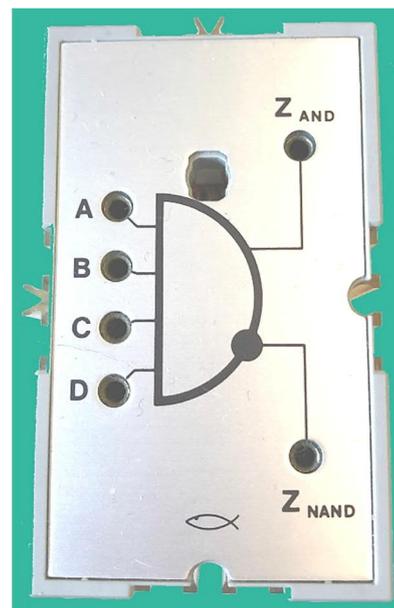


Abb. 10: h4AN AND-NAND

- Artikelnummer: [36482](#)
- Deckeltyp 1
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Hat die gleiche Leiterplatte wie das OR-NOR. Nur die Dioden sind umgekehrt und ein Widerstand ist anders angeordnet
- Version 1: Widerstände vom Typ 0309/12 und 0411/15 für 82 Ω

5 h4 ODER – OR-NOR

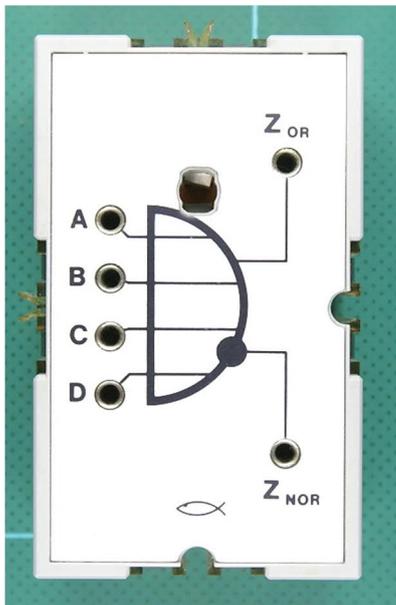


Abb. 11: h4ON OR-NOR

- Artikelnummer: [36481](#)
- Deckeltyp 1
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Hat die gleiche Platine wie das AND-NAND. Nur die Dioden sind umgekehrt und ein Widerstand ist anders angeordnet
- Version 1: Widerstände vom Typ 0309/12 und 0411/15 für 82 Ω

6 h4 DA – Dynamisch-UND

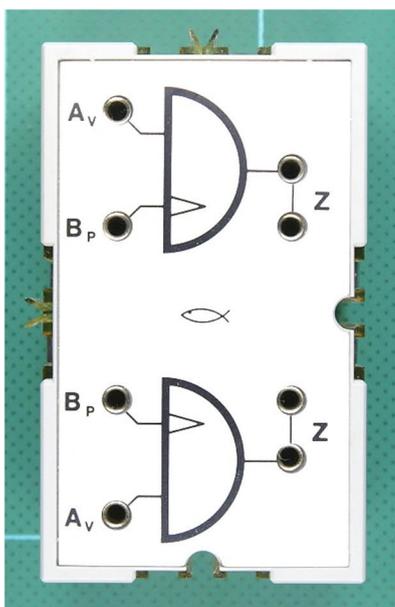


Abb. 12: h4DA Dyn.-AND

- Artikelnummer: [36483](#)
- Deckeltyp 2
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Hat nur eine interne „-“-Verbindung
- Version 1: Widerstände sind vom Typ 0309/12

7 u-t4 VB – Verstärkerbaustein

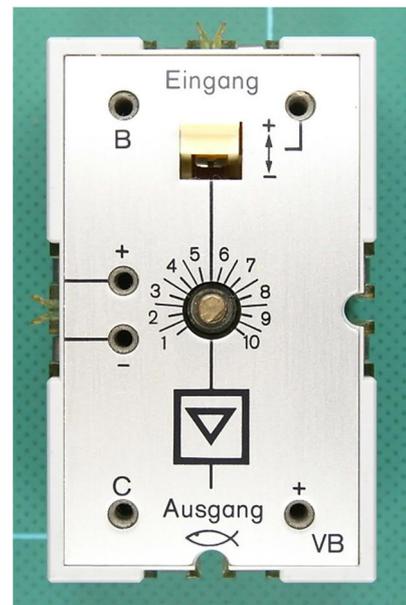


Abb. 13: u-t4 VB Verstärker

- Artikelnummer: [36733](#)
- Deckeltyp 3
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Das Potentiometer ist in den Deckel eingeschraubt und befindet sich in der Mitte des Deckels.
- Der Schalter ist von der gleichen „2 · Reverse“-Version wie der Polwendeschalter [31331](#)
- „+“ in der Mitte links und unten rechts, „-“ Mitte links
- Version 1: ohne 330 Ω-Widerstand zwischen Schalter und Knopf des Potentiometers
- Version 1: Widerstände sind vom Typ 0309/12

8 u-t4 TP – Transistor-Potentiometer

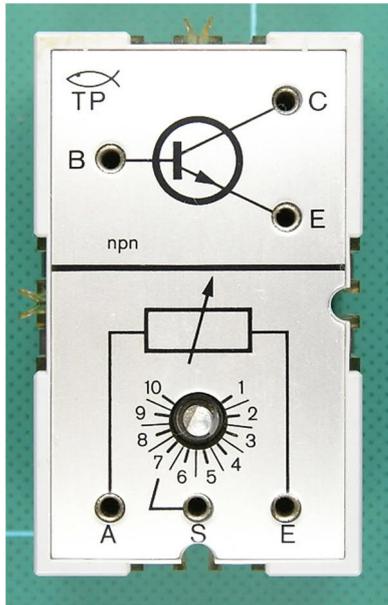


Abb. 14: u-t4 TP Transistor/Potentiometer

- Artikelnummer: [36735](#)
- Deckeltyp 2
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Das Potentiometer ist in den Deckel eingeschraubt und befindet sich in der Mitte der unteren Hälfte des Deckels.
- Das Modul hat keine Stromanschlüsse.
- Der Transistor hat einen Kühler.
- Version 1: Widerstände sind vom Typ 0309/12

9 u-t4 RB – Relaisbaustein

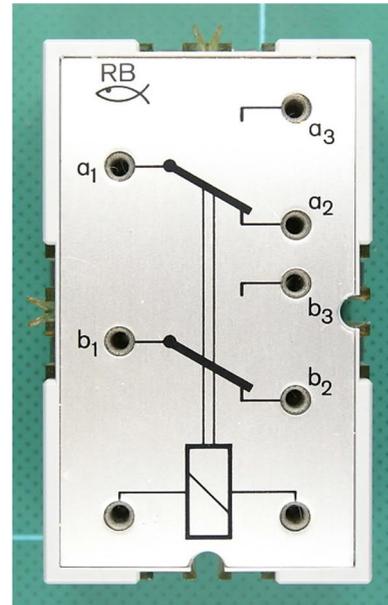


Abb. 15: u-t4 RB Relais

- Artikelnummer: [36734](#)
- Deckeltyp 1
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Das Modul hat keine Stromanschlüsse.
- Relais Siemens V23012-A131-B001
- Es wurde ein Gleichrichter mit vier Dioden geschaffen, damit das Relais auch mit Wechselstrom gesteuert werden kann.

10 hl PB – Potentiometer-Baustein

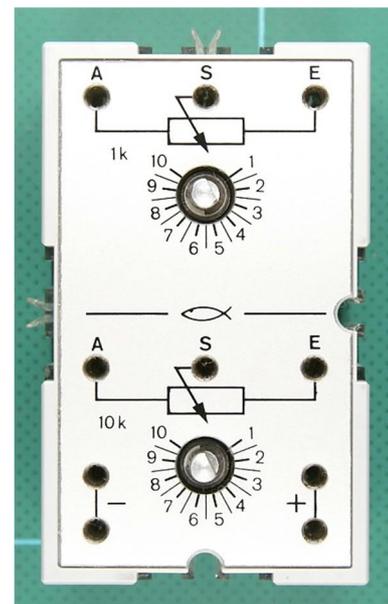


Abb. 16: hl PB Potentiometer

- Artikelnummer: [37158](#)
- Deckeltyp 4
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Die Leiterplatte befindet sich direkt unter dem Deckel.
- Potentiometer sind in den Deckel eingeschraubt und befinden sich in der Mitte der unteren und oberen Hälfte des Deckels.
- 2 · „+“ unten rechts, 2 · „-“ unten links

11 h1 EF – Experimentierfeld

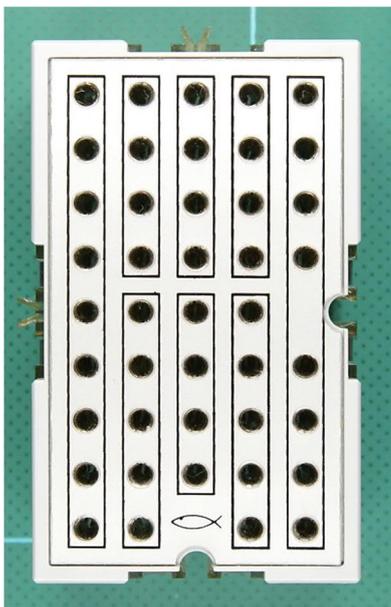


Abb. 17: u-t4 RB Relais

- Artikelnummer: [37140](#)
- Deckeltyp 5
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Die Leiterplatte befindet sich direkt unter dem Deckel.

12 h3 RB II – Relaismodul

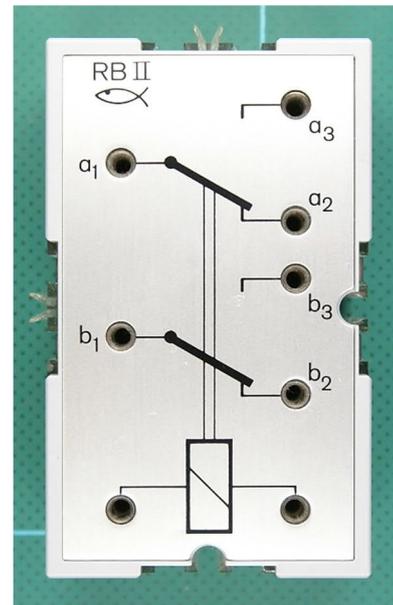


Abb. 18: h3 RB II Relais

- Artikelnummer: [37683](#)
- Deckeltyp 1
- Die Platine ist 41 mm · 68 mm groß.
- Das Modul hat keine Stromanschlüsse.
- Relais ohne andere Elektronik
- Relais Siemens V23021-A231-A001

13 h4 ML – Mikrofon/Lautsprecher

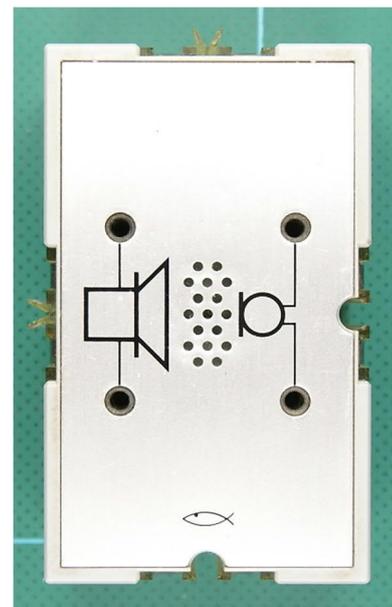


Abb. 19: h4 ML Mikrofon/Lautsprecher

- Artikelnummer: [36394](#)
- Deckeltyp 1

- Dieses Modul hat keine Leiterplatte.
- Das Modul hat keine Stromanschlüsse.
- Enthält nur ein „Piezo-Element“, das als Mikrophon oder als Lautsprecher verwendet werden kann.

Nachbau

In verschiedenen Themen des fischertechnik-Forums kann man sehen, wie die Nachbauten verschiedener Personen aussehen oder aussehen sollten. Der eine möchte seinen Nachbau so klein wie möglich, während ein anderer alles groß haben möchte. Einer möchte nur eine Leiterplatte ohne Gehäuse, ein anderer arbeitet mit SMDs oder auf Lochraster-Platinen. Mit Bundhülsen oder den 1,3 mm-Lötstiften – die Bandbreite ist groß.

Ich selbst will alles jeweils in einem passenden Gehäuse. Wie bei den „Arduinos“ und anderen Controller-Boards ist es auch in Form eines „Shields“ interessant (Abb. 20). Ausgestattet mit Stiftleisten können dann mehrere „Shields“ auf ein Steckbrett gesteckt werden. Der Vorteil ist, dass keine Anschlussbuchsen erforderlich sind: Die Verbindungen zwischen den Anschlüssen werden mit Drahtbrücken hergestellt.

Wenn nur eine Leiterplatte gewünscht ist, gibt es drei Möglichkeiten, sie in ein Modell einzubauen:

1. Mit vier Löchern im 15-mm-Raster. Die Befestigung erfolgt dann mittels M3-

Schrauben im Baustein 15 mit Ansenkung ([32321](#)), mit Abstandsring 3 ([31597](#)). Hierauf wird die Leiterplatte platziert, die dann mit vier Muttern festgezogen wird.

2. Mit vier Löchern im 15 mm-Raster. Befestigung mit M3-Schrauben und Gleitmuttern in den Schlitzen der Bausteine oder der Alu-Profile. Dies ist bei Verwendung der Makerbeam-Profile noch einfacher.
3. Die Leiterplatte kann auch auf jeder Seite ca. 3,5 mm breiter gemacht werden, so dass die Leiterplatte selbst in die Schlitz der Bausteine passt.

Gehäuse

Innerhalb des fischertechnik-Programms gibt es zwei mögliche Teile, die als Gehäuse in Frage kommen: den Batteriehalter 9 V ([32263](#) + [32958](#), Abb. 21) oder die Kassette grau ([35359](#)), gelb ([32076](#), Abb. 22) oder rot ([130961](#)) mit Abdeckung ([35360](#)). Man kam auch ein eigenes Design mithilfe des 3D-Drucks herstellen. In meinen ersten Nachbauten habe ich die Kassette ([35359](#)) verwendet. In die Ecken schraubte oder klebte ich quadratische Profile, in die ich ein Loch gebohrt hatte, um den Deckel mit selbstschneidenden Schrauben anzuschrauben. In einer späteren Version habe ich die Platine mit dem Deckel verschraubt. Das transparente Material des Deckels ist jedoch nicht darauf ausgelegt, sodass Teile abbrechen.

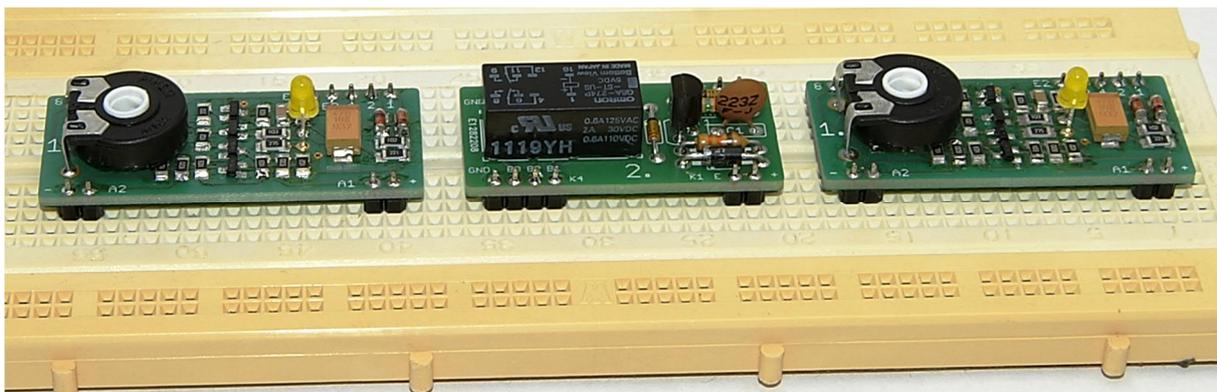


Abb. 20: Shields auf einem Steckbrett



Abb. 21: Batteriehalter



Abb. 22: Kassetten

Die zweite Version verwendete das Batteriefach (32263). Da hier kein Platz zum Verschrauben der Leiterplatte vorhanden ist, musste ich die Leiterplatte irgendwie festklemmen. Zu diesem Zweck habe ich zwei Stücke Styrol auf die kurzen Enden des Deckels geklebt (Abb. 23). Diese Teile sind 25 mm breit, 1,5 mm dick, 15 mm hoch und gewährleisten den richtigen Abstand zwischen Platine und Deckel. Ich musste noch ein paar Stücke eines 2,5 mm hohen Styrol-Streifens auf die Unterseite kleben, um die Platine sicher festzuklemmen. Für die Abdeckung musste ich noch die Löcher für die Anschlussbuchsen, LED und Potentiometer bohren. Da die Platine genau in den Deckel passt, konnte ich die Platine selbst als Bohrschablone verwenden.



Abb. 23: Vorbereitetes Batteriefach

Frontplatte

Jetzt braucht man nur noch eine Frontplatte. Dafür habe ich das Programm *FrontDesigner* von Abacom [2] gekauft. Nachdem ich eine Weile mit diesem Programm gearbeitet hatte, gelang es mir sogar, die originalen Frontplatten zu zeichnen. Besonders die Skala für das Potentiometer hat mir viele Probleme bereitet. Aber am Ende ist es mir gelungen.

Ich habe die Frontplatten-Entwürfe auf normales Druckerpapier gedruckt und wollte sie auf den Deckel kleben. Ich war aber auch mit dem 3D-Druck des Deckels beschäftigt, wobei die Texte mit gedruckt werden. Da ich selbst keinen 3D-Drucker haben wollte, ließ ich die Deckel zunächst bei Shapeways [3] drucken. Da dies mit einem weißen Grundmaterial gemacht wird, musste ich den Deckel selbst rot streichen. Es stellte sich schnell heraus, dass die Buchstaben viel zu klein waren und sich beim Drucken gefüllt hatten. Also drucke ich die Frontplatten wieder selbst, aber jetzt auf Fotopapier (Abb. 24).

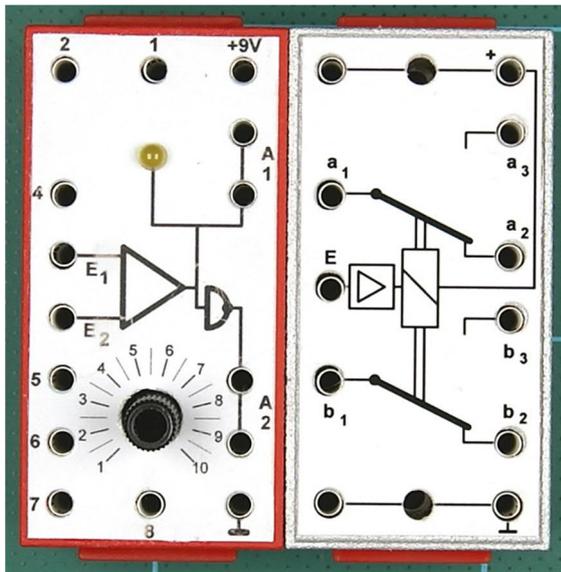


Abb. 24: Auf Fotopapier gedruckte Frontplatten (1)

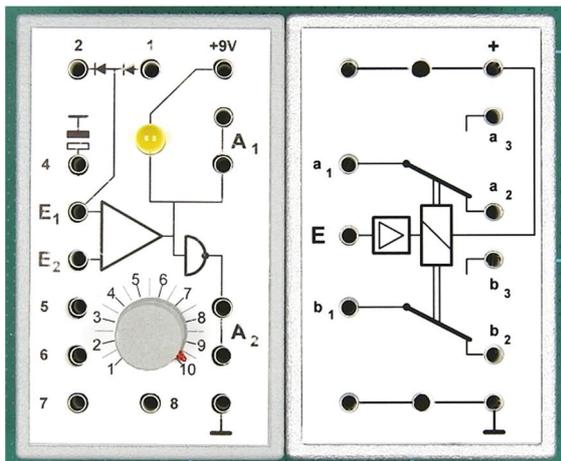


Abb. 25: Auf Fotopapier gedruckte Frontplatten (2)

3D-Druck

Für die vierte und fünfte Version eines Gehäuses habe ich mit dem Programm *Tinkercad* eine alternative Version des Silberling-Gehäuses gezeichnet (Abb. 25). Ich habe dies auch mit der Kassette ([35359](#)) gemacht (Abb. 26). Der Unterschied ist, dass ich nur Nuten und keine Zapfen zum Anschließen mehrerer Module verwende. Da ich auch keine Verbindungsstecker benötige, kann der Deckel bis zu den Rändern reichen. Dies führt auch zu einer geschlossenen Oberseite der miteinander gekoppelten Module

(Abb. 25 und 27). In diesen Versionen stecken die Leiterplatten zwischen den am Deckel angebrachten Abstandshaltern und den erhöhten Ecken im Boden des Gehäuses. Wie beim Original befinden sich unten vier Löcher, in die die Schrauben zum Festschrauben des Deckels kommen.

