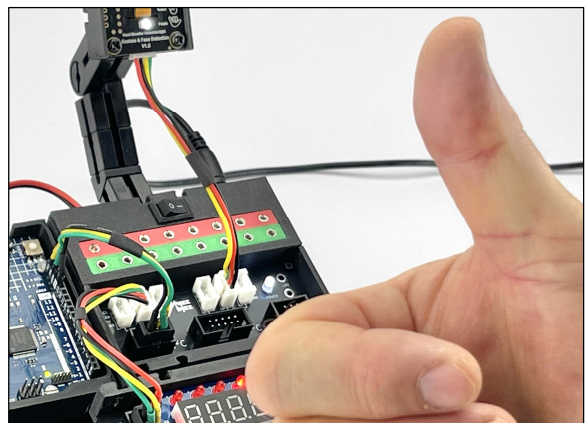


Der große Krahn im Hafen von Hamburg.

In dem „nordischen Venedig“ haben zum Zweck des Zollanschlusses, dessen Termin auf den 15. Oktober 1888 festgesetzt ist, ganz gewaltige Arbeiten stattgefunden, die eine völlige Umgestaltung der Hafeneinrichtungen und der südlichen Stadtgegend zur Folge gehabt haben. Bekanntlich hatte sich der hamburgische Staat, als die Einverleibung in das deutsche Zollgebiet beschlossen wurde, die Einrichtung eines Freihafenbezirktes ausbedungen, in welchem die fremden Schiffe zollfrei vor Anker gehen könnten. Dieses Freihafengebiet umfaßt jetzt insgesamt 1000 Hektar, wovon 300 Hektar Wasser- und 700 Hektar Landfläche zu rechnen sind. Durch die Freihafenanlagen am nördlichen Elbufer wurden die Segelschiffe und Oberländerfähne, welche dort früher zu ankern pflegten, ihrer Liegeplätze beraubt, für die mithin neue eingerichtet werden mußten. Dies geschah theils im sogenannten Baakenwärder.



Editorial

Kognitive Auslagerung

Dirk Fox, Stefan Falk

Zahlreiche Studien legen nahe: Wer digitale Hilfsmittel wie Taschenrechner, Korrekturhilfen oder Navigationssysteme nutzt, schwächt auf die Dauer seine Fähigkeit, ohne sie zurecht zu kommen: Kopfrechnen, Rechtschreibung und Orientierungssinn benötigen regelmäßiges Training.

Tatsächlich verwendet der Mensch schon immer Hilfsmittel, um effizienter zu werden: Kompass ersparen uns, die Himmelsrichtung zu bestimmen; Kalender helfen, an Termine zu denken und das persönliche Telefonbuch macht das Memorieren von Telefonnummern überflüssig. Doch wenn wir diese Fertigkeiten lange nicht nutzen, so verlernen wir sie mit der Zeit.

Das könnte auch für unser Denken gelten. So, wie Bewegungsmangel zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führt, könnte eine „kognitive Auslagerung“ von Denkvorgängen an KIs mit der Zeit unser Denkvermögen verkümmern lassen.

Doch es geht auch anders, wie [Forschungsergebnisse](#) von Prof. Dr. Michael Gerlich belegen: Strukturiert angewendet trainiert KI unser Denken, nämlich dann, wenn Denkprozesse nicht ersetzt, sondern durch KI-Einsatz ergänzt werden. Aus Gerlichs Konzept des „strukturierten Prompting“ lässt sich dafür eine Vorgehensweise aus den folgenden fünf Schritten ableiten:

1. *Eigener Entwurf*: Wie würde man die Frage ohne KI-Hilfe beantworten?
2. *Recherche*: Mit welchen Fakten können wir unseren Entwurf anreichern?

3. *Ergänzung*: Einarbeitung der Fakten in den eigenen Entwurf.

4. *Überprüfung*: Der Entwurf wird einer KI mit der Aufforderung vorgelegt, fehlende Aspekte und Gegenargumente herauszuarbeiten. Wo hat der Entwurf Mängel?

5. *Reflexion*: Überarbeitung des Entwurfs unter Berücksichtigung der Einwände und Ergänzungsvorschläge der KI.

Wiederholt man die letzten beiden Schritte, gewinnt unser Entwurf erheblich an Qualität – ohne dass wir dabei das eigene Denken ausschalten: Wir lernen dazu und vertiefen unser eigenes Verständnis, wie im Gespräch mit einem belesenen und kompetenten Diskussionspartner.

Kurz gesagt: Wer vor der Nutzung einer KI selbst denkt und die KI anschließend nutzt, um seine Überlegungen zu hinterfragen und zu ergänzen, trainiert sein Denken. Vergleichsgruppen, die Suchmaschinen oder KI unstrukturiert nutzten, lieferten in Prof. Gerlichs Untersuchungen nachweislich signifikant schlechtere Ergebnisse.

Auch KI-Modellentwürfe – nennen wir sie „konstruktive Auslagerung“ – könnten unsere Konstruktionskompetenz verkümmern lassen. Das aber sollte ein fischertechniker niemals riskieren.

Daher: 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

Kognitive Auslagerung	2
Der Hamburger 150-t-Drehscheibenkran	4
Großprojekt Seilbahn (13): Reifenförderer (2)	13
Viergelenkgetriebe – Parallelkurbelgetriebe	21
Planetengetriebe (3) – ein Bausatz für fischertechnik	26
Pneumatische Schrittmotoren	35
Es quietscht und pfeift: Wie man eine Orgel baut (Teil 3).....	51
Wie man mit Silberling-Relais einen 8-Bit-Addierer erstellt.....	58
Pimp my Car (1) – Einfach nur eine Fernsteuerung	64
Ein universeller I ² C-Hub	69
Oxocard-Splitter	78

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Baumonats Herne	September 2026	Hauptstraße 259, Herne-Wanne
Clubtag De Bilt 2026-2	21.11.2026	Kultur- und Konferenz- zentrum HF Witte Henri Dunantplein 4 3731 CL De Bilt

Impressum

<http://www.ftpedia.de>

Herausgeber: Dirk Fox, Ettlinger Straße 12-14,
76137 Karlsruhe und Stefan Falk, Ulmenweg 9, 76275 Ettlingen

Autoren: Christian Bergschneider, Axel Chobe, Arnoud van
Delden, Stefan Falk, Dirk Fox, Stefan Fuß, Fabian Haas,
Lambert Janssen, Peter Krijnen, Jeroen Regtien, Tilo Rust,
Harald Steinhaus, Frank Unglaub.

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

Modell

Der Hamburger 150-t-Drehscheibenkran

Fabian Haas

Kräne sind beeindruckende Strukturen: eine Kombination aus federleicht erscheinendem Gitterwerk und ungeheurer Tragekraft, oft in riesigen, weit ausgreifenden Dimensionen. Sie sind Meilensteine der Technik und weithin sichtbares Symbol für Ingenieurleistungen. Daher werden sie oft und gerne von uns fischertechnikern gebaut; durchaus nicht weniger technisch herausfordernd. Meine Wahl fiel auf den historisch bedeutungsvollen Hamburger Kran, der lange ein Rekordhalter in der Tragelast (150 t!) war und es auf Postkarten und in die Welt der künstlerischen Fotografie schaffte. Dabei stand die Laschenkette des Flaschenzugs im Fokus und die Kette erwies sich auch im Modell als besonders herausfordernd.

Ein historischer Kran und historische Photographien

Jedes Modell hat einen Ausgangspunkt. Eine Beobachtung, ein interessantes Konstruktionsmodell, eine fixe Idee, die unbedingt konstruktiv bearbeitet werden muss. Daran beißt man sich fest, und im Handumdrehen sind etliche Abende damit verbracht, die perfekte Lösung für das Problem zu entwerfen.

Mein Ausgangspunkt war eine Fotografie von Albert Renger-Patzsch, der als wichtiger Repräsentant der „Neuen Sachlichkeit“ in die Fotogeschichte eingegangen ist und in den 1920er bis 1940er Jahren viel damit beschäftigt war, Industrieanlagen und -prozesse zu fotografieren. Konkret waren Bilder in seinen Büchern „Eisen und Stahl“ [3] von 1931 (Bild 66) der Anstoß für mich, auf denen eigentlich nur Kette und Haken zu sehen sind. Zwei weitere Bilder finden sich im Buch „Hamburg“ [2] von 1930 (S. 36 und 37), einmal als „Schwerlastkran“ und dann als „Riesenkran“ bezeichnet. Offensichtlich stand der Kran in Hamburg.

Eine schnelle Internetrecherche förderte erstaunliches zu Tage (siehe alle Verweise im Abschnitt *Quellen*).



Abb. 1: Eine Postkarte mit einer historischen Aufnahme

Der Kran war zu seiner Zeit, das war 1887, der leistungsfähigste in Europa und konnte bis zur 150 t Last heben. Es ist der Drehscheibenkran der Fa. Ludwig Stuckenholz. Für das 19. Jh. eine ganz enorme Leistung! Dieser Rekord, verbunden mit dem damals üblichen gehörigen Nationalstolz, brachte

den Kran auf Postkarten, Stiche und Bilder, die man erwerben konnte und sich gerne an die Wand hängte. Postkarten dürften als Nachweis gedient haben, dass man vor Ort war und den Hamburger Kran bewundern konnte, gewissermaßen ein Selfie ohne Self. Einige dieser Dokumente sind nach wie vor verfügbar – Online-Auktionsplattformen wie Ebay machen es möglich – und ich besorgte mir einige Postkarten, um einen kompletten Blick auf den Kran zu erlangen, damit im Modell soweit alles stimmig ist und die wesentlichen Konstruktionsmerkmale nachempfunden werden konnten. Eine genau, maßstabgerechte Nachbildung („scale model“) scheidet mit Fischertechnik aus.

Die Kette und die Folgen

Wie gesagt, jedes Modell hat einen Ausgangspunkt! Mein Ausgangspunkt war tatsächlich die Kette als Flaschenzug. Mir ist kein anderer Kran geläufig (wobei mein Wissen in der Mechanik sicher nicht umfassend ist), der eine Kette nutzt, um Lasten zu heben. Alle mir bekannten Modelle und Kräne nutzen Stahlseile in Flaschenzügen und auf Winden zum Anheben. Ein Grund ist im Buch „Die Hebezeuge“ von Hugo Bethmann ([1], S. 50) genannt:

„5. Gallsche Ketten. Nur für große Belastung, kleine Geschwindigkeit und kurzen Hub verwendbar. Nachteile: Großes Eigengewicht, keine Seitenbeweglichkeit (deshalb nicht verwendbar bei Laufkränen mit großer Fahrgeschwindigkeit), Rosten im Freien und starke Abnutzung infolge der großen Bolzenpressung.“

Offensichtlich war beim Hamburger Kran die große Belastungsfähigkeit gefragt, alles andere spielte keine Rolle. Dennoch war mein Interesse geweckt. Wie kann ich einen Flaschenzug mit einer Kette mit dem im Fischertechnik-System vorhandenen Bausteinen realisieren? Das sollte doch ganz einfach sein. Eine Abweichung ist natürlich,

dass Fischertechnik keine Laschenkettens oder Gallschen Ketten anbietet (die Kette am Fahrrad entspricht einer Laschenkette), sondern eben verschiedene Variationen der Gliederkette (Rastkettenglied oder Kettenglied und Förderglied). In meiner Kette sind beide kombiniert, um die nötige Länge zu erreichen.

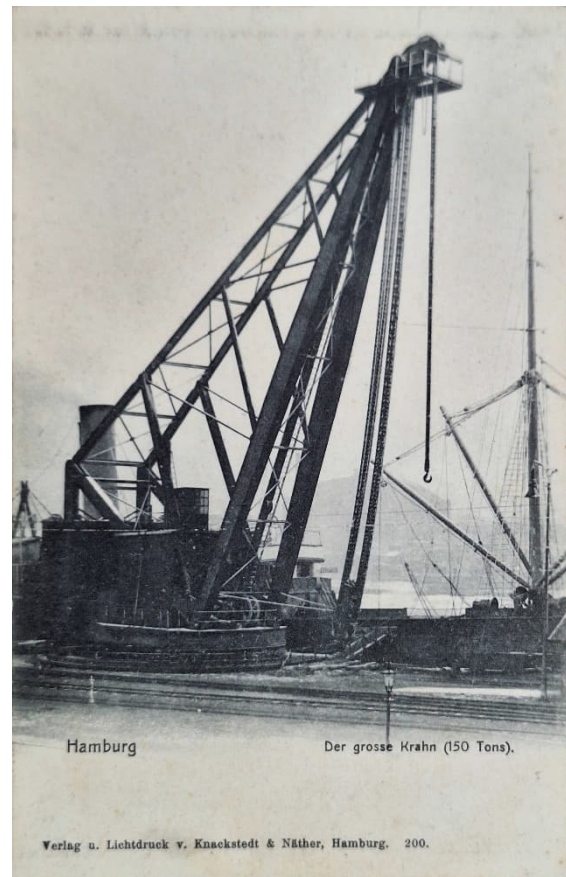


Abb. 2: Eine zweite Postkarte mit einer historischen Fotografie des Krans

Aufgrund der mangelnden Seitenbeweglichkeit einer Kette können die einzelnen Züge im Flaschenzug nicht nebeneinander verlaufen, sondern müssen ineinander liegen. Es braucht Zahnräder mit verschiedenen Durchmessern, nicht zu groß wegen den allgemeinen Dimensionen und nicht zu klein wegen der Laufruhe und -sicherheit der Kette über die Zahnräder. Ich entschied mich für eine Kombination von Zwischenzahnrad Z10 in schwarz (ohne die feine Bezeichnung m0,5) und Zahnrad Z15, das an weiteren Stellen im Kran Verwendung

findet. Damit waren die Dimensionen gewählt, und die einzelnen Abschnitte der Kette laufen sicher aneinander vorbei. Aufgrund der hohen Reibung der Zahnräder an Metallachsen wurden für die Zahnräder die leichter laufenden Rastachsen 20 verwendet und der Teil, an dem die Haken befestigt sind, relativ schwer ausgelegt. Nur dadurch laufen die Haken durch die Schwerkraft wieder nach unten. Es wurden drei Metallachsen 45, zwei Achsen 30 für zwei Seilhaken groß verwendet, die mit sechs I-Streben 60 und zwei I-Streben 30, sowie zwei Laschen 21,2 verbunden sind.



Abb. 3: Blick auf die „Flaschen“, d. h. die Umlenkrollen des Flaschenzugs mit Ketten



Abb. 4: Blick auf die „Flaschen“ am Ende des Auslegers

Soweit die Haken. Ein Ende der Kette muss, wie bei jedem Flaschenzug, verankert werden, und zwar so, dass die Kette frei daran vorbeilaufen kann, trotz der fehlenden Seitenbeweglichkeit. Dies gelingt mit einem Förderglied, das in einem Baustein 7,5 fixiert ist, der von zwei anderen Bau-

steinen 7,5 flankiert wird. Somit wird die mittlere Position gesichert und die Fixierung am Kranausleger ergibt eine Breite von 45 mm. Der mittlere Baustein 7,5 wird durch zwei Metallachsen 45 gehalten und das Förderglied durch zwei Federnocken gegen Verrutschen gesichert.

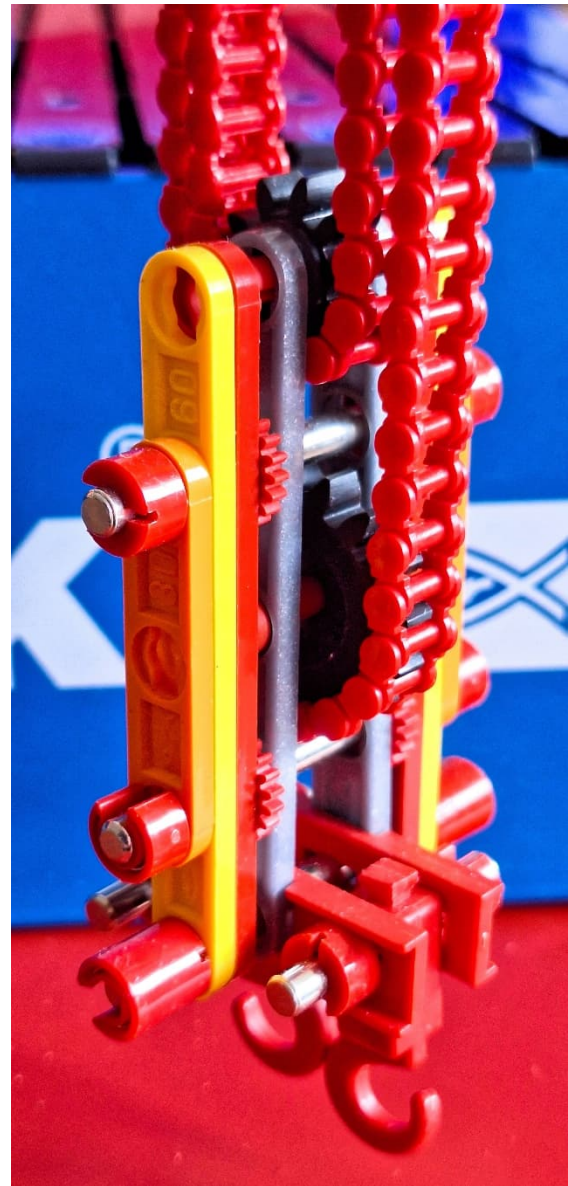


Abb. 5: Umlenkrollen am Doppelhaken

Bausteine 5 (weiß) erzeugen genug Abstand für das Zahnrad Z15 (gelb), dass die Umlenkung der Kette besorgt und in Bausteinen 15 mit Bohrung (rot) gelagert wird. Zum Ausleger hin schließen sich Baustein 15 (schwarz), Baustein 15 mit Bohrung

(rot) und ein weiter Baustein 15 (weiß) an, bevor es mit Winkelstein 7,5 (grün) und Winkelstein 15 (rot) am eigentlichen Ausleger (hier gelbe Bausteine 15) befestigt wird. Darunter unterstützen dieselben Winkelsteine und Winkelstein 10×15×15 (grün) den Flaschenzug am Ausleger (schwarze Bausteine 15, wie die obenliegenden Verbindungsstücke 45).

Über dem Ausleger befindet sich ein Zahnrad Z15 (schwarz) zur Umlenkung der Kette, das in zwei Rollenlagern (rot) auf einer Metallachse 45 sitzt. Die Rollenlager liegen auf Bausteinen 7,5 (gelb), versteift mit Verbindungsstück 45 und Metallachse 45.

Das Gitterwerk

Entsprechend den historischen Abbildungen (die Pläne waren nicht verfügbar) ist der Ausleger fest, in einem definierten Winkel montiert. Im Original überstreicht er einen Kreis mit 34,5 m (siehe den Fakturtext in Abb. 6). Die besonders hohe Last verbot vermutlich eine bewegliche Konstruktion. Winkelmessungen sind an Fotografien schwierig durchzuführen, da der Betrachtungswinkel starken Einfluss auf die Messung hat. Nach mehreren Vergleichen verschiedener Vorlagen sollte der Ausleger vermutlich etwas weniger als 30° Neigung haben, was mit der Kombination der Winkelsteine 7,5 (grün) und 15 (rot) ganz gut darstellbar ist.

Basierend auf diesem Wert konstruierte ich das Gitterwerk aus je zwei obenliegenden schwarzen Winkelträgern 120, die mit Bausteinen 7,5, Baustein 15 (schwarz), Baustein 5 (weiß) und Gelenksteinen an den Gegengewichten, den Akku-Packs, verankert sind. Die Basis ist breiter (75 mm) als der Ausleger am oberen Ende (nur 45 mm breit), die entstehende Spannung nehme ich aber hin. An der

Der große Kran im Hafen von Hamburg.

In dem „nordischen Venedig“ haben zum Zweck des Zollanschlusses, dessen Termin auf den 15. Oktober 1888 festgesetzt ist, ganz gewaltige Arbeiten stattgefunden, die eine völlige Umgestaltung der Hafeneinrichtungen und der südlichen Stadtgegend zur Folge gehabt haben. Bekanntlich hatte sich der hamburgische Staat, als die Einverleibung in das deutsche Zollgebiet beschlossen wurde, die Einrichtung eines Freihafenbezirktes ausbedungen, in welchem die fremden Schiffe zollfrei vor Anker gehen könnten. Dieses Freihafengebiet umfaßt jetzt insgesamt 1000 Hektar, wovon 300 Hektar Wasser- und

700 Hektar Landfläche zu rechnen sind. Durch die Freihafenanlagen am nördlichen Elbufer wurden die Segelschiffe und Oberländerfähne, welche dort früher zu anker pflegten, ihrer Liegeplätze beraubt, für die mithin neue eingerichtet werden mußten. Dies geschah theils im sogenannten Baakenwärder, am Nordufer der Elbe, südöstlich von der Stadt, theils am südlichen Elbufer. Hier sind nun zwei parallel laufende Häfen hergestellt worden: der Segelschiffhafen und der äußere Oberländerhafen. Auf dem äußersten Punkte des diese beiden Häfen trennenden Njia-Duai's erhebt sich der riesige Kran, den unsere Illustration auf Seite 169 darstellt und welcher gegenwärtig der größte Hebekran der Welt ist.

Derselbe ist erbaut von der Firma Ludwig Stuckenholz in Wetter a. d. Ruhr nach dem von dieser Firma häufiger ausgeführten Drehscheibensystem. Seine Höhe beträgt 32 Meter; die Drehscheibe hat einen Durchmesser von 13 Meter. Die Tragkraft des Krans beträgt 150 Tonnen oder 150,000 Kilogramm; der als Gegengewicht dienende Ballastkasten ist mit

250,000 Kilogramm Sand gefüllt. Der Hauptlasthafen oben vermag bei einer ganzen Umdrehung des Krans einen vollen Kreis von 34,6 Meter Durchmesser zu beschreiben. Hierdurch wird für schwere Güter ein großer Lagerraum geschaffen, welcher bei den für so bedeutende Lasten sonst üblichen Scheerenkränen gänzlich fehlt. Die Lastkette ist eine Gall'sche Gelenkette und wirkt für die schwersten Lasten vierfach, leichterere können auch mit einfacher Kette gehoben werden. Der Kran dient dazu, besonders schwere Lasten direkt aus dem Schiff in den Eisenbahnwagen, und umgekehrt, zu heben und gelangt namentlich bei der Verladung von Lokomotiven und den modernen Riesengeschützen, die bisher über Antwerpen, das den nächstgrößten Hebekran besitzt, versandt werden mußten, zur Anwendung. Seine Aufstellung ist 1887 erfolgt. Der Betrieb sämtlicher Krähne, Winden und Aufzüge erfolgt von der Centralmaschinenstation im Freihafengebiet aus, deren hydraulische Station 36 Quaihäuser, 260 Krähne und Winden und 50 Aufzüge bedient, während die elektrische Anlage derselben 4200 Glühlampen und 30 Bogenlichter speist.

Abb. 6: Historischer Fraktur-Text zum Kran

Spitze sind sie mit zwei Winkelsteinen 30 (rot) and den gelben Bausteinen 15 befestigt. Damit passen rund um das Gitterwerk die Winkel zusammen. Streben versteifen das Gitterwerk weiter, wobei es relativ schwierig war, die passenden Längen zu erzeugen, um der Struktur des originalen Gitters nahe zu kommen. Daher sind die

ersten beiden seitlichen Streben mehrteilig, die obere mit Lasche 21,2, die oberste ist die I-Strebe 45.

Die untere Seite des Gitterwerks besteht aus vier schwarzen Bausteinen 30 und einem grauen Baustein 15, der über entsprechende Winkelsteine 7,5 (grün) und 15 (rot) am Gelenkstein ansetzt. Das Ganze ist mit eingelegten Achsen 120 gesichert. Weiße Bausteine 5 stellen die passenden Abstände her. Winkelträger 30 und 15 versteifen die Basis zwischen den Gelenksteinen über den Akku-Packs.

