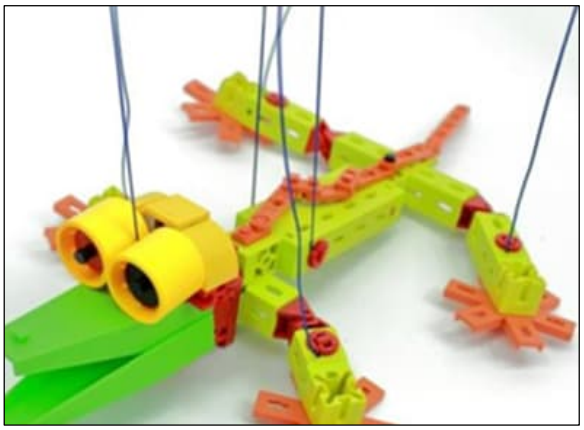
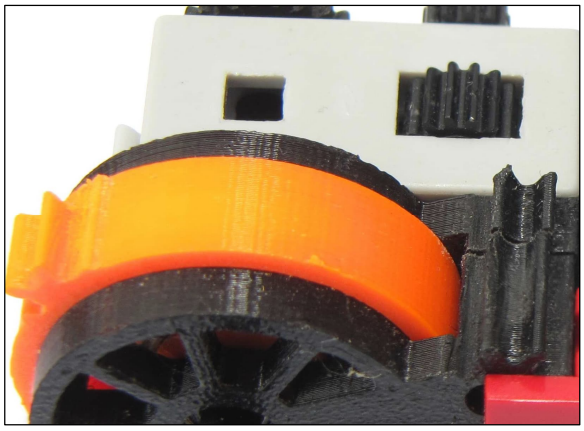
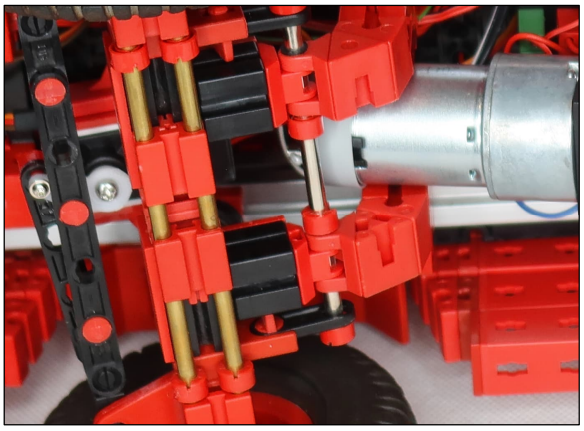
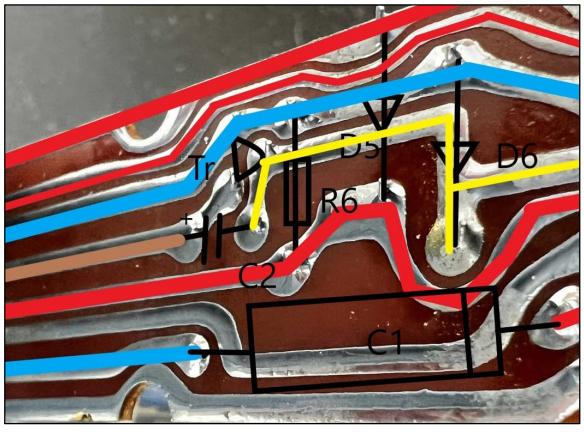
ft:pedia

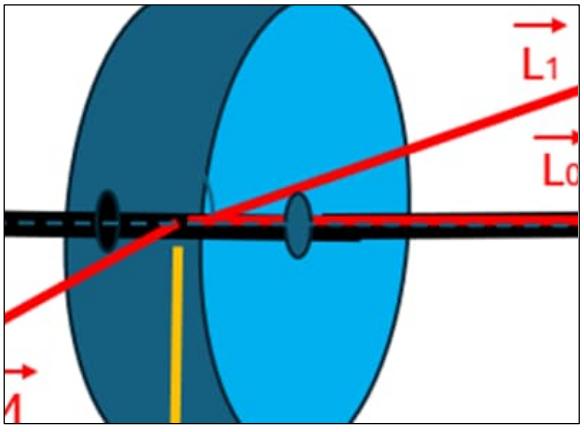
Heft 2/2024











Herausgegeben von
Dirk Fox und Stefan Falk

ISSN 2192-5879

Editorial

Seid neugierig – und forscht!

Dirk Fox, Stefan Falk

Zwischen der Erfindung des Rads und der jüngsten Mars-Mission liegen etwa 5.000 Jahre. Ein lächerlich kurzer Zeitraum angesichts des Erdalters von rund 4,5 Milliarden Jahren – etwa ein Millionstel, um genau zu sein. Diese im erdgeschichtlichen Vergleich rasante Entwicklung verdanken wir drei Eigenschaften des Menschen: Seiner Neugierde, seinem unermüdlichen Gestaltungswillen und seiner Erfindungsgabe.

Dass er damit nicht nur Gutes bewirkt hat, ist hinlänglich bekannt; sicher ist aber auch, dass die Versorgung und das (Über-) Leben von 8 Milliarden Menschen auf der Erde ohne diese Gabe niemals möglich wären.

Ein Blick in die (Technik-) Geschichte lehrt allerdings, dass Menschen sich dieser Gabe vor allem dann bedienen, wenn sie mit ihren Lebensumständen unzufrieden sind. Oder umgekehrt formuliert: Je zufriedener der Mensch, desto weniger ist er bereit, Neues zu lernen, zu entwickeln und zu erforschen.

Ein Dilemma, denn während die Zufriedenheit der Menschen mit ihren Lebensumständen zunimmt, haben viele Innovationen der vergangenen 150 Jahre die natürlichen Ressourcen und Ökosysteme belastet und ungeahnte oder unterschätzte Nebenwirkungen gehabt, die sogar das Überleben der Menschen auf diesem Planeten gefährden könnten.

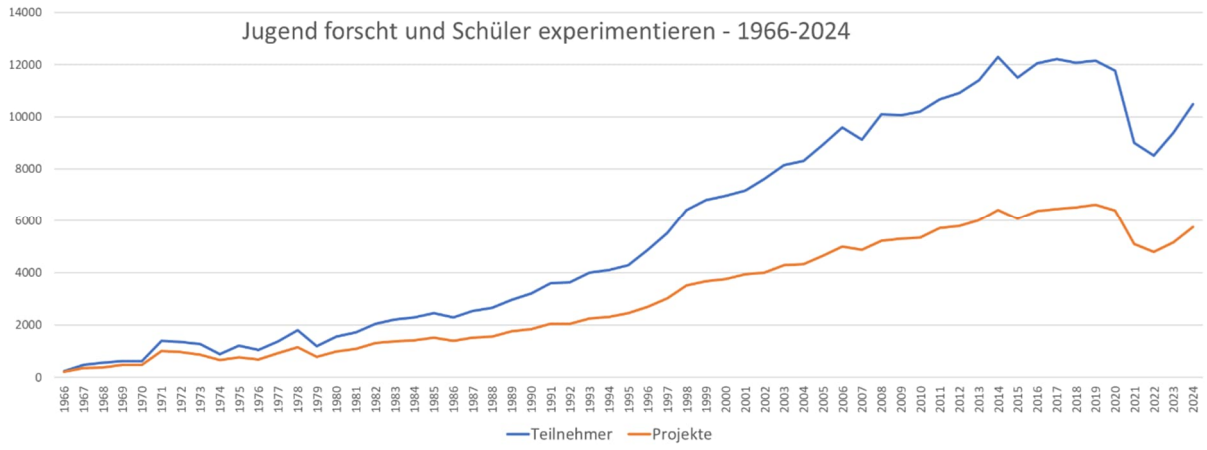
Wer sich diesen Herausforderungen stellen will, benötigt Neugierde, Gestaltungswillen und Erfindungsgabe – ganz zu schweigen von technischen Kenntnissen.

Ein Lichtblick waren daher bis 2014 die steigenden Teilnehmerzahlen bei Jugend forscht und Schüler experimentieren. Danach stagnierten die Zahlen und brachen während der Corona-Pandemie ein.

Wie jeder fischertechniker weiß, lässt sich das korrigieren – zum Beispiel mit den Baukästen im Kinderzimmer, die die Welt simulieren. Nun aber 'ran an die Kästen…

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

Seid neugierig – und forscht!....2
fischertechnik-Marionettentheater....4
Fliegende Fische....11
Die andersartige Möbius-90-Bahn....19
Lautsprecher – schnell gebaut....23
Sattelzugmaschine (Frontlenker) – ferngesteuert (4)....25
Immer schön langsam: Hypozykloidgetriebe....32
SkyJuster® mit fischertechnik – Stabilisierung und Drehung schwebender Lasten....40
Großprojekt Seilbahn (Teil 10): Messefertig....46
Das „Bionic Maker Kit“....69
IoT mit MQTT und Node-RED....78
Ein Buch über ROBO Pro Coding und die TXT 4.0, BT Smart und RX Controller....82
Kurzschlussfeste Leistungsausgänge für DIY-Elektronikmodule....84
Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 15)....92

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Maker Faire Hannover	17.-18.08.24	Messe Hannover
Hobbymesse Leipzig	22.-23.09.24	Messe Leipzig
Süd-Convention	12.-13.10.24	Fördertechnikmuseum Sinsheim

Impressum

http://www.ftpedia.de

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

Autoren: Florian Bauer, Axel Chobe, Arnoud van Delden, Stefan Falk, Dirk Fox, Ralf Geerken, Holger Howey, Peter Krijnen, Claus Ludwig, Thomas Püttmann, Jeroen Regtien, Rüdiger Riedel, Tilo Rust, Harald Steinhaus, Dirk Wölffel.

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

Modell

fischertechnik-Marionettentheater

Dirk Wölffel, Rüdiger Riedel

Im Frühjahr 2024 überlegte ich mir, wie man die Kreativität der Kinder bei unseren Ausstellungen weiter fördern könnte. Dabei ging es darum, die Kinder spielerisch auf fischertechnik aufmerksam zu machen. Da kam mir die Idee ein fischertechnik-Marionettentheater zu bauen. Gesagt, getan: Ich rief Rüdiger Riedel an, um ihn dafür zu begeistern. Die Aufgabenteilung wurde festgelegt: Rüdiger baute seine fantastischen Figuren, Deko, Bäume und Marionetten und ich das Marionettentheater.

Das Theater

Für den Unterbau habe ich eine Holzplatte mit drei Bauplatten (35937) verwendet. Auf den Bauplatten wurde dann der komplette Aufbau mit Statikplatten und Winkelträgern realisiert (Abb. 1).

Die Front

Für die Front wurden verschiedene Bögen verwendet. Anschließend wurde Pappe gegengelegt, angezeichnet und mit der Schere ausgeschnitten. Dazu wurden Märchenmotive aus dem Internet ausgedruckt, aufgeklebt und alles mit S-Riegeln von hinten befestigt (Abb. 2).

Abb. 1: Das Theater

Abb. 2: Die Front

Der Hintergrund

Bei der Gestaltung des Hintergrunds ging ich genauso vor wie bei der Front. Dabei skalierte ich ein Bild und druckte es auf mehreren DIN-A4-Blättern aus.

Abb. 3: Der Hintergrund

In Abb. 4 könnt ihr einen Blick von oben in das Marionettentheater werfen. Dort seht ihr auch die Befestigung mit den S-Riegeln.

Abb. 4: Befestigung mit S-Riegeln

Die Figuren

Die Figuren und die Dekoration wurden von Rüdiger gebaut. Anregungen holte er sich beim Baukasten *Animal Friends*. Die Schwierigkeit bei den Marionetten war, die Bewegung der Arme und Beine mit Hilfe der Seile umzusetzen.

Das Krokodil

Das Krokodil (Abb. 5) ist voll beweglich. Es kann alle Gliedmaßen bewegen und sein Maul öffnen.

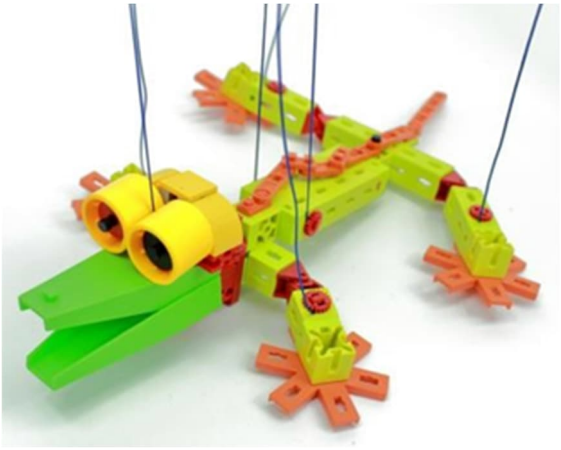


Abb. 5: Das Krokodil

Der Drache

Der Drache (Abb. 6) verfügt über zwei RGB-Leuchten als blinkende Augen. Die Leuchten werden im Rumpf (Abb. 7) über einen 9-Volt-Akku versorgt.

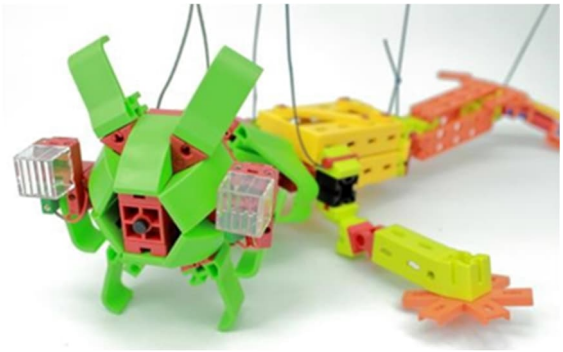


Abb. 6: Der Drache

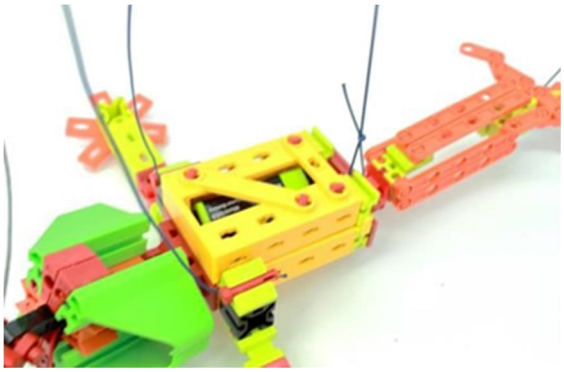


Abb. 7: Der 9-Volt-Akku

Der Roboter

Der Roboter (Abb. 8) ist ebenfalls voll beweglich. Er hat in seiner 60er-Kassette ein Herz das blinkt. Den Strom liefert eine 3,7-V-Zelle – die reicht für eine ganze Convention.

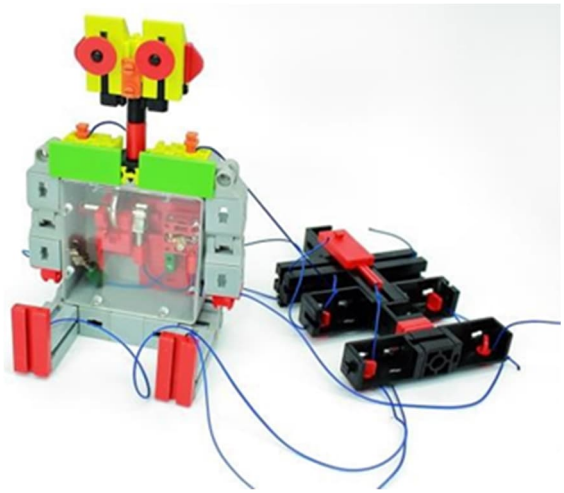


Abb. 8: Der Roboter

Der Ritter

Der Ritter (Abb. 9) hat eine bewegliche Lanze, die er gegen den Drachen einsetzen kann.

Der Knappe

Der Knappe (Abb. 10) hat weniger Seile. Er ist ähnlich wie der Ritter aufgebaut.

Das Pferd

Das Pferd (Abb. 11) kann galoppieren und ist an den Gelenken aufgehängt. Gesteuert wird es über das Steuerkreuz (Abb. 12).

Abb. 9: Der Ritter

Abb. 10: Der Knappe

Abb. 11: Das Pferd

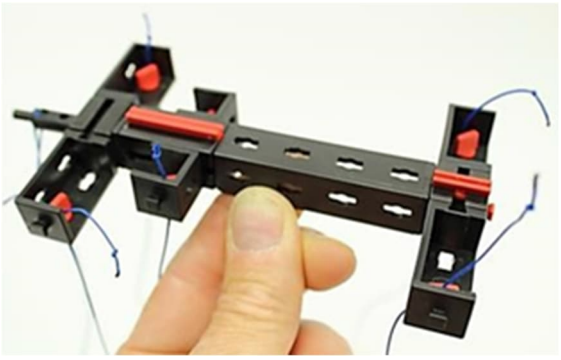


Abb. 12: Das Steuerkreuz

Der Teufel

Der Körper des Teufels besteht aus einem Druckluftbehälter, das Gesicht aus einem Drehkranz.

Abb. 13: Der Teufel

Die Dekoration

Zur Dekoration zählen ein kleines Hexenhaus (Abb. 14), verschiedenen Tieren (Abb. 15) sowie Blumen (Abb. 16).

Abb. 14: Das Hexenhaus

Abb. 15: Die Insekten

Abb. 16: Die Blumen

Das Märchen

Durch die Vielzahl der Marionetten und Dekorationen sind viele verschiedene Theaterstücke aufführbar. Abb. 17 und 18 zeigen zwei Beispiele.

Quellen

[1] Rüdiger Riedel: *Blumen*. ft:pedia 3/2021, S. 4–10.

Abb. 17: Robby und das Krokodil

Abb. 18: Der Ritter und der Drache

Abb. 19: Das Marionettentheater auf der Nordconvention 2024

Modell

Fliegende Fische

Rüdiger Riedel

So mancher wird einen fischertechnik-Hubschrauber haben, dessen Rotor sich im Sonnenlicht lustig dreht. Kann der sonst noch etwas?

Der Solarrotor (145415) wurde mit dem Hubschrauberkasten ADVANCED Solar (544616) und dem Vorgänger Advanced Solar (520396) verkauft.

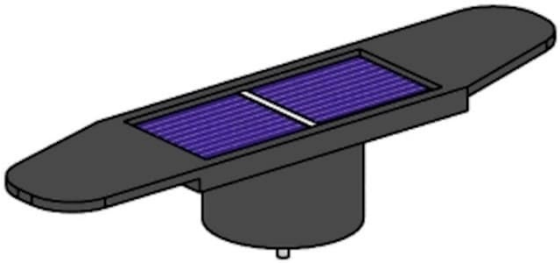


Abb. 1: Der Solarrotor

Auf der Oberseite hat er die Solarzelle und im runden Gehäuse den Motor, der schon bei kleinen Spannungen und Strömen läuft. Die Achse ist für fischertechnik zu dünn, wir brauchen entweder den zugehörigen Adapter (145416) oder ein Stück Silikonschlauch.

Abb. 2: Zwei fliegende Fische

Und dann machen wir daraus Solarfische! In Abb. 2 und 5 sind es zwei Stück an den Auslegern, aber natürlich kann man auch mit einem einzigen anfangen, der lediglich ein Ausgleichsgewicht benötigt, wie in Abb. 13 zu sehen ist.

Wir beginnen mit der Aufhängung; sie soll möglichst reibungsarm funktionieren.

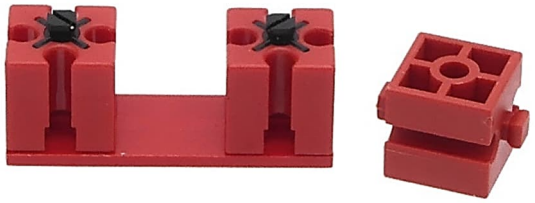


Abb. 3: Das Lager

Zwei Bausteine 15 werden auf eine Bauplatte 15×45 2Z (38242) geschoben, dazwischen kommt ein Baustein 15 mit Bohrung (32064). Die Arme bestehen aus zwei S-Winkelträgern 60 (36297), hier in Gelb.

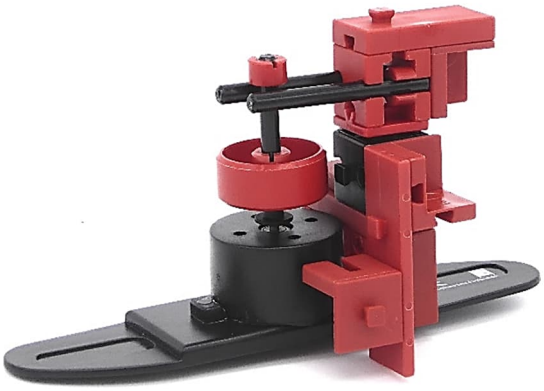


Abb. 4: Der Mechanismus

Abb. 5: Die wedelnden Fische

Auf den Adapter des Solarrotors wird ein V-Rad 23×10 (36581) gesteckt und da hinein eine Kunststoffachse 30 (38413) mit einer Klemmbuchse 10 (31023), siehe Abb. 6. Die Klemmbuchse 5 (37679) am anderen Ende ist nicht unbedingt nötig.

Abb. 6: Die Kurbel und der Halter

Ein Baustein 5 15×30 (35049), zwei Bausteine 7,5 (37468), zwei Federnocken (31982) und zwei E-Magnet-Führungsplatten 15×20 (32455) bilden die Klammer am Solarrotor.

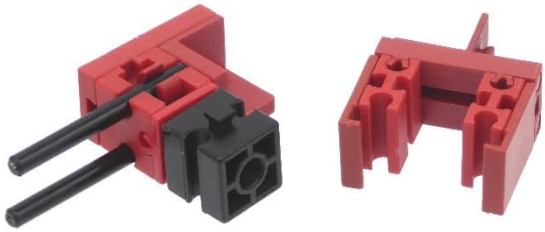


Abb. 7: Wedelmechanismus und Halterung

Auf den Baustein 5 15×30 setzen wir einen Winkelstein 10×15×15 (38423).

Der bewegliche Teil besteht aus einem Baustein 15 mit Ansenkung (32321), einer V-Aufnahmeachse (31124), einem Rollenlager 15 (37636), zwei Kunststoffachsen 40 (38414), zwei Klemmbuchsen 5 (37679), einem Baustein 5 15×30 und einem V-Baustein 15 Eck (38240).

Mit einer Bauplatte 15×15 1Z (36911 oder 38246) klemmen wir ein festeres Stück Papier (ca. 8×8 cm) ein. Der Halter für den Dreharm (siehe Abb. 4) besteht aus zwei V-Bausteinen 15 Eck und einem Baustein 2,5 15×45 2+2Z (38277).

Abb. 8: Schwanzflosse eingeklemmt

Alternative

Leider sind die E-Magnet-Führungsplatten 15×20 (32455) nicht mehr im aktuellen fischertechnik-Programm und auch gebraucht nur schwer erhältlich. So perfekt sie für dieses Projekt geeignet sind, es muss eine Alternative her. Zum Glück gibt es helfende Hände!

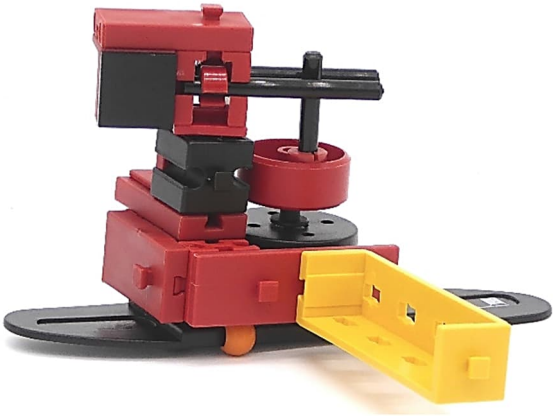


Abb. 9: Alternative Halterung

Die Figur-Hand (Abb. 10, 31856) entnehmen wir einem Figur-Teilebeutel (35806).

Abb. 10: Die Figur-Hand

Jetzt brauchen wir zwei Bausteine 5 15x30 (35049), zwei Bausteine 7,5 (37468), zwei Federnocken (31982), zwei Figur-Hände, einen V-Baustein 15 Eck und einen Baustein 2,5 15×45 2+2Z.

Der Umbau sollte mit den Abbildungen keine Probleme bereiten.

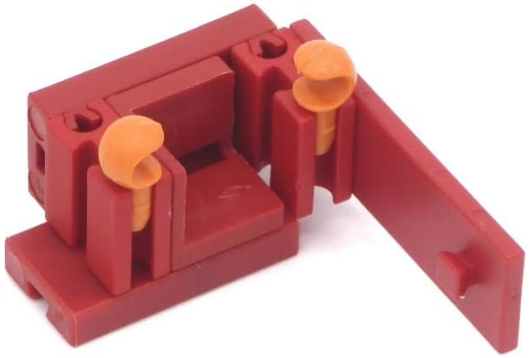


Abb. 11: Alternative Halterung

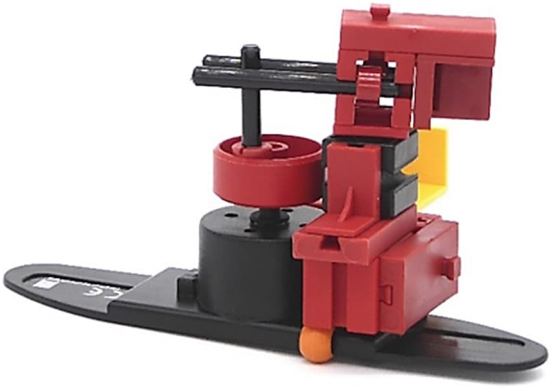


Abb. 12: Andere Ansicht

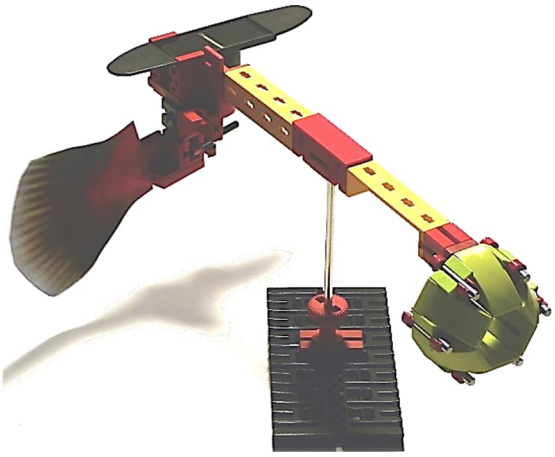


Abb. 13: Das Ein-Fisch-Modell

Jetzt lassen wir ihn fliegen, den Fisch. Mit einem geeigneten Gegengewicht kann das Ein-Fisch-Modell der Sonne oder einer starken Lichtquelle ausgesetzt werden. Für einen leichten Lauf müssen Fisch und Gegengewicht ausbalanciert sein. Einfach das Modell mit einem Finger unter dem Baustein 15 Loch halten. Wenn keine Seite abfällt, ist alles in Ordnung.

Wer zwei Fische aufbauen kann, hat es ganz leicht mit der Balance: Die ist automatisch gegeben.

Der Ständer ist mit einer Grundplatte 120×60×7,5 (35129), einem Baustein 5 15×30, einer Seiltrommel 15 (31016), einem Klemmring für die Seiltrommel (31020) und einer Metallachse 110 (31031) schnell zusammengebaut.

Zusammen mit dem Flattergeräusch wirkt das Ganze sehr hübsch.

Flattern mit Solarzellen

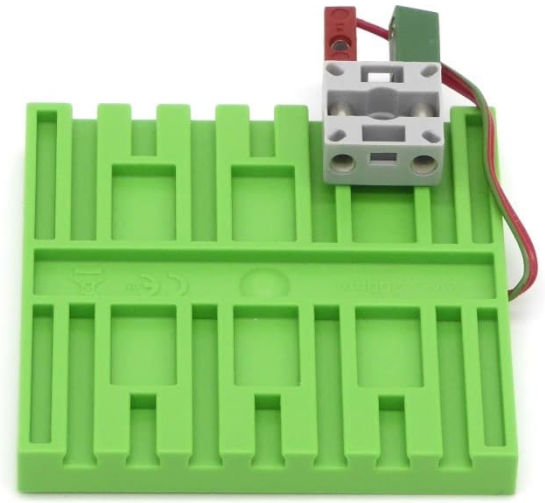


Abb. 14: Solarzelle 2 V, 200 mA, Unterseite

Jetzt bauen wir Flatter-Antriebe aus Einzelteilen auf. Dazu brauchen wir Solarzellen. Wie so oft werden die interessantesten Teile (Solarzelle 2 V, 200 mA mit grüner Grundplatte, 156121) nicht mehr hergestellt und sind nur schwer gebraucht erhältlich. Trotzdem möchte ich sie hier vorstellen, da sie mit Standardmotoren gut kombinierbar sind.

Man findet diesen Motor leicht im Internet unter „Solarmotor“.

Zum Motor brauchen wir noch ein „Reduzierstück 4/2 mm“ oder ein Stück Silikonschlauch. Gemäß Abb. 6 werden damit ein V-Rad und die übrigen Teile als Kurbel befestigt.

Der Motor wird in eine Box aus zwei S-Winkelträgern 30 (36301) und einem Baustein 5 15×30 3N (38428) geklemmt. Zur Befestigung auf der Solarzelle und für den Dreharm benutzen wir zwei V-Bausteine 15 Eck und eine Federnocke.

Abb. 15: Standard-Solarmotor mit Reduzierstück

Abb. 16: Modell mit einem Teil des Dreharms

Ein Baustein 15 und zwei Bauplatten 15×30 2Z (38241) halten den Baustein 15 mit Ansenkung (32321), in den wieder eine V-Aufnahmeachse (31124) gesteckt wird.

Die Wedelfahne besteht diesmal aus zwei Bausteinen 7,5 (37468), drei Verbindern 45 (31330) und einem Winkelstein 10×15×15 (38423). Mit einer Bauplatte 15×15 1Z (36911 oder 38246) klemmen wir das Stück

Papier fest. Ich habe über die Achse 30 noch eine Lagerhülse 15 (36819) geschoben.

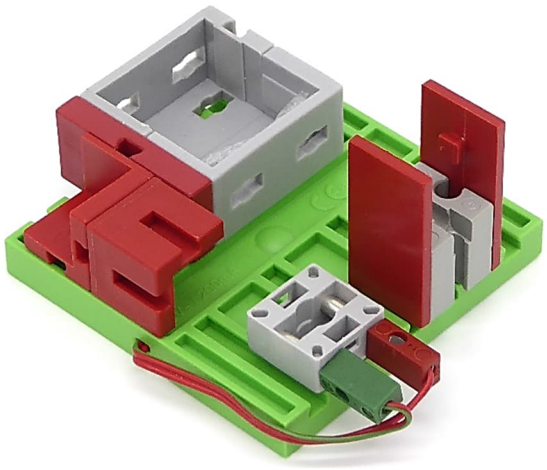


Abb. 17: Motorhalter

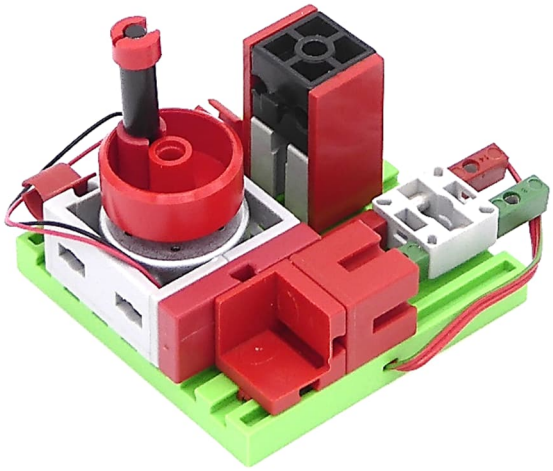


Abb. 18: Die Motor-Baugruppe

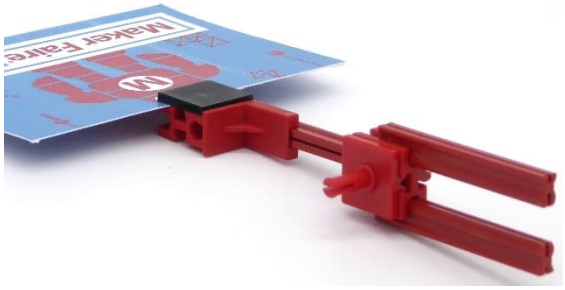


Abb. 19: Die Wedelfahne

Wegen des höheren Gewichtes habe ich den Dreharm verkürzt, siehe Abb. 16.

Wie wäre es mit einer Fluke?

Fische treiben sich mit einer senkrechten Flosse an, Wale dagegen mit der waagerechten Fluke. Das können wir auch nachbauen.

Abb. 20: Fischflosse und Fluke

Den Motor habe ich diesmal in eine V-Rohr-Adapterplatte 30 L1 (38849) gesteckt.

Als Kurbel dient hier eine Rast-Gelenkkurbel KR12 (35088), in die ich mit einiger Mühe ein Stück Silikonschlauch gequetscht habe. Hier ist der von fischertechnik besser als der von ffm, da der Außendurchmesser mit 3,6 mm etwas kleiner als 4 mm ist. Auf die Kurbel habe ich eine Lagerhülse 15 (36819) geschoben.

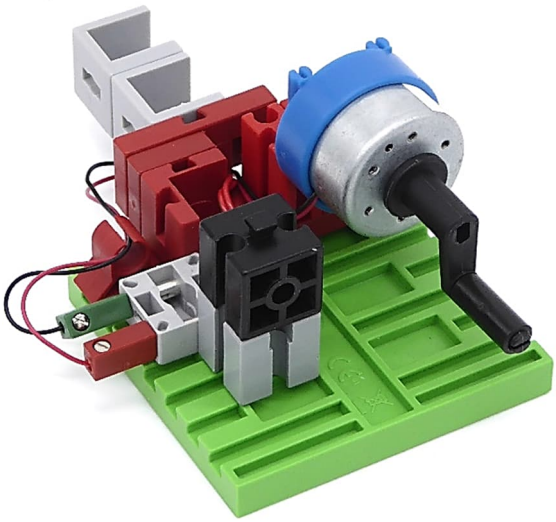


Abb. 21: Die statischen Teile sind aufgebaut

Der Halter für die Motorhülse besteht aus einem Baustein 5 15×30 (35049), drei Bausteinen 7,5 (37468) und drei Federnocken (31982).

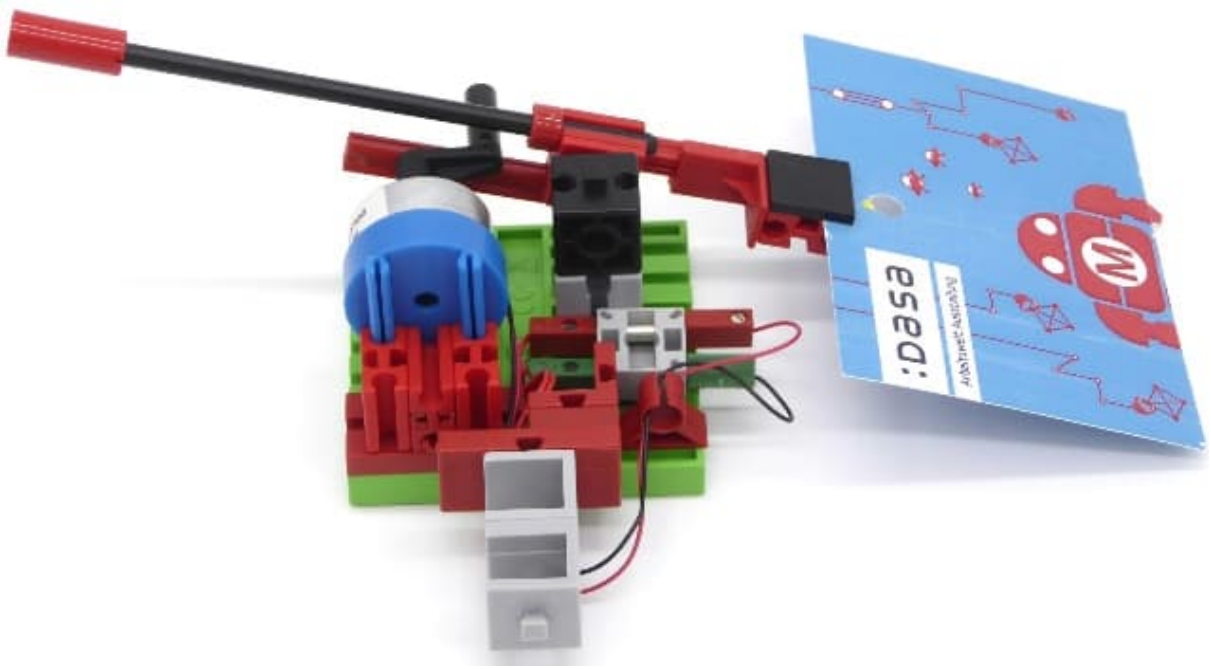


Abb. 22: Fluke mit Gegengewicht

Für die Befestigung des Dreharms nehmen wir einen V-Baustein 15 Eck, einen Baustein 5 2Z (37238) und einem Baustein 5 15×30 3N (38428). Der Baustein 15 mit Ansenkung (32321) wird auf einen Baustein 15 geschoben.

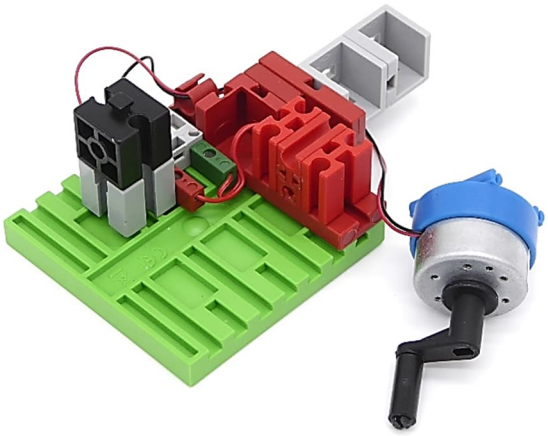


Abb. 23: Motorhalter im Detail

Die Fluke besteht aus zwei Bausteinen 7,5 (37468), einem Verbinder 30 (31061), einem Verbinder 45 (31330), einem Winkelstein 10×15×15 (38423), einer V-Aufnahmeachse (31124), einer V-Achse 98 (35414), einer Klemmbuchse 5 (37679), einer Klemmkupplung 20 (31024) und mit einer Bauplatte 15×15 1Z (36911 oder 38246) klemmen wir das Stück Papier fest.

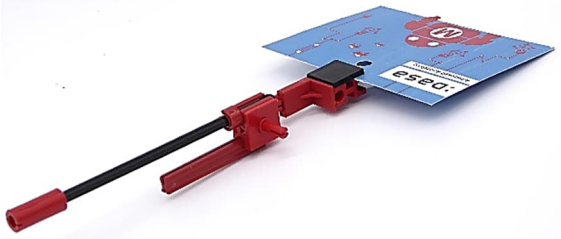


Abb. 24: Die Fluke

Aktuelle fischertechnik-Teile

Aktuell gibt es den Solar-Micromotor (156494) und die Solarzelle 1 V, 440 mA (146142).

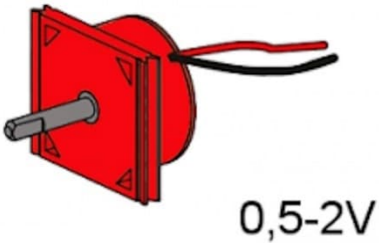


Abb. 25: Solar-Micromotor

Damit lässt sich eine tüchtige Fluke antreiben, denn der fischertechnik-Solarmotor ist sehr effektiv.

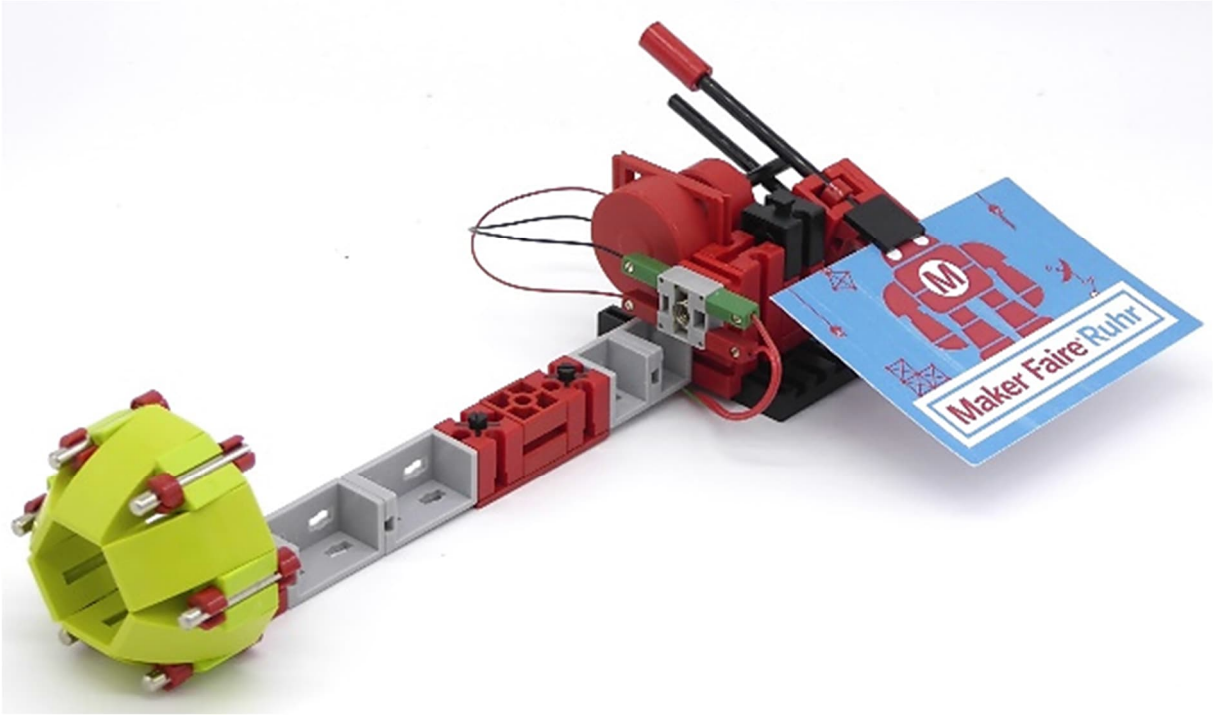


Abb. 26: Nur aktuelle Teile

Meine Solarzelle habe ich, neben sehr vielen anderen Teilen, von fischertechnik geschenkt bekommen, weil ich bei der Nordconvention 2024 ausgestellt hatte. Vielen Dank!

Den Motor befestigen wir mit einem Baustein 30. Die Kurbel wird aufgebaut wie unter Abb. 5 beschrieben und der Wedelmechanismus ähnlich Abb. 7.

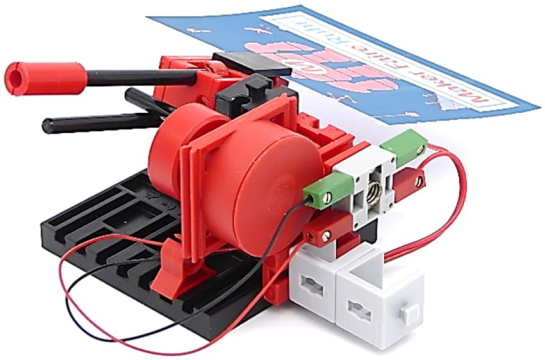


Abb. 27: Rückseite

Mit den Vorarbeiten am Solarrotor sollte die Fertigstellung kein Problem sein.

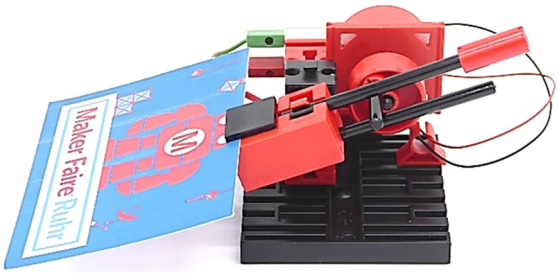


Abb. 28: Vorderansicht

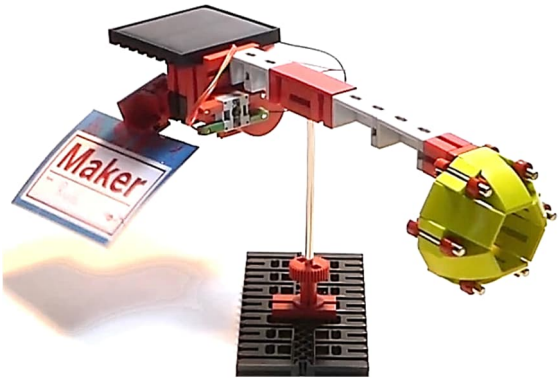


Abb. 29: Fluke in Betrieb

Auf die Sonne wollte ich nicht warten, um Videos der Maschinen aufzunehmen. Eine 500-W-Quarzlampe liefert genug Licht für den Betrieb, aber die Aufnahmen haben einen sehr starken Gelbstich.

Versuchsweise habe ich einen 100-W-LED-Kaltlichtstrahler ausprobiert, doch ist der Rotlichtanteil offensichtlich viel zu klein. Den brauchen aber die Solarzellen. Mit der Kombination beider Lampen gibt es ein akzeptables Ergebnis, siehe Link zum Video.

Zum Abschluss noch ein Flattermodell.

Was flattert da und kann nicht fliegen?

Der fischertechnik-Mikromotor ist zusammen mit der 1-V-Solarzelle in der Lage, zwei Wedler anzutreiben.

Der einfache Mechanismus ist schnell aufgebaut. Die Papierflügel habe ich mit 8 kleinen Magneten an S-Kupplungen 22,5 (38260) befestigt. Mit Klebeband geht es natürlich auch.

Kleiner Hinweis: Mein Mikromotor zeigt in einer Drehrichtung etwas größere Leistung. Da die Drehrichtung bei diesen Modellen egal ist, kann ein Umpolen hilfreich sein.

Referenzen

[1] Rüdiger Riedel: *Die fliegenden Fischer*. Auf YouTube, 2024.

Abb. 30: Flattervogel

Modell

Die andersartige Möbius-90-Bahn

Ralf Geerken

Es war einmal… ein Thread im Forum der ft:community, der nannte sich „Möbiusbahn“ [1]. Das war im August 2023, und er zog mich sofort in seinen Bann. Mitdiskutieren oder etwas Sinnvolles dazu beitragen konnte ich nicht – aber ich war von der Idee so fasziniert, dass ich eine eigene Möbius-Bahn bauen wollte.