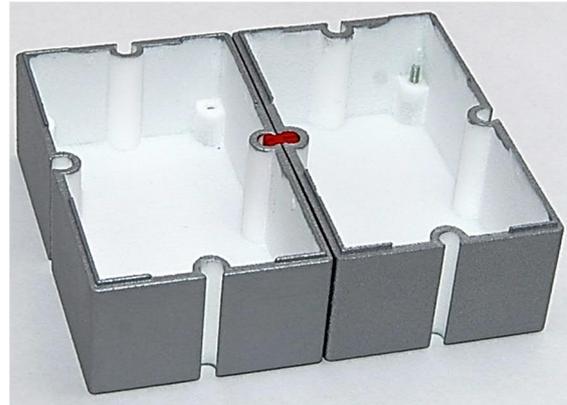


Abb. 25: Alternatives 3D-Druck-Silberling-Gehäuse

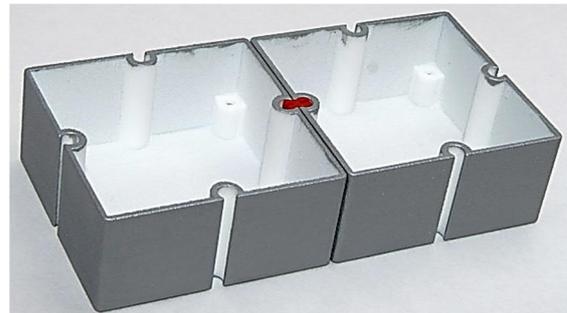


Abb. 26: Alternatives 3D-Druck-Silberling-Gehäuse



Abb. 27: Geschlossene Oberseiten

Da ich mit der Qualität und insbesondere den Preisen von Shapeways nicht zufrieden war, lasse ich meine 3D-Designs jetzt von der belgischen *i.materialise* [4] drucken. Da die bedruckten Gehäuse alle weiß sind, musste ich sie noch selbst streichen. Zuerst verwendete ich dafür graue Emailfarbe

Nummer 127 von Humbrol. Leider ist diese Farbe nicht farbecht. Deshalb verwende ich jetzt die Aluminiumfarbe Nummer 91 von Revell. Für Rot verwende ich Humbrol Nummer 153.

Unter [6] können die 3D-Designs heruntergeladen werden.

Leiterplatten

Die Reproduktion kann auf einer Kopie oder einem völlig neuen Design basieren. Beim exakten Kopieren gibt es zwei Probleme: Die Potentiometer und Lampenfassungen sind nicht mehr verfügbar. Man kann eine LED anstelle des Lämpchens verwenden, am besten eine rote oder gelbe LED mit geringem Stromverbrauch. Grüne, blaue und weiße LEDs arbeiten mit einer höheren Spannung und beeinträchtigen somit den Betrieb. Es gibt Potentiometer, die mit einer Mutter festgezogen werden können, aber diese sind größer als die in den Silberlingen. Außerdem ist die Welle nicht „D“-förmig. Es kann auch vorkommen, dass der Wert, den man benötigt, nicht mit einer 4 mm-Achse verfügbar ist, sondern nur mit 6 mm-Achsen. Ich persönlich benutze die PT15-Potentiometer mit den entsprechenden Einsatzwellen. Diese sind auf die Leiterplatte gelötet. Das führt zu Platzmangel. Widerstände, die ich unter einem Potentiometer projiziere, sind vom Typ 0204 und haben 1/8 W. Diese sind so klein und dünn, dass problemlos ein Potentiometer darauf platziert werden kann.

Die Abmessungen für meine „alternativen“ Platinen sind: einseitig 40 mm · 70 mm (Abb. 28), einseitig 56 mm · 56 mm (Abb. 29) und einseitig/doppelseitig 26 mm · 56 mm (Abb. 30). Aufgrund der Verwendung von SMDs sind meine „Shields“ doppelseitig 20 mm · 55 mm oder kürzer (Abb. 20). Ich habe die Leiterplatten in Belgien von der Firma Eurocircuits [5] herstellen lassen.

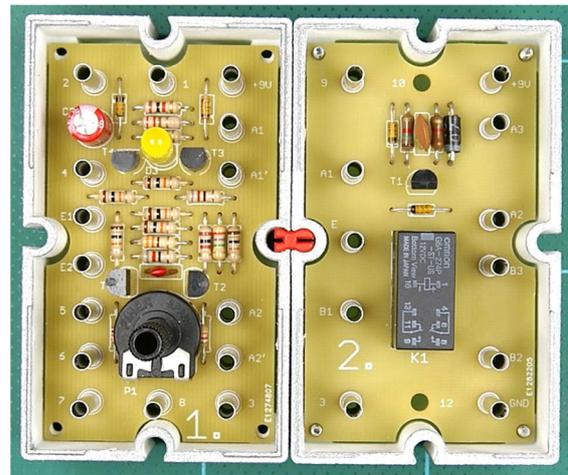


Abb. 28: Platinen 40 mm · 70 mm einseitig

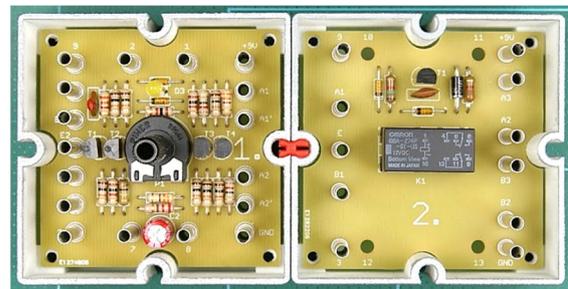


Abb. 29: Platinen 56 mm · 56 mm einseitig

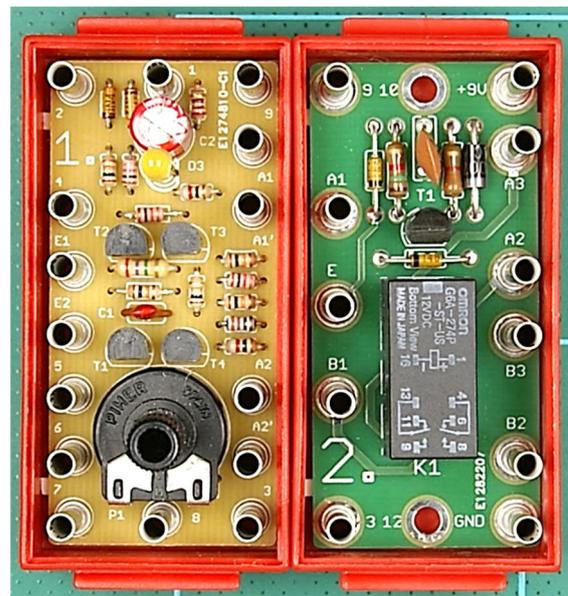


Abb. 30: Platinen 26 mm · 56 mm doppelseitig

Komponenten

Anstelle der Lämpchen kann man problemlos gelbe oder rote Standard-LEDs mit geringem Stromverbrauch verwenden. Es ist jedoch am besten, die Vorwiderstände durch einen 3K3-Widerstand zu ersetzen.

Für die Potentiometer stehen auch ausreichende Alternativen zur Verfügung.

Alternativen zu den Anschlussbuchsen sind in Form von Bundhülsen erhältlich. Es gab eine Abhandlung darüber in einer der vorherigen Ausgaben ft:pedia. Ich benutze die Bundhülsen aus dem E-Tec-Modul, das einst bei Knobloch erhältlich war.

Die in den Silberlingen verwendeten Relais sind nicht mehr bei dem namhaften Elektroniklieferanten erhältlich. Sie sind immer noch im Internet zu finden, aber zu Wucherpreisen. Alternative: Z. B. Omron G6A. Trotz der Tatsache, dass diese Relais auch in 9 V-Versionen erhältlich sind, werden sie von den bekannten Unternehmen in der Standardversion nicht angeboten. Deshalb habe ich alle fischer-Relais gemessen und festgestellt, dass sie erst bei 5,5 V anziehen. Die 12 V-Version zieht jedoch erst bei 7,5 V an. Deshalb habe ich nur die 5 V-Version verwendet. Diese zieht bereits bei 3 V an.

Für die Dioden kann man 1N4148 (als SMD LL4148) und 1N4001 (als SMD LL4001) verwenden.

Die in den Silberlingen enthaltenen Scheibenkondensatoren sind möglicherweise nicht mehr in dieser Form verfügbar. Es gibt jedoch viele Alternativen, z. B. als SMD den Typ 1206.

In den Silberlingen werden verschiedene Arten von Widerständen verwendet: 0411/15, 0309/12 und 0207/12. Diese können alle durch die 0207 ersetzt werden. Optional kann der viel kleinere 0204 auch im 5 mm-Raster verwendet werden, als SMD Typ 1206.

Die Transistoren, auf die ich gestoßen bin, sind die NPN BC108 und BC170, BC173 und BC238 sowie die PNP BC250 und BC308. Als Alternative zum NPN kann man den BC548 (als SMD den BC848) und für den PNP den BC558 (als SMD den BC858) verwenden.

Für den Schalter im Verstärkerbaustein habe ich alternativ einen APEM-Schalter vom Typ 5246 – „2 · um“ verwendet (Conrad 700192).

Als Alternative zum Experimentierfeld aus dem Hobby-Labor kann man auch ein Modul mit einem kleinen Steckbrett herstellen, z. B. TRU COMPONENTS Breadboard Weis, Gesamtzahl der Stifte 170 (Conrad 1570182, Abb. 31).



Abb. 31: Kleines Steckbrett

Das war es für's Erste. Im nächsten Teil werde ich näher auf die Beschreibung der verschiedenen Module eingehen. Dann gibt es die Schaltpläne und Layouts. Dann werde ich auch vier verschiedene alternative Versionen vorstellen.

Links

- [1] [EAGLE](#)
- [2] [Frontdesigner](#)

[3] [*Shapeways*](#)

[4] [*i.materialise*](#)

[5] [*eurocircuits*](#)

[6] Peter Krijnen auf [*Thingiverse*](#)

Elektronik

Elektronik-Module (Teil 6)

Hans-Christian Funke

Dieser Teil bildet den Abschluss meiner Beiträge zu den Elektronikmodulen. Von den inzwischen 25 verschiedenen Elektronikmodulen stelle ich euch in diesem Beitrag die drei jüngsten Module vor. Weitere Elektronikmodule sind zwar aus heutiger Sicht eher nicht angedacht, aber nicht ausgeschlossen.

Definition

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

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

Neuheiten

Die neuen Elektronikmodule sind das Messmodul 70022, das Transformermodule 70023 und das Servo-Modul 70025 (Abb. 1 und 2; 70025 ist noch in Planung, dafür steht leider noch kein Bild zur Verfügung).



Abb. 1: 7022 Messmodul

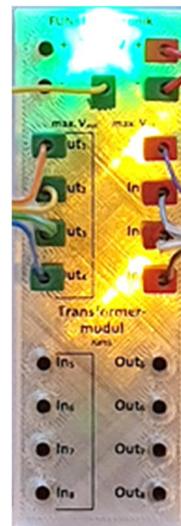


Abb. 2: 70023 Transformermodule

Den Abschluss der Serie von Elektronikmodulen wird vorerst das Servo-Modul 70025 bilden. Bei 70022 und 70023 wird die Verfügbarkeit von der Nachfrage und dem Bedarf bestimmt werden. Diese Module werden erst einmal nicht im Online-Shop von Franz Santjohanser zu finden sein, aber wer Interesse hat, kann eine E-Mail an [1] senden und eine Vorbestellung abgeben. Sobald zu einem Modul fünf Bestellungen vorliegen, würde ich mit der Produktion zu dem jeweiligen Elektronikmodul beginnen.

Das Messmodul 70022 und das Transformermodule 70023 werden ebenfalls für 39,95 € erhältlich sein.

Das Messmodul (70022)

Dieses Modul enthält ein V-A-Meter mit LED-Anzeige. Mit dem V-Meter (Voltmeter) lassen sich Spannungen im Bereich von 0-30 V, mit dem A-Meter (Amperemeter) Ströme von 0-3 A messen.



Abb. 3: V-A-Meter: Spannung wird in roten und Strom in blauen Ziffern angezeigt

Die Spannungsmessung erfolgt über den Anschluss „V“ und den daneben liegenden „-“-Anschluss, der mit „GND“ der Versorgungsspannung verbunden ist. Für die Strommessung muss der mit „A“ gekennzeichnete und der daneben liegende „-“-Anschluss verwendet werden, der keine Verbindung zu „GND“ hat.

Für die Spannungsmessung muss über den „-“-Anschluss ein gemeinsames Potential mit der Schaltung hergestellt werden, in der die Spannung gemessen werden soll. In der Regel verbindet man dafür die Minus-Anschlüsse beider Schaltungen miteinander und kann dann über ein Kabel, das an „V“ angeschlossen ist, die gewünschte Spannung in der zu untersuchenden Schaltung messen.

Für eine Strommessung muss der Schaltkreis, in dem der Stromfluss gemessen werden soll, an einer Stelle unterbrochen werden. Die offenen Enden werden mit dem Anschluss „A“ und dem daneben liegenden „-“-Anschluss verbunden.

Bei Spannungs- und Strom-Messungen ist auf die Polarität zu achten, denn negative Werte können von diesem Messgerät nicht angezeigt werden. Bei der Strommessung und vertauschter Polarität fließt aber dennoch ein Strom, obwohl in diesem Fall das Messgerät Null anzeigt.

Hinweis: Das V-A-Meter wird zwar kalibriert, aber es handelt sich hierbei nicht um ein Präzisionsmessgerät. Wird die minimale Betriebsspannung unterschritten, werden die Messwerte verfälscht angezeigt.

Das Potentiometer

Ins Messmodul wurde noch ein Potentiometer integriert, das unabhängig vom V-A-Meter verwendet werden kann. Bei Verwendung des Potentiometers ist auch keine Versorgungsspannung am Messmodul erforderlich. Die drei Anschlüsse des Potentiometers sind direkt nach außen gelegt und können so frei verwendet werden.

Der Widerstandswert des Potentiometers beträgt 1 k Ω (linear) bei einer Leistung von maximal 250 mW. Es kann also eine maximale Spannung von 15 V an beiden Enden des Potentiometers angeschlossen werden, ohne die maximale Leistung von $P = 0,25 \text{ W}$ zu überschreiten.

$$\begin{aligned} P &= U \cdot I = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} = \\ &= \frac{(15\text{V})^2}{1\text{k}\Omega} = \frac{(15\text{V})^2}{1000\frac{\text{V}}{\text{A}}} = \frac{225}{1000} \text{VA} = \\ &= 0,225\text{W} < 250\text{mW} \end{aligned}$$

Wird die maximale Leistung überschritten, kann dies zur teilweisen oder vollständigen Zerstörung des Potentiometers führen.

Das Transformermodule (70023)

Im ersten Moment könnte man annehmen, dass das Modul etwas mit einem Transformator zu tun hat. Dies ist insofern richtig, weil ein Transformator Spannungen wandelt, und genau zu diesem Zweck wurde das Transformermodule entwickelt.

Es stehen vier Kanäle zur Verfügung, mit denen Signale vom Spannungsniveau der Elektronikmodule auf ein Spannungsniveau zwischen 15-30 V (high) angehoben werden können. Zusätzlich stehen vier weitere Kanäle zur Verfügung, um Signale von einem höheren Spannungsniveau (15-30 V)

auf das Spannungsniveau der Elektronikmodule herunterzutransformieren. Auf diesem Weg können 24 V-Anlagen mit den Elektronikmodulen kombiniert werden.

Das höhere Spannungsniveau für ein logisch 1 (high) wird durch eine separat zugeführte Referenzspannung bestimmt (Anschluss V_{out}).



Abb. 4: Bereich für Spannungen > 15V.

Die Schaltung

Um sicherzustellen, dass keine höhere Spannung (> 15 V) in den Schaltungsbe-

reich der Elektronikmodule gelangt, wurden die Eingänge In_{5-8} galvanisch vom Rest der Schaltung getrennt.

Auf der Ausgangsseite Out_{1-4} wird lediglich der logische Zustand ausgegeben, daher ist keine leistungsstarke Endstufe vorgesehen. Hier stehen 1 mA bei 15 V bzw. 2 mA bei 30 V für ein logisch 1 (high) zur Verfügung, allerdings können bei einem logisch 0 (low) bis zu 50 mA entnommen werden. Die Ausgänge Out_{5-8} auf der Seite der Elektronikmodule stellen 2-3 mA zur Verfügung (je nach Versorgungsspannung).

Das Servo-Modul (70025)

Die Idee ist, einen handelsüblichen Servo über die Motorausgänge (M1 = O1-O2) eines TXT-Controllers anzusteuern. Auf diese Weise könnten Modelle über Servos Computer gestützt gesteuert werden.

Ergänzungen und Neuerungen

Besonderheiten zwischen Relaismodul 70018 und ftDuino

Der Entwurf des Relaismodules erfolgte in Anlehnung an die Konstruktion des Silberling-Relaisbausteins. Der später entwickelte

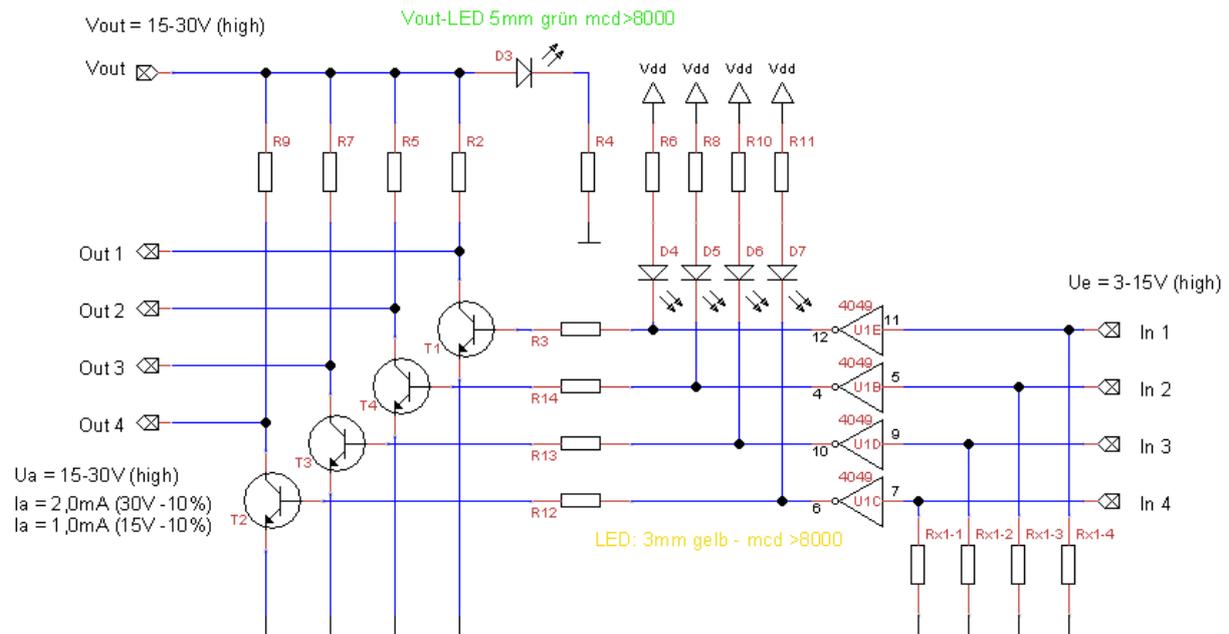


Abb. 5: Schaltungsteil für die vier Kanäle zur Transformierung von Spannungen auf 15-30 V

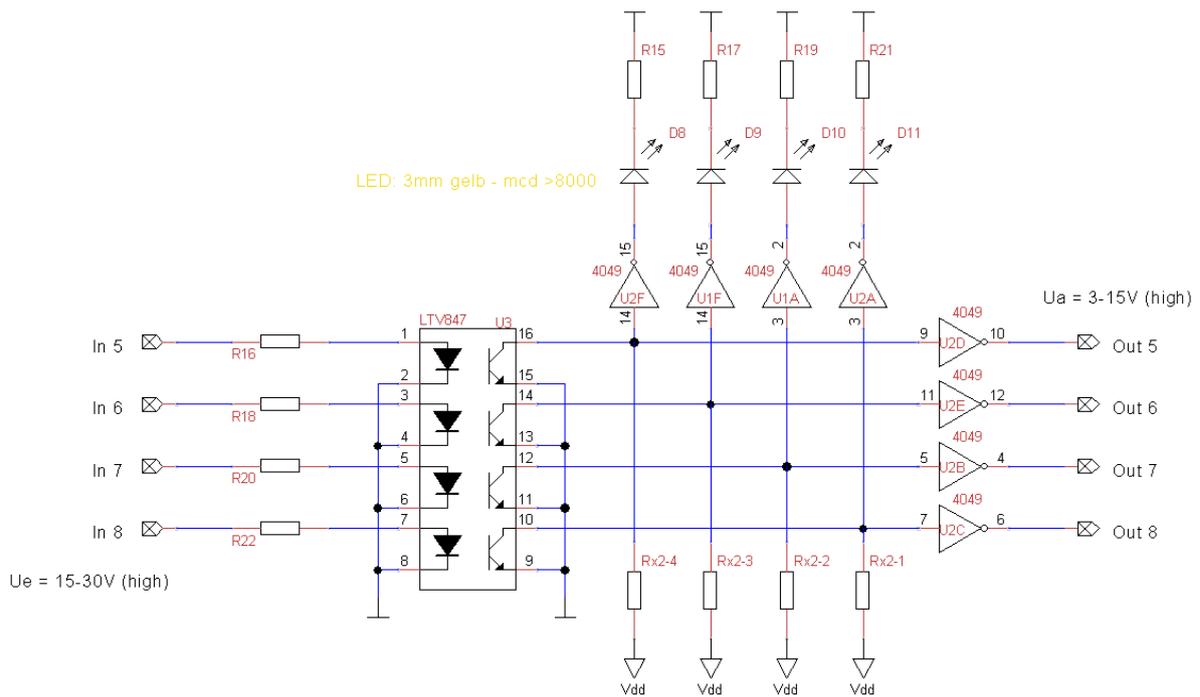


Abb. 6: Schaltungsteil für die vier Kanäle zur Transformierung von Spannungen auf 3-15 V

und auf den Markt gebrachte ftDuino kann auf Grund seines Designs das Relaismodul nicht direkt über den \overline{IN} -Eingang ansteuern, sondern nur unter Zwischenschaltung eines Transfrieglieds (Inverter oder Gatter). Der Eingang des Transfrieglieds wird dazu direkt mit dem ftDuino verbunden und der Ausgang wird an den \overline{IN} -Eingang des Relaismoduls angeschlossen. Der IN-Eingang des Relaismoduls kann jedoch direkt an den ftDuino angeschlossen werden (ohne Transfrieglied).