Der vordere Teil des Gitterwerks besteht aus Winkelträgern 120, 60, 30 und 15, die oben an den gelben Bausteinen 15 ansetzen und unten über gelbe Bausteine 30, schwarze Bausteinen 7,5 (wieder mit Metallachse 120 gesichert), Winkelsteine 7,5 (grün) und 15 (rot) am Rahmen ansetzen. Die recht vielen Winkelträger werden an ihrer Unterseite mit I-Strebe 120 per S-Riegel 4 gesichert.

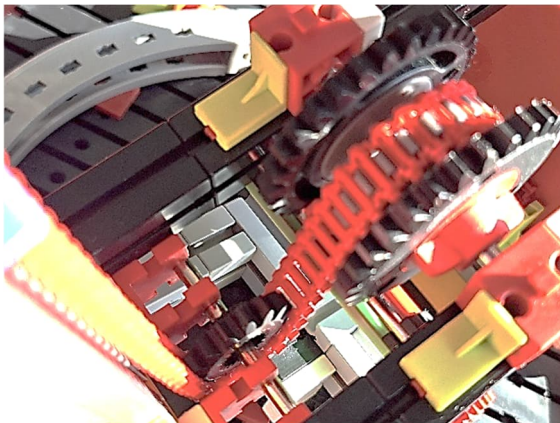


Abb. 7: Führung der Kette

Auf den historischen Bildern ist zu sehen, dass die Kette in einer Art Führung oder Kanal nach unten und dann in das Maschinenhaus läuft (vermutlich mit einem nach heutigen Maßstäben lächerlich schwachen Motor). Die Führung scheint relativ schwach konstruiert zu sein und hat sicher keine tragende Funktion. Tatsächlich habe ich dort ein Aluprofil eingesetzt, das der Anfang des ganzen Auslegers war; erst später kam die Idee zur besseren Nach-

empfindung und eines Gitterwerkes dazu. Das Aluprofil lässt sich sicher ersetzen, allerdings dient es als Halterung für die Führung, die durch ein Flexprofil 180 hergestellt wird.

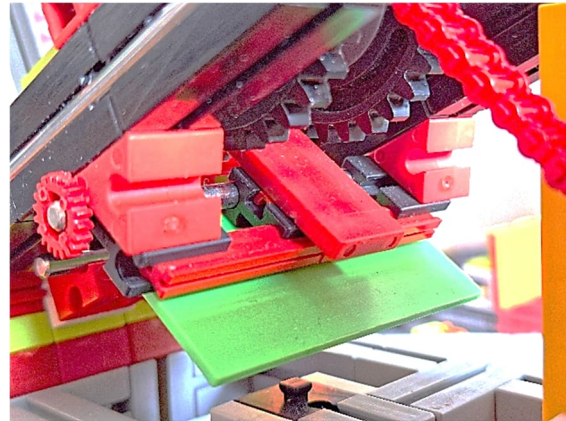


Abb. 8: Der Auslass in den Kettenbunker

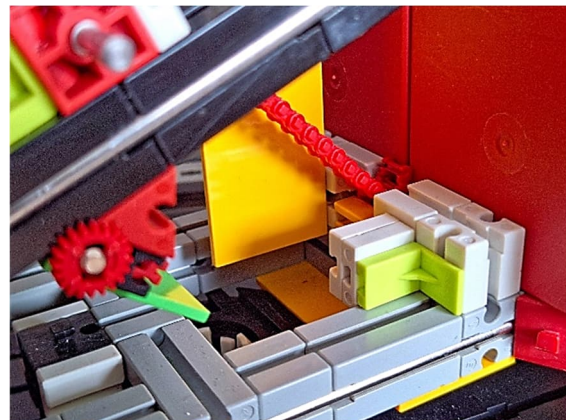


Abb. 9: Blick in den Kettenbunker mit den gelben Grundplatten als Boden- und Seitenplatten

Darin verläuft die Kette bis unter die gelben Bausteine 30. Dort sind an den (roten) Bausteinen 7,5 Rollenlager (rot auf weißen Bausteinen 5) verankert, zwischen denen ein Zahnrad Z15 die Kette nach oben umlenkt auf das Rastkettenrad Z20, dass zwischen den beiden Zahnradern Z30 liegt. Somit ist die sichere Führung auf das Rastkettenrad Z20 garantiert. Die Z30/Z20/Z30 sind über Bausteine 15 mit Bohrung an der unteren Seite des Gitterwerks verankert. Winkelsteine 10×15×15 unterstützen die Verankerung, weiße Bausteine 5 helfen bei der Ausrichtung der Achse 80 abgeflacht.

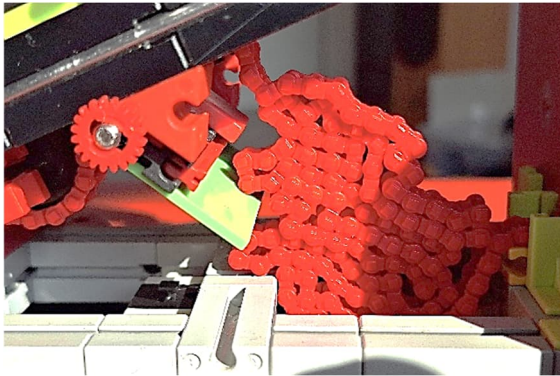


Abb. 10: Die Kette im Bunker

Der Rahmen und die Basis

Die Fotografien zeigen einen relativ simplen Rahmen, aus zwei Rechtecken oder Quadraten bestehend, und einer zentralen Achse, um den sich der Rahmen dreht. In fischertechnik gestaltete ich das mit zwei Quadraten aus grauen Bausteinen 30 und 15, die beiderseits der mittleren Quer-Verbindung (aus zwei Bausteinen 30 und einem Baustein 15) liegen. Das Ganze wird wie immer mit Metallachsen 120 und 45 gesichert und versteift. Befestigt wird der Rahmen mit Federnocken auf einem Drehkranz 40, der wiederum auf der Grundplatte 1000 befestigt wird.

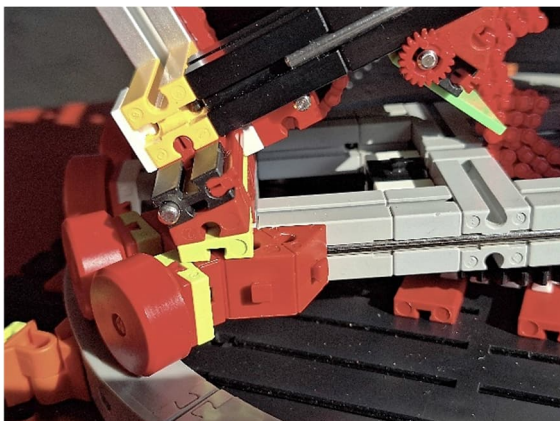


Abb. 11: Aufbau des Krans auf dem Rahmen

Ein Kran benötigt natürlich Gegengewichte, die sehr prominent auf den Fotografien zu sehen sind. Wenn die Beschreibungen zutreffend sind, waren sie mit Sand als Ballast gefüllt. Das Eigengewicht des Krans wird mit 245 t angegeben, mit Ballast sind es 495 t, also 250 t Sand! Das Beste,

was mein fischertechnik-Sortiment in der Hinsicht zu bieten hat, sind die beiden Akku-Packs, die recht schwer sind und sich entsprechend den Abbildungen verbauen lassen. Die hinteren Streben an der Basis scheinen durch die Ballastkästen hindurch zu gehen, was ich so nicht realisieren wollte, wobei das Modell aber dem Eindruck doch recht nahekommt. Die Akku-Packs sitzen außerhalb des Rahmens auf Bausteinen 30 und werden von den vier weißen Bausteinen 15 noch mal stabilisiert.



Abb. 12: Akku-Packs als Gegengewichte, im Original mit 250 t Sand gefüllt, und die Räder 23 auf der Drehscheibe bzw. einem Drehkranz, der auf der Grundplatte 1000 verankert wird

Doch wohin mit der Kette? Die Kette war ja der Ausgangspunkt des ganzen Projektes, genauer ein Flaschenzug mit einer Kette anstatt mit einem Seil. Die eingezogene Kette muss ja irgendwohin, eine Trommel funktioniert bei einer Laschen- oder Gallschen-Kette nicht. Die historischen Fotografien geben da keine Auskunft. Die Kette verschwindet im Steuer- bzw. Motorhaus, ohne dass zu sehen wäre, wie genau die Kette gelagert wird.

Abbildungen 1153 und Abbildungen 1154 in Bethmann 1915 (S. 687) geben einen Hinweis: Dort wird die Kette in einen Kasten oder Bunker abgelegt. Wie realisiert man das? Ich nutze zwei gelbe Bauplatten 30×60 dazu, die die Wände des Kettenbunkers bilden. Zusätzlich wird eine Bauplatte von unten an den Rahmen ange-

bracht, die so einen Boden beim hinteren (Akku-Pack-) Teil bilden. Nach vorne schließt die Bauplatte mit dem Drehkranz Z40 ab.

Die Drehscheibe als Verankerung

Soweit der Kran. Er dreht sich auf einer Drehscheibe von 13 m Durchmesser, die schnell mit einem Kreis aus Flachträgern (grau) und 12 grauen Bogenstücken 60 gebaut sind. Diese liegt nicht frei auf der Grundplatte 1000, sondern ist mit Winkelsteinen 10×15×15 (grün) befestigt. An einigen davon ist das Drehgelenk (orange) angebracht, um sich an die Krümmung der Drehscheibe anzupassen. Wo immer die Löcher der Flachträger und Drehgelenke übereinander liegen, wurden S-Riegel 4 von innen angebracht, sodass eine Drehung oder Verschiebung der Drehscheibe nicht mehr möglich ist. Die Drehscheibe ist bei einigen Bildern aus einer erhöhten Perspektive klar zu sehen, ebenso wie die Rollen.

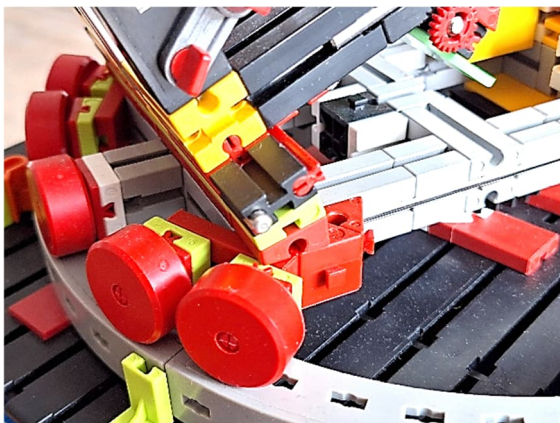


Abb. 13: Auslegerverankerung und Räder 23 auf der Drehscheibe

Ich verzichtete darauf, die Zahl und Größe der Rollen nachzubilden, sondern verwendete zehn Räder 23, die am Rahmen mit Aufnahmeachsen befestigt werden. Um die Rollen in Radius und Winkel genau auf die Drehscheibe zu bringen waren noch grüne Winkelsteine 7,5 und Bauplatten 15×30×5 mit drei Nuten notwendig. Für die feste Verankerung der äußeren Radpaare am

Rahmen sorgen jeweils ein Block aus drei Winkelsteinen 60, in die die Bauplatten 15×30×5 greifen. Gegen Verrutschen nach oben werden die Radpaare (vorne) durch Winkelsteine und Baustein 7,5 (angebracht an der Basis des Auslegers mit Metallachse 120 und Verbindungsstück) und (hinten) mit Akku-Packs gesichert.

Wie fast immer bei meinen Modellen verzichte ich auf eine Motorisierung oder LED-Beleuchtung, obwohl mit den Akku-Packs ja schon eine Energiequelle verfügbar ist.

Und schon ist das Modell eines Drehscheibenkrans aus dem Jahre 1887 der Firma Ludwig Stuckenholz fertig!

Quintessenz

Trotz der vielen Abweichungen lässt sich das Modell klar als Nachbildung des Drehscheibenkrans aus dem Jahr 1887 erkennen. Ich konnte viele Konstruktionselemente übernehmen und nachbilden, obwohl fischertechnik sich nicht unbedingt zum Nachbau von maßstabsgerechten Modellen anbietet.

Überraschend und interessant zugleich war für mich, wie stark die Kette in die Gesamtkonstruktion eingreift. Von der Gestaltung des Flaschenzugs über den Ausleger bis in den Kettenbunker hatte sie massive Auswirkungen auf die Konstruktion im Modell. Ich denke, das ist ein Grund warum fast ausschließlich Stahlseile im Hebezeugen Verwendung finden und keine Ketten. Der Kran von 1887 war in der Beweglichkeit sehr eingeschränkt, fest in einer Drehscheibe verankert. Mit unbeweglichem Ausleger waren Wirkungsradius und -hub begrenzt. Die Ladung konnte vom Schiff auf den Kai verladen werden – dafür reichte der kurze Hub aus, den die Gallsche Kette erlaubte.

Auf zum nächsten Modell; vielleicht ein Hammerkran!

Quellen

- [1] Bethmann, H: *Die Hebezeuge: Berechnung und Konstruktion der Elemente, Flaschenzüge, Winden und Krane*. Für Schule und Praxis mit besonderer Berücksichtigung des elektrischen Antriebes bearb. F. Vieweg & Sohn, Braunschweig 3. Auflage 790 pp., 1915. Auf archive.org.
- [2] Renger-Patzsch, A.: *Hamburg. Photographische Aufnahmen*. Enoch Verlag, Hamburg, 1930. Frei verfügbar als PDF über arthistoricum.net und slub-dresden.de.
- [3] Renger-Patzsch, A: *Eisen und Stahl*. Verlag Hermann Reckendorf, Berlin, 1931. Frei verfügbar als PDF über arthistoricum.net und slub-dresden.de.
- [4] Bildersuche auf historische-bilder.com.
- [5] Bilder des Drehscheibenkran der Fa. Ludwig Stuckenholz auf hardconn.de.
- [6] Weiteres Bildmaterial im Bildarchiv Hamburg auf bildarchiv-hamburg.com.
- [7] Weiteres Bildmaterial bei der Stiftung Historische Museen Hamburg auf shmh.de.



Abb. 14: Das fertige Model des historischen 150-t-Krans

Modell

Großprojekt Seilbahn (13): Reifenförderer (2)

Tilo Rust

Diese Beitragsserie begleitet das Großprojekt „Kuppelbare Einseilumlaufbahn / Doppelmayr (10-MGD)“. Der Beitrag stellt die Weiterentwicklung der Reifenförderer vor, die schon Thema des sechsten Beitrags waren [1].

Projektstand

Endlich können wir uns wieder um die Technik kümmern. Nachdem wir mit der Anlage nach Herne umgezogen sind [2] und die ersten Bautage dort verbracht haben [3] werden wir den kompletten September 2026 wieder am Limit tüfteln.

Antriebslos

Der Knackpunkt einer kuppelbaren Seilbahn ist, dass die Fahrzeuge in den Stationen aus dem Seil ausgehängt werden – daher auch die Bezeichnung.¹ Sobald aber ein Fahrzeug ausgekuppelt ist, besitzt es keinen Vortrieb mehr und muss daher durch einen anderen Mechanismus durch die Station getrieben werden. Hier kommen zwei Techniken zum Einsatz.

- Der **Kettenförderer**, eine in der Station umlaufende Kette mit weit herausragenden Mitnehmern, die an den Fahrzeugen angreifen und diese bewegen. Vorteil ist die einfache Ausführung und die garantierte Abstandshaltung. Ein Nachteil ist,

dass die Verzögerung und Beschleunigung der Fahrzeuge immer noch mit Rollenförderern oder durch passives und daher unkontrollierbares Auf- bzw. Abrollen erfolgen muss, was für Passagiere deutlich unangenehmer ist. Außerdem sind keine konkaven Kurven der Kette möglich, daher darf eine Station keinen „Knick“ haben, die Seilbahn muss geradeaus weitergeführt werden. Im urbanen Umfeld ist ein Knick aber häufig erforderlich.

- Der **Reifenförderer**: Hier greift eine große Zahl angetriebener Reifen von oben auf einen „Förderschuh“, eine Lauffläche, oben auf der Klemme und rollen das Fahrzeug darunter durch. Der Vorteil ist, dass auch konkave Kurven realisierbar sind, was eine flexiblere Stationsgestaltung zulässt. Zudem sind die Reifenförderer sanfter.²

¹ Wir haben eine „Einseil-Umlaufbahn / MGD-10“ nachgebaut. Doch es gibt auch kuppelbare Dreiseil-Seilbahnen (sog. „3S“). Bei uns gibt es nur ein einzelnes Seil, das gleichzeitig Trag- und Förderseil ist. Bei den 3S (z. B. in Koblenz) gibt es zwei stehende Tragseile, in denen die Fahrzeuge hängen und auf Rollen laufen, wie auf Schienen, während das dritte Seil umlaufend als Förderseil ausgelegt ist. Bei der 3S wird das Fahrzeug in der Station nicht nur aus dem

umlaufenden Förderseil ausgekuppelt, sondern zudem aus den zwei Tragseilen gehoben. Im weiteren Verlauf der Station verhalten sich beide Anlagen gleich.

² Selbst beim Einsatz von Reifenförderern in den Stationen kommen Kettenförderer in Kombination beim Parken (= „Garagieren“) zum Einsatz, vor allem, wenn diese unterirdisch erfolgt.

Synchronizität

Bei Reifenförderern müssen aber (eigentlich) alle Reifen im Gleichtakt und synchron zum Seil laufen. Nehmen wir einmal an, dass das Seil z. B. durch Windeinfluss nur 1% langsamer läuft als geplant. Würde die Geschwindigkeit der Reifenförderer davon abweisen, liefe die Station bald leer und der Abstand der Fahrzeuge würde nicht mehr stimmen. Wie auf der Autobahn gäbe es dann einen Stau oder gar einen Crash auf dem Seil. Auch könnte moderne Regelungstechnik ausfallen oder sogar gehackt werden.

Um dies zu verhindern werden die Reifenförderer mechanisch an das Seil gekoppelt und zudem untereinander mechanisch verbunden. Zu diesem Zweck läuft das Seil am Stationsein- und -ausgang über je 2-4 Abtriebsrollen, die vom Seil angetrieben werden. Diese sind mit drei Keilriemen oder Zahnriemen mit den über dem Seil laufenden Reifenförderern verbunden. Damit ist sichergestellt, dass die Reifenförderer immer synchron mit dem Seil laufen – auch bei Anfahrt oder Halt der Anlage.

Danach sind alle Reifenförderer mit je zwei Keilriemen verbunden. Die Verzögerungs- und Beschleunigungsstrecke ist so reali-

siert, dass die Räder der Keilriemen unterschiedliche Durchmesser haben, also ein mechanisches Getriebe bilden.

Natürlich kann es dabei an mehreren Stellen zu Schlupf kommen: bei den Keilriemen oder an der Stelle, bei der die Reifen auf dem Förderschuh abrollen. Unterschiedlicher Reifendruck und dadurch nicht identische Reifendurchmesser würden zu einer unterschiedlichen Fördergeschwindigkeit führen. Auch hier könnten sich die Fehler addieren und zu Kollisionen der Fahrzeuge im Stationsumlauf führen.

Die Lösung ist für dieses Problem ist einfach und gut: Am Bogen des Umlaufes gibt es eine sogenannte Ausgleichsregelung. Hierzu wird die Geschwindigkeit der Fahrzeuge in Relation zum laufenden Seil (in „Seilmeter“) vom Stationseinlauf bis zur Ausgleichsstrecke gemessen. Liegt sie außerhalb einer gewissen Toleranz, werden die Fahrzeuge in der Ausgleichsstrecke etwas nach vorne oder hinten geregelt. Dies geschieht, indem mit einem Differential und einem Hilfsantrieb die Reifen der Ausgleichsstrecke leicht beschleunigt oder verzögert werden. Generell gilt aber, dass bis auf diese Ausgleichsstrecke eine Seilbahn sozusagen nur einen einzigen Motor besitzt – den Hauptantrieb.



Abb. 1: Im Original sind die Räder in der Kurve ganz leicht gekippt. Gut zu sehen ist die Verbindung mit den Riemen. Rechts unten die Kupplung für die Ausgleichsstrecke.

Er treibt das Seil an und damit auch die Abtriebsrollen der Umkehrstation und in beiden Stationen die Reifenförderer. Tatsächlich wird z. B. in Stationen mit extremer Witterung nur im Tal eine Ausgleichsstrecke verbaut, was die Mechanik noch einmal vereinfacht und robuster macht.

Real life vs. Modellbau

In unserem Modell wird dies möglichst korrekt nachgebaut. Jedoch sind im Modellbau einige Besonderheiten zu beachten.

Zum einen kann man im Original mit Stahl quasi beliebig stabil bauen und dabei auf Bruchteile von Millimetern genau fertigen, an jeder beliebigen Stelle ein Loch bohren und Lager in beliebigem Winkel exakt einsetzen. Wir jedoch sind mehr oder minder an unser fischertechnik-Raster gebunden, wenn wir nicht mit verschiebbaren Teilen arbeiten wollen. Dazu ist der kleinste verfügbare Winkel $3,5^\circ$, und das auch nur in eine Richtung.

Auf der anderen Seite gilt die Faustregel, dass bei einer Miniaturisierung die Kräfte im Quadrat, also bei 1:10 um das 100-fache ansteigen. Dieser Umstand macht es bei uns unmöglich, die Reifenförderer nur über die Abtriebsrollen anzutreiben. Wir müssen zusätzlich Hilfsmotoren einsetzen, die wir natürlich so unauffällig wie möglich platzieren wollen. Damit handeln wir uns allerdings ein weiteres Problem ein: Die Reifenförderer dürfen nun nicht mehr mechanisch miteinander verbunden sein, da die Motoren fertigungsbedingt nicht alle genau die gleiche Drehzahl aufweisen. Die Toleranzen in der Fördergeschwindigkeit der einzelnen Abschnitte sind nicht kritisch, da wir in der Verzögerungs- und Beschleunigungsstrecke von Reifen zu Reifen 10% langsamer oder schneller werden. Im Umlauf machen also Gleichlaufschwankungen von $\pm 5\%$ nichts aus. Trotzdem müssen wir alle Motoren mit Energie versorgen und versuchen alle ungefähr gleich schnell laufen

zu lassen – vor allem aber mit der Seilgeschwindigkeit synchron.

Wir haben dazu eine Regelung mit Hilfe der ft-Swarms XL aufgebaut, die jeweils 4 XL Motoren direkt ansteuern können. Am Stationseingang nehmen wir über die Abtriebsrollen und Drehimpulsgeber die Seilgeschwindigkeit auf und vergleichen diese mit der Geschwindigkeit eines Reifens an beliebiger Stelle. Dabei ist die Anlage mechanisch so ausgelegt, dass bei voller Geschwindigkeit der Seilscheibe (Hauptmotor) und voller Betriebsspannung der Hilfsmotoren ein Gleichlauf eintreten sollte. Es geht also vor allem um Zustände mit reduzierter Betriebsgeschwindigkeit. Eine einfache (proportionale) Steuerung über die Betriebsspannung der Hilfsmotoren kann nicht erfolgen, da die fischertechnik-Motoren nicht linear anfahren und unter Last erheblich an Geschwindigkeit verlieren.

Ein weiterer Unterschied zum Original ist, dass fischertechnik keine Keilriemen kennt. Wir haben unsere Achsen alle mit Hilfe von Ketten verbunden. Das sind über 44 m in der Anlage. Der Nachteil ist, dass wir diese nicht exakt spannen können und dass es in der Kurve deutlich schwieriger wird.

Halbmechanisch

Nachdem wir unser Modell mehrfach weiterentwickelt haben und in den ersten Versionen teilweise über die Belastungsgrenzen der XL Motoren gingen, entschlossen wir uns, weitere Hilfsmotoren einzubauen, um damit die Last zu verringern. Derzeit sind im Umlauf pro Station 22 XL Motoren aktiv, die jeweils sechs und in der Kurve vier Reifen antreiben. Eine weitere Entlastung und gleichzeitig ein Schritt zurück zum Original war, dass wir die Mechanik der Abtriebsrollen so gestaltet haben, dass nun die ersten acht Reifen tatsächlich mechanisch an die Seilgeschwindigkeit gebunden sind und ohne Hilfsmotor laufen.