Geschichte

Die ersten Experimente waren sehr kläglich und bleiben hier besser unerwähnt. Es ist gar nicht so einfach, auf einer Kreisbahn zusätzlich eine 180°-Drehung um die eigene Achse hinzubekommen. Aber warum muss es denn eigentlich eine 180°-Drehung sein? Würde nicht fürs Erste eine 90°-Drehung ausreichen (Abb. 1)? Und muss diese auf einer genauen Kreisbahn liegen, oder reicht auch ein Oval?

Abb. 1: Ovale Möbius-Bahn mit 90°-Drehung der Schienen

Die Lagerung auf einem gegenüberliegenden Schienenpaar, also die Schienenführung nur an zwei Punkten, ist leider sehr labil. Sie muss ja aufrecht, rechts, links und auf dem Kopf stehend gleichmäßig sehr stabil sein.

So entschied ich mich recht früh für ein doppeltes, um 90° versetztes Schienenpaar, bei dem vier Radführungen vorhanden sind.

Dabei sei Folgendes erwähnt: Eine Möbius-Bahn ist eine Einschienenbahn, auch wenn es anders aussieht. Es gibt nur eine einzige Schiene. Bei einer „normalen“ Möbius-Bahn umrundet diese Schiene den Kreis zweimal – bei meiner 90°-Bahn wird der Kreis viermal von ein und derselben Schiene umrundet.

Prototyp

Der erste Prototyp war mit Unterstützung meines Sohnes recht schnell gebaut und wir konnten das erste Funktionsmuster (naja, eigentlich hatte es noch keine Funktion, es war also eher ein Muster) im Oktober 2023 auf der Südconvention in Sinsheim zeigen.

Niemand konnte sich so richtig vorstellen, dass die Bahn irgendwann mal funktionieren würde – außer Philip und mir. Es waren überall noch Stützkreuze eingebaut, die eine freie Fahrt verhinderten, und der erste Wagen (Abb. 2) hing ebenfalls etwas durch bzw. entgleiste beim leisesten Anschubsen.

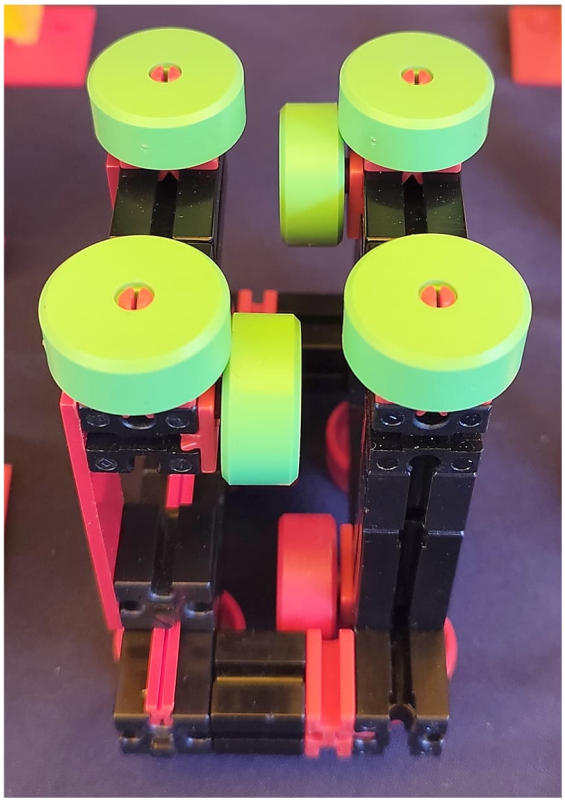


Abb. 2: Erster Wagen

Das nächste Ziel war aber gesteckt – und zwar die Nordconvention am 20. April 2024. Die Zeit verging natürlich wie im Fluge, ohne dass nennenswerte Fortschritte zu verzeichnen waren. An dieser Stelle sei auf den Beitrag von Florian Bauer in der ft:pedia 4/2024 verwiesen [2]. Hier konnten wir uns ein gutes Beispiel nehmen, wie perfekt eine Möbius-Bahn aus fischertechnik gebaut werden kann.

Die Stabilisierung der Bahn bzw. der Schiene stand also im Vordergrund. Ein Kreis aus 60°-Bogenstücken war sehr vielversprechend – aber wer hat schon so viele Bogenstücke? Mein Freund Ingwer Carstens aus Wennigsen half uns mit vielen, vielen Teilen aus der Patsche und die Bahn nahm endlich Formen an (Abb. 3).

Der Wagen war das nächste heftige Problem. Es war schnell klar, dass das Zauberwort Achsensymmetrie heißt. Auf dem beengten Raum gelang zwar ein sehr schöner und obendrein sehr leichtgängiger Wagen (Abb. 4), aber bei diesem war es schlichtweg unmöglich, einen Antrieb und noch eine Batterie einzubauen. Also warum eigentlich keine zwei Wagen – eine Lok und ein Batterie-Tender?

Lok und Tender waren dann doch recht zügig gebaut (Abb. 5), und die Lok wird den Tender schon irgendwie ziehen können – dachte ich jedenfalls. Die Lösung der Anhängerkupplung war mit einem Kardangelenk (Abb. 6) auch schnell gefunden.

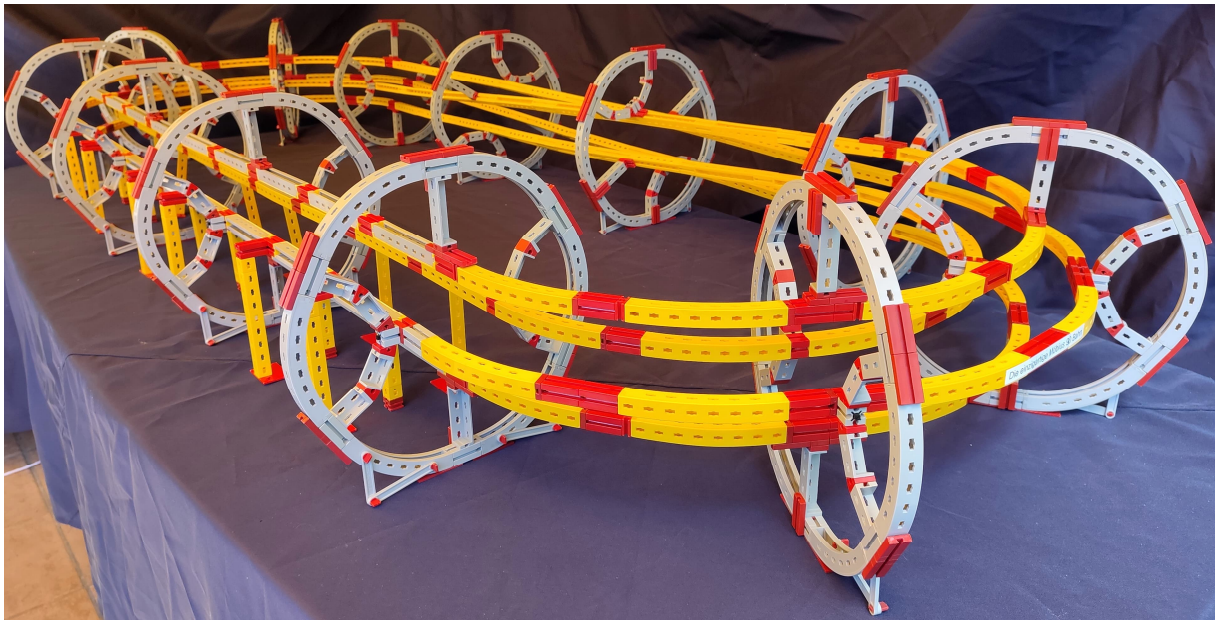


Abb. 3: Gesamtansicht der Möbius-90-Bahn

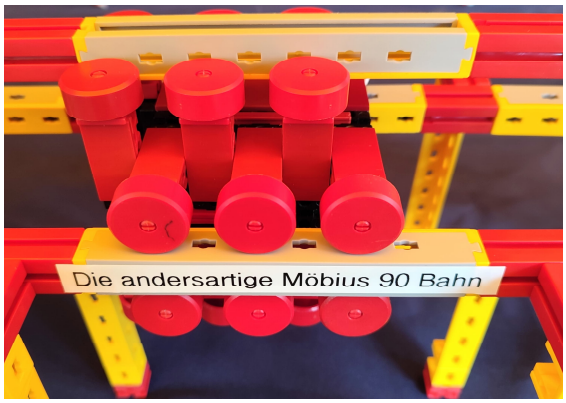


Abb. 4: Hübscher Wagen – allerdings ohne Antrieb

Abb. 5: Trennung des Wagens in Lok (rechts) und Tender (links)

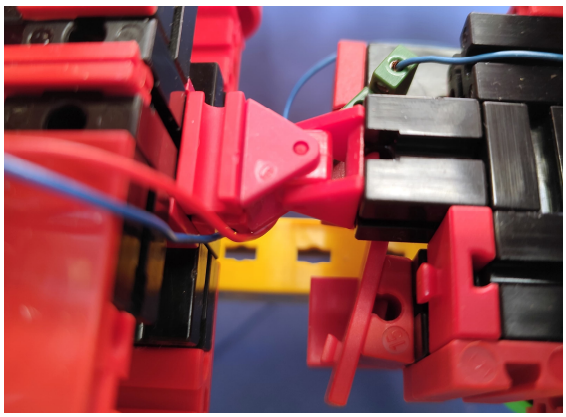


Abb. 6: Verbindung von Lok und Tender über ein Kardan-Gelenk

So viele Möglichkeiten einer achsensymmetrischen Kupplung in X- und Y-Richtung, die auch noch eine gewisse Torsion aushalten muss, sind mir auf die Schnelle auch nicht eingefallen. Es waren nämlich nur noch knapp zwei Wochen Zeit bis zur Nordconvention.

Stabiles Modell

Entgleisungen gab es vier Tage vor der Convention noch sehr viele – zu viele. Die Bahnstrecke war recht stabil und gut symmetrisch aufgebaut. Die Lok und der Tender sahen zwar auch stabil aus, aber die Bahn entgleiste alle zwei bis drei Runden oder blieb einfach mittendrin hängen, mal mit und mal ohne durchdrehende Räder. Bis mir ein „Fehler“ unterlief.

Der Fehler war nämlich eigentlich gar keiner. Ich hatte mich mal wieder in der Richtung des Anschaltens des kleinen fischertechnik-Batteriepacks vertan. Wer kann sich schon merken in welcher Richtung die Lok vorwärts fährt, wenn sie mal kopfüber, mal rechts oder links oder wie-auch-immer vor einem steht.

Das war mir schon öfter passiert, nur ist mir der ganze Zug diesmal rückwärtsfahrend um die Kurve abgehauen. Ich hechtete diesmal nicht hinterher, sondern dachte mir, dass sie entweder a) sowieso gleich entgleist oder b) nach einer Runde wieder bei mir ankommt.

Eine halbe Stunde später fuhr die Bahn immer noch. Keine Entgleisungen mehr, kaum Ruckeln und obendrein ohne Akku-Wechsel fuhr die Bahn eine Runde nach der anderen.

Drei Tage später auf der Nordconvention fuhr sie dann ebenfalls fehlerfrei den ganzen Tag durch. Ein Akku (9V, 1.300 mAh) hielt erstaunliche 2,5 Stunden; das hätte ich wirklich nicht gedacht.

Fragen über Fragen

„Warum hat die Lok grüne Räder?“ war eine häufig gestellte Frage. Der Zug hat auf den Seiten unterschiedliche Farben der Räder. Nämlich außer Rot auch noch Weiß und Grün. Da Lok und Tender in der X- und der Y-Achse symmetrisch aufgebaut sind, kann man durch die Farben erkennen, dass sie sich um die eigene Achse dreht. Mal sind die grünen Räder oben und mal die weißen oder die roten.

Ist das denn überhaupt eine Möbius-Bahn oder was passiert eigentlich bei der 90°-Drehung? Diese Frage kam tatsächlich bei uns am familiären Frühstückstisch auf.

Abb. 7: Die 90°-Drehung

Um die Frage zu beantworten, bastelten wir uns aus Papier und Klebeband ein Möbius-Band. Wir drehten es aber nicht um 180°, sondern nur um 90°, d. h. bei den aufeinandertreffenden Enden stehen diese dann im rechten Winkel zueinander und verlaufen dann jeweils durcheinander hindurch, wenn man sie denn weiterführen könnte – welch ein Durcheinander. Nach einer nicht enden wollenden Diskussion, um was es sich denn hierbei jetzt handelt, kontaktierte ich kurzerhand den in fischertechnik-Kreisen allseits bekannten Mathematik-Professor Thomas Püttmann.

„Immersion“ war seine Antwort. „Was Ihr gebaut habt, ist eine Immersion des Möbius-Bands. Die ursprüngliche Bahn fuhr auf einem eingebetteten Möbius-Band. Eine Immersion ist in der Mathematik zwar nicht so ungewöhnlich wie eine Einbettung, aber Eure ganz eigene Bahn ist der Auftakt zu einer ganzen unendlichen Serie, denn man kann um alle Winkel drehen, die ein Vielfaches von 360° teilen.“ Wir haben eben eine ganz eigene immersive, eben eine ‚andersartige‘ Bahn gebaut.

In der Differentialtopologie versteht man unter einer Immersion eine glatte Abbildung

$$F\colon M \to N$$

zwischen Mannigfaltigkeiten M und N, wenn der Pushforward

$$F_{*p}\colon T_pM \to T_{F(p)}N$$

dieser Abbildung an jedem Punkt $p \in M$ injektiv ist. Ist darüber hinaus F eine topologische Einbettung, so spricht man von einer (glatten) Einbettung. In diesem Fall ist das Bild der Abbildung eine zu M diffeomorphe Untermannigfaltigkeit von N.

(aus: Wikipedia, Immersion [3])

Man muss wohl Mathematik-Professor sein oder zumindest Mathematik studiert haben, um das zu verstehen. Einfacher geht es, wenn man sich das fischertechnik-Modell der „andersartigen Möbius-90-Bahn“ anschaut; entweder auf einer Ausstellung oder auf dem folgenden YouTube-Video.

Quellen

[1] ftcommunity-Forum: *Möbiusbahn*.

[2] Florian Bauer: *Möbius-Bahn mit fischertechnik*. ft:pedia 4/2023, S. 4–20.

[3] Wikipedia: *Immersion*.

Modell

Lautsprecher – schnell gebaut

Thomas Püttmann

Aus nur 25 fischertechnik-Teilen, zwei Neodym-Magneten und einer entleerten Quarkschachtel lässt sich in wenigen Minuten ein funktionsfähiger Lautsprecher bauen. Er kann an alle Lautsprecher- und Kopfhörerbuchsen angeschlossen werden. Mit seiner Impedanz von 50 Ω tönt er dabei nicht sehr laut. Sprache wird aber verständlich wiedergegeben.

Die Membran unseres Lautsprechers besteht aus einem entleerten 250-g-Quarkpäckchen. Es ist in drei Verbindungsstücke eingespannt. Im Innern und außen befinden sich je ein Neodym-Magnet. Die beiden Magneten halten sich gegenseitig in der Mitte der Membran.

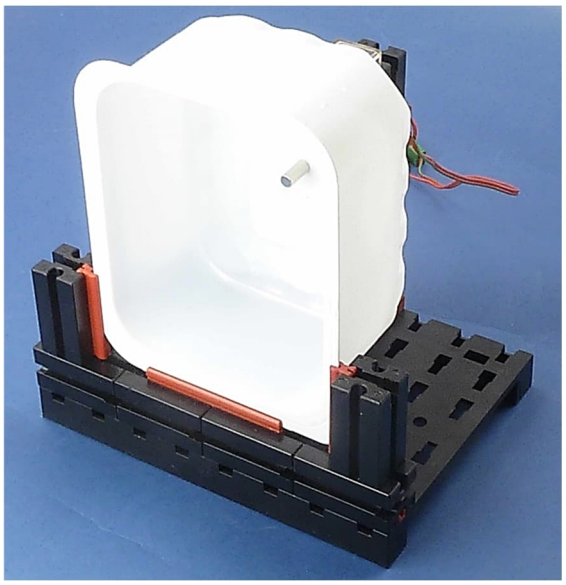


Abb. 1: Lautsprecher von vorne

Die Membran wird von einem alten fischertechnik-Elektromagneten angetrieben. Alternativ eignen sich auch handelsübliche Topfmagneten mit einer Spannung von 9 V bis 12 V und einem Widerstand von 50 Ω.

Der Lautsprecher kann an jeden Kopfhörer- oder Lautsprecherausgang angeschlossen werden. Kopfhörerausgänge stellen allerdings meist nur Pegel mit einer Amplitude von weniger als 1,5 Volt bereit. Damit tönt unser Lautsprecher recht leise. Sprache wird aber verständlich wiedergegeben.

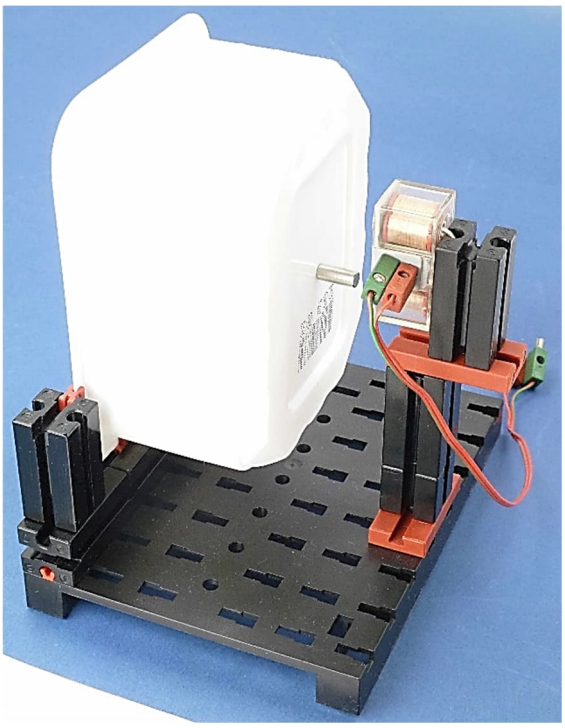


Abb. 2: Lautsprecher von der Seite

Ein aktueller Trend im Hi-Fi-Bereich sind Kopfhörer mit einer deutlich höheren Impedanz als 32 Ω. Wie unser Lautsprecher erfordern diese einen höheren Signalpegel. Moderne Laptops erkennen zum Beispiel solche Kopfhörer und stellen automatisch passende Pegel zur Verfügung.

Ansonsten kann man die Lautstärke auch mit einem passend dimensionierten Transis-

torverstärker erhöhen, der auf eine Impedanz von 50 Ω ausgelegt ist.

Aber auch alte Geräte stellen zum Teil ausreichende Pegel bereit. Bei meinem alten Grundig-YachtBoy-Weltempfänger kann man die empfangenen Sendungen bei voller Lautstärke mit dem selbst gebauten Lautsprecher gut verfolgen. Ein Video dazu findet sich in [2].

Abb. 3: Lautsprecher am Weltempfänger

Der Aufbau des Lautsprechers erfolgt geradeaus: In Abb. 4 ist der Unterbau sichtbar. Abb. 5 zeigt im Detail den Halter des Elektromagneten.

Man kann den Lautsprecher auch sehr gut als Mikrofon benutzen. Er stellt bei lauter Sprache einen Signalpegel von einigen Millivolt bereit. Damit kann man ihn an jeden Mic-Eingang eines Audiogeräts anschließen. Sprachaufnahmen sind gut verständlich und klingen für mich nostalgisch nach der Frühzeit des Radios.

Abb. 4: Unterbau des Lautsprechers

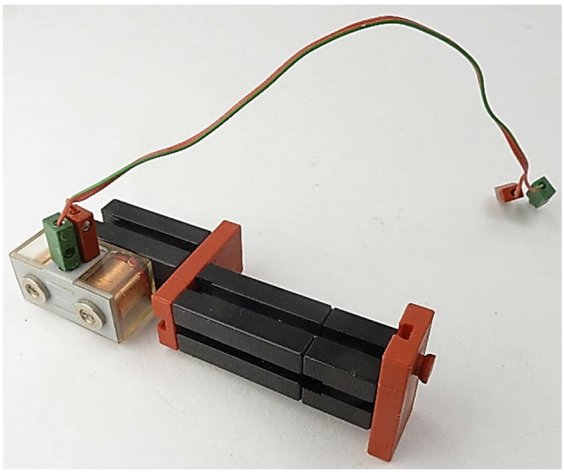


Abb. 5: Halter des Elektromagneten

Referenzen

[1] Andreas Gail: *fischertechnik-Modelle für Maker*, Abschnitt 1.4 „Lautsprecher“. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2018.

[2] Thomas Püttmann: *fischertechnik Lautsprecher / Speaker.* Auf YouTube, 2024.

Modell

Sattelzugmaschine (Frontlenker) – ferngesteuert (4)

Claus Ludwig

Bei diesem vierten Modell meiner kleinen Fahrzeugmodellserie geht es um den Frontlenker in Form einer Sattelzugmaschine und dem dazu gehörigen Tieflader, gesteuert mit einer Carson Reflex Stick Multi Pro LCD 14 Channel [1] (Abb. 1).

Abb. 1: Gesamtansicht des Frontlenker mit Tieflader

Frontlenker

Bei einem Frontlenker ist der Motor komplett unter die Fahrerkabine gewandert und die Vorderachse sitzt etwa mittig unter dem Führerhaus.

Diese Lkw stellen heute den größten Teil der in Europa fahrenden Lkw, da sie die kompakteste Bauform besitzen. Entsprechend groß sind die zur Verfügung stehenden Ladeflächen. Natürlich finden wir diese Bauform auch in allen anderen Ländern der Welt.

Vom Frontlenker gab es noch eine Sonderbauform von Büssing [2], die sich aber nicht durchgesetzt hat: den Frontlenker mit Unterflurmotor. Hier saß der Motor nicht unter dem Führerhaus, sondern unter der Ladefläche zwischen Führerhaus und Hinterachse. Nach der Übernahme von Büssing durch MAN Anfang der 1970er Jahre wurde diese Bauart noch einige Jahre weitergeführt und dann eingestellt.

Abb. 2: Gesamtansicht rechts

Abb. 3: Gesamtansicht links

Abb. 4: Rückansicht

Abb. 5: Vorderansicht

Fernsteuerung

Da sich in letzter Zeit einige fischertechnik-Konstrukteure mit der Anschaffung einer Modellbaufernsteuerung von Carson beschäftigt haben, habe ich mir eine Carson Stick Multi Pro LCD 14 Channel gekauft, um sie bei diesem Modell zu testen (Abb. 6).

Abb. 6: Sender Carson Reflex Stick Multi Pro LCD 14 Channel

Wie der Name verrät handelt es sich um eine Fernsteuerung mit 14 Kanälen, die für den Funktionsmodellbau entwickelt wurde. Vier Kanäle sind als Proportionalkanäle ausgeführt. Jeweils vier Kanäle verfügen über drei Stufenschalter bzw. -taster, und zwei Kanäle sind mit einem Drehpotentiometer ausgestattet. Bei den Proportionalkanälen können individuelle Anpassungen vorgenommen werden.

Der Preis für das Set, bestehend aus Sender und zugehörigem 14-Kanal-Empfänger, liegt bei ca. 130 €. Der Empfänger kostet einzeln ca. 53 €.

Mein Modell nutzt sechs Kanäle: zwei Proportionalkanäle für die Lenk- und Fahrfunktionen, zwei Schaltkanäle für die Fahr- und Fernlichtfunktionen und zwei Tastkanäle für die Funktionen des Tiefladeraufliegers.

Die ersten Erfahrungen mit der Carson Fernsteuerung sind gut. Vom Design würde ich eine Multiplex [3] vorziehen; beim Preis-Leistungsverhältnis ist die Carson hingegen sehr überzeugend.

Der Frontlenker

Der Frontlenker ist als Sattelzugmaschine gebaut, bei der man, wie auch bei den anderen Modellen, alles öffnen kann, was sich auch beim echten LKW bewegen lässt: Die Türen können geöffnet, die „Motorhaube“ und die Dachhaube können hochgeklappt und das gesamte Führerhaus kann nach vorne gekippt werden (Abb. 7, 8, 9).

Abb. 7: Vorderansicht mit geöffneten Türen und Motorhaube

Abb. 8: Seitenansicht mit geöffneten Türen und Klappen

Da ich eine völlig glatte Front zu „langweilig“ fand, habe ich mich bei der Gestaltung der Front an Lkw der 50er und 60er Jahre orientiert.

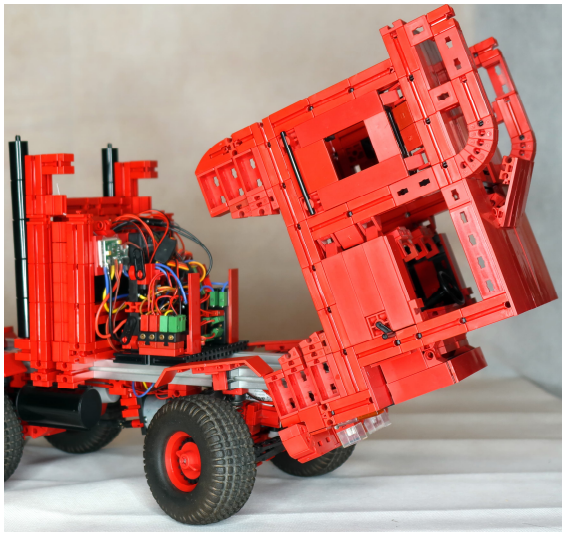


Abb. 9: Frontlenker mit gekippter Fahrerkabine

In Abb. 9 gut zu sehen ist die Elektronik hinter den Sitzen. Hier sind nicht nur der Fahrregler und die Bausteine für die Sattelzugmaschine untergebracht, sondern auch die Fahrregler für den Auflieger. Hinter der Elektronik befindet sich der Fahrakku. Er besteht aus 8 eneloop AA Akkus [4] mit 2400 mAh und damit insgesamt 9,6 V.

Der Antrieb erfolgt über zwei Powermotoren 20:1 (grau) und den aktuellen Differentialgetrieben. Anstelle der Rastachsen aus Kunststoff wurden – wie schon bei den anderen Modellen – Metallachsen von Andreas Tacke verwendet [5].

Für die Lenkung wurde ein größerer (vorhandener) Servo verwendet, der direkt über der Vorderachse sitzt. Die Einbaurichtung spielt auch bei dieser Fernsteuerung keine Rolle, da über die Servo-Umkehrfunktion des Senders die Ausschlagrichtung angepasst werden kann.

Des Weiteren sind alle Achsen federnd gelagert.

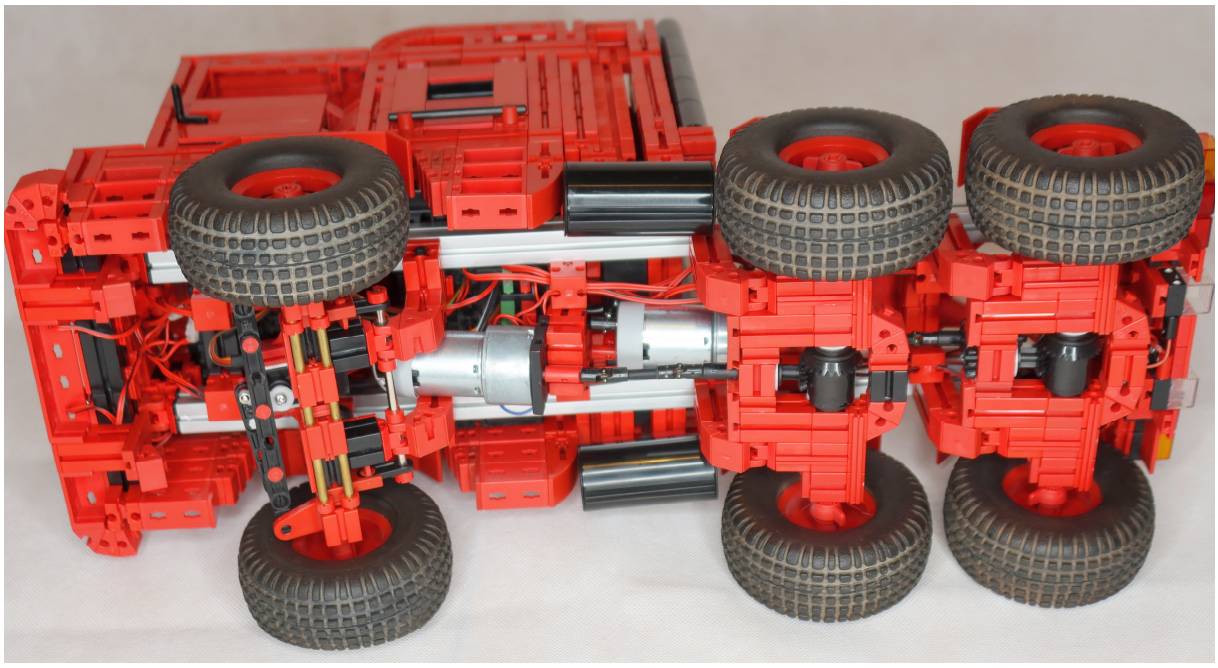


Abb. 10: Ansicht Unterseite

Abb. 11: Detailansicht Steuerung. Die beiden Taster dienen zusätzlich, zum Schalter am Akkugehäuse, der Stromunterbrechung.

Neben den Fahr- und Lenkfunktionen ist die Sattelzugmaschine mit Fahrlicht, Fernlichtzusatzscheinwerfern, Blinkern, Warnblinker sowie Bremslicht und Rückfahrscheinwerfern ausgestattet.

Wie erwähnt befinden sich in der Zugmaschine nicht nur die Fahrregler und Schaltmodule für die Zugmaschine, sondern auch die für den Auflieger. Das hat den Vorteil, dass die Fahrregler auch für andere – vielleicht noch entstehende – Auflieger genutzt werden können.

Alle Regler und Module kommen wieder von CTI [6]. Verbaut sind insgesamt fünf Fahrregler sowie zwei Schaltmodule. Ein Fahrregler vom Typ Thor15 ist für den Antrieb zuständig. Die vier weiteren vom Typ Thor4 schalten das Fahrlicht, das Fernlicht sowie die Linearantriebe des Aufliegers.

Ein Schaltmodul vom Typ PS2BR übernimmt die automatische Steuerung von Bremslichtern und Rückfahrscheinwerfern. Das zweite Schaltmodul ist vom Typ PS4BW und steuert die Blink- und Warnblinkfunktionen. Beide Module sind über jeweils ein Y-Kabel mit dem Empfänger

verbunden. An dem jeweils zweiten Ausgang ist der Lenkservo bzw. der Fahrregler der Zugmaschine angeschlossen. Die Blinkfunktion erfolgt automatisch, die Warnblinkfunktion wird über eine kurze Bewegung eines der Steuerknüppel aktiviert.

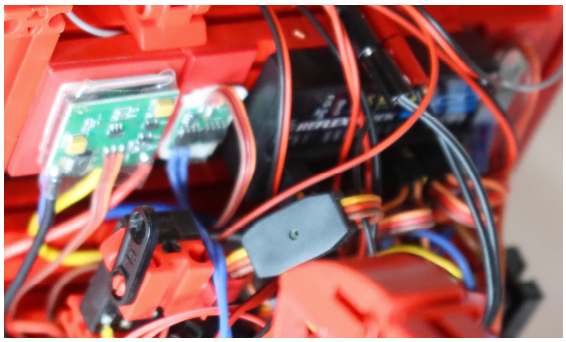


Abb. 12: Steuerelektronik: Links der Fahrregler für die Zugmaschine, daneben das Schaltmodul für Bremslichter und Rückfahrscheinwerfer; in der Mitte der 14-Kanal-Empfänger

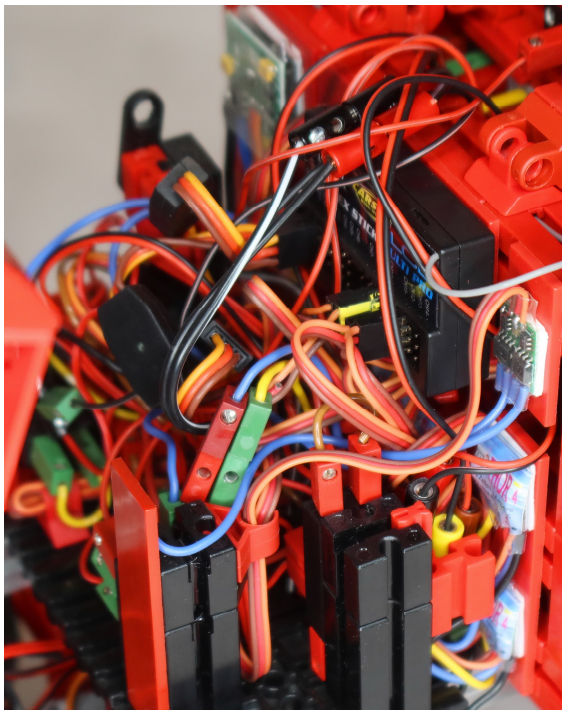


Abb. 13: Steuerelektronik: Rechts oben das Schaltmodul für die Blinker. Darunter die beiden Fahrregler für den Auflieger.

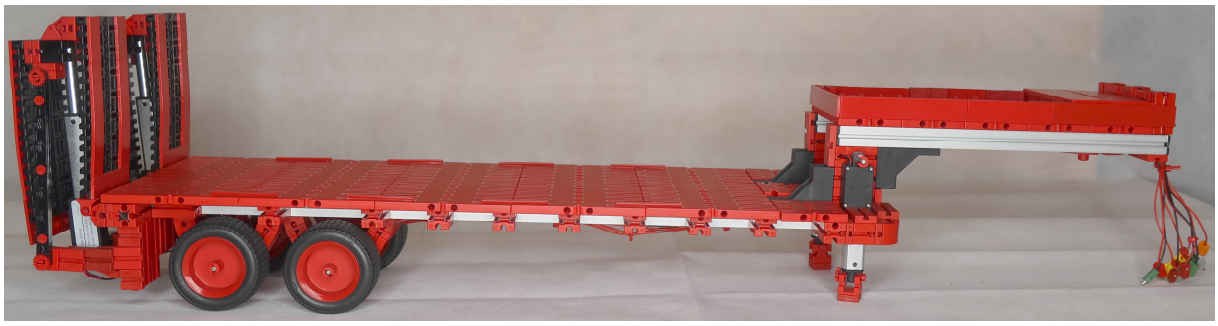


Abb. 14: Seitenansicht Tieflader

Auflieger (Tieflader)

Der Auflieger wurde als Tieflader konstruiert. Neben einer guten Belastbarkeit ist der Tieflader mit Linearantrieben [7] zum Aus- und Einfahren der vorderen Stützen ausgestattet (Hub: 30 mm; Abb. 15). Auch die hinteren Rampen können über zwei Linearantriebe (Hub: 50 mm; Abb. 18) herunter- und heraufgeklappt werden.

Wie die Zugmaschine verfügt auch der Auflieger über alle Lichtfunktionen.

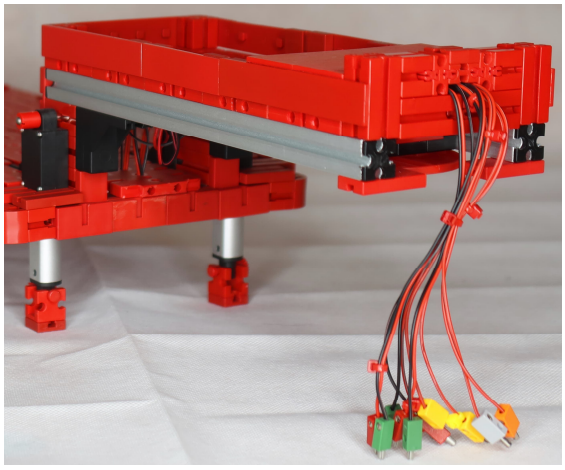


Abb. 15: Stützen und Kupplung des Tiefladers

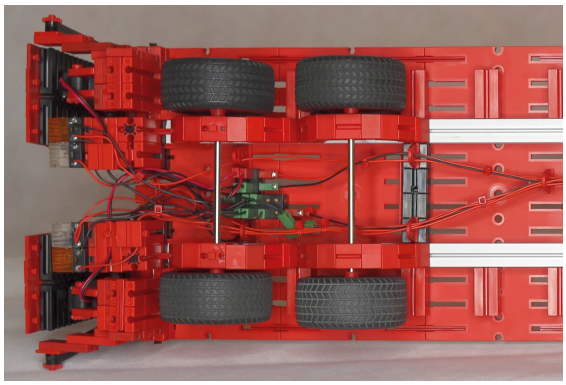


Abb. 16: Unterseite Tieflader

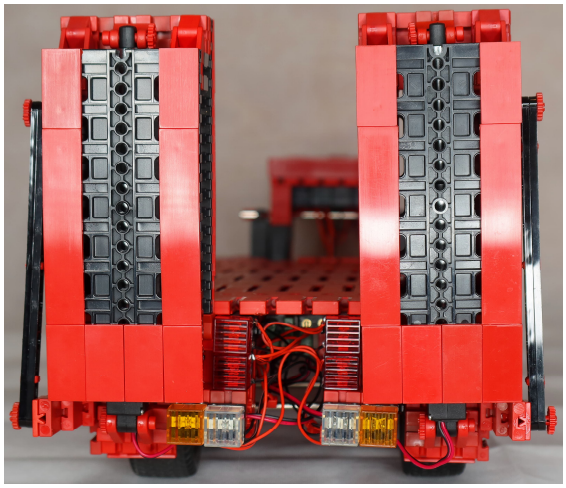


Abb. 17: Rückseite mit eingeklappten Rampen

Abb. 18: Seitenansicht mit eingeklappten Rampen

Abb. 19: Teilweise ausgeklappte Rampen

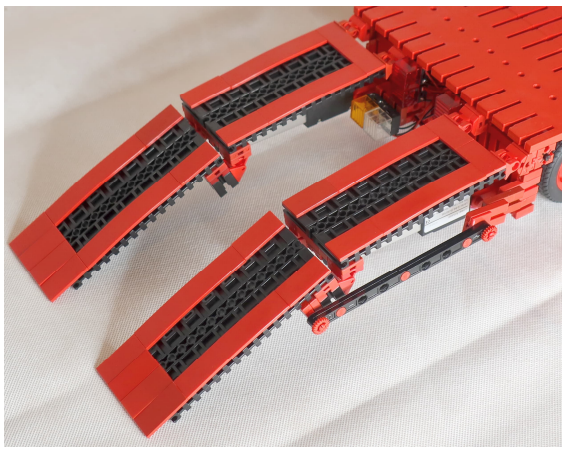


Abb. 20: Komplett ausgeklappte Rampen

Verbindung mit dem Auflieger

Die Übertragung der Licht- und Steuerfunktionen zwischen Auflieger und Zugmaschine erfolgt über 11 Kabel. Dazu sind an der Zugmaschine sechs Leuchtsteingehäuse angebracht, die als Steckdosen dienen (Abb. 21).

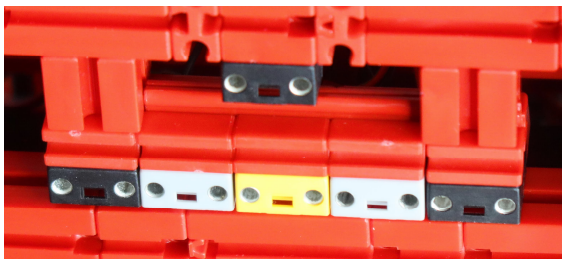


Abb. 21: Leuchtsteingehäuse in normaler Position

Zwischen den Leuchtsteingehäusen und den Regel- und Steuermodulen befindet sich der Akku. Damit nicht jedes Mal, wenn der Akku zum Laden herausgenommen wird, auch alle Kabelverbindungen entfernt wer-

den müssen, sind die Leuchtsteingehäuse auf einer beweglichen Schiene befestigt und können weggeklappt werden (Abb. 22).

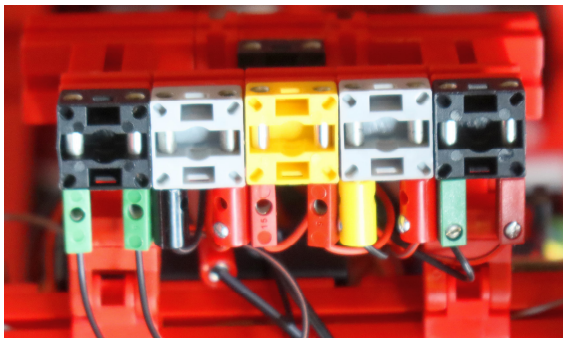


Abb. 22: Leuchtsteingehäuse hochgeklappt

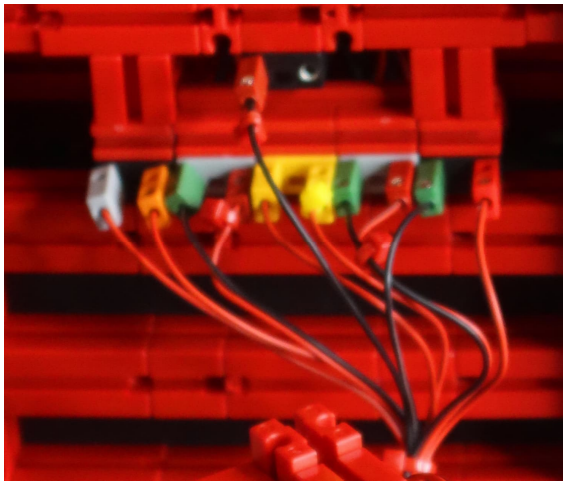


Abb. 23: Kabelverbindung zum Auflieger

Maße und Gewichte

Abschließend noch ein paar Daten. Die Sattelzugmaschine wiegt 3,90 kg, der Tiefladerauflieger 2,25 kg, womit das Gesamtgewicht 6,15 kg beträgt.

Die Länge der Zugmaschine beträgt 500 mm, die Breite liegt bei 200 mm und die Höhe erreicht 280 mm. Der Auflieger hat mit hochgeklappten Rampen eine Länge von 800 mm, die Breite und Höhe liegen jeweils bei 200 mm. Die Gesamtlänge mit Auflieger liegt bei 1100 mm.

Fazit

Ich habe lange gezögert, bei der Fernsteuerung von Modellen von fischertechnik auf den Modellfunktionsbau umzustellen. Aus heutiger Sicht hätte ich das bei schweren oder komplexen Modellen viel früher machen sollen. Hinzu kommen die Möglichkeiten der Lichtsteuerungen und der hier nicht weiter besprochene Einsatz von Soundmodulen.

Referenzen

[1] Carson Modellbau

[2] Wikipedia: Motorhaubenform bei Lkw und Bussen

[3] MULTIPLEX Modellsport

[4] Panasonic (ehemals Sanyo Electronic): eneloop

[5] Andreas Tacke (TST): Spezialteile für fischertechnik

[6] Helmut Marschall: CTI-Modellbau

[7] Linearantriebe bei Amazon, verschiedene Anbieter

Abb. 24: Schrägdraufsicht Gesamtmodell

Getriebe

Immer schön langsam: Hypozykloidgetriebe

Harald Steinhaus

Es gibt Anwendungsfälle für Getriebe, bei denen man sehr große Untersetzungen (mithin: kleine Drehzahlen) mit zum Teil hohen Kräften (Drehmomenten) braucht. Auch eine majestätisch langsame Drehung kann ein Anwendungsfall sein. Hier werden zwei selbst entwickelte Getriebe vorgestellt, die zu fischertechnik kompatibel sind.

Beispiele sind Roboterarme, Teleskopmontierungen (Astronomie) oder Antennennachführungen. Zum Teil müssen auch Positionen zwischen Endlagen genau und wiederholbar angefahren werden können. Das eine oder andere Flugzeugfahrwerk ist natürlich auch „Zielgruppe“. Mangels Hydraulik und Vielfalt an Zahnrädern muss man in fischertechnik-Modellen mit mehrstufigen Zahnradgetrieben auskommen, die aber schnell unhandlich groß, wackelig, und spielbehaftet werden. Hierzu gibt es in [1] einige Beispiele. Einige Aufgaben können auch mit fischertechnik-Servos inclusive dem 2024 neu dazu gekommenen Servo-Drehkranz gelöst werden.

Außerhalb der Möglichkeiten von fischertechnik gibt es eine Reihe von Getriebebauarten, die mittels 3D-Druck die Lösung versprechen:

- Wolfrom-Planetengetriebe oder „Split Ring“ (in [2] zum Antrieb von Uhrenzeigern verwendet)
- Harmonic Drive
- Hypozykloid-Getriebe, auch kurz „Zykloidgetriebe“

Zur Zykloide hat Wikipedia [3] eine ausführliche Erläuterung. Auf den gegebenen Fall vereinfacht kann man es so beschreiben: Wenn man ein glattes Reibrad außen auf einem zweiten Rad abwälzt, bewegt sich ein Punkt am äußeren Umfang des ersteren auf einer Epizykloide entlang. Dies ist der Fall bei einem Planetengetriebe, das deshalb im Englischen *epicyclic gear* heißt. Das Gegenstück dazu ist die Hypozykloide, die man erhält, wenn das Rad am inneren Rand eines (größeren) Rades abwälzt. Bei Verwendung von Zahnrädern wird das äußere Rad zu einem innenverzahnten Hohlrad und es muss ein Punkt auf dem Wälzkreis betrachtet werden. Wir bleiben im Weiteren bei Zahnrädern.

Das Prinzip beruht darauf, dass das kleinere Zahnrad exzentrisch gelagert ist und damit nur an einer Stelle voll im Eingriff mit dem äußeren Zahnrad ist. Bei Drehung der Antriebsachse wälzt es im Hohlrad ab, und fällt mit Blick auf seine räumliche Orientierung bei jedem Umlauf um einen oder mehr Zähne zurück. Es führt zwei überlagerte Bewegungen aus: Es dreht sich um seine Achse, und seine Achse rotiert am Endpunkt der exzentrischen Lagerung. Einfach gesagt: Es dreht sich (mit Untersetzung), und es eiert noch dazu (mit der Drehzahl der Eingangsachse).

Die Drehung ist das gewünschte Ergebnis. Die Übersetzung ergibt sich aus der Zähnezahl des kleineren Zahnrads, dividiert durch die Differenz der Zähnezahlen von beiden. Fachleute verwenden die Begriffe Nocken (n) am kleineren (dem Triebrad) und Bolzen (B) am größeren (dem Triebstock). Wenn das Triebrad angetrieben wird und der

Triebstock fest steht, ergibt sich die Untersetzung zu

$$\frac{n}{B-n}$$

Die größten Untersetzungen erhält man also, wenn sich n und B nur wenig unterscheiden, und wenn man beide möglichst groß wählt. Mit $B - n = 1$ gibt das kleinere Rad direkt die Untersetzung an. Das ergibt schon einen ziemlichen „Wumms“ auf kleinem Bauraum, etwa mit 1:20, wenn man Zahnräder Z20 und Z21 einsetzt. „Wumms“ deshalb, weil bei gleicher Motorleistung das erreichbare Drehmoment um denselben Faktor steigt, um den die Drehzahl gesenkt wird.