Erklärung: Der ftDuino liefert auf der kleinsten Stufe (0) eine Ausgangsspannung von 1,0-1,1 V. Zur Aktivierung des Relaismoduls über den \overline{IN} -Eingang wird eine Spannung $< 0,6$ V benötigt. Gatter oder Inverter interpretieren Signale $< 2,4$ V bei V_{dd} 5 V noch als low und liefern am Ausgang als logisch 0 eine Spannung von 0-0,1 V.

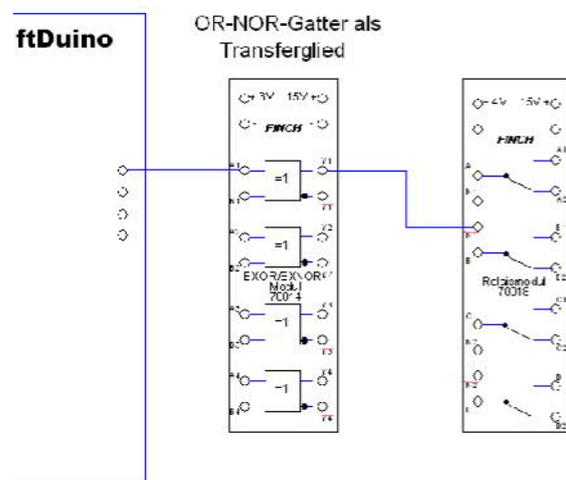


Abb. 7: Das Ausgangssignal des ftDuino benötigt bei Verwendung des \overline{IN} -Eingangs des Relaismoduls ein Transfrieglied

Zusatzmodul 70050

Dieses Zusatzmodul ist ein Überspannungsschutz für die Elektronikmodule. Es sorgt dafür, dass die Versorgungsspannung nicht über 15,3 V ansteigen kann. Der Einsatz ist empfehlenswert, wenn pulsierende Gleichspannungen zum Einsatz kommen oder das

Versorgungsmodul V1 (70003) verwendet wird.

Das Zusatzmodul wird einfach an die Betriebsspannung angeschlossen (Plus und Minus). Sollte die Spannung über 15,3 V ansteigen, wird sofort ein Kurzschluss eingeleitet, der erst mit Abschalten der Spannungsversorgung aufgehoben wird. Damit werden die Elektronikmodule vor Beschädigung durch Überspannungen geschützt.



Abb. 8: Zusatzmodul 70050

Wichtig: Der Überspannungsschutz darf auf keinen Fall zum Einsatz kommen, wenn die Versorgungsspannung durch Batterien oder Akkus bereitgestellt wird. Die Versorgungsquelle sollte über eine Strombegrenzung von 3 A verfügen und kurzschlussfest sein. Alternativ könnte eine Schmelzsicherung in die Zuleitung eingebaut werden.

Ergänzung zu den Versorgungsmodulen 70003 und 70020

Die Versorgungsmodule 70003 und 70020 haben ein Update bekommen und werden ab sofort als 70003 V1.1 und 70020 V2.1 ausgeliefert. Bei der x.1 Version wurde der Überspannungsschutz 70050 integriert.

Optimierung des D-FF- und JK-FF-Moduls

Bei den Flip-Flop-Modulen D-FF (70006) und JK-FF (70007) wurde für den Clock-Eingang (Ck) ein Tiefpass integriert, der bei Verwendung eines Tasters zur Ansteuerung des Ck-Einganges die Prellimpulse herausfiltern sollte. Dieser Filter hat jedoch die Funktionalität beim JK-FF so eingeschränkt, dass die T-FF-Funktion nicht mehr genutzt werden konnte (J und K an high; Zustandswechsel über Ck).

Aus diesem Grund wurde der Tiefpass entfernt und somit die volle Funktionalität wieder hergestellt. Die FFs ohne Tiefpass tragen die Bezeichnung D-Flip-Flop-Modul V1.1 und JK-Flip-Flop-Modul V1.1.

Soll ein Taster zur Ansteuerung des Ck-Eingangs benutzt werden, dann kann zur Entfernung der Prellimpulse ein RS-FF vorgeschaltet werden.

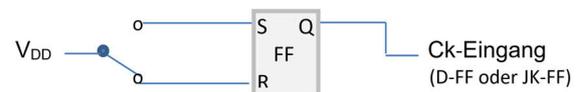


Abb. 9: Verwendung eines RS-FFs, um Prellimpulse herauszufiltern.

Dokumentation

Als Dokumentation der Elektronikmodule steht jetzt die Kurzfassung „Kurzbeschreibung und Vergleichstabellen“ (70098) zur Verfügung, die bei Interesse unter der E-Mail-Adresse [2] angefordert werden kann oder in Kürze auch bei den Elektronikmodulen im Online-Shop von Herrn Santjohanser zu finden sein wird.

Die vollständige Dokumentation „Grundlagen der Elektronikmodule“ (70099) mit sämtlichen technischen Daten und Schaltungsbeispielen ist noch nicht abschließend fertiggestellt und kann ebenfalls bei Bedarf bei mir angefordert werden.

99% der Elektronikmodule lassen sich reparieren!

Sollte doch einmal ein Elektronikmodul in seiner Funktion beschädigt sein, dann lassen diese sich in der Regel für kleines Geld reparieren. Dies ist auch nur möglich, weil die gesamte Herstellung noch in einer Hand liegt. Wer Bedarf oder Fragen dazu hat, kann sich gerne an mich [2] oder an Herrn Santjohanser [1] wenden.

Lehr- und Ausbildungsprogramm

Folgendes Ausbildungsprogramm, das auf den Elektronikmodulen basiert, soll demnächst angeboten werden:

75000 Labor für digitale Elektronik (light): Das Labor soll beim Erlernen der Grundfunktionen der digitalen Elektronik unterstützen. Mit einer ausführlichen Anleitung, Bildern und Schaltungen werden die Grundlagen erschlossen. Mit praktischen Beispielen und Nachbau von Schaltungen wird das aufgenommene Wissen praktisch erfahren. Zum Ende des Lehrgangs sind Volladdierer, Binärzähler oder Multiplexer keine Fremdwörter mehr. Diese Version enthält nur die minimal erforderlichen sechs Elektronikmodule, vier LED-Bausteine, Kabel und elektrische Kleinteile (Widerstände, Dioden, Kondensatoren).

75001 Labor für digitale Elektronik (Lehr- und Ausbildungsbereich): Die Lehr- und Ausbildungsversion ist vom Lehrinhalt identisch mit dem Labor 75000, aber enthält zusätzlich alle erforderlichen fischertechnik-Teile zum Aufbau der Schaltungen auf einer Bauplatte. Zum Betrieb der Elektronikmodule wurde das Labor mit einer Stromversorgung ergänzt, so dass die Ausbildung mit diesem Baukasten sofort gestartet werden kann.

Ihr könnt euch gerne bei Interesse bei mir [2] oder Franz Santjohanser [1] melden, damit wir einen Eindruck bekommen, inwieweit ein Interesse an dem „Labor für digitale Elektronik“ besteht.

Wie geht es weiter?

Wie schon einleitend berichtet, wird das Portfolio mit den 25 Elektronikmodulen erst einmal nicht erweitert werden.

In den kommenden Ausgaben der ft:pedia werde ich immer wieder einmal ein schönes Modell mit den Elektronikmodulen vorstellen, so dass ihr immer wieder Inspirationen bekommt, was damit so alles angestellt werden kann.

Vielleicht wird es auch einen Themen-Baukasten zum Ende des Jahres geben, der speziell auf Funktionen der Elektronikmodule reflektiert (lasst euch überraschen).

Schlusswort

Wer sich einen Gesamtüberblick über die Elektronikmodule verschaffen möchte, kann entweder via Smartphone auf Instagram und unter „Elektronikmodule“ schauen oder am PC unter [3]. Unter [4] findet ihr Videos von Modellen mit Elektronikmodulen. Über den Online-Shop von Franz Santjohanser könnt ihr weitere Informationen erhalten, herunterladen und die Elektronikmodule erwerben [5].

Quellen und Links

- [1] [Franz Santjohanser](#)
- [2] [Funke Elektronik](#)
- [3] Hans-Christian Funke: [Elektronikmodule](#) auf Instagram.
- [4] Modelle mit Elektronikmodulen: [Kugenzähler mit Soundeffekt](#), [Modulix](#), [Modell-Demo](#); youtube.com.
- [5] [FUNKE-Elektronikmodule](#) bei Santjohanser: Spielen. Lernen. Technik.

Modell

Zählsystem

Hans-Christian Funke

Habt ihr auch schon einmal festgestellt, dass ihr gerade gar keinen Überblick habt, wie viele Pakete, Kugeln oder andere Objekte sich gerade in Eurem Modell tummeln? Dafür kann man ideal einen Computer einsetzen, der alle eingehenden Objekte zählt und auch kontrolliert, wie viele Objekte das Modell wieder verlassen. Nun hat aber nicht jedes Modell einen Computer oder gar eine Anzeige, um den aktuellen Stand gut sichtbar anzuzeigen. Hier folgt eine einfache und praktikable Lösung dafür.

Einleitung

Man nehme ein Zählermodul 70002, zwei Sensoren oder Schalter und ein wenig Schaltungslogik – fertig ist unser Zählsystem.

Mit diesen wenigen Zutaten demonstriere ich euch anhand einer Kugelbahn, wie ihr euch anzeigen lassen könnt, wie viele Kugeln sich gerade aktuell auf einer Kugelbahn befinden.

Kugelbahnmodelle gibt es viele und darunter die tollsten Kreationen, daher überlasse ich es euch, euer eigenes Modell dafür zu verwenden. Das vorgestellte Zählsystem lässt sich zu jeder Bahn, Paketstation, Autowaschanlage u.v.a. hinzufügen.

Zutaten

Was ihr unbedingt benötigt, ist ein Sensor oder Schalter am Anfang und am Ende des Modelles. Bei meinem Beispiel habe ich mich entschieden, Lichtschranken auf der Kugelbahn einzusetzen (Abb. 1 und 2).

Für die Lichtquelle kann auch eine LED verwendet werden. Die Störlichtkappen sollten bei Bedarf verwendet bzw. angepasst werden – hier sind Kappen mit 3 mm-Bohrung verwendet worden.



Abb. 1: Lichtschranke am Beginn der Bahn



Abb. 2: Lichtschranke am Ende der Bahn

Für die Anzeigen wird das Zählermodul 70002 eingesetzt (hier mit grüner 7-Segment-Anzeige), das sowohl aufwärts als auch abwärts zählen kann. Bei Kugelbahnen werden in der Regel kaum mehr als 20 Kugeln auf einmal auf der Bahn sein und somit reicht ein Zählermodul aus. Für andere Modelle mit mehr als 100 Objekten auf dem Modell kann einfach noch ein weiteres

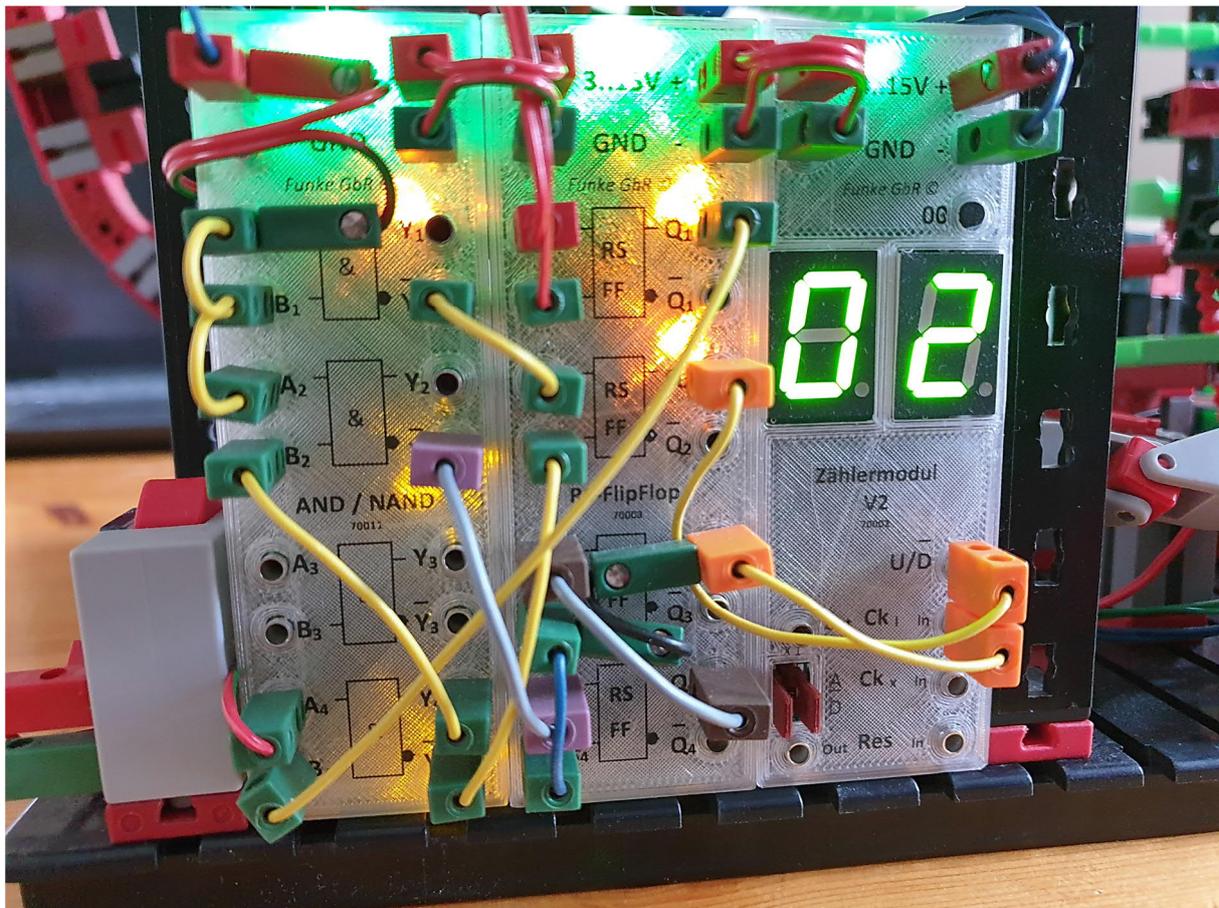


Abb. 3: Zählsystem, bestehend aus AND-NAND-, RS-FF- und Zählermodul

Zählermodul angeschlossen werden, um den Zählbereich bis 9999 zu erweitern.

Etwas Würze erhält das Ganze noch durch die Logik, die aus drei AND-NAND-Gattern mit zwei Eingängen und vier RS-Flip-Flops (RS-FF) besteht. Dafür werden nur zwei weitere Elektronikmodule benötigt, ein AND-NAND-Modul (70011) und ein RS-FF-Modul (70008).

Die Sensoren (Fotowiderstand oder Foto-transistor) können direkt an den Eingängen der AND-NAND-Gatter angeschlossen werden. Die Fotozellen werden mit Licht beschienen und sind daher leitend und liefern damit ständig ein logisch 1 (high). Sobald eine Kugel den Lichtstrahl unterbricht, wird die Fotozelle hochohmig und der Pull-Down-Widerstand des AND-NAND-Gatters sorgt dafür, dass am Eingang des Gatters logisch 0 (low) anliegt.

Die Schaltung

Der Schaltung wurde noch ein Korrektur-Taster hinzugefügt, weil es doch einmal vorkommen kann, dass eine Kugel ohne Erlaubnis die Bahn verlässt. In diesem Fall würde der Zähler auf ungleich Null stehen, wenn alle anderen Kugeln das Ziel erreicht haben. Mit dem Taster kann dieser Umstand korrigiert werden – durch Drücken des Tasters wird der Zähler um eine Stelle abwärts gezählt. Der Taster muss über ein RS-FF entprellt werden. Die Schaltung findet ihr in Abb. 4.

Bei diesem Aufbau wird nur die Einerstelle gezählt und somit nur der „Ck I“-Eingang verwendet. Dies ist der Grund, warum nur ein Jumper benötigt wird, der auf der Position „D“ für „digital“ gesteckt werden kann. Der Zählimpuls kommt von einem anderen

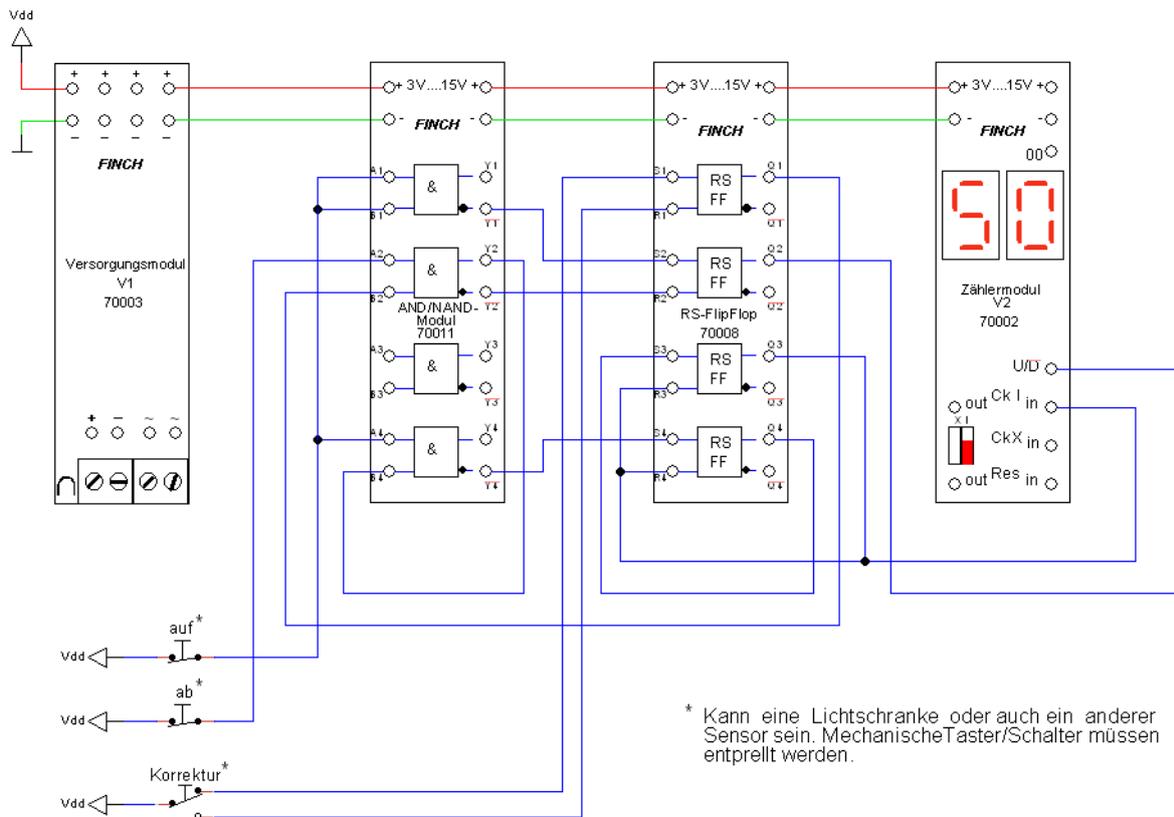


Abb. 4: Schaltung zum Zählen von aktiven Objekten in einem Modell

Elektronikmodul und muss somit nicht entprellt werden.

Hinweis: Ein RS-FF wird zum Entprellen des Korrektur-Tasters benötigt und kann bei Modellen entfallen, wo diese Funktion nicht benötigt wird. Ein weiteres RS-FF steuert die Zählrichtung (aufwärts oder abwärts) des Zählermoduls.

Zwei weitere RS-FFs sind in Reihe geschaltet und bilden lediglich ein Zeitglied. Für den Fall, dass die Zählrichtung sich ändert, braucht das RS-FF für die Zählrichtung die Zeit, die korrekte Zählrichtung einzustellen

und das Zählermodul die Zeit, den neuen Zustand zu übernehmen. Dies muss alles passieren, bevor der Zählimpuls am Eingang „Ck I in“ ankommt, ansonsten könnte in die falsche Richtung gezählt werden.

Das Versorgungsmodul ermöglicht den Betrieb der Schaltung über den integrierten Steckanschluss mit einem Steckernetzteil von fischertechnik ([505287](#)) oder alternativ mit einem Trafo (mot. 4, [30173](#)) über die Wechselspannungs-Ausgänge.

Viel Spaß bei der Umsetzung des Zählsystems in eurem eigenen Modell.

Computing

Von Lucky Logic zu ROBO Pro Coding

Till Harbaum

Im Sommer geht mit dem Erscheinen des TXT-4.0 und seiner Programmierumgebung „RoboPro Coding“ eine ziemlich genau 30-jährige Geschichte der Programmierung durch Ablaufdiagramme bei fischertechnik zu Ende. Wir blicken zurück und in die Zukunft.

Die Anfänge

Die ersten Interfaces für die Homecomputer der 80er lieferte fischertechnik noch ohne eigene Programmierumgebung aus. Die Interfaces von damals waren noch nicht mit den heutigen Controllern vergleichbar. Sie machten lediglich bereits am Computer vorhandene Schnittstellen wie den User-Port des C64 für fischertechnik-Modelle zugänglich, indem Spannungen und Ströme der Computertechnik an die für die Modellsteuerung nötigen Pegel angepasst wurden. Eigene Intelligenz hatten diese Interfaces nicht und einen Offline-Modus gab es dementsprechend auch nicht. Sie wurden in der Programmiersprache BASIC programmiert [1], was für den Anwender ganz natürlich war, denn das BASIC war sowieso sein einziger Zugang zum Computer, den er zum Laden, Speichern und Starten von Programmen nutzen musste.