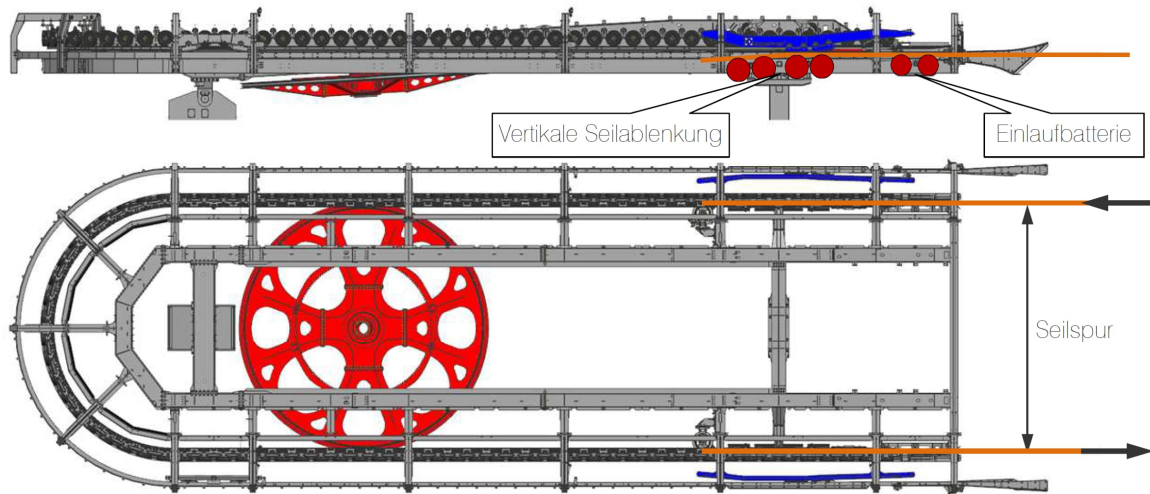


Abb. 2: In den Original-Unterlagen der Fa. Doppelmayr (mit freundlicher Genehmigung) sieht man deutlich, dass auch hier unzählige Reifen eingesetzt werden. Sie sind alle miteinander mechanisch verbunden.

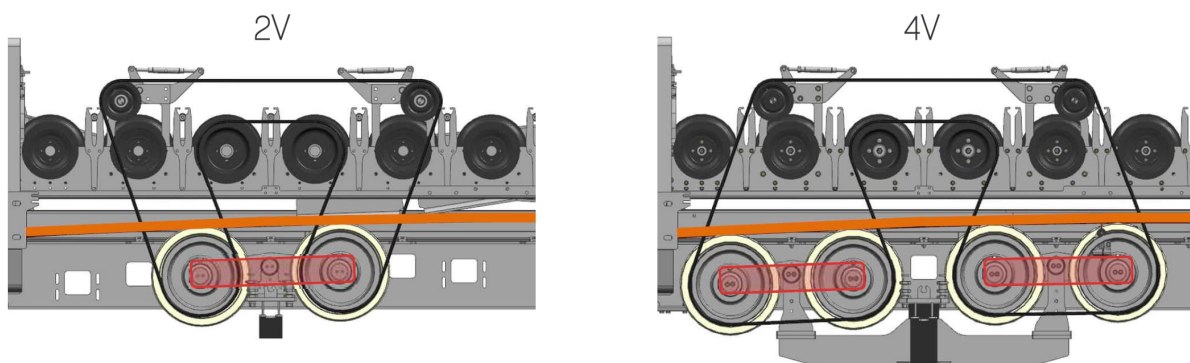


Abb. 3: In der Original-Bedienungsanleitung der Fa. Doppelmayr ist das Schema, mit dem die Abtriebsrollen Energie aus dem Seil auf die Reifenförderer übertragen und gleichzeitig für absolute Synchronizität sorgen, gut zu erkennen. Es handelt sich dabei um Stationstypen der D-Line, wie wir sie nachgebaut haben. Links ist die einfache Version mit 2 Abtriebsrollen, wie sie bei uns verbaut ist.

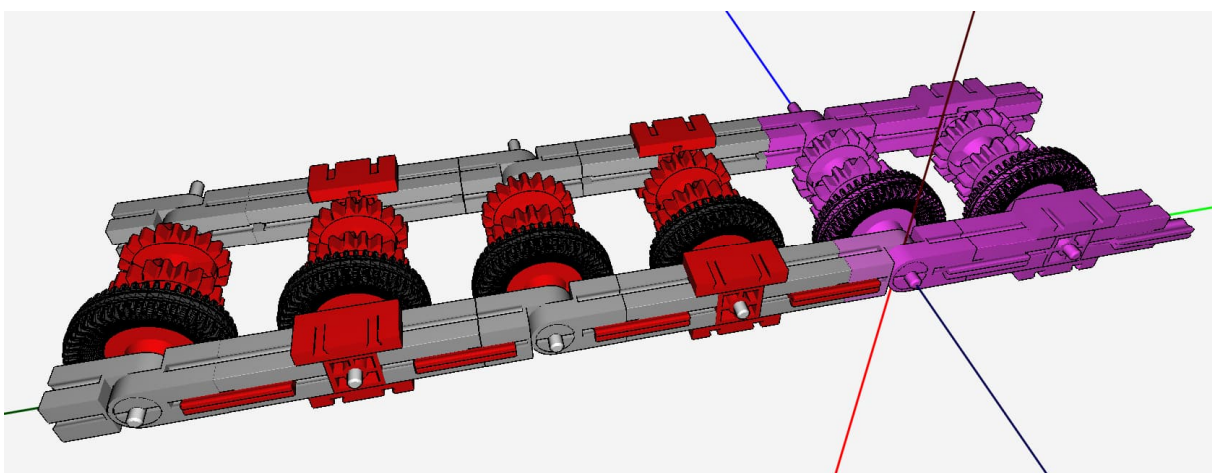


Abb. 4: Eine alte Version (v3) des Reifenförderers. Sie ist technisch weit vom Original entfernt und durch die vielen Gelenke auch statisch undefiniert. Nicht abgebildet sind die Ketten zur Verbindung.

Das hat den Vorteil, dass beim Aus- und Einkuppeln eine absolute Synchronizität gewährleistet ist, auch wenn die Regelung fehlerhaft wäre. Die Reifen weiter innen in der Station müssen dann nicht mehr so genau laufen.

Misserfolg

Im Original sind die Reifen so ausgerichtet, dass sie durch die Lauffläche an der Klemme leicht eingedrückt werden. Die Betriebsanleitung der Firma Doppelmayr, die wir dankenswerterweise einsehen dürfen, sieht hier sogar sehr genaue Reifendrucke vor. Das können wir natürlich im Modellbau nicht erfüllen.

Unser erster Ansatz war daher, relativ harte Reifen (Reifen 45, [31018](#)) zu wählen und die Lagerung leicht beweglich zu gestalten. Wir dachten, das Eigengewicht der Reifenförderer würde ausreichen, um genug Anpressdruck zu erzeugen.

Zur Verbesserung wurden Konstruktionen mit Federn und Gewichten und hunderte von Gelenksteinen (Gelenkstein 45, [31008](#)) gebaut. Das sah schon abenteuerlich aus und war leider auch weit vom Original entfernt. An der [ftc:süd:convention:2022](#) hatten wir diese Konstruktion zu Testzwecken auf ca. 3 m Länge verbaut, stellten aber fest, dass sich hier Schwingungen übertragen, addierten und das System so instabil wurde, dass wir zum Stillstand aller Fahrzeuge kamen.

Bereits während der Convention baute unser Team daher die nächste Entwicklungsstufe ein, die später Schritt für Schritt verbessert wurde und bis zur CCW24 in Essen befriedigende Ergebnisse brachte. In dieser Version verbauten wir zum einen die breiteren und modernen Reifen (Reifen 65 für Felge 40, [163206](#)). Denn im Original besitzen die Fahrzeuge eine relativ große Masse im Verhältnis zur recht geringen Reibung und damit Trägheit, die dafür sorgt, dass ein Fahrzeug auch dann ein Stück weiterrollen würde, wenn es nicht

mehr von einem Reifen angetrieben wird, vom nächsten aber noch nicht erfasst wird. Bei uns aber bleibt das Fahrzeug sofort stehen, da wir sehr leichte Fahrzeuge und große Reibungen haben. Tatsächlich müssen (auch im Original) die Fahrzeuge deswegen immer Kontakt zu den Reifenförderern haben.

Im Original würden kleine Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen zwei Reifen, die auf die gleiche Lauffläche greifen, nicht viel ausmachen, da die Masse der Fahrzeuge in diesem Bruchteil einer Sekunde das Regiment übernimmt. Bei uns aber ist das wieder ein Problemchen und führt zu Ruckeln.

Nun hilft uns hier ein Umstand, den wir eigentlich als unerwünscht betrachtet hatten. In der Version vor der BUGA23 hatten wir so viele Metallachsen wie möglich verwendet, nach der Veranstaltung aber lieber Kunststoffachsen verbaut, da deren Längen besser passten. Metallachsen sind recht torsionssteif. Die Kunststoffachsen können aber schon mit wenig Kraft tordiert werden: Sie sind sozusagen die Federung der Reifenförder in Förderrichtung.

Gleichzeitig haben wir festgestellt, dass wir nun die Reifenförderer ca. 2 mm tiefer anbringen können. Dadurch erhöht sich der Anpressdruck auf die Lauffläche und damit die Sicherheit. Die biegsame Kunststoffachse (V-Achse 98, [35414](#)) tritt hierbei also auch wieder als Feder auf, was beim Original durch den Luftdruck im Reifen geschehen würde.

Wie fein die Reifenförderer justiert werden müssen, haben wir komplett unterschätzt. Auf einer Länge von 7 m (pro Station) einen Abstand zu einer Fahrspur auf 2 mm Toleranz zu halten ist mehr als „Tüfteln am Limit“. Außerdem verschieben sich beim Transport der Anlage per LKW viele Teile und Spur und Reifenförderer bewegen sich auch zueinander. Vorgefertigte Lehren und zwei speziell ausgestattete Testklemmen

halfen uns beim Justieren. Verbesserungen in der Statik und Erweiterungen der Toleranzgrenzen durch geschicktere Anordnung der Reifen erleichtern die Aufnahme des Fahrbetriebs und verbessern die Zuverlässigkeit im Betrieb.

Dennoch: die Kurve blieb der kritische Bereich. Erst als wir mit den Technikern der Firma Doppelmayer sprachen, fanden wir einen Lösungsansatz. Im Original sind die Reifen in der Kurve leicht gekippt. Der Winkel ist leider zu klein, um ihn mit fischertechnik nachzubauen. Der Tipp war aber gut. Absichtlich eingebrachte „Fehler“ in der Teileauswahl lassen unsere Kurve leicht vom Raster abweichen. Hier und da ein BS7,5 statt eines BS5 (oder andersherum) kippt den Reifenförderer minimal und sorgt genau für den benötigten Lenkeinschlag – wie der Sturz bei einem Auto. Noch konnten wir das Modell nicht in der Praxis fahren lassen, die Tests an Prototypen sind aber vielversprechend.

Tüfteln bis zum Limit

Im Sommer 2025 habe ich ein kleines Forschungsprojekt gestartet. Ziel war es, herauszufinden, wo die großen Reibungsverluste herkommen, und anschließend eine Reifenfördererversion zu bauen, die deutlich leichter läuft. Das Ergebnis:

- **Erster Verlustpunkt:** Da die Reifen von den Klemmen leicht nach oben gedrückt werden und sich die Kunststoffachse etwas verbiegt, läuft diese leicht verkantet in den BS15 mit Loch. Eine Lösung wäre zwar, alle Achsen mit Kugellagern auszustatten, aber ... dazu gleich mehr.
- **Zweiter Verlustpunkt:** Die Kunststoffachsen haben eine minimale Nut in Längsrichtung. Das kann man mit dem Fingernagel leicht erspüren. Die Lösung: wir bohren die BS15 mit Loch leicht auf und schleifen alle Achsen ab.
- **Dritter Verlustpunkt:** Die Ketten von fischertechnik sind um einen winzigen

Bruchteil eines Millimeters zu kurz. Das fällt im Regelfall nicht auf, aber bei unserer Anordnung, in der die Ketten abwechselnd links und rechts laufen, kommt es dazu, dass die Achsen nicht mehr parallel sind. Das ist zwar minimal, erhöht aber die Reibung in den Lagern durch Verkanten. Auch hier hilft das Aufbohren.

- **Vierter Verlustpunkt:** Trotz Verwendung der Nabenschlüssel können die Naben nicht so fest gedreht werden, dass sie nicht mehr auf den Achsen rutschen. Getreu dem Spruch „nach fest kommt ab“ haben wir schon unzählige Naben ruiniert, die immer noch nicht fest sitzen wollten. Lösung – wenn auch unschön – ist ein Haftvermittler, der die Reibung deutlich erhöht. Nun ist auch das Problem beseitigt, dass sich die Achsen zwar drehen, da der Motor stark genug ist, aber die Reifen stillstehen, weil das Fahrzeug nicht reibungsarm läuft und die Zahnräder oder Reifen auf der Achse rutschen.

Auf dem ftc Modellbautag 2025 in Bad Hersfeld konnte ich dann ein Vergleichsmodell zeigen, das meinen Messungen nach ca. 40% weniger Reibungsverluste und einen ca. 300% größeren Kraftschluss der Reifen aufweist. Der Entschluss stand fest: alle Reifenförderer werden umgebaut.

Die pure Masse

Unsere Reifenförderer sind aufgrund des Reifendurchmessers jeweils 60 mm voneinander entfernt (ausgenommen in Kurven). Unsere Anlage ist ca. 3,50 m lang, hat einen Kurvenradius von ca. 50 cm – das ergibt ca. 7,20 m Strecke – und damit ca. 120 Reifenförderer, die wir benötigen – pro Station!

Daraus ergeben sich 240 Lager (im Regelfall BS15 mit Loch) und mehr als 20 m Kettenlänge. Nun wird auch klar, dass wir nicht unbedingt alle Achsen mit Kugellagern versehen können.

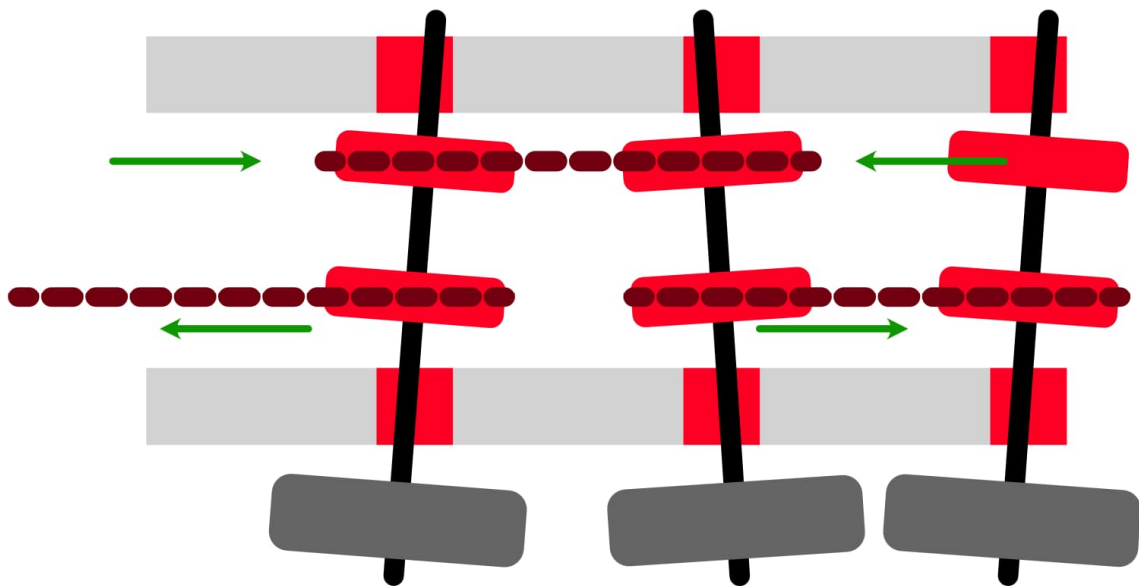


Abb. 5: In der Grafik übertrieben dargestellt sind die Problemstellen. Die Ketten ziehen um Bruchteile von Millimetern die Achsen aus der parallelen Lage (grüne Pfeile). Dadurch müssen die BS15 Loch aufgebohrt werden, um Verkanten zu verhindern. (Ein Kettenglied mehr und die Kette springt bereits.)



Abb. 6: Nach vielen Tests und einigen Berechnungen ergab sich, dass wir die Löcher des BS15 Loch auf 4,5 mm aufbohren müssen. Die Achsen werden bis auf den Bereich der Reifen abgeschliffen und die Naben mit Haftvermittler aufgebracht. Links die Version v8.1, rechts v8.3. Die Verbindung erfolgt mit einem Freilaufgrad. So sieht alles sauber aus.

Denn es müssten nicht nur Lager beschafft und finanziert werden, sondern auch andere Bausteine verwendet und damit die Konstruktion umgebaut werden.

In der Bau-Woche in Herne im Januar 2025 [3] war es soweit: Die ersten Reifen wurden abgebaut. Wie im Rausch rissen wir Stück für Stück die Achsen und Lager heraus, demontierten diese lange Reihe an Bausteinen, erneuerten die Ketten und prüften die

Zahnräder. Ich hatte aus unseren Ersatzteilen schon über 60 Achsen geschliffen, fast 200 BS15 mit Loch aufgebohrt und darauf schon so weit wie möglich die Z20 mit Haftvermittler aufgebracht.

Michael Etz und ich arbeiteten konzentriert im Akkord. Währenddessen konnte ich die vorbereiteten Halbzeuge einbauen. Wir verbesserten den Einlaufbereich der Talstation, verbauten insbesondere an den Abtriebs-

rollen Kugellager und justierten alles neu und präziser.

Unser Reifenförderer besteht durch die Hilfsmotoren aus einzelnen Abschnitten. Techniker der Firma Doppelmayr hatten dies schon mit einem Schmunzeln bemerkt: „Bei uns sind aber alle verbunden – da sind keine Lücken!“ So nahm ich mir beim Umbau die Zeit, die Ketten teilweise von vorne nach hinten oder andersherum zu tauschen und Ketten über die Lücken zu führen, die auf einer Achse ein Freilauf-Kettenzahnrad Z20 ([31779](#)) bewegen. Die geringen Laufunterschiede der Abschnitte sind optisch nicht zu bemerken – die durchgehende Kettenverbindung sieht aber viel eleganter aus. Der Vorteil des Modellbaus: fake it and you'll make it. Schließlich habe ich an vielen Stellen Inkonsistenzen beseitigt und weitere Stabilisierungen verbaut.

Großer Bau-Monat!

Im September soll die Anlage im Rahmen der „Manifesta26“ in Herne ausgestellt werden. Wie vertraglich vereinbart, werden uns wieder einige Tage zum Auf-, Ab- und Weiterbau zur Verfügung stehen. Dank Helfern und Tüftlern vor Ort sollten wir wieder einiges an Fortschritten erzielen können.

Kurz vor Redaktionsschluss der ft:pedia erreichte mich die wunderbare Nachricht aus Herne, dass die Möglichkeit besteht, in einem Ladengeschäft direkt in der Innenstadt einen ganzen Monat an der Anlage zu bauen und sie der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Mehr noch: der Raum ist so groß, dass wir die komplette Anlage aufstellen und betreiben können und zusätzlich Platz für weitere Modelle und eine kleine Ausstellung bieten können.

Das Interesse an der Seilbahn ist riesig, da Herne voraussichtlich die erste urbane Seilbahn in Deutschland erhalten wird. Hochschulen, Berufsschulen und Makerspaces haben ihren Besuch bereits angekündigt und erhalten exklusive Führungen von uns.

Aus vielen Ideen und Gesprächen entstand so die Idee, im September einen Bau- und Ausstellungsmonat zu veranstalten.

Daher mein Aufruf an Euch: Wir suchen

- fleißige Helferinnen und Helfer, die stunden- oder tageweise in Herne an unserem Modell arbeiten. Da es auch viele Dinge zu erledigen gibt, die nicht mit fischertechnik zu tun haben, suchen wir auch Menschen, die mit Holz, Kunststoff, Elektrik, Farbe und Pinsel und vielen anderen arbeiten möchten.
- Ausstellerinnen und Aussteller jeden Alters, die ihre fischertechnik-Modelle bei uns ausstellen möchten, betreut durch unser Team oder durch Euch am eigenen Stand.
- Betreuungspersonal, das im September im Ladengeschäft aufpassen und ordnen möchten, gerne auch Führungen übernimmt oder den Basteltisch anleitet.
- weitere Ideen und Attraktionen, die wir im September vor Ort zeigen dürfen.

Hierzu bitte auch die Ankündigung „fischertechnik Baumonat Herne“ und das Thema im Forum beachten. Kontaktaufnahme bitte direkt über mich [5].

Verweise

- [1] Tilo Rust: *Großprojekt Seilbahn (Teil 6): Reifenförderer*. [ft:pedia 4/2022](#), S. 41–51.
- [2] YouTube: [Sie lebt! fischertechnik Seilbahn – nach einem Jahr des Bangen der Transport zum neuen Ort](#).
- [3] YouTube: [Bautage Teil 06 – Januar 2026 - Herne](#).
- [4] YouTube Kanal [Technik-Fischer](#).
- [5] Kontakt zur Projektgruppe „Seilbahn“, Projektleiter Tilo Rust, E-Mail: ft.seilbahn@gmail.com

Getriebe

Viergelenkgetriebe – Parallelkurbelgetriebe

Lambert Janssen

Auch wenn viele Getriebe aus Zahnrädern oder Riemenscheiben bestehen, gibt es daneben noch mehrere andere Getriebearten, etwa Schrauben- oder Kurvengetriebe. Eine weitere in der Praxis wichtige Getriebeart ist das Viergelenkgetriebe, das uns z. B. bei Scheibenwischern oder als Klappmechanik begegnet. Eine spezielle Form des Viergelenkgetriebes ist das Parallelkurbelgetriebe.

Einleitung

Den Koppelgetrieben liegt in der allgemeinsten Form ein Viereck zu Grunde:

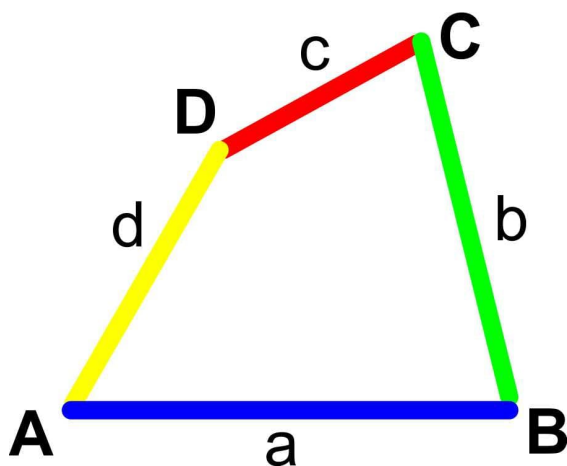


Abb. 1: Allgemeines Viereck

Ein allgemeines Viereck kann gebildet werden, wenn die drei kürzeren Seiten – hier: b, c, d – länger sind als die Vierte – a – also: $b + c + d > a$. Von rechts nach links gelesen ergibt sich, dass keine Seite länger sein darf als die anderen drei zusammen.

Aus dem allgemeinen Viereck lassen sich durch Zufügung von aufeinander aufbauenden Bedingungen Sonderformen entwickeln. Als Erstes ergibt sich dann ein Trapez. Neben den Voraussetzungen für ein allgemeines Viereck muss ein Paar der gegenüberliegenden Seiten parallel sein, also: $a \parallel c$.