Das „Eiern“ ist störendes Beiwerk, das man aber auf verschiedenen Wegen loswerden kann. Je nach der Methode hierfür kann die Ausgangswelle sehr wohl zentrisch, aber ggf. nur ruckweise drehen. Ein zweistufiger Aufbau macht aus der Not eine Tugend: Er verwendet das eiernde Ausgangsrad der ersten Stufe als Eingang für die zweite, und erzielt damit einen rein rotierenden Ausgang mit dem Produkt der beiden Untersetzungen – ein Doppel-Wumms! Der Lösungsweg kommt in der Technik öfter vor: Wenn man sie nicht beseitigen kann, produziert man einen Fehler oder eine Unzulänglichkeit eben noch zweites Mal, aber mit umgekehrtem Vorzeichen, und schaltet beide hintereinander.

Eine Anmerkung: Die in den Kommentaren zu „hypozyk572“ angesprochene Ein-Wellen-Uhr ist die „Uhr mit Planeten“ aus [2] geworden. Und eine zweite: Im ft:pedia-Artikel „3D-Druck (4)“ [5] waren Zykloidgetriebe schon einmal Thema, haben es aber seinerzeit nicht bis zur Praxisreife geschafft.

„Eiern“ bedeutet natürlich auch eine prinzipbedingte Unwucht. Sie wird in professionellen Designs kompensiert, indem eine zweite Masse, in diesem Fall ein

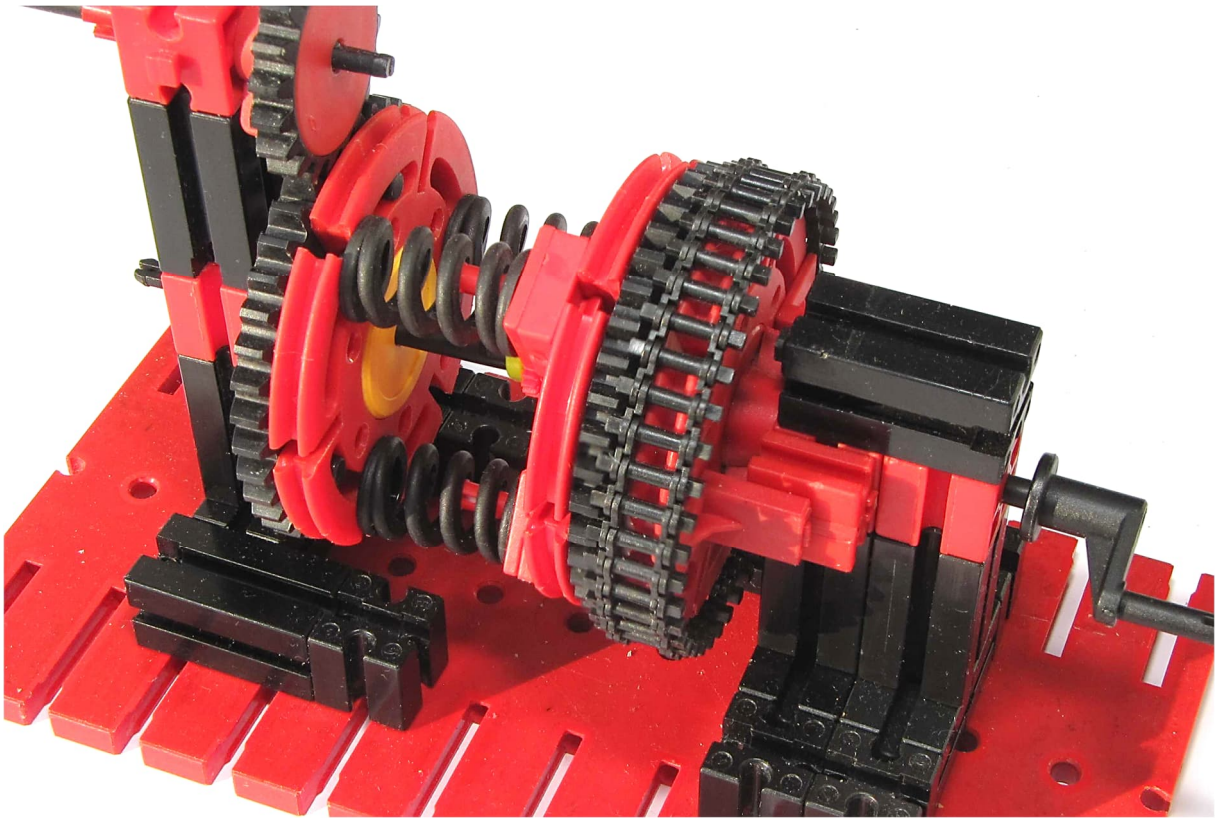


Abb. 1: Hypozykloidgetriebe aus fischertechnik-Teilen (und zwei Kabelbindern)

zweiter Exzenter, hinzufügt und um 180° auf der Achse versetzt wird. Das bedeutet natürlich doppelten Aufwand und Bauraum – den ich mir bei den hier verwendeten niedrigen Drehzahlen erspare. Bei einem Hypozykloid-Getriebe direkt auf der Schnecke eines S-Motors wäre das aber nötig, um dessen Lager zu schonen.

Nun zur Praxis

Die Kategorie „Hypozykloid-Getriebe“ [4] im Bilderpool enthält bereits einige Exemplare, die bis auf zwei Kabelbinder rein mit fischertechnik-Teilen aufgebaut sind. In Erweiterung dazu zeigt Abb. 1 eine weitere Abwandlung mit „rund“ laufendem Ausgang. Die fischertechnik-Kunststofffedern haben genau den richtigen Durchmesser, um die Drehbewegung aus den eiernden Stiften auszuleiten.

Das äußere Zahnrad wird durch Umschlingen einer Drehscheibe mit der schwarzen fischertechnik-Kette gebildet. Und ja, die Kette lässt sich ohne Werkzeug durch behutsames Drücken von der Drehscheibe lösen.

Die erste Frage beim Entwurf eines Hypozykloidgetriebes lautet: Welche Zahnformen sind geeignet? Die typische Evolventenverzahnung ist für das Abwälzen der Zahnräder aneinander, nicht ineinander gedacht. Bei großen Unterschieden (wie etwa Z20 im fischertechnik-Innenzahnrad-Z30) fällt es nicht weiter auf, aber mit nur einem Zahn Unterschied klemmen und überlappen sich die Zähne. Man könnte die Zähne heftig stutzen, bekäme damit aber viel Spiel dazwischen. Literatur und Internet bieten hier vielfältige und komplexe Berechnungsformeln (z. B. [5]). Für meine Zwecke reichen

- einfache Kreisbögen für die Bolzen und
- segmentweise aneinander gereihte Kreisbögen für die Nocken

alle Male aus. Die Fachperson spricht hier von einer Triebstockverzahnung. Die Werte für die Durchmesser hierfür habe ich vom Handbuch für Kettentriebe der Firma Kettenwulf [6] übernommen.

Der Zusammenhang mit Kettentrieben liegt nahe: Wenn eine Rollenkette über ein Zahn-

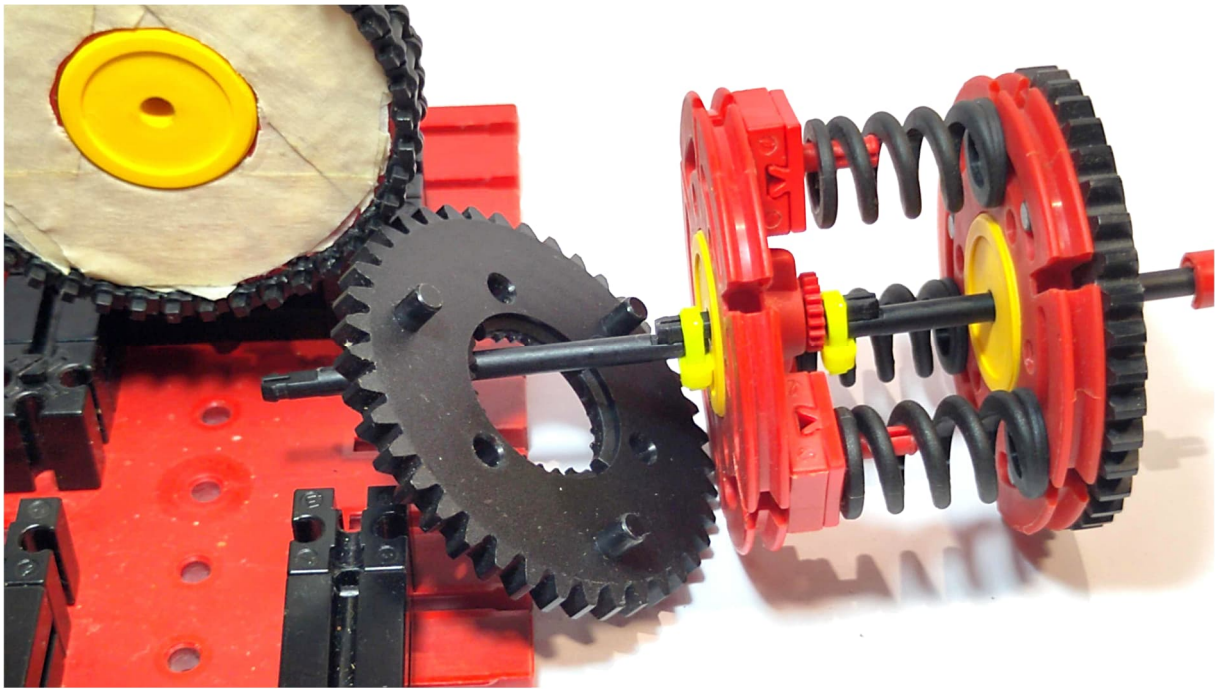


Abb. 2: Hypozykloidgetriebe, zerlegt. Die gelben Naben sind Freilaufnaben. Die haben einen störenden Wulst. Etwas Krepp ist nötig zum Auffüttern der Auflagefläche.

rad läuft und die Teilung (Abstand der Rollen) der Kette zum Modul des Zahnrads passt, ergeben sich bei verschiedenen Umschlingungswinkeln die gleichen Geometrien wie beim Abrollen des Triebrads im Triebstock.

3D-gedruckte Getriebe

Aus dem 3D-Drucker kamen dann nach einiger CAD-Tätigkeit zwei verschiedene Aufbauformen heraus. In beiden Fällen erfolgt der Antrieb über eine fischertechnik-Rastachse, die von einer Seite bis in die Gehäusemitte reicht. Die verwendeten Kugellager sind: 15×10×3,5 und 8×4×2. Erstere kann man durch 3D-gedruckte Ringe als Dummies ersetzen. Letztere kann man auch weglassen (einige Fotos zeigen noch die Ausführung mit größeren Achsaufnahmebohrungen im Gehäuse – die sind mittlerweile auf 4 mm angepasst).

Laut Volmer [8] handelt es sich hier um die Ausführung als Parallelkurbelgetriebe.

In Abb. 1 und 2, auf YouTube-Videos und auf Seiten wie thingiverse.com etc. findet man überwiegend Parallelzapfengetriebe, bei denen eine umlaufende Scheibe eine Reihe von runden Stiften trägt.

Typ A hat zwei Stufen mit $B = 9$, $n = 8$ und $B = 10$, $n = 9$, mithin eine Übersetzung von $8 \cdot 9 = 72$. Typ B hat zwei Stufen mit $B = 15$, $n = 14$ und $B = 16$, $n = 15$, damit eine Übersetzung von $14 \cdot 15 = 210$.

Typ A hat ein Gehäuse aus nahezu baugleichen Teilen für Ober- und Unterschale und dazwischen einen Ring, der den Ausgang bildet. Ober- und Unterschale werden mit Blechschrauben m1,2×12 (z. B. aus alten Laptops) verbunden. Der Drehwinkel ist auf 180° oder 270° begrenzt. Die Antriebsachse zentriert auch den Exzenter, d. h. beim Zusammenbau muss dieser ggf. mit einem Zahnstocher o. ä. in Position gebracht werden. Für den Ausgang haben sich nach einigen Versuchen die vier rechts liegenden Varianten mit unterschiedlichen Anzahlen und Positionen von fischertechnik-Federleisten als nützlich herauskristallisiert. Der Eingang hat zwei Varianten: entweder zentriert mit einer Nut oder symmetrisch mit zwei Federleisten.

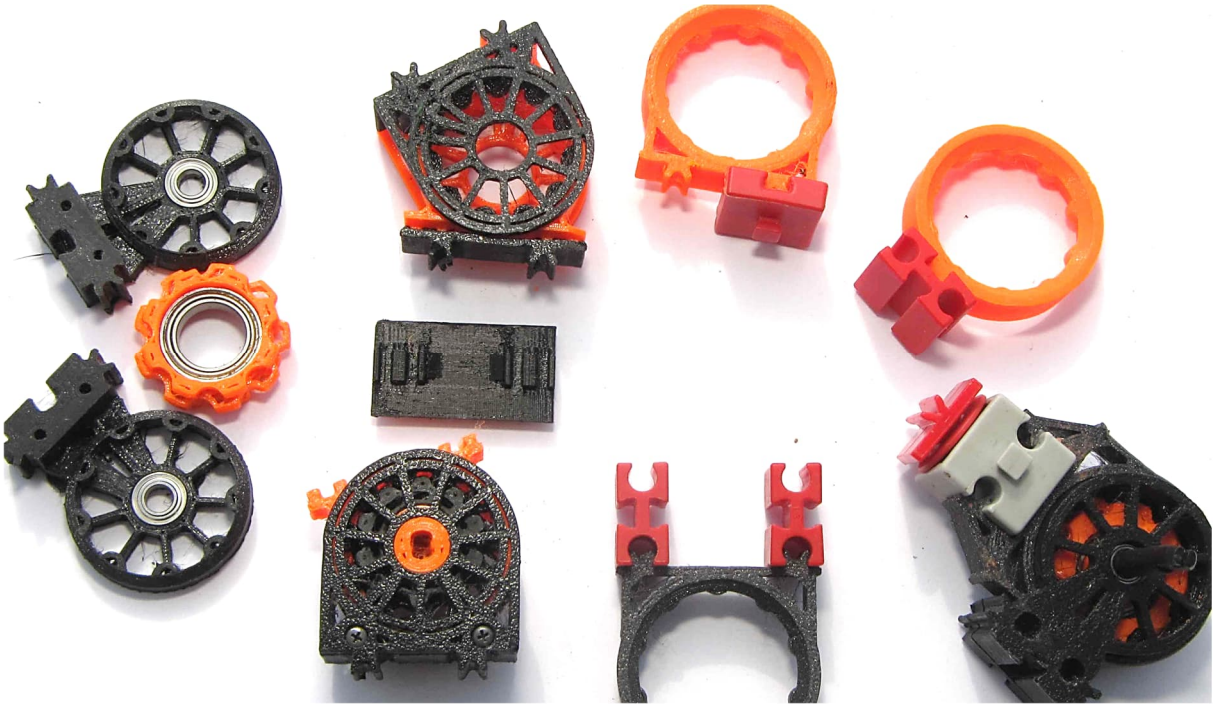


Abb. 3: Getriebe Typ A. Der Exzenter hatte sich verkrümelt – er ist in Abb. 6 zu sehen.

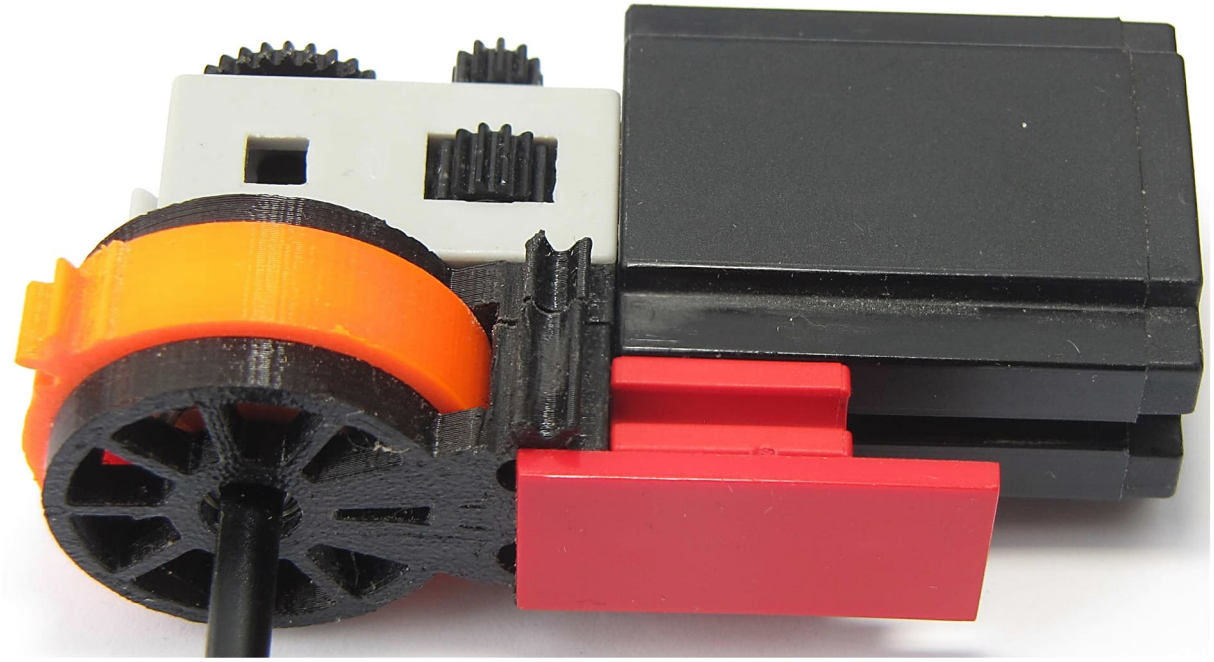


Abb. 4: Getriebe Typ A am Minimot-Stufengetriebe

Die zentrierte Version lässt sich direkt an das Minimot-U-Getriebe anbauen. Die Oberschale hat mittlerweile noch eine Flachnut bekommen, sodass die Bauplatte 15×30 mit dem BS7,5 bündig abschließend eingeschoben werden kann.

In Abb. 5 sind zwei Exemplare Typ A im Schulterschluss über zwei Z20 verbaut. Das kann die beidseitige Abstützung für einen Kranwagen, eine Fahrzeug-Niveauregulierung oder ein Flugzeugfahrwerk werden. Die kämmenden Zahnräder sind um einen

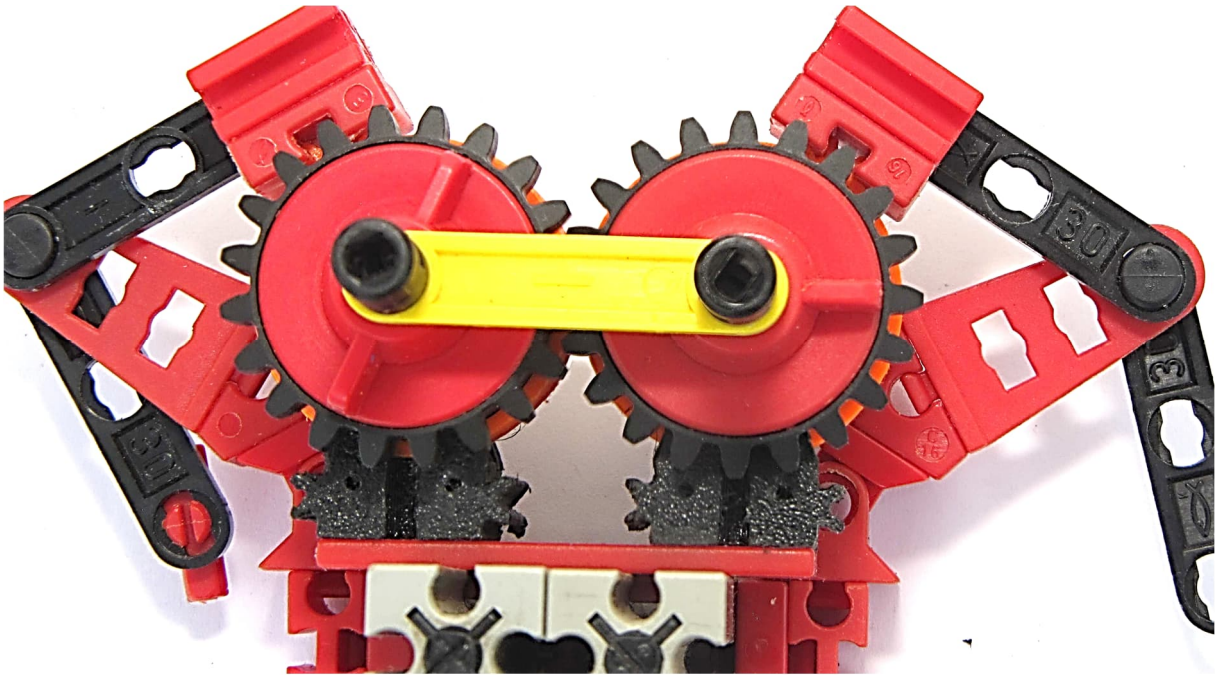


Abb. 5: Typ A im Doppelpack

halben Zahn versetzt, aber die Klemmnaben erlauben symmetrisch angeordnete Hebel.

Hypozykloid als „dritte Hand“

Je nach Reibung und Untersetzungsverhältnis kann es schwer bis unmöglich sein, ein Getriebe von der Ausgangsseite her anzutreiben – es ist dann nicht rückdrehbar. Das gilt für viele Bauarten wie Schnecken- und Planetengetriebe, und auch für Zykloidgetriebe. Das wird hier ausgenutzt für eine Schraubzwinge oder sog. „dritte Hand“: eine Haltevorrichtung für Lötarbeiten etc. Auf 3D-Druck-Seiten wie printables.com oder thingiverse.com findet man vergleichbare Anordnungen mit den Begriffen „Mantis Clamp“ oder „Falcon Clamp“. „Vergleichbar“ deshalb, weil dort bestimmte Planetengetriebe („Split Ring“ aka Wolfrom-Getriebe) anstelle eines Hypozykloiden eingesetzt werden.

Abb. 6 zeigt neben der Flachnut in der Oberschale auch eine weitere Abwandlung: Am Exzenter ist ein Wellenstummel herausgeführt. Dieser ist „genormt“ für alle meine Projekte: Er hat 10 mm Durchmesser mit 6 Ausnehmungen, die durch Kreise von 2,7 mm Durchmesser mit Mittenabstand 5 mm entstehen. Damit kann hier auch ein (3D-gedrucktes) Kegelradpaar Z30/Z10 m1 formschlüssig als Antrieb verwendet werden. Die Welle passt in ein Kugellager 15×10 und ist als Hohlwelle mit 4 mm freiem Innendurchgang für weitere Vorhaben geplant.

Typ B hat ein Gehäuse aus zwei verschiedenen Teilen (Boden und Deckel) in den Abmessungen 45×45×15 mm. Es hat den Ausgang auf einer Seite mit Deckel und ist dort um 5 mm höher. Der Drehwinkel ist unbegrenzt. Auch hier gibt es eine Variante des Exzenters mit herausgeführtem Wellen-

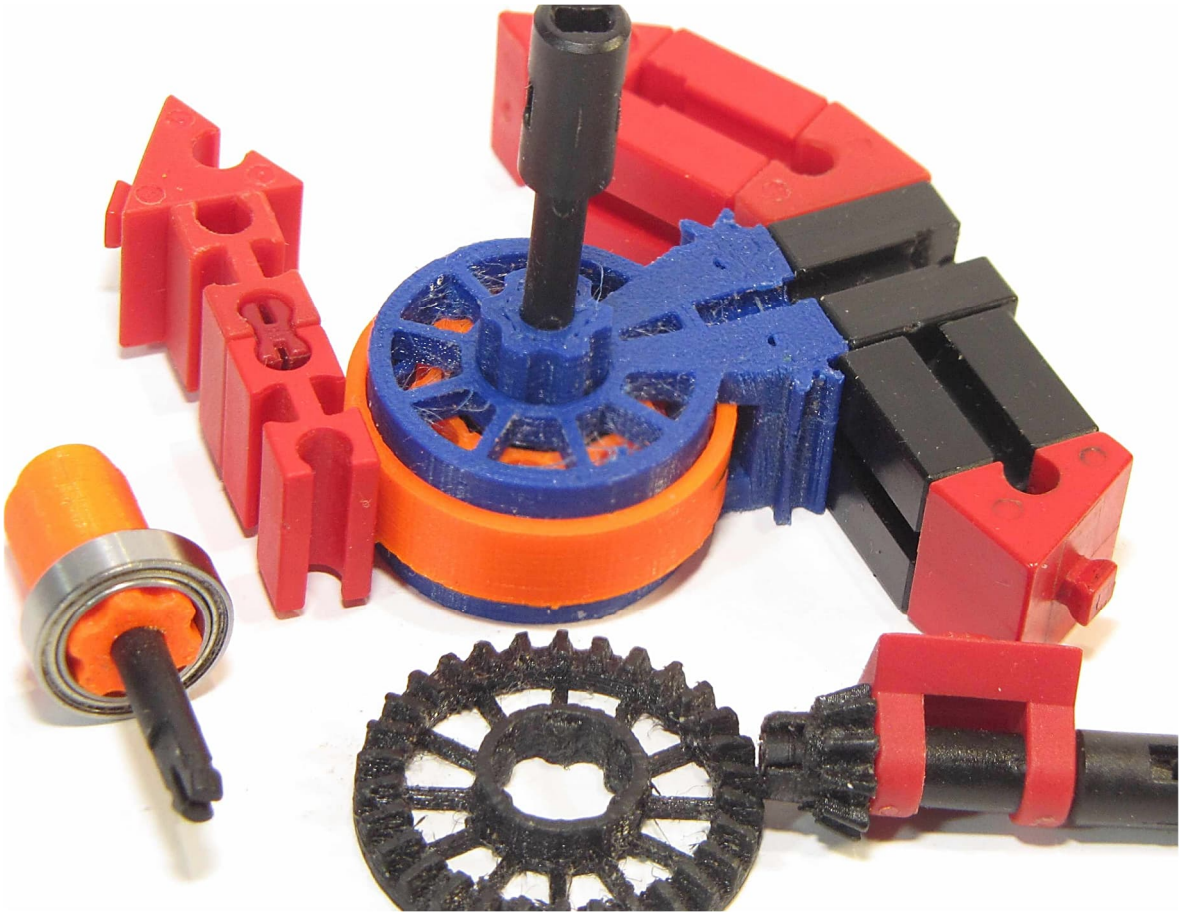


Abb. 6: Die „dritte Hand“ für Lötarbeiten und ähnliches

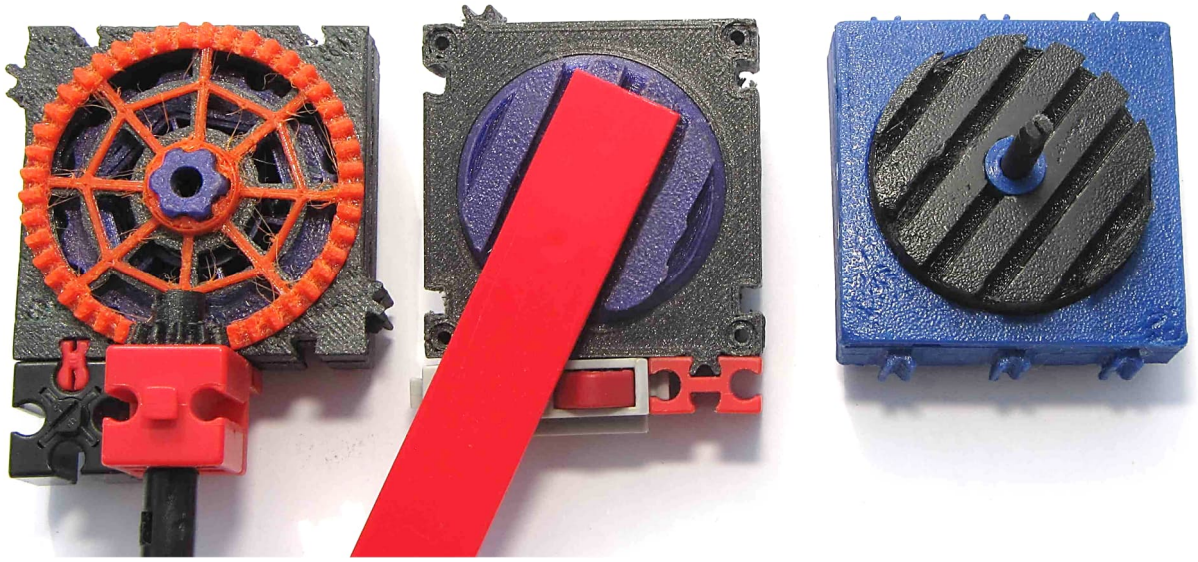


Abb. 7: Typ B in verschiedenen Stadien der Entwicklung

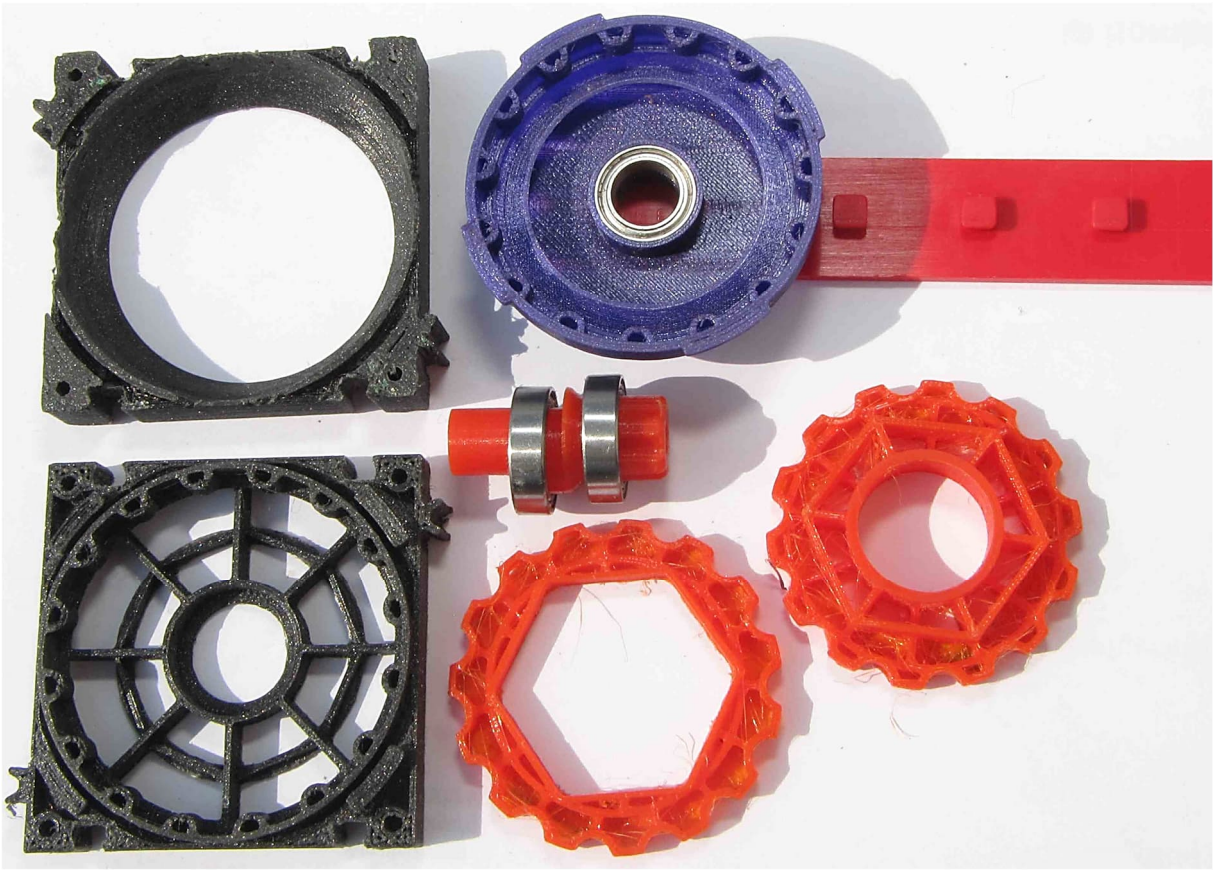


Abb. 8: Typ B zerlegt. Nocken und Bolzen sind Kreissegmente. Im Ausgang (blau) wäre noch etwas Platz für Elektronik oder einen Hall-Sensor oder…

stummel. In der jüngsten Version (Mitte) werden Boden und Deckel mit einem Bajonettverschluss verbunden. Dieser ist aber nicht sehr belastbar und daher sind außerdem Schrauben vorgesehen.

Quellen

[1] *Antriebe mit Motor* im Bilderpool der ft Community

[2] Harald Steinhaus: *Uhr mit Planetengetriebe*. ft:pedia 4/2020, S. 46–54.

[3] Wikipedia: *Zykloide*.

[4] Harald Steinhaus: *Hypozykloid-Getriebe*. Im Bilderpool der ft Community, 2014.

[5] Harald Steinhaus: *Neue ft-Teile selbst gemacht – 3D-Druck (4): Schleifringe (die Zweite), und überhaupt*. ft:pedia 1/2016, S. 15–20.

[6] Andreas Höfler: *Konstruktion von Zykloidenzahnrädern*. Auf tec-science.com, 2018.

[7] KettenWulf Betriebs GmbH: *Förderketten und Kettenräder*. Technisches Handbuch auf kettenwulf.com.

[8] Johannes Volmer: *Umlaufrädergetriebe*. Verlag Technik Berlin, 1990, S. 67.

Physik

SkyJuster® mit fischertechnik – Stabilisierung und Drehung schwebender Lasten

Florian Bauer

In diesem Beitrag werden zwei Prinzipmodelle eines SkyJusters® vorgestellt, einer Vorrichtung, mit der die Drehbewegung von schwebenden Lasten mit Hilfe eines Kreisels kontrolliert werden kann.

Kreisel – die Theorie

Bevor wir uns der eigentlichen Problemstellung und den Modellen widmen, hier eine kurze Vorstellung der für die Beschreibung eines Kreisels relevanten mechanischen Größen und Zusammenhänge:

Der Drehimpuls $\vec{L}$ eines Kreisels ist bestimmt durch sein Trägheitsmoment I und seine Rotationsgeschwindigkeit ω:

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

ω ist eine vektorielle Größe mit dem Betrag (Länge) der Drehrate (rad/s) und der Richtung der Rotationsachse.

Das Trägheitsmoment I für eine Achse wird als Volumen-Integral über das Produkt des Quadrats des Abstands von einer Drehachse und der Dichte des Körpers berechnet.

$$I = \int_V r^2 \varrho(r)\, \mathrm{d}V$$

Bei gleicher Masse ist das Trägheitsmoment eines massiven Körpers größer, je mehr Masse in seinen Außenbereichen konzentriert ist. (Für beliebige Drehungen im Raum benötigt man Allgemeinen einen Trägheitstensor mit unterschiedlichen Trägheitsmomenten für die verschiedenen Achsen.) Ein Hohlzylinder hat daher ein größeres Trägheitsmoment bezüglich seiner Längsachse als ein Vollzylinder mit gleicher Masse. Auf der schiefen Ebene rollt der Hohlzylinder eben wegen seines höheren Trägheitsmomentes mit einer geringeren Beschleunigung als sein vollmassives Pendant.

Der Gesamtdrehimpuls eines Kreisels ist eine vektorielle Zusammensetzung aus dem Eigendrehimpuls des Kreisels längs seiner Figurenachse und dem Drehimpuls durch Kippung seiner Achse. Ohne angreifende Drehmomente ist er konstant in Betrag und Richtung. Wirkt auf die Kreiselachse ein Drehmoment $\vec{M}$, versucht der Kreisel den Gesamtdrehimpuls über eine Ausweichdrehung, die man Präzession nennt, aufrecht zu erhalten. Durch die Präzession wird dem Kreisel eine andere Drehimpuls-Richtungskomponente aufgeprägt.

Die zeitliche Drehimpulsänderung $\frac{\mathrm{d}\vec{L}}{\mathrm{d}t}$ (in Richtung und Größe) entspricht dem angreifenden Drehmoment:

$$\frac{\mathrm{d}\vec{L}}{\mathrm{d}t} = \vec{M}$$

Wenn die Drehgeschwindigkeit des Kreisels hoch gegenüber der Kippgeschwindigkeit ist, gilt folgende Gleichung für die Änderung des Drehimpulses:

$$\frac{\mathrm{d}\vec{L}}{\mathrm{d}t} = \vec{\Omega} \times \vec{L}$$

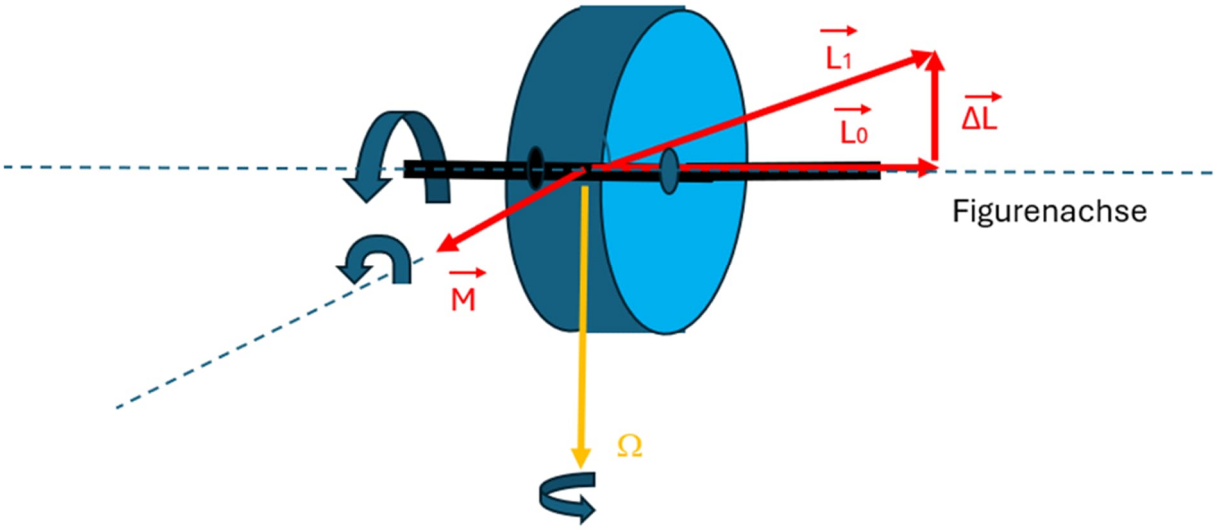


Abb. 1: Kreisel, auf dessen Drehachse ein Drehmoment $\vec{M}$ wirkt, welches die Achse kippt und dadurch eine Drehimpulsveränderung und damit eine Präzessionsdrehung (gelb) bewirkt.

Das Moment ist auch gleich dem Kreuzprodukt [10] der Präzessionsfrequenz $\vec{\Omega}$ (ebenfalls ein Vektor, da die Präzession Komponenten in allen Raumrichtungen haben kann) und dem Drehimpuls:

$$\vec{M} = \vec{\Omega} \times \vec{L}$$

Der Anteil des Drehmoments senkrecht zur Figurenachse des Kreisels bewirkt die Präzession mit der Frequenz $\vec{\Omega}$, welche i. A. viel kleiner ist als die Rotation des Kreisels um seine Figurenachse (Abb. 1). Über die Halterung der Kreiselachse wird diese Bewegung auf das Gesamtsystem übertragen.

Dieser Zusammenhang wird *Drallsatz* genannt und beschreibt die Drehimpulsänderung eines einwirkenden Drehmoments auf einen rotierenden Kreisel.

Kreisel-Stabilisierungen

Durch diesen Effekt ist ein Kreisel in der Lage, einen Körper im Raum zu stabilisieren.

Vom Prinzip der Kreisel-Stabilisierung wird in vielen technischen Anwendungen Gebrauch gemacht. Neben der Verwendung als Kreiselkompass setzt man große Kreisel in Schiffen ein, die die Schlingerbewegung reduzieren [7]. Man findet sie auch auf Off-Shore-Plattformen für Wind-Turbinen, die die Bewegung des Turbinenmastes dämpfen [8].

Auch in der Bau-Branche können Kreisel die Arbeit erleichtern:

Wenn man schwere Lasten mit einem Seil hebt, hat man neben der Hubhöhe einen Freiheitsgrad um die Achse des Seils, den man kontrollieren muss: Die Last kann sich um die Seilachse drehen. In manchen Fällen leitet man die Last mit Führungsrollen oder dirigiert sie mit zusätzlichen Seilen.

Was aber, wenn man mit schweren Lasten in großen Höhen arbeitet, wo Führungsrollen oder zusätzliche Seile nicht so ohne weiteres eingesetzt werden können?

Die Windkräfte in diesen Höhen sind manchmal so hoch, dass sie die Last unkontrolliert rotieren lassen und die Beruhigung der Rotationsbewegung sehr mühsam und zeitaufwändig ist.

SkyJuster®

Für diesen Fall hat der sehr innovative japanische Baukonzern *Obayashi Corporation* [6], der unter anderem Wolkenkratzer (z. B. den *Tokyo Skytree*) baut, bei deren Errich-

Abb. 2: Links: SkyJuster an einer Hub-Plattform beim Wolkenkratzerbau. Mitte und rechts: SkyJuster mit direkt verbundenen Lasten. Quelle [10] mit freundlicher Genehmigung der Obayashi Corporation.

tung die beschriebenen Effekte häufig auftreten, eine Lösung entwickelt: Den sogenannten *SkyJuster* [3].

Dieses Gerät, welches an die Plattform gekoppelt ist, die die Last hebt, nutzt den Kreisel-Effekt, um die Rotation der Last um die Seilachse zu stabilisieren und zu kontrollieren.

Ein Kreisel mit einem sehr hohen Trägheitsmoment, der an der Hebeplattform der Last angebracht wird, wird vor der Hebe-Aktion in schnelle Drehung versetzt. Die Drehachse liegt anfangs horizontal. Wenn die Last angehoben wird, stabilisiert der Kreisel die Hebeplattform bzw. die Last. Um die Last kontrolliert um die Seilachse zu drehen, kippt man den Kreisel mit Hilfe einer Fernsteuerung aus der Horizontalebene. Damit wirkt ein Drehmoment auf die Kreiselachse, was den Kreisel zu Präzessions-Bewegungen um die Hochachse veranlasst. Da die Halterung des Kreisels mit der Hebeplattform gekoppelt ist, dreht der Kreisel die Last um das Seil. Die Drehbewegung ist im Idealfall unbegrenzt und kann durch Kippung des Kreisels in die andere Richtung beendet werden. Aber durch die vorhandene Reibung im Seil oder dem Lager zwischen Seil und Last wird die Bewegung gedämpft. Dieser Dämpfungseffekt tritt bei kleineren Modellen stärker zu Tage.

Mit der Kippung kann man sehr effektiv die Rotationslage der Last kontrollieren, und das vom Boden aus in sicherer Entfernung.

In einem sehr eindrucksvollen Video [4] kann man den SkyJuster in Aktion sehen. Die Bilder in Abb. 2 zeigen drei Einsatz-Szenarien von SkyJuster-Varianten.

Das Modell SJ-125 hat Abmessungen von ca. 2×1,2×2 m bei einem Gewicht von 3,6 t. Es beinhaltet neben Kreisel und Kippantrieb einen leistungsfähigen Akkumulator und eine Fernsteuerung. Das Trägheitsmoment des Kreisels beträgt 125 tm². Der SJ-125 kann für Lasten mit bis zu 28 t verwendet werden. Die Geschwindigkeit, mit der die Last gedreht werden kann, ist 90° in 20 s. Der Kreisel muss zu Beginn in Drehung versetzt werden. Der Anlauf-Vorgang dauert ca. 50 Minuten. Danach ist der SkyJuster für mehrere Stunden (Batterielaufzeit 10 h ohne Last) einsetzbar.

Der SkyJuster wird auch erfolgreich eingesetzt, um Lasten an Container-Kränen zu stabilisieren [1].

Modelle – die Praxis

Auf der Video-Plattform YouTube habe ich ein wunderbares Lego-Modell von Yoshihito Isogawa gefunden [4], bei dem dieses Prinzip verwirklicht ist. Da stellte sich mir sofort die Frage, wie man so etwas mit fischertechnik bauen kann.

Das Ergebnis der Überlegung sind die in diesem Beitrag vorgestellten Modelle, mit denen man dieses faszinierende Prinzip demonstrieren kann. Dazu sind folgende Elemente nötig:

1. Kreisel mit hohem Trägheitsmoment
2. Kreiselantrieb für schnelle Rotation
3. Kippantrieb und Steuerung für den Kreisel
4. Stromversorgung/Akku für Kreisel und Kippantrieb
5. Reibungsarmes Dreh-Lager, an dem das Aggregat aufgehängt wird

Abb. 3 zeigt ein Modell, in dem die genannten Anforderungen umgesetzt sind.

Ein hohes Trägheitsmoment bekommt man – wie oben dargelegt –, wenn man die Masse eines Rotationskörpers in den „Außenbereichen“ konzentriert. Bei dem Modell wird das durch Metallachsen erreicht, die in den Löchern von Innenzahnrädern stecken.

Zwei klassische fischertechnik-Motoren übertragen die Bewegung über ein Zahnrad-Getriebe auf die gegenüberliegenden Achsen eines Differentials, auf dessen Mittelstück der Schwungzylinder gesteckt ist. Zwei Motoren haben den Vorteil, dass man die doppelte Leistung hat und der Kreisel um die Kippachse in Waage gehalten wird.

Die Kippung übernimmt ein S-Motor mit Getriebe, der den Kreisel über ein Zahnrad Z40 kippen kann.

Die Stromversorgung für die Kreiselmotoren und den Kippmotor erfolgt extern über Litzen. Über zwei Taster, die über einen Joystick betätigt werden, wird der Kippmotor in Gang gesetzt.