„Lebendige“ Flussdiagramme

Das änderte sich Anfang der 90er, als von fischertechnik auch DOS-PCs, der Atari-ST sowie der Commodore Amiga aufgegriffen wurden. Die Rechenleistung dieser Geräte erlaubte nun grafische Benutzeroberflächen. Mit Lucky Logic brachte fischertechnik eine Software auf den Markt, die eine grafische Programmierung auf Basis von Flussdiagrammen erlaubte (Abb. 1).

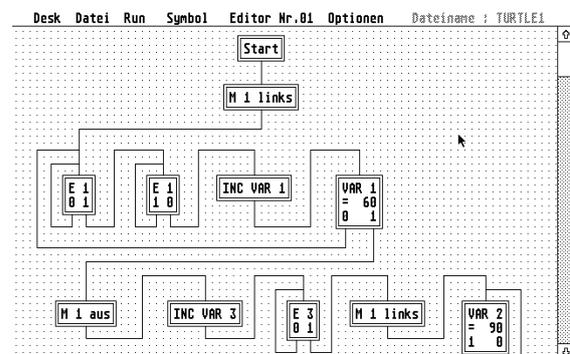


Abb. 1: Lucky Logic auf dem Atari-ST

Flussdiagramme an sich waren zu der Zeit nichts Neues und vor allem zur Dokumentation bekannt. Der Clou an Lucky Logic war, dass diese Flussdiagramme „lebendig“ werden konnten. Der Nutzer konnte dem Computer per Klick befehlen, das Flussdiagramm tatsächlich auszuführen, sich dabei an Tasterzuständen am Modell zu orientieren und z. B. Motoren passend zu steuern.

An diesem Ansatz hat sich in den folgenden 30 Jahren nichts fundamental geändert. Auf Lucky Logic für MS-DOS, Atari-TOS und Amiga-OS folgte Lucky Logic für Windows (LLWIN) und darauf die diversen bis heute bekannten ROBO Pro-Versionen für MS-Windows.

Die größte technische Änderung kam 1997 mit dem Intelligent Interface. Während bis dato immer der Computer für die Programmausführung verantwortlich war, kam mit diesem neuen Interface der Offline-Modus ins Spiel, bei dem der PC das Programm

auf das Interface überträgt, um es dort unabhängig vom PC auszuführen.

ROBO Pro wurde über die Jahre ständig weiterentwickelt, um den erweiterten Fähigkeiten der neueren Controller gerecht zu werden (Abb. 2).

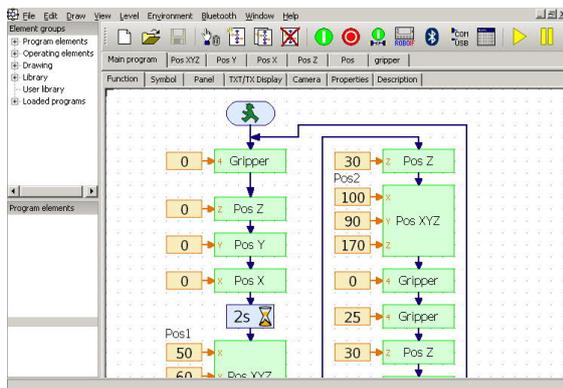


Abb. 2: Das Ende: Die letzte Version von ROBO Pro auf dem PC

Programmier-Apps

LLWIN und ROBO Pro sind Kinder der Microsoft-Windows-Ära der späten 90er und frühen 00er-Jahre, als der Windows-PC auch in Privathaushalten dominierte. Mit dem Aufkommen der Touchscreen-basierten Smartphones und Tablets verlieren diese Geräte vor allem außerhalb des Arbeitszimmers rapide an Bedeutung.

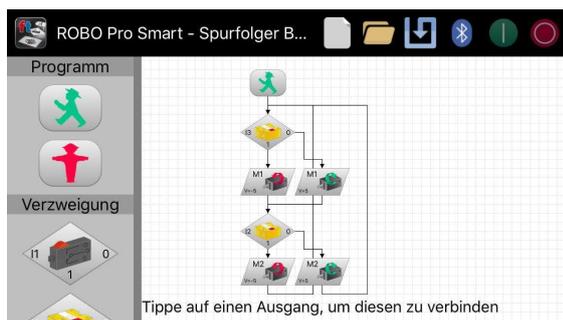


Abb. 3: ROBO Pro Smart auf dem Smartphone

Diese Zeichen hat auch fischertechnik erkannt und bereits mit dem BT Smart Controller (161944) primär auf die Verwendung mit Mobilgeräten gesetzt. Dazu wurde mit ROBO Pro Smart der Versuch unternommen, die Flussdiagramm-Bearbeitung nach ROBO Pro-Art vom PC möglichst direkt auf das Smart Device zu übernehmen (Abb.

3). Leider wurde diese Software nicht weiterentwickelt und befindet sich nach wie vor auf dem recht rudimentären Stand ihrer Veröffentlichung im Jahr 2017.

Für fischertechnik stellt sich bei diesen Apps noch viel mehr das Problem, dass sie sich auf einzelne Geräte-Familien festlegen und die entsprechende Software auf einem PC zum Beispiel nicht nutzbar ist. So gibt es für den BT Smart Controller gleich drei Programmvarianten für Android, iOS und Windows. Trotzdem sehen sich viele Apple- und Linux-User ausgeschlossen.

Browser-Programmierung

Scratch

Anfang 2018 veröffentlichte fischertechnik eine von der Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt programmierte Erweiterung der am MIT entwickelten, Browser-basierten grafischen Einsteiger-Programmiersprache Scratch [2] zunächst für die Entwicklerversion ScratchX, dann für Scratch 3 (Abb. 4). Die grafische Programmentwicklung erfolgt im Browser, der Controller wird via USB-Kabel oder BLE verbunden.

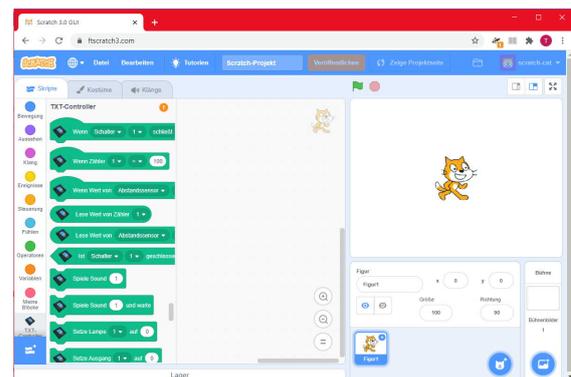


Abb. 4: IDE von Scratch 3 mit TXT-Erweiterung

ftScratch verfügt über Befehlsblöcke, die die bekannten fischertechnik-Aktoren und Sensoren ansteuern [3, 4]. Kleine „Bridging“-Programme für den LT Controller, den TXT und den BT Smart Controller übermitteln die Sensor- und Aktor-Kommandos an den Controller und zeigen den

Status der Input- und Output-Anschlüsse an [5, 6] (Abb. 5, 6). Die „Bridging“-Programme laufen allerdings nur unter Windows – bei Linux und MacOS im Windows-Emulator. Für die Programmierung ist eine Internet-Verbindung erforderlich.

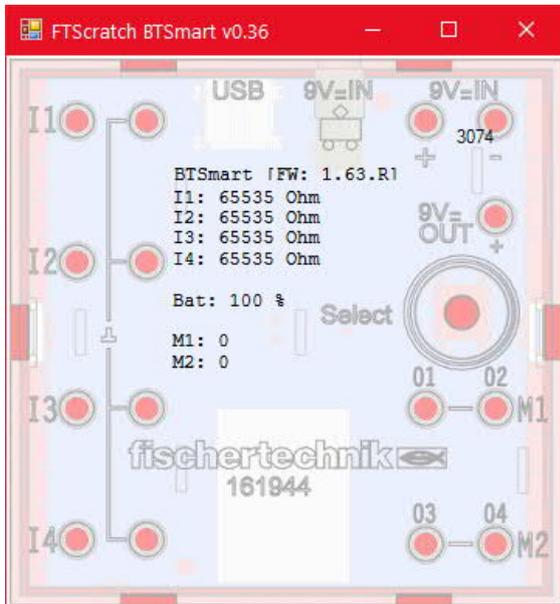


Abb. 5: „Bridge“ für BT Smart Controller



Abb. 6: „Bridge“ für TXT Controller

Die Einbindung in Scratch bietet vor allem für Einsteiger eine Vielzahl interessanter Programmiermöglichkeiten. So kann z. B. eine fischertechnik-Steuerung mit einem

selbst programmierten Spiel verknüpft werden. Beim BT Smart Controller, dessen vier Eingänge in ROBO Pro Light und in der ROBO Pro-Light-App nur digital ausgewertet werden, können in Scratch auch analoge Sensoren wie der Farbsensor, der Fotowiderstand oder der Heißeleiter genutzt werden (0-65 kOhm). Die kabellose BLE-Verbindung benötigt unter Windows 10 allerdings einen speziellen BLE-Dongle.

Für den TXT bringt die Scratch-Umgebung verschiedene Einschränkungen mit: Die entwickelten Programme können nur Online (also mit USB- bzw. BLE-Verbindung) gestartet und nicht auf den TXT Controller geladen werden. Die Kamera und die I²C-Schnittstelle werden von der Scratch-Erweiterung nicht unterstützt. Damit beschränkt sich die Scratch-Programmierung des TXT auf eher einfache Anwendungen und schöpft die Möglichkeiten des TXT nicht aus.

Blockly

Parallel hatte die fischertechnik-Community ab 2016 eine eigene Firmware für den TXT-Controller entwickelt. Da fischertechnik den Code zu den grafischen Programmierumgebungen unter Verschluss hält, war die Community auf andere Wege angewiesen, ihren eigenen Projekten eine grafische Programmierumgebung zur Seite zu stellen. Die Wahl fiel auf Googles Blockly-Projekt [7]. Die Community-Firmware erhielt eine Blockly-basierte Programmierumgebung namens Brickly [8] (Abb. 7).



Abb. 7: Brickly-IDE – Blockly für die TXT-Community-Firmware, erschienen 2016

Anfang 2021 kündigte fischertechnik an, im Sommer 2021 ebenfalls komplett auf Blockly zu wechseln. Es ist zu erwarten, dass damit die 30-jährige Geschichte der „lebendigen“ Flussdiagramme zu Ende geht. Blockly verfolgt nämlich ein gänzlich anderes Programmiermodell. Wie Scratch setzt Blockly auf das vertikale Stapeln von Puzzle-Teil-ähnlichen Befehlsblöcken, während die Flussdiagramme von ROBO Pro frei auf dem Bildschirm angeordnet werden konnten. Blockly bietet auch horizontale Anbaumöglichkeiten; diese beschränken sich aber auf die Parametrierung eines Hauptblocks. So kann man an den „print“-Block zur Textausgabe rechts einen weiteren Block ansetzen, der angibt, welcher Text ausgegeben werden soll. Der eigentliche Programmfluss erfolgt aber immer vertikal. So werden z. B. die einzelnen Pfade einer bedingten Programmierung („wenn dies, dann mach das, sonst mach jenes“) untereinander dargestellt.

Wer mag, der kann Blockly direkt unter [7, 9] ausprobieren. Im Gegensatz zu Lucky Logic und ROBO Pro ist Blockly nicht als Anwendung für ein bestimmtes Betriebssystem oder eine bestimmte Gerätefamilie ausgelegt. Stattdessen läuft Blockly wie Scratch in allen gängigen Browsern und unter allen gängigen Betriebssystemen und lässt sich von den meisten Geräten, vom Smart-Device bis zu den verschiedenen PC-Familien nutzen. Während Lucky Logic und ROBO Pro immer auch auf die Ausführung der erstellten Programme ausgelegt waren, ist Blockly selbst ein reiner Code-Editor. Blockly an sich beschränkt sich auf das Schreiben von Programmabläufen. Um ein Blockly-Programm tatsächlich auszuführen muss von Blockly spezieller Code

exportiert werden, der dann von einer anderen Instanz ausgeführt wird. Um das zu ermöglichen wird Blockly mit einer ganzen Sammlung so genannter Code-Generatoren ausgeliefert. Auf Knopfdruck kann Blockly so das grafisch erstellte Programm in Programmcode diverser gängiger Programmiersprachen wie Javascript, PHP oder Python übersetzen. Je nach Anwendungsfall lässt sich so die passende Programmiersprache wählen. Die unter [10] zu findenden Blockly-Games sind zum Beispiel dazu gedacht, einfache Rätselaufgaben durch Blocky-Programmierung zu lösen. Dazu wird der in diesem Fall von Blockly erzeugte Code direkt im Browser des Anwenders ausgeführt. Da im Browser Javascript verwendet wird, nutzen die Games folgerichtig einen Javascript-Generator.

Das ebenfalls auf Blockly basierende Community-Projekt Brickly [11] für die TXT-Community-Firmware erzeugt dagegen Python-Code mit Hilfe eines Blockly-Python-Generators. Dieser Code wird nicht im Browser ausgeführt, sondern direkt auf den TXT geladen, der einen passenden Python-Interpreter mitbringt, mit dessen Hilfe er das Brickly-Programm dann ausführen kann.¹ Brickly entspricht damit den ROBO Pro-Offline-Programmen, die – einmal auf das Gerät geladen – dort unabhängig immer wieder gestartet werden können.

Lego hat diesen Weg vor etwa einem Jahr ebenfalls eingeschlagen und verwendet für den Spike-Controller der Education-Linie sowie sein Endkundenpendant aus dem „Robotik-Erfinder“-Baukasten Blockly in Kombination mit Python (Abb. 8), genau wie wir es mit der Community-Firmware

¹ Brickly-Lite [12] für den fitDuino sieht zwar Brickly zum Verwechseln ähnlich, erzeugt aber Javascript-Code, der im Browser ausgeführt wird. Der Anwender merkt davon (fast) nichts, aber es gibt einen fundamentalen Unterschied:

Brickly-Python-Code bleibt auf dem TXT gespeichert und kann dort immer wieder direkt gestartet werden. Brickly-Lite mit seinen Browser-basierten Javascript-Programmen entspricht dem ROBO Pro-Online-Modus und erfordert zur Programmausführung den steuernden Browser.

vorgemacht haben. Allerdings wäre es etwas vermessen anzunehmen, dass Lego unsere Aktivitäten überhaupt kannte. Bei Fischertechnik sieht das natürlich etwas anders aus.

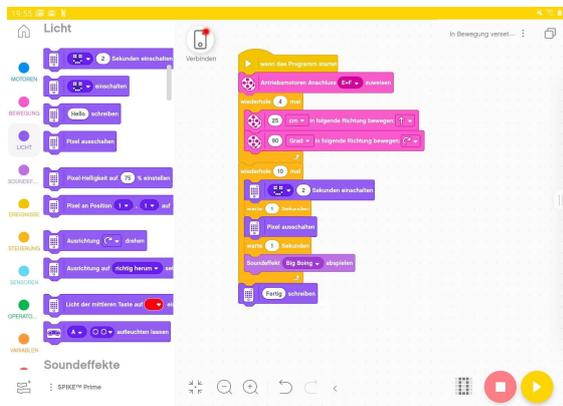


Abb. 8: 2018 springt auch Lego auf den Blockly/Python-Zug auf

Auch die (neue) Einsteiger-Programmiersprache von Fischertechnik, Early Coding, basiert auf Blockly. Und mit dem ftDuino32 setzt auch die Fischertechnik Community wieder auf Blockly (Abb. 9, 10).

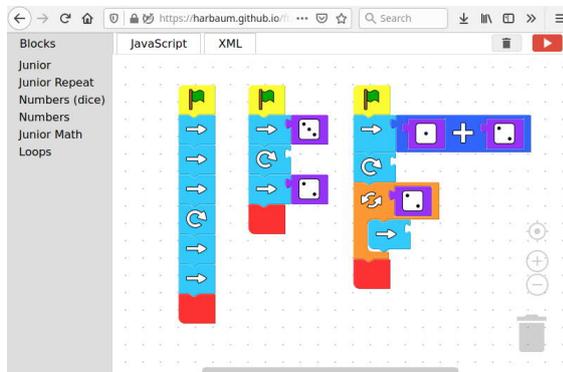


Abb. 9: Early Coding

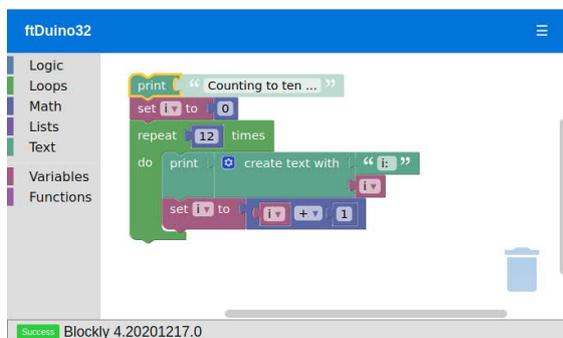


Abb. 10: Blockly auf dem ftDuino32

Erfahrungen

Aus unseren Erfahrungen mit Blockly können wir einiges für den TXT 4.0 Controller (und seine Verwandten) ableiten. Auf dem Screenshot des Promo-Videos von Fischertechnik ist deutlich Blockly zu erkennen (Abb. 11). Man sieht dort links den bekannten Blockly-Code, der sich nur in der Farbgebung etwas von Brickly und Co unterscheidet. Auf der rechten Seite sieht man den äquivalenten Python-Code, der offensichtlich aus Blockly erzeugt wurde.

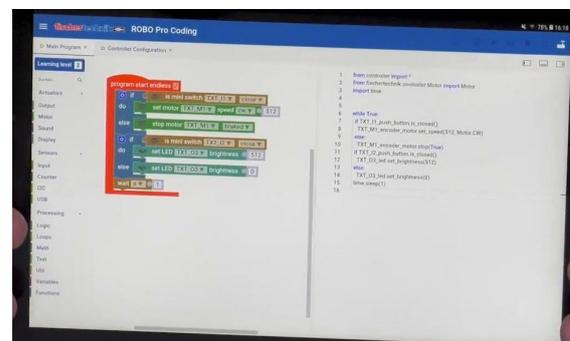


Abb. 11: ROBO Pro Coding: Blockly + Python

Um zu verstehen, was das bedeutet lohnt es sich zu erklären, warum Brickly den erzeugten Python oder Javascript-Code nicht sichtbar macht. Automatisiert generierter Code hat immer das Problem, dass die Maschine eine Aufgabenstellung nicht tatsächlich versteht und der erzeugte Code in der Regel den ästhetischen und didaktischen Ansprüchen eines Menschen nicht gerecht wird. Im Fall von Blockly kommt erschwerend hinzu, dass Blockly nicht speziell auf Python ausgelegt ist. Der erzeugte Code muss also ggf. ein paar Python-untypische Abkürzungen nehmen, um das zu tun, was der Nutzer in Blockly formuliert hat.

Abb. 12 zeigt ein paar dieser Dinge. Das recht einfache Blockly-Programm links legt eine Variable „Count“ an, die aber nicht weiter benutzt wird und ruft die Funktion „do something“ auf. Der daraus automatisch erzeugte Python-Code auf der rechten Seite erwähnt die unbenutzte Variable „Count“ gleich dreimal. Sie wird zunächst völlig unnötiger Weise auf „None“ gesetzt

und dann noch viel unnötiger in der Funktion `do_something` per „global“-Statement verfügbar gemacht, dort aber nicht weiter verwendet. Diese beiden Zeilen hätte ein menschlicher Python-Programmierer gar nicht erst niedergeschrieben. Sie sind in diesem Fall nutzlos, stören die Programmausführung aber auch nicht weiter.

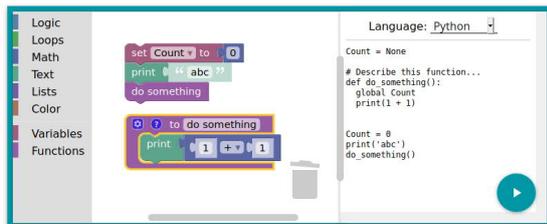


Abb. 12: Automatisch generierter Python-Code

Didaktisch ist es aber natürlich nicht sinnvoll, einem Programmieranfänger Code zu geben, der automatisch erzeugt und in dem Zusammenhang sinnlose Teile enthält.

Noch viel unleserlicher wird es, wenn man Blockly veranlasst, den Code zu „instrumentieren“. Von ROBO Pro ist zum Beispiel bekannt, dass während der Online-Ausführung der jeweils aktive Block des Flussdiagramms aufleuchtet, so dass man den Programmablauf im Flussdiagramm verfolgen kann. Als reiner Editor kann Blockly das so direkt zunächst nicht, denn es führt kein Weg aus dem erzeugten Python-Programm zurück zu Blockly. Wenn ein Python-Programm ausgeführt wird, erfährt Blockly davon zunächst nichts.

Wer einmal Brickly benutzt hat wird aber genau dieses Verhalten gesehen haben. Dass in Brickly der gerade ausgeführte Block am Bildschirm aufleuchtet, erfordert ein paar Tricks. Man kann als Programmierer Blockly dazu veranlassen, den erzeugten Code mit kryptischen Zusatzinformationen und -codes zu versorgen, die Rückschlüsse auf den dazugehörigen Blockly-Code erlauben. Ein von Brickly entsprechend instrumentiertes Python-Programm sieht z. B. so aus:

```
highlight-
Block('ccH%.hD|vu0[=TFoG02r')
# program start
highlight-
Block('gk;c]Lukt}rcM^ktea`d')
print('Hallo ft:pedia!')
highlight-
Block(')A/f0INa,#h1[_1UvxSV')
setOutput(0, (100))
highlightBlock('H3zJl]!`59^zsve-
WOF9B')
while True:
highlightBlock(';IkzdN[PY{-
R=CNmmROG')
print(„Hallo“)
```

Wenn die Community-Firmware dieses Python-Programm ausführt, sendet sie die kryptischen Zeichenketten in den `highlightBlock()`-Funktionsaufrufen zurück an Brickly im Browser. Aus der empfangenen Zeichenkette kann Brickly dann den passenden Block ableiten und aufleuchten lassen, sodass der Benutzer im Browser sieht, wie sein Programm Block für Block abläuft. So hilfreich die Möglichkeit für den Blockly-Anfänger ist, den Programmablauf in Blockly zu verfolgen, so verwirrend ist der erzeugte Python-Code. Das ist der Grund weswegen Brickly diesen Code gar nicht erst anzeigt. Er ist schlicht unverständlich.

fischertechnik hat sich nicht nur entschieden, diesen Code anzuzeigen, sie nutzen ihn auch didaktisch und der Benutzer soll auf diese Weise programmieren lernen. Es wird spannend sein zu sehen, wie fischertechnik dies praktisch umsetzt, wie dem Benutzer der Übergang von Blockly zu Python erklärt wird und ob und wie er den Programmablauf in der Blockly-Darstellung angezeigt bekommt.