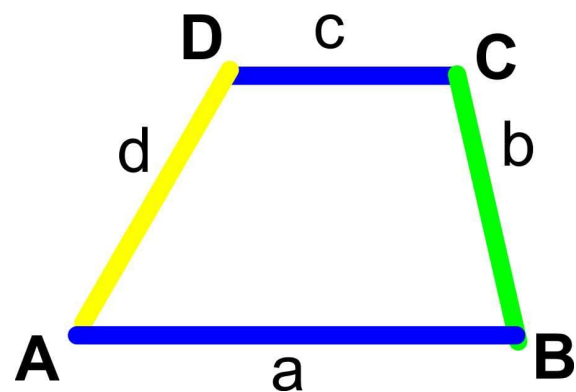


Abb. 2: Trapez

Bei Zufügung einer weiteren Bedingung entsteht ein Parallelogramm:

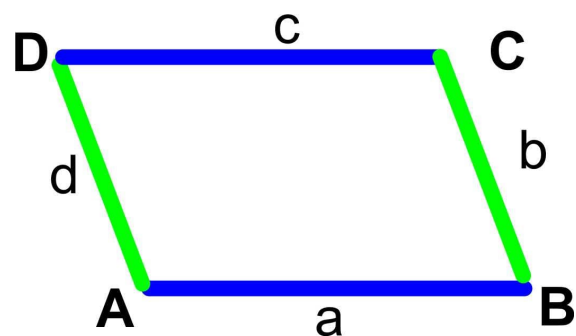


Abb. 3: Parallelogramm

Hier haben wir zwei Paar parallele Seiten, also: $a \parallel c$ und $b \parallel d$. Daraus folgt, dass die jeweils gegenüberliegenden Seiten gleich lang sind.

Aus diesen Viereckformen lassen sich funktionsfähige Koppelgetriebe und bei Umlauffähigkeit auch Kurbelgetriebe entwickeln, wenn man ein Element als Gestell

ortsfest macht und die anderen durch Gelenke beweglich damit verbindet. Das allgemeine Viereck hat zahlreiche Anwendungen, sowohl als umlaufendes Getriebe als auch in der nicht umlaufenden Form [1]. Die Fortentwicklung zum Trapezgetriebe findet u. a. Anwendung in der Kraftfahrzeugtechnik als Lenktrapez [2, 3].

Parallelkurbelgetriebe

Die Koppel und das parallel dazu liegende Gestell unseres Parallelkurbelgetriebes bestehen aus je zwei BS30 und einem BS15, die Lenker aus einem BS30 und einem BS15. Die Teile sind jeweils über ein BS15 mit Bohrung beweglich miteinander verbunden.

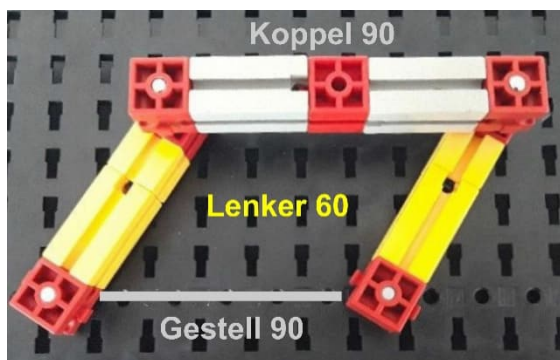


Abb. 4: Parallelkurbelgetriebe

Die Konstruktion ist ersichtlich umlauffähig, d. h. die Lenker können eine vollständige Kreisbewegung durchführen. Selbstverständlich gilt das für Viereckgetriebe nicht in jedem Fall. Die theoretischen Voraussetzungen für die Umlauffähigkeit hat der Ingenieur Franz Grashof formuliert. Danach ist die Kurbel als kleinstes Glied einer Viereckkette voll umlauffähig, wenn sie zusammen mit dem längsten Glied des Koppelgetriebes kleiner – oder als Grenzfall – gleich groß ist wie die beiden anderen Glieder [4]. Es gilt:

$$l_{\min} + l_{\max} \leq l_i + l_k$$

Bei unserer Konstruktion gibt es kein längstes oder kleinstes Glied, sondern wir haben zwei gleich lange als Koppel und Gestell und zwei gleich kurze Glieder als Kurbeln

bzw. Lenker. Angepasst auf unseren Fall bedeutet das für die Grashofregel: *Linker Lenker + Gestell = rechter Lenker + Koppel*.

Durch Veränderungen an den Längen von Koppel (Gestell) und den beiden Lenkern kann man unter Beachtung der Anforderungen des Parallelogramms die Möglichkeiten und Grenzen der Bewegungen ausprobieren. Wenn alle Seiten gleich lang sind, also ein Quadrat bilden, kommen wir mit unserer Konstruktion an die Grenzen, die man aber mit einem geteilten Gestell überwinden kann. Die Umlauffähigkeit ist auch dann gegeben.

Es gibt einen sehr wichtigen Unterschied zum allgemeinen Viereckgetriebe. Das Viereckgetriebe als Kurbelschwinge wandelt die gleichförmige Drehbewegung der Kurbel in eine ungleichförmige Pendelbewegung des Lenkers um. Das ist kein Fehler, sondern Zweck des Viereckgetriebes. Unser Parallelogramm ist grundlegend anders, es überträgt die Drehbewegungen im Antrieb als gleichförmige Drehbewegungen zum Abtrieb. Alle Punkte auf der Koppel oder auf den Lenkern machen die gleiche Kreisbewegung mit konstant gleicher Geschwindigkeit. Das macht man sich besonders zur Kraftübertragung beim Radantrieb zu Nutze.

Doppelkurbel

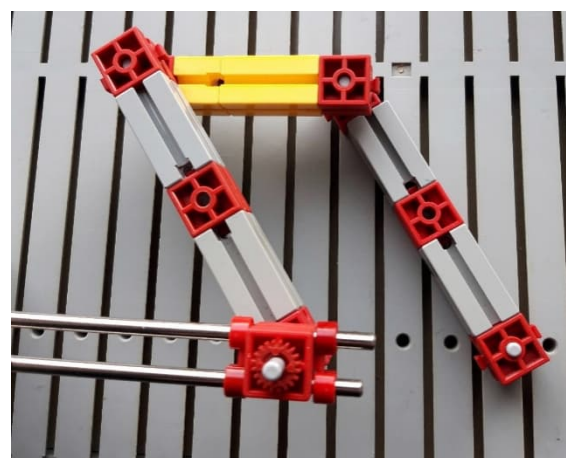


Abb. 5: Doppelkurbel

Weil sich beide Kurbeln vollständig drehen, könnte man unsere Konstruktion als „Doppelkurbelgetriebe“ bezeichnen [5]. Im Interesse einer einheitlichen und eindeutigen Bezeichnung sollte man es aber nicht. Das Doppelkurbelgetriebe setzt voraus, dass das kleinste Glied als Gestell dient [2, 6]. Auch mit unserer Konstruktion kann man eine Doppelkurbel herstellen, die mit einem geteilten Gestell arbeitet.

Antiparallelkurbelgetriebe

Die Umlauffähigkeit des Getriebes ist nicht ohne Gefahr. Jede Umdrehung führt zweimal zu einer Lage, in der die Lenker in einer Linie hintereinander auf dem Gestell liegen. Aus dieser „Verzweigungslage“ kann ein Lenker nach unten „durchschlagen“, während der andere oben bleibt. Es bildet sich dann ein sog. Antiparallelogramm (Abb. 6).

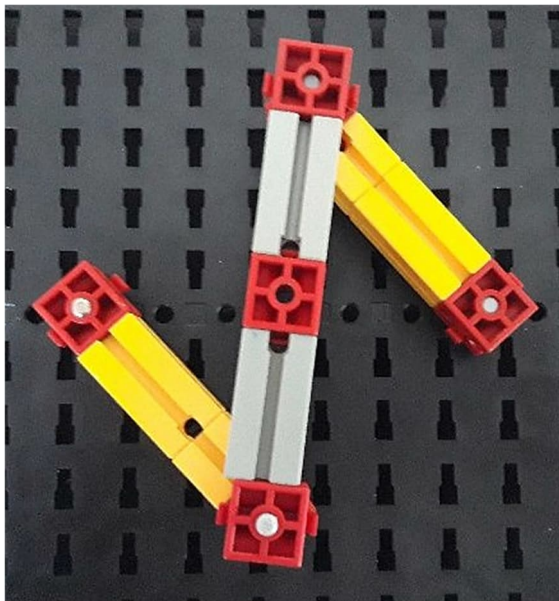


Abb. 6: Antiparallelkurbelgetriebe

Weil das meist unerwünscht ist, muss man das Durchschlagen durch Zusatzeinrichtungen verhindern. Leicht möglich ist das aber nicht, bei Radantrieben jedoch unumgänglich. Aber auch das Antiparallelkurbelgetriebe ist nicht stabil, es kann wieder unkontrolliert umschlagen. Das Getriebe ist auch in dieser Form umlauffähig, die Grashof-Regel gilt auch hier.

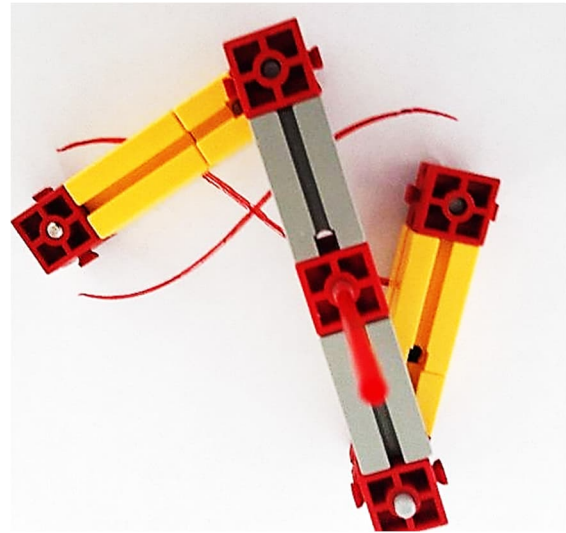


Abb. 7: Zeichnung des Mittelpunktverlaufs der Koppel

Während beim Betrieb des Parallelkurbelgetriebes bedingt durch die Parallelführung und den dadurch verursachten gleichen Radius alle Punkte auf der Koppel gleich große Kreise zeichnen, zeichnen die Koppelpunkte beim Antiparallelkurbelgetriebe ganz andere Formen. Der Mittelpunkt bildet eine Lemniskate [7]. Man kann das mit einem fischertechnik Modell und Schreibstift zeichnen, aber hier empfiehlt sich eine Computersimulation, wenn man sich mit der Darstellung von Lemniskaten näher befassen will [5].

Radantrieb

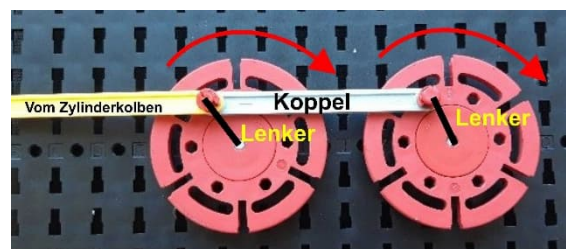


Abb. 8: Radantrieb mit Koppel

Seine große Zeit als Radantrieb hatte das Parallelkurbelgetriebe im Zeitalter der Dampflok. Die Stoßbewegung aus dem Dampfzylinder wurde durch das Parallelkurbelgetriebe als Drehbewegung auf die Räder übertragen. Durch Verlängerung der Koppel konnte man die Antriebskraft auf ein weiteres Rad übertragen.

Mit welchem großen Aufwand man bei seinerzeit modernen Lokomotiven das Parallelkurbelgetriebe einsetzte, wird selbst noch bei der Modelleisenbahnlok der Baureihe 42 deutlich: Bei den letzten drei Rädern der Lok kann man den Stangenantrieb erkennen (Abb. 9).

Bei Dampflokomotiven war der Antrieb über ein Parallelkurbelgetriebe sinnvoll oder auch die einzig mögliche Art, die Stoßbewegung der Pleuelstange vom Dampfzylinder auf die Antriebsräder zu übertragen. Auch bei Diesellokomotiven wurde der Antrieb über ein Parallelkurbelgetriebe zunächst noch eingesetzt, obwohl hier direkt vom Motor eine Drehbewegung erzeugt wurde. Gegenüber einem Zahnrad- oder Riemenantrieb hatte das Parallelkurbelgetriebe auch einige Vorteile. So führt die Übertragung mittels Zahnradern zu einer Richtungsumkehr, die durch ein Zwischenzahnrad ausgeglichen werden muss. Beim Riemenantrieb muss man den Schlupf in Kauf nehmen.

Man verwendete das Parallelkurbelgetriebe z. B. auch bei der mit Dieselmotor angetriebenen Rangierlok V 36, die noch bis in die 1960er Jahre eingesetzt wurde. Die Kraftübertragung erfolgte von der Antriebswelle über ein Stangengetriebe zu den Rädern [9]. Heute findet man das Parallelkurbelgetriebe bei Elektro- und Dieselloks nicht mehr. Der Motor liefert direkt die Drehbewegung; eine Umwandlung ist nicht mehr nötig.

Gerade bei der Verwendung des Parallelkurbelgetriebes zum Radantrieb muss man das Durchschlagen verhindern. Das kann bei Fahrzeugen dadurch geschehen, dass beim gegenüberliegenden Rad die Koppel um einige Grad – am besten um 90° – versetzt wird. Bei unserem fischertechnik Modell gelingt das allerdings nur in Schritten von 60° . Bei genügend vorhandenem Platz kann man das Durchschlagen auch durch Einfügen eines weiteren Rades verhindern, das durch die gemeinsame Koppel alle Räder als Stangengetriebe verbindet, wie etwa bei Lokomotiven.

Gegenüberliegendes Parallelkurbelgetriebe

Das Parallelkurbelgetriebe als Koppelantrieb ist nicht nur bei nebeneinander liegenden Rädern möglich, sondern es kann auch bei gegenüberliegenden Rädern interessante Anwendungen erlauben. Die Räder werden auf einem geteilten Gestell in zwei Ebenen angeordnet. Anders als beim ebenen Parallelkurbelgetriebe kann eine Kraftübertragung auch noch erfolgen, wenn die Räder sich teilweise überlappen. Damit wird ein Antrieb über versetzte Wellen ermöglicht. Aber auch hier besteht die Gefahr des Durchschlagens und macht die Konstruktion wenig brauchbar. Abhilfe kann eine zweite Koppel schaffen, die aber nicht beliebig groß sein darf, sondern dem Radius, also dem Lenker, entsprechen muss. Dadurch ist der zu überbrückende

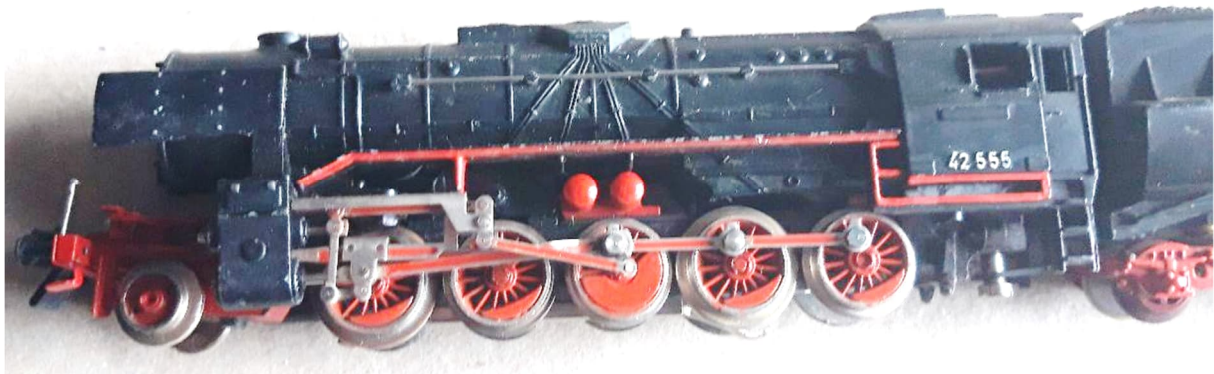


Abb. 9: Koppelgetriebe einer Modelleisenbahn-Lok

Versatz ebenfalls auf den Radius begrenzt. Ganz störungsfrei verläuft die Drehbewegung aber immer noch nicht. Erst wenn man eine dritte Strebe einbaut, läuft es rund. Damit ist unsere Konstruktion in dieser Form eine Vorstufe für eine Schmidt-Kupplung, die variable Achsversätze ermöglicht ([10], Abb. 10).



Abb. 10: Schmidt-Kupplung

Anwendungen

Auch wenn das Parallelkurbelgetriebe als umlaufendes Getriebe nur begrenzt eingesetzt wird, begegnen wir ihm in der praktischen Anwendung als nicht umlaufend sehr häufig. Ein wichtiger Einsatzbereich findet sich in der Hebeteknik, wo man sich die gleichbleibende Stellung der Koppel als Tragegestell zu Nutze macht (Abb. 11).

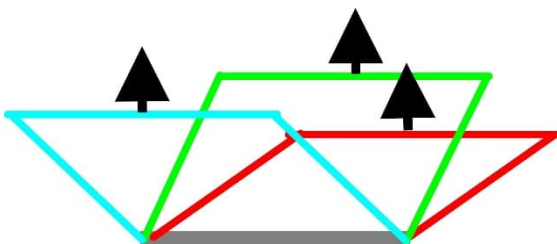


Abb. 11: Parallelogrammgetriebe eines Hebegestells

Die Koppel wird bei Bewegungen der Lenker mit ihren Kreisbahnen immer nur parallel verschoben. Sie wird nicht geschwenkt, sondern bleibt immer waagrecht. Senkrecht dort aufgestellte Gegenstände bleiben senkrecht.

Weitere Anwendungen finden wir z. B. als Arbeitsbühne für Montagearbeiten, im Kfz als Scheibenwischer oder als Sitzhöhenverstellung, als Höhenverstellung für Arbeits- und Behandlungstische, als schwenkbare Schreibtischlampe oder als Klappmechanik für Werkzeugkisten. Auch als – teure – Sattelfederung beim Fahrrad kann man das Parallelkurbelgetriebe finden.

Quellen:

- [1] Lambert Jansen: *Viergelenkgetriebe*. [ft:pedia 1/2026](#), S. 12–21.
- [2] fischertechnik: *Experimente + Modelle, hobby 2 Band 5*. Auf [docs.fischertechnikclub.nl](#), S. 53.
- [3] Dirk Fox, Thomas Püttmann: *Technikgeschichte mit fischertechnik*. dpunkt Verlag, 2015.
- [4] Wikipedia: [Franz Grashof](#).
- [5] Jürgen Dankert: *Viergelenkkette – interaktive Animation*. Auf [tm-aktuell.de](#).
- [6] Prof. Dr. Schlenzka: *Koppelgetriebe*. PDF-Datei auf [martinbirkholz.de](#), 2004, S. 12.
- [7] Arnoud van Delden: *Die unendliche Lemniskate*. [ft:pedia 2/2021](#), S. 36–44.
- [8] fischertechnik: *Experimente + Modelle, hobby 1 Band 2*. Auf [docs.fischertechnikclub.nl](#).
- [9] Wikipedia: [Wehrmachtslokomotive WR 360 C 14](#).
- [10] Florian Bauer: *Schmidt-Kupplung*. [ft:pedia 2/2021](#), S. 17–20.

Getriebe

Planetengetriebe (3) – ein Bausatz für fischertechnik

Harald Steinhaus

Für die einen ein Faszinosum, für andere ein Mysterium, und immer gerne auch ‚Frustrinosum‘ (frustrieren, ich frustriere, du ...) – die Beschäftigung mit Planetengetrieben wird nie langweilig. In der Hoffnung, im faszinierenden Teil zu verbleiben, behandelt dieser Beitrag zweierlei: die CAD-Dateien und 3D-Druckvorlagen für ein fischertechnik-kompatibles Planetengetriebe nebst Zubehör und eine Beschreibung, wie man anhand von ein paar Strichen in einer Zeichnung das Mysterium auflöst und verstehen kann, wie es funktioniert.

Hintergrund

Planetengetriebe fristen bei fischertechnik seit jeher ein Schattendasein. Die Beispiele mit einem Hohlrad (Ring) beschränken sich auf das fischertechnik-Innenzahnrad 30 mit einem Planetensatz aus drei Zahnrädern Z10 [1]. Die Beispiele ohne Hohlrad lassen sich allesamt auf Forenbeiträge und ft:pedia-Beiträge [2] von Thomas Püttmann zurückführen. Im weiteren Sinne kann man noch die Differenzialgetriebe hinzurechnen, und das war’s dann.

Im Zuge dieses Projekts hat es sich erwiesen, dass es hierfür durchaus Gründe gibt: Schon dem bescheidensten Anfangserfolg steht ein mächtiger Aufwand gegenüber – ein einzelner Planetensatz „mit allem“, also mit Sonne, Carrier (Planetenträger, Steg), Planeten, Ring und Befestigung besteht aus gut 20 Einzelteilen, aus einem Zoo von über einem Dutzend Posten. Dank 3D-Drucker kann diese Lücke im Programm aber geschlossen werden.

Der Bausatz

Zunächst geht es um einen einzelnen Planetensatz. Auf dem Programm stehen die Grundfälle: verschiedene Übersetzungen ins Schnelle und ins Langsame.

So richtig universal ist der Bausatz noch nicht: Es wird immer angenommen, dass ein Planetensatz (a) komplett ist und (b) auch so bleibt, also

- Sonne, Carrier, Planeten, Ring vorhanden sind,
- im Betrieb keine Elemente im Antriebsstrang heraus- oder hereingenommen werden, wie es z. B. bei der Zweigangschaltung aus [1] gebraucht wird.

Mein Ziel ist ein Vierganggetriebe, das alle mechanischen Teile für ein Automatikgetriebe mitbringt – soll heißen: Die Messung von Drehzahlen und Drehmomenten sowie die Schalt-Teile folgen später, und Software und Elektronik sind noch weiße Flecken auf der Landkarte. Ausgeführt sind zwei Hohlräder mit 50 und 51 Zähnen und zwei Sätze von dazu passenden Sonnen- und Planetenrädern, allesamt in Modul 1 verzahnt.

Andere Größen kann man sich aber selbst drucken, denn alles ist in OpenSCAD programmiert, die Quelldateien sind auf printables.com verfügbar und erlauben Weiterverwendung für nichtkommerzielle Zwecke.