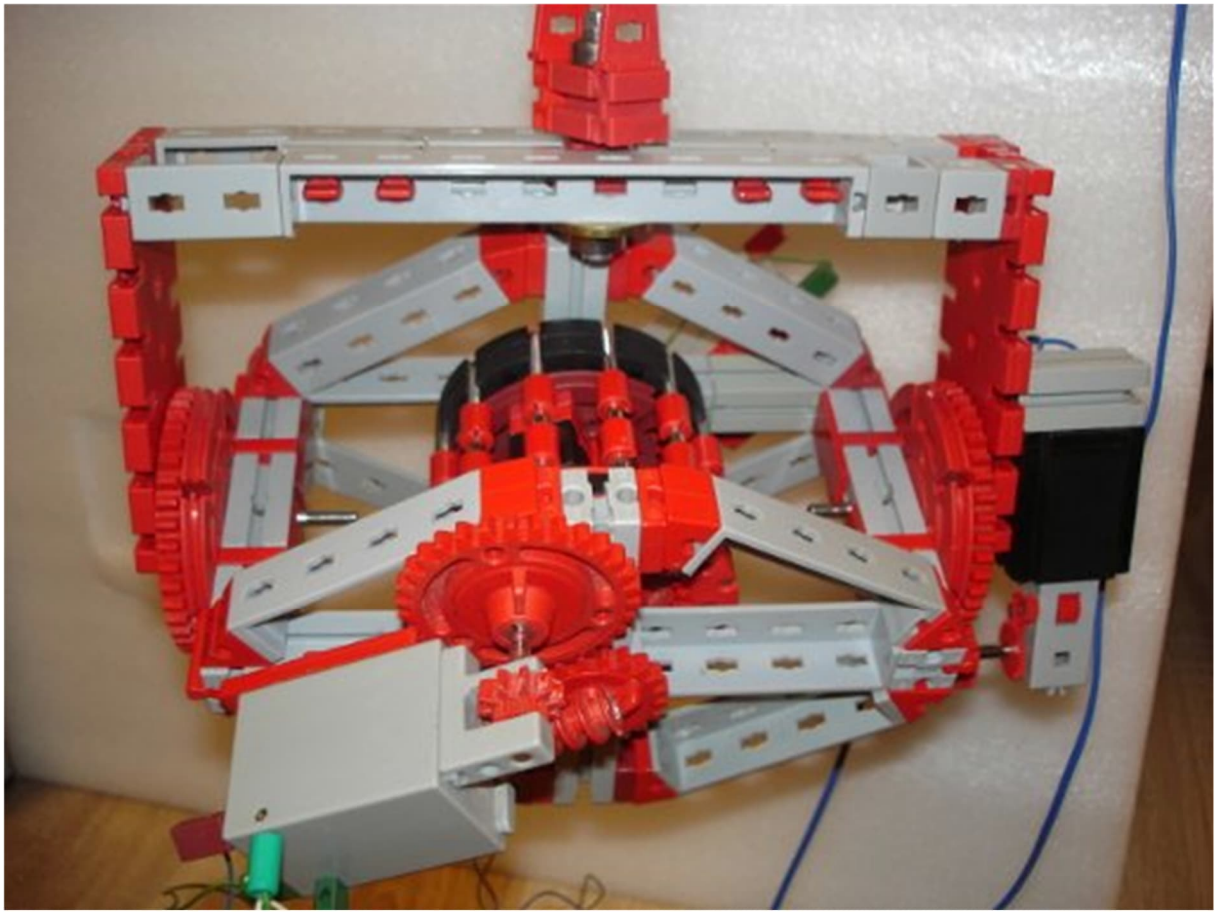


Abb. 3: fischertechnik-SkyJuster-Prinzipmodell mit Kreisel, Doppelantrieb und Kippvorrichtung

Das Modell ist aufgrund der drei Motoren, dem Differential und der Konstruktion recht schwer, was eine Herausforderung für die Lagerung darstellt. In Abb. 4 ist die Aufhängung gezeigt, welche mit einem Kugellager realisiert ist, um die Reibung zu minimieren. In der Praxis findet man oft kein Drehlager, sondern die Drehung geschieht durch die Torsion des Tragseils.

Ein vereinfachtes und sehr leichtgewichtiges Modell, das mit nur zwei Motoren auskommt und schnell aufgebaut ist, ist in Abb. 5 zu sehen.

Der Antrieb der Schwungmasse erfolgt bei diesem Modell über einen S-Motor und die Kippung übernimmt ein Mini-Motor mit Schnecke, welche ein Z40 treibt. Ein Batterie-Pack für den Kreisel ist in dem Modell integriert.

Thomas Püttmann hat ein elegantes Demo-Modell zur Präzession entworfen, das einen Synchronmotor verwendet. In seinem sehenswerten YouTube-Video erklärt er die Präzession anhand dieses Modells [12].

Ausblick

In diesem Beitrag wurden zwei Prinzip-Modelle eines SkyJusters vorgestellt, mit denen die Kreisel-Stabilisierung und kontrollierte Rotation von schwebenden Lasten demonstriert werden kann.

Es wäre interessant, eine Fernsteuerung einzubauen, um das Modell unabhängig von Zuleitungen zu machen. Mit einem elektronischen MEMS-Gyroskop-Sensor könnte man zudem noch die tatsächliche Dreh-Rate messen und damit die Rotation regeln.

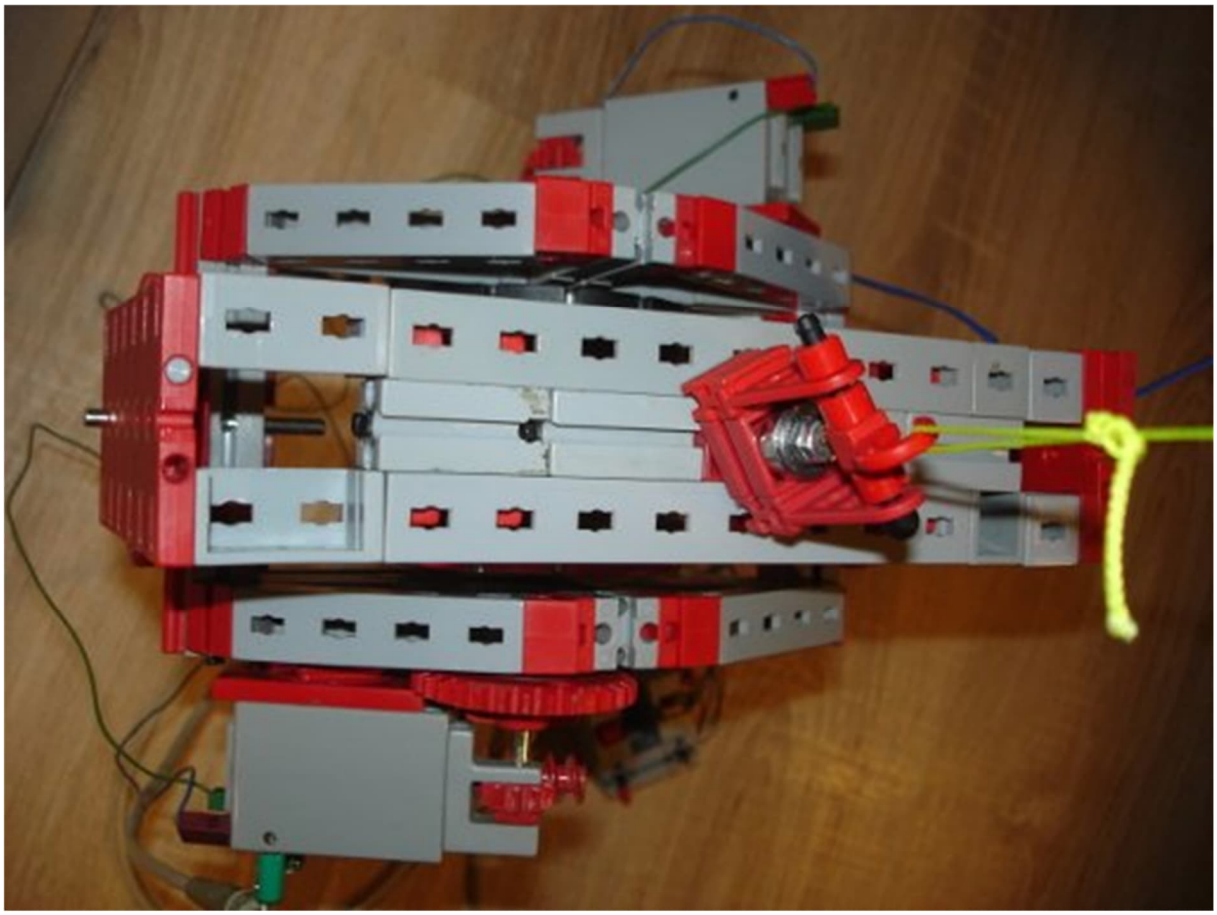


Abb. 4: Blick auf die Aufhängung des Modells

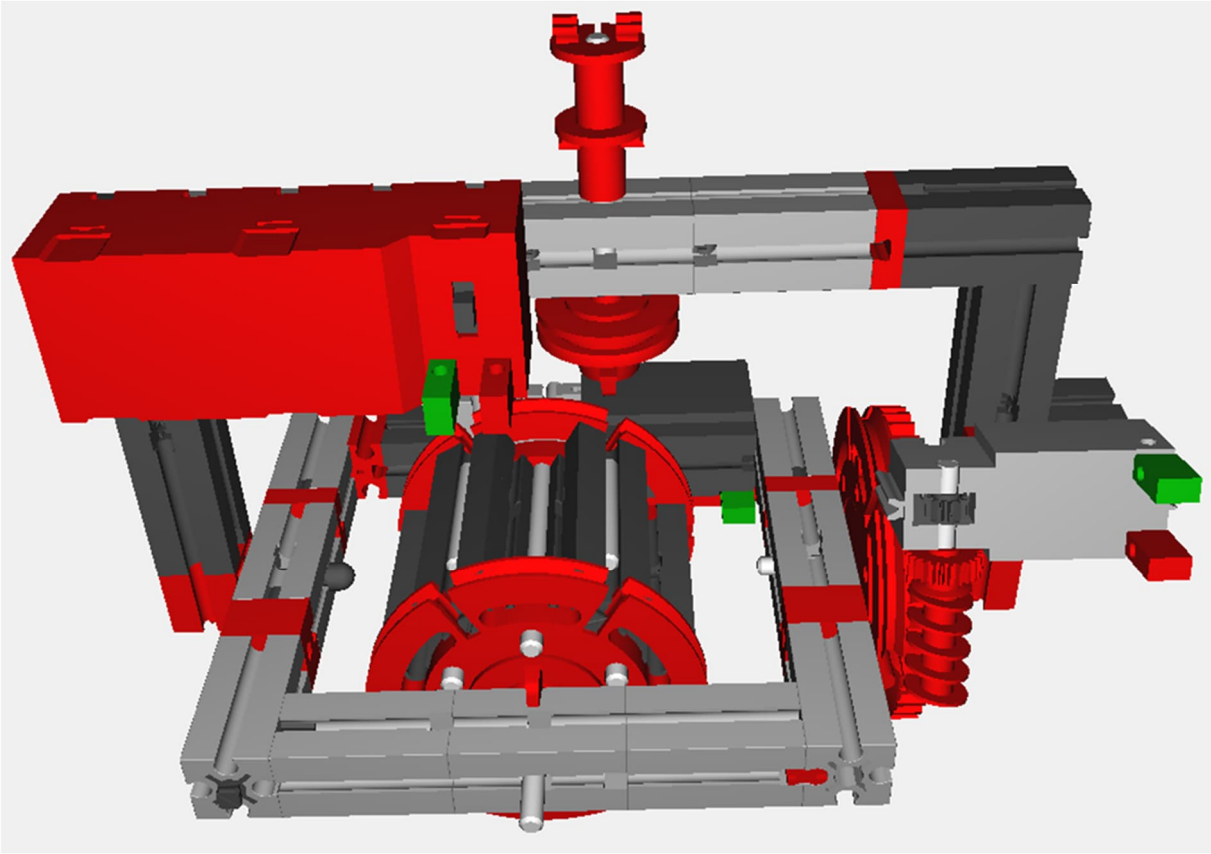


Abb. 5: Vereinfachtes, leichtgewichtiges Modell

Quellen

[1] Wikipedia: *Gyroskopische Stabilisierung*.

[2] Bianca Hoegel: *Kreiseltheorie*. Auf biancahoegel.de, 2021.

[3] Obayashi Corporation: *SkyJuster® for Suspended Platforms: Uses Gyroscopic Effect to Reduce Swaying of Suspended Platforms*. Obayashi Chronicle 130, auf obayashi.co.jp.

[4] Video des SkyJuster, am Ende der Seite *Obayahsi Chronicle 1892 – 2011, 6*.

[5] Yoshihito Isogawa: *Hanging Machine: LEGO Technic*. Auf YouTube, 2018.

[6] Kobelco Logistics, Ltd.: *Port Logistics*. Auf kobelco-logis.co.jp.

[7] Globale Webseite der Obayashi Corporation.

[8] VEEM Marine: *Gyro stabilizers that significantly reduces the possibility of sea sickness*. Auf veemmarine.com.

[9] Beatrice Fenu, Valentino Attanasio, Pietro Casalone, Pietro Casalone et. al: *Analysis of a Gyroscopic-Stabilized Floating Offshore Hybrid Wind-Wave Platform*. In: *Journal of Marine Science and Engineering 8(6):439.* Auf researchgate.net, 2020.

[10] Obayashi Corporation: SkyJuster Informations-Seite.

[11] Wikipedia: *Kreuzprodukt*.

[12] Thomas Püttmann: *Kreiselpräzession erklärt mit fischertechnik*. Video, YouTube, 2024.

Modell

Großprojekt Seilbahn (Teil 10): Messefertig

Tilo Rust

Diese Serie begleitet das Großprojekt „Kuppelbare Einseilumlaufbahn / Doppelmayr (10-MGD)“ im Fördertechnik-Museum Sinsheim vom Anfang bis zur Fertigstellung und darüber hinaus. Sie berichtet von einigen Erlebnissen und Hindernissen sowie der Technik des Projektes.

Was nützt ein so gigantisches Modell wie unseres, wenn es keiner sehen kann? Unsere Anlage wurde von Anfang an so konzipiert, dass wir mit ihr rund um die Welt reisen können. In diesem Beitrag zeigen wir, welche Zusatzarbeiten dazu nötig sind und wie die CCW24 [1] für uns zu einem wichtigen Stopp auf unserer Reise geworden ist.

Die Einladung

Dass die BUGA23 für uns zwar ein erstes wichtiges Highlight war, aber gleichzeitig nicht mehr als eine Zwischenstation, war uns von Anfang an klar. Denn bis zum Beginn der Ausstellung war es unmöglich, das Modell fertigzustellen und zusätzlich die äußere Infrastruktur und Logistik aufzubauen. Dennoch gelang es uns, eine zumindest rudimentär fahrende Seilbahn dort zu zeigen und vielen Besuchern nicht nur die Funktion zu demonstrieren, sondern auch das Tüfteln mit fischertechnik. Beide Hauptziele wurden mehr als zufriedenstellend erreicht.

Am Seilbahntag, dem 15.06.2023 im Baumhain Luisenpark, trafen sich Verantwortliche, Planer und Techniker für urbane Seilbahnen aus ganz Deutschland. Wir waren von der Fa. Doppelmayr und dem VRN eingeladen worden, um daran teilzunehmen und wurden sogar von den Veranstaltern mit in das Führungsprogramm aufgenommen. So ergab sich, dass alle Teilnehmenden an unserem Modell in Gruppen geführt wurden und wir die Technik der Seilbahnen aus der Nähe zeigen konnten, bevor Doppelmayr eine Führung in die große Luisenpark Station (UST) anbot.

Unter den Teilnehmenden lernten wir die Messeleitung der Cable Car World (CCW) kennen, die in Essen eine Kongress-Messe zur urbanen Seilbahnmobilität veranstaltet. Wir erhielten noch am gleichen Tag eine Einladung, auf der CCW24 auszustellen. Das ist allerdings nicht so einfach, denn Transportlogistik und eine zumindest kostendeckende Entlohnung unseres Teams für diese Zeit waren unsere Bedingungen.

Erst im Laufe des Frühjahrs 2024 fand sich eine Lösung. Das Land NRW wollte auch auf der CCW24 Präsenz zeigen, hatte aber noch kein Standkonzept. In vielen Gesprächen ergab sich dann, dass wir im Auftrag des Landes unsere Anlage ausstellen durften und die Kosten entsprechend unseren Ausleihbedingungen getragen wurden. #GoCCW24go!

Damit war aber unser Arbeitspensum deutlich angewachsen: Wir mussten (!) die Anlage professionell aufbereiten, sie sicher verpacken und in entsprechender Zeit auf- und abbauen können – von der möglichst weit entwickelten, funktionierenden Technik ganz abgesehen.

Abb. 1: Unser Stand auf der CCW24 in voller Ausdehnung. Zum ersten Mal seit Baubeginn konnten wir komplett um die Anlage herumgehen und das Modell in voller Größe (kurze Version) fotografieren. Unsere Standnachbarn waren Doppelmayr und das Land NRW.

Pflichtheft

Schon in den ersten Schritten zur Planung der Seilbahn war eine der Pflichtanforderungen, dass das Modell möglichst einfach und vor allem sicher zu transportieren sei. Außerdem sollte der Auf- und Abbau standardisiert und möglichst vereinfacht werden, um den Aufwand möglichst gering zu halten.

Ich (Tilo Rust) hatte bereits aus meinen zwei vorhergehenden Projekten (Kran und Schrägseilbrücke [2]) gelernt, wie wichtig die Berücksichtigung von Trennstellen und Transportsicherungen für die Reise zu einer Ausstellung ist. Meine Schrägseilbrücke konnte in wenigen Minuten aufgebaut und andererseits im kleinen Kofferraum sicher transportiert werden. Es gilt dabei, so wenig wie möglich fischertechnik-Material zu trennen bzw. abbauen zu müssen und so wenige einzelne Elemente wie möglich zu haben.

Diese Zerlegbarkeit deuteten wir schon 2021 beim Projektstart in unserem Planungs-Modell an [3]. Darin konnten wir erkennen, dass wir z. B. das Spanngewicht an eine andere Stelle verschieben müssen als technisch ideal, sodass es nicht über die Modulbegrenzungen heraushängt. Wir erkannten, dass wir an den Trennstellen selbstzentrierende Zapfen einsetzen müssen, um die Mechanik beim Aufbau wieder passgenau und stabil zu verbinden. Elektronik und Dekoration sollten dann ebenfalls gut geplante Trennstellen aufweisen, die nur wenige Handgriffe benötigen und beim Verbinden vertausch- und verpolungssicher sowie mechanisch unbelastet wiederhergestellt werden können.

Maßarbeit

Als das Team die AST (Antriebsstation „Spinelli“) gestaltete, konnten wir die Länge der Station abschätzen. Mindestens 4,00 m würde die Station lang werden. Als maximale Breite und Höhe legten wir 1,40 m × 1,80 m fest – gut begründet, aber,

wie sich später herausstellte, doch ungünstig gewählt.

Die Breite sollte so bemessen sein, dass wir durch eine normale Doppelflügeltür durchpassen. Diese haben normalerweise eine lichte Breite von ca. 1,60 m.

Ebenso war die Höhe begrenzt. Die verpackte Anlage muss, wenn sie z. B. von einem Hubwagen („Ameise“) gefahren wird, problemlos unter der Tür durchpassen, also maximal 1,90 m an der höchsten Stelle aufweisen.

Die Höhe aller Module wurde daher auf 1,80 m festgelegt. Das ist aus heutiger Sicht perfekt, auch wenn es beim Transport zur BUGA23 aufgrund der Ladehöhe von Sprinter und Anhänger besser 1,70 m gewesen wären. Jetzt, beim Transport auf die CCW24 mit Hilfe der Spedition, sind 1,80 m unproblematisch.

Fatal ist aber die Breite von 1,40 m, denn das ist ein wenig über einer EPAL-Größe (Euro-Palette, 120 cm × 80 cm). Hätten wir unser Modell etwas schmaler gestalten können? Und die Länge der Stationsmodule mit 2,50 m ist auch nur 10 cm länger als drei EPAL nebeneinander. Hatten wir nicht gut genug nachgedacht? Tatsächlich müssen wir wegen dieser Übermaße bei der Spedition deutlich mehr bezahlen (bzw. der Ausleiher, in diesem Fall die Messe Essen).

Könnten wir die Station umbauen und dabei die Packmaße verringern? Bei der AST würde das aufgrund des Untergestells unglaubliche Arbeit bedeuten, die wir aktuell nicht leisten können und wollen. Bei der UST (Umkehrstation „Luisenpark“) jedoch war eine komplette Neukonstruktion des Unterbaus schon lange angedacht – unsere Chance auf Verbesserung, Vereinfachung und Kostenreduktion.

Schauen wir uns noch die Stützen und den Steuerstand an. Diese waren von Anfang an auf EPAL montiert und daher gut zu transportieren. Die Transportboxen der Stützen konnten direkt auf die Grundplatte aufgesetzt und mit ihr einfach und sicher verbunden werden. Dazu sind am Rand der Grundplatte von unten Bolzen eingesetzt, über die die Fußleisten der Wände eingesetzt werden und an vier Punkten mit Flügelmuttern gesichert sind.

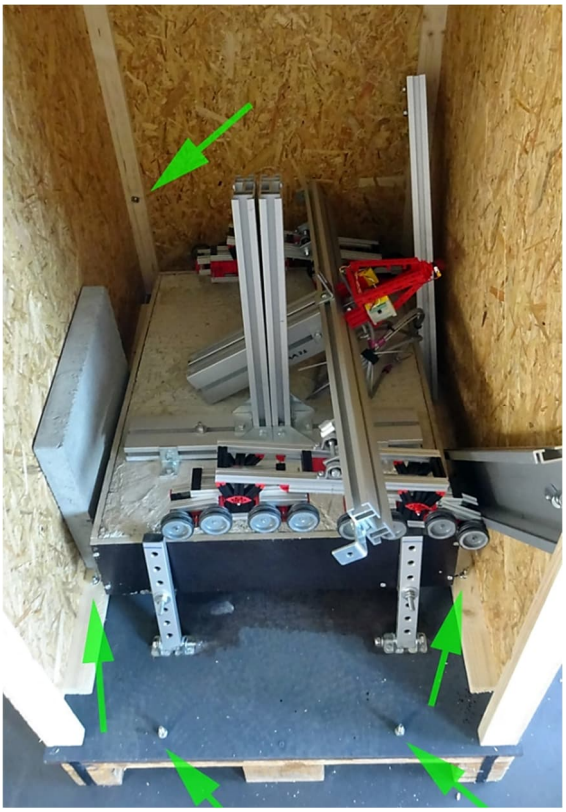


Abb. 2: Details der Stützenverpackung. Aufsetzen der Seitenwände auf die Bolzen und Sichern mit Flügelmuttern. Verbinden der Ecken mit Standardschrauben. Aufsetzen des Deckels. Aktuell werden Teile der Stütze locker in die Box gelegt, aber wir arbeiten bereits an Transportsicherungen und Halterungen für weitere Materialien, um den Raum besser zu nutzen.

Am Steuerstand ist das nicht so einfach, da hier auf der Vorderseite eine Tür (zum Schaltraum) geöffnet werden und auf der Rückseite der Kühlschrank (ganz wichtig!) zugänglich sein muss. Die Füße des Bedieners müssen ohne potenzielle Verletzungsgefahr Platz haben. Die Bolzen stören also auf genau den Seiten, auf denen die Flügelmuttern aufgebracht werden müssen. Dazu kommt, dass der Steuerstand wenige Zentimeter zu breit ist, um unsere seitlichen

Leisten zur Verbindung an den Wänden anzubringen. Die Lösung ist simpel: Zum Transport werden die vier Bolzen händisch eingesetzt – ein Aufwand, der sich vertreten lässt – und die Eckleisten werden im unteren Teil durch Blechwinkel ersetzt. Damit sind gleichzeitig alle Türen und der Monitor in seiner Halterung gesichert.

In den Boxen der Stützen finden dann an eingehängten Traversen bis zu acht Kabinen sicheren Platz, im Steuerstand weitere vier und zusätzlich ggfs. lose Kisten. Dekomaterial und Ausstellungsteile sind ebenfalls in diesen Kisten verlastet.

Verpackt?

Zwar war von Anfang an klar, dass wir unsere Module ordentlich verpacken müssen, um sie auf einem Transport zu schützen. Doch was das für ein riesiger Aufwand werden würde, war, glaube ich, keinem von uns auch nur annähernd bewusst.

Schon in den ersten Planungen mit Hilfe eines „Micro-Modells“ war die Idee geboren, die Anlagenmodule mit Holzplatten komplett zu verkleiden. Für die BUGA23 hatten wir (unter anderem budgetbedingt) nur für ein Modul der AST und eine Stütze eine Transportbox beschaffen können. Während auf der einen Seite die Box für die Stütze praktisch perfekt (und bis heute final) gebaut werden konnte, hatten wir es für die AST nur zu einer eher „rudimentären“ Verkleidung geschafft.

Das hatte zur Folge, dass der Transport zur BUGA23 in der Sturmnacht des April 2023 zu einem ziemlichen Abenteuer wurde und wir das Modell nur unter einer notdürftigen Holzlatten-Konstruktion und Folie auf privat organisierten offenen Anhängern durch die Gegend fuhren. Bruch und Teileverlust, Herzklopfen und Nervenzusammenbrüche waren die Folge (siehe hierzu unsere legendären Aufnahmen auf unserem YouTube-Kanal [7]).

Das sollte besser werden – so jedenfalls der Plan. Es wurde etwas besser, weil wir den Transport von der BUGA23 zurück ins

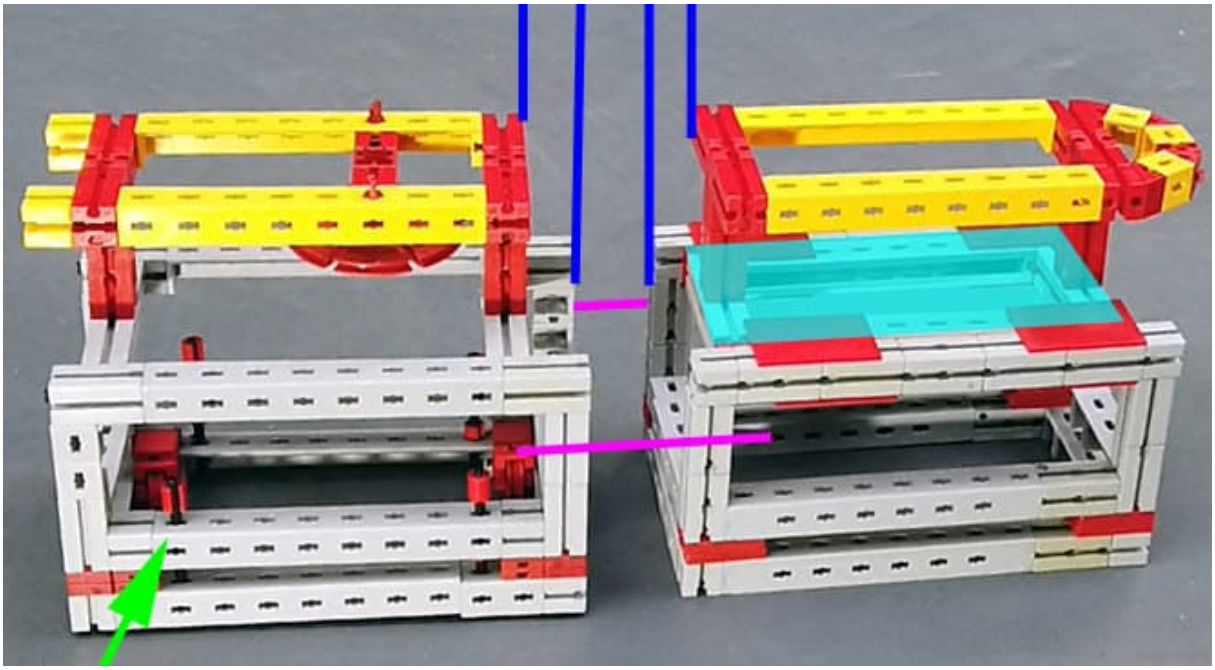


Abb. 3: Das „Micro-Modell“ bestand schon seit den ersten Stunden der Modellplanung. Es verdeutlicht uns, dass und wie die Anlage getrennt und später zentriert werden muss, wo die Gabelstapler ansetzen sollen und welche Stellen uns Probleme bei der Transportverschalung machen sollten. Daraus ergab sich auch der Aufbau mit einem verschiebbaren Gestell für das hintere Modul (Türkis)

Abb. 4: Abenteuerlicher Transport zur BUGA23. Das Video ist nichts für schwache Nerven. Selbst der Rückweg – abenteuerlich [4].

Museum nicht nur besser planen konnten, sondern auch größere Transportmittel zur Verfügung standen. Nichtsdestotrotz: Das Untergestell der UST musste für den Transport komplett auseinander gebaut und im Museum innerhalb eines Tages wieder zusammengesetzt werden – schließlich stand kurz darauf die ftc:süd:con:23 vor der Tür.

Ideal war das trotzdem noch lange nicht, und so entschlossen wir uns, an der Logistik zu arbeiten und dort viele Arbeitsstunden und Material zu investieren. Dazu waren folgende Punkte im Fokus:

- Vereinfachen und sichern der Trennstellen
- Herstellen aller Transportboxen inkl. möglichst einfacher Handhabung und deutlicher, eindeutiger Beschriftung
- Komplette Neugestaltung des Untergestells der UST – aus logistischen und dekorativen Gründen
- Reduzieren des Transportumfanges (der nötigen Platz-Kapazität) und erhöhen der Transportsicherheit

Das alles, das sei am Rande erwähnt, ganz „nebenbei“, während wir mit Hochdruck an der funktionalen Fertigstellung des Modells arbeiteten.

Unterbau

Der wohl aufwändigste Teil dieses Vorhabens war der komplette Neubau des Untergestells unter der UST. Dies nahm mehrere Wochenenden in gut geplanten Schritten Anspruch. Dennoch, heute dürfen wir sagen: Es ist ein Meisterstück!

Der „alte“ Unterbau war Resultat einer nicht ganz sachdienlichen Konstruktion, die von der BUGA23 übernommen wurde. Wir hatten ursprünglich eine für unsere Zwecke wesentlich sinnvollere Konstruktion eingereicht, aber es gilt der Spruch „wer bezahlt, der bestellt“. Und so wurde von der

Abb. 5: Die UST mit dem Unterbau, wie er auf der BUGA23 zu sehen war. Nur ein Abteil konnte betreten werden, die Deko war rudimentär und zum Transport muss er komplett auseinandergenommen werden. Ebenfalls sichtbar ist das noch unverkleidete Fundament der Stütze 3.

BUGA23 zwar ein Untergestell für uns hergestellt und die Kosten hierfür übernommen, aber viele unserer für uns wichtigen Features wurden nicht umgesetzt. Eine Neukonstruktion lag uns also schon lange auf der Hand.

Folgende Punkte sollten damit aufgeräumt werden:

- Eigentlich sollte man die UST komplett von unten betrachten können. Hierzu hatten wir extra einen Plexiglas-Boden eingezogen, um eine sichere Trennung des Modells vom Besucherraum zu erwirken und dennoch den Blick freizugeben. Aber das alte Gestell war nur in einem „Compartment“ zugänglich, nur einem Viertel der Fläche. Zudem störten Verstrebungen im Untergestell den Blick. Ziel war es also, alle Elemente aus dem Innenraum zu verbannen.
- Das alte Untergestell war nicht zusammenlegbar. Es musste entweder als (riesiges) Gesamtobjekt transportiert werden (wie gesagt: enorme Zusatzkosten und zusätzlicher Platz, zusätzliche Teile) oder aber bei jedem Transport komplett zerlegt, die einzelnen Brocken irgendwo mitgenommen und dann in mühevoller stundenlanger Arbeit wieder zusammengeschraubt werden. Schon bei der BUGA23 hat das nicht nur Zeit und Nerven gekostet, sondern auch einige Schrauben und Elemente, die verloren gingen oder verbogen wurden. Das neue Gestell muss also unbedingt leicht zusammengelegt werden können und ggfs. Müssen Einzelteile für den Transport eine definierte Stelle finden.
- Für den Transport der UST war es bei dem (entfernten) alten Gestell nötig, einen Transport-Unterbau darunter zu stellen und die Station daran zu sichern. Dieses zusätzliche Gestell musste während der Ausstellung oder im Museum irgendwo zusätzlich gelagert werden. Das ist bei Messen ein zusätzlicher Kostenpunkt, zumindest aber ein zusätzlicher logistischer Aufwand, diese zum richtigen Zeitpunkt an Ort und Stelle zu

haben. Die vorhandenen Untergestelle hatten zudem keinerlei Transport-Stauraum und waren noch nicht für die Anbringung der Transportbox vorgesehen. Hier hätten wir also auf jeden Fall dran arbeiten müssen.

- Der genialste Punkt war aber, dass uns die Idee kam, bei diesen Arbeiten das Modell in der Größe so zu reduzieren, dass die Module jeweils 1,20 m breit und 2,40 m lang werden (bei gleichbleibender Höhe von 1,80 m). Denn dann entspricht das drei EPAL nebeneinander und verursacht kein Transport-Übermaß.
- Auch für eine Ausstellung und Deko war der alte Unterbau ziemlich ungeeignet. Doch gerade für die CCW24, auf der wir uns von unserer besten Seite zeigen wollten, war dieser Punkt wichtig. Das neue Gestell musste viel modulare Fläche zur Verfügung stellen und erlauben, dass wir Texte, Bilder, später auch kleinere Modelle und ggfs. Monitore inkl. Stromversorgung anbringen und transportieren können.
- Selbst die BUGA23 zweifelte an der Stabilität der eigenen Konstruktion. Sie sah zwar schön aus und passte in deren Ausstellungskonzept, war aber technisch nicht geprüft. So wollte man ursprünglich gar keine Personen unter das Gestell lassen, später „auf eigene Gefahr“. Gegen die Zugkraft des Förderseils wurden wir aufgefordert, Gehwegplatten in das Gestell zu legen. Die Zugkraft liegt bei immerhin 500 N auf einer Höhe von ca. 2 m über der Kippkante und bringt einiges an Scherkräften und die Gefahr des Kippens, da kein Boden eingelegt war und somit der Schwerpunkt sehr hoch lag. Kurz: Das war alles andere als schön, sicher und als zusätzliche Stolperstelle prädestiniert. Hätten wir dieses Gestell weiter genutzt, hätten wir sogar die Platten extra transportieren und beim Auf-/Abbau berücksichtigen müssen. Das neue Gestell musste also kippsicher und so stabil sein, dass wir auch bei einem großen Besucherandrang auf einer Messe keine Gefahrenstelle darstellen.

Dann endlich, nach langer Planung, war es im November 2023 so weit. Das Team ging in die Detailarbeit und hatte die alles entscheidende Idee, wie wir das Zusammenlegen des hohen Gestells bewerkstelligen könnten. Dies war der technisch anspruchsvollste Punkt, der schließlich mit der einfachsten aller Lösungen angegangen wurde.

Schon vor der BUGA23 dachten wir über Scherbeine ähnlich einer Hebebühne nach. Wir forschten mit Schraubfüßen – bei dieser Höhe ein Ewigkeitswerk. Auch ein Sponsor bot uns an, uns bei der technischen Ideenfindung zu unterstützen; das Resultat war allerdings ein Unterbau, der es nicht gestattete, darunter zu gehen und dennoch mehr als zwei Tonnen wiegen würde.

Klappbeine waren eine der Ideen, deren Umsetzung irrsinnig aufwendig, deren Tragfähigkeit aber fraglich waren. Die Lösung kam, kaum zu glauben, wieder einmal über ein Modell aus fischertechnik: Warum nicht einfach ein einzelnes Bauteil einsetzen? An den Stützen hatten wir dieses Verfahren schon erfolgreich eingesetzt. Die Stütze 2 bestand aus einem Unterteil (Fundament), einem Oberteil (mit Traverse und Rollenbatterien) und zwei Industrieprofilen, die dazwischengesetzt und mit Schrauben gesichert wurden. Genauso sollte es auch mit dem Gestell der UST gehen.

Im ersten Schritt des Umbaus fertigten wir den neuen Unterbau, basierend auf den neuen (reduzierten) Maßen. Dazu konnten wir größtenteils die alten Industrieprofile benutzen und einkürzen. Es entstanden zwei komplett gleiche Gestelle. Dabei stießen wir auf eine Feinheit: Die einzusetzenden Profile in der Mitte zwischen den Modulen würden jeweils um 18 mm über die Konstruktion herausragen. Das macht an den äußeren Ecken kein Problem, wohl aber in der Mitte. Unsere Module würden damit nicht passgenau aneinander stehen. Der

Trick: Diese Ecken werden entsprechend nach innen versetzt und eine Zierleiste angebracht. Ein weiterer Vorteil: Dadurch haben wir eine bessere Kontaktstelle und können eine zusätzliche mechanische Verbindung der Module anbringen. Lediglich in der Dekoration müssen wir später auf genau diese 18 mm Acht geben.

Im nächsten Schritt wurde an einem Wochenende die Seilbahn stillgelegt, die Arbeiten an der Technik unterbrochen und die UST abgebaut. Als diese dann auf dem Boden stand, wurde eines der Industrieprofile nach dem anderen entnommen, gekürzt und an der Originalstelle wieder eingesetzt. Das betraf allerdings auch einige der Profile, an der das Modell direkt befestigt war. Handarbeit mit Bügelsäge war gefordert.

In einem weiteren Schritt mussten die Plexiglasabdeckungen eingekürzt werden. Leider hatten wir hierfür nicht das richtige Equipment, was nicht nur gesplitterte Kanten, sondern auch den Bruch einer Platte zur Folge hatte. Teure Folgen, denn die Platten sehen nun so schlecht aus, dass wir neue beschaffen müssen. Dennoch war diese Arbeit nötig, da wir bis zur CCW24 aus Zeitnot keinen Ersatz fertigen konnten.

Anschließend wurde in das Gestell ein Boden eingezogen und gestrichen: aktuell nur provisorisch mit einfacher Dispersionsfarbe, aber immerhin in der offiziellen Messefarbe von Doppelmayr. Schließlich soll der Zusammenhang mit unserem Standnachbar auf der CCW24 erkennbar sein. Da die Grundausstattung des Messestandes vom Land NRW übernommen wurde, hinsichtlich der Gestaltung aber keine Vorgaben gemacht wurden, waren wir auch hier in der luxuriösen Situation und haben den Stand mit dem gleichen Boden wie Doppelmayr auslegen lassen, was die gestalterische Verbindung noch einmal erhöht. Der Boden des Unterbaus wurde dabei so gebaut, dass er zusätzlich zur Stabilität des Gestells beiträgt und mit diesem fest verschraubt ist. Außerdem haben wir schwere Platten gewählt, die nicht nur tragfähig für Elektro-Rollstühle sind, sondern mit dem Gewicht die Standsicherheit garantieren. Da die CWA-Kabinen barrierefrei sind, war es uns ein wichtiges Anliegen, auch das Modell barrierefrei zu gestalten. Wie schon im alten Gestell brachten wir daher zusätzlich Rollstuhlrampen an.

Der Boden verbleibt während des Transports auch in der Anlage und bildet mit den Wänden einen neuen, zusätzlichen Stau-

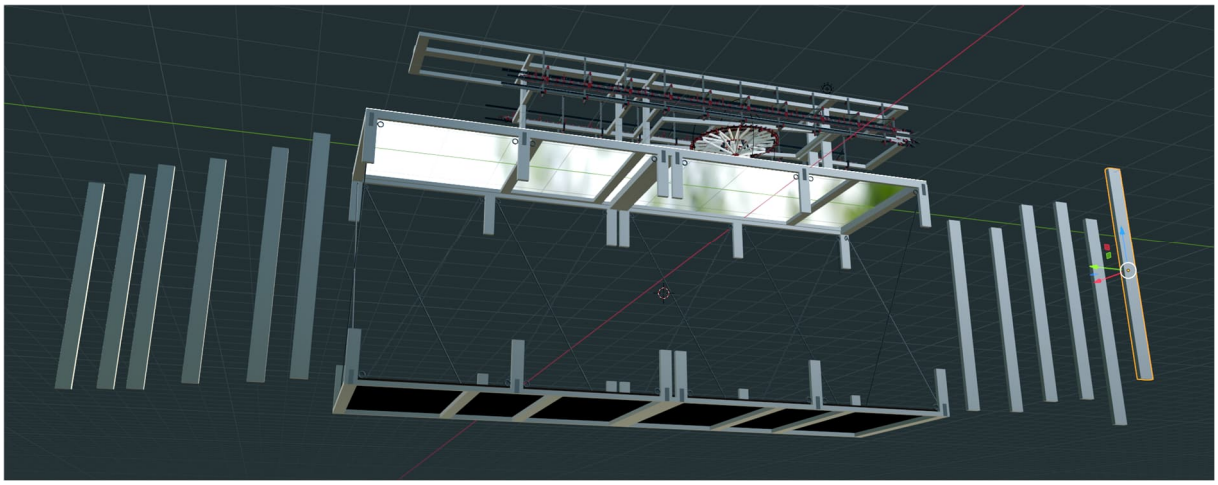


Abb. 6: In der Planung des Unterbaus für die UST gut zu erkennen: Die oberen und unteren Teile können aufeinandergesetzt werden und ergeben die Höhe der AST. Verlängert wird das Gestell mit simplen Alu-Profilen, die eingesetzt werden. Ebenfalls schon berücksichtigt sind der fest montierte und schwere Boden sowie die Trennstellen.

Abb. 7: Mindestens 6 Mann sind nötig, um ein Modul des Modells auf das neue Gestell der UST zu heben. Das dauert nur wenige Sekunden.

raum. In Zukunft soll der Boden mit einem Aufdruck versehen werden – daher der nur provisorische Anstrich. Das wird aber noch eine Überraschung für unsere Besucher werden.

Spannung

Dann kam der spannende Moment (im wahrsten Sinne des Wortes), denn wir setzten die zwölf Verlängerungsprofile auf, verschraubten diese und hoben das Modell obendrauf. Das gelingt mit mindestens sechs kräftigen Helfern in wenigen Sekunden, alternativ auch mit Gabelstapler. Sobald das Oberteil aufgesetzt ist, steht die Anlage sicher, da die Profile so gestaltet sind, dass sie einrasten und nichts mehr herunterfallen kann. Nach dem Verschrauben werden an acht von zehn Seitenflächen je zwei Stahlseile eingesetzt und mit Spannschrauben fest eingespannt. Dank der Unterstützung bei der Berechnung und dem kompletten Sponsoring aller Bauteile inkl. Fertigung durch die Firma Jakob, die uns bereits bei der Berechnung des Förderseils geholfen hatte, passen diese perfekt und sehen superelegant aus. Diese Seile sind nun so eingesetzt, dass sowohl in Längs- als auch in Querrichtung eine enorme Stabilität erreicht wird. Im Vorfeld half bei den Überlegungen auch das Ingenieurbüro für Bauwesen Weiss aus Mannheim, so dass wir die nötigen Sicherheitsnachweise für die Messezulassung erbringen konnten.

Zusätzlich zur technischen Planung fertigten wir noch 3D-Animationen, mit denen wir der Messeleitung und dem Land NRW die Gesamtgestaltung zeigten, noch bevor wir davon Fotos machen konnten.

Diese acht von zehn Feldern der Verspannung und den Rollstuhlrampen bieten nun die Möglichkeit, an einem Ende des Untergestells seitlich unter das Modell zu treten

bzw. zu rollen und dann über die ganze Länge hindurch und diagonal an der anderen Seite heraus.

Zwei Versionen

Aus dieser Bauweise ergibt sich, dass das Modell zukünftig sogar in zwei Versionen aufgestellt werden kann: zum einen in der hohen Version, unter die man gehen kann, und zum anderen in der niedrigen Version, in der das Gestell die gleiche Höhe besitzt wie jenes der AST. Das hat nicht nur den Vorteil, dass wir in Räumen mit niedriger Deckenhöhe ausstellen können, sondern auch jenen, dass wir so leichter am Modell bauen und weitertüfteln können, ohne dass wir dafür auf eine Leiter oder das Gestell kraxeln müssen.

Plattform

Ein gutes Stichwort: Schon von Anbeginn war klar, dass wir immer wieder zu Wartungsarbeiten und zum Tüfteln an die obere Station kommen müssen. Auf der BUGA23 haben wir das gelöst, indem ich meine eigene Gartenleiter für ein halbes Jahr zur Verfügung stellte; im Museum gab es Leitern zum Ausleihen.

Unsere Philosophie ist es aber, mit dem Gesamtkonzept vollkommen autark und professionell zu sein, vor allem auf Ausstellungen und Messen wie der CCW24.

Das hat auch Doppelmayr erkannt und uns ohne Zögern noch einmal eine Förderung zukommen lassen, mit der wir vollumfänglich eine eigene Arbeitsplattform inkl. Transportsicherung anschaffen konnten. Das war nicht ganz einfach, da Packmaß und Flexibilität beim Einsatz in engem Rahmen von uns vorgegeben wurden. Doch nun ist auch die Arbeitssicherheit gewährleistet, wenn wir zu zweit nebeneinander bis an die höchste Stütze gelangen müssen – auch das ein Schritt, um bereit für weitere Messen zu sein.

Abb. 8: Die Wartungsplattform

Portal

Mitten auf der BUGA23, im Rahmen des internationalen Seilbahntages im Juni, hatten wir Besuch der Firma CWA, dem Kabinenhersteller, an unserem Stand. Bei einem Bierchen aus unserem eigenen Kühlschrank kam uns die Idee, den (damals zukünftigen) Eingang in das Gestell mit Original-Kabinentüren zu versehen, um damit den Eindruck zu erwecken, als würde man in eine Seilbahn einsteigen, um dann nach oben zu schauen und die Technik darüber zu sehen.