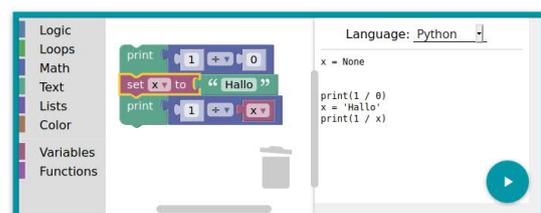


Abb. 13: Python-Fehler

Es gibt noch mehr Probleme bei diesem Ansatz. Da die Programmausführung völlig unabhängig von Blockly erfolgt, treten auch Fehler außerhalb von Blockly auf. Bei der Ausführung von Python-Code tritt folgerichtig ein Python-Fehler auf. Abb. 13 enthält gleich zwei kritische Fehler: Zunächst versucht das Programm, durch Null zu teilen und dann teilt es die Zahl 1 durch die in der Variablen x gespeicherte Zeichenkette „Hallo“. Beides führt zu einem Programmabbruch während der Ausführung. Ein solcher Programabbruch wird auf dem ausführenden TXT ungefähr folgendermaßen angezeigt:

```
Traceback (most recent call last):
File ../blockly_python_fehler.py",
line 4, in <module>
print(1 / 0)
ZeroDivisionError: integer division
or modulo by zero
bzw.
```

```
Traceback (most recent call last):
File ../blockly_python_fehler.py",
line 6, in <module>
print(1 / x)
TypeError: unsupported operand
type(s) for /: 'int' and 'str'
```

Diese Fehlermeldungen stehen in keinem trivial erkennbaren Zusammenhang mit dem ursprünglichen Blockly-Programm. Bei der instrumentierten Ausführung (wir erinnern uns, diese ganzen kryptischen highlightBlock()-Dinger) kann man noch versuchen, etwas zu retten und im Fehlerfall z. B. den zuletzt angezeigten Block rot hervorheben, um darauf hinzuweisen, wo der Fehler wohl auftrat.

Wie geht die Community mit diesen Hürden um? Seit einer Weile ist der ftDuino32 in Entwicklung. Er folgt der Brickly-Idee und schlägt damit den gleichen Weg wie fischertechnik ein und macht den erzeugten Python-Code auf Wunsch sichtbar. Wie wir die beschriebenen Hürden umschiffen ist

noch nicht ganz klar, allerdings adressiert der ftDuino32 nicht das Kinderzimmer, sondern eher Schulen und Unis.

Wir sind gespannt, ob und wie fischertechnik mit diesem Problem umgeht. So großzügig wie fischertechnik sich beim Wechsel auf Blockly und Python bei den Ideen der Community bedient hat, liegt die Hemmschwelle natürlich niedrig, sich im Gegenzug auch die ein oder andere clevere Lösung bei fischertechnik abzuschauen. Wir erwarten also gespannt den TXT-4.0 und seine Blockly- und Python-Nutzung und hoffen auf intuitive und benutzerfreundliche Lösungen bei der nicht ganz trivialen Nutzung von Blockly.

Referenzen und Links

- [1] fischerwerke: [Anleitung zum C64-Computing-Interface](#), 1985 (39485)
- [2] MIT: [Scratch](#).
- [3] fischertechnik: [ftScratch3](#).
- [4] Dirk Fox: [Scratch mit fischertechnik](#). ft:pedia 1/2018, S. 69-78.
- [5] fischertechnik: [FTScratchTXT](#). Github.io.
- [6] fischertechnik: [FTScratchBTSmart](#). Github.io.
- [7] Google: [Blockly](#), Google Developers.
- [8] Till Harbaum: [Brickly auf dem TXT: Grafische Programmierung à la Google-Blockly](#). ft:pedia 1/2017, S. 92-98.
- [9] Bundesweite Informatikwettbewerb: [Blockly](#). BWInf.de
- [10] Google: [Blockly-Games](#).
- [11] fischertechnik-Community: [Brickly](#).
- [12] fischertechnik-Community: [Brickly-Lite](#). Github.io.

Computing

ROBO Pro simuliert: Würfeln und Rechnen

Kurt Mexner

Ein kleines Würfelspiel in ROBO Pro gefällig, das ohne Würfel und TXT Controller auskommt und bei dem man nicht einmal Zahlen addieren muss? Oder hat Onkel Klaus dir 10.000 € vererbt, die du bei deiner Bank zu 3 % Zinsen für zehn Jahre anlegen möchtest – und ROBO Pro soll dir verraten, wie viel Geld du einschließlich Zinseszinsen nach 10 Jahren ausbezahlt bekommst?

ROBO Pro simuliert

ROBO Pro kann auch ohne Controller genutzt werden: Wenn keine externen Aktoren (Motoren, LEDs, ...) angesteuert und keine Sensoren benutzt werden, kann man ROBO Pro im Simulationsmodus betreiben. Dafür muss man im Menu „COM/USB“ die Option „Simulation“ anklicken. Ist kein Controller angeschlossen, startet ROBO Pro automatisch im Simulationsmodus.

Die Eingabe kann über den Bedienfeldeingang und die Elemente „Knopf“ oder „Regler“ vorgenommen werden. Der Bedienfeldausgang steuert auf dem Monitor ein Lampenmodul an.

Wird der TXT Controller angesteuert, so sind maximal acht Eingänge und acht Ausgänge möglich. Diese Beschränkung gibt es im Simulationsmodus nicht. Aktuell arbeite ich an einem Programm, in dem 90 Lampenmodule auf dem Bildschirm angesteuert werden.

ROBO Pro würfelt

Aus den vielen bekannten Würfelspielen entschied ich mich für das Spiel „Große Hausnummer“. Dabei wird dreimal hintereinander mit einem Würfel gewürfelt. Nach jedem Wurf entscheidet man sich, ob man die Zahl als Hunderter-, Zehner- oder Einerstelle werten will. Nach drei Würfeln bildet sich also eine Zahl. Mit Glück und den richtigen Entscheidungen wird sich eine große

Zahl bilden, hat man Pech, eine kleine. Diese Zahl wird aufgeschrieben. Das Ganze wird viermal wiederholt, dann werden alle Zahlen addiert (dies übernimmt ROBO Pro für uns) und der nächste Spieler darf sein Glück versuchen. Wer die höchste Gesamtpunktzahl erwürfelt hat, ist der „ROBO Pro Master“.

Beispiel 1:

Wurf	Zahl	100er	10er	1er
1	5	x		
2	6		x	
3	2			x

Die gewürfelte Zahl ist 562.

Beispiel 2:

Wurf	Zahl	100er	10er	1er
1	4			x
2	5		x	
3	1	x		

Die gewürfelte Zahl ist 154

ROBO Pro bedient

Gespielt wird über das Bedienfeld. Der Knopf „Würfeln“ startet den Würfelvorgang. Über die Knöpfe „100“, „10“ und „1“ wird die Entscheidung mitgeteilt. Ein erneuter Knopfdruck „Würfeln“ erzeugt eine neue Zahl. Wenn durch dreimal Würfeln eine Zahl gebildet wurde, wird sie in das erste Feld übertragen. Nachdem fünf Zahlen

erzeugt wurden, werden diese addiert und die Gesamtzahl angezeigt. Falls man mit mehreren Personen spielt, muss man sich diese aufschreiben. Wenn der Knopf „Nochmal“ gedrückt wird, startet eine neue Runde und der nächste Spieler darf sein Glück versuchen.

ROBO Pro programmiert

Im Hauptprogramm zählt ROBO Pro von 1 bis 6 und beginnt immer wieder von vorne. Durch den Knopfdruck wird gestoppt, die aktuelle Zahl wird in die Würfelpunkte umgerechnet und die entsprechenden Anzeigeelemente (= Lampen) werden angesteuert. ROBO Pro erzeugt also keine richtigen

Zufallszahlen. Der Zufall entsteht dadurch, dass jeder Bediener eine andere Zeitspanne benötigt, um den Knopf zu drücken. Zusätzlich braucht das Programm unterschiedliche Zeit, um die Ergebnisse umzusetzen. Es entstehen also Pseudo-Zufallszahlen.

Im Unterprogramm (UP) „Zuordnen“ wird die erzeugte Zahl der Hunderter-, Zehner- oder Einerstelle zugewiesen. Das UP „Punkte addieren“ ist für die Errechnung der Punktzahl zuständig. Das UP „Nein“ reklamiert, falls jemand eine Stelle belegen will, an der sich bereits eine Zahl befindet.



Abb. 1: Das Spiel „Große Hausnummer“ in ROBO Pro

Das Programm macht Spaß, da das Würfelspiel eine Mischung aus Glück und der richtigen Kombinationsgabe ist. Und vor allem das lästige Addieren der Zahlen entfällt. Viel Spaß dabei.

ROBO Pro excel

Bei der Berechnung des Zinseszins-effekts simuliert ROBO Pro ganz gewaltig, denn ihr werdet aktuell keine Bank finden, die euch 3 % Zinsen anbietet. Dank der Niedrigzinspolitik der EZB bekommt ihr aktuell maximal 1,3 % für zehn Jahre angeboten. Vor sechs Jahren wäre das noch möglich gewesen. Hoffen wir also auf steigende Zinsen, damit ROBO Pro etwas zu rechnen hat.

ROBO Pro rechnet

Bisher haben wir uns mit Ganzzahlen begnügt. Zinsrechnung benötigt aber auch Dezimalzahlen. Ich brauchte längere Zeit um damit umzugehen. Dank der ROBO Pro-Hilfe gelang es mir aber. Damit exakt gerechnet werden kann, muss die Gleitkommaarithmetik benutzt werden. Bei allen Variablen, Zahlen und Operatoren muss ein Häkchen bei „Gleitkomma 48 Bit“ gesetzt werden. Man erkennt dies daran, dass das entsprechende Objekt stärker umrandet wird.

Aus meiner alten Wirtschaftsgymnasiumszeit fand ich noch ein Buch über Finanzmathematik. Sicherheitshalber überprüfte ich die Berechnungen von ROBO Pro mit Excel und sie stimmten bei der Berechnung über zehn Jahre bis auf den letzten Cent überein. Ein Internetrechner (www.zinsberechnen.de) kam bei zehn und 20 Jahren zum gleichen Ergebnis wie ROBO Pro. Das Programm rechnet also sehr genau.

Der Zinseszins-Effekt

Bei der Kapitalanlage steht man vor der Wahl, sich die Zinsen jährlich auszahlen zu lassen oder sie dem Anfangskapital zuzuschlagen. Wenn die Zinsen dem Kapital hinzugefügt werden, werden sie mitverzinst

und steigern dadurch den jährlichen Zinsertrag. Dieser Zinseszins-Effekt ist umso größer, je länger das Kapital bei der Bank angelegt ist. Er steigert sich noch mehr, wenn der Zinsfuß (= die jährliche Verzinsung) hoch ist.

Im Programm werden beide Varianten übereinander angezeigt. Bei der Erbschaft von Onkel Klaus werden mit einfachem Zins am Ende der zehn Jahre 13.000 € ausbezahlt; in der Zinseszins-Variante sind es 13.439 € – ein gutes Stück mehr. Denn es gilt:

$$10000 \cdot (1 + 0,03)^{10} = 13439$$

ROBO Pro programmiert

Hier laufen mehrere Programme parallel. Im Hauptprogramm werden die Einstellungen von Kapital, Verzinsung und Zeit vorgenommen. Die Berechnung und Umsetzung der Anzeige der einfachen Verzinsung erfolgt hier.

Das UP Zinseszins erledigt die Berechnung und Anzeige der Zinseszinsen in Tabellenform über 20 Jahre. Die übliche Textanzeige ist nicht nutzbar. Es wird das Textelement benötigt, da es auf Gleitkomma 48 Bit eingestellt werden kann.

Im linken Bereich werden für jedes Jahr die aktuellen Zinsen (Zins1j, Zins2j, ..., Zins20j) errechnet und dem Kapital des Vorjahres zugeschlagen und dadurch das Endkapital des aktuellen Jahres gebildet (Kap1j, Kap2j, ..., Kap20j). Das Kapital am Anfang des Jahres, Zinsen und Kapital (und Zinsen und Zinseszinsen) am Ende des Jahres werden über das Textelement erfasst, formatiert und im Bedienfeld als Tabelle angezeigt.

Bedienung

Die Einstellung der Parameter und die Berechnung laufen gleichzeitig ab. Dies bedingt, dass die Einstellung der Parameter etwas verzögert reagiert. Mit dem Regler kann das Kapital in 1000er Schritten eingestellt werden. Mit dem „+100“ und „-100“

Knopf erfolgt die Feineinstellung der 100er Schritte. Maximal kann das Kapital auf 100.000 € eingestellt werden.

Verzinsung und Zeit in Jahren werden nur durch Knopf-Einstellungen vorgenommen. Auch wenn bei der Zeit nur zehn Jahre eingestellt werden, zeigt die untere Tabelle die Werte bis zum 20. Jahr. Nur bei der Berechnung der Normalzinsen im oberen Bereich wird die Zeit berücksichtigt.

Nach dem Start muss in das Bedienfeld gewechselt werden. Das Bedienfeld muss man so weit verkleinern, dass die untere Tabelle bis zum 20. Jahr sichtbar ist.

Anwendungen

Jeder sollte sich intensiver mit finanziellen Fragen auseinander setzen. Vermögensbildung ist planbar. Ein Weg dazu ist Sparen und Anlegen. Wer ein Auto für 20.000 € kauft statt für 40.000 € schont nicht nur die Umwelt (wenn das Fahrzeug weniger Sprit verbraucht), sondern legt einen Grundstein für sein Vermögen.

Ihr habt eine Versicherung mit Einmalzahlung, die nun fällig wird? Mit dem Programm könnt ihr eure Nettoverzinsung berechnen. Ihr legt euer Geld als Festgeld an? Nun könnt ihr die Berechnung eurer Bank kontrollieren.

Viel Spaß und viel Erfolg bei den ersten Schritten zum Millionär.

Die ROBO Pro-Programme stehen als [Anlage zu diesem Beitrag](#) zum Download auf der ft:pedia-Seite bereit.

ROBO Pro sucht Saarländer

Am 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, meine E-Mail-Adresse lautet kumexx@gmx.de.

Und natürlich stehe ich auch bei Rückfragen oder Anregungen gerne zur Verfügung.

Computing

TX Controller und ftDuino im Vergleich

Helmut Jawtuschk

Grundlage eines Vergleichs zwischen dem TX Controller und dem ftDuino bildeten vier mit den Encodermotoren angetriebene fahrbare Roboter: ein „Pixy-Folger“, ein ferngesteuerter Roboter und ein Hinderniserkennner. Die Robotersteuerungen wurden in der Programmiersprache C (TX) bzw. C++ (ftDuino) entwickelt.

Hintergrund

In der ft:pedia 2017-1 habe ich auf die Möglichkeit hingewiesen, den TX Controller mit C zu programmieren [1]. Dabei werden die kompilierten C-Programme per USB-Verbindung auf den TX übertragen. Dadurch ist der Programmablauf schnell und auch bei Verwendung der Pixy – CMUcam5 [2] (kurz: Pixy) folgt ein fahrbarer Roboter einer Kugel zügig. Man kann mehrere Programme in das RAM oder den Flash-Speicher des TX laden und über das Menü „Datei“ am Controller auswählen.

Die Programmierung des ftDuino erfolgt in der Arduino IDE in C++ [3]. Im Flash-Speicher des ftDuino kann nur ein Programm abgelegt werden kann. Er muss also mit dem PC verbunden werden, wenn man zu einem anderen Programm wechseln will.

Pixy-Folger

Der Pixy-Folger ist ein dreirädriger Fahr-Roboter, der ein farbiges Objekt erkennen und diesem folgen kann.

Wir beginnen mit der Modellvariante für den TX Controller (Abb. 1) und vergleichen den Teil des C-Programms (pixymove), der in einer schnellen Schleife aufgerufen wird. Typisch für das C-Programm ist das Springen zu den Zuständen (stage), die durch ihre Bezeichnung verraten, wie sich der Roboter bewegen soll. Durch stage++ wird bei der

nächsten Wiederholung der folgende Zustand gewählt. So ist SYNC_1 der Zustand, in dem die Werte der Pixy erneut eingelesen werden.

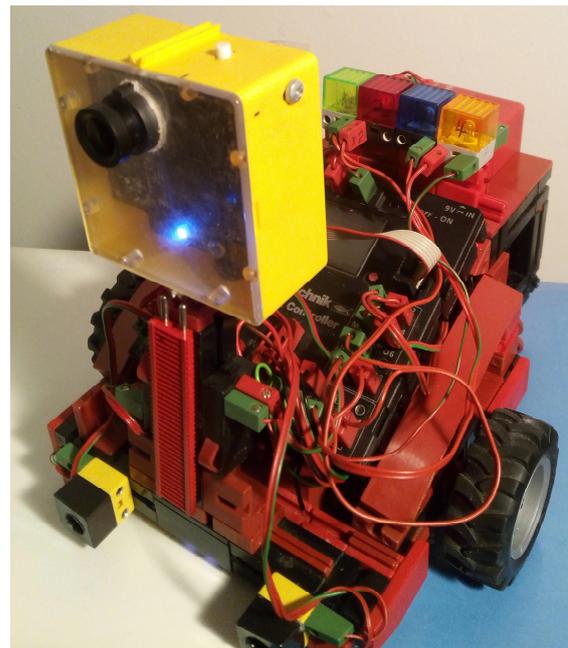


Abb. 1: Pixy-Folger mit TX Controller

Wenn die pixy das Objekt mit der Nummer $po = 2$ erfasst hat, dann regelt der folgende Programmabschnitt die Bewegung des Roboters.

Die Bedeutungen der Variablen sind:

- po : Nummer des Objects
- px / py : Position des Objektes
- pb Breite des Objektes.

```

case Objekt:
  if (po == 2) { stage++; }
  else { stage = sonstige; }
  return rc;
case li:
  if ((px < 110) && (pb > 15)) {
    links (speed * 4);
    stage = SYNC_1;
  }
  else { stage++; }
  return rc;
case re:
  if ((px > 210) && (pb > 15)) {
    rechts (speed * 4);
    stage = SYNC_1;
  }
  else { stage++; }
  return rc;
case vw:
  if ((pb < 35) && (pb > 15)) {
    vorwaerts(speed * 0.9);
    stage = SYNC_1;
  }
  else { stage++; }
  return rc;
case rw:
  if (pb > 60) {
    zurueck(speed);
    stage = SYNC_1;
  }
  else { stage++; }
  return rc;
case aus:
  stopp();
  stage = SYNC_1;
  return rc;
case sonstige:
  stage = SYNC_1;
  return rc;

```

*Listing 1: pixymove für TX Controller
(Steuerung des Roboters mit der Pixy)*

Wie sieht nun zum Vergleich dieser Programmabschnitt für den ftDuino in C++ aus? Abb. 2 zeigt das Modell des Pixy-Folgers mit dem ftDuino.

C++ ist objektorientiert und entsprechend wird ein Objekt pixy von der Klasse PixyI2C abgeleitet:

```
PixyI2C pixy(0x14);
```

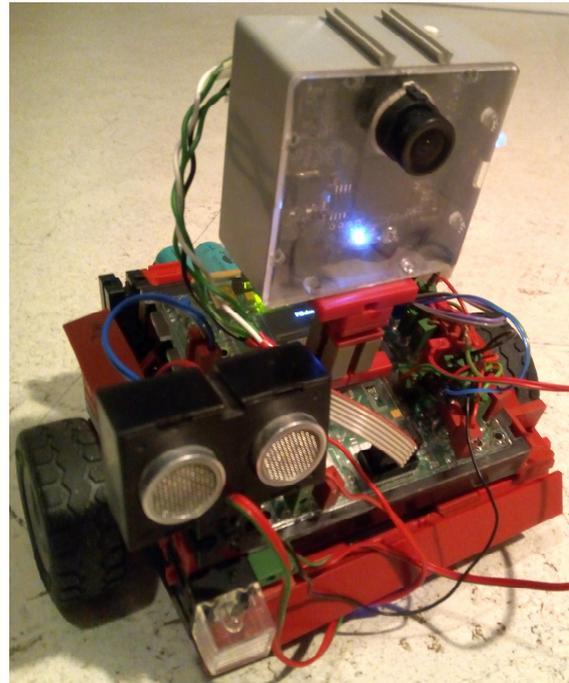


Abb. 2: Pixy-Folger mit ftDuino

Der folgende Teil läuft dann in einer Schleife:

```

if (pixy.blocks[j].signature == 3)
{
  px = pixy.blocks[j].x;
  py = pixy.blocks[j].y;
  pb = pixy.blocks[j].width;
  ph = pixy.blocks[j].height;
  if ((px < 110) && (pb > 15)) {
    links (speed);
  }
  else {
    if ((px > 210) && (pb > 15)) {
      rechts (speed);
    }
    else {
      if ((pb < 35) && (pb > 15)) {
        vorwaerts (speed);
      }
      else {
        if (pb > 60) {
          zurueck (speed);
        }
        else { stopp(); }
      }
    }
  }
}
delay(15);
}

```

*Listing 2: Programm-Äquivalent zu
pixymove für den ftDuino*

Vor allem der Abschnitt, in dem die Daten der Pixy eingelesen werden, ist übersichtlich.