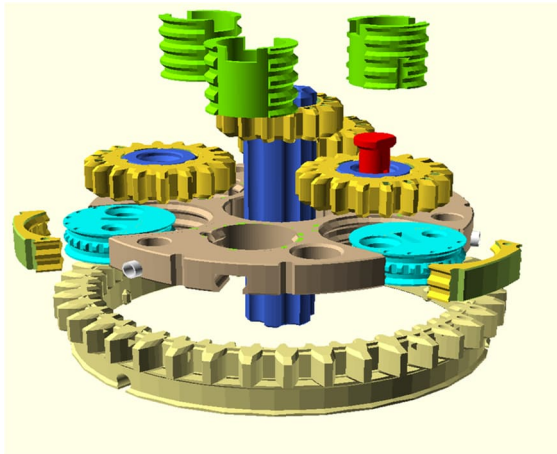


Abb. 1: Die Einzelteile im Planetenbausatz (1)

Der Teilezoo besteht aus:

- Trägerscheibe (Planetenträger, braun)
- Sonnenrad, Planetenrad (zueinander austauschbar, gelb): Z12 / Z15 / Z16 / Z18
- Ringrad (sandfarben) Z50 / Z51, mit / ohne Außenverzahnung Z40 m1,5
- Planetenscheibe (cyan)
- Verschluss für Planetenscheibe (gelb) lose / drehfest
- Koppelbecher (grün) 5 / 10 / 15
- Achsknubbel (rot) 10 / 15
- Hohlwellenleitlager (nicht im Bild)

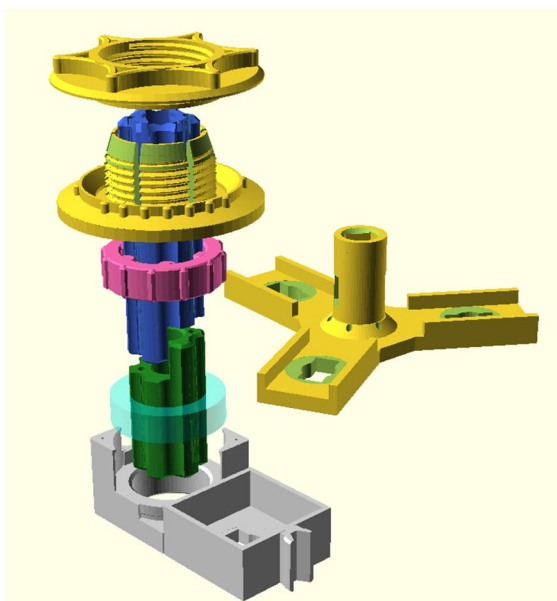


Abb. 2: Die Einzelteile im Planetenbausatz (2)

- Kugellagerstein (hellgrau) 15 / 30 (für Lager „6700“, 15×10×4)
- Hohlwellenlager mit Kugellager 15x10x4 (grau, hier ohne Oberteil)
- Kugellager oder Hohlwellenadapter drehfest (pink) mit / ohne stirnseitigen Anschlag
- Hohlwelle (blau) 5 / 10 / ...; mit / ohne Rastanschluss; auch formschlüssig anreihbar (grün)
- Sternlasche 120° (gelb)
- Hohlwellennabe für fischertechnik-Räder: Mutter / Zange (gelb)

Die Teile im Einzelnen

Die Trägerscheibe (braun) ist das zentrale Element. Davon braucht man in den meisten Fällen zwei: die eine trägt den innenverzahnten Ring (hier zusätzlich außen mit Z40 verzahnt). Die andere nimmt die Planeten auf, die in Planetenscheiben gelagert sind, mittels Achsknubbel und Hohlwellenstummeln. Das Sonnenrad sitzt ebenfalls auf einer Hohlwelle. Die Hohlwelle trägt das ganze Getriebe.

Die Trägerscheibe kann mittels der Koppelbecher mit fischertechnik-Teilen oder einer weiteren Trägerscheibe verbunden werden. Die Koppelbecher liegen passend zu den Löchern der fischertechnik-Drehscheibe. Weiter außen befinden sich Öffnungen zur Aufnahme von Rastachsen 20 („Achsknubbel“), im passenden Abstand zu den Langlöchern der fischertechnik-Drehscheibe 60. Außerdem gibt es drei fischertechnik-Nuten, die ebenfalls zur Drehscheibe passen.

Die Hohlwelle wurde von fischertechnik bereits in hobby 2 [7] angesprochen, und dann ... beiseite gelassen. Wenn es unbedingt sein muss, behilft man sich seither mit Freilaufnaben und anderen lose mitlaufenden Teilen.

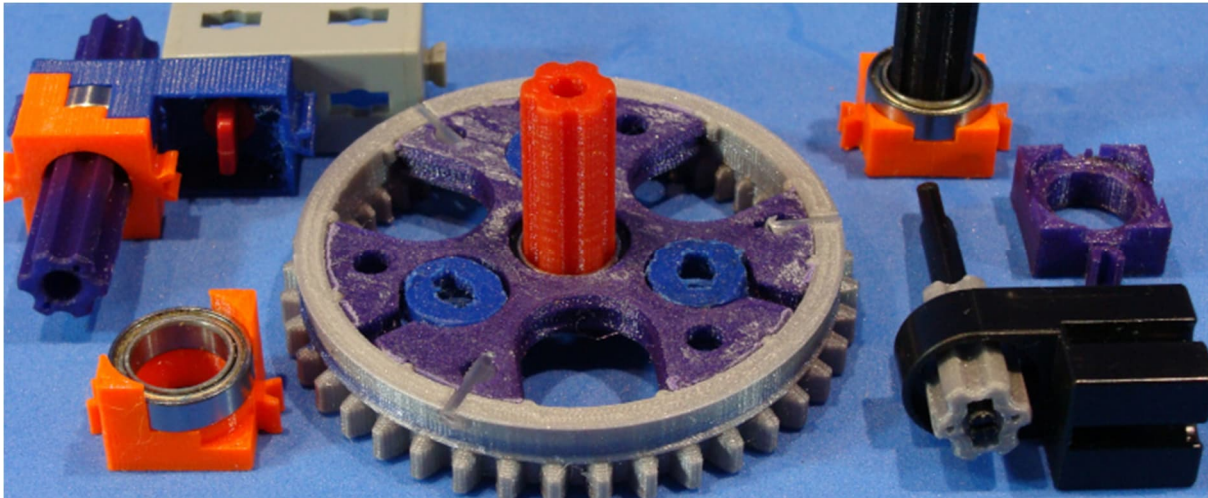


Abb. 3: Lagerung der Hohlwelle

Nun, seit „Hypozykloidgetriebe“ [3] ist meine Hohlwelle „genormt“: sie hat 10 mm Außendurchmesser, sechs Mitnehmernuten und eine Durchgangsbohrung für fischertechnik-Achsen. Sie passt in einen fischertechnik-Gelenkstein und in ein Kugellager 15×10×4, das seinerseits in einem zweiseitigen Lagerwürfel (grau) steckt.

Sie dient in kurzer Bauform auch zur Aufnahme der Planeten und ermöglicht „Päckchen“ mit formschlüssigem Antrieb, aus jeweils zwei oder mehr davon. In der Ausführung ohne Rastanschluss können fischertechnik-Achsen hindurch geschoben und frei gedreht werden. Mit Rastanschluss kann man ihrer zweie Rücken-an-Rücken zusammenstecken, oder Kräfte von/zu Rastachsen übertragen. Im Planetengetriebe ist sie das zentral tragende Element und ist entweder starr über den Hohlwellenadapter (pink) oder im Kugellager drehbar gelagert (Abb. 3).

Der Ring (Hohlrad) wird über die Trägerscheibe geschoben und mit radial eingesteckten Röhrchen von 2,5 mm fixiert. Diese Röhrchen kann man aus Wattestäbchen gewinnen, vorzugsweise den in der EU nicht mehr gehandelten aus Plastik. Ersatzweise gehen auch Streichhölzer. Der Ring hat ggf. eine Z40-Außenverzahnung m1,5 sowie eine Auflage für einen Bremsbelag in Form der Gummiringe, die

es unter „bunte Gummiringe“ als Kiloware oder auf dem Gemüsemarkt als Dreingabe zu Radieschen und Frühlingszwiebeln gibt.

Der Ring kann bündig mit der Planetenscheibe abschließend montiert werden, oder (Trägerscheibe überkopf montiert) in um 2 mm erhöhter Lage. Diese 2 mm erlauben weitere Aufbauvarianten mit einem Planetenträger, der innerhalb der Ringverzahnung mitläuft.

Die Planeten werden auf Hohlwellenstummeln montiert und dann mit je einem Achsknubbel in ihrer Planetenscheibe gelagert. Diese Stummel kommen ins Spiel, damit man

- die Zahnräder wahlweise als Sonne oder Planet einsetzen kann,
- zwei oder mehr Planeten drehfest (als Päckchen) aufeinander montieren kann.

Das wird u. a. beim Split-Ring-Getriebe (Wolfromgetriebe) gebraucht. Das Getriebe des Ford Model-T („Tin Lizzy“) hatte Pakete aus je drei Planeten, dummerweise aber auch drei verschachtelte Wellen (also zwei Hohlwellen ineinander und eine weitere innen drin), was leider jenseits der Möglichkeiten dieses Projektes liegt.

Die Koppelbecher funktionieren wie überdimensionale S-Riegel: zum Einsetzen ins zugehörige Loch werden sie ausgerichtet,

dann eingeschoben und gedreht, z. B. mit dem blauen fischertechnik-Riegelschlüssel. In einfacher Länge dienen sie zum Anbau der Planetenscheibe an Teile mit einer fischertechnik-Nut oder einem Statik-Loch. In doppelter Länge bringen sie die Planetenscheibe huckepack mit einer weiteren zusammen oder mit einer Hälfte einer Schaltkupplung (im späteren Ausbau – „datt krieje mer später...“ sagt Prof. Schnauz in der ‚Feuerzangenbowle‘). In den Innenraum passen S-Riegel, Verschlussriegel und fischertechnik-Klemmbuchsen.

Die Planetenscheiben werden von außen in ihre Buchten eingeschoben. Sie können so gedreht werden, dass alle Zahnräder den richtigen Abstand haben. Das heißt:

- dieselben Trägerscheiben und Planetenscheiben passen für alle unterstützten Kombinationen von Zahnrädern
- ein Ringrad (mit oder ohne Z40) ist immer notwendig, damit die Planeten mittels der Verschluss-teile in Position gehalten werden
- bei drehfrei gelagerten Planetenscheiben gleichen sich im Betrieb Toleranzen zwischen den Planeten aus; die Last verteilt sich automatisch
- die Planetenscheiben sind außen verzahnt und können mit entsprechend innen verzahnten Gegenstücken drehfest gehalten werden. Das wird nötig bei Aufbauten, die kein Ringrad haben.

Die Trägerscheibe wird auf verschiedene Arten an oder auf Achsen befestigt:

- drehfest an fischertechnik-Rastachsen mit der Sternlasche 3-fach, über Koppelbecher und S-Riegel,
- drehfest an einer Hohlwelle mittels Hohlwellenadapter,
- drehfrei auf einer Hohlwelle mittels Kugellager 15×10×4.

Bis auf Kugellager und Wattestäbchen entstehen alle Bestandteile im 3D-Drucker oder entstammen dem fischertechnik-Fundus (S-Riegel, Achsen, Riegelschlüssel). An Fremdteilen und Werkzeugen sind nötig:

- Sandpapier
- Schlüsselfeile
- Kugellager 15×10×4 6700Z, -ZZ, D118833 (ersatzweise: 3D-gedruckte Ringe)
- Schraubendreher
- Bohrer oder Reibahle 4 mm (mit Gripzange oder Bohrfutter zum Festhalten)
- Wattestäbchen o. ä. mit 2,5 mm Durchmesser

Filament:

- Zahnräder: PLA
- alles andere: PETG

PLA ist recht spröde; die Zahnräder scheinen damit aber mit weniger Reibung zu laufen. ABS könnte hier noch besser abschneiden – Versuche dazu stehen aber noch aus.

Die CAD-Programme

Das Projekt beruht auf den in OpenSCAD eingebauten Modulen und einer selbst geschriebenen Toolbox mit Basis-Elementen und Zahnrädern. Es gibt Dateien mit allgemeingültigen („tools-“) und solche mit fischertechnik-spezifischen Inhalten („ft-“). Der OpenSCAD-Quellcode und die STL-Druckdateien sind auf printables verfügbar [4].

Ein paar Anmerkungen zur Software:

- OpenSCAD ist quelloffen, frei verfügbar für MAC, Windows und Linux. Es arbeitet textorientiert, d. h. Script-gesteuert. Das eröffnet u. a. die Möglichkeit, sich ein Modell mittels KI erzeugen zu lassen – das geht, allerdings müsste man für den

vollen Genuss die Toolboxen anlernen. Ich empfehle das Installieren des OpenSCAD „Nightly Build“. Dieses ist im Gegensatz zum „stable release“ multi-threading-fähig. Der Unterschied ist erheblich, gerade bei etwas aufwendigeren Modellen. Trotzdem ist man gut beraten, die Ausgabe immer auf den gerade interessanten Teil zu beschränken und alles andere auszukommentieren.

- Die Nomenklatur der Planetensatz-Teile ist mittlerweile eingeschwungen: Ich verwende weder A/B/C (wie bei der Uhr mit Planetengetriebe [5]) noch z1/z2/z3 noch eine der vielen anderen Varianten, sondern S/C/R/P für Sonne – Carrier – Ring – Planet.
- Mittlerweile sind mehrere Versionsstände der Dateien veröffentlicht, erkennbar an den Endziffern. Untereinander kompatibel sind nur Dateien mit gleicher Version. Derzeit ist Version 25 aktuell.
- Variablen- und module()-Bezeichnungen wechseln munter zwischen Deutsch und Englisch, so wie es mir gerade passend erschien.
- Die Dateien beginnen mit Variablen- und Moduldeklarationen und enden mit einer Art „main()“-Abschnitt, der die „Spielwiese“ darstellt. main() ist allerdings nur meine Bezeichnung dafür. OpenSCAD zeigt alles an, was außerhalb von function() oder module() steht, und das auch beim Einbinden einer Datei mit „include“. Deshalb können die Beispiele (jeweils über den Moduldeklarationen zu finden) nach Belieben auskommentiert und betrachtet werden. Wenn außer den beabsichtigten Teilen noch weitere Bauteile angezeigt werden, ist die Ursache ein irgendwo noch aktiver Aufruf eines Moduls. Module, die einen Parameter \$t verwenden, können als Animation dargestellt und als Folge von Bilddateien ausgegeben werden.
- In die Spielwiese kommen Teile, an denen gerade gearbeitet wird und die in der Schnittbild-Ansicht (d. h. durch Subtrahieren eines dreh- und verschiebbaren Quaders) untersucht werden.
- Vom main()-Abschnitt aus erfolgt der Aufruf zu den Modulen, die produziert („gerendert“) werden sollen. Um Teile nach und nach zu berechnen und zu drucken, kann man die Aufrufe nach Bedarf auskommentieren. Das wiederholt sich ggf. in verfeinerter Auflösung innerhalb eines aufgerufenen Moduls.
- Die meisten Module verwalten zwei Sätze von Koordinaten, für die Lage und Orientierung auf dem Druckbett („print“) und im Modell („inPos“). „print“ und „inPos“ sind in der Datei Tools-Basic25 deklariert.
- Tools-Basic25 enthält auch einen Sermon über meinen Programmierstil, die Feinheiten von OpenSCADs children() und insbesondere darüber, wo man dabei ein Semikolon setzt oder nicht setzt.
- Mit einigem Stolz verweise ich auf die Module „Rohr()“ und „Box()“, die die Grundkörper nach Bedarf mit Fasen, Haftgrund, Anschrägungen, children() und mehr Eigenschaften versehen und damit eine Unmenge an Klammerebenen und Aufrufen von difference() und intersection() im eigentlichen Programm ersparen.

Ein anschaulicher Einstieg

Fachbücher und Youtube-Videos ergehen sich nahezu ausschließlich über:

- Berechnungen und Willis-Gleichungen (z. B. „Umlaufrädergetriebe“ in der Wikipedia [6])
- montierte Exemplare, an denen mit vielen Händen gedreht und gezeigt wird.

Für den Start mit einem Planetensatz aus S+C+P+R eignet sich die Analogie zum Ur-Teil der Mechanik, dem Hebel aus Archi-

medes' Zeiten. Aus den Kenndaten (Zähnezahlen bzw. Durchmesser der Wälzkreise) zeichnet man ein Diagramm, das aus gerade einmal einer Geraden und drei vertikalen Achsen besteht. An der Geraden kann man alles ablesen, was zur Ermittlung der Drehzahlen von S, C, R nötig ist (die Drehzahlen der Planeten sind leider nicht abzulesen, und Drehmomente lasse ich hier beiseite).

Als Quelle kann ich nur das Nomogramm von Francois Roulet für das Getriebe ZF 9HP angeben, wie es in der englischen Wikipedia [8] dargestellt und beschrieben ist.

Also: man kennt die Größen der Zahnräder und zeichnet nebeneinander drei vertikale Striche, an den die Drehzahlen abgelesen werden:

- bei $x = 0$: die Linie für die Drehzahl der Sonne S
- bei $x = S + 2 \times P$: die Linie für die Drehzahl des Carriers C
- bei $x = 2 \times S + 2 \times P$: die Linie für die Drehzahl des Rings R.

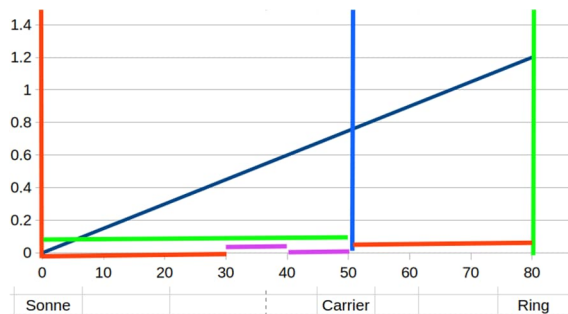


Abb. 4: Das Nomogramm für einen Planetensatz mit $S=30$, $P=10$, $R=50$, mit festgehaltener Sonne

Nun trägt man für zwei ausgewählte Komponenten die Drehzahlen als y-Wert ein, und verbindet diese mit einer Geraden, die durch alle drei x-Abschnitte verläuft. Voilà.

Mit einem Lineal kann man alle Antriebsfälle durchspielen, also etwa der Reihe nach S, C, R auf Drehzahl 0 festhalten und dann die Drehzahlen der anderen Komponenten ablesen. Wenn man eine davon als Antrieb

definiert, stellt die andere den Ausgang dar. Es wird direkt ersichtlich, wann das Getriebe eine Drehzahlumkehr bewirkt („Plus-Getriebe“, „Minus-Getriebe“) und wann eine Unter- oder Übersetzung (overdrive) herauskommt. Auch die Verwendung als Überlagerungsgetriebe mit zwei Eingängen und einem Ausgang ergibt sich sofort. Die Analogie zu den Hebelgesetzen ist, dass hier nicht „Kraft mal Hebelarm“ von zwei Seiten ins Gleichgewicht gebracht wird, sondern „Drehzahl mal Hebelarm“. Daraus kann man auch die Berechnungsformeln für die resultierende Übersetzung eines Aufbaus ableiten, wie sie im Buch zum hobby 2 [7] angegeben sind.

Beispiel 1

Um eine Untersetzung nahe 1 in gleicher Drehrichtung zu erhalten, bietet sich an, die Sonne fest zu halten und so klein wie möglich zu machen. Damit rückt die Vertikale C sehr nahe an die Vertikale R heran, mit nahezu gleicher Geschwindigkeit.

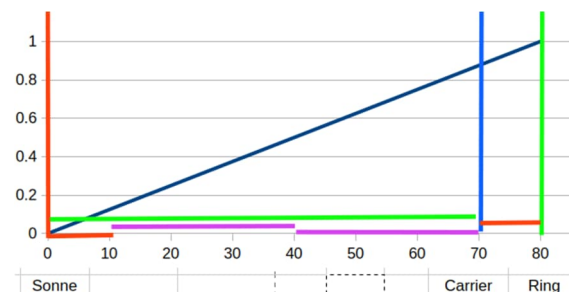


Abb. 5: Beispiel 1, $S=10$, $P=30$, $R=80$.
Übersetzung $\rightarrow 1$ (10 Zähne sind die praktische Untergrenze für PLA-Druck mit modul 1)

Beispiel 2

Für eine Untersetzung nahe -1 (in Gegenrichtung) hält man den Carrier fest und macht die Sonne so klein wie möglich. Nimmt man die Sonne als Antrieb, ergibt sich eine gegenläufige Übersetzung.

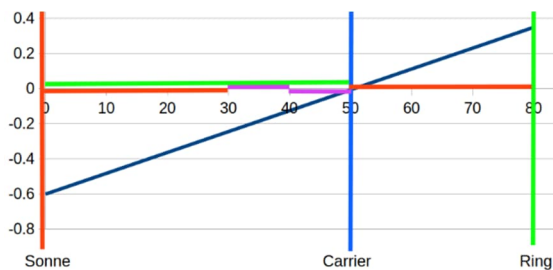


Abb. 6: Beispiel 2: $S=30$, $P=10$, $R=50$. Viel näher wird man (im fischartechnik-Maßstab, modul 1 in Kunststoff) an eine Übersetzung von -1 nicht herankommen.

Beispiel 3

Koppelt man zwei beliebige Komponenten zusammen, müssen sich alle drei mit gleicher Geschwindigkeit drehen. Der Planetensatz rotiert dann als ein starrer Block mit Übersetzung 1. Die Gerade verläuft horizontal. Eine Übersetzung von -1 ist nicht machbar: hierzu müssten Sonne und Ring entgegengesetzt gleich schnell drehen, d. h. ihre „Drehzahl-Hebelarme“ müssten gleich lang sein. Das aber erfordert Planeten der Größe 0, die es nicht gibt. Oder aber ... nun, dieses Nomogramm gilt für ebene Planetengetriebe. Man kann einen Planetensatz aber räumlich soweit verzerren (morphen), dass die Planeten sich aufrecht gegenüberstehen und Sonne und Ring ebenfalls. Das führt auf ein Differenzial [9] mit Kegel- oder Kronenrädern, welches sehr wohl eine Übersetzung von -1 erbringt.

Im Umkehrschluss heißt das, dass ein Nomogramm für einen nicht-ebenen Planetensatz noch interessante Details aufweisen muss.

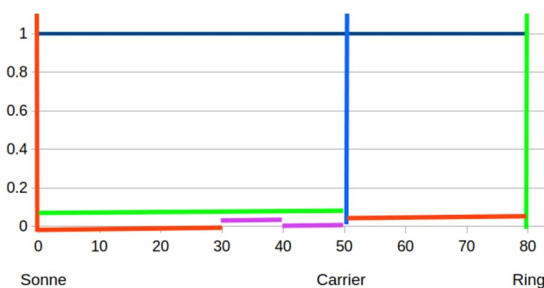


Abb. 7: Beispiel 3: S, P, R beliebig, Übersetzung 1

Beispiel 4

Power-Split, Leistungsverzweigung in heutigen Großtraktoren. Den Anfang hierzu machte Fendt mit dem Vario-Getriebe [10], mittlerweile haben alle namhaften Hersteller nachgezogen. Diese Getriebe können stufenlos über weite Geschwindigkeitsbereiche arbeiten und kennen ein ‚active Stop‘ oder ‚powered Zero‘: Ein Gespann aus Traktor und Anhänger wird am Hang stillgehalten, obwohl der Antriebsstrang des Traktors zu jeder Zeit durchgehend verbunden und keine Bremse betätigt ist. Der Trick: die Motorleistung wird zuerst aufgeteilt in

- einen mechanischen Strang M mit einem Schaltgetriebe (manuell oder automatisch) und
- einen stufenlos verstellbaren hydrostatischen Strang H (CVT, *Continuously Variable Transmission*)

und dann über ein Planetengetriebe wieder zusammengeführt, d. h. M und H belegen zwei Elemente als Eingänge (Vario: C und R), und das dritte (hier S) führt als Ausgang auf die angetriebenen Achsen. Beim active Stop werden M und H so geregelt, dass der Ausgang auf Drehzahl 0 gehalten wird. Zum Anfahren aus dem Stand wird H langsam herauf oder herab geregelt und das tonnenschwere Gespann fährt völlig sanft an.

Die ftCommunity-Bildersammlung hat weitere Beispiele für Leistungsverzweigung bzw. -addition:

- das Fahrgeschäft „Inferno“ [11] mit einem Gondelträger, der von zwei Motoren über ein Differenzial angetrieben wird. Durch Umsteuern eines Motors sollten sanfter Stopp und Anlauf bewirkt werden. Das wurde aber nicht bis zur Einsatzreife gebracht.
- der Allrad-SUV ([12], einschl. Diskussion) mit der gleichen Idee und dem gleichen Ziel des sanften Anfahrens. Die

Physik hat aber sofort herausgefunden, dass es leichter ist, den schwächeren Motor mit dem stärkeren rückwärts anzutreiben, anstatt das Fahrzeug in Bewegung zu setzen. Da wäre noch ein Freilauf nötig gewesen.

Anmerkung: Das Vario-Getriebe wird in den Medien gern verwechselt mit dem neueren Vario Drive. Vario Drive hat zwei weitere hydrostatische Motoren, die dem Vario-Getriebe nachgeschaltet sind und die Drehmomente zwischen Vorder- und Hinterachse verteilen.