Und tatsächlich: Eine Woche vor dem Verpacken der Anlage kam eine große Fracht ins Museum: zwei schöne schwarze Türen einer OMEGA-V aus einer der Kabinen der BUGA23. Auch hier zeigte sich, dass eine gute Planung mit CWA zum schnellen Gelingen führte. Zusätzlich wurden von der Lehrwerkstatt Halterungen gefertigt, die exakt in unser Gestell eingehängt werden können. Zusammen mit zwei Ausschnitten in der Rollstuhlrampe benötigen wir später auf der Ausstellung nur wenige Minuten

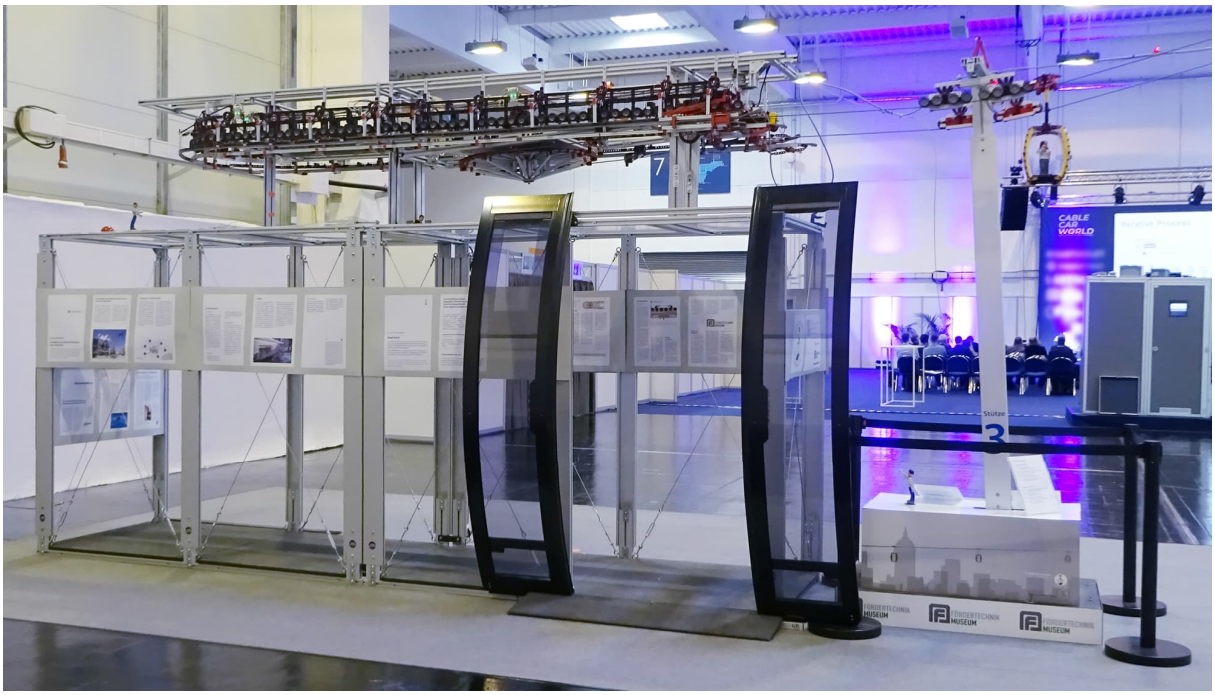


Abb. 9: Die machen schon was her: die Original-Türen der CWA Kabinen OMEGA-V am Eingang zu unserer UST. Gut zu erkennen sind auch die Ausstellungsflächen innen und außen und die neue Verkleidung des Stützenfundaments.

vom Auspacken bis zum fertigen Anbringen der Türen.

Für den Transport werden die Türen im nun neuen Untergestell der UST eingelegt und mit Transportsicherungen so befestigt, dass sie gleichzeitig den Stauraum für Kleinkram bilden und auf den Zinken der Gabelstapler den Schwerpunkt des Moduls schön zentrieren.

Um-kipp-Station

Entweder – oder: Das war die Frage, als wir das neue Gestell der UST gestalteten:

- Sie entweder wie die AST mit einem um ca. 17 cm angehobenem Boden ausstatten, sodass darunter eine Ebene für die Zinken der Gabelstapler passt. Das hätte zur Folge, dass die Rollstuhlrampe deutlich größer werden muss und wir eine Begehbarkeitsprüfung mit Stabilitätsnachweis für Messen vorlegen und ggfs. die Ränder mit Kanten versehen müssten, damit ein Absturz verhindert wird.
- Oder den Boden wie im alten Gestell flach aufliegen lassen, was den o. g. Overhead entfallen lässt, da die Höhe des Industrieprofils nur als „Stolperkante“, aber nicht als „Podest“ gewertet wird. Dafür ist eine Lösung zu ertüfteln, mit der es später möglich ist, den Staplerzinken unter die Module zu schieben.

Wir entschieden uns für „oder“, da der administrative Aufwand in Deutschland diesbezüglich langwierig und unsicher ist, da jede Messe ihren eigenen Gesetzen folgt – und im Ausland dann noch einmal anderen.

Wir hatten dazu im Vorfeld Kontakt zum Marketing von Doppelmayr und Einsicht in Dokumente, die wir liefern müssten. Ein Podest benötigt etwa 80 Seiten professionell erstellten Papierkram, der Unterschriften von Architekten und Ingenieuren einschließt… Die Lösung „oder“ ist da deutlich einfacher.

Als wir schließlich den Verpackungsprozess der UST genauer betrachten, kam die Lösung fast von selbst. Zuerst wird

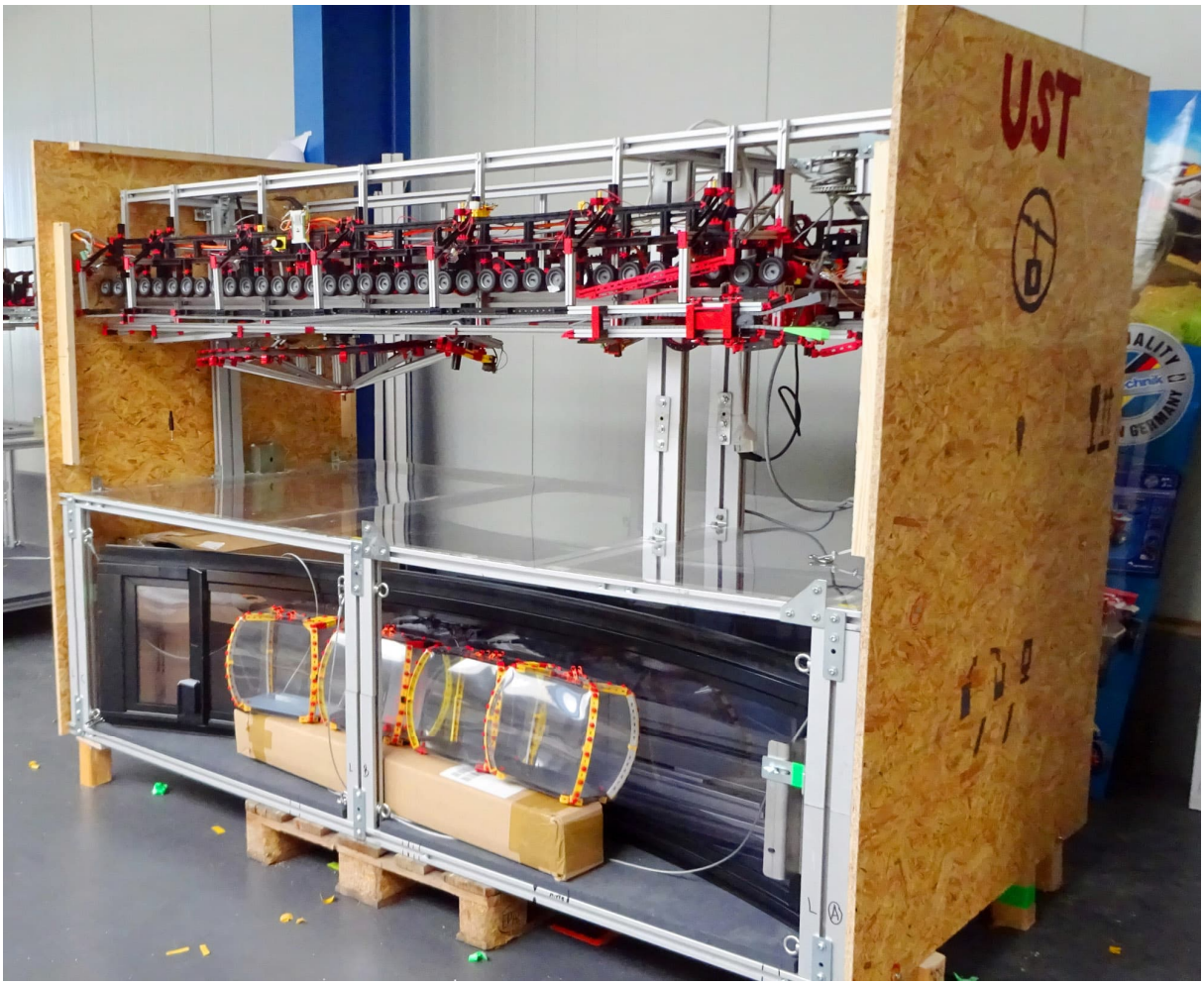


Abb. 10: Die CWA-Türen in der Transporthalterung. Seitlich ergibt sich ein kleiner Stauraum, innen ein weiterer. Ebenso zu erkennen sind die ersten Platten der Transportbox. Raffiniert: Das Gestell wird auf eine EPAL montiert und ist damit für einen Gabelstapler leicht aufzunehmen. Vier zusätzliche Füße sorgen für Stabilität beim Transport. Die EPAL wird später auf der Messe als Lagerfläche für die Transportboxen verwendet und kann mit wenigen Handgriffen montiert werden.

(nach der Trennung der Module) der Oberteil mit dem Modell heruntergehoben, dann werden die Verlängerungsprofile entfernt. Jetzt haben wir einen extrem leichten und kleinen Unterteil.

In diesem Moment kippen wir den Unterteil auf die Seite, stellen eine EPAL daran, verschrauben diese – fertig. Zur Stabilisierung kommen an die Ecken noch (aktuell provisorische) Füße. Wieder zurückkippen, Oberteil aufsetzen, Box dranschrauben – Abmarsch!

Klappe zu

Und schon steht der Tüftler wieder vor dem nächsten Problem: Wie befestigt man die Wände der Boxen am Gestell, und zwar so schnell, dass das Verpacken nicht zur Wochenaufgabe wird?

Ziel ist es, die Wände mit einfachen M8-Schrauben in Nutensteine in den Industrieprofilen zu befestigen (da unser komplettes Modell aus M8-Schrauben besteht und wir damit nur eine Schlüsselweite benötigen). Das gelingt auch erst nach dem Umbau auf die neue Version, da hier die Profile richtig liegen. Das Problem dabei: Die Platten sind

schwer. Selbst wenn einer von uns die Platte halten würde, wackelt das alles so arg, dass man keine Schraube treffen würde.

Erster Schritt: Wir fertigen Holzklötze, die als Aufstellflächen herhalten. Nun muss das Gewicht nicht mehr getragen werden. In Abb. 10 erkennt man unter der rechten Wand einen Holzklotz, der grün markiert ist.

Zweiter Schritt: Wir schrauben erst lange Schrauben rein, dann kurze? Nicht ganz. Das ging zwar einigermaßen, aber war doch ein ganz schön aufwändiges Gefummel.

Da erfanden wir die „Ben-Rods“ (benannt nach dem Erfinder). Das sind lange Gewindestangen, die zuerst in die Nutensteine geschraubt werden; dann wird die Holzplatte eingeführt und angeschoben. Damit zentrieren sich die Nutensteine perfekt und die Gewindestangen der „Ben-Rods“ können durch die eigentlichen kurzen Schrauben ersetzt werden.

Damit gelingt das Verpacken in wenigen Minuten.

Nachtrag: Auf der CCW24 kam uns die Idee, diese Technik noch zu verbessern. In den nächsten Tagen ersetzen wir die unteren Schrauben durch selbstsichernde Profile, die nur eingehängt werden. Damit entfallen 50 % der Schrauben und Handgriffe, während die Positionierung nun mit einer Person alleine passgenau erfolgen kann. Ein Update, das zwar Bauzeit beanspruchen, aber sich bereits beim nächsten Transport lohnen wird.

Nun fehlt nur noch das Verbinden der Platten mit Schrauben und anschließend das Aufsetzen der Deckel. Natürlich findet all das erst statt, wenn die restlichen Sachen im Stauraum gesichert sind.

Trennstellen

Um die Anlage überhaupt transportieren zu können, muss diese natürlich in handliche Stücke zerteilt werden. Sobald das Seil entfernt ist, können die Stützen als eigene Einheit betrachtet werden, ebenso der Steuerstand – alle haben als Grundfläche eine EPAL.

Die Stationen mit ihrer jeweiligen Gesamtlänge von ca. 5,00 m sind allerdings viel zu groß, um überhaupt bewegt zu werden. Es scheint fast trivial zu sein, eine Trennstelle in der Mitte der Stationen vorzusehen, die Crux liegt aber im Detail. Denn auseinandernehmen mag leicht gehen – das Wiederzusammensetzen nach dem Transport und auf ggfs. nicht exakt flachem Boden ist es nicht.

Deswegen haben wir uns entschieden, die Stationen in vier Schritten zusammen zu ziehen (darüber haben wir ausführlich und bebildert schon in der ft:pedia [5] berichtet, daher hier nur die Zusammenfassung):

- Zuerst werden die beiden Grundgestelle ineinandergeschoben. Sie werden mit Hilfe von Zentrierzapfen mechanisch ausgerichtet und dann mit Gewindestangen aneinander gezogen, bis diese eine Einheit bilden.
- Dann wird das Modell des hinteren Moduls, das auf einem Schlitten montiert ist, innerhalb des Gestells an das vordere geschoben, mit Hilfe von Zentrierstücken ausgerichtet und schließlich ebenfalls mit einer Gewindestange fixiert. Das Verschieben ist nötig, da alle Modell-Teile von der äußeren Umrandung bzw. der Transportbox mindestens 3 cm Abstand haben müssen, damit letztere bei Erschütterungen nicht an die fischertechnik-Teile stoßen und diese zerstören oder verschieben. Doch wenn dieser Abstand an der Trennstelle beidseitig eingehalten wird, entsteht eine Lücke. Um diese zu schließen, setzen wir kein kleines Verbindungsstück ein, sondern schieben wie beschrieben das hintere Modul heran.
- Beim Zusammenschieben werden in den letzten 15 mm die Verbindungsstangen für Fahrschiene und Führungsschiene

eingeführt und somit auch hier der Übergang ohne Kante geschlossen.

- Letztlich werden die Kabelverbindungen manuell hergestellt. Wir sind von einer automatischen, mechanischen Verbindung abgekommen; Der Aufwand und die Kosten wären zu hoch. Die zusätzlichen Handgriffe sind in unter einer Minute machbar.
- Sind die Stationen aufgestellt (die entsprechende Reihenfolge kehrt sich beim Abbau um), müssen das Seil eingehängt (auch hierzu haben wir bereits berichtet, dass wir Fahrbahn und Steher öffnen können) und als letztes die Datenverbindung vom Steuerstand bis zur UST aufgebaut werden.

Abb. 11: Das kann Doppelmayr nicht: den Steher auftrennen, um das Seil herauszunehmen.

Hier kommt die nächste gut ausgetüftelte Routine ins Spiel: Der Steuerstand beherbergt für den Transport sein fest verdrahtetes Verbindungskabel in einer eigens dafür vorgesehenen Box hinter dem Schaltraum. Das Kabel kann nach Öffnen der Tür vor dem Schaltraum entnommen und mit einer Kabelbrücke versehen werden. Dann wird es von unten in die AST eingeführt und in einem abgeschlossenen Bereich in die Verbindungen gesteckt. Hierbei werden sowohl die Datenverbindung als auch die 220-V-Verbindung hergestellt.

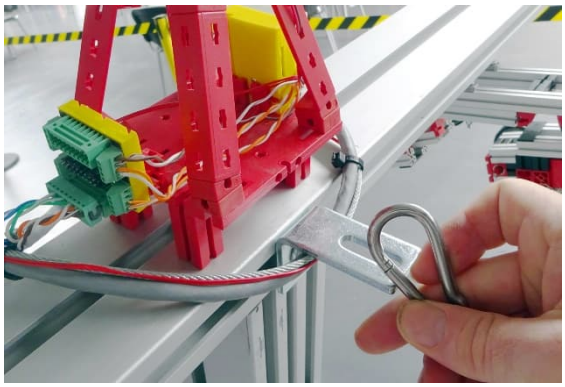


Abb. 12: Trennstelle an der Stütze: Das Mittelseil wird mit Karabiner ausgehängt. Es trägt das Datenkabel, welches mit Hilfe von Rundkabeladaptern getrennt werden kann. Dort werden übrigens die Energieversorgung und Überwachungsdaten für den ftSwarm der Rollenbatterien abgegriffen.

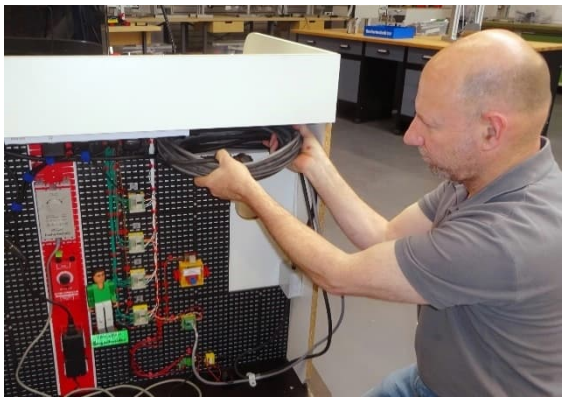


Abb. 13: Die 220-V-Leitung und das Datenkabel können sicher verstaut werden. Im Betrieb werden beide aus dem Schaltraum an der kleinen Aussparung (rechts unten) herausgeführt und mit einer Kabelbrücke bis zur AST verlegt.

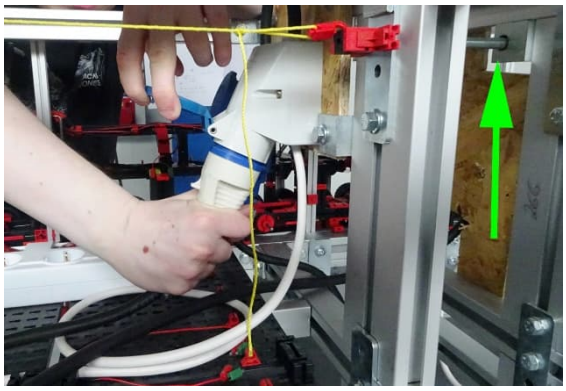


Abb. 14: Die Trennstelle der 220-V-Versorgung. Pfeil: Dies ist eine der Schrauben, die die beiden Module zueinander zieht und damit fest verbindet.

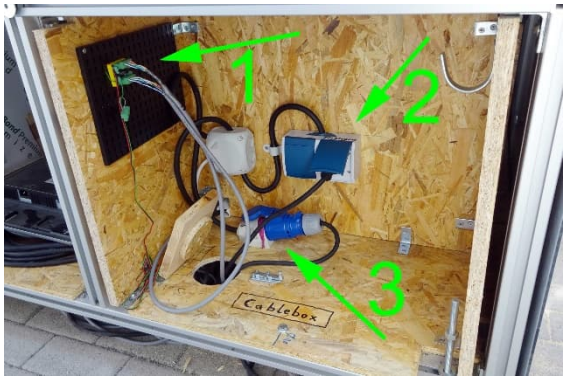


Abb. 15: Die Trennstelle am Heck der AST. In dieser Kabelbox befindet sich wieder ein Rundkabeladapter für den Übergang zum Steuerstand (1) sowie dessen 220-V-Anschluss (2). Die Zuleitung kommt ebenfalls über das Loch in der Bodenplatte, das für den Transport verschlossen werden kann, und führt zum CECON Stecker (3). Der Haken (rechts oben) ist für die Lagerung des Kabels vorgesehen.

Randnotiz: Es ist möglich, die Anlage auch ohne Steuerstand zu betreiben. Dazu kann man in dieser Transportbox einen „alles-ist-gut-Stecker“ einsetzen, der die Sicherheitseinrichtungen so konfiguriert, dass sie die Anlage freigeben, wenn der Steuerstand ausfällt oder nicht da ist.

Sowohl der AST als auch der UST werden mit 220 V versorgt. Sie haben eigene 30-m-Kabel mit dabei, die beidseitig getrennt werden können. Um zu verhindern, dass diese anderweitig verwendet werden, sind sie mit CECON Steckern versehen. Dies haben wir auch bei den Trennstellen der Module verwendet und somit eine Inbetriebnahme so (verwechslungs-)sicher wie möglich gestaltet. Der Kühlschrank im Steuerstand liegt an einem Bypass und springt direkt an, sobald der Steuerstand Strom hat, während alle anderen Geräte zusätzlich abgesichert und schaltbar sind.

Die Werkstattpalette hat ebenfalls 30 m Kabel (deutlich erkennbar in roter Farbe), um einen eigenen großen Arbeitsradius um die ganze Anlage zu gewährleisten, ohne ihn auszustrecken. Die Werkstattpalette kann auch komplett geschlossen werden, während das Kabel aus einer Aussparung herausgeführt ist. Ihren Anschluss findet sie entweder in einer normalen Steckdose des Veranstaltungsraumes oder am vorderen Ende der AST. Dort ist eine Steckdose nur für sie vorgesehen. Die Kaffeemaschine und der Wasserkocher können dann gleich in Betrieb gehen.

Nun folgt die Verbindung der AST über die Strecke bis zur UST. Das so genannte Mittelseil wird dazu mit Hilfe von Karabinern eingehängt und stellt damit eine mechanisch tragfähige Verbindung dar. Hier müssen wir nach der CCW24 noch einmal tüfteln; das System ist zu unflexibel für unterschiedliche Aufstellungsvarianten, da wir die Längen mit Hilfe von Seilklemmen einstellen müssten.

An diesem Seil ist eine achtadrige Datenleitung fest angebracht. Diese endet jeweils in sogenannten Rundkabeladaptern. Das sind Stecker, die verpolungssicher in kleine Platinen gesteckt werden und sowohl die Datenverbindung als auch die 9-V-Grundversorgung der ftSwarm und die eingeschleiften Adern des Not-Halt Systems verbinden. Diese Rundkabeladapter benutzen wir auch an der Verbindungsstelle der zwei Module der AST und UST. Einziger Unterschied: Die Kabel des Not-Halt sind hier nicht eingeschleift. Sie werden mit einem klassischen 6,3-mm-Klinkenstecker mit einer extra dafür vorgesehenen fischertechnik-Kassette verbunden. Das hat den

Sinn, dass diese herausgerissen werden kann, wenn die Trennung vergessen wurde, ohne dass etwas zerstört wird. Ebenso eine Ausnahme bilden die Verbindungen der Datenleitungen und der Versorgung des Hauptantriebes in der AST. Diese müssen aktuell noch mit 16 fischertechnik-Steckern und weiteren Kabeln hergestellt werden. Das dauert sehr lange und ist fehleranfällig – auch hier müssen wir nach der CCW24 noch einmal tüfteln.

Sichtblenden

Um messebereit zu sein, dreht sich nicht nur alles um den Auf-/Abbau und Transport. Es geht auch um das Gesamtkonzept der Darstellung unseres Modells. Doppelmayr ist eine Firma, deren Produkte äußerst sauber und hochglänzend auf den Messen gezeigt werden. Unser Modell soll sich hier nicht verstecken müssen.

Einer der Schritte hierfür war es, die Fundamente der Stützen zu verkleiden. Sie waren auf der BUGA23 auf Wunsch der Veranstalter im Rohbau (Beton, Holz, nicht sauber, sandig) belassen worden – für die Zukunft untragbar. Deswegen wurden die Platten in der gleichen Doppelmayr-Messefarbe gestrichen wie der Boden der UST. Dann wurden alle Paletten mit einer bedruckten Dibond-Banderole versehen, auf der die Logos der Hauptsponsoren (zuzüglich Santjohanser am Steuerstand als Nebensponsor) bedruckt sind. Anschließend erhielten alle Stützen einen Kasten aus Dibond, auf dem das Motiv der urbanen Seilbahn und unser Logo wie auf der AST aufgedruckt sind. Dieser verdeckt die darunterliegende Technik des Kippmechanismus. An der mittleren Stütze 2 prangen zusätzlich die Packshots des fischertechnik-Kastens *Advanced Cable Car*, da diese Stütze für die Firma fischertechnik reserviert ist.

Der Kniff hierbei ist, dass die Kästen und Banderolen mit Hilfe von Klettverschlüssen

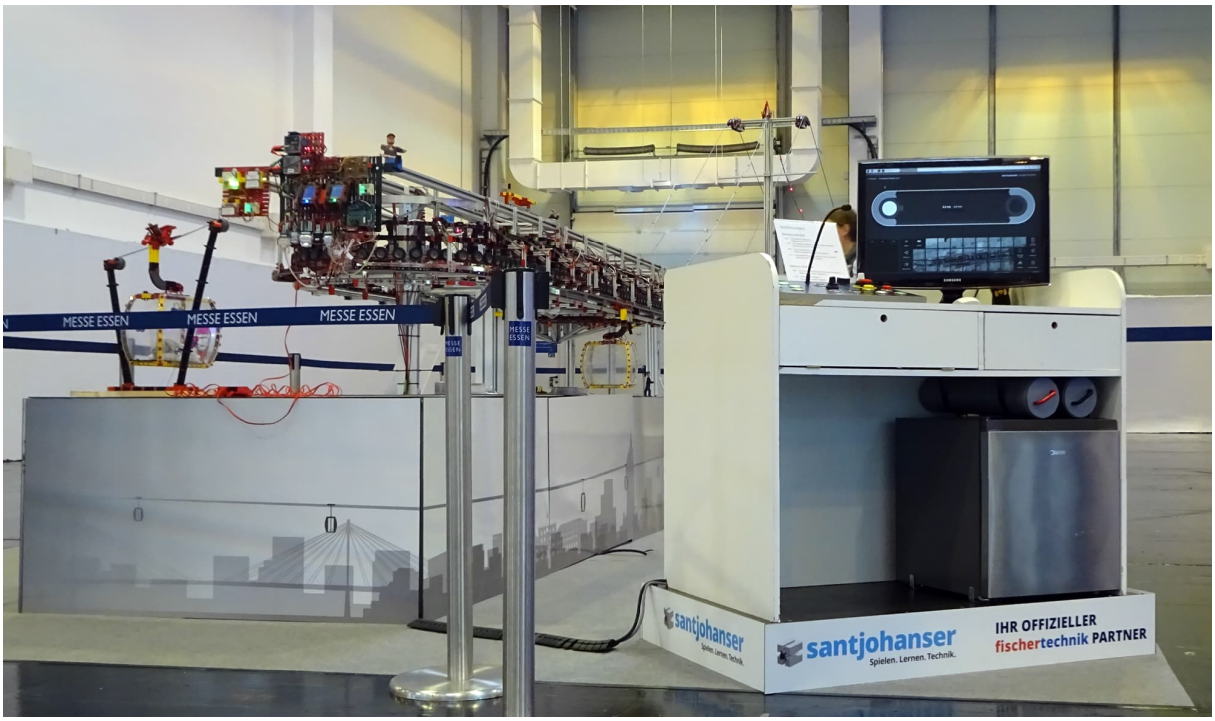


Abb. 16: Saubere Sache: der Steuerstand bei der AST. Die EPAL ist mit einer Dibond-Banderole mit Sponsorenaufdruck versehen, der Kühlschrank unauffällig fest montiert, darauf der Monitor mit der Doppelmayr-Connect-Emulation. Zu sehen ist auch die Kabelbrücke zur AST und deren Verkleidung, die wir bereits auf der BUGA23 hatten.

leicht demontierbar sind und die Platten so platzsparend transportiert werden können.

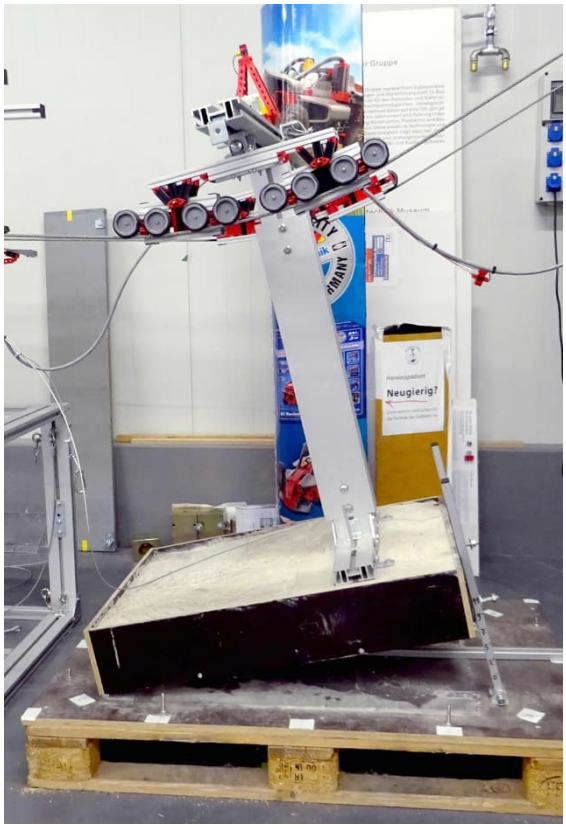


Abb. 17: Die Fundament-Version der BUGA23

Den etwas größeren Ausschnitt, der für den Kippmechanismus vorhanden sein muss, kaschieren wir mit einem winzigen fischertechnik-Modell, das Figuren beim Arbeiten an der Seilbahn darstellt. Auf der CCW24 wurden sie zum kleinen Hingucker.

Abb. 18: Edel: die Dibond-Verkleidung der Stützen mit Sponsorenaufdruck

Klicki-Bunti

Die Augen der Besucher zu führen ist wichtiger als man denkt. Auf der BUGA23 sind viele Kinder an uns vorbeigerannt und viele haben, selbst als sie gefragt wurden, nicht erkannt, dass das Spielzeug ist und dass es sich um eine Seilbahn handelt. Doch kaum hatten wir zwischen den Stützen 2 und 3 eine Reihe blinkender roter LED auf das Mittelseil gehängt und an der Station gelbe Warn-Leuchten, kaum saß in einem Fahrzeug ein Häschen, da blieben die Kinder stehen und staunten.

Nach dieser Erfahrung wurden diese LEDs an unserem Modell sauber ausgeführt (es sieht nun aus wie im Original). Hinzu kamen Beleuchtung für den Einstiegsbereich und Arbeitsbeleuchtung der Technik, alles schaltbar über die grafische Oberfläche an unserem Steuerstand. Das zieht, denn hier können wir etwas zeigen und bei den Vorführungen über die Datenübertragung bis ans andere Ende der Seilbahn sprechen. Das Doppelmayr-Steuerpult ist ebenfalls mit LED versehen; die Freigaben und Fahrzustände entsprechend dem Original abbilden.

Im Zuge dessen wurden viele Kabel sauber verlegt, einige müssen noch nachgearbeitet werden, aber die Anlage sieht dadurch viel ordentlicher aus. Beschriftungen wurden angebracht, die zeigen, dass wir die Technik sauber aufgebaut haben und die später die Wartung und Fehlersuche erleichtern.

An den Fahrzeugen befinden sich nun die Kabinennummern. Alle Klemmen und Gehänge wurden auf die gleiche Farbgestaltung gebracht – leider kam die belgische Farbkombination dabei heraus; wir arbeiten an einer Lösung.

Unser Häschen hat nun auch einen Namen: „Goldi der Gondelhase“ ist unser Maskottchen und fährt in einer der Kabinen mit. Über die Taufe aufgrund des Preisausschreibens haben wir nun ein Video auf unserem YouTube-Kanal veröffentlicht [7].

Abb. 19: Sieht mächtig aus, ist sicher verpackt: Die Transportboxen sind komplett zu und schützen das Modell. Insgesamt sind es neun Stück mit einer Fläche von 16 EPAL und einem Transportgewicht von ca. zwei Tonnen. Gut zu sehen sind die Stempel-Beschriftungen (die noch erweitert werden müssen). Die Werkstattpalette (dunkler Kasten) muss nicht zusätzlich in eine Box, wohl aber der Steuerstand (links daneben), für den wir die Box noch fertigstellen müssen – Material ist aber dank eines kleinen Sponsors vorhanden.

Unsere Figuren, die uns WhizzBizz gefertigt hat (siehe ft:pedia [8]), sind leider noch nicht endgültig aufgestellt, aber einige haben ihren Platz und ihr Namensschild erhalten. Es fehlen noch die Ein- und Ausstiege. Material ist schon vorhanden, aber aufgrund anderer Prioritätensetzung haben wir diese Elemente auf der CCW24 noch nicht zeigen können. Bei den nächsten Ausstellungen sind sie aber sicher dabei.

Ebenso sind noch Schubladen im Untergestell der AST zu fertigen, um Flyer und Give-Aways aufzubewahren und nicht jedes Mal die Kartons verstauen zu müssen. Transportsicherungen für Tensatoren und einige andere Elemente werden unsere Mannschaft noch einige Stunden Arbeit und Tüfteln kosten.

Abgestempelt

Ein wichtiges Detail soll nicht unerwähnt bleiben: Bei so vielen Holzplatten, die zudem teilweise genau auf die Inhalte abgestimmt sind, sollte man diese auch markieren, um sie einfach zuzuordnen und Verwechslungen zu verhindern. Zusätzlich sind genormte Kennzeichnungen aufzubringen, so dass beim Transport mit der Spedition auch diese ordentlich sind.

Wir haben lange getüftelt, wie wir das am besten machen; Immerhin geht es um Dutzende Symbole und Hunderte Markierungen. Aufkleber halten nicht. Mit der Hand zu malen ist zu unsauber und zu aufwändig. Schablonen auf OSB wurden unsauber und das Erstellen der Schablonen ist sehr aufwändig.

Abb. 20: Die Stempel wurden händisch aus Neopren geschnitten und auf Holzplatten geklebt.

Stempel waren die Lösung, zwar in Handarbeit, aber zu Hause. Ganz ohne Zeitdruck entstanden aus Resten von Holzplatten und

Neopren viele handgeschnittene Stempel. Auf diese tragen wir dick Farbe auf und markieren unsere Platten damit einheitlich. Das sieht in der kompletten Aufreihung schon sehr professionell aus und hat bei der Lieferung der Paletten auf der CCW24 durch die Spedition bei unseren nicht minder professionell arbeitenden Standnachbarn Doppelmayr schon für einen gewissen Eindruck gesorgt.

Abb. 21: Die Stempel werden mit Dispersionsfarbe bestrichen und aufgedrückt. Fehler bei der Übertragung werden nachgearbeitet.

Die Symbole enthalten

- ein reduziertes Seilbahnlogo zum einfachen Identifizieren der Boxen und Platten
- Hinweis durch Normsymbole: „Aufrecht lagern / nicht kippen“, „Vorsicht zerbrechlich“, „Hier anheben“ / „Hier nicht anheben!“
- die Bezeichnung des Inhaltes „AST“, „UST“ (jeweils vorderes und hinteres Modul), „Stütze 1-3“, „Steuerstand“ (die Werkstattpalette benötigt dies nicht, da sie gut erkennbar ist)
- ein Symbol, das die Ausrichtung der Palette vor dem Auspacken ermöglicht. Das beschleunigt die Aufstellung und verringert die Zeit, in der ein Hubwagen benötigt wird. Dazu ist an der Front der AST der sogenannte „Bemaßungspunkt“ angebracht, an dem wir alle Anlagenteile einmessen können. Auf dieses Symbol / diese Stelle deutet jeweils der Pfeil auf den Platten. Damit kennen wir die Ausrichtung.
- an den Ecken die Bezeichnungen „A-D“, um das Zusammensetzen und die Orientierung des Deckels zu erleichtern
- einen Zeichencode, der drei Symbole mit Nummern enthält:
  - Reihenfolge des Entfernens der Platten beim Auspacken
  - Dito beim Einpacken, da hier ggfs. eine abweichende Reihenfolge sinnvoller ist
  - Einen Code, an dem sich die Platten der Ausstellungsfläche zuordnen lassen (s. u.)

Wiederverwendbar

Damit ist nicht etwa die Wiederverwendbarkeit der Platten gemeint – das versteht sich von selbst – sondern eine zweite Verwendung der Platten für einen vollkommen anderen Zweck.

Die Seitenwände sind nämlich (von vorneherein geplant) so gestaltet, dass sie nach dem Auspacken wieder in verschiedenen Kombinationen aneinandergestellt und verbunden werden können. Allerdings wenden diese nun die Innenseite der Platten den Besuchern zu. Damit entstehen riesige Ausstellungswände, Trennflächen oder sogar Lagerräume.

Da die Innenseite beim Transport nicht verschmutzt oder zerkratzt wird, können an einigen Platten sogar die Texte und Bilder oder Monitore und kleine Modelle fest angebracht werden. Das beschleunigt die Aufstellung der Ausstellung, reduziert den Gestaltungsaufwand und lässt eine Ausstel-

lung zu, die an die Wünsche der Auftraggeber angepasst werden kann.

Dazu werden mindestens drei Platten mit den Kanten aneinandergestellt. In den Verbindungslatten werden dann Bügel eingesetzt, die daraus eine stabile Form machen. Dreieck, Quadrat, Rechteck, Stern, Kreuz, Zickzack sind die Formen, die dabei entstehen können. Bis zu 26 laufende Meter Ausstellungsfläche entstehen so. Alternativ kann ein Raum daraus gebaut werden, der zur Stabilisierung an das Ende der UST angeschraubt wird. Er kann uns als Logistik- oder Lagerraum dienen und wäre sogar mit einer (niedrigen) Tür zugänglich.

Zwar wurde das auf der CCW24 noch nicht eingesetzt, die Technik dazu ist aber vorhanden und wird auf anderen zukünftigen Events sicher zu sehen sein (Video folgt).

Ausstellung

Dass es nicht nur über unser Modell, sondern auch über urbane Seilbahnen und deren Nachhaltigkeit, deren Bau, Technik, Planung und Sicherheit viel zu erzählen gibt, ergänzt durch fischertechnik und Spielzeug für Kinder und Erwachsene sowie das Museum, das weiß jeder. Im ersten Schritt haben wir deshalb für unsere Besucher einige Ausstellungstexte und Bilder bereitgestellt, die in der UST gezeigt werden.

Sowohl fischertechnik als auch Doppelmayr haben hier einen großen Beitrag mit Text und Bild bereitgestellt. Dazu kommen von uns Infos über das Modell, aktuell mit den Statistiken der Arbeiten.

Das Ganze wurde in unserem eigenen Layout sauber gesetzt, dann auf DIN-A3-Klebepapier ausgedruckt und auf PVC-Flächen aufgezogen, die wiederum mit Klettstreifen einfach in die Ständerprofile der UST eingehängt werden. In Abb. 8 zur Plattform können diese Ausstellungsflächen und die Spannseile gut gesehen werden.

Hier kommt uns die Besonderheit der Konstruktion sehr entgegen. Die Spannseile sind genau mittig in den Profilen eingehängt. So können wir außen und innen PVC-Flächen anbringen. Auf der Rückseite der UST entsteht eine besonders große Fläche, die eine Einführung in das Modell enthält. Auf der Seite vorne, die zur Strecke zeigt, wollen wir den Ausblick nur wenig einschränken. Daher ist diese Fläche schmaler und enthält eine Übersicht über die Elemente der Strecke, die von dort aus zu sehen sind.

Das alles wird automatisch zur Führung der Besucherströme verwendet, sobald man unter die Anlage tritt. Gleichzeitig stellen die Flächen ein optisches Hindernis dar, so dass keiner auf die Idee kommen sollte, unter den Spannseilen durchzutauchen oder diese in Schwingungen zu versetzen.

Ich danke dem Messeteam, das in einer Nachtaktion am Abend vor der CCW24 die Drucke aufgeklebt hat, da diese erst an diesem Tag aus der Druckerei kamen. Tüfteln am Limit!

Materialschlacht

Den ganzen Aufwand für den Transport und die Messegestaltung müssen wir natürlich zusätzlich finanzieren. An dieser Stelle ein kurzes Dankeschön an ein bekanntes, namentlich nicht genanntes Mitglied der ftc und die Firma bits and bricks [9], die jeweils eine Stützenbox finanzierten und damit das Budget deutlich entlasteten.

Für die Transportboxen inkl. Boden wurden ca. 120 m² OSB-Platten angeschafft und verbaut, über 100 m Dachlatten und ca. 500 Spaxschrauben, 200 Maschinenschrauben und Einschlagmuttern.

Jetzt aber sieht die Anlage sauber aus und ist sicher im Transport. Es gibt bestimmt noch viele Stellen, an denen wir deutlich nacharbeiten müssen und den Prozess verschlanken können, aber das sind Erkennt-

nisse, die man erst dann bekommt, wenn man sich auf eine Ausstellung wagt.

In diesem Sinne möchte ich hiermit alle Tüftlerinnen und Tüftler, groß und klein, motivieren, auch mit ihren Modellen auf eine Ausstellung zu gehen. Das muss nicht gleich so groß und umfangreich sein wie bei uns. Schon der Besuch der Conventions (z. B. der ftc:süd:con:24 am 12./13. Oktober 2024 in Sinsheim, auf der wir natürlich auch ausstellen werden) bedarf einer Planung, wie die Modelle transportiert und schnell aufgebaut werden können (ein Holzbrett aus Papas Keller hilft schon mal). Macht euch auch Gedanken, wie ihr euch und das Modell präsentiert (Texte, Bilder, Deko). Denn auch im Leben eines Ingenieurs gilt: Eine Erfindung muss verkauft werden – Klappern gehört zum Handwerk. Und manchmal helfen ja auch Sponsoren weiter – traut euch einfach, die Firmen zu fragen, auch das ist eine Erfahrung, die ich nicht mehr missen möchte.

Botschafter

Wir betrachten uns als Botschafter urbaner Seilbahnen. Dazu gehört natürlich mehr als nur ein tolles (sehr tolles) fischertechnik Modell zu haben. Mit der Ausstellung und den mit professioneller Hilfe entstandenen Texten haben wir den ersten Schritt dazu getan.

Auf der CCW24 konnten wir zudem an Workshops teilnehmen. Themen wie „Planung der Linienführung einer Seilbahntrasse“, „Wege aus dem urbanen Verkehrschaos“ oder „Urbane Seilbahnen kritisch beäugt“ für die Fachbesucher waren auch für uns interessant. Das Wissen haben wir untereinander ausgetauscht und lassen es in unsere eigenen Vorträge einfließen.

Im Auftrag des Landes NRW hielten wir an unserem Modell daher Führungen, unter anderem auch auf englischer Sprache. „Technik der Seilbahnen“, „Urbane Seilbahnen“ und „Behind the Scenes“ waren immer gut besucht – die Löcher in unserem

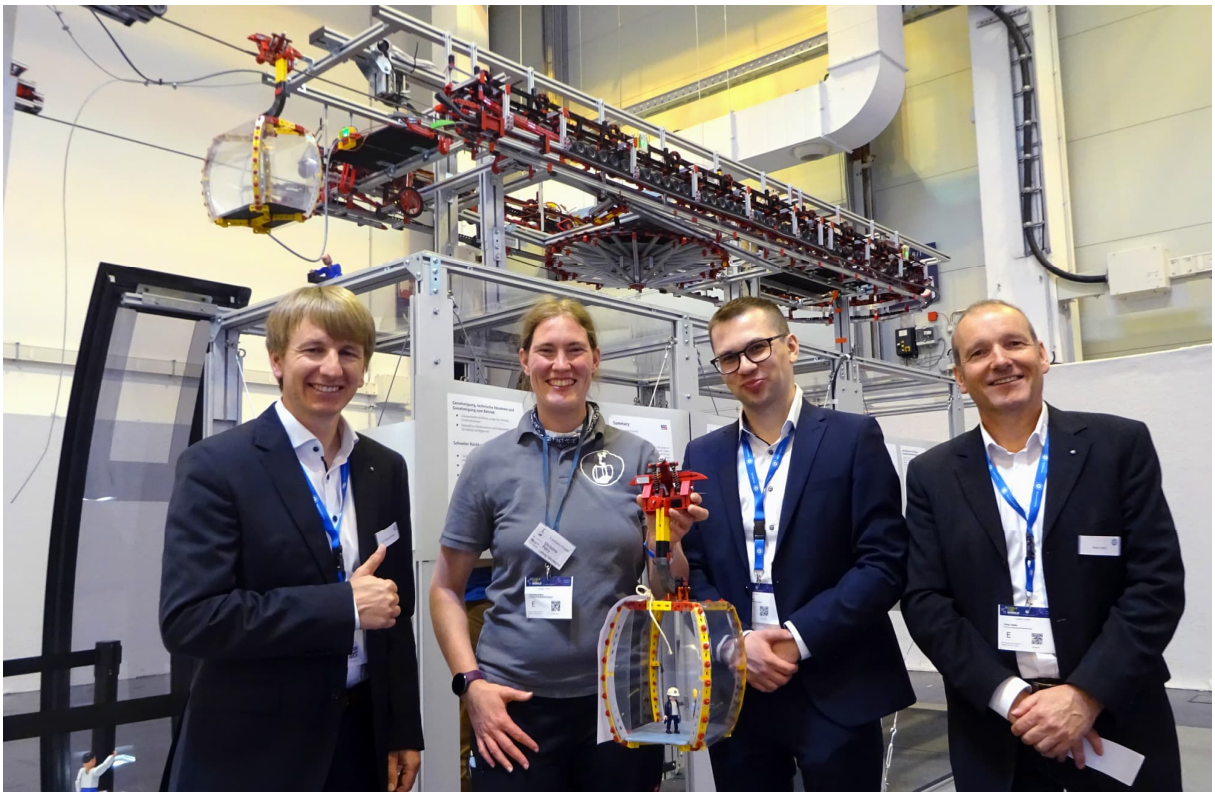


Abb. 22: Das Prüfungs-Team

Bauch, die uns die Teilnehmenden fragten, waren riesig. Dennoch gab unser Team ein perfektes Bild ab, dank guter Vorbereitung mit zusätzlichem Infomaterial und bereits gesammeltem Know-How. Gemeinsam und manchmal mit dem Verweis auf Doppelmayr wurden alle Fragen beantwortet.

Zum professionellen Auftreten trugen natürlich auch unsere einheitlichen Polos mit Aufdruck und ein gewisser Dresscode bei, ergänzt durch Namensschilder.

Sicher ist sicher

Eine kleine Ehrung erhielten wir vom TÜV Süd, der auch für die Prüfung und Sicherheit der großen Seilbahnanlagen weltweit zuständig ist. Zukünftig fahren in einer Gondel nicht nur zwei Playmobil-Figuren mit kritischem Prüferblick mit, sondern sind an unserer Anlage zwei Prüfsiegel angebracht, ganz wie bei den großen Seilbahnen.

Immerhin: Während der CCW24 ist kein Fahrzeug heruntergefallen oder steckengeblieben, keiner unserer Mitglieder hat sich beim Auf- oder Abbau verletzt und die Besucher waren sicher unter der UST. Unsere nächste Prüfung ist 2025 – mal sehen, was wir bis dahin alles noch viel besser machen können. Danke an Dr. Schober und Peter Hofer.