In dem C-Programm ist dieser Teil deutlich länger, und ich habe ihn deshalb oben auch weggelassen. Wer zu dem moderneren, objektorientierten Stil neigt, kann sich beim ftDuino austoben. Man muss aber auch immer wissen, welche zusätzlichen Bibliotheken eingebunden werden müssen. Bei dem TX ist es eben reines C.

Fernsteuerung via Smartphone

Nun hat Till Harbaum für den ftDuino einen Bluetooth-Adapter entwickelt, der es ermöglicht, den Roboter über ein Smartphone zu steuern [4]. Besonders gelungen finde ich, dass die graphische Bedienoberfläche (GUI) in dem C++ Programm definiert wird (und nicht auf dem Arduino-Gerät).

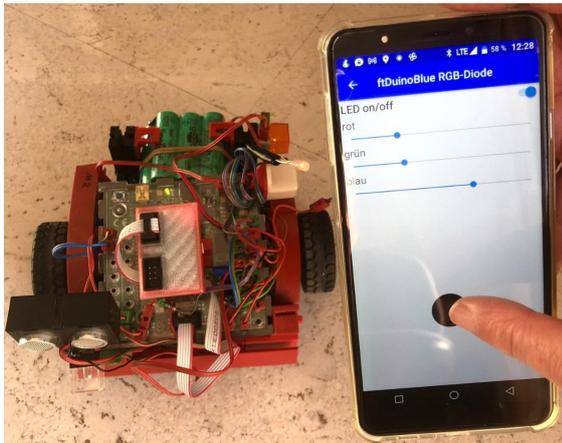


Abb. 3: Steuerung des ftDuino via Smartphone

Für die Anwendung rechts sieht das z. B. so aus:

```
const char layout[] PROGMEM =
"<layout orientation='portrait'
name='Joystick + RGB-Diode'>"
"<switch id='1' size='20'
width='parent' place='hcenter;
top:1'>LED on/off</switch>"
"<label id='2' size='20'
place='left;below:1'>rot</label>"
"<slider id='3' width='parent'
max='255' place='hcenter;below:2'>"
"<label id='4' size='20'
place='left;below:3'>grün</label>"
```

```
"<slider id='5' width='parent'
max='255' place='hcenter;below:4'>"
"<label id='6' size='20'
place='left;below:5'>blau</label>"
"<slider id='7' width='parent'
max='255' place='hcenter;below:6'>"
"<space id='8' width='20'
height='30' place='hcenter;below:7'>"
"<label id='9' size='20'
place='hcenter;below:8'></label>"
"<space id='10' width='20'
height='30' place='hcenter;below:9'>"
"<joystick id='11' bgcolor = 'red'
width='280' height='280'
place='hcenter;below:10'>"
"</layout>";
```

Listing 3: Konfiguration der Smartphone-GUI

Man sieht hier, wie die einzelnen Elemente der GUI in ihrer Größe und Lage definiert werden. Die Kodierung ist ähnlich zu HTML oder XML.

Ich habe in meinem Beispielprogramm eigentlich zwei Anwendungen untergebracht. Mit den oberen drei Schiebern (slider) kann man mit einer RGB-LED die einzelnen Farbanteile zu neuen Farben mischen. Mit passenden Vorwiderständen kann man eine solche LED an den Ausgängen O1..O8 anschließen. Das Setzen eines Ausgangs sieht dann so aus:

```
if (r->id == 7) {
    blueBrightness = r->slider;
    ftduino.output_set (Ftduino::O1,
        Ftduino::HI, blueBrightness/4);
}
```

Zum Abschluss noch der Code zum Steuern der beiden Motoren:

```
void motoren (bool vor, int m2,
int m3) {
    if (vor) {
        ftduino.motor_set
            (Ftduino::M2,
            Ftduino::RIGHT,m2);
        ftduino.motor_set
            (Ftduino::M3,
            Ftduino::RIGHT,m3);
    }
    else {
        ftduino.motor_set
```

```

    (Ftduino::M2,
     Ftduino::LEFT,m2);
ftduino.motor_set
    (Ftduino::M3,
     Ftduino::LEFT,m3);
}
}

```

Listing 4: Motorsteuerung (ftduino)

Wenn es nicht schnell gehen muss, dann gibt es auch für den TX die Möglichkeit der Verbindung über Bluetooth. Die elegante Steuerung mit Smartphone ist allerdings nur mit dem ftduino möglich.

Hinderniserkennung

Bei dem Projekt „Hinderniserkenner“ habe ich festgestellt, dass in der aktuellen Fassung von ftduino.cpp Abstandswerte des Ultraschall-Abstandssensors in Intervallen von mehr als 250 ms geliefert werden. Mit einiger Tüftelei konnte ich erreichen, dass auch der ftduino, wenn auch mit geringer Geschwindigkeit, um Hindernisse fährt.

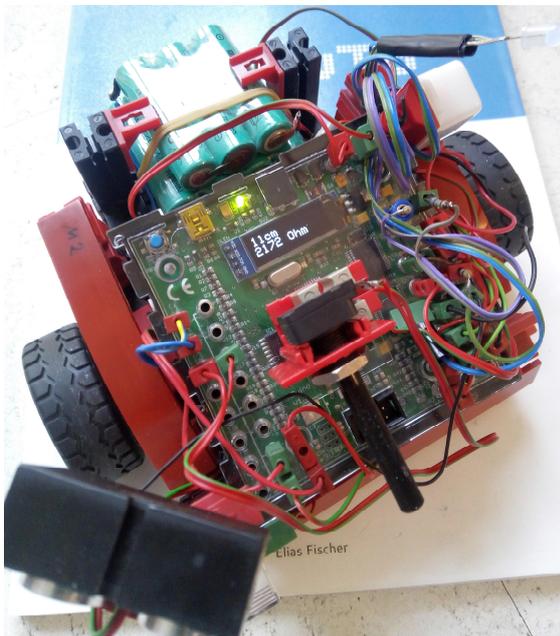


Abb. 4: Hinderniserkenner mit ftduino

Dazu muss der Abstandssensor vorne rechts im 45° Winkel angebracht werden. Um die Geschwindigkeit zu optimieren, habe ich ein Potentiometer verwendet, dessen Werte laufend abgefragt werden (Abb. 4).

Diese Anwendung läuft mit dem TX-Controller deutlich flotter.

Dafür gibt es den ftduino auch mit einem integrierten Display. Dann sind einige Ausgaben wie beim TX direkt auf diesem Display möglich. Ich habe z. B. eine Anwendung geschrieben, mit der dort Werte des Ultraschall-Abstandssensors und eines Potentiometers angezeigt werden. Damit das funktioniert, müssen mehrere Arduino- und ftduino-Bibliotheken eingebunden werden:

```

#include <Adafruit_GFX.h>
#include
<Adafruit_SPITFT_Macros.h>
#include <FtduinoDisplay.h>
#include <Ftduino.h>

```

Das benötigt aber einige Ressourcen und eignet sich daher nicht für laufende Kontrollausgaben bei schnellen Vorgängen wie z. B. dem Folgen einer Spur.

Daher verwende ich beim ftduino dafür mehrere Lampen, die bei Abweichungen des Roboters von der Spur entsprechend aufleuchten.

Fazit

Mir hat die Erkundung der Möglichkeiten den ftduino Spaß gemacht. Man kann damit für kleines Geld in die Programmierung von Robotern einsteigen. Dabei sind die Sprachen C oder C++ noch immer Grundlagen vieler anderer Sprachen wie C#, PHP oder Java.

Möchte man aber Mikrocontroller-gesteuerte Roboter z. B. mit C#, Java oder Terrapin Logo programmieren, dann ist der gute, alte TX Controller die richtige Wahl. Man hat dann Sprachen zur Verfügung, die einfacher zu erlernen sind als C oder C++. Ein Download der Programme und damit eine schnellere Ausführung sind darüber allerdings nicht möglich.

Ich habe meine Beispielprogramme für den ftduino in einem Paket zusammengestellt, das mit diesem Beitrag zum Download zur Verfügung gestellt wird.

Alle erforderlichen Programme und Treiber für den TX Controller habe ich in einem weiteren Packet txMscC zusammengestellt. Das Packet enthält den USB-Treiber, den PSPad-Editor, den C-Compiler und meine C-Beispielprogramme. Es läuft problemlos auch unter Windows 10.

Beide Pakete können als Anlage zu diesem Beitrag auf ftpedia.de heruntergeladen werden.

Referenzen

- [1] Helmut Jawtusch: [*Programmierung des TX in Java, C, C++, C# und Logo*](#). ft:pedia 2/2017, S. 51-57.
- [2] Dirk Wölffel, Dirk Fox: [*I²C mit dem TX – Teil 11: Pixy-Kamera \(I\)*](#). ft:pedia 4/2014, S. 43-51.
- [3] Till Harbaum: [*ftDuino – Open Source trifft Konstruktionsbaukasten*](#). ft:pedia 1/2018, S. 85-91.
- [4] Till Harbaum: [*Bluetooth-Modul für den ftDuino*](#). ft:pedia 4/2020, S. 64-67.

Computing

fischertechnik-Roboter mit Arduino (Teil 3): Steuerung mit dem Joystick Shield

Arnoud van Delden

Die fünf Roboter aus dem Buch „fischertechnik-Roboter mit Arduino“ [1] haben zahlreiche Leser zu weiteren Modellideen angeregt. In loser Folge stellen sie in dieser Serie einige ihrer Modellvarianten vor. Diesmal erhalten „Buggy“ und „Flitzer“ eine robuste und komfortable Funk-Fernsteuerung mit Display.

Das Joystick Shield

Im Buch „fischertechnik®-Roboter mit Arduino“ [1] werden verschiedene Möglichkeiten zur Steuerung der beschriebenen Modelle und Roboter vorgestellt. Beispielsweise werden der Anschluss eines Joysticks an den Arduino des Flitzer sowie eine Fernbedienung durch einen zweiten Arduino mit einem 433-MHz-Sendemodul beschrieben.



Abb. 1: Arduino Joystick Shield

Vor einiger Zeit bin ich in verschiedenen Online-Shops auf ein Joystick Shield für den Arduino gestoßen (Abb. 1). Das Shield kann auf einen Arduino Uno aufgesteckt werden. Dadurch entsteht eine Steuereinheit mit einem Zwei-Achsen-Joystick, vier

größeren und zwei kleinen SMD-Drucktasten. Ein siebter Drucktaster befindet sich unter dem Joystick. Die gesammelten Signale von den Tasten sind auf einem separaten Anschluss verfügbar. Darüber hinaus gibt es Anschlussmöglichkeiten für ein LCD-Display, ein HF-Transceiver-Modul, eine I²C-Schnittstelle und einen Anschluss mit serieller Schnittstelle, an die ein Bluetooth-Modul angeschlossen werden kann.



Abb. 2: Fernsteuerung mit Arduino, Joystick Shield, Sendemodul und Batteriehalter

Hat man das Joystick Shield auf einen Arduino Uno aufgesteckt, kann es problemlos um ein einfaches Sendemodul wie das im Buch (Seite 170, [1]) beschriebene FS100A-Modul erweitert werden. Ein Vorteil des Shields ist, dass sofort mehrere Drucktaster verfügbar sind und kein spezielles Gehäuse konstruiert werden muss. Joystick und Taster wurden bereits auf einer Platine zusammengeführt. Durch die Befestigung eines 9V-Batteriehalters mit Klettverschluss unter dem hervorstehenden Teil der Abschirmung ist die Stromversorgung ebenfalls relativ einfach zu realisieren (Abb. 2).

315-MHz-Sender/ Empfänger

Mein Sende-Modul arbeitet mit 315 MHz (Achtung: [kein ISM-Band!](#)), ist jedoch bis auf den verwendeten Kristall identisch mit der (ISM-) Variante, die im Buch verwendet wird und auf 433 MHz sendet. Das entsprechende Empfängermodul ist das gleiche (XY-MK-5V); es ist jedoch auf die entsprechende Empfangsfrequenz eingestellt.

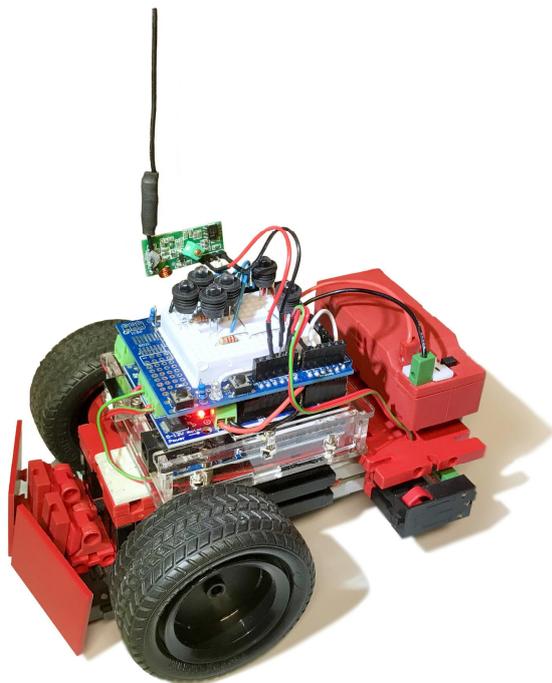


Abb. 3: Buggy mit Empfängermodul

Der elektronische Aufbau dieses Senders ist sehr einfach. Der Sender besteht aus einem

einfachen Oszillator, der um einen Kristall herum aufgebaut ist und im Rhythmus der zu sendenden Daten ohne Fehlerkorrektur oder Überprüfungsprotokoll ein- und ausgeschaltet wird. Diese Modulation wird als „Amplitude Shift Keying“ (ASK) bezeichnet. Unterschiedliche Kanaleinstellungen sind nicht möglich, so dass in der Sendereichweite jeweils nur ein solcher Sender verwendet werden kann. Obwohl der niedrige Kaufpreis viel wettmacht, könnte dies natürlich eine Einschränkung sein.

Das Steuerungssystem ist ebenfalls einfach: Es gibt nur eine Kommunikation vom Sender zum Empfänger und keine Rückmeldung vom Modell zur Steuereinheit. Eine solche Verbindung wird als „Simplex“-Verbindung bezeichnet. Ich habe ein Video über meine Experimente mit diesen einfachen Sende- und Empfängermodulen zur Steuerung des Buggys erstellt; ihr findet es in meinem Youtube-Kanal (Abb. 3, [2]).

Die Anschlussdiagramme und Arduino-Sketches stehen auf meiner Webseite zum Herunterladen bereit [3, 4].

Halbduplex-Steuerung mit Transceiver-Modulen

Das Joystick Shield bietet bereits eine Anschlussoption für ein Transceiver-Modul nRF24L01 (Abb. 3), das abwechselnd als Sender oder als Empfänger betrieben werden kann.



Abb. 4: Transceivermodul

Wenn das zu steuernde fischertechnik-Modell mit demselben Modul ausgestattet ist,

ist es relativ einfach, eine sogenannte Halbduplex-Datenverbindung über die SPI-Busse der Arduinos im Joystick Shield und im gesteuerten Modell einzurichten. Informationen können in beide Richtungen ausgetauscht werden.

Die Reichweite und Technik dieser Transceiver-Module sind der des oben beschriebenen einfachen Senders zweifellos überlegen. Die Transceiver-Module nRF24L01 arbeiten im 2,4-GHz-ISM-Frequenzband und verwenden die GFSK-Modulation für die Datenübertragung. Mit einem robusten Datenprotokoll und einer Übertragungsrate von bis zu 2 Mbit/s, CRC-Prüfungen und 125 möglichen Kanälen mit automatischem Frequenzsprung stehen sich Funkmodelle an einem Tag der offenen Tür oder bei einer Roboterdemonstration nicht so schnell im Weg wie mit den einfacheren 315/433-MHz-Modulen.



Abb. 5: Buggy mit Joystick-Shield-Fernsteuerung im 2,4-GHz-Band

Um die verschiedenen Drucktaster am Joystick Shield zu testen, habe ich den Buggy

mit einem Prototype Shield und LEDs ausgestattet. Wird ein Drucktaster aktiviert, kann ein Signal zurückgesendet werden, um die LED am Joystick Shield einzuschalten und die Halbduplex-Natur der Verbindung zu demonstrieren (Abb. 5). Ich habe den Buggy auch „in Aktion“ gefilmt und das Video auf meinem Youtube-Kanal bereitgestellt [5].

Die Sketche und Anschlussdiagramme für das Joystick Shield und den Buggy mit den Transceiver-Modulen können ebenfalls von meiner Webseite heruntergeladen werden; dort finden sich auch weitere Informationen [6, 7].

Vollduplex-Steuerung mit Bluetooth

Als nützliche Erweiterung der Steuerungsoptionen wurde die Steuerung mit dem Smartphone über BLE in der ft:pedia 3/2020 erörtert [8]. Dafür wurde der Flitzer mit einem HM-10 Bluetooth BLE-Modul ausgestattet und konnte mit dem „virtuellen Joystick“ der App ArduinoBlue via Smartphone gesteuert werden. Die auf GitHub veröffentlichte ArduinoBlue-Bibliothek ist eine hervorragende Grundlage für die Verwendung im Arduino-Sketch des Modells.

Bei der Steuerung eines komplexeren Roboters ist es außerdem sinnvoll, nützliche Informationen auszutauschen wie beispielsweise Fehlermeldungen oder Warnungen. Im Fall des „Flitzers“ aus dem Buch [1] sind das z. B. die zurückgelegte Strecke oder die Geschwindigkeit. Ein logischer nächster Schritt schien mir daher, das Joystick Shield um ein Display zur Anzeige dieser Informationen zu erweitern.

Ich habe dem Joystick Shield daher ein Gehäuse mit LCD-Display spendiert und es mit der ArduinoBlue-Bibliothek kompatibel gemacht, so dass im Prinzip die Sketche für den Flitzer aus der ft:pedia [8] ohne Modifikationen auch mit dem Joystick Shield verwendet werden können. Dies macht beide Steuerungsarten austauschbar und

man kann wählen, ob man den Flitzer mit einem „virtuellen“ oder „physischen“ Joystick steuern möchte. In letzterem Fall verfügt das Joystick Shield zusätzlich zu den verschiedenen physischen Tasten über eine Anzeige, auf der der Status der Verbindung, die Werte des Joysticks und der Tasten sowie die Meldungen des Modells angezeigt werden.

Zu diesem Zweck muss das Joystick Shield ebenfalls mit einem Bluetooth-Modul ausgestattet sein, dem durch Konfiguration die Rolle ‚Central‘ (im klassischen Bluetooth ‚Master‘) zugewiesen und das automatisch mit dem Modul im Flitzer verbunden werden muss. Das Modul im Flitzer muss nicht konfiguriert werden, da es nach den Werkseinstellungen bereits standardmäßig für die Rolle ‚Peripheral‘ (im klassischen Bluetooth ‚Slave‘) konfiguriert ist.

BLE-Modul konfigurieren und koppeln

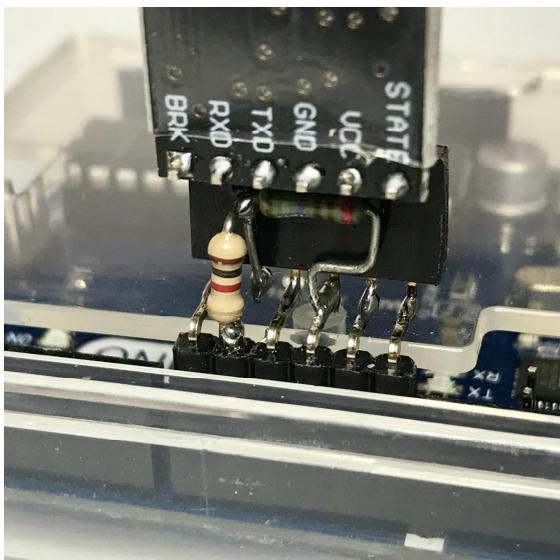


Abb. 6: BLE-Modul mit Spannungsteiler

Da wir jetzt tatsächlich in zwei Richtungen kommunizieren ist es sinnvoll, den RxD-Eingang des Moduls mit einem sogenannten Pegelumsetzer zu versehen. Zwei Widerstände reichen aus, um einen Spannungsteiler herzustellen: Man bindet das Signal über einen Widerstand von 1 k Ω an und hängt den RX-Eingang des Moduls

über einen Widerstand von 2 k Ω an den GND-Pin einer Anschlussbuchse, die einfach in das Modul eingesteckt werden kann. Aufgrund des resultierenden Spannungsteilers liegt das Eingangssignal des Moduls sauber bei 3,3 Volt und das Modul ist gegen ein zu hohes Eingangssignal geschützt.

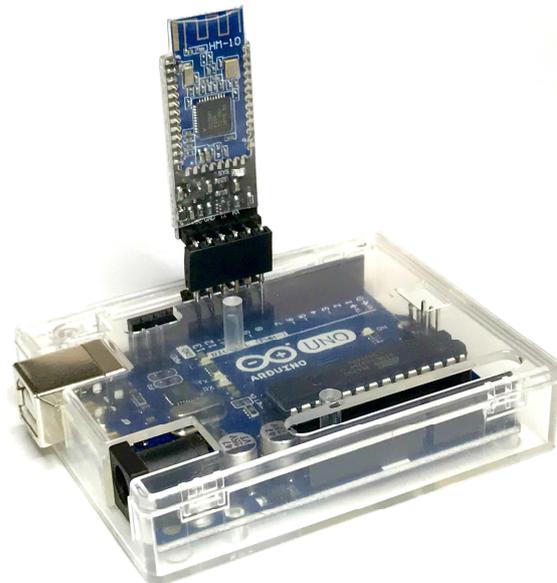


Abb. 7: BLE-Modul am Arduino

Das „Bluetooth-Testprogramm“ aus der ft:pedia 3/2020 [8] kann zur Konfiguration des zweiten Moduls verwendet werden. Wenn das ‚Peripheral‘-Modul nicht aktiv ist, ist eine Verknüpfung basierend auf der MAC-Adresse dieses Moduls möglich. Es ist einfacher, wenn das ‚Peripheral‘-Modul vom ‚Central‘-Modul während eines sogenannten ‚Discovery‘-Scans erkannt werden kann. Dann kann es einfach anhand des in diesen Scanergebnissen gefundenen Index verknüpft werden.