Beispiel 5

Der Toyota Prius hat einen Hybrid-Antrieb aus zwei Elektromotoren und einem Verbrenner (ICE, *Internal Combustion Engine*), die über ein Planetengetriebe (PSD, *Power Split Device*) zusammengeführt werden. Es sind angeschlossen:

- S: Motor/Generator 1 (MG1, elektrisch), auch als Anlasser für ICE
- C: Verbrennungsmaschine (ICE)
- R: Motor-Generator 2 (MG2, elektrisch) und die Antriebsachse

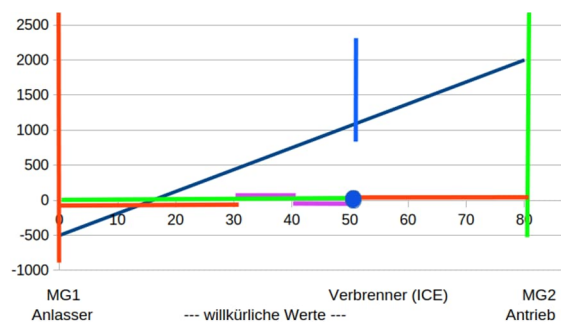


Abb. 8: Toyota Prius. Alle Geometrien und Zahlen sind willkürlich gewählt. Der Verbrenner hat einen begrenzten Drehzahlbereich. Die Rückwärts-Fahrgeschwindigkeit wird elektronisch begrenzt.

Im zunehmend vergesslicher werdenden World Wide Web ist mal eben noch *eine* Animation zu finden [13]. Man kann hier die Drehzahlen ω von MG2 und ICE einstellen und dem Getriebe bei der Arbeit zusehen. Die Darstellung ist spiegelbildlich

zur hier gewählten, also findet man die Sonne auf der rechten Seite.

Aus dem Nomogramm sieht man:

- MG2 dreht sich, sobald sich das Fahrzeug bewegt. Dabei kann er entweder antreiben oder als Generator die Batterie aufladen.
- Mit MG1 wird der Verbrenner im optimalen Drehzahlbereich gehalten (wenn er nicht gerade stillsteht).
- Rückwärtsfahren geht nur mit elektrischem Antrieb. Der Verbrenner dreht nur in einer Richtung und braucht eine Mindestdrehzahl oder er ist abgestellt. Für Rückwärtsfahrt muss MG2 gegenläufig drehen.
- Die Endgeschwindigkeit wird nur bei laufendem Verbrenner erreicht.

Beispiel 6

Elektrische Astscheren besitzen zwei oder mehr Planetensätze, die in Reihe geschaltet sind. Geschickter Weise zeichnet man für jeden Satz ein Nomogramm auf transparentem Material, und schiebt diese „passend“ übereinander. Was genau dieses „passend“ ist, ergibt sich aus der Art der Ankopplung von Satz zu Satz: Der Motor treibt die Sonne von Satz 1 an, dessen Ring am Gehäuse fixiert ist.

Das Nomogramm zeigt, dass die Übersetzung kleiner als 1 ist. Der Planetenträger C1 ist der Ausgang von Satz 1, und trägt auf seiner Rückseite das Sonnenrad von Satz 2, der in gleicher Weise gebaut ist. Im Nomogramm wird also die Sonne S2 direkt auf dem Carrier C1 platziert und von $\omega_{C1} = \omega_{S2}$ aus eine Gerade zum Punkt R2 mit Drehzahl $\omega = 0$ gezogen. Bei C2 kann die resultierende Geschwindigkeit abgelesen werden. Außerdem wird hier S3 (falls vorhanden) aufgelegt. Das Schema wiederholt sich für jeden weiteren Satz (bekannte Astscheren haben bis zu vier davon).

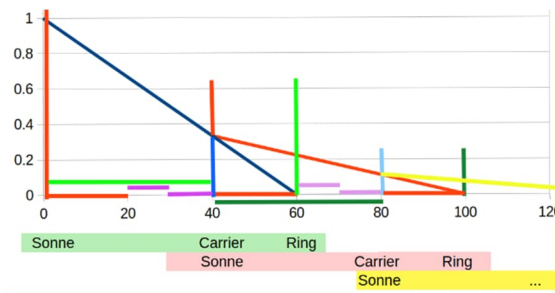


Abb. 9: Astschere mit mehreren verketteten Planetengetrieben

Referenzen

- [1] Dirk Fox: *Planetengetriebe (2)*. [ft:pedia 4/2020](#), S. 42–45.
- [2] Thomas Püttmann: *Planetengetriebe*. [ft:pedia 2/2016](#), S. 38–43.
- [3] Harald Steinhaus: *Immer schön langsam: Hypozykloidgetriebe*. [ft:pedia 2/2024](#), S. 32–39.
- [4] OpenSCAD: *Planetengetriebe für fischertechnik*. [printables.com](#).
- [5] Harald Steinhaus: *Uhr mit Planetengetriebe*. [ft:pedia 4/2020](#), S. 46–54.
- [6] *Umlaufrädergetriebe* (Wikipedia)
- [7] Artur Fischer: *Planetengetriebe*. In: *fischertechnik Hobby, Experimente und Modelle*, hobby 2, Band 6, Fischer-Werke 1977, S. 30-33 (auch in [1] wiedergegeben)
- [8] ZF 9HP transmission: *Nomogramm von Francois Roulet* (Wikipedia)
- [9] Thomas Püttmann: *Das Differentialgetriebe*. [ft:pedia 4/2014](#), S. 12–19.
- [10] Variomatic und Vario Drive: *The Vario transmission; René Wengelewski*, Youtube.com
- [11] Harald Steinhaus: *Inferno*; Bildersammlung der ftCommunity.
- [12] Harald Steinhaus: *SUV mit Allradantrieb*; Bildersammlung der ftCommunity.
- [13] E. A. Hart (Alex Hart): *Toyota Prius – Power Split Device (PSD)*.

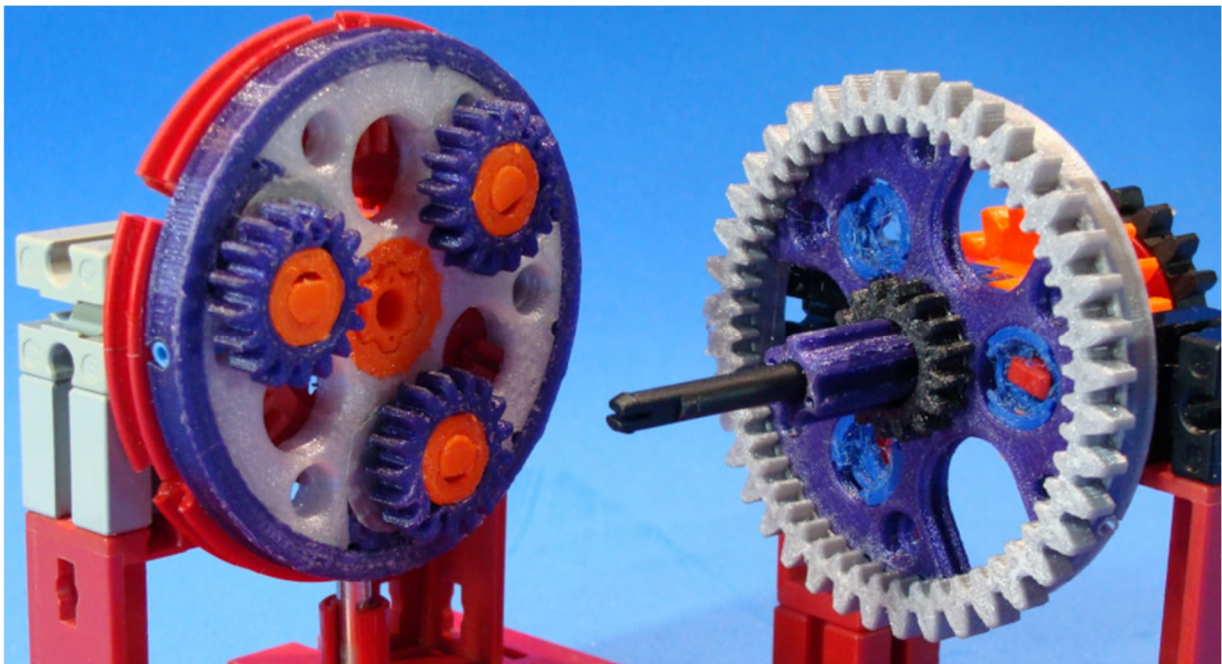


Abb. 10: Ein Planetensatz, fertig montiert

Pneumatik

Pneumatische Schrittmotoren

Stefan Falk

Schrittmotoren von fischertechnik gab es schon im ersten Plotter-Baukasten ([30571](#)) von 1985. Pneumatische Motoren wurden in der ft:pedia schon mehrfach beschrieben. Hier kommt die Kombination von beidem: pneumatische Schrittschaltwerke und Schrittmotoren.

Vorsicht, Klassik!

Die Modelle in diesem Beitrag enthalten gnadenlos Pneumatik- und Statik-Bauteile, die heute nicht mehr hergestellt werden – vor allem bei den Pneumatik-Teilen zu meinem größten Bedauern. Die Modelle sind also vor allem für diejenigen nachbaubar, die solche Teile in hinreichender Anzahl besitzen.

Wer nicht in dieser glücklichen Lage ist, möge dasselbe aber gerne auch mit aktuellen Teilen realisieren – nur etwas weniger kompakt:

- Anstelle der blauen einfachwirkenden Betätiger ([36075](#)) kann auch ein Pneumatik-Zylinder 60 mit Rückstellfeder ([133027](#)) verwendet werden.
- Anstelle der Festo-Öffner-Ventile mit blauem Stößel ([36082](#)) kann alternativ auch das Handventil ([36934](#)) verwendet werden. Genauso funktionieren die selbstgebauten Pneumatik-Taster in Schlauch-Logik aus ft:pedia 1/2014 [1].
- Der im ersten Modell als Sperrklinke verwendete Pneumatik-Rollenhebel ([31641](#)) kann durch eine Sperrklinke aus Standardteilen ersetzt werden. Die Anleitungen zu den älteren Grundkästen sind voller Anregungen dazu, z. B. [2].
- Statik-Scharniere ([36329](#)) werden als federndes Element verwendet. Wer solche nicht besitzt, kann das mit einem Gelenkstein und einem Haushaltsgummi

o. ä. umsetzen; es wird dann nur etwas größer.

Warnung: Die Kompressoren nicht mit 9 Volt betreiben!

Der blaue fischertechnik-Kompressor ([121470](#)) schafft es durchaus, Druck bis zu etwa 1 bar aufzubauen. **Das ist viel zu viel für die blauen Pneumatik-Betätiger!** Die sind für 0,3 bis max. 0,5 bar ausgelegt und können bei höheren Drucken durchaus zerstört werden.

Wenn ihr diesen Kompressor für die hier gezeigten Modelle verwendet, betreibt ihn nur mit ca. 3 V Versorgungsspannung. Das geht über ein einstellbares Netzteil, über eine der einstellbaren fischertechnik-Stromversorgungen oder behelfsweise durch fischertechnik-Glühlampen, die in Serie mit dem Kompressor geschaltet werden. **Lasst nur so viel Druck aufbauen, dass die Modelle gerade zuverlässig funktionieren.**

Alternativ könnt ihr aber auch die guten alten Selbstbau-fischertechnik-Kompressoren aus den Anleitungen eurer Pneumatik-Kästen verwenden, etwa vom *Kompressor-Bausatz* ([30866](#)) oder vom Baukasten *Profi Pneumatic* ([30494](#)).

Modell 1: Schrittschaltwerk

Abb. 1 zeigt ein kompaktes pneumatisches Schrittschaltwerk. Es dreht ein Zahnrad Z20

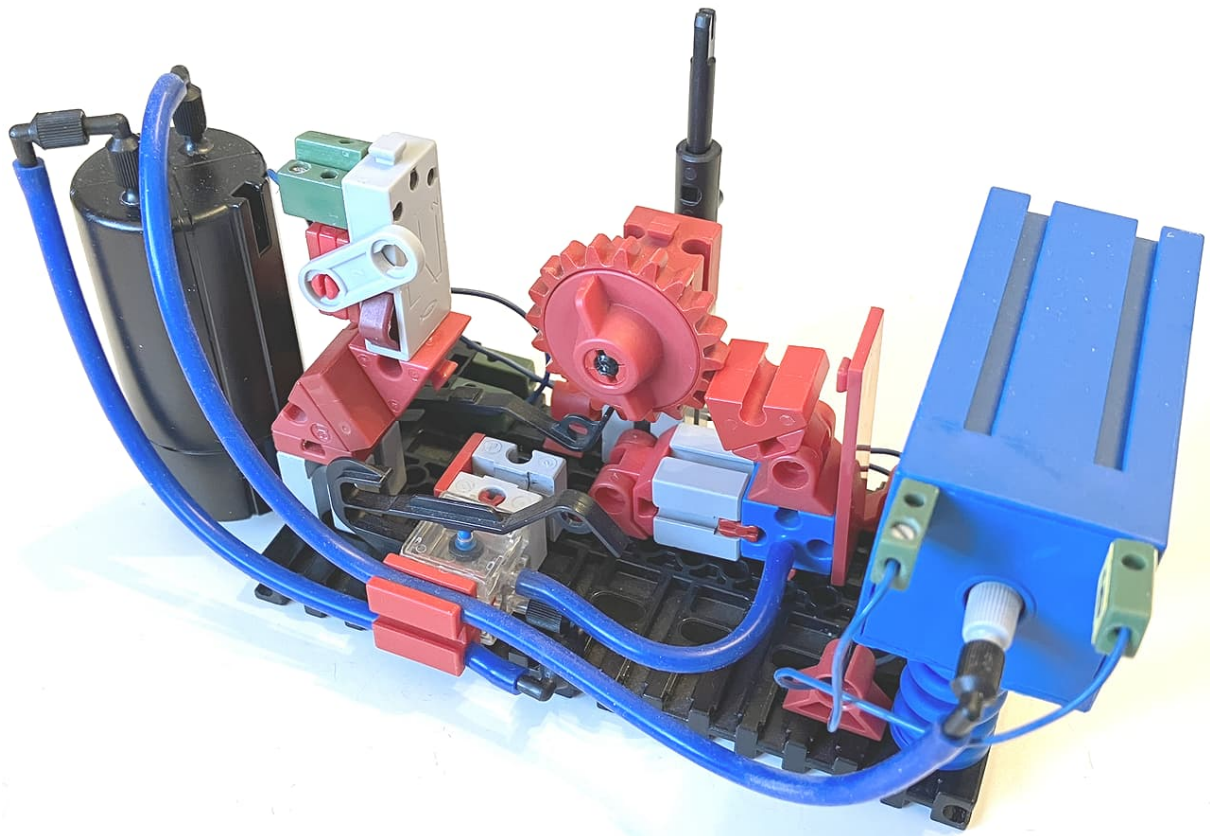


Abb. 1: Pneumatisches Schrittschaltwerk

mit jedem Impuls um genau einen Zahn weiter und passt mit allem Drum und Dran auf eine Bauplatte 60×120 (35129). Abb. 4 zeigt eine Rückansicht.

Wir beginnen mit der Grundplatte und befestigen darauf einen später noch wichtigen Federnocken:

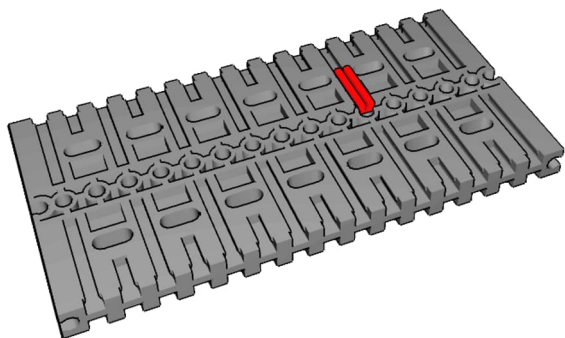


Abb. 2: Baustufe 1

Dazu kommt das bewegliche Glied mit einem einwirkenden Betätiger (Abb. 3):

- Der blaue Betätiger sitzt auf dem beweglichen Arm und zeigt sozusagen nach unten. Er hebt, mit Druckluft beaufschlagt, den Hebel also an.

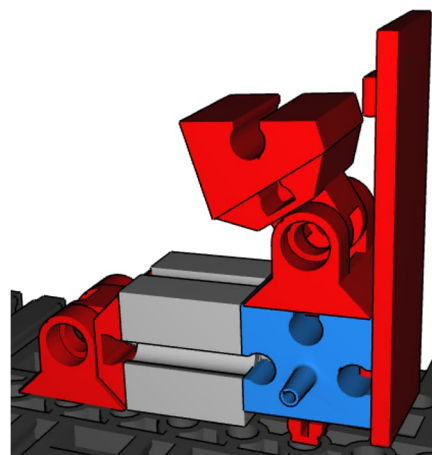


Abb. 3: Betätiger

- Der der der Bauplatte angebrachte Federnocken bewirkt, dass der Betätiger nicht erst Hub-Strecke unnütz vertut, sondern sich sofort abstoßen kann (der

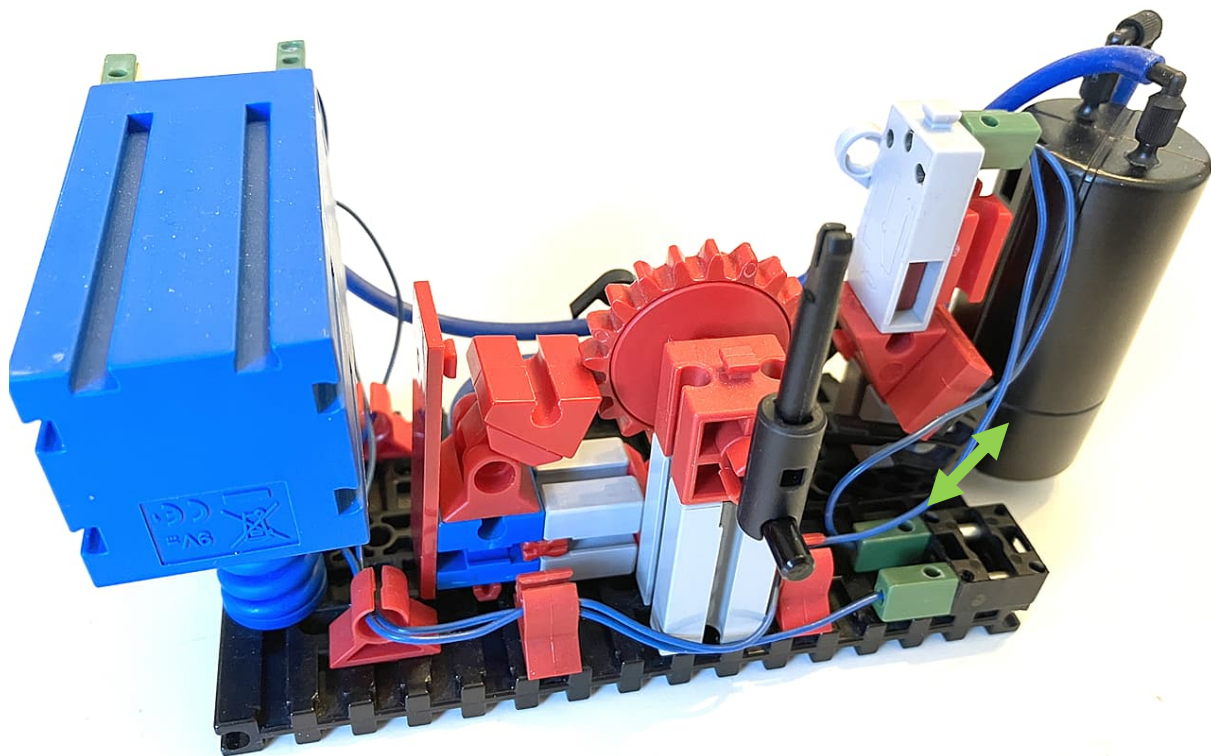


Abb. 4: Rückansicht der Schrittschaltwerks. Der grüne Doppelpfeil zeigt die Justierbarkeit der Sperrklinke durch Verschieben des Pneumatikhebels.

Betätiger ist etwas weniger als 15 mm hoch). Ohne den Federnocken würde der Hub nicht ausreichen, um das Z20 sicher einen Zahn weiter zu schalten.

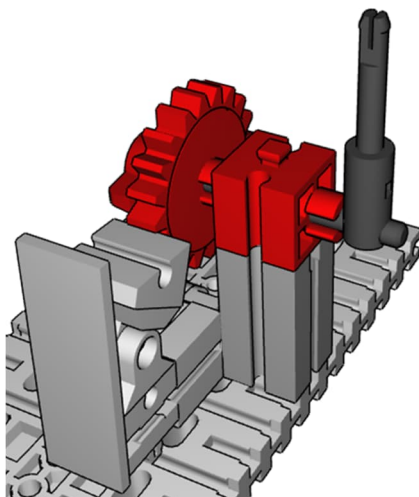


Abb. 5: Abtriebs-Zahnrad und der Zeiger

- Wichtig: Der Winkelstein 30° auf dem oberen Gelenkstein ist ein *alter*, der nämlich einen Hauch kleiner ist als der aktuelle! Mit dem aktuellen geht die Geometrie mit dem später noch angebau-

ten Z20 nicht gut auf, aber mit dem alten funktioniert die kleine Mechanik einwandfrei (siehe hierzu [3]).

- Die Platte 15 × 45 dient als Begrenzer und Anschlag, damit der drehbare Winkelstein 30° nicht zu weit ausschlägt und dann nicht mehr zurückkommt. Das sieht man gut beim Probieren des Modells.

Als nächstes folgt schon ein einfach gelagertes Z20:

- Auf beiden Seiten der Achse sitzt ein Klemmring.
- Auf der Außenseite ist ein einfach aufgebauter „Zeiger“ angebracht.

Es folgt die von unten wirkende Sperrklinke, die verhindert, dass das Zahnrad nach dem Verdrehen um einen Zahn wieder zurückdrehen kann (Abb. 6).

Die Sperrklinke selbst ist ein Pneumatik-Rollenhebel (31641). Der Hebel kann vertikal verschoben werden, um ihn so zu justieren, dass das Modell gut funktioniert. Das

zeigen die in Abb. 5 und 6 eingezeichneten grünen Pfeile an. Der Federnocken rechts am BS15 dient später zur Befestigung des kleinen Pneumatik-Tanks.

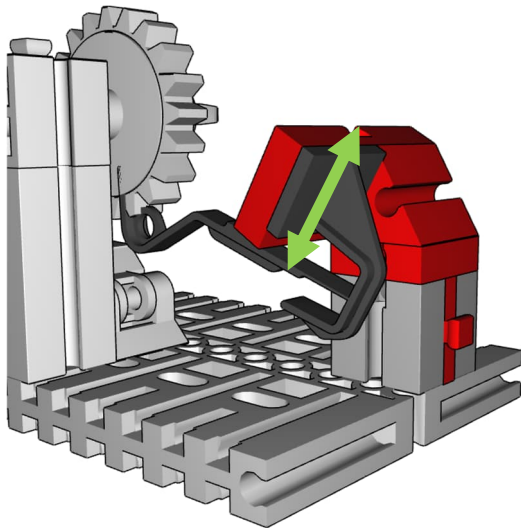


Abb. 6: Sperrklinke, justierbar beim grün eingezeichneten Doppelpfeil

Vorne an der Grundplatte wird ein Festo-Ventil (ein Öffner, mit blauem Stößel, [36082](#)) befestigt:

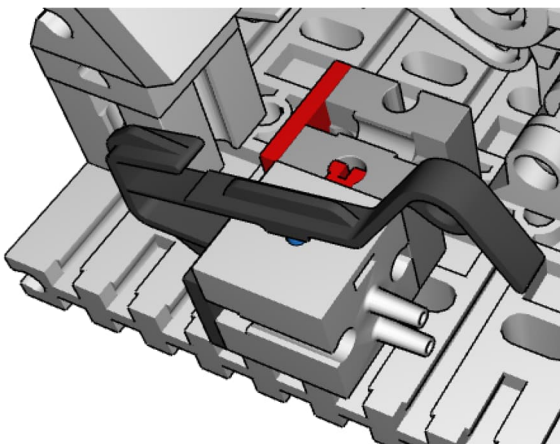


Abb. 7: Das Ventil zur manuellen Betätigung

Die rote Bauplatte 15×15 habe ich angebaut, damit sich der Betätigungshebel – der mitunter etwas locker sitzt – nicht verschieben kann. Später wird auf der Frontseite des Bildes noch etwas Ähnliches ergänzt.