Neue Ziele

Dass unser Team auch gut versorgt wurde, war eine der Grundbedingungen in den Verhandlungen mit den Ausleihern (Land NRW). Fahrtkosten, Unterkunft in gutem Hotel, Vollverpflegung waren gesichert. Unser Kühlschrank war von uns gut gefüllt, die Kaffeemaschine im Dauerbetrieb. Trotz des Engagements des ganzen Teams gab es beste Stimmung ohne Strapazen.

Wie auf jeder Messe durfte die Party nicht fehlen. Nach dem ersten Messetag waren wir Teil der Ausstellerparty, verpflegten uns mit Häppchen und kühlen Getränken (diesmal nicht aus dem eigenen Kühlschrank). Das Wichtigste dabei: Smalltalk und Shake Hands.

Die CCW24 war rundum ein Erfolg, und wir haben das gemacht, was man auf solchen Veranstaltungen tut: Kontakte knüpfen. Zwar steht uns noch viel Arbeit bevor, bis wir die Abläufe optimiert haben und das Modell selbst wirklich fertig ist, aber schon heute gilt es, für die Zukunft zu planen.

Abb. 23: Sicherheit fährt mit: in einer unserer Kabinen fahren nun zwei Playmobil-Figuren des TÜV Süd mit, die uns als Anerkennung geschenkt wurden.

Wir freuen uns auf weitere Events, auf denen wir ausstellen dürfen. Die Ausleihbedingungen sind einfach und bei uns zu erfragen [11].

Zurück im Museum [9] sind wir ab Ende Juli 2024 wieder. Dort geht es dann an den hoffentlich finalen Bauabschnitt, die Anlage technisch fertigzustellen, die Ausstellung zu verbessern, Abläufe zu optimieren und das gigantische Projekt noch toller zu machen. Oh – und die Finanzierung noch einmal aufzubessern. Hier suchen wir Unterstützung: Vielleicht kennt ihr Firmen, die Interesse an einem Nebensponsoring haben?

Danke an das Messeteam der CCW24 für das rundum professionelle Auftreten. Das Team, das die Anlage bis zu diesem Punkt gebracht hat, sei ebenfalls mit Dank überschüttet, es ist unglaublich, was ihr auf die Beine gestellt habt. In unseren Videos [7] kann man euch dann auch bei der Arbeit sehen.

Was das Team in den vergangenen sieben Monaten geleistet hat, lässt sich schon an diesem länglichen Artikel erkennen. Dabei haben wir über den technischen Fortschritt am Modell noch gar nicht berichtet. Davon wird in der nächsten ft:pedia zu lesen sein.

Quellen

[1] *Cable Car World 2024*. Fachmesse und Kongress in Essen am 04./05. Juni 2024.

[2] Tilo Rust: *Schrägseilbrücke & ft:express*. Auf YouTube, 2021.

[3] Tilo Rust: *fischertechnik Seilbahnstation - Teil 1: das Projekt*. Auf YouTube, 2022.

[4] Tilo Rust: *Umzug zur BUGA23 - fischertechnik Seilbahn Modell*. Auf YouTube, 2023.

[5] Tilo Rust: *Großprojekt Seilbahn (Teil 4): Fundamentale Arbeiten*. ft:pedia 1/2022, S. 37–43.

[6] Tilo Rust: *Großprojekt Seilbahn (Teil 5): Bewegung*. ft:pedia 3/2022, S. 10–18.

[7] YouTube Kanal „Technik-Fischer“

[8] Tilo Rust, Stefan Fuss: *Großprojekt Seilbahn (Teil 8): Und sie bewegt sich doch!* ft:pedia 3/2023, S. 20–33.

[9] Firma bits & bricks GmbH

[10] Fördertechnik-Museum Sinsheim, Untere Au 4, 74889 Sinsheim (direkt neben dem Technik-Museum),

[11] Kontakt zur Projektgruppe „Seilbahn“, Projektleiter Tilo Rust, Schifferstadt, E-Mail: ft.seilbahn@gmail.com

Computing

Das „Bionic Maker Kit“

Jeroen Regtien

Der Beitrag gibt einen ersten Eindruck vom neuen fischertechnik-Bausatz „Bionic Maker Kit“ und stellt mehrere Möglichkeiten vor, daraus ein fahrendes bionisches Modell zu konstruieren. Zwei Prototypen mit einem Arduino Uno werden beschrieben: Einer mit einem Servo-Controller auf Basis eines PCA9685 und einer mit dem Adafruit Servo Shield – jeweils in Kombination mit Cloud- und Sprachsteuerung.

Einleitung

Vor kurzem hat fischertechnik drei neue Kits für Maker herausgebracht. Diese Bausätze unterscheiden sich von den meisten anderen fischertechnik-Baukästen, da sie nur wenige wesentliche Komponenten enthalten, die als Grundlage für verschiedene Modelle dienen können.

Das in diesem Beitrag vorgestellte Bionic Maker Kit (Abb. 1) enthält 8 Midi-Servomotoren, 24 Zusatzteile zum Einbetten der Servomotoren in fischertechnik-kompatible Gehäuse und ein paar weitere Teile, um ein Basismodell mit vier Beinen zu bauen. Alles andere fehlt, wie Controller oder Teile zur Verschönerung des Basismodells. Die Idee dahinter ist, dass der Erbauer seine Kreativität und sein Wissen einsetzen soll, um die Konstruktion weiterzuentwickeln und in Bewegung zu bringen.

Interessanterweise stellt fischertechnik in der Begleitdokumentation der Maker Kits auch STL-Dateien für Arduino- und Raspberry-Pi-Gehäuse zur Verfügung, was Maker tatsächlich ermutigen dürfte, auch andere Controller als den TXT 4.0 zu verwenden. Wer das Bionic Maker Kit mit Arduinos (oder ftDuinos) steuern möchte, dem sei das ftDuino-Handbuch von Till Harbaum [1] als hervorragende Einführung dafür empfohlen, wie man fischertechnik mit der Arduino-Welt kombinieren kann.

Abb. 1: Bionic Maker Kit

Ansteuerung der Servomotoren

Die mitgelieferten Midi-Servomotoren stammen von der Marke Master (Typ DS3012 MG), haben eine Versorgungsspannung von 4,8-6 V und eine Auslenkung von 180 Grad.

Von den fischertechnik-Controllern besitzt allein der TXT 4.0 Anschlüsse für Servomotoren – drei an der Zahl. Glücklicherweise gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, um dennoch acht (oder mehr) unabhängige Servomotoren anzusteuern – auch mit anderen fischertechnik-Controllern.

Die erste ist die Verwendung des weit verbreiteten 16-Kanal-12-Bit-PWM/Servo-Treibers PCA9685 als Zusatzmodul [2]. Dazu wird die Platine des PCA9685 vom Controller mit 3,3 oder 5 V versorgt; die Servos werden jedoch wegen des hohen Stromverbrauchs separat über den grünen Anschluss auf der Platine vom Netzteil mit 5 V versorgt.

Es gibt mehrere Versionen des Moduls auf dem Markt. Das Original stammt von Adafruit [2] und wird über das I2C-Protokoll gesteuert. Dies kann mit einer Vielzahl von Controllern erfolgen, darunter der TX, der TXT, der TXT 4.0 und der RX, sowie der ftDuino und die Arduino-Mikrocontroller-Familie.

In der ftCommunity findet man bereits viele Beschreibungen, wie das geht. Das Dokument „I2C fischertechnik“ von Axel Chobe [3] beschreibt, wie der PCA9685 von einem TX oder TXT gesteuert werden kann, es gibt einen hervorragenden Artikel von Dirk Fox, der ausführlich beschreibt, wie man das Board an einen TXT oder TX anschließt [4], und der Artikel über das servoShield und den servoDuino von Peter Habermehl [5] ist ein weiteres hervorragendes Beispiel dafür, wie man dieses Board mit dem ftDuino und fischertechnik kombinieren kann.

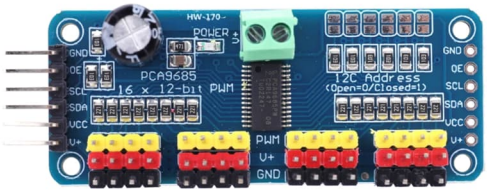


Abb. 2: PCA9685 Board

Für einen Arduino oder ftDuino als Controller wird die Adafruit PWM-Servo-Treiberbibliothek in der Arduino-IDE installiert. Im Internet findet man viele Erläuterungen, wie man den PCA9685 in der Arduino IDE-Entwicklungsumgebung mit C++ steuern kann. Im weiteren Verlauf dieses Beitrags folgen einige Beispiele.

Eine zweite Möglichkeit ist die Verwendung des Arduino Uno oder Mega mit einem Adafruit 16-Kanal-12-Bit-PWM Servo Shield mit I2C-Schnittstelle [3], ein PCA9685 in Gestalt eines Arduino- Shields. Der Vorteil der Verwendung eines Shields besteht darin, dass es Huckepack auf dem Arduino selbst angebracht werden kann, wodurch die Zahl der benötigten Kabel reduziert wird. Außerdem nutzt das Shield eine externe 5V-Stromversorgung, um die Servos zu versorgen. Das Shield verwendet dieselbe Softwarebibliothek wie das PCA9685-Board.

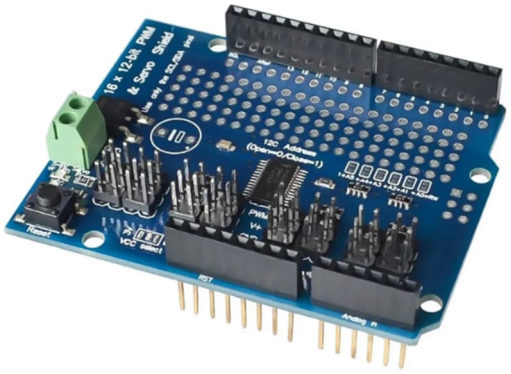


Abb. 3: Adafruit 16-Kanal 12-Bit PWM/Servo Shield mit I2C-Schnittstelle

Eine dritte Möglichkeit ist die Verwendung mehrerer TXT 4.0 Controller, von denen jeder drei separate Servomotoren ansteuern kann. Für den Bionic-Maker-Bausatz müsste man drei Controller verwenden; der RX Controller ist dafür nicht geeignet, da er keine Servoanschlüsse hat. Die drei TXT 4.0-Controller müssen in einer Art Master-Slave-Anordnung miteinander verbunden werden, da die Servo-Einstellungen synchronisiert werden müssen. Ich habe noch keine Erfahrung mit ROBO Pro Coding und weiß daher nicht, wie man das machen könnte.

Geichgewicht bionischer Modelle

Das Bionic-Maker-Kit ist eindeutig dafür ausgelegt, ein Modell mit Beinen zu konstruieren, das laufen kann. Nun, es sieht auf

jeden Fall aus wie eine hunde-, katzen- oder pferdeähnliche Figur. Ein solcher Roboter mit vier Beinen, die alle für die Fortbewegung verwendet werden, wird auch als Vierbeiner bezeichnet.

Damit der Roboter beim Gehen nicht umfällt muss ein Gleichgewichtszustand erreicht werden. Dies kann ein statisches oder ein dynamisches Gleichgewicht sein. Statisches Gleichgewicht bedeutet, dass der Roboter stabil bleibt, wenn eines seiner Beine vom Boden abgehoben wird. Dies ist jedoch nur möglich, wenn der Schwerpunkt innerhalb des Dreiecks der verbleibenden drei am Boden stehenden Beine liegt.

Abb. 4 zeigt zwei Gleichgewichtsfälle: einen stabilen (oben) und einen instabilen (unten).

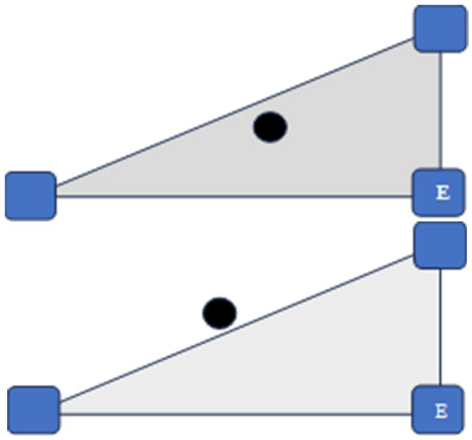


Abb. 4: Für das statische Gleichgewicht muss der Schwerpunkt über dem Dreieck der Standbeine liegen (oben)

Um mit allen vier Beinen gehen zu können, ist es wichtig, dass sich der Schwerpunkt so bewegt, dass beim Anheben eines der Beine immer ein stabiles Gleichgewicht besteht. Der Schwerpunkt wird durch die Masse und Position aller Komponenten des Objekts bestimmt; daher muss sich der Körper so bewegen, dass der Schwerpunkt immer über dem grauen Dreieck liegt, das von den drei Beinen gebildet wird, die stehen, während sich das vierte bewegt.

Es gibt mehrere Bewegungsmuster für Vierbeiner wie Schritt, Trab und Galopp. Beginnen wir mit dem einfachsten Gang, nämlich dem Schritt. Das Charakteristische dabei ist, dass drei Beine immer auf dem Boden sind, während sich das vierte vorwärts bewegt, dann das nächste, bis sich alle vier bewegt haben.

Die Abfolge in Abb. 5 zeigt ein Bewegungsmuster, bei dem sich der Körper zuerst so vorwärts bewegt, dass die Füße zurückbleiben. Dadurch verlagert sich der Schwerpunkt nach vorne. Dann können die Füße nacheinander nachgezogen werden. Durch Wiederholen des Musters entsteht eine Schrittbewegung.

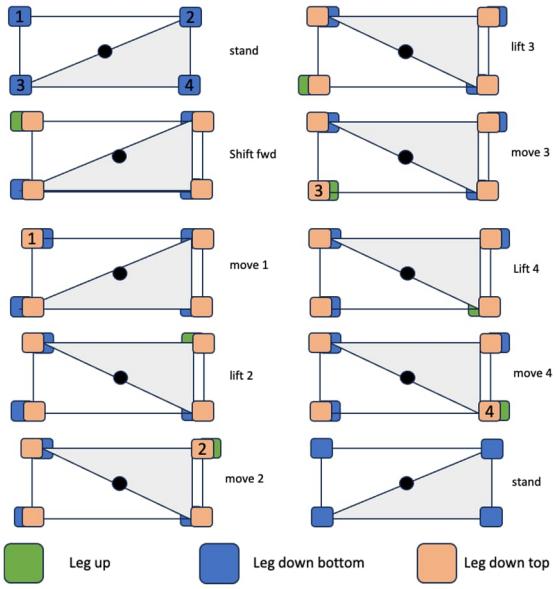


Abb. 5: Ein schrittweises Gehmuster

Eine andere Art von Gleichgewicht ist das dynamische Gleichgewicht. Es wird bei einer schnellen Bewegung mit instabilem Gleichgewicht erreicht, wenn zu dem Zeitpunkt, an dem der Roboter zu fallen droht, bereits ein Bein den Boden berührt und einen Sturz verhindert. Es ist im Moment zu ehrgeizig, das Bionic-Maker-Kit auf diese Weise zu bewegen, aber ich bin sicher, dass ein fischertechniker das im Laufe der Zeit hinbekommen wird.

Bei dieser Art von vierbeinigen Robotern lassen sich zwei Typen unterscheiden: solche, bei denen ein Schenkel aus zwei und solche, bei denen ein Schenkel aus drei

Servomotoren besteht. Ein Bein, das aus zwei Servomotoren besteht, bewegt sich nur wie oben beschrieben in einer Ebene (vorwärts, rückwärts) hin und her. Ein Bein mit drei Servomotoren hat sozusagen eine zusätzliche Hüfte oder Schulter, mit der es auch seitlich bewegt werden kann.

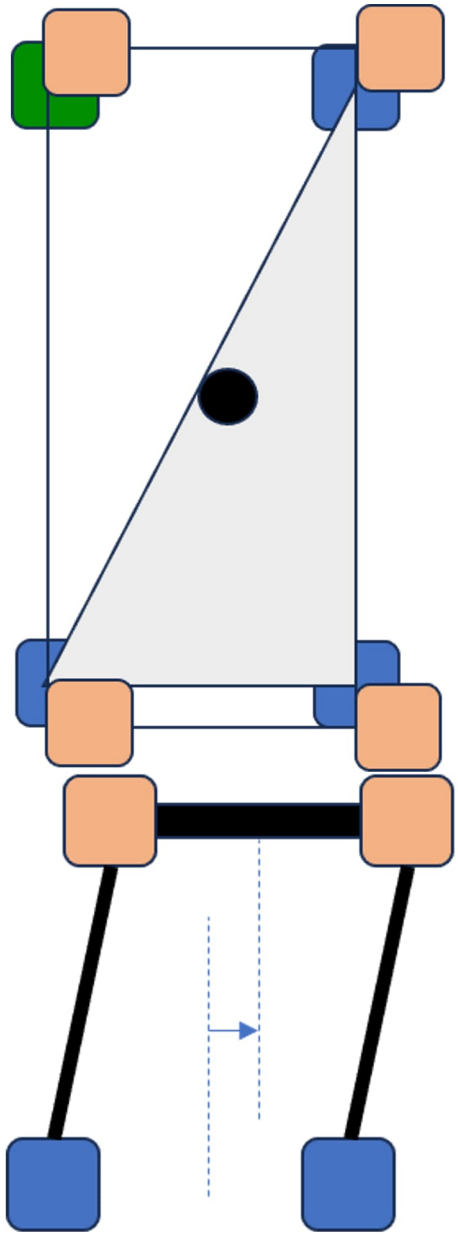


Abb. 6: Verlagerung des Schwerpunkts

Abb. 7 zeigt die verschiedenen Konstruktionen: Unten das Bein mit drei Servomotoren, oben die einfachere Version ohne Hüfte oder Schulter. Warum ist dieser dritte Motor pro Bein wichtig?

Mit Beinen, die aus drei Servomotoren bestehen, ist es viel einfacher, ein statisches Gleichgewicht herzustellen (siehe Abb. 6).

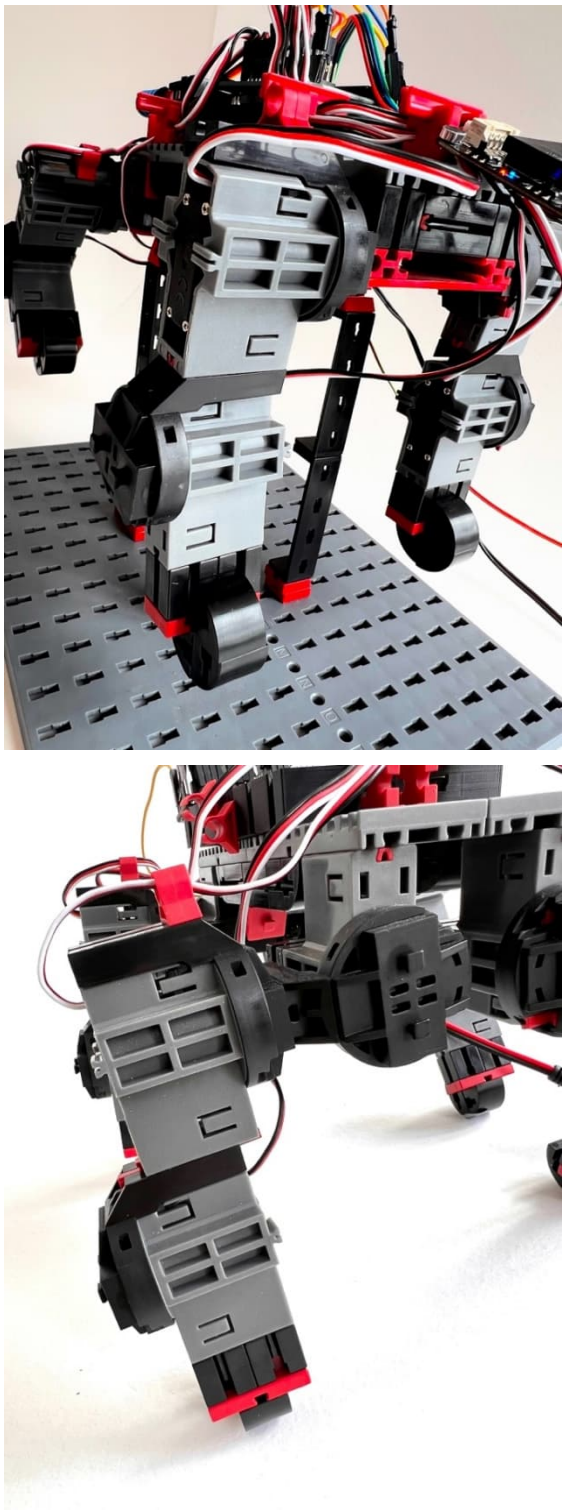


Abb. 7: Bein mit zwei Servos (oben) und einem zusätzlichen Hüftservo (unten)

Software

Wie implementiert man das Gehen für einen Vierbeiner in Software? Eine Methode basiert auf der sogenannten inversen Kinematik. Das sind trigonometrische Formeln, die die Winkel der Servomotoren für die Kurve berechnen, in der sich der Fuß bewegen muss. Es gibt Softwarebibliotheken im Internet, sodass man nicht alle diese Berechnungen selbst programmieren muss.

Die zweite Methode, die bei den unten beschriebenen Prototypen verwendet wird, definiert die Endpunkte des Zustands, in dem sich das Modell befinden muss, indem für jeden der Servos die Winkel angegeben werden. Die Software interpoliert von einem Zustand in den anderen, sodass flüssige Bewegungen entstehen.

Zustand	Aktion
Basis	Alle Beine angewinkelt (wie auf dem Foto auf dem Karton)
Stehen	Alle Winkel 180 Grad
Sitzen	Hinterbeine angewinkelt
Pfote geben	Rechte Vorderpfote hebt und kehrt zurück
Gehen oder Schritt	Die Schritte wie in Abbildung 5 beschrieben
Schwanz wackeln	Heckservo vibriert

Tabelle 1

Es gibt zwei Möglichkeiten einen Servomotor zu steuern. Die erste besteht darin, ein Rechtecksignal mit variabler Periodendauer (PWM) zu senden. Die Impulsbreite kann sich von Servotyp zu Servotyp und sogar zwischen zwei Servos desselben Typs unterscheiden. Jeder Servo muss daher kalibriert werden, um die minimal und maximal zulässigen Impulslängen zu ermitteln.

Die zweite Methode besteht darin, eine Impulslänge in Mikrosekunden anzugeben, wobei ein Impuls von 1000 ms 0 Grad und 2000 ms 180 Grad entspricht. Doch kann es auch hier Unterschiede zwischen den Servos geben, daher ist ebenfalls eine Kalibrierung erforderlich.

Die Standard-Arduino-Funktion map kann verwendet werden, um den gewünschten Winkel mit den zuvor festgelegten Kalibrierungswerten auf eine Pulsbreite zu übertragen.

Das Hauptsegment der C++-Headerdatei unten zeigt die Deklarationen für die Zustandsarrays mit einem Eintrag für jedes der maximal 16 Servos sowie die FTServo-Klassendefinition und die Methoden. Die Software merkt sich die aktuelle und vorherige Position jedes Servos, so dass der vorherige Zustand bei Bedarf wiederhergestellt werden kann. Die Software wurde so konzipiert, dass sie beide Versionen von Beinen steuern kann, mit und ohne Hüfte.

```
const int posSit[16] = {0,50,75,170,110,70,
70,70,67,75,77,75,0,0,0,30};
const int posStand[16] = {77,75,75,80,80,
70,70,70,67,75,77,75,0,0,0,0};
const int posLeanLeft[16] = {77,75,75-
LEANANGLE,80,80,70-LEANANGLE,70,70,
67+LEANANGLE,75,77,75+LEANANGLE,0,0,0,0};
const int posLeanRight[16] = {77,75,
75+LEANANGLE,80,80,70+LEANANGLE,70,70,67-
LEANANGLE,75,77,75-LEANANGLE,0,0,0,0};
const int posBase[16] = {30,45,75,120,100,
70,20,40,67,110,100,75,0,0,0,0};
const int posForward[16] = {30,35,75,120,
110,70,20,30,67,110,110,75,0,0,0,0};
const int posWalkLeg1[16] = {0,55,75,150,
100,70,0,60,67,150,85,75,0,0,0,0};
const int posWalkLeg2[16] = {0,75,75,150,
80,70,0,80,67,150,65,75,0,0,0,0};
const int posWalkLeg3[16] = {60,75,75,100,
80,70,55,80,67,90,65,75,0,0,0,0};

class FTServo {

protected:
  int numServos;

  // sequence = RBL RBU RBS LBL LBU LBS RFL
RFU RFS LFL LFU LFS NECK TAIL EYEL EYER
  // R=right, L=left, B=back, F=front,
L=lower, U=upper, S=shoulder
  int posCurrent[16] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0};
  int posPrevious[16] = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,
0,0,0,0,0,0,0};

public:
  FTServo(int n) {
    numServos = n;
  }
```

```
  void begin();
  void sit();
  void stand();
  void base();
  void forward();
  void giveLeg(int lorr);
  void returnLeg(int lorr);
  void leanLeft();
  void leanRight();
  void wiggleTail(int number);
  void walkLeg(int leg, bool lean);
  void loopAngleRange(int nServo, int
startAngle, int endAngle, int sDelay);
  int angleToPulse(int angle);
  int angleToMicroSeconds(int angle);
  unsigned int degree2ms(unsigned int
degrees);
  void initialiseAll();
  int getNumServos();
};
```

Listing 1

Beim Wechsel von einem Zustand in den anderen ist es nicht ratsam, zuerst einen Servo zu bewegen, dann den nächsten usw. Das führt zu ungleichmäßigen Bewegungen und sieht unnatürlich aus. Wenn das Modell sich setzt, sollten sich beide Beine gleichzeitig beugen und nicht nacheinander. Man muss daher kleine inkrementelle Änderungen für jeden Schenkel durchlaufen, wobei der Winkelunterschied zwischen Anfangs- und Endzustand für jeden Schenkel unterschiedlich sein kann.

Nicht so:	Sondern so:
Schleife über Servos: Schleife über kleine Winkel vom Anfangs- bis zum Endzustand	Schleife über kleine Winkel vom Anfangs- bis zum Endzustand: Schleife über Servos

Tab. 2

Der folgende Code stellt die Implementierung des ‚sitzt'-Zustands dar. Die innere Schleife passt alle Servos an, die äußere Schleife diskretisiert die Änderung zwischen dem alten und dem neuen Winkel.

```
void FTServo::sit() {

  int angle = 0;
  int increment = 0;

  for (int step = 1; step < NUMSTEP; step
+= 1) {
    for (int i = 0; i <= NUMSERVO; i += 1)
{
      increment = (posSit[i] -
posCurrent[i]) * step / NUMSTEP;
      angle = posCurrent[i] + increment;
      pwm.setPWM(i, 0,
angleToPulse(angle));
    }
  }
  for (int i = 0; i <= NUMSERVO; i += 1) {
    posPrevious[i] = posCurrent[i];
    posCurrent[i] = posSit[i];
  }
}
```

Listing 2

Eine Beinbewegung besteht aus drei Zuständen: WalkLeg1, 2 und 3. Der erste hebt den unteren Teil des Beins an, der zweite bewegt den Oberschenkel nach vorne und der dritte streckt das Bein erneut.

Im folgenden Codebeispiel bewegt sich der Vierbeiner vier Zyklen vorwärts, indem er jedes Bein der Reihe nach bewegt. Die Gehgeschwindigkeit kann über einen Parameter gesteuert werden; die bei den Prototypen verwendeten Werte variierten zwischen 1 und 100 Millisekunden.

```
for (int i = 1; i < 5; i++) {
  ftServo.forward();
  delay(walkDelay);

  ftServo.walkLeg(RBL, false);
  delay(walkDelay);

  ftServo.walkLeg(RFL, false);
  delay(walkDelay);

  ftServo.walkLeg(LBL, false);
  delay(walkDelay);

  ftServo.walkLeg(LFL, false);
  delay(walkDelay);
}
```

Listing 3

Prototyp 1: Zweimotorige Beine

Der erste Prototyp hat vier Beine mit je zwei Servomotoren, genau wie im Beispiel des Bionic-Maker-Bausatzes, und einen Mikro-Servomotor (132292) des BT-Steuerungssets zum Wackeln des Hecks. Gesteuert wird es mit einem Arduino R4 Wifi und einem Adafruit 16-Kanal Servo Shield. Im Moment wird es extern mit Strom versorgt.

Die Bewegungen und Reaktion der Prototypen auf die Sprach- und Cloud-Steuerung sind in einem YouTube-Video zu sehen [8].

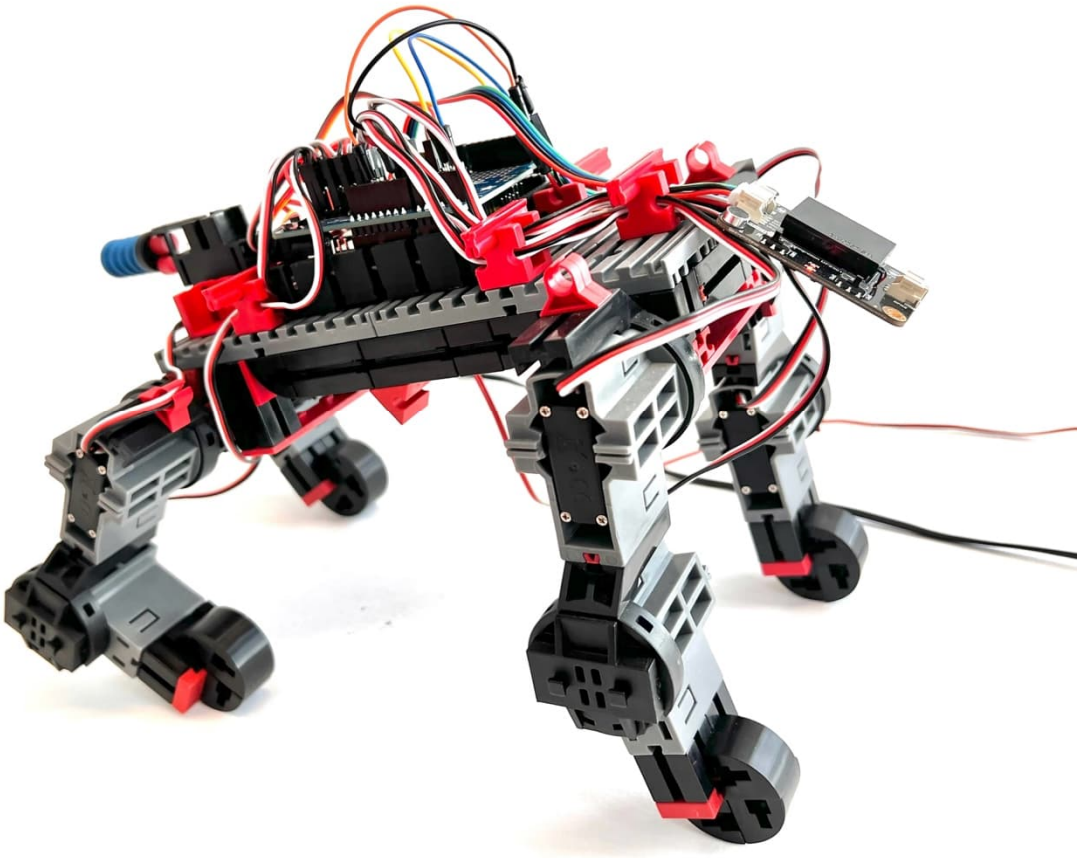


Abb. 8: Prototyp 1 mit Arduino und Servo Shield oben sowie der Spracherkennungseinheit vorne

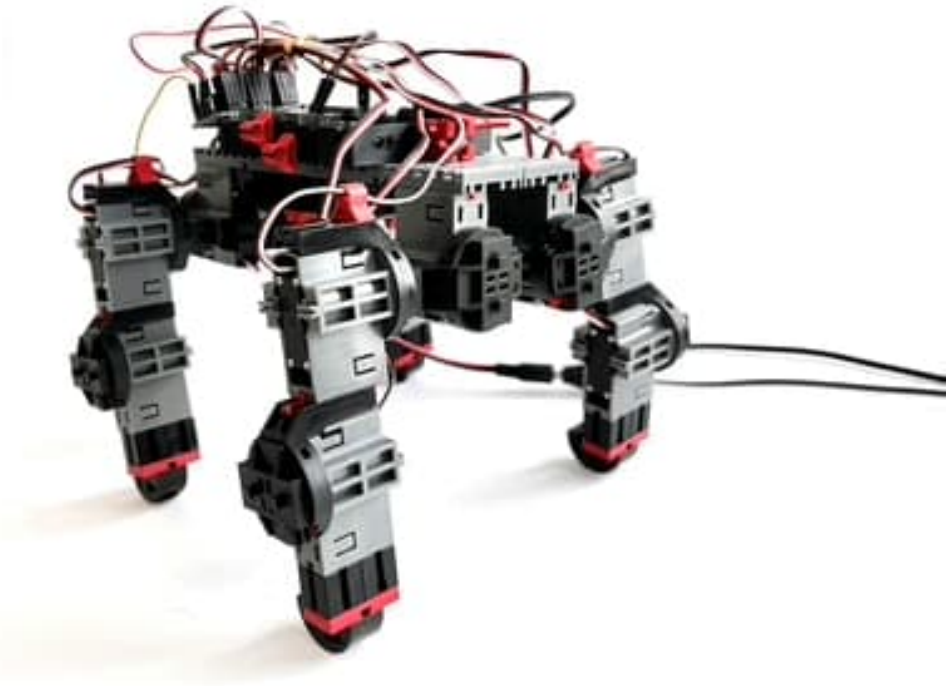


Abb. 9: Prototyp 2 mit Arduino und separatem PCA9685 Board

Prototyp 2: Dreimotorige Beine

Dieser Prototyp hat Hüften bzw. Schultern, also einen dritten Servomotor pro Bein. Er ermöglicht Bewegungen des Beins in der dritten Dimension, macht das Modell aber auch schwerer. Es wird ebenfalls mit einem Arduino R4 Wifi gesteuert, aber der verwendete Servoregler ist eine PCA9685-Platine. Auch dieses Modell wird extern mit Strom versorgt; der Prototyp ist ebenfalls im Video in Aktion zu sehen.

Nachdem ich mit den Prototypen experimentiert hatte, hatte ich einige Bedenken hinsichtlich der Möglichkeit, der Plattform Gewicht hinzuzufügen, wie insbesondere eine schwere Batterie, da dies die Instabilität des Modells erhöht. Es bleibt abzuwarten, ob die gewählten Servomotoren stark genug für schwerere Modellaufbauten sind.

Fern- und Sprachsteuerung

Eine Fernbedienung ist für diese Art von Modellen unerlässlich. Mit relativ geringem zusätzlichen Aufwand können Fernbedienungsfunktionen mit Lösungen aus dem Arduino-Universum hinzugefügt werden.

Da es sich bei dem verwendeten Arduino UNO-Typ um den R4 Wifi handelt, ein kürzlich eingeführtes und WiFi-fähiges Modell, konnten die Arduino Cloud und ihre Fernsteuerungsfunktionen voll ausgeschöpft werden. Mit der Erstellung einer Cloud-Anwendung, auf die mit einem Desktop, Laptop, Tablet oder Mobiltelefon zugegriffen werden kann, kann man Befehle an den Arduino R4 senden und das Bionic-Modell so in Bewegung setzen.

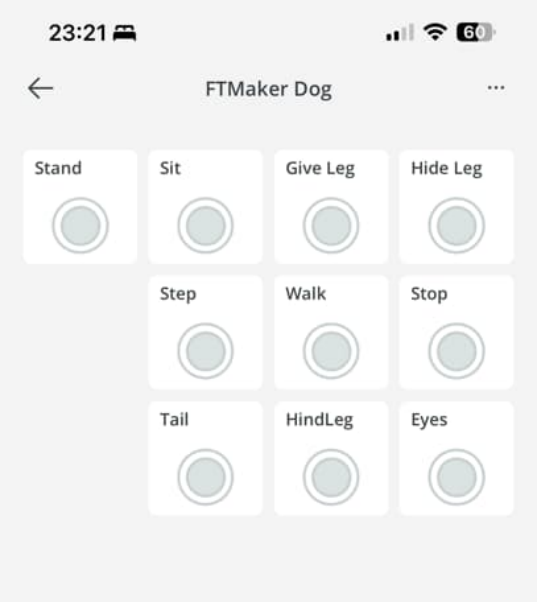


Abb. 10: IOT-Steuerungs-App für Prototyp 1.

Eine zweite Möglichkeit, das bionische Modell zu steuern, sind Sprachbefehle. Seit kurzem ist ein erschwinglicher und einfach zu bedienender Offline-Spracherkennungssensor von DFRobot [7] erhältlich, der über I2C mit dem Controller verbunden werden kann. Es werden Beispiele und YouTube-Anleitungsvideos geliefert; damit erwies es sich als nicht schwierig, die Spracherkennung mit den Bionic-Arduino-Skripten zu kombinieren. Dadurch konnte Prototyp 1 auch mit Sprachbefehlen gesteuert werden, wie im Video zu sehen [8].

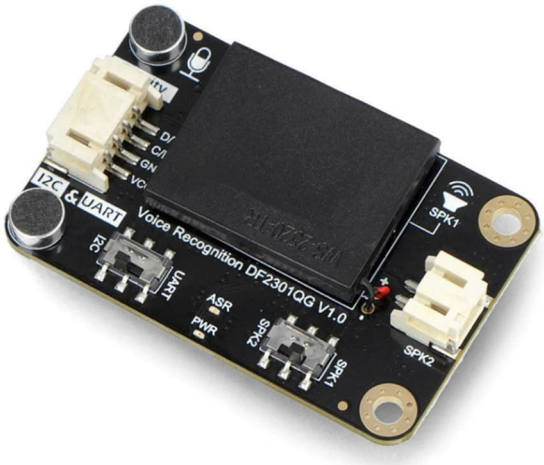


Abb. 11: DFRobot DF2301Q Sprachsteuerung

Fazit und weitere Arbeiten

Das Bionic Maker Kit ist ein großartiger Bausatz für die Entwicklung beweglicher Roboter. Wie der Name „Maker“ schon sagt ist es kein sofort einsatzbereiter Baukasten. Sowohl hinsichtlich des (Servo-) Controllers als auch der Software zur Steuerung der Beine bleibt einiges zu entwickeln.

Es gibt auch Alternativen zu den im Beitrag beschriebenen Ansätzen einer Arduino-basierten Lösung. Ich bin sicher, dass im Laufe der Zeit Lösungen verfügbar sein werden, die die Schwelle für die Konstruktion eines leistungsfähigen Laufroboters senken werden. In diesem speziellen Fall müssen die Gehmuster sowohl verfeinert als auch erweitert werden; noch ist mein Ergebnis verbesserungswürdig.

Darüber hinaus werden sicher mit einem 3D-Drucker maßgeschneiderte Gehäuse für die elektronischen Platinen entwickelt, damit sie besser auf die Plattform passen, und diese über Thingiverse zur Verfügung gestellt. Schließlich muss die Verkabelung verbessert und geklärt werden, ob eine Bordbatterie machbar ist. Zuletzt muss noch die Software „aufgeräumt“ werden; ich werde dies auf Github mitteilen, sobald es erledigt ist.

Euch wünsche ich viel Spaß und Erfolg mit diesem Kit und freue mich auf den Erfahrungsaustausch im ftCommunity-Forum.

Referenzen

[1] Till Harbaum: *ftDuino, ein fischertechnik-kompatibler Arduino*. Bedienungsanleitung, 12-1-2021.

[2] Adafruit: *16-channel 12 bit PWM/Servo Driver – I2C interface*.

[3] Axel Chobe: *I2C fischertechnik* (Stand: 18.03.2023)

[4] Dirk Fox: *I²C mit dem TX(T) – Teil 16: Servo-Driver*. ft:pedia 2/2017, S. 41–47.

[5] Peter Habermehl: *Servo-Ansteuerung mit servoShield und servoDuino*. ft:pedia 1/2019, S. 83–86.

[6] Adafruit: *16-channel PWM/Servo Shield*.

[7] DFRobot: *Gravity Offline language learning voice recognition sensor for micro:bit / Arduino / ESP32 – I2C & UART*

[8] Jeroen Regtien: *Bionic Maker Kit, first impressions* (Video). youtube.com

Computing

IoT mit MQTT und Node-RED

Axel Chobe

In der Software ROBO Pro Coding gibt es u. a. den Punkt Cloud/MQTT mit den entsprechenden Blöcken. Während das Thema Cloud im Netz gut beschrieben ist, gibt es zum Thema MQTT kaum Informationen. In der Hilfe von ROBO Pro Coding werden zwar die einzelnen Blöcke beschrieben, aber es fehlt ein komplettes Beispiel, um alle Zusammenhänge zu verstehen. Weiter wird in der Hilfe beschrieben, dass der TXT 4.0 einen eigenen MQTT-Broker besitzt; es fehlt aber der Hinweis, dass auch ein Node-RED inklusive Dashboard zur Verfügung steht. Dieser Beitrag zeigt an zwei einfachen Beispielen das Zusammenspiel aller o. g. Elemente. Dabei werden Grundkenntnisse von Node-RED vorausgesetzt.

Begriffsbestimmungen

IoT

Der Begriff Internet der Dinge oder Internet of Things (IoT) steht für eine vernetzte Welt aus „smarten“, d. h. „intelligenten“ Geräten. Diese IoT-Geräte verhalten sich wie Computer und sind lokal oder über das Internet mit anderen Geräten vernetzt.

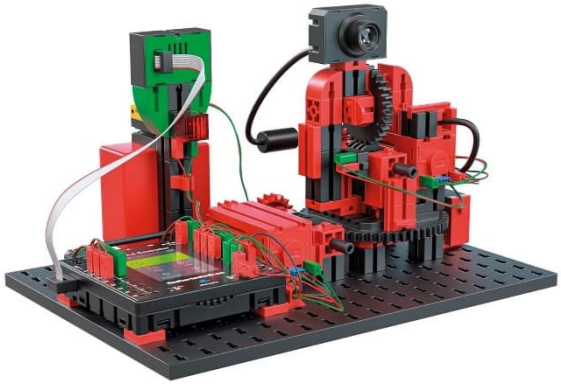


Abb. 1: Robotics Add On IoT (559897)

MQTT

MQTT steht für „Message Queuing Telemetry Transport“. Es ist ein offenes Netzwerkprotokoll für Machine-to-Machine-Kommunikation, das die Übertragung von Telemetriedaten in Form von Nachrichten zwischen Geräten ermöglicht. MQTT funktioniert nach dem Publisher-/Subscriber-Prinzip und wird über einen zentralen Broker betrieben. Das bedeutet, dass Sender und Empfänger keine direkte Verbindung haben.

Node-RED

Node-RED ist ein von IBM entwickeltes grafisches Entwicklungswerkzeug. Die Software ermöglicht es, Anwendungsfälle im Bereich des Internets der Dinge mit einem einfachen Baukastenprinzip umzusetzen (Abb. 2). Die einzelnen Funktionsbausteine werden durch Ziehen von Verbindungen verbunden. Zur Zeit gibt es von fischertechnik noch keine Funktionserweiterungen für die Ein- und Ausgabe des TXT 4.0.

Dashboard

Das Dashboard ist eine grafische Oberfläche, auf der die Daten, die in Node-RED erzeugt oder ausgelesen werden, visualisiert werden (Abb. 3).

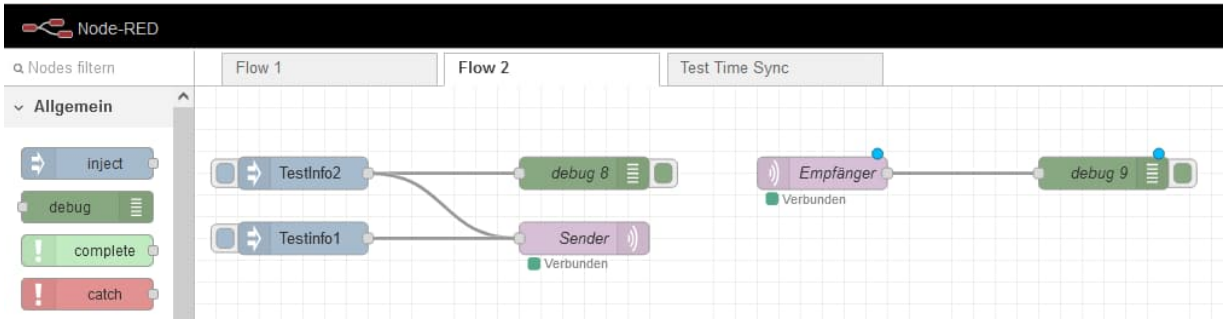


Abb. 2: Node-RED

Abb. 3: Dashboard

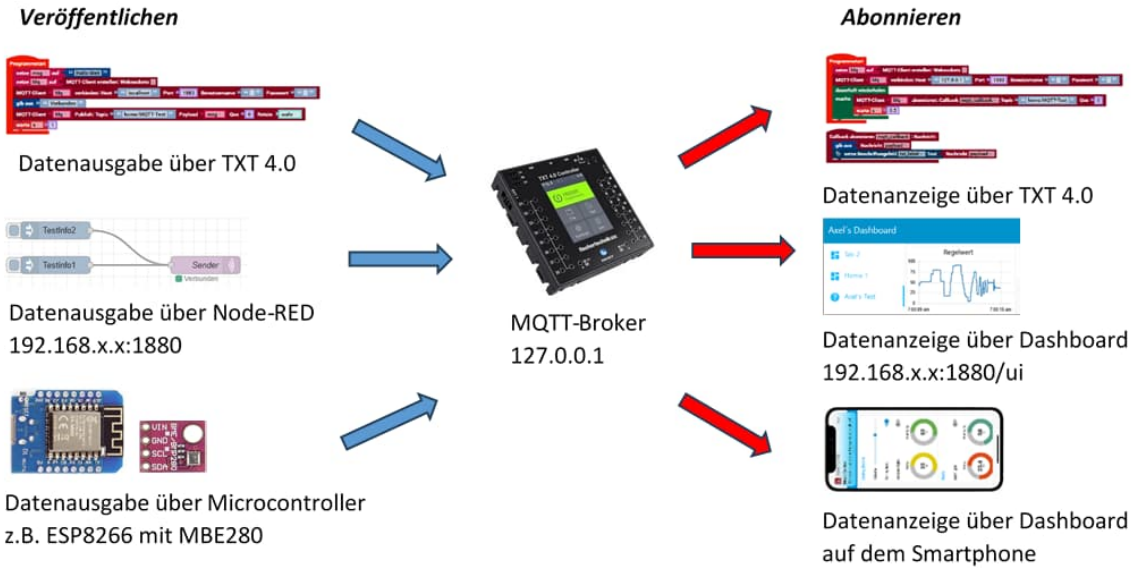


Abb. 4: Nutzung des TXT 4.0 als MQTT-Broker

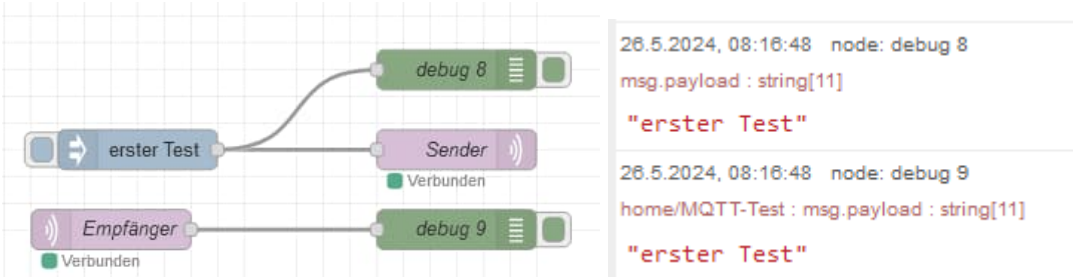


Abb. 5: Test des MQTT-Brokers

Nutzung mit fischertechnik

Das Zusammenspiel der Komponenten mit dem TXT 4.0 zeigt Abb. 4. Der Zugriff auf die Software mit dem TXT 4.0 gelingt dabei unter den folgenden IP-Adressen und Ports:

MQTT-Broker	127.0.0.1 oder Lokalhost
Node-RED	192.168.x.x:1880
Dashboard	192.168.x.x:1880/ui

Für 192.168.x.x muss die IP-Adresse des eigenen TXT 4.0 verwendet werden.