Das ‚Central‘-Modul zur Verwendung im Joystick Shield kann mit AT-Befehlen konfiguriert werden. Verwendet zuerst den Befehl „AT+IMME1“, um das automatische Scannen und Koppeln an versehentlich in der Nähe befindliche Module zu unterdrücken. Dann macht man dieses Modul mit „AT+ROLE1“ zum Controller.

Jetzt kann das Modul mit „AT+DISC?“ als ‚Central‘ scannen oder „entdecken“. Es

folgt eine Liste der gefundenen ‚Peripheral‘-Module, bei denen der Index des gewünschten Moduls wichtig ist. Angenommen, der Index des anhand der MAC-Adresse erkannten ‚Peripheral‘-Moduls ist 2, dann kann die Verbindung mit „AT+CON2“ hergestellt werden.

Schließlich muss das ‚Central‘-Modul mit „AT+IMME0“ wieder in den automatischen Erkennungs- und Verbindungsmodus versetzt werden, damit diese Verknüpfung (Pairing) von nun an nach einem Reset oder Stromausfall des Moduls oder der Übergabe von „AT+START“ an ‚Central‘ automatisch hergestellt wird.

Weitere Informationen zu den verschiedenen Bluetooth-Modulen und ihrer Konfiguration findet ihr auf meiner Website und in einem weiteren Film [9].

Joystick Shield mit LCD-Display und BLE-Modul

Das Joystick Shield verfügt bereits über einen Anschluss für ein kleines Nokia 5110 LC-Display. Da ich ohnehin vorhatte, ein kleines Plexiglasgehäuse mit Batteriefach zu bauen, entschied ich mich für einen Bildschirm mit zwei Zeilen und 16 Zeichen pro Zeile, der über den I²C-Bus gesteuert werden kann (Abb. 8, [10]).



Abb. 8: Fernsteuerung mit LC-Display

Es gibt bereits Anschlüsse für den I²C-Bus und die Verbindung mit dem Bluetooth-Modul auf dem Joystick Shield. Da es jedoch direkt unter der Leiterplatte angeschlossen wurde, habe ich diese Anschlüsse entfernt, damit um die Drucktaster herum mehr Platz vorhanden ist. Ich habe mir jedoch nicht die Mühe gemacht, die anderen Anschlüsse zu entfernen und eine Abdeckplatte herzustellen. Ohne eine zusätzliche mechanische Lösung würde dies auch die SMD-Schaltflächen auf der Platine unzugänglich machen.

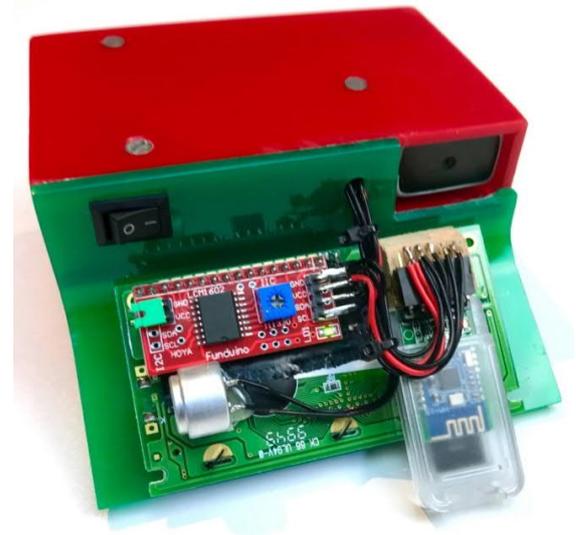


Abb. 9: Fernsteuerung von unten

Das Bluetooth-Modul wurde hinter dem Display platziert. Mit einer Klebepistole fügte ich gleich einen Piezo-Buzzer hinzu. Da ich auch den „State“-Ausgang des Bluetooth-Moduls auslese, kann das Display den Status der Verbindung mit einem BT-Symbol anzeigen. Standardmäßig zeigt das Display die Joystickwerte und den Status der Drucktasten an.

Zu der kleinen Befehlssprache, die ich mir ausgedacht habe, um die Anzeige zu beschreiben und zum Beispiel den Piezo-Buzzer piepen zu lassen, komme ich weiter unten.

Das oben konfigurierte BLE-‚Central‘-Modul darf erst nach dem Hochladen des Sketches [11] eingesteckt werden. Denn der

Bluetooth-Anschluss am Joystick Shield verwendet dieselben Hardware-Serial-Pins (D0 und D1) wie die USB-Verbindung. Da zu jeder Zeit nur eine Verbindung verwendet werden kann, muss erst der Sketch geladen werden. Dies ist nur eine kleine Unannehmlichkeit während der Entwicklungsphase, die durch die Tatsache ausgeglichen wird, dass das Joystick Shield bereits einen ordentlichen Level Shifter für das Signal auf der Platine hat und daher das BLE-Modul ohne Modifikation verwendet werden kann.

Wenn ihr das Joystick Shield mit dem LC-Display verwendet, sind die Ausgabefunktionen des Modells auf dem Controller-Display für Funktionsmeldungen oder Warnungen hilfreich. Im Betrieb ist es sinnvoll, ständig aktualisierte Benachrichtigungen wie die zurückgelegte Strecke und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs zu senden. Daher schaltet die Anzeige um, nachdem eine bestimmte Taste auf dem Joystick Shield gedrückt wurde. Die ArduinoBlue-App meldet jede Nachricht in einem separaten Popup-Fenster und ist daher schnell überlastet. Im Sketch habe ich dafür auf dem Joystick Shield die kleine SMD-Taste ‚F‘ vorgesehen. Durch erneutes Drücken wechselt der Sketch zur Anzeige der Joystick- und Tastenwerte zurück.

In der Praxis hat es sich auch als nützlich erwiesen, die vom Flitzer gemessene zurückgelegte Strecke zurücksetzen zu können. Dies ist mit der Taste ‚C‘ des Joystick Shields möglich.

Um aus dem Sketch des Flitzers auf das LC-Display der Fernbedienung zu schreiben, sind derzeit die folgenden Befehle implementiert. Die Werte in geschweiften Klammern (z. B. {Wert}) sind erforderlich. Ein Wert in eckigen Klammern (z. B. [Wert]) gibt einen optionalen Wert an.

- `LCDPRINT{line},{pos};{text}` – druckt Text an der angegebenen Position

- `BLINK[line]` – lässt den Text (optional nur in der angegebenen Zeile) blinken
- `CLR[line]` – löscht den Text (optional nur in der angegebenen Zeile)
- `TONE{freq}[,millisec]` – lässt einen Ton mit Frequenz {freq} für (optional) [millisec] Millisekunden ertönen
- `NOTONE` – beendet einen Ton (der ohne oder mit langer Dauer gestartet wurde)
- `VALUES` – kehrt zur Anzeige der Joystick- und Tastenwerte auf dem Display zurück

Aufgrund der Kompatibilität mit Arduino-Blue kann der Befehl `sendMessage()` im Sketch des Flitzers verwendet werden, um Texte auf dem Display anzuzeigen. Auch die Funktionen `getThrottle()`, `getSteering()` und `getButton()` können bei einer Steuerung mit dem Joystick Shield verwendet werden.

Flitzer mit BLE-Modul

In dem ft:pedia-Beitrag über BLE [8] wird eine intelligente Lösung vorgeschlagen, bei der das Bluetooth-Modul direkt in sechs benachbarten Arduino-Pins platziert wird. Darauf basieren auch die zugehörigen Konfigurations-Sketches und der oben beschriebene Level Shifter. Diese Lösung verwendet die SoftwareSerial-Bibliothek, in der dem Modul zwei beliebige Arduino-Pins wie TxD und RxD zugewiesen werden können und die serielle Hardware-Schnittstelle an Pin D0 und D1 des Arduino für den Anschluss an den Computer über USB frei bleibt. Darüber hinaus kann die Versorgungsspannung auf elegante Weise geliefert werden, indem die Vcc- und GND-Pins des Moduls auf HIGH bzw. LOW gesetzt werden.

Sobald das Bluetooth-Modul jedoch mit Vollduplex verwendet wird, erweist sich die SoftwareSerial-Bibliothek als unbrauchbar: Sie nutzt denselben Hardware-Timer des ATmega328P wie die Servo-Bibliothek.

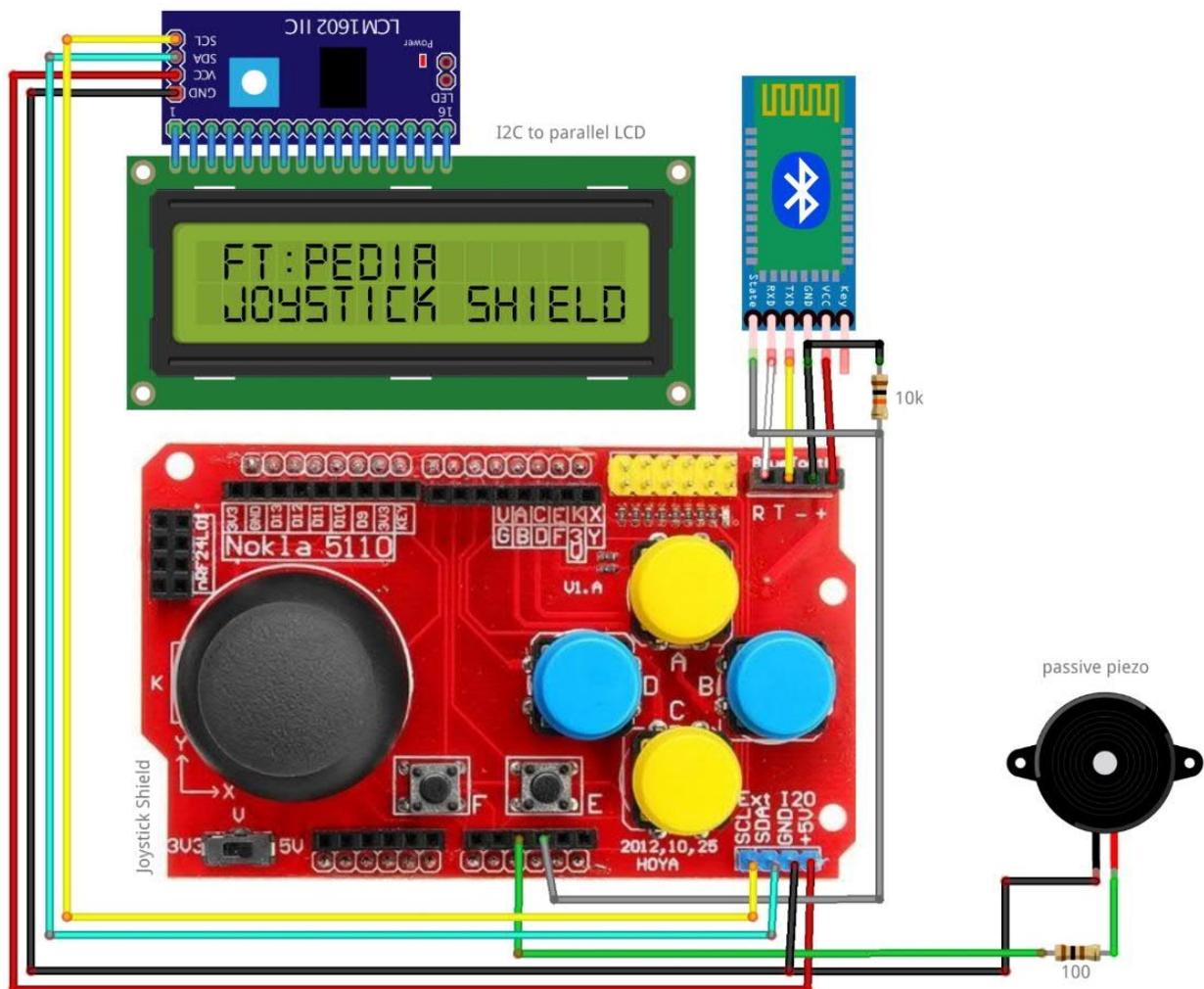


Abb. 10: Anschluss des BLE-Moduls und LC-Displays am Joystick Shield

Dies führt zu unkontrollierten Bewegungen des Flitzer-Lenk-Servos. Aus diesem Grund habe ich die serielle Hardware-Schnittstelle an Pin D0 und D1 für den Anschluss am Motor Shield des Flitzers gewählt (Abb. 12).

Die im Joystick Shield und im Flitzer verwendeten Sketche sowie die Anschlussdiagramme können von meiner Website heruntergeladen werden [11]. Weitere Informationen habe ich auf meiner Website bereitgestellt [12]. Natürlich kann auch diese Modellvariante in einem Film in Aktion bewundert werden [13].

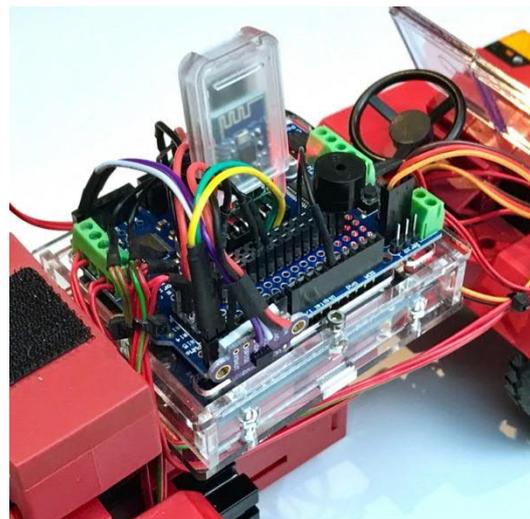


Abb. 11: Flitzer mit BLE-Modul

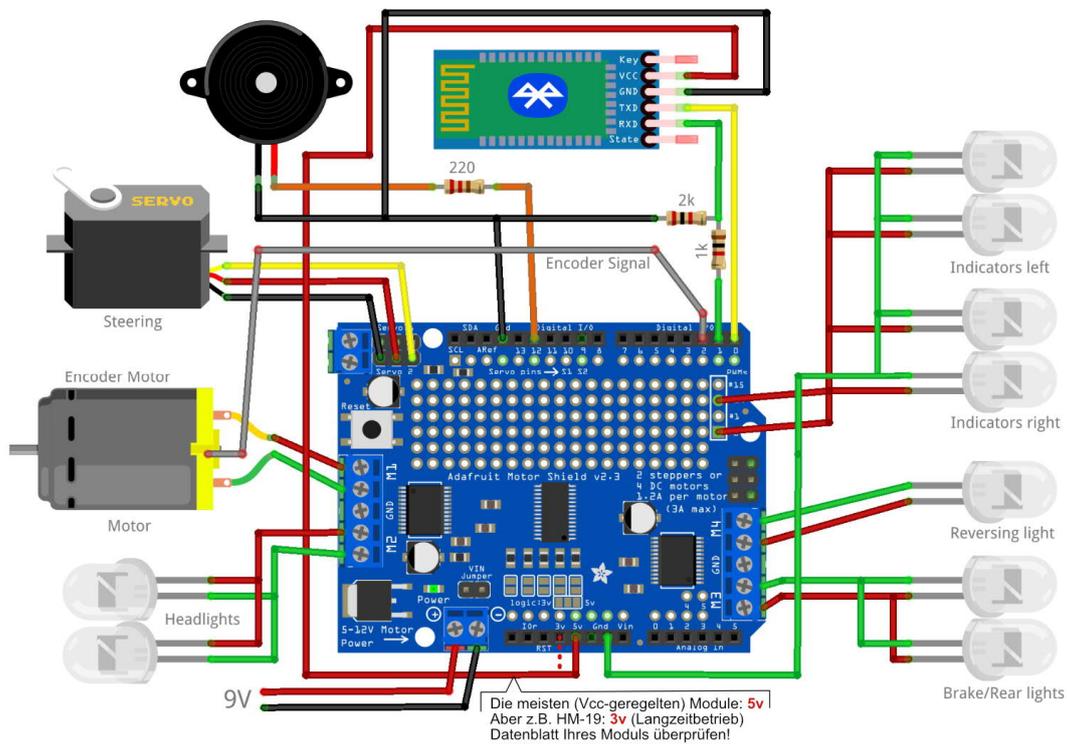


Abb. 12: Anschluss des BLE-Moduls (Flitzer)

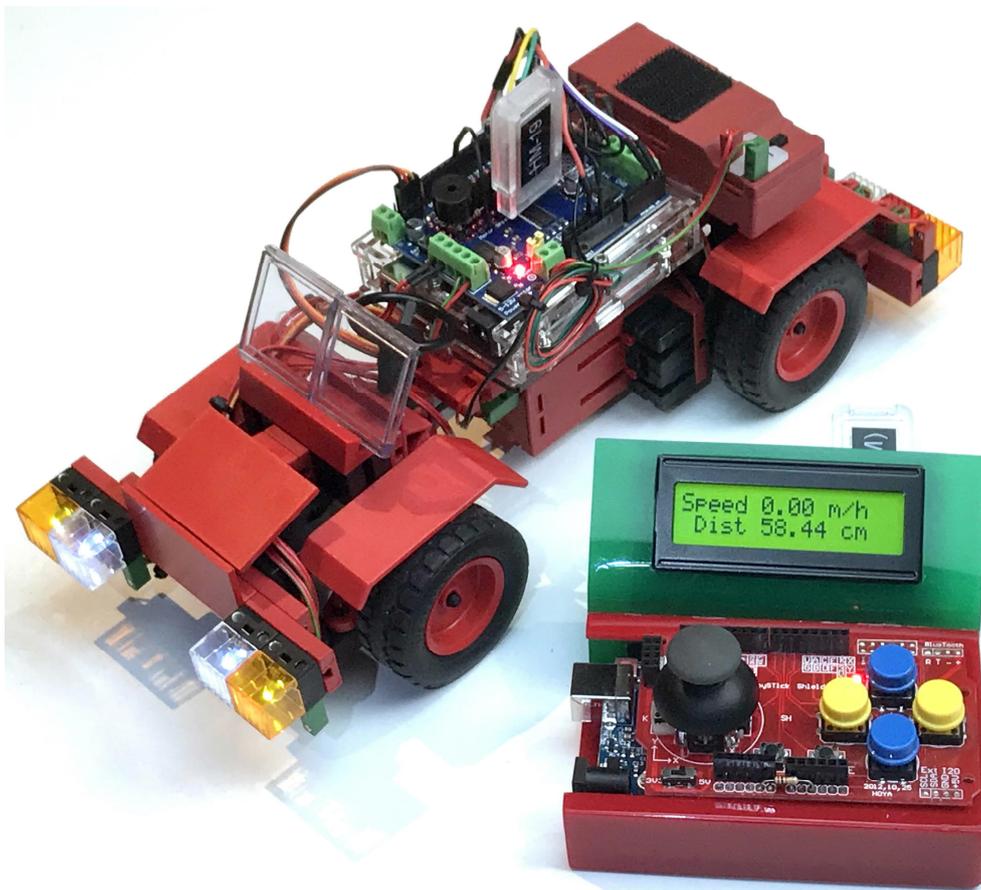


Abb. 13: Flitzer mit Fernsteuerung

Flexibel steuern

Mit den Werkseinstellungen kann die ArduinoBlue-App auf dem Smartphone problemlos mit dem Bluetooth-Modul im Flitzer verbunden werden; die Sketche verwenden die ArduinoBlue-Funktionsbibliothek. Da das Joystick Shield damit kompatibel gemacht wurde, kann der Flitzer je nach angeschlossener Steuerung sowohl mit der ArduinoBlue-App als auch mit meiner „hausgemachten“ Fernbedienung gesteuert werden. Natürlich kann immer nur ein Steuerelement gleichzeitig aktiv sein.



Abb. 14: Flitzer mit Fernsteuerungen

Fazit

Während ich an diesem Projekt bastelte lernte ich viel über verschiedene HF-Übertragungsmethoden und sowohl über Bluetooth „classic“ als auch über BLE. Mit dem LC-Display konnte ich die Ideen im abschließenden Ausblick des ft:pedia-Beitrags über Bluetooth [8] auf dem Joystick Shield umsetzen. Es kann die Rolle der ArduinoBlue-App in einer komplexen „Central-Peripheral“-Architektur mit mehreren Bluetooth-Geräten übernehmen. Für eine automatisierte Steuerung und Kommunikation zwischen Prozessen könnte ein nützlicher nächster Schritt darin bestehen, dies zwischen dem Arduino, dem TXT

Controller von fischertechnik und dem ftDuino zu versuchen. Damit endet auch dieser Artikel mit einem herausfordernden Ausblick.

Quellen und Downloads

- [1] Dirk Fox, Thomas Püttmann: [fischertechnik-Roboter mit Arduino](#). dpunkt-Verlag, 2020.
- [2] Arnoud van Delden: [Joystick shield with 315MHz transmitter](#). Video, youtube.com.
- [3] [Sketche und Anschlussdiagramme](#) für den Buggy mit Joystick Shield, 433/315-MHz-Sender/Empfänger
- [4] Arnoud van Delden: [Joystick Shield with 315 MHz remote control](#). Whizzbizz.com.
- [5] Arnoud van Delden: [Joystick shield and nRF24L01+ transceiver](#). Video, youtube.com.
- [6] [Sketche und Anschlussdiagramme](#) für den Buggy mit Joystick Shield und Transceiver-Modul nRF24L01
- [7] Arnoud van Delden: [Joystick Shield with 2.4GHz remote](#). whizzbizz.com.
- [8] Dirk Fox: [Smartphone-Steuerung über BLE](#). ft:pedia 3/2020, S. 93-100.
- [9] Arnoud van Delden: [Communication over Bluetooth](#). Video, youtube.com.
- [10] Dirk Fox: [I²C mit dem TX – Teil 9: LC-Displays](#). ft:pedia 1/2014, S. 47-57.
- [11] [ArduinoBlue-kompatible Sketche und Anschlussdiagramme](#) für den Flitzer mit Joystick Shield, LC-Display und BLE HM-10-Modulen
- [12] Arnoud van Delden: [Bluetooth remote control](#). whizzbizz.com
- [13] Arnoud van Delden: [Building a remote control unit with Bluetooth](#). Video, youtube.com.