Oben auf dem Sperrklinken-Halter habe ich einen Ein-/Ausschalter angebracht – das mag natürlich jeder nach Belieben anders machen oder weglassen (Abb. 8).

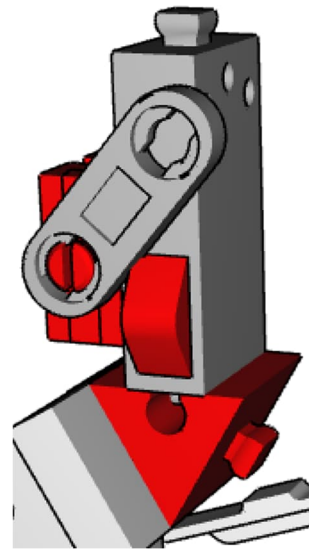


Abb. 8: Ein-/Ausschalter

Zur Führung von Leitungen und Schläuchen spendierte ich noch ein paar Bauteile an strategischen Positionen (Abb. 9).

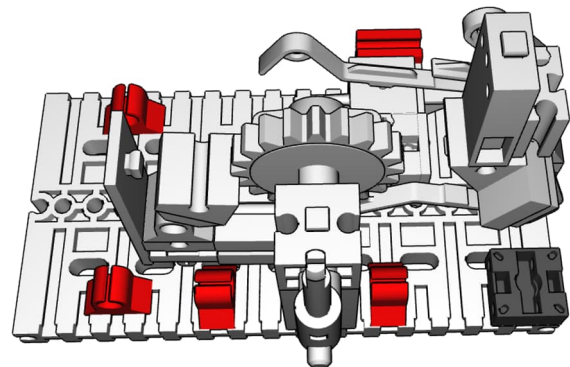


Abb. 9: Teile zur Leitungsführung

Das Teil rechts unten ist ein Leuchtstein mit Steckfassung ([38216](#)). An dem kann man komfortabel eine Stromversorgung anstöpseln.

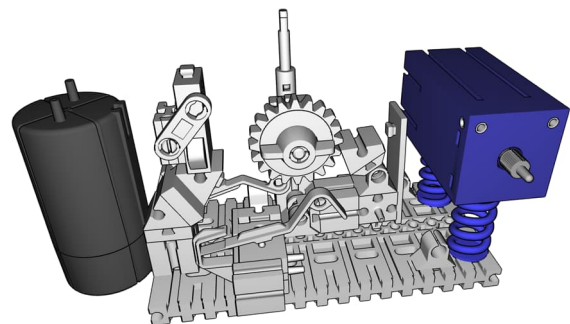


Abb. 10: Kompressor und Drucktank

Zu guter Letzt werden Kompressor und Drucktank ergänzt (Abb. 10). Kompresso-

ren setze ich gerne auf Kunststoffedern – dann brummt das Modell nicht so und verwendet nicht den Tisch als Resonanzfläche. Der Drucktank sitzt auf dem vorhin seitlich angebrachten Federnocken.

Die Verkabelung ist simpel: Der Strom für den Kompressor wird über den Schalter ein- oder ausgeschaltet. Die Pneumatik ist ebenfalls simpel: Ein Druck aufs Ventil gibt Druckluft auf den Betätiger im beweglichen Hebel. Die Verschlauchung ist in Abb. 2 wohl gut erkennbar.

Eine fischertechnik-Designer-Datei gibt es bei den Downloads zu diesem Beitrag [4].

Die Mechanik schaltet zuverlässig Zahn für Zahn des Z20 – aber nur in eine Richtung. Das ändern wir mit dem nächsten Modell.

Schrittmotoren

Für einen echten pneumatischen Schrittmotor, den wir vorwärts und rückwärts schrittweise laufen lassen können, brauchen wir ein bisschen mehr Aufwand. Es funktioniert aber z. B. mit Winkelsteinen 60° , deren Spitze wir in die Zwischenräume von Zahnrädern hineinschieben. Wichtig dabei ist, dass das Zahnrad entweder einen Zahn mehr oder einen weniger haben muss als das nächstgelegene ganzzahlige Vielfache der Anzahl der eingreifenden Winkelsteine.

Das klingt zu kompliziert? Dann machen wir ein Beispiel: Wir lassen drei gleichmäßig im Kreis verteilte Winkelsteine in die Zahnzwischenräume eines Zahnrads Z10 eingreifen. Das sieht dann aus wie in Abb. 11.

Wenn der untere der drei Winkelsteine genau auf die Spitze eines Zahns zeigt, zeigen die beiden anderen Winkelsteine (die beiden oberen in der Zeichnung) um $1/3$ versetzt in je einen Zahnzwischenraum.

Würde man den Winkelstein links oben radial zum Zahnrad, also entlang der gepunkteten grünen Linie, ins Zahnrad schieben, würde das Zahnrad um $1/3$ eines Zahns, also bei einem Z20 um $1/3$ von $1/20$

eines Kreises, nach *links* gedreht. Drückt man den rechten oberen Winkelstein in „seine“ Lücke, würde sich das Zahnrad um $1/3$ Zahn nach *rechts* drehen.

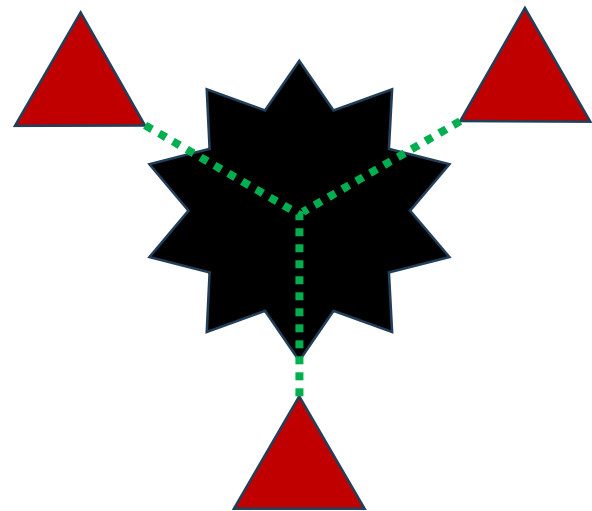


Abb. 11: Prinzipdiagramm

Das ist die Situation, wenn das Zahnrad einen Zahn „zu viel“ hat: Das nächste Vielfache von 3 zu 10 ist $3 \cdot 3 = 9$. Bei 10 Zähnen ist also einer „übrig“. Das werden wir im nächsten Modell realisieren.

Einen Zahn „zu wenig“ hat z. B. ein Zahnrad Z15 bei vier Winkelsteinen (die dann in 90° zueinander stehen müssen). Das nächstgelegene Vielfache von 4 ist $4 \cdot 4 = 16$, also 1 mehr als ein Z15 Zähne hat. Die Situation ist dann gerade so wie in Abb. 11, nur dass die Winkelsteine das Zahnrad nur um $1/4$ eines Zahnzwischenraums drehen müssen. Ein solcher Schrittmotor kann also noch feiner drehen. Das werden wir im dritten Modell ausprobieren.

Modell 2: Dreiphasiger Schrittmotor

Für das Modell mit drei Winkelsteinen und einem Z10 brauchen wir von den seltenen Teilen drei Betätiger, drei Ventile und als federndes Glied drei der älteren Statik-Scharniere ([36329](#)). Abb. 12 zeigt das gesamte Modell, Abb. 15 zeigt es von der anderen Seite.

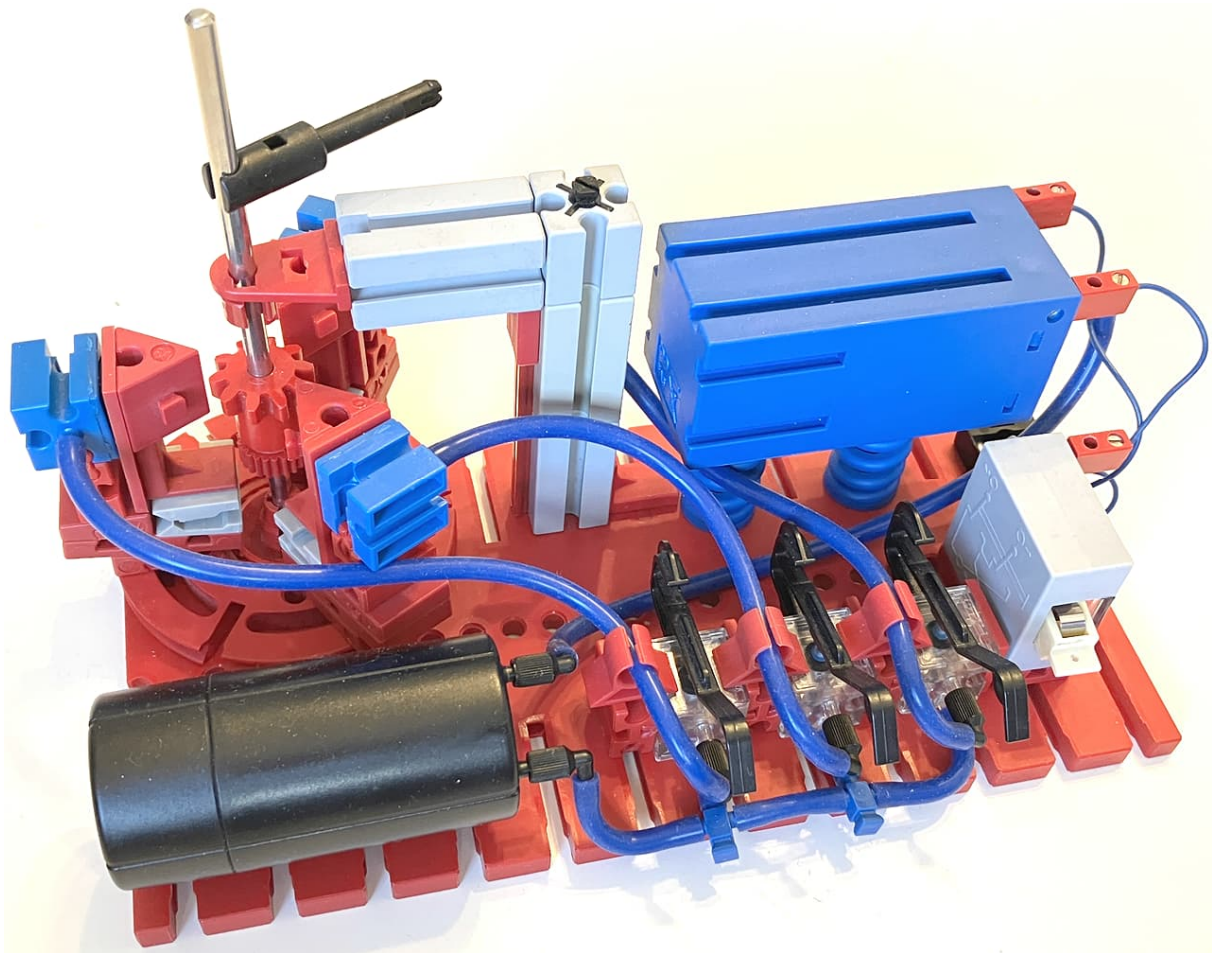


Abb. 12: Dreiphasiger Schrittmotor

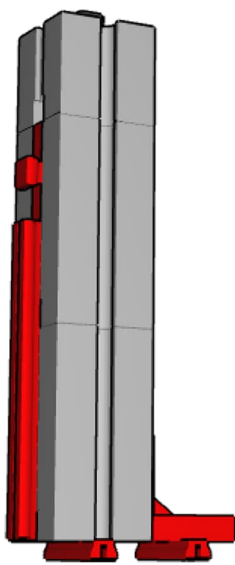


Abb. 13: Träger

Wir beginnen diesmal nicht mit der Grundplatte, sondern mit einem Träger, dessen untere Federnocken sonst nie zu sehen wären (Abb. 13).

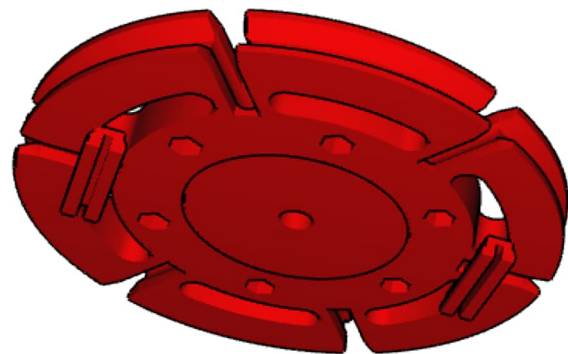


Abb. 14: Drehscheibe mit Federnocken und Flachnabe ohne Mutter

Ebenfalls auf der Unterseite mit Federnocken bestücken wir eine Drehscheibe (Abb. 14). In der Drehscheibe selbst sitzt

nur eine Flachnabe, aber *ohne* Nabennutter auf der Oberseite. Die brauchen wir nicht, denn die Nabe soll nur eine Achse frei drehbar lagern.

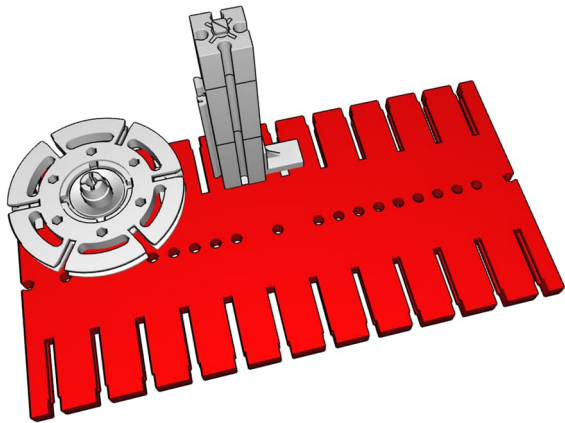


Abb. 16: Aufbau auf der Grundplatte

Das Ganze wird wie in Abb. 16 auf eine ältere Bauplatte 90 × 180 ([31001](#)) bis zum Anschlag eingeschoben.

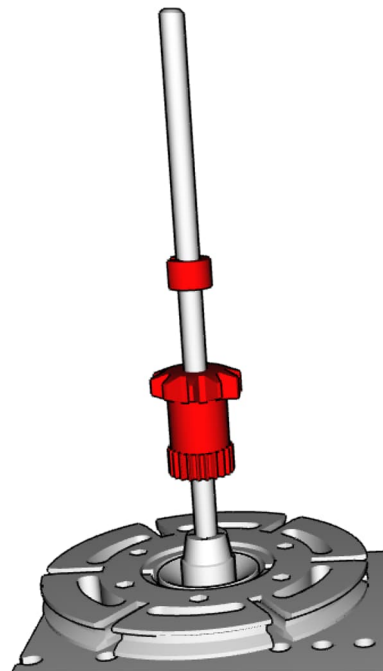


Abb. 17: Abtriebsachse

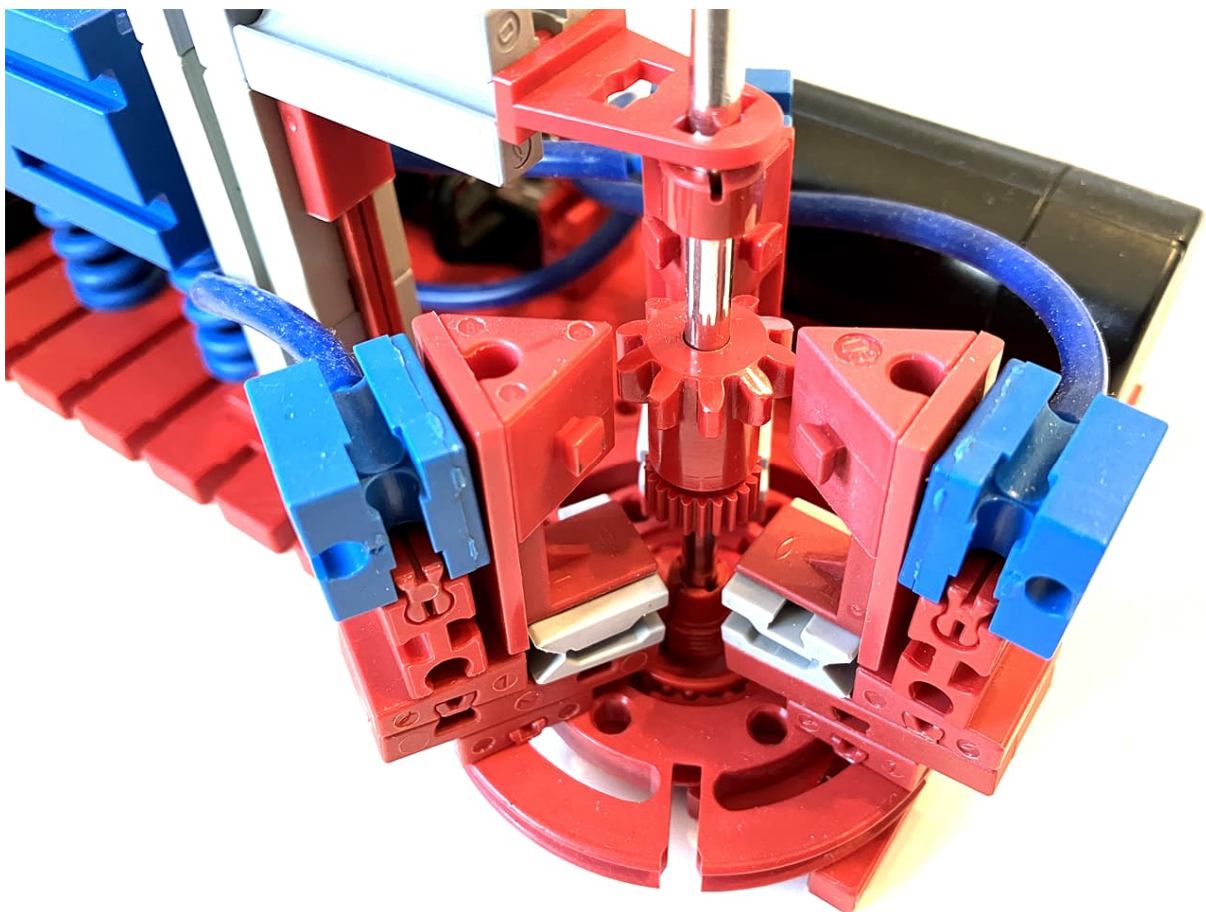


Abb. 15: Die Rückseite des dreiphasigen Schrittmotors

In die Nabe wird eine Achse 110 mit Zahnrad Z10 und einem Klemmring einfach eingesteckt (Abb. 17). Oben wird die Achse von einem an den Träger angebauten Arm getragen. Obenauf folgt wieder der einfache Zeiger (Abb. 18).

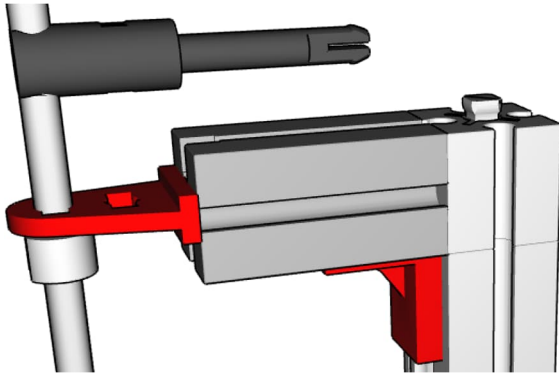


Abb. 18: Trägerarm und Zeiger

Jetzt wird's interessanter, und zwar mit dem ersten Gestell für die Schaltmechanik: Ein Winkelstein 7,5° (32071), mit einem Federnocken auf der Drehscheibe angebracht, trägt einen Baustein 5 15 × 30 3N (38428).

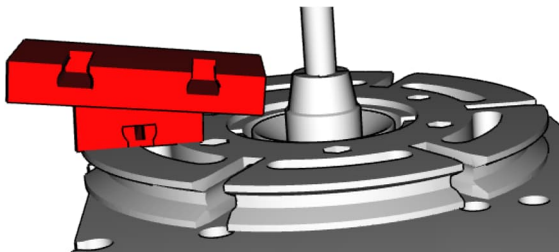


Abb. 19: Gestell für die Mechanik

Darauf kommt, auf einem älteren Statikscharnier (36329) stehend, ein Hebel, der später in die Zähne eines Zahnrads eingreifen wird (Abb. 20). Er besteht aus einem Winkelstein 10 × 15 × 15 (38423), einer Bauplatte 15 × 30 2Z (38241) und einem gewöhnlichen Winkelstein 60° (31010).

Dieser Hebel wird von einem wie in Abb. 21 angebrachten einfachwirkenden Pneumatik-Betätiger ins Z10 gedrückt, wenn dieser mit Druckluft beaufschlagt wird (auch hier ist ein Winkelstein 7,5° verbaut).

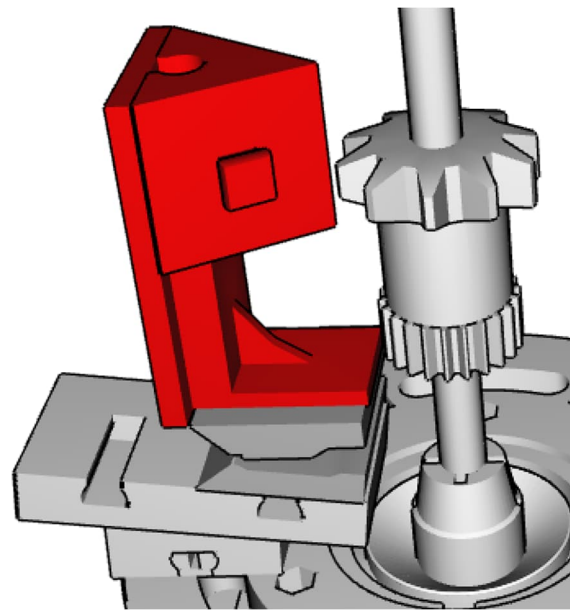


Abb. 20: Federnd beweglicher Hebel

Die gleiche Betätiger/Hebel-Mechanik wird noch zweimal gebaut und auf der Drehscheibe alle 120° angebracht (Abb. 22). Diese drei Betätiger werden später immer der Reihe nach betätigt. Sie teilen sich 10 Zahnzwischenräume – also einen mehr als das ganzzahlige Ergebnis der Division 10:3. Deshalb wird jede Betätigung das Z10 um 1/3 Zahn weiterbewegen. Dazu später mehr.

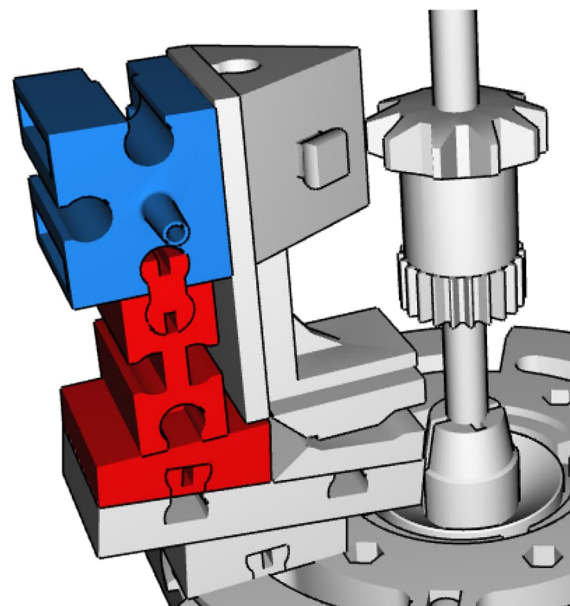


Abb. 21: Betätiger

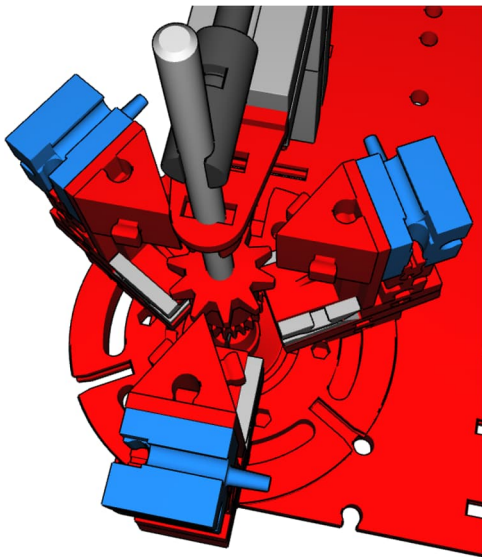


Abb. 22: Drei gleiche Mechaniken

Erstmal müssen die Betätiger aber noch mit Druckluft versorgt werden. Die Halterung der dafür zuständigen Ventile wird, wie in Abb. 23 zu sehen, auf die Grundplatte gebaut; sie besteht aus zwei Federnocken und zwei Bausteinen 7,5.