Daten mit ROBO Pro Coding an MQTT-Broker senden und abrufen

Nun soll die Funktionsfähigkeit des MQTT-Brokers mit einem Node-RED-Beispielprogramm getestet werden. Dazu wird eine Nachricht an den Broker gesendet und gleich wieder abgerufen. Beide Texte werden dann im Debug-Fenster angezeigt (Abb. 5).

Abb. 6: Konfiguration

Wichtig ist dabei, dass in den beiden Nodes (Sender und Empfänger) die Adresse und der Port des TXT eigenen Brokers eingetragen sind (Abb. 6). Auch muss der Topic-Name (Thema) bei beiden gleich sein.

Die zu übertragene Nachricht wird in der Variablen msg gespeichert. Zuerst wird der MQTT-Client erstellt und in einer Variablen abgespeichert (ROBO-Pro-Coding-Programm in Abb. 7).

Im nächsten Schritt verbindet sich der Client mit dem angegebenen Host (hier: der TXT 4.0 unter Localhost) und dem entsprechenden Port. Ansonsten gibt es Broker auch als Open-Source-Produkte, wie Eclipse Mosquitto oder HiveMQ.

Zur Kontrolle der Verbindungsaufnahme erfolgt nun die Ausgabe eines kurzen Textes („Verbunden“) via Node-RED in der Konsole.

Im letzten Schritt wird die vorbereitete Nachricht in der Variablen msg auf dem MQTT-Broker unter dem entsprechenden Topic abgelegt. Das funktioniert wie ein „schwarzes Brett“ oder „Thema“, auf das sich Sender und Empfänger einigen müssen. Dabei sind Topics von der Funktions- und Schreibsyntax Ordnern in einem Filesystem sehr ähnlich.

Hinweis: Qos (Quality of Service) ist eine Vereinbarung zwischen Sender und Empfänger für die Garantie der Nachrichtenübermittlung (0 = höchstens einmal, 1 = mindestens einmal, 2 = genau einmal).

Auf Empfängerseite (hier: Node-RED vom TXT 4.0) wird nun die empfangene Nachricht in der Empfänger-Node übernommen und im Debugfenster ausgegeben.

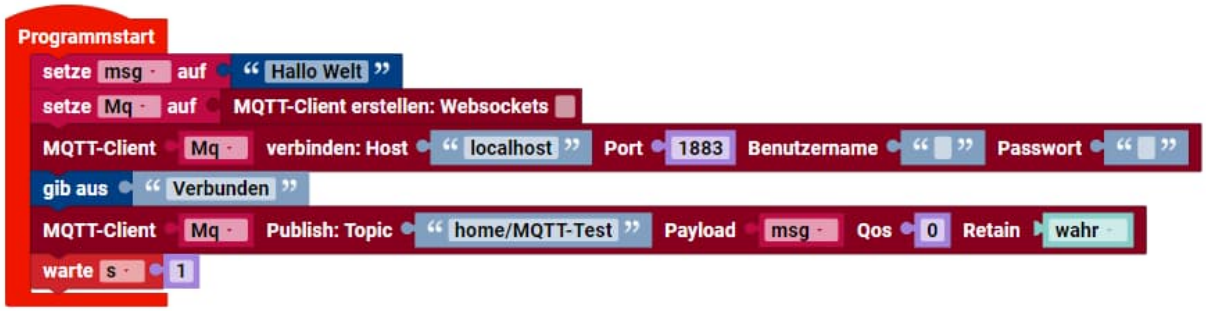


Abb. 7: ROBO-Pro-Coding-Programm zum Senden einer Nachricht an den MQTT-Broker

Abb. 8: Node-RED-Ausgabe der Nachricht

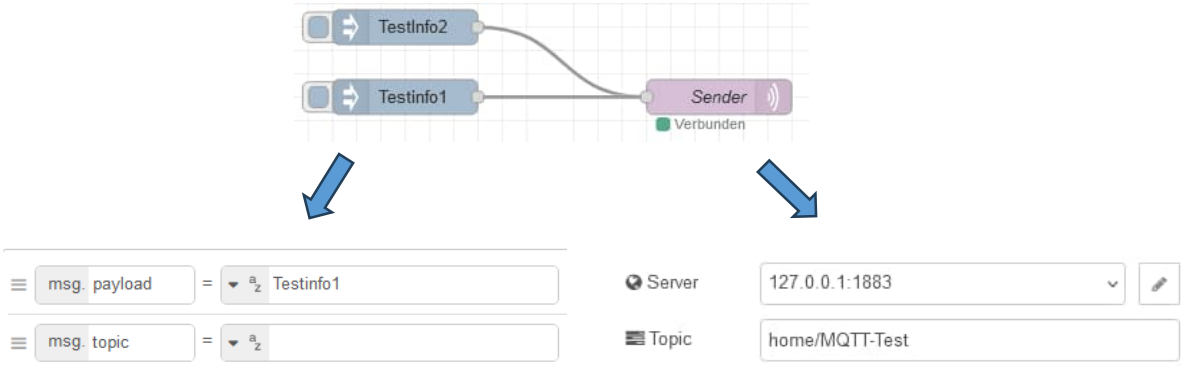


Abb. 9: Empfang der Daten von Node-RED

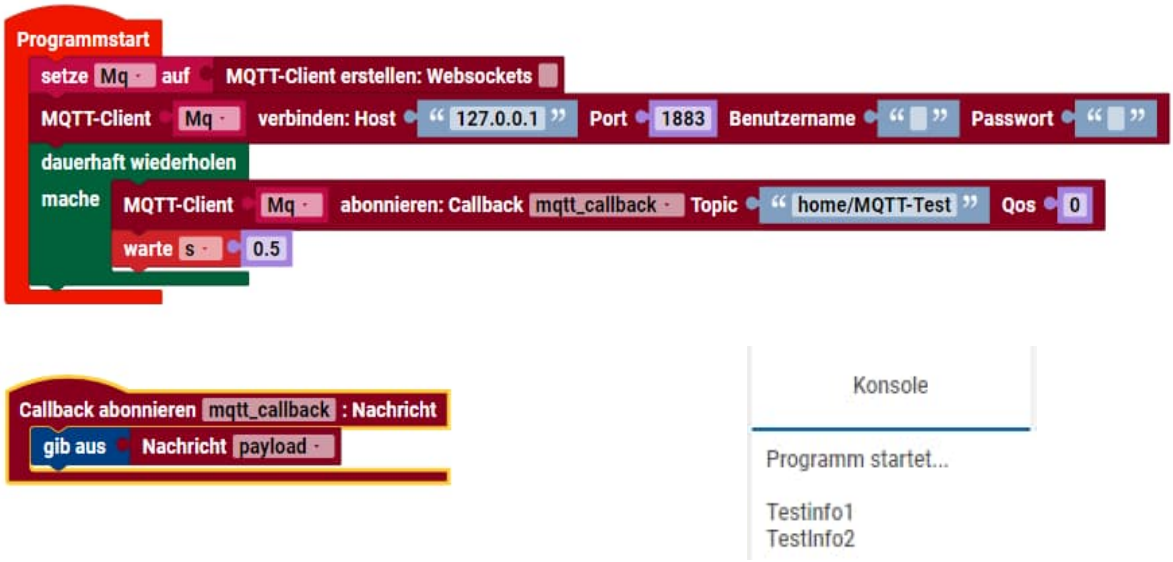


Abb. 10: ROBO-Pro-Coding-Programm zum Abruf der Nachricht

Daten via Node-RED an MQTT-Broker senden und abrufen

Im zweiten Beispiel wird die Nachricht von einem Inject-Node als String an den Node Sender übergeben, der die Nachricht auf dem angegebenen MQTT-Broker unter dem vordefinierten Topic ablegt (Abb. 9). Das ROBO-Pro-Coding-Programm erstellt zuerst wieder den MQTT-Client und speichert ihn in einer Variablen. Dann wird eine Verbindung mit dem Host hergestellt. In der folgenden Schleife wird die Nachricht unter dem vereinbarten Topic abgerufen und ausgegeben (Abb. 10).

Fazit

Mit diesen Kenntnissen, sollte es gelingen, die IoT-Möglichkeiten des TXT 4.0 in eigenen Projekten einzusetzen. So können mit dem Microcontroller ESP8266 z. B. Wetterdaten o. ä. mit ROBO Pro Coding ausgewertet werden. Andersherum können auch die Eingangswerte vom TXT 4.0 über das Dashboard auf dem Smartphone beobachtet werden.

Computing

Ein Buch über ROBO Pro Coding und die TXT 4.0, BT Smart und RX Controller

Holger Howey

Der Anlass der Idee, ein Buch zu schreiben, war, dass es doch recht wenige Informationen zum Programmieren mit ROBO Pro Coding gibt. Zu einzelnen Fragen und Problemen gibt es nur die recht kurzgehaltene Dokumentation im Programm und das Forum der ftCommunity. Ich habe versucht, alle Informationen zu ROBO Pro Coding und den Controllern zu sammeln.

Auch habe ich sehr viel selber ausprobieren müssen. Einige Informationen zu den Befehlen kann man auch durch den erzeugten Python-Code sammeln, in dem man in der Python-Hilfe nach den Befehlen sucht. Wo wir nicht weiterkamen, erhielten wir Hilfe von fischertechnik selbst. So z. B. für I²C, zu dem wir ein Python-Beispiel zur Verfügung gestellt bekommen haben. Nun ist es möglich, eigene Hardware am TXT 4.0 zu betreiben.

Abb. 1: Geplante Titelseite

Kostenlos als PDF

Nach nun rund sechs Monaten sind etwa 460 Seiten an Informationen zusammengekommen. Ich finde, dass nun der Zeitpunkt da ist, um das Buch – statt als Vorabdruck – als Version 1.0 rauszugeben. Da ständig neue Informationen kommen und geschätzte 98% der Informationen da sind, wird das Buch (wie das fischertechnik-Riesenradbuch) als kostenlose PDF-Datei zum Download angeboten.

Da noch ein paar Kleinigkeiten gemacht werden müssen, kann es sein, dass es erst nach dem Erscheinen dieser ft:pedia-Ausgabe veröffentlicht wird.

Zusammen mit Axel Chobe, der eine hervorragende Kurzinformation zu den Befehlen erstellt hat, sind wir alle Befehle durchgegangen und haben uns beide jeweils ergänzt. Auch viele andere Fans haben zum Buch beigetragen. Auch die Infos zu ROBO Pro auf dem TXT 4.0 von Torsten Stuehn durfte ich übernehmen. Danke nochmal dafür.

Der Aufbau des Buches

- Schnellstart
- Hilfreiches ROBO-Pro-Coding-Lesezeichen mit allen Reitern in den fischertechnik-Farben

- Grundlagen zum Programm und zur Bedienung von ROBO Pro Coding
- Bedienung der einzelnen Controller
  - Allgemeine Übersicht
  - Speziell TXT 4.0 – RX – BT Smart Controller
- Alle ROBO-Pro-Coding-Befehle in der Reihenfolge wie im Programm
- Speziell Themen (mehrere Controller, I²C…)
- AI/KI-Modelle und weitere Infos dazu
- Liste der verwendeten Abkürzungen
- Omniwheels – Neue Infoblätter mit ROBO-Pro-Coding-Blöcken
- Beispielprogramme anderer fischertechnik-Kästen in ROBO Pro Coding umgesetzt und gegenübergestellt
  - Robotics BT Beginner
  - BT Smart Beginner
  - STEM Coding Pro
- Übersichtsblätter aller ROBO-Pro-Coding-Befehle für den TXT 4.0
- Übersichtsblätter aller ROBO-Pro-Coding-Befehle für den RX-Controller
- Übersichtsblätter aller ROBO-Pro-Coding-Befehle für den BT Smart-Controller

Gerade so kleine Hilfen wie das Lesezeichen sind sinnvoll, wenn man die Beispielprogramme von fischertechnik kennenlernen möchte. Die Farben entsprechen denen der Reiter und der Befehle. So kann man die Befehle leichter wiederfinden.

Auch die Befehlsübersichten der einzelnen Controller am Ende des Buches kann man sich ausdrucken; das hilft beim Finden der Befehle.

Bei den Beispielprogrammen zu anderen fischertechnik-Kästen sind die Programme von anderen Programmiersprachen den ROBO-Pro-Coding-Programmen gegenübergestellt. So sollte der „Aha-Effekt“ leichter kommen.

Im Grunde ist so ein Buch – von ganz leicht, mit Schritt-für-Schritt-Anleitungen bis zu KI (Künstliche Intelligenz) und MQTT – schon eine Lebensaufgabe: Ständig kommen neue Informationen. Für manche sind es zu viele Informationen und man blättert weiter. Das Buch kommt aber zur Geltung, wenn man ein Problem hat und nicht mehr weiterkommt.

Dadurch, dass es eine PDF-Datei ist, kann man über die Suchfunktion schnell zu einer Lösung kommen. Einsteigern helfen dabei sicherlich die Schritt-für-Schritt-Anleitungen.

Insgesamt soll es sowohl eine Anleitung und ein Tutorial als auch ein Kompendium zu ROBO Pro Coding sein. Es soll nicht die Anleitungen von fischertechnik ersetzen, sondern zu einem erweiterten Einstieg in die Programmiersprache anregen. Wer mit Python weitermachen möchte, kann sich mit ROBO Pro Coding ein Grundprogramm unter Verwendung der fertigen Libraries erzeugen lassen.

Anregungen und Rückmeldungen nehme ich gerne entgegen. So ist schon die Idee entstanden, ein kleines Buch mit einem Schnelleinstieg für die einzelnen Controller zu machen. Schauen wir mal…

Elektronik

Kurzschlussfeste Leistungsausgänge für DIY-Elektronikmodule

Arnoud van Delden

Wer eine Logikschaltung mit den klassischen fischertechnik-Silberlingen oder deren Eigenbau-Varianten baut, möchte oft irgendwann einen Verbraucher, wie z. B. einen Motor, einen Elektromagneten oder eine Lampe ansteuern. Nachdem es mir gelungen war, ein Gehäuse für meine selbstgebauten Module wie z. B. den Zauberling [1] zu entwickeln, das voll kompatibel zu den klassischen Silberlingen ist, fasste ich den Plan, eine Platine zu entwickeln, mit der alle zukünftigen Module problemlos mit beliebigen Treiberausgängen versehen werden können. Dieser Artikel beschreibt die Entwicklung und schließlich die Realisierung dieses Wunsches.

Schalten mit einem Halbleiter

Klassische fischertechnik-Elektronik-Module sind komplett aus diskreten elektronischen Bauteilen aufgebaut und die Ausgänge können nur einen kleinen Strom liefern. Das Ausgangssignal kann im Wesentlichen nur als digitales Signal (mit negativer Logik) verwendet werden. Wenn also eventuell ein Motor oder eine Lampe gesteuert werden sollte, wurde aus diesem Grund oft das Relaismodul (36392) mit eingebautem Verstärker verwendet.

Bereits 1977 wurde in Versuchen im Elektronik-Praktikum [2] das Prinzip der Stromverstärkung mit BD135-NPN-Transistoren erläutert. Diese Versuche zeigten, wie Lampen und Motoren durch die Verstärkung mit einem Transistor mit ausreichend Strom versorgt werden konnten, ohne die üblichen Relais verwenden zu müssen.

Später, in den Bausätzen „Elektronik“ und „Elektronik-Praktikum“, wurden auch Treiber mit Halbleitern verwendet. Zum Beispiel der *IC-Baustein Leistungsstufe LST 5-10V* (36296) aus dem „Elektronik“-Bausatz von 1981 (30253). In diesem Baustein finden wir zwei TIP110-Darlington-Transistoren. Die Schaltschwelle war mit einem Potentiometer am Eingang einstellbar.

Die Funktionsweise eines solchen Treibers mit einem Transistor oder MOSFET ist einfach: Die Last, ein Motor oder eine Lampe etc., wird zwischen der positiven Versorgungsspannung und dem Kollektor des Transistors angeschlossen. Ohne jegliche Eingangsspannung oder solange die Basisspannung unter etwa 0,7 V liegt, ist der BD135, ein NPN-Transistor, „geschlossen“ und es fließt kein Strom. Sobald aber die Spannung an der Basis des Transistors hoch genug ist, oder anders gesagt, sobald wir hier ein „aktives“ oder „hohes“ Signal anschließen, „öffnet“ sich die Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors und der Motor beginnt zu laufen oder die Lampe leuchtet. Mit dieser Leistungsstufe und dem IC-Digital-Praktikum [3] hatte fischertechnik also eigentlich schon die „negative Logik“ der Silberlinge aufgegeben und den Sprung zur gebräuchlicheren „positiven Logik“ gemacht. Da diese aber ohnehin immer auch einen logisch invertierten Ausgang hatten, können die verschiedenen Module problemlos untereinander verwendet werden.

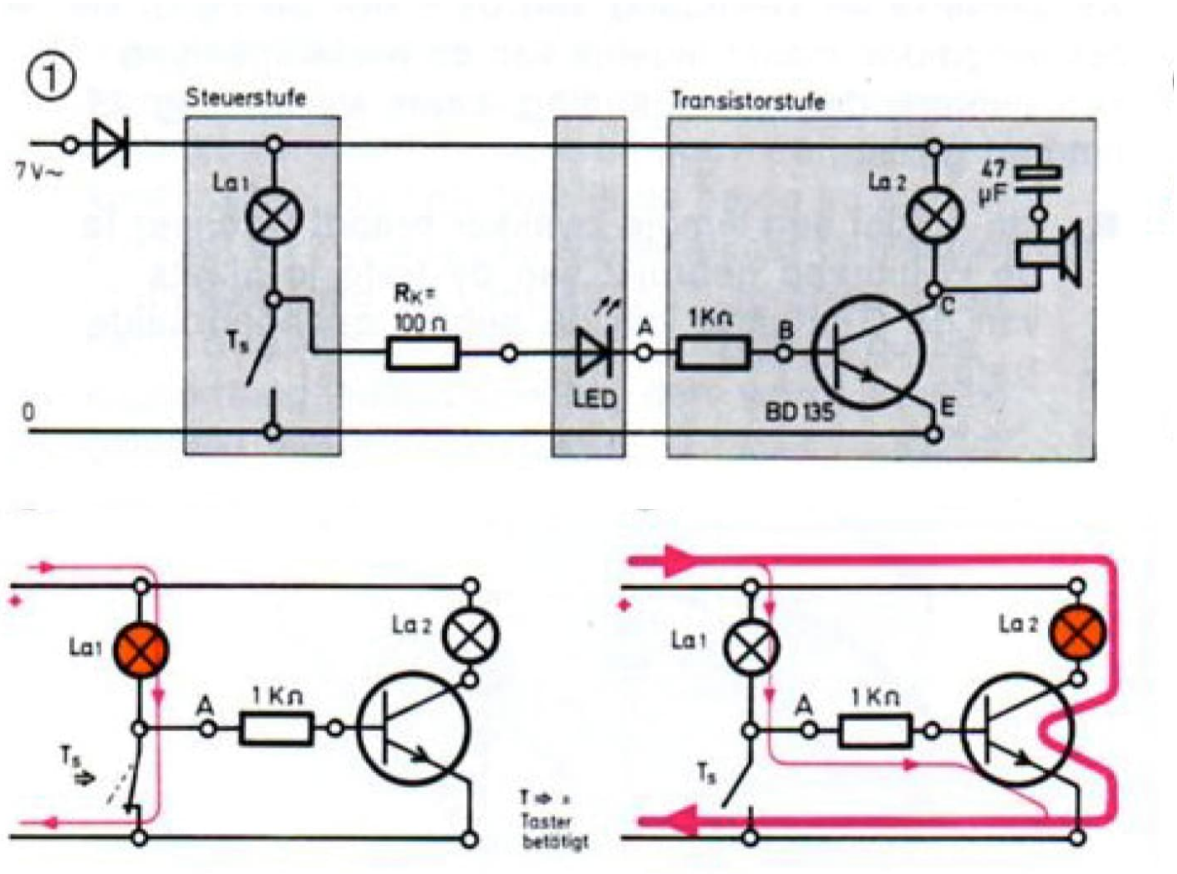


Abb. 1: Prinzipschaltbild der Leistungsverstärkung im Elektronik-Praktikum-Heft

Diese im Elektronik-Praktikum beschriebene Methode zur Steuerung von Aktoren und Lasten ist auch heute noch sehr nützlich, um Lampen, Motoren oder pneumatische Ventile über die digitalen Ausgänge z. B. eines Arduino- oder Raspberry-Mikrocontrollers zu steuern.

Für das Modell von „Mr. Lemniscate“ [4] wollte ich mit einer Kippschaltung abwechselnd zwei Elektromagnete erregen. Elektromagnete benötigen relativ große Stromstärken, die, wenn man dem Originalschaltplan folgt, nicht direkt von den (digitalen) Ausgängen geliefert werden können. Es erschien mir jedoch völlig unnötig, Rauschen, Verzögerung und Kontaktverschleiß hinzuzufügen, indem man ein Relais, das im Grunde ein elektromagnetischer Schalter ist, verwendet, um letztendlich andere Elektromagnete zu schalten. Deshalb erweiterte ich den ursprünglichen fischertechnik-Schaltplan des Flipflops um zwei IRF520-MOSFETs, bevor das Ganze in eine fischertechnik-Kassette eingebaut werden konnte. Diese Ausgänge können nun zum direkten Schalten größerer Verbraucher verwendet, aber auch weiterhin einfach als digitale Ausgänge für weniger anspruchsvolle Anwendungen genutzt werden.

Schon damals entstand die Idee, eine universelle Lösung zu entwickeln, mit der sich künftige Elektronikmodule im Eigenbau beliebig bestücken lassen. Die Module am „Ende“ der digitalen Schaltlogik, die oft Verbraucher wie Signallampen oder Motoren ansteuern müssen, könnten so mehr Steuerstrom zur Verfügung stellen, ohne dass separate Treibermodule nötig wären. Es stellte sich die Frage, ob es nicht möglich wäre, eine Art universelle Leiterplatte zu entwerfen, mit der jedes selbstgebaute

Modul einfach mit Treiberausgängen nach Bedarf versehen werden könnte. Eine solche Universalplatine könnte beispielsweise auf der Unterseite des 3D-gedruckten Gehäuses platziert werden und auch gleich die Anschlüsse für die externe 12-Volt-Stromversorgung, die die angetriebenen Motoren und Lampen usw. versorgt, bereitstellen und durchschleifen.

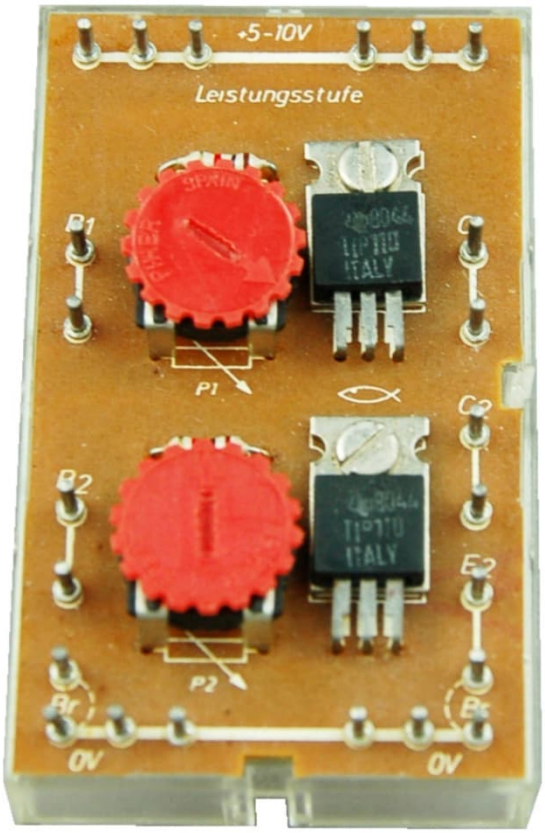


Abb. 2: Leistungsstufe mit zwei TIP110

Das Beste wäre eine universelle, leicht skalierbare Lösung, bei der die Leistungstransistoren bei Bedarf gekühlt werden können. Ein nettes Extra wäre, ein solches Treibermodul mit Strombegrenzung und Kurzschlussschutz auszustatten. Auf Wikipedia fand ich einen interessanten Artikel über Strombegrenzung [5], der die Grundlage für meine weiteren Experimente bildete. Dieses Prinzipschaltbild ist in Abb. 4 zu sehen.

Um eine Strombegrenzung zu erreichen wird häufig ein Widerstand *R* in Reihe mit der Last *M* (z. B. einem Motor) geschaltet. Sobald sich der steuernde Leistungstransistor öffnet und die Lampe oder der Motor eingeschaltet wird, fällt an diesem Widerstand eine Spannung ab, die von dem fließenden Strom abhängt. Mit einem zusätzlichen Transistor können wir diesen Strom begrenzen. Sobald diese Spannung zwischen Basis und Emitter des Leistungstransistors 0,7 V erreicht, öffnet sich dieser Steuertransistor und der Leistungstransistor schließt sich wieder, wodurch der Strom reduziert wird. Es stellt sich ein Gleichgewicht ein, bei dem genau 0,7 Volt über dem Shunt-Widerstand liegen.

Abb. 3: Selbstbau-Flipflop mit Leistungsausgängen

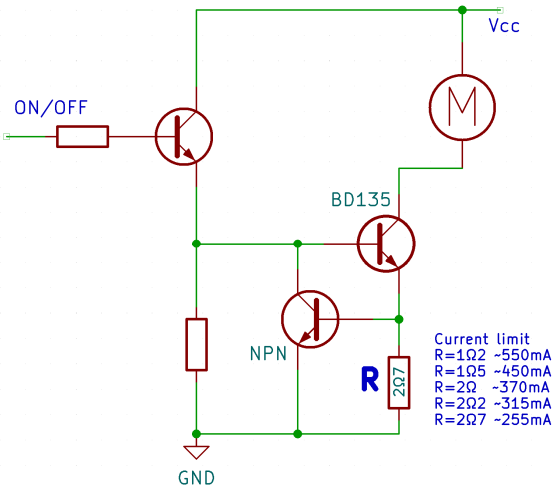


Abb. 4: Prinzipschaltbild der Strombegrenzung und des Kurzschlussschutzes

Da der Messwiderstand einen festen Widerstandswert hat, können wir mit dem Ohm'schen Gesetz die Stromstärke berechnen. Wenn wir z. B. einen maximalen Strom von etwa 255 mA zulassen wollen, dann gilt

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0{,}7V}{0{,}255A} \approx 2{,}7\Omega$$

Für eine Begrenzung auf 255 mA bräuchten wir also einen Widerstand von 2,7 Ω.

Bedenkt aber, dass der Leistungstransistor bei der Strombegrenzung mit einer hohen Frequenz ein- und ausgeschaltet wird. Dabei entsteht entsprechend viel Wärme, die den Transistor zerstören kann. Da diese Phase in der Praxis natürlich nie lange dauern wird, ist die Treiberschaltung somit gut geschützt. Der Leistungstransistor und die angeschlossene Last sind besser geschützt als ohne eine solche Funktion.

Der Motor oder die Lampe sollte also zwischen dem Plus und dem Kollektor des Treibertransistors angeschlossen werden. Noch sinnvoller wäre es, wenn der Verbraucher einfach zwischen Ausgang und Masse geschaltet werden könnte. Immerhin könnte der Ausgang dann auch als normaler Digitalausgang verwendet und mit (digitalen) Eingängen anderer Module verbunden werden.

Dies ist möglich, indem man PNP-Transistoren anstelle von NPN-Transistoren wählt und z. B. den BD135 durch einen BD132 ersetzt. Die Schaltung „kippt um“ und wir können den angeschlossenen Verbrauchern eine gemeinsame Masseverbindung geben. Dann ergibt sich der Schaltplan in Abb. 5.

Vier dieser Schaltungen auf einer Platine mit Stiftleisten für die Ein- und Ausgänge zusammengefügt ergeben den in Abb. 6 gezeigten Schaltplan. Beachtet, dass die Platine auch zwei Anschlüsse für die zusätzliche Versorgungsspannung für die geschalteten Verbraucher bietet. Da diese Versorgungsleitung vollständig von der Versorgungsspannung der Digitalelektronik getrennt ist, werden Störungen durch Übersprechen (z. B. durch Stromspitzen oder Rauschen bei den Verbrauchern) minimiert. An diesen Anschlüssen kann ein externes Netzteil einfach als Stromquelle dienen. Ich selbst kann den Spannungsausgang eines meiner selbstgebauten Stromversorgungsmodule im Silberlingen-Gehäuse [6, 7] auf diese Weise durchschleifen.

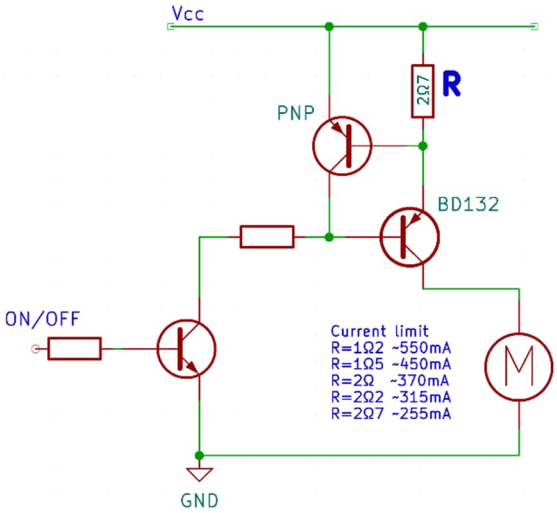


Abb. 5: Verbraucher zwischen Ausgang und Erde mit PNP-Transistor

Kompatibilität mit den Silberlingen

Auch für den modernen fischertechniker, der vor Softwarelösungen mit SPS, Arduinos und TXT-Controllern nicht zurückschreckt, bleibt der Bau einer altmodischen „hard-wired“-Steuerung mit analoger Elektronik und digitalen Gattern interessant. Angeregt durch Artikel verschiedener Autoren in der ft:pedia habe ich den Plan gefasst, sowohl die originalen Silberlinge in analoger Technik (mit Dioden-Transistor-Logik [8]) zu bauen, als auch technisch modernere Varianten davon (mit z. B. CMOS-Technik). Diese Module könnten dann in zukünftigen Artikeln von mir über Prozesssteuerungen oder andere praktische Anwendungen mit diskreter Elektronik eine Rolle spielen.

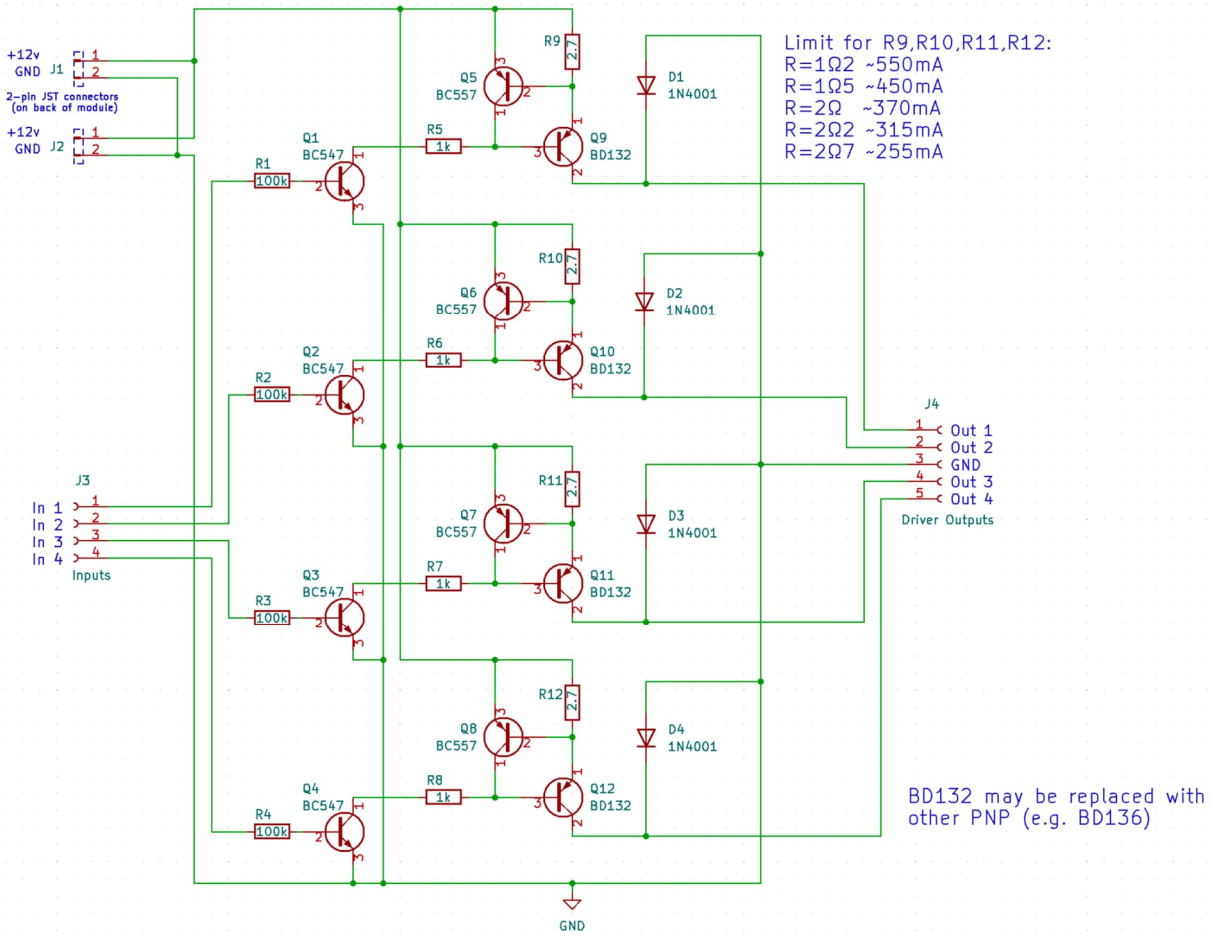


Abb. 6: Schaltplan für eine Platine mit Platz für bis zu vier strombegrenzte Treiberausgänge

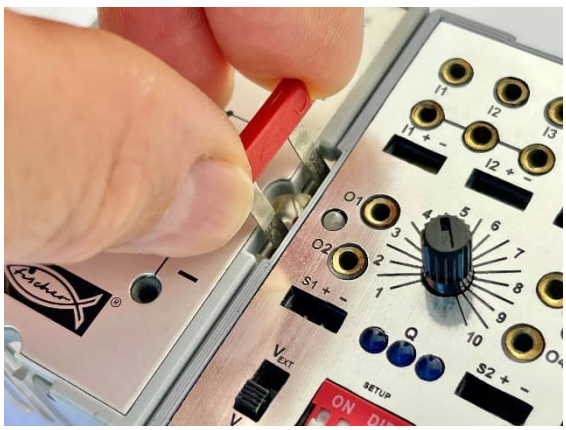


Abb. 7: Volle Kompatibilität mit den Silberlingen

Die Beschäftigung mit der Funktionsweise und dem Nachbau von Silberlingen inspiriert seit Jahrzehnten viele fischertechnikbegeisterte Hobbyisten. Jüngste Beispiele aus der ft:pedia sind Peter Krijnen mit seiner Serie „Silberlinge: Original oder Nachbau“ über klassische analoge Silberlinge und Hans-Christian Funke mit Beiträgen über seine Elektronikmodule mit der moderneren CMOS-Technologie.

Meine persönliche Herausforderung ist es, Selbstbaumodule herzustellen, die voll kompatibel zu den herkömmlichen fischertechnik-Elektronikmodulen sind. Der 3D-Druck des Gehäuses gleicht sie von der Form her an, aber ein Ansatzpunkt war zusätzlich, dass auch die Signalpegel (um 11 V) kompatibel sind. Inzwischen ist es auch möglich, die Stromversorgung in traditioneller Silberlingen-Manier mit Clips anzuschließen. Da alle Modulausgänge in der Regel auch invertiert zur Verfügung stehen, spielt der Unterschied zwischen „positiver Logik“ und „negativer Logik“ keine große Rolle (mehr).

Eine universelle Leiterplatte

Ausgangspunkt war nun aber, zunächst eine universelle Leiterplatte zu entwickeln, die, wenn der jeweilige Elektronikbaustein mit einem Stromausgang versehen werden soll, an der Unterseite des Silberling-Gehäuses montiert werden kann. Für die Stromversorgung, die digitalen Eingänge und die „Power"-Ausgänge sind auf der Platine zwei sogenannte Dupont-Stiftleisten an einer festen Position vorgesehen. Durch die Berücksichtigung dieser Steckerposition beim Leiterplattendesign der zukünftigen Module kann prinzipiell jedes selbstgebaute Modul bei Bedarf problemlos mit Leistungsausgängen ausgestattet werden.

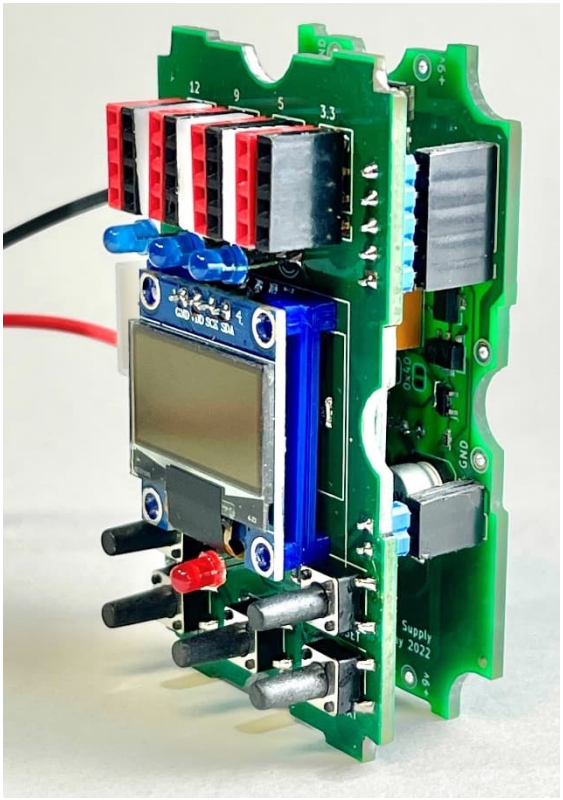


Abb. 8: Zwei gestapelte Leiterplatten passen in ein 75×45 mm großes Silberling-Gehäuse

Module, die die von dieser Treiberplatine bereitgestellten Leistungsausgänge nutzen, können auf diese Weise aus zwei gestapelten Platinen zusammengesetzt werden. Letztendlich kann die obere Leiterplatte (und die Frontplatte) dieses Leiterplatten-„Sandwichs" bei jedem künftigen Modul variieren. Und wenn die digitalen Ausgänge ausreichen wird keine Treiberplatine im unteren Teil des Gehäuses benötigt. Auch für den Zauberling und das Multi-Power-Modul habe ich diese Stapel-Bauweise verwendet (Abb. 8) [1, 6, 7].

Der auf einer Platine in einem Silberling-Gehäuse verfügbare Platz ist mit 4×7 cm nicht sehr groß, aber vier dieser Treiberschaltungen sollten durchaus darauf passen. Ich habe dafür eine Universalplatine entwickelt, die es mir erlaubt, meine zukünftigen Elektronikmodule nach Belieben mit zwei oder, wenn komplett mit Bauteilen bestückt, mit vier Treiberausgängen zu versehen.

Wenn das Gehäuse ein „Fenster" für zwei oder vier Transistoren mit sogenannten TO-126-Transistorgehäusen hat, können diese bei Bedarf auch später noch um einen kleinen Kühlkörper auf der Rückseite des Moduls ergänzt werden. Die Leistungstransistoren werden einfach mit einer Klebepistole eingeklebt und später, wenn die Platine am Boden des Gehäuses montiert ist, verlötet. Die verschiedenen Stufen sind in Abb. 9 zu sehen. Links die unbestückte Platine, rechts eine teilbestückte Platine mit zwei Treiberausgängen und in der Mitte eine vollbestückte Platine mit vier Treiberausgängen, eingebaut in ein Silberling-Gehäuse.

Die Montage der Leistungstransistoren ist in Abb. 10 deutlich zu erkennen. Links ein mit zwei Treiberausgängen vorbereitetes Modul, rechts eines mit einer vollständig bestückten Leiterplatte, die die Bereitstellung von vier Leistungsausgängen für zukünftige Elektronikmodule ermöglicht.

Schlussbemerkungen

Auf der entsprechenden Projektseite [9] meiner Website findet sich der Link zu einem (englischsprachigen) Video [10].

Mit dieser Treiberplatine an der Unterseite des 3D-gedruckten „Silberling"-Gehäuses

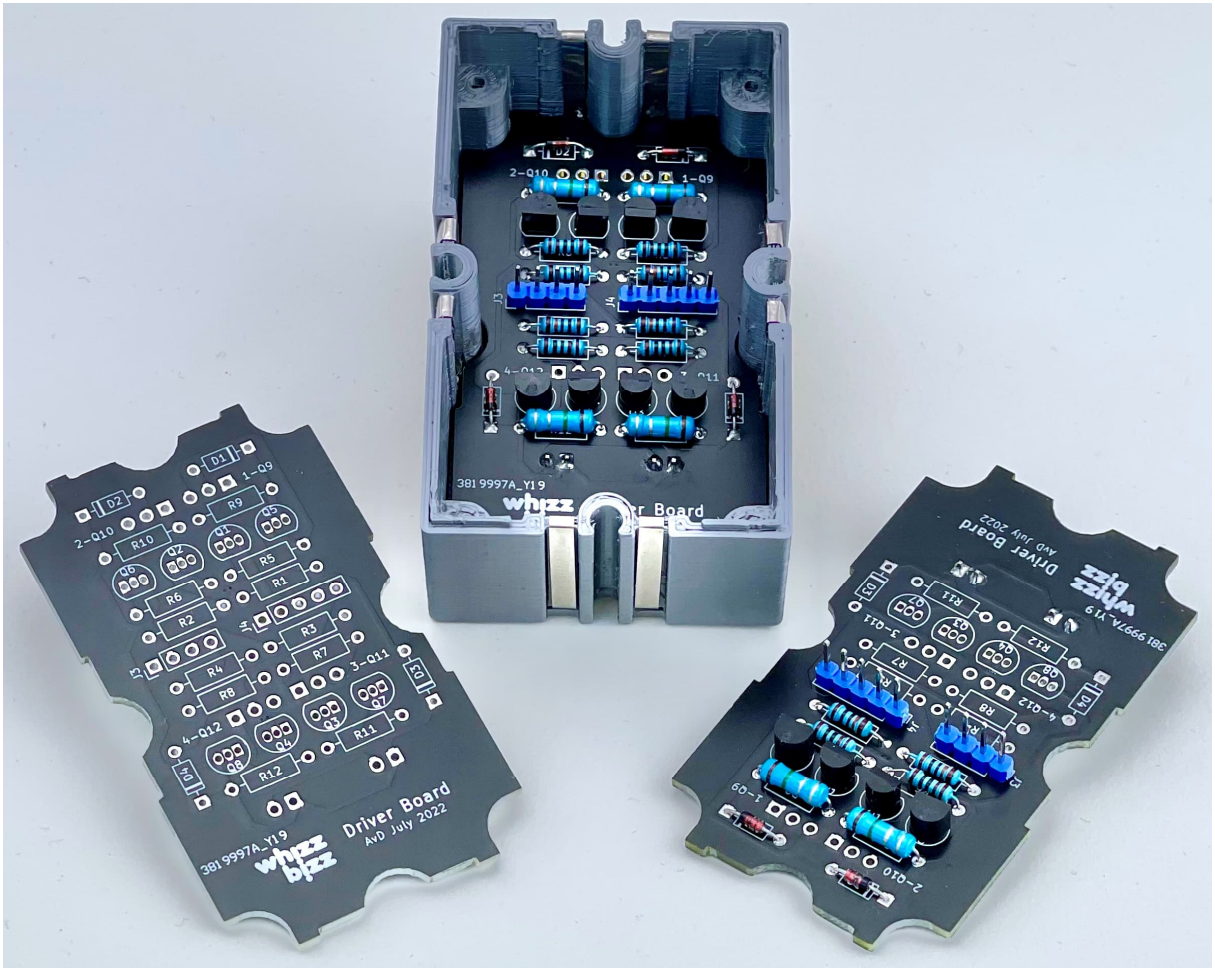


Abb. 9: Teilweise bestückte Platine und vollständig bestückte und integrierte Platine

wird es möglich sein, zukünftige Eigenbauprojekte schnell und einfach um beliebige Treiberausgänge zu erweitern. In der Praxis werde ich diese Platine aber wahrscheinlich nicht in die nachgebauten Silberlinge einbauen. Diese werden von mir gerade dazu verwendet, mich den originalen fischertechnik Schalt- und Anschlussplänen so weit wie möglich anzunähern und eine möglichst genaue Kopie des entsprechenden Originals zu entwickeln. Deshalb sind diese Module wie das Original mit Buchsen für die originalen fischertechnik-Stecker ausgestattet. Bei einigen Modulen fehlt deshalb einfach der nötige Platz auf der Modulfront für die zusätzlichen Buchsen, die die Treiberausgänge benötigen würden.