Modell

6-Achs-Roboterarm RS 816

Dirk Wölfel

Im Jahr 1985 brachte fischertechnik den Baukasten [Computing Trainings-Roboter](#) (Abb. 1) auf den Markt. Der Roboter bestand aus vier Motoren zum Ansteuern der drei Achsen und des Greifers. Schon damals wurden Alu-Profile für den Greifer verwendet. Inzwischen ist die Robotertechnik weiter fortgeschritten und Roboter sind viel komplexer geworden. Sie verfügen über Schrittmotoren, Sensorik und künstliche Intelligenz. Entwicklungen aus der Community und der 3D-Druck haben mich inspiriert einen 6-Achs-Roboterarm (Abb. 2) zu bauen.



Abb. 1: Computing Trainings-Roboter (30572)

Die Anforderungen

Beim Konstruieren des 6-Achsen Roboterarm habe ich großen Wert auf Stabilität gelegt. Mein Ziel war es, möglichst viele fischertechnik-Bauteile zu verbauen. 3D-Druck-Bauteile sollten dabei eher als Hilfsbauteile eingesetzt werden. Dazu sollte der Roboter über kräftige Motoren verfügen.

Hier meine Anforderungen an das Modell:

- sechs Achsen in stabiler Bauform
- Konstruktion mit Alu-Profilen
- Achsen kugelgelagert
- Ansteuerung über einen TXT Controller und einen ftPwrDrive
- Einsatz von Schrittmotoren

- Modularer Roboterkopf
- Kamera mit Lageerkennung
- Software ROBO Pro mit WLAN
- Not-Aus-Taster
- keine sichtbaren Kabel



Abb. 2: 6-Achs-Roboterarm

Der Grundaufbau

Bei der Konstruktion habe ich mich für eine [Bauplatte 1000](#) als Plattform entschieden. Darauf ist der [3D-Druck-Drehkranz Z100](#) mit Axialrillenkugellager (Abb. 3) von Till Harbaum verbaut worden. Der Drehkranz hat einen Durchmesser von 150 mm und bietet daher eine stabile Plattform für den Aufbau.



Abb. 3: Drehkranz Z100

Im seitlichen Aufbau (Abb. 4) sieht man den Drehkranz Z100 angetrieben von einem [Nema-14-Schrittmotor](#) aus dem fischertechnik-3D-Drucker. Der Drehkranz ist mit einem 360 Grad Schleifring ausgestattet. Damit wird der 6-Achs-Roboterarm mit Strom versorgt und die Steuerleitung des Not-Halt-Tasters zu den Controllern geführt.



Abb. 4: Seitlicher Aufbau

Für den Antrieb des Schultergelenks habe ich zwei Nema-17-Schrittmotoren [17HS24-0644S](#) (Abb. 5) von Stepperonline verbaut. Diese verfügen über ein hohes Drehmoment

von 60 Ncm. Dieses wird benötigt, da der komplette Arm ein hohes Gewicht hat. Der [Halter](#) für den Nema-17-Schrittmotor ist ein 3D-Druck und stammt aus thingiverse.de



Abb. 5: Nema 17 HS240644S

Die komplette Unterkonstruktion des Roboters besteht aus fischertechnik-Alu- Profilen (Abb. 6, 7), welche anschließend, für die bessere Optik, mit Bauplatten verkleidet wurden.



Abb. 6: Oberer Arm

Damit die Achsen möglichst wenig Spiel haben und sich leichtgängig bewegen, wurden insgesamt fünf [kugelgelagerte Drehkränze](#) (Abb. 7) von Andreas Tacke verbaut.

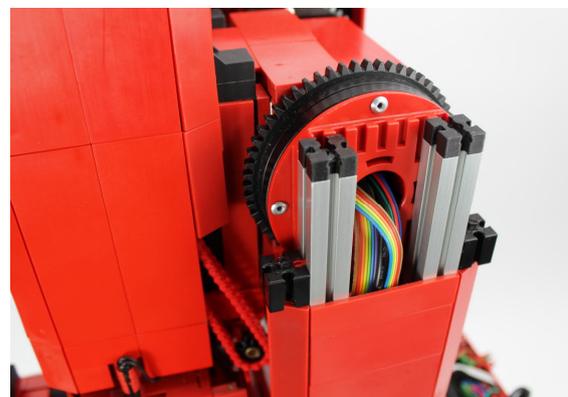


Abb. 7: Kugelgelagerter Drehkranz

Die Verkleidung zwischen den beiden Drehkränzen ist entfernt worden (Abb. 8). Man sieht links und rechts die Lagerung durch zwei Drehkränze. Darüber ist der Drehkranz zum Rotieren des Arms zu erkennen. Dieser wird über eine Schnecke mit Ritzel am Ende angetrieben.

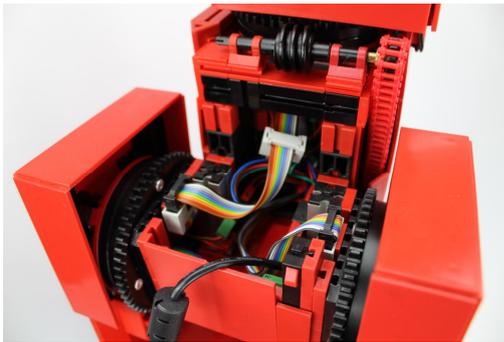


Abb. 8: Lagerung Arm innen

Angetrieben werden diese beide Drehkränze über eine Kette mit Untersetzung. Dafür sind zwei Nema-14-Schrittmotoren aus dem fischertechnik-3D-Drucker verwendet worden (Abb. 9).



Abb. 9: Antrieb der Drehkränze

Das Neigen und das Drehen des Roboterkopfs werden jeweils über zwei Encoder Motoren gesteuert (Abb. 10). Über zwei Kegelnzahnrad links und rechts außen wird die Drehbewegung auf den Zahnkranz vom Kopf übertragen.

Um bei dem Ritzel 10 links und rechts die gleiche Drehrichtung zu erzeugen, muss das Kegelnzahnrad links (Abb. 11) hinter und das Kegelnzahnrad rechts (Abb. 12) vor der Mittelachse liegen.

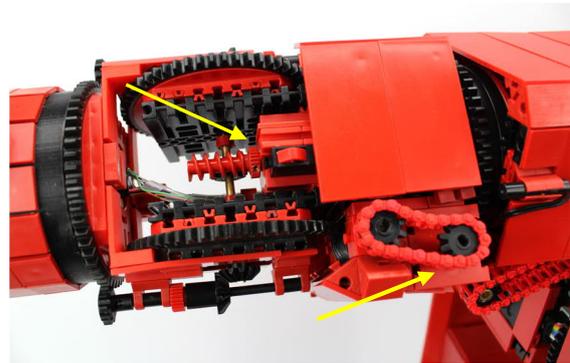


Abb. 10: Encoder Motoren Neigen und Drehen

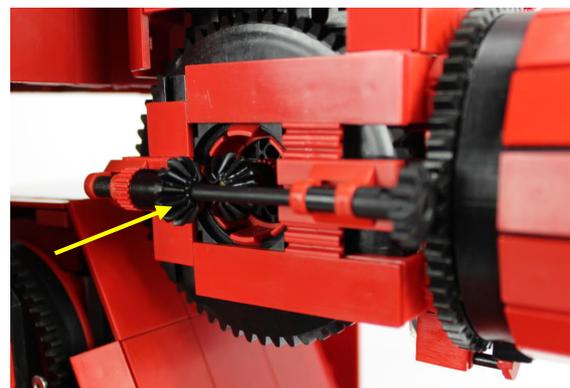


Abb. 11: Kegelnzahnrad links außen



Abb. 12: Kegelnzahnrad rechts außen

Der Roboterkopf

Der Roboterkopf (Abb. 13) ist modular aufgebaut. Er kann einfach abgenommen werden und gegen einen anderen Kopf getauscht werden. Er besteht aus zwei 3D-Druck-Hälften, welche mit jeweils zwei Neodym-Magneten gehalten werden (Abb. 14).

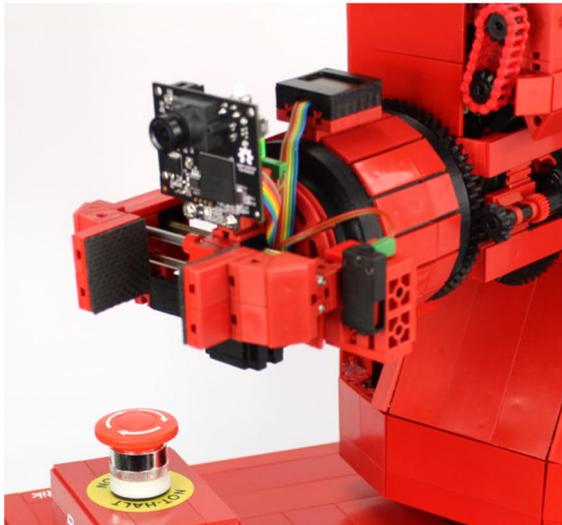


Abb. 13: Roboterkopf

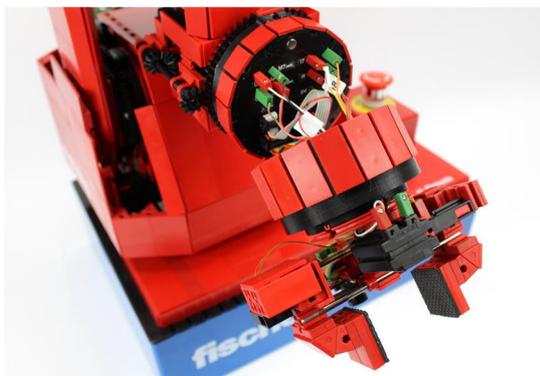


Abb. 14: Roboterkopf abnehmbar

Der Greifer

Der Greifer (Abb. 15) wird von einem S-Motor mit einem [Greifzangengetriebe von Andreas Tacke](#) angetrieben. Er besitzt zwei Endschalter (Abb. 16) und ist in der Lage sich in allen Greifpositionen abzuschalten, da ein Endschalter auf der beweglichen Greifzange sitzt.

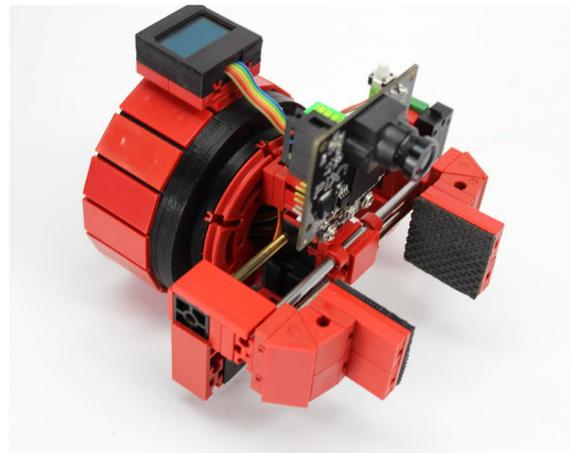


Abb. 15: Demontierter Greifer

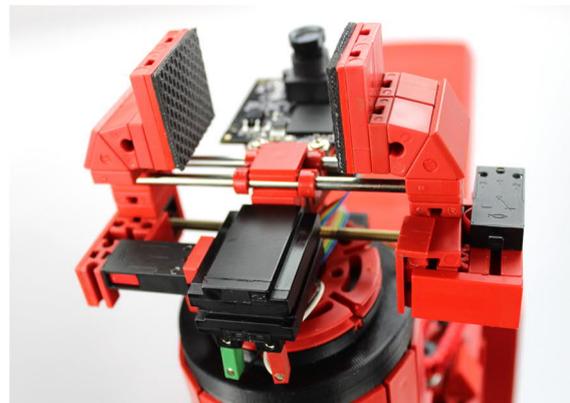


Abb. 16: Endschalter Greifer

Die Elektronik

Der 6-Achs-Roboterarm verfügt über eine Vielzahl von elektronischen Komponenten.

- TXT Controller und ftPwrDrive [1, 2]
- [6 pol. Schleifring](#) für das Drehen von Rumpf und [12 pol. Schleifring](#) für den Kopf
- Kopf mit I²C-Anschluss, Endschalter, Motorausgängen, Servo-Anschluss
- Kamera mit Lageerkennung
- Gyro-Sensor für den Greifer
- 1,3“ OLED Info Display
- Not-Aus-Taster
- Ansteuerung über WLAN
- Steuerbar mit IR-Fernbedienung

Die Controller

Für die Ansteuerung der fischertechnik Encoder Motoren des 6-Achs-Roboterarms habe ich einen Robotics TXT Controller ([153513](#)) verwendet (Abb. 17). Für die Schrittmotoren kommt der [ftPwrDrive](#) mit [ft-Extender](#) von Björn Gundermann und Stefan Fuss zum Einsatz (Abb. 18).



Abb. 17: TXT Controller (153513)



Abb. 18: ftPwrDrive

Die Kopfplattform

Die modulare Kopfplattform (Abb. 19) hat diverse Anschlüsse, welche über einen 12-poligen Schleifring versorgt werden. Durch den Schleifring ist der Kopf sehr flexibel einsetzbar, ohne störende verdrehte Kabel. Folgende Anschlüsse sind vorhanden:

- M1 und M2 Motorausgang
- I7 und I8 Eingang
- I²C mit 3,3V und I²C 5,0 V
- ein Servo-Anschluss
- 9V und 5V Stromversorgung

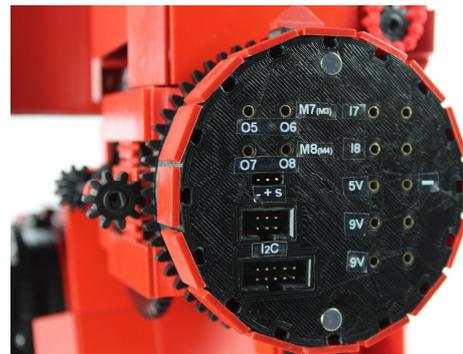


Abb. 19: Kopfplattform mit Anschlüssen

Der Kombisensor

Für die Lageerkennung des Greifers ist ein Kombisensor ([158402](#)) von fischertechnik im Roboterkopf verbaut worden (Abb. 20). Durch den Gyroskop-Sensor ist der Greifer in der Lage, waagrecht zu bleiben.

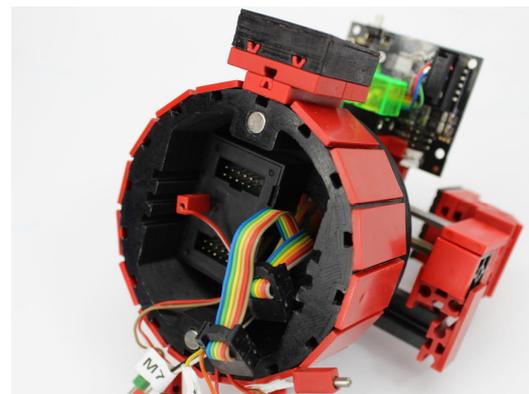


Abb. 20: Kombisensor

Die Pixy-Kamera

Neben dem Greifer ist eine Pixy-Kamera für die Lageerkennung von Werkstücken verbaut (Abb. 21) [3]. Sie kann über die Länge und Breite des Werkstücks die Greifposition bestimmen (Abb. 22, 23). Wird ein Werkstück erkannt, so blinkt der grüne Leuchtstein und dreht den Kopf so lange, bis das Werkstück vom Greifer gegriffen werden kann. Auch Farben können mit der Pixy-Kamera unterschieden werden.



Abb. 21: Pixy-Kamera [3]

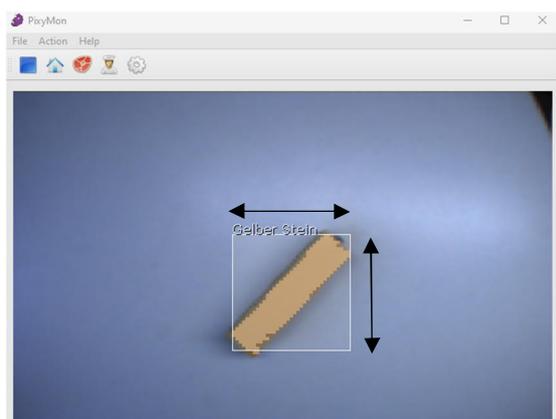


Abb. 22: Greifer schräg

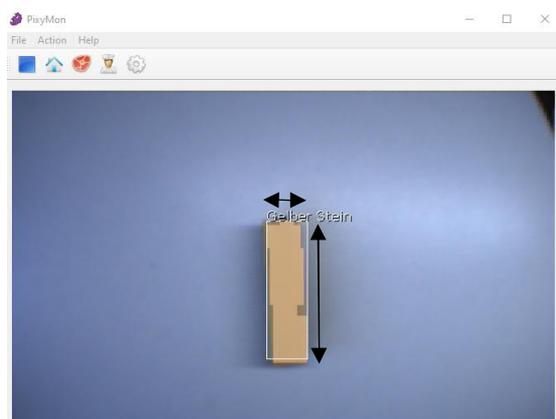


Abb. 23: Greifer parallel

Das OLED Display

Über das 1,3“ OLED-Display (Abb. 24) werden die jeweiligen Parameter der Pixy-Kamera, der Endschalter und des Kombisensors ausgegeben. Das Display und der Kombisensor werden über den I²C-Anschluss vom TXT Controller angesteuert.

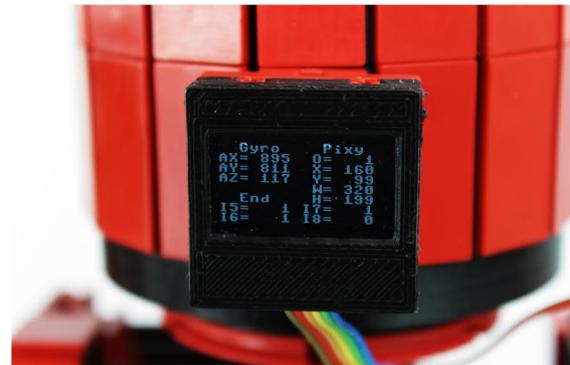


Abb. 24: OLED-Display als Info

Der Not-Aus-Taster

Der 6-Achs-Roboterarm verfügt über einen Not-Aus-Taster (Abb. 25). Dieser unterbricht die Bewegungen der Schritt- und Encodermotoren. Eine gute Idee, da die Schrittmotoren über mehr Drehmoment verfügen als die fischertechnik-Motoren. Dadurch konnte das ein oder andere fischertechnik-Bauteil vor dem sicheren Tod gerettet werden.

Darunter der Ein- und Ausschalter für die 12 Volt 5 Ampere Stromversorgung.



Abb. 25: Not-Aus Taster

Die Beschriftung

Die Beschriftung wurde mit Hilfe eines Plotters und Vinyl-Folie erstellt (Abb. 25, 26); die sehr kleinen Schriften auf der Kopfplattform mit einem Beschriftungsgerät.



Abb. 25: RS 816 Schriftzug



Abb. 21: Verkleidung ftPwrDrive

Die Software

Angesteuert wird der 6-Achs-Roboterarm über die fischertechnik-Software ROBO Pro mit Hilfe von WLAN. Das geht Online oder auch über einen Download. Es gibt ein Teach-In-Programm (Abb. 22), mit dem alle Parameter der Motoren abgespeichert werden.

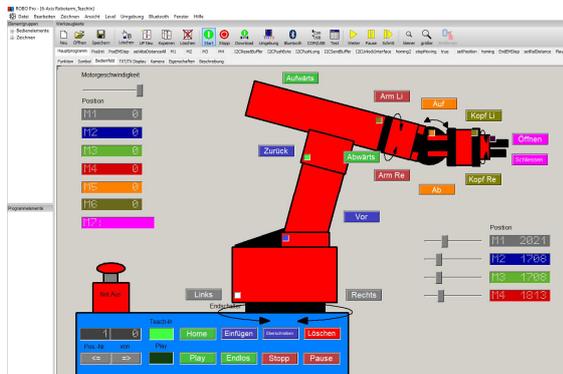


Abb. 22: Teach-In-Programm

Das Fazit

Mit dem Bau des 6-Achs-Roboterarms möchte ich euch zeigen, dass immer noch Luft nach oben ist. Nur durch die Lösungen aus der fischertechnik-Community ist der Bau möglich gewesen. Deshalb gebührt mein Dank den Tüftlern und Erbauern dieser Lösungen. Ein [Video zum 6-Achs-Roboterarm](#) findet ihr auf [meinem YouTube-Kanal](#).

Quellen

- [1] Dirk Wölffel, Christian Bergschneider, Stefan Fuss, Björn Gundermann, Christian Lauff: [Der ftPwrDrive-Controller für Schrittmotoren und Servos – Teil 1](#). ft:pedia 4/2018, S. 67-70.
- [2] Stefan Fuss, Christian Bergschneider, Björn Gundermann, Christian Lauff, Dirk Wölffel: [Von Schrittmotoren und Servos – Teil 2](#). ft:pedia 4/2019, S. 52-57.
- [3] Dirk Wölffel, Dirk Fox: [f²C mit dem TX – Teil 11: Pixy-Kamera \(1\)](#). ft:pedia 4/2014, S. 43-51.



6-Achs-Roboterarm von Dirk Wölfel