Vermutlich werde ich die Treiberplatine daher hauptsächlich in den selbstgebauten (CMOS-)Varianten der AND/NAND- und OR/NOR-Logikgatter, des Flipflops und Monoflops usw. verwenden. Um den Platz auf der Vorderseite des Silberling-Gehäuses zu maximieren, war ich bereits dazu übergegangen, Dupont-Stiftleisten auf der Vorderseite zu verwenden [11].

Meine Experimente und Nachbauversuche werde ich sicher auch zukünftig fortsetzen.

Quellen

[1] Arnoud van Delden: *Der Zauberling (Teil 4): Die Weiterentwicklung*. ft:pedia 1/2022, S. 71–79.

[2] Fischer-Werke: *fischertechnik Elektronik-Praktikum*. Auf docs.fischertechnikclub.nl, S. 34.

Abb. 10: Zukünftiger selbstgebauter Silberling mit zwei oder vier kurzschlussfesten Leistungsausgängen

[3] Fischer-Werke: *fischertechnik IC-Digital-Praktikum*. Auf docs.fischertechnikclub.nl.

[4] Arnoud van Delden: *Die unendliche Lemniskate*. ft:pedia 2/2021, S. 36–44. Video auf YouTube, 2022.

[5] Wikipedia: *Current limiting*.

[6] Arnoud van Delden: *Eine zukunftssichere Stromversorgung*. ft:pedia 2/2022, S. 73–86.

[7] Arnoud van Delden: *Eine zukunftssichere Stromversorgung (Teil 2)*. ft:pedia 3/2023, S. 63–69.

[8] Wikipedia: *Diode-Transistor-Logik*.

[9] Arnoud van Delden: *Project Archive*. Auf whizzbizz.com.

[10] Arnoud van Delden: *Short-Circuit Proof Load Switching*. Video zum strombegrenzten Schalten von Verbrauchern auf YouTube, 2023.

[11] Arnoud van Delden: *Alternative Verbindungslösungen für Stecker und Buchsen (Teil 2)*. ft:pedia 3/2023, S. 54–62.

Elektronik

Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 15)

Peter Krijnen

Ursprünglich war es nicht meine Absicht, auch das l-e-Modul zu besprechen oder neu zu erstellen. Dies ist kein Modul im Sinne der Silberlinge oder IC-Module. Dass ich es trotzdem mache, ist Jeroen Regtien zu verdanken. Für diesen Beitrag hat er mir seinen Elektronik-Schaltstab (31360), wie er eigentlich heißt, geliehen.

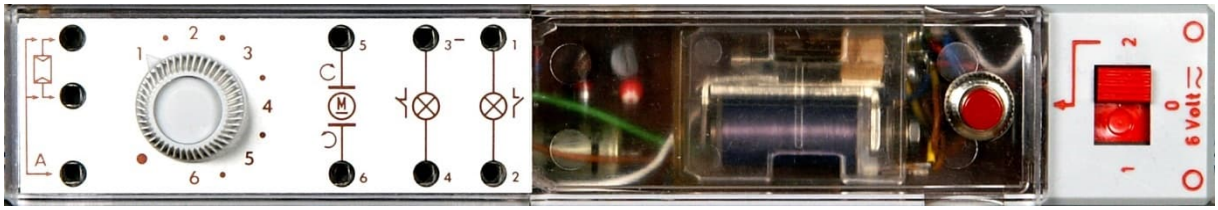


Abb. 398: Elektronik-Schaltstab (31360)

Nachdem Jeroen mir einige Fotos geschickt hatte, war mein Interesse geweckt. Ich wollte mehr darüber wissen. Also fragte ich ihn, ob er es für eine Weile verleihen würde. Zum Glück war das kein Problem.

Licht-Elektronikkaste l-e1

Im Jahr 1969 wurde der Licht-Elektronikkasten l-e1 (30081) in einer Neuheiten-Broschüre [1] angekündigt. Dieser wurde erst ein Jahr später zusammen mit dem kleineren l-e2 (30082) in den Katalog aufgenommen [2]. Ab 1972 wurden, zusammen mit den Hobby-Kasten, die Silberlinge angeboten, die ab 1973 die l-e-Kästen ablösten. Unter Art.-Nr. (30083) wurde auch ein Voltmeter l-e3 angekündigt [3]. Dieses wiederum wurde 1975 durch das Voltamperemeter em8 (30244) ersetzt, das auch im Hobbylabor zum Einsatz kam.

Die endgültige Produktionsversion, wie sie in den Kartons vorliegt, unterscheidet sich geringfügig von dem, was in der neuen Broschüre zu sehen ist.

Welchen Nutzen hat der Elektronik-Schaltstab?

Wenn wir uns den Inhalt der Kartons ansehen, sehen wir neben Linsen und Spiegeln auch zwei LDRs. Das bedeutet, dass der Schaltstab benötigt wird, um die Empfindlichkeit eines LDR einzustellen, damit das Relais im Schaltstab schalten kann.

Was man machen kann und wie es funktioniert, wird in drei Handbüchern erklärt – 31382, 31383 und 35690 [4, 5, 6].

Nachdem ich die Fotos von Jeroen erhalten hatte, fielen mir die vielen Leiterbahnen auf der Platine auf. Diese sind sehr breit und verzinnt. Auch die Menge an farbigen Drähten fällt sofort auf.

Um herauszufinden, wie die Platine aufgebaut ist, habe ich die Leiterbahnen auf den Fotos entsprechend den Farben der Drähte eingefärbt. Auf Seite 123 von [5] zeigt Bild E38 den schematischen Aufbau des Schaltstabs. Auch dieses Diagramm (Abb. 399) habe ich koloriert.

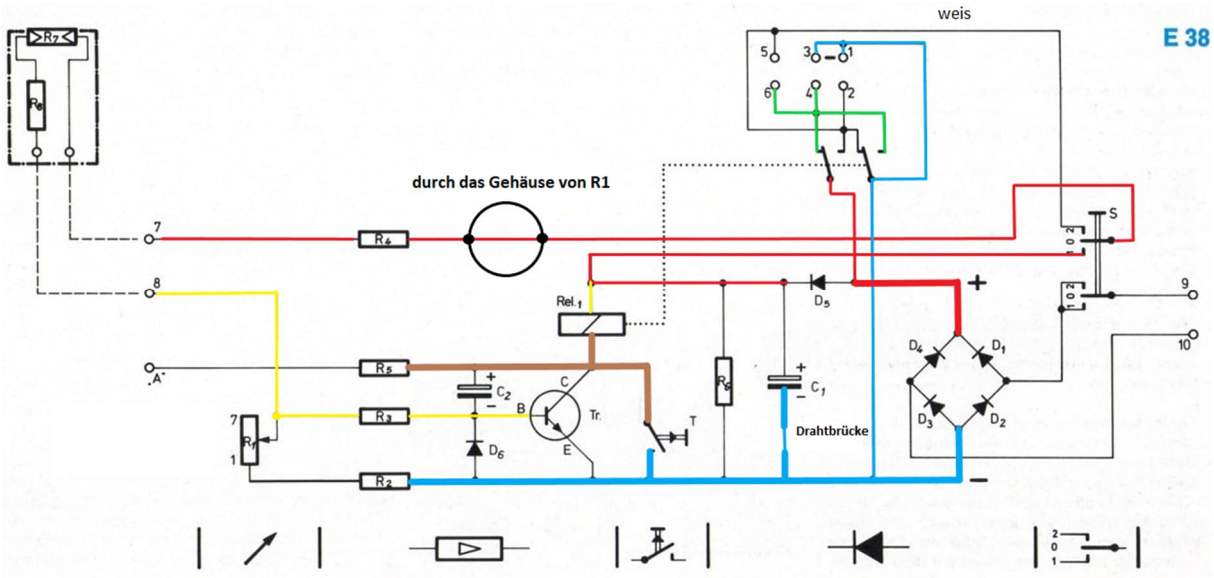


Abb. 399: Das Original-Schaltbild des Schaltstabes wie im Handbuch (31383) auf Seite 123 dargestellt. Ich habe die Drahtbrücke angedeutet und dass die Verbindung von R4 zum Schalter durch das Gehäuse von R1 verläuft.

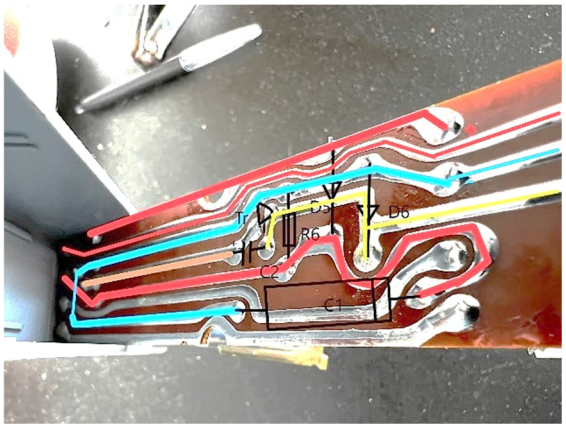


Abb. 400: Farbige Leiterbahnen. Die Positionen der Dioden D5 und D6, der Kondensatoren C1 und C2 und des Widerstands R6 sind angegeben. Die nicht eingefärbten Leiterbahnen transportieren den Wechselstrom zum Brückengleichrichter ganz rechts.

Mir wurde langsam klarer, wie die Schaltung funktionierte. Langsam wurde mir auch klar, wie plump die Platine aufgebaut war. Insbesondere die Tatsache, dass sich der Schalter S auf der linken Seite befindet. Es wäre besser gewesen, wenn er neben den Anschlüssen 7 und 8 gelegen wäre.

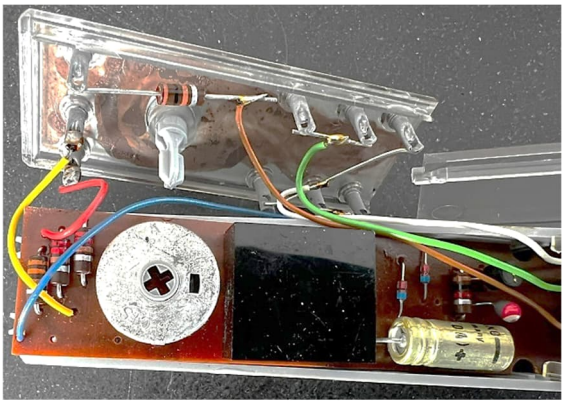


Abb. 401: Korrodiertes Potentiometergehäuse R1 und der Gleichrichter. Links die Widerstände R2, R3 und R3. Der 100Ohm Widerstand R4 wurde direkt an die Anschlussbuchse angelötet.

Da das Gehäuse des Batteriestabs (31041) verwendet wurde, wollte man wohl den zweiten Schaltkontakt als Ein-/Aus-Schalter nutzen. Der Wechselstrom wird also über den zweiten Kontakt geschaltet.

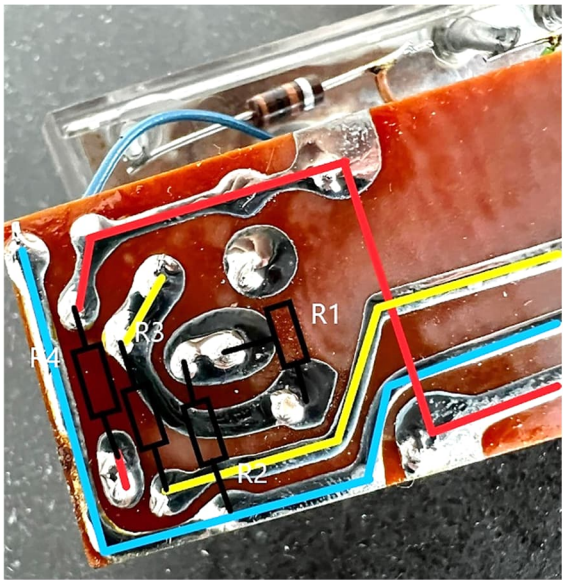


Abb. 402: Hier ist deutlich zu erkennen, dass das Potentiometer R1 anders angeschlossen ist als auf dem Original-Schaltbild dargestellt. Der Läufer von R1 ist über R2 mit „-“ verbunden.

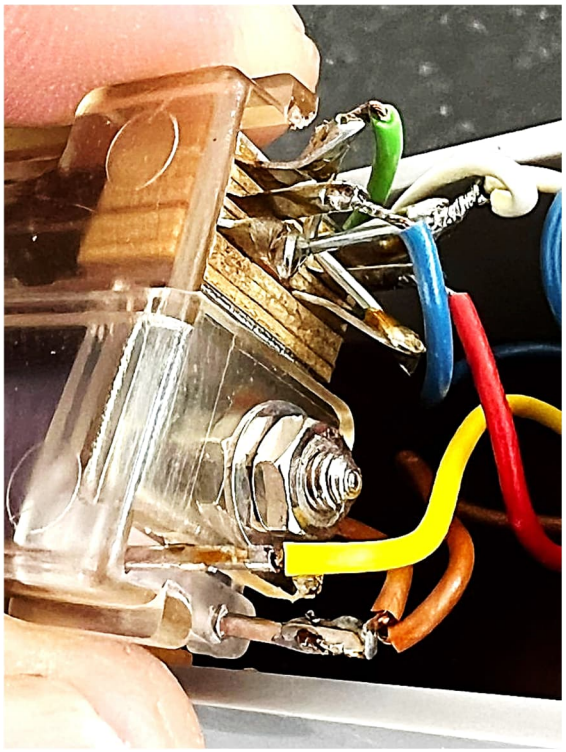


Abb. 403: Da hier ein Relais verwendet wird, das nicht für die Leiterplattenmontage geeignet ist, wurde ein kleines Kunststoffgehäuse angefertigt, das das Relais an Ort und Stelle hält.

Wie funktioniert es?

Glücklicherweise wird in [5] auf den Seiten 121 und 122 erklärt, wie die Schaltung funktioniert.

Der Gleichrichter sorgt für die Gleichrichtung des Wechselstroms. Die Diode D5 sorgt dafür, dass der Kondensator C1 nicht durch eine Last (Motor, Lampe, Elektromagnet) entladen werden kann. R6 dient zur Entladung von C1 bei ausgeschalteter Stromversorgung (S in Mittelstellung).

Steht S in Stellung 1, wird Anschluss 7 direkt mit Plus verbunden. Der an 7 und 8 angeschlossene LDR erhält daher Spannung. Abhängig von der Lichtmenge, die auf den LDR fällt, leitet der LDR mehr oder weniger: kein Licht – hoher Widerstand, viel Licht – niedriger Widerstand.

Mehr Licht bewirkt daher einen geringeren Widerstand, so dass der Transistor weiter geöffnet und das Relais angezogen wird. Die Empfindlichkeit der Schaltung kann mit dem Potentiometer R1 eingestellt werden.

Interessant wird es erst, wenn S auf Position 2 steht. Dies bestimmt die Spannung, die vom Relais an Anschlussbuchse 7 angelegt wird. Wenn das Relais nicht eingeschaltet ist, wird Buchse 7 mit „-“ des Stromkreises verbunden. Allerdings kann der LDR dann seine Arbeit nicht erledigen. Das Relais muss daher zunächst anziehen, um 7 wieder mit „+“ zu verbinden.

Hier kann die Taste T hilfreich sein. Beim Drücken der Taste T wird das Relais aktiviert und die Anschlussbuchse 7 wieder mit „+“ verbunden. Solange der LDR ausreichend Licht erhält, öffnet der Transistor. Da das Relais bereits angezogen ist, hat dies keine Auswirkung. Wenn das Licht am LDR aber ausfällt, wird der Transistor gesperrt und das Relais deaktiviert.

Anschluss „A“ dient nur zum Anschluss des Voltmeters l-e3. Wenn man diesen jedoch mit „-“ verbinden, hat dies den gleichen

Effekt wie das Drücken von Taste T. Wenn sich das Relais in der Ruheposition befindet, sind die Anschlussbuchsen 4 und 6 mit „+“ verbunden und die Buchsen 2 und 5 mit „-“. Buchsen 1 und 3 sind fest mit „-“ verbunden. Bei aktiviertem Relais werden 2 und 5 mit „+“ und 4 und 6 mit „-“ verbunden. Wenn man die Handbücher liest, wird man feststellen, dass die Buchsen 2 und 4 nur für Kontrollleuchten verwendet und die Buchsen 5 und 6 für die Last (Motor, Lampen, Relais, E-Magnet) benutzt werden.

Es dauerte einige Zeit, bis ich das endgültige Schaltbild hatte. Mehrmals stellte ich fest, dass ich etwas falsch gemacht oder vergessen hatte. Gleiches gilt für die Platine. Das ist zwar keine schlechte Sache, aber manchmal irritierend.

Abb. 404 zeigt daher das endgültige Schaltbild. In Abb. 405 wird gezeigt, wie alle Leiterbahnen und Verdrahtungen verlaufen.

Auf diesem Bild ist deutlich zu erkennen, dass die beiden „-“-Anschlussbuchsen 1 und 3 über ein blaues Kabel mit der linken Seite der Platine verbunden sind. Meiner bescheidenen Meinung nach wäre es besser gewesen, wenn dieses Kabel genau wie das grüne und das weiße mit dem Relais verbunden wäre.

Nachbau?

Es war nicht meine Absicht, den Elektronik-Schaltstab zu kopieren. Allerdings hat mich das Layout der Platine genervt. Vor allem die Tatsache, dass sich der Schalter S auf der rechten Seite befindet und der Anschluss 7 (für den er vorgesehen ist) ganz links. Das Bedienelement, Potentiometer R1, befindet sich ebenfalls ganz links, während sich der Verstärker rechts neben dem Relais befindet, das wiederum auf der rechten Seite liegt. Der Gleichrichter und die Spannungsstabilisierung befinden sich dann zwischen Potentiometer und Verstärker.

Das sollte doch anders möglich sein, und das ist es auch. Nach etwa 50 verschiedenen Layouts muss ich aber zugeben, dass mir das nicht ganz gelungen ist.

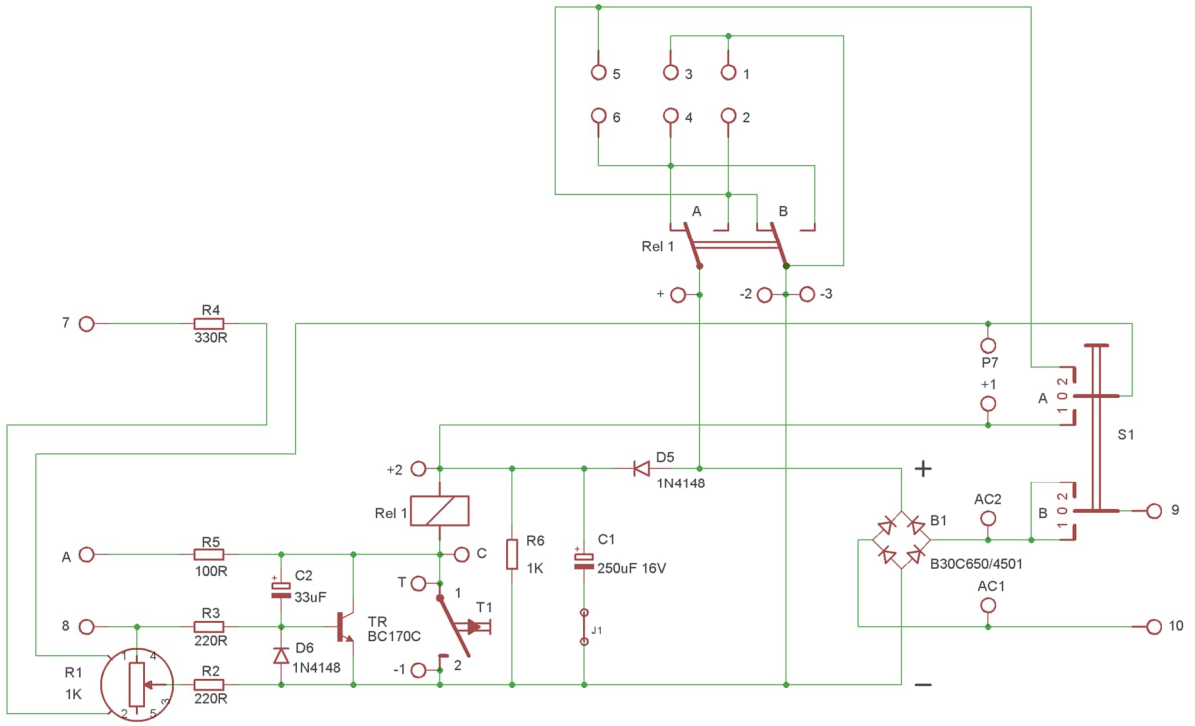


Abb. 404: Das Schaltbild wie es letztendlich aussieht, ergänzt um alle Lötpads für die Drähte

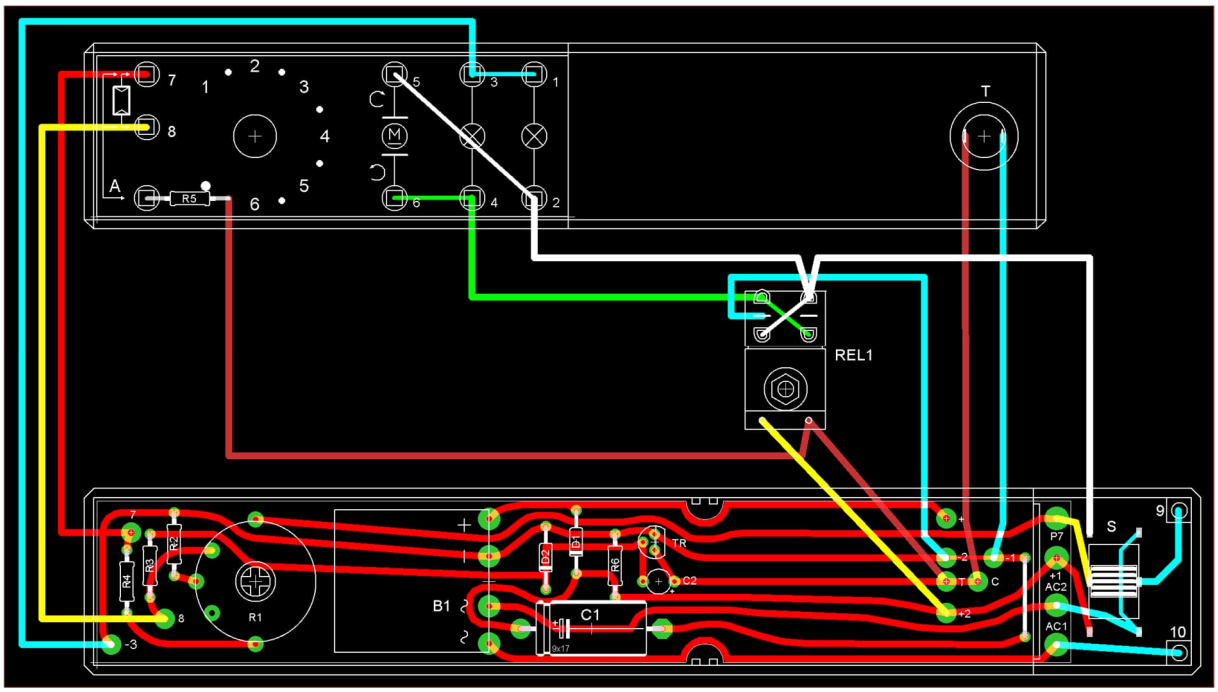


Abb. 405: Grafische Darstellung, wie alles zusammenhängt

Batteriestab oder Silberling?

Einen Ersatz für den Schaltstab hatten die Fischerwerke bereits mit den drei Silberlingen aus den ut-4 Kasten realisiert. Ich habe aber versucht, die gesamte Schaltung in ein Silberling-Gehäuse zu bekommen (Abb. 406, 407 und 408).

Obwohl es nicht viele Komponenten gibt, die einen Platz brauchen, musste ich trotzdem herausfinden, wie ich alles unterbringen kann. Es stellte sich schnell heraus, dass für den Taster kein Platz mehr war. Das ist aber nicht so schlimm, da er auch an die Anschlussbuchse „A“ angeschlossen werden kann. Widerstand R5 liegt dann in Reihe mit dem Taster, aber da dieser nur 100 Ω beträgt, ist das kein Problem.

Sollte ich einen Brückengleichrichter oder vier separate Dioden verwenden? Und für S einen einpoligen oder zweipoligen Schalter? Mir war schon klar, dass ein V23012 als Relais viel zu groß sein würde. Stattdessen habe ich ein G6A-234 verwendet, das ich in allen meinen Silberlingen einsetze.

Abb. 406: So sieht mein l-e-Silberling aus – noch ohne die LEDs

Da ich es nicht für nötig halte, die Wechselspannung zu schalten, habe ich für S einen einpoligen Schalter ohne Mittelstellung gewählt. Für die Verlegung der Leiterbahnen waren separate Dioden anstelle des Brückengleichrichters praktischer.

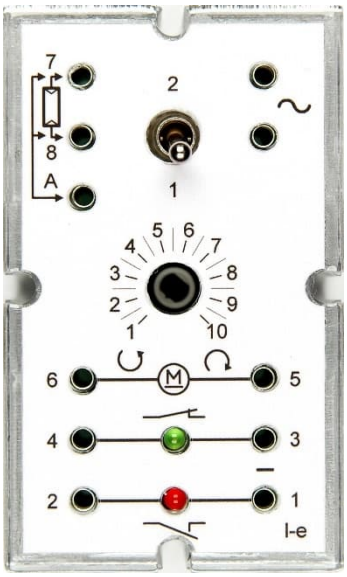


Abb. 407: So sieht es mit LEDs aus

Abb. 408: Ansicht mit abgenommenem Deckel

Es dauerte lange, bis ich ein Layout hatte, mit dem ich zufrieden war. Denn wo sollen alle Anschlussbuchsen stehen? Und behalte ich die AC-Anschlüsse? Das hätte vier Dioden und zwei Buchsen eingespart. Allerdings wollte ich so weit wie möglich beim Original bleiben. Die Dioden blieben also vorhanden. Durch die Verwendung von Drahtbrücken anstelle der Dioden ist es jedoch möglich, einen „+“- und „-“-Anschluss oder zwei „+“-Anschlüsse anstelle der beiden Wechselstrom-Anschlüsse bereitzustellen. Die beiden Anschlussbuchsen 1 und 3 sind dann das „-“ des Moduls. Aber wo platziere ich die AC-Anschlüsse? Wo die Eingänge, wo die Ausgänge?

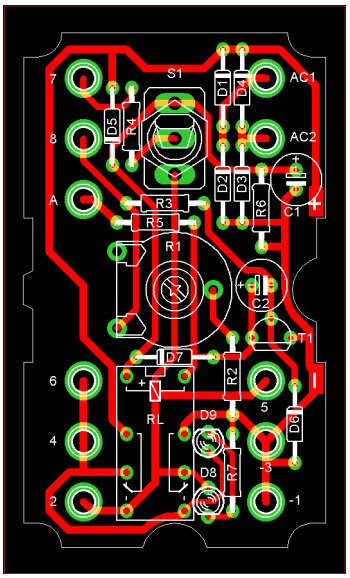


Abb. 409: Nach langem Hin- und Herschieben der verschiedenen Komponenten sieht das Layout schließlich so aus

Nach mehrmaligem Lesen der Handbücher ist mir aufgefallen, dass die Anschlüsse 1 bis 4 nur für Signalleuchten verwendet werden:

- Relais im Ruhezustand: die grüne Lampe an Buchse 4 leuchtet.
- Relais aktiviert: Die rote Lampe an Buchse 2 leuchtet.

Daher habe ich mich entschieden, gleich zwei LEDs einzubauen. Das kann ich später zusammen mit R7 einfach weglassen.

Nach langem Hin- und Herschieben der verschiedenen Komponenten sieht das Layout schließlich so aus wie in Abb. 409.

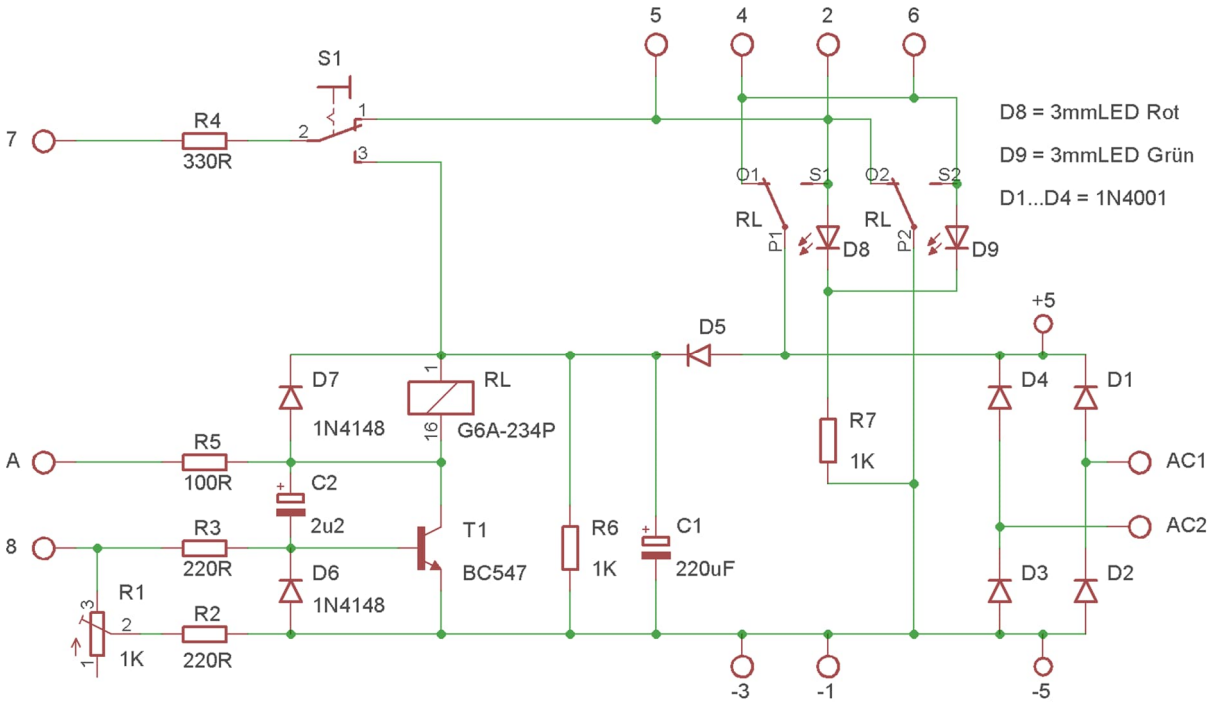


Abb. 410: Das Schaltbild meines Silberling l-e. Beachte, dass ich D7 hinzugefügt habe.

Abbildung 410 zeigt das Schaltbild meines Silberlings l-e. Zum Schutz des Transistors habe ich die Diode D7 hinzugefügt.

Wie ich bereits angedeutet habe, besteht die Möglichkeit, beide AC-Anschlüsse durch einen „+“- und „-“-Anschluss zu ersetzen (Abb. 411 und 413). Dies ist möglich, indem an der Position von D1 und D3 eine Drahtbrücke platziert wird und D2 und D4 frei bleiben.

Wenn zwei „+“-Anschlüsse gewünscht sind, muss eine Drahtbrücke auf D1 und D4 gelegt werden (Abb. 412 und 414).

Abb. 411: Silberling l-e mit „+“ und „-“ statt zweimal AC

Abb. 412: Silberling l-e mit zweimal „+“ statt zweimal AC

Abb. 413: Anstelle der Dioden eine Drahtbrücke an der Position von D1 und D3

Abb. 414: Anstelle der Dioden eine Drahtbrücke an der Position von D1 und D4

Batteriestab

Damit ist meine Geschichte über meinen Silberling l-e abgeschlossen. Dieser Beitrag jedoch noch nicht.

Weil es mir immer wieder durch den Kopf schoss: Kann ich den l-e auch in einem Batteriestab nachbauen? Ja, das kann ich. Das habe ich bereits bei allen Silberlingen- und IC-Modulen bewiesen. Für den Silberling und die IC-Module habe ich ähnliche Gehäuse in Belgien und China drucken lassen. Da ich aber noch ein Dutzend Batteriestäben herumliegen hatte, wollte ich diese verwenden.

Insbesondere aufgrund der Abmessungen des Kondensators musste ich auf die 25 mm langen Bundhülsen zurückgreifen. Das bedeutete sofort, dass ich den Batteriestab umbauen musste.

Zuerst musste ich beide Teile des Deckels entfernen. Bei einem Stab konnte ich mit viel Kraft die Seitenwände leicht auseinanderziehen, wodurch sich der Deckel löste. Allerdings musste ich bei den anderen Stäben den festen Deckel wegfräsen. Anschließend mussten die Kontaktfedern entfernt werden. Die nun frei gewordene Feder konnte ich mit einer Zange herausziehen. Für die andere Feder musste ich allerdings zunächst die kleine Abdeckung an der Unterseite des Schalters entfernen. Beim ersten Stab konnte ich mit einem Schraubenzieher den Deckel von innen herausdrücken. Für einen anderen Stab musste ich jedoch wieder zur Fräse greifen. Danach konnte ich die zweite Feder ablöten und den Schalter entfernen.

Wenn wir uns Abb. 415 ansehen, sehen wir, dass sich über die gesamte Länge des

Abb.415: Es gibt Unterschiede zwischen den beiden Versionen. Im unteren Batteriestab sind die beiden Rillen auf der linken Seite deutlich im Weg.

Gehäuses zwei 4 mm hohe Rippen erstrecken. Würden die Bundhülsen darauf stehen, würden sie über den Deckel hinausragen. Also habe ich mit einem 4-mm-Fräser Material an den Stellen weggefräst, an denen die Hülsen für die Anschlüsse 1 bis 6 platziert werden sollten.

Platine

Zwischen den Arbeiten am Gehäuse hatte ich alle Bauteile auf die Platine gelötet. So war alles bereit, um in das Gehäuse eingesetzt zu werden. Und erst dann wurde klar, dass das nicht funktionieren würde.

Warum nicht? Weil sich herausstellte, dass die Platine zu lang war. Wie ist das möglich?

Es stellt sich heraus, dass es zwei verschiedene Versionen der Batteriestäbe gibt. Mir war bereits aufgefallen, dass bei einem Stab die feste Abdeckung auf der Seite des Schalters war und bei allen anderen die lose. Abb. 415 zeigt deutlich, dass auch die Batterien umgedreht werden mussten.

Das an sich war nicht das Problem. Das Problem war, dass ich den oberen Batteriestab verwendet hatte, um die Abmessungen der Platine zu bestimmen. Allerdings verfügt die untere Version noch über zwei 1,5 mm tiefe Rillen. Es stellte sich auch heraus, dass die Ecken der unteren Version nicht rechtwinklig (90°), sondern 45° abgewinkelt waren. Ich musste also zwei Kerben fräsen und auch die Ecken der Platine beka-

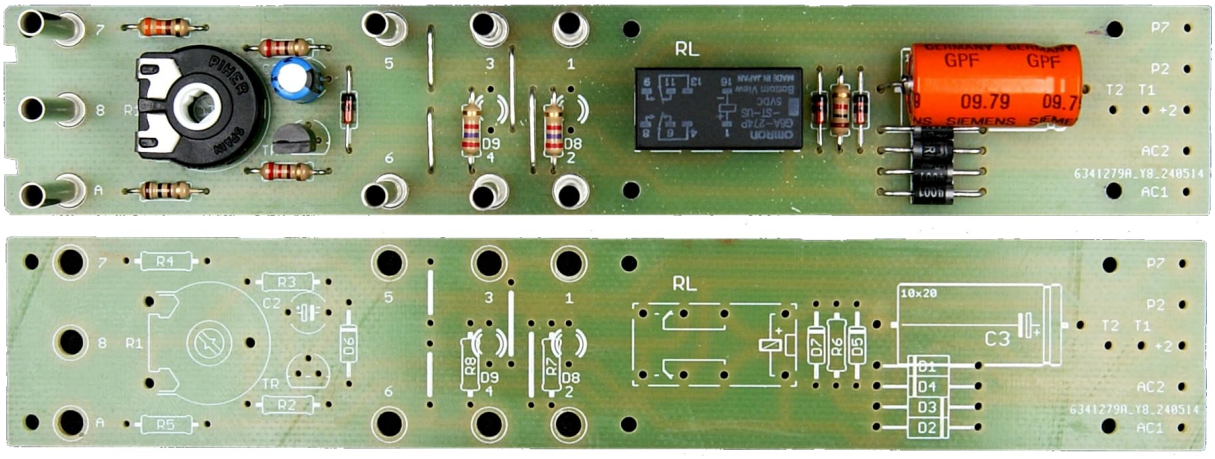


Abb. 416: Die Anpassungen zur Einpassung der Platine in das Gehäuse sind deutlich zu erkennen. Auch die Drahtbrücke neben Anschlussbuchse 5 und die Diode D2 stören. Glücklicherweise sind die Widerstände R4 und R5 richtig platziert.

men die Einwirkung eines Fräsers zu spüren. Auf Abb. 416 sind die Unterschiede deutlich zu erkennen.

Nachdem die Platine nun in das Gehäuse passte, mussten auch an der Verkabelung des Schalters einige Anpassungen vorgenommen werden. In Abb. 417 ist links das Original zu sehen und rechts, wie es laut Schaltbild sein soll. Auch die Farben entsprechen dem Original l-e.

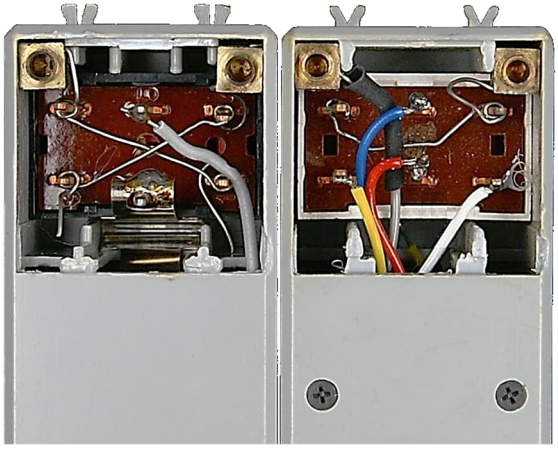


Abb.417: Links das Original und rechts, wie es laut Schaltbild sein soll. Auch die Farben entsprechen dem Original l-e. Hier sind auch 2 der 6 Märklin-Schrauben 1,6×13 mm (74990) zu sehen.

Deckel

Ich wollte unbedingt einen transparenten Deckel. Das Original hat das auch. Und den grauen Deckel hatte ich natürlich schon weggefräst, sodass ich ihn nicht mehr verwenden konnte.

Nachdem die vom chinesischen JLCPCB [7] für mich gedruckten Deckel [8] eingetroffen waren, war es an der Zeit, alles zusammenzubauen.

Die Abdeckungen mussten mit sechs Schrauben verschraubt werden. Ich wollte dafür möglichst kleine Schrauben verwenden. Diese habe ich in meinem Vorrat an Modelleisenbahnzubehör gefunden:

1,6×13 mm Märklin-Schrauben (74990) [9]. Ich musste lediglich ein 1,3 mm großes Loch in die Stützen des Deckels bohren.

Die letzten Schritte vor der Endmontage bestanden darin, den Taster und beide LEDs zu platzieren, alle Drähte an die Platine zu löten, anschließend die Platine in das Gehäuse einzulegen und den Deckel aufzusetzen, ohne irgendwelche Drähte einzuklemmen.

Für die Abdeckung unter dem Schalter habe ich auch eine transparente Variante [8] drucken lassen.

Natürlich hätte ich auch eine Kopie des Drehknopfs drucken lassen können. Aber das habe ich nicht getan. Ich habe bereits einen großen Vorrat an Knöpfen für meine Silberlinge, daher war es nicht nötig, noch einen weiteren anfertigen zu lassen. [8]

Fertig? Nein noch nicht ganz. Etwas fehlte noch: Die Frontplatte.

Ich habe mit FrontDesigner 3.0 [10] der Firma ABACOM eine Kopie der Original-Frontplatte erstellt, auf Fotopapier ausgedruckt, laminiert und ausgeschnitten. Mit einer Lochzange die Löcher zu stanzen und anschließend mit UHU-Alleskleber (flinkeflasche 4019) auf den Deckel zu kleben waren die letzten Aktionen.

Hinweis

Mir ist aufgefallen, dass ich nur die LDRs verwenden konnte. Allerdings wollte ich auch den Fototransistor (36134) verwenden. Das hat nicht funktioniert. Laut Handbuch bilden das Potentiometer und der LDR einen Spannungsteiler. Ein beleuchteter LDR hat einen Widerstand, der kleiner oder gleich dem des Potentiometers ist: weniger als 1 kΩ. Allerdings ist der Widerstand eines belichteten Fototransistors (36134) höher. Ein Potentiometer von 10 kΩ wäre besser. Dann sollten auch PTCs und NTCs möglich sein.

Das Ende?

Ja – und möglicherweise nein.

Ich habe jetzt alle Silberling- und IC-Module besprochen und neu erstellt.

Möglicherweise wurden in den 1970er Jahren weitere Module hergestellt. Allerdings sind sie mir nicht bekannt und ich weiß natürlich auch nicht, wer sie haben könnte.

Für ein anderes Projekt habe ich die Module von Hans-Cristian Funke studiert. Wenn das Projekt abgeschlossen ist, werde ich darüber berichten.

Abschließend möchte ich Jeroen Regtien für die Leihgabe seines l-e und Arnoud van Delden für die Bearbeitung einiger Bilder danken.

Quellen

[1] Fischerwerke: *fischertechnik Neuheiten*. Auf docs.fischertechnikclub.nl, 1969.

[2] Fischerwerke: *fischertechnik – das Konstruktionsspiel ohne Grenzen.* Gesamtprogramm, auf docs.fischertechnikclub.nl, 1970.

[3] Fischerwerke: *fischertechnik l-e licht-elektronik*. Prospekt, auf docs.fischertechnikclub.nl, 1970.

[4] Fischerwerke: *fischertechnik l-e Band 1*. Anleitung, auf docs.fischertechnikclub.nl, 1969.

[5] Fischerwerke: *fischertechnik l-e Band 1*. Anleitung, auf docs.fischertechnikclub.nl, 1969.

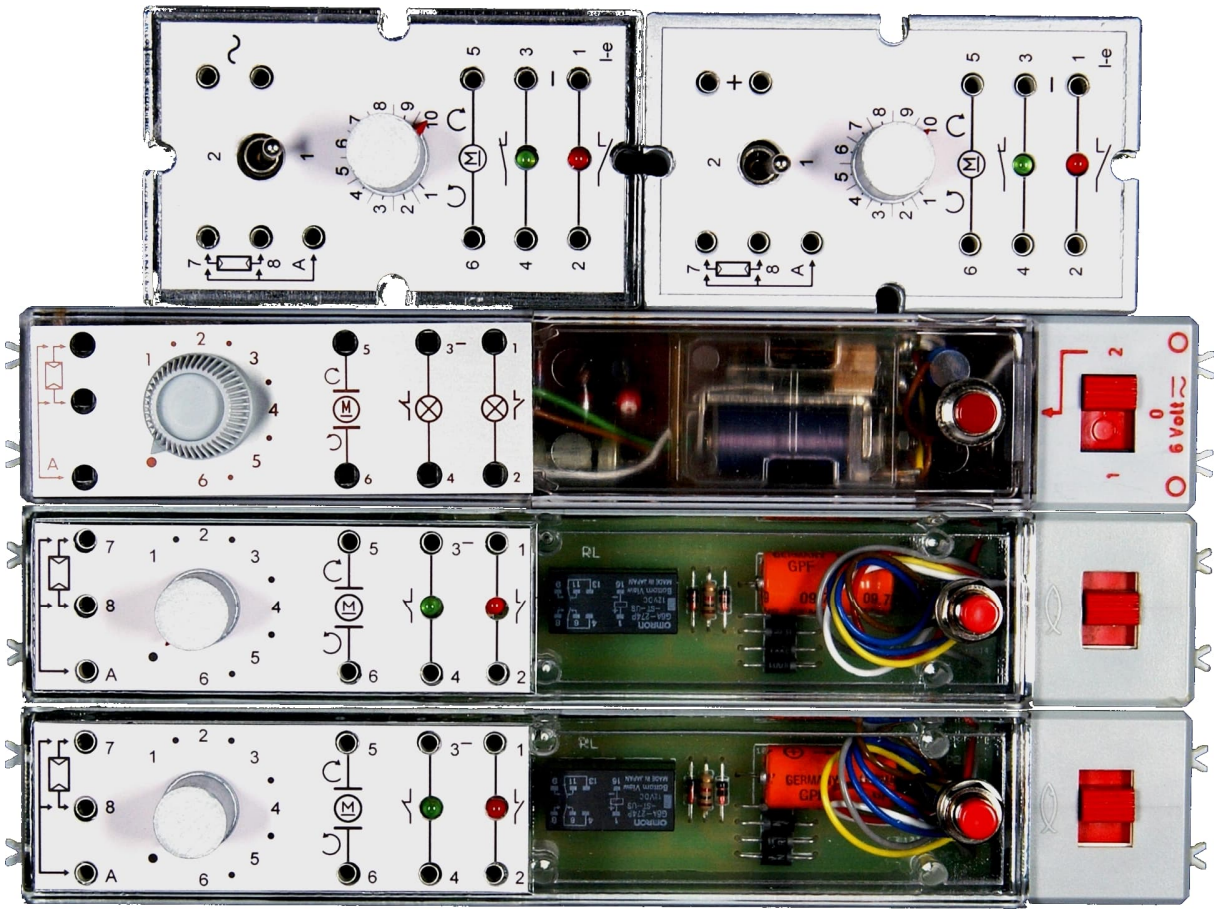


Abb. 418 Original l-e zwischen Nachbauten. Lediglich der Aufdruck neben dem Schalter muss noch ergänzt werden. Allerdings weiß ich noch nicht, wie ich das machen soll.

[6] Fischerwerke: *fischertechnik licht-elektronik*. Anleitung zum Baukasten l-e2, auf docs.fischertechnikclub.nl, 1970.

[7] https://jlcpcb.com Homepage, China.

[8] Peter Krijnen, *Lid for fichertechnik Elektronik Schaltstab*. Auf thingiverse.com, 2024.

[9] Märklin: Spur H0 - Art.Nr. 74990 Gleisschrauben. Auf maerklin.de.

[10] FrontDesigner 3.0 im Abacom-Shop.

Die Bilder 400 bis 403 stammen von Jeroen Regtien.