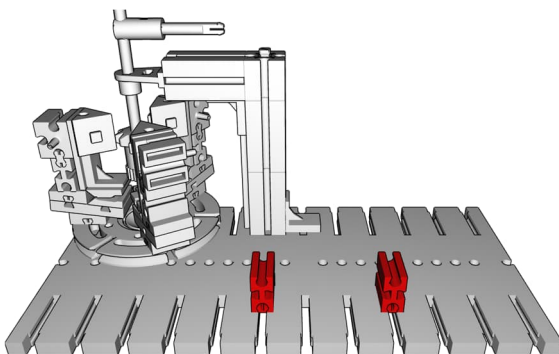


Abb. 23: Ventilhalterung

Darin werden drei Festo-Ventile eingebaut:

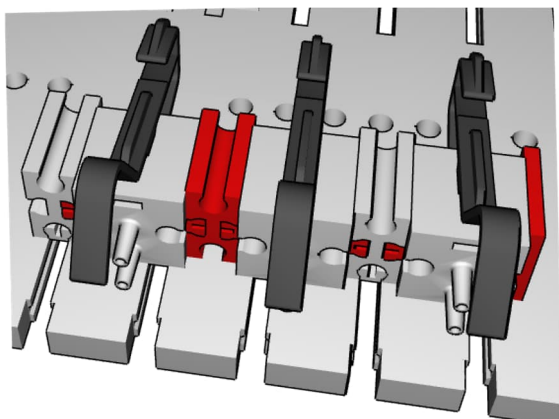


Abb. 24: Festo-Ventile

Die Ventile sind absichtlich ca. 1 mm nach vorne versetzt, damit die Rollenhebel nicht nach links und rechts rutschen können. Aus demselben Grund sitzt am rechten der drei Ventile noch eine Bauplatte 15×15 . Ich verwendete die ältere Clips-Variante, die heute „V-Bauplatte“ heißt ([31506](#)); die aktuelle mit einem Zapfen ([38246](#)) tut's aber auch.

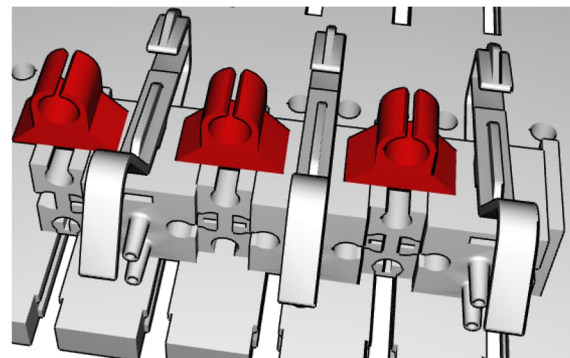


Abb. 25: Schlauchführung

Obenauf kommen drei Reedkontakthalter ([35969](#)) zur Führung der anzubringenden Pneumatikschläuche (Abb. 25).

Der Rest ist entspannend: Es folgen der Kompressor, ...

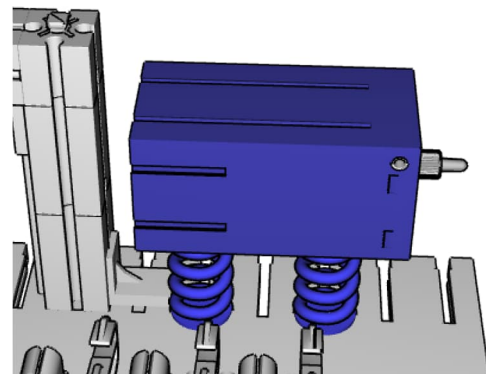


Abb. 26: Kompressor

... ein kleiner Pneumatik-Tank 30×60 ([156493](#)), der mit Winkelsteinen 30° schräg angebaut ist, um nicht der Mechanik ins Gehege zu kommen, und schließlich...

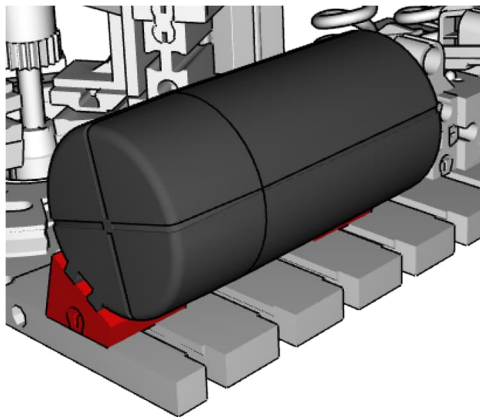


Abb. 27: Tank

... die Elektrik, hier unter Verwendung des älteren Polwendeschalters ([31331](#)):

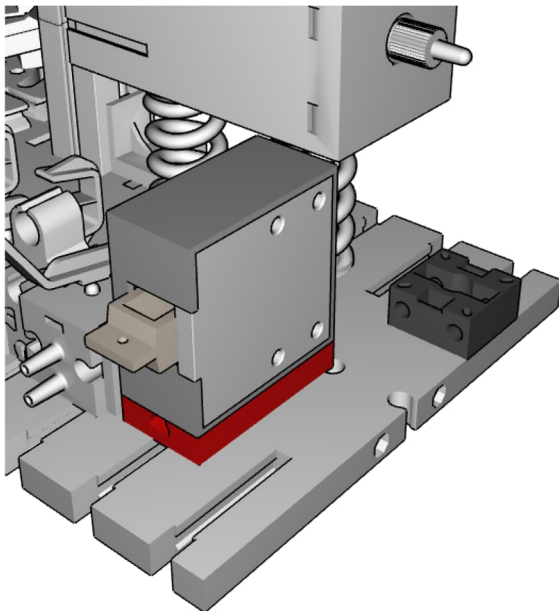


Abb. 28: Ein-/Ausschalter

Wie funktioniert das Modell?

Die drei manuell zu betätigenden Ventile steuern je einen der Betätiger an – reihum. wenn man die Ventile immer von neuem von links nach rechts betätigt, sollte sich die Achse mit dem Z10 schrittweise in eine Richtung drehen. Betätigt man die Ventile andersherum, also von rechts nach links, sollte sich die Achse in die entgegengesetzte Richtung drehen.

Ein Schritt ist immer nur 1/3 eines Zahns groß, mithin also bei drei Betätigern um ein Z10 herum

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{10} \cdot 360^\circ = 12^\circ$$

Wir brauchen $3 \cdot 10 = 30$ Ventilbetätigungen, um die Achse einmal um sich selbst zu drehen.

Tipps zur Justage

Falls das Modell nicht zufriedenstellend vorwärts und rückwärts funktioniert, helfen diese Tipps:

1. Die Winkelsteine 60° sollen ca. 1 mm Platz zu den Zähnen des Z10 lassen. Ggf. müssen die Mechaniken etwas aus der Drehscheibe heraus oder weiter hinein verschoben werden.
2. Die Betätiger-Mechaniken sollten sauber mittig über den jeweiligen Nuten der Drehscheibe sitzen. Ggf. kann man sie leicht nach links oder rechts verschieben.
3. Die Federnocken unterhalb der Drehscheibe und unterhalb des Führungsarms sollten beide bis zum Anschlag in die Grundplatte eingeschoben sein. So fluchten der Arm, die Achse und der vom Arm entfernt liegende Winkelstein 60° sauber miteinander.
4. Die gesamte Drehscheibe kann bei Bedarf auf ihren Federnocken etwas näher zum Arm oder weiter von ihm weg justiert werden. Wenn der vom Arm entfernt liegende Winkelstein 60° genau auf die Spitze eines Z10-Zahns zeigt, können so die Positionen der beiden anderen Winkelsteine gemeinsam geändert werden.
5. Bei allen Justierungen kann es auf Bruchteile von Millimetern ankommen.

Das Modell kann so zur einwandfreien Funktion in beiden Drehrichtungen gebracht werden.

Modell 3: Vierphasiger Schrittmotor

Wer vier Betätiger und Ventile besitzt, kann mit dem folgenden Modell noch einen Schritt weitergehen. Abb. 31 zeigt einen

vierphasigen Schrittmotor, der ebenfalls noch auf eine Grundplatte 90×180 passt.

Wir beginnen mit vier Bausteinen 15, vier Bausteinen 7,5 und acht Federnocken auf der Grundplatte (Abb. 29):

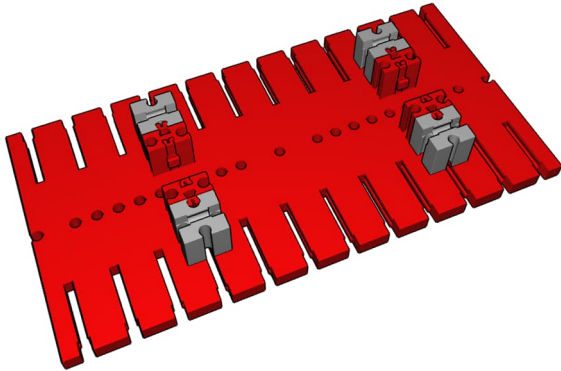


Abb. 29: Baustufe 1

Es folgen ein kurzer (Abb. 30) und ein langer (Abb. 32) Längsträger:

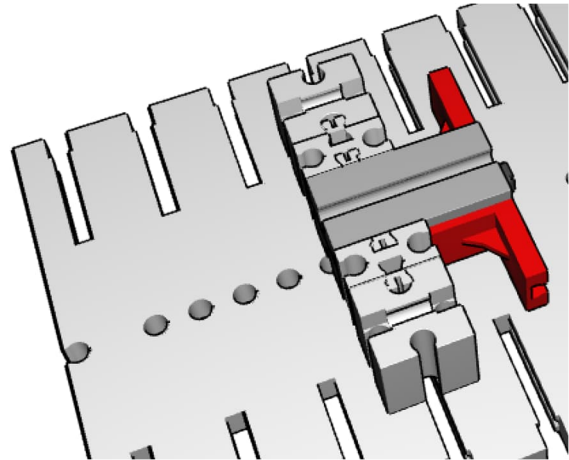


Abb. 30: Kurzer Längsträger

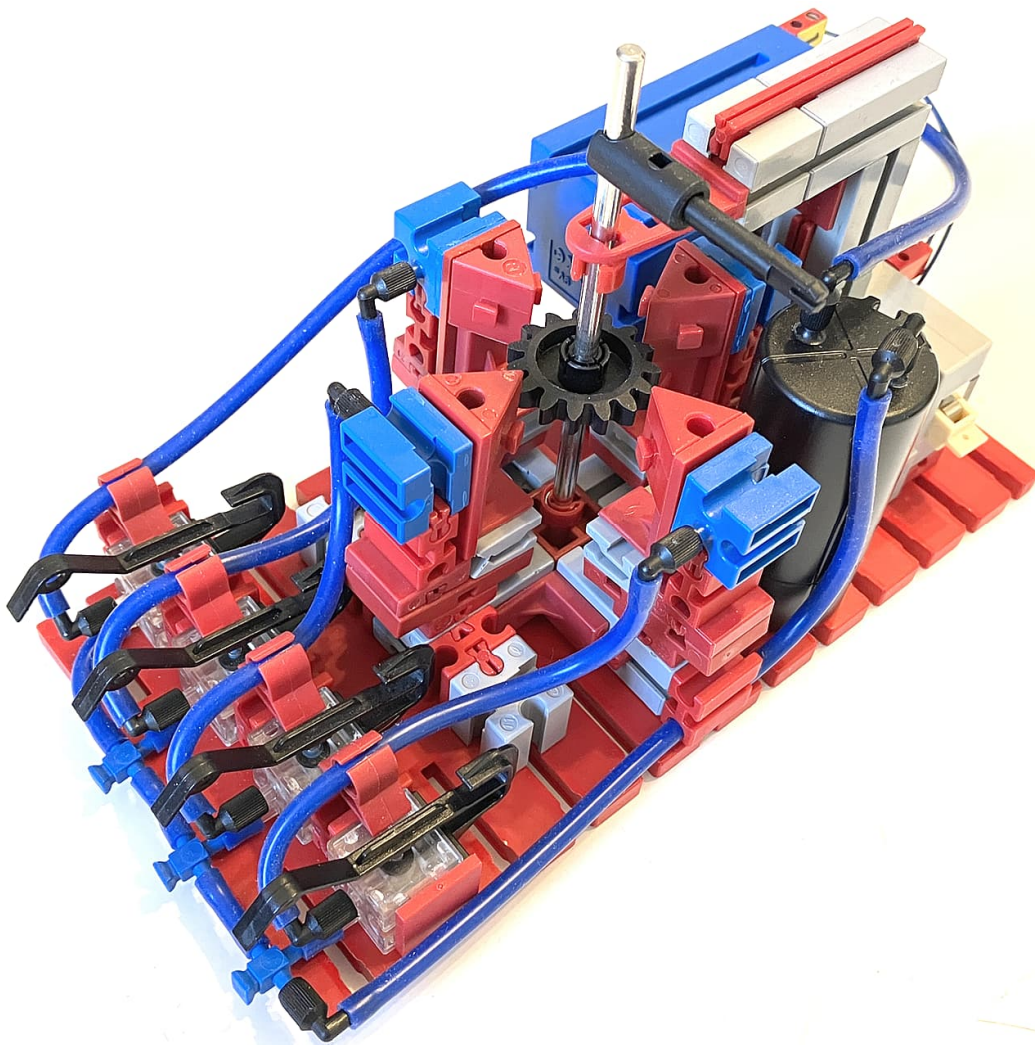


Abb. 31: Vierphasiger Schrittmotor

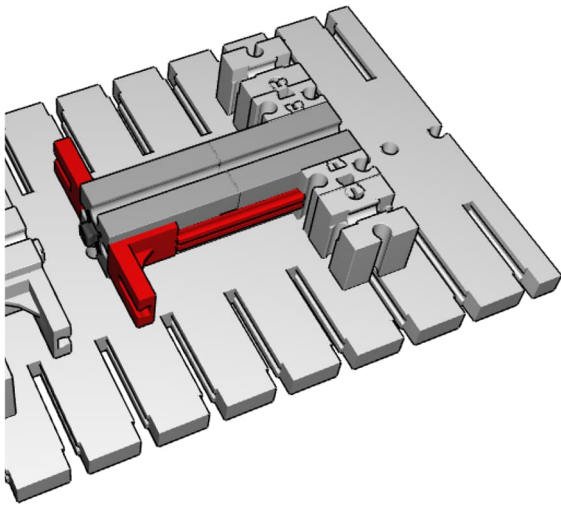


Abb. 32: Langer Längsträger

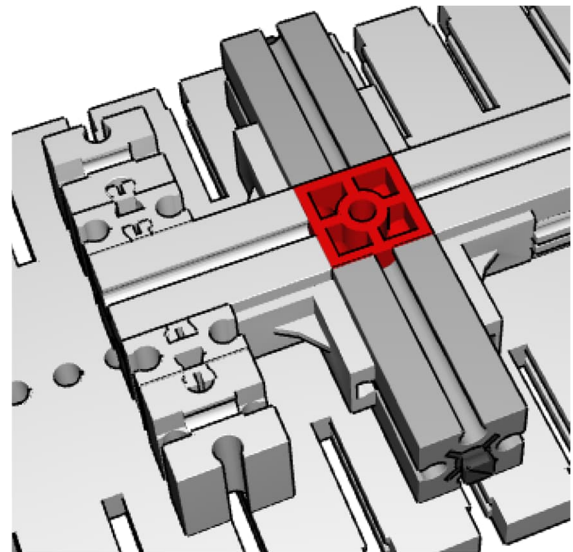


Abb. 33: Querträger

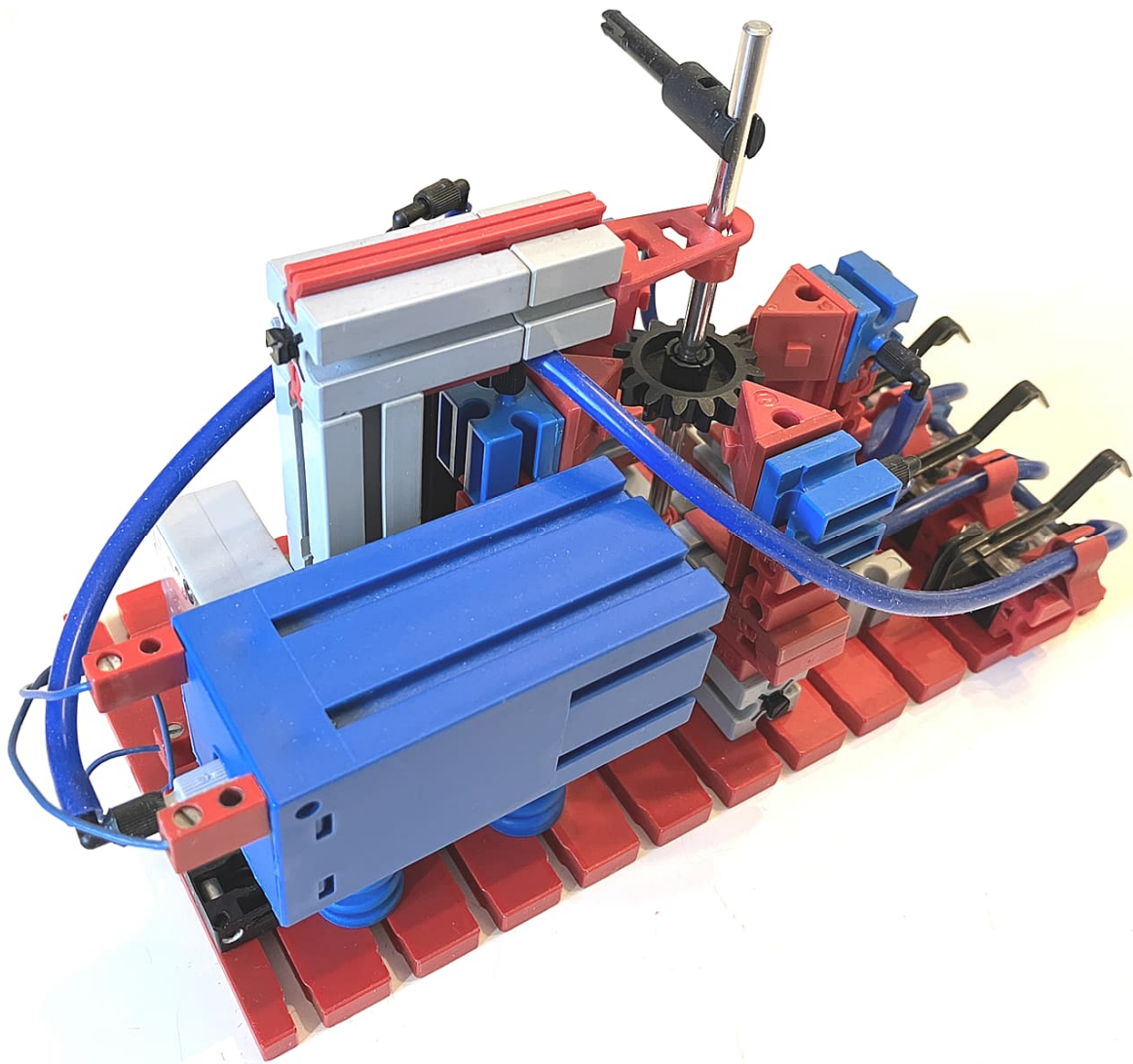


Abb. 34: Die andere Seite des vierphasigen Schrittmotors

Achtet darauf, dass die Zapfen der BS30 der Längsträger zur Mitte hin zeigen. Sicherheitshalber ist der lange Längsträger beidseitig mit Verbindungsstücken 30 versteift. Darin wird der Querträger – ein BS15 mit Bohrung und zwei BS30 mit den Zapfen nach außen – eingeschoben (Abb. 33) und mit vier Verbindungsstücken 15 stabilisiert (Abb. 35).

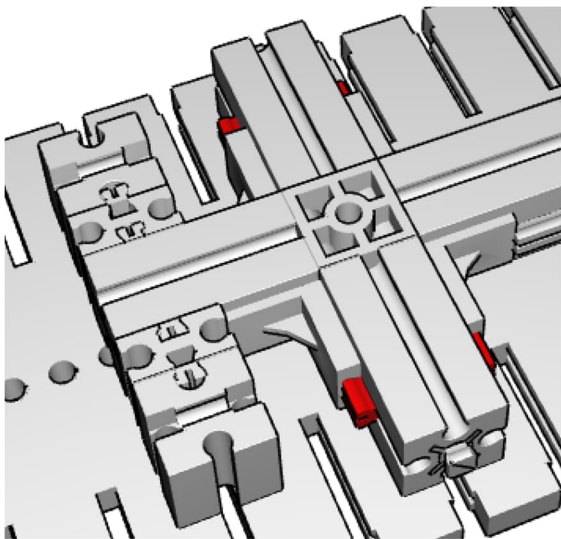


Abb. 35: Verstärkung des Querträgers

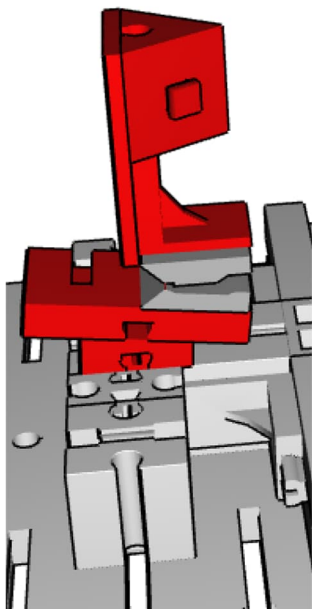


Abb. 36: Der Hebel des ersten Betätigers

Auf den kurzen Längsträger kommt ein Betätigungshebel wie beim dreiphasigen Schrittmotor, der ebenso mit einem Pneumatik-Betätiger versehen wird (Abb. 37).

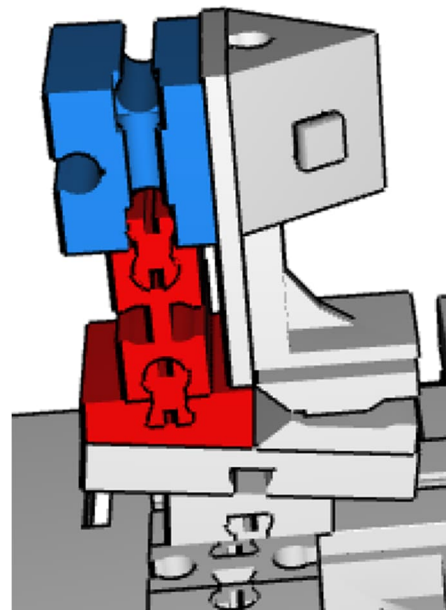


Abb. 37: Der Betätiger am ersten Hebel

Auf die drei anderen Arme kommen drei weitere, genauso aufgebaute Betätiger-Hebel-Mechaniken. Auch in diesem Modell folgt ein Tragarm am Ende des langen Längsträgers, der wieder mit einem Verbindungsstück 30 versteift wird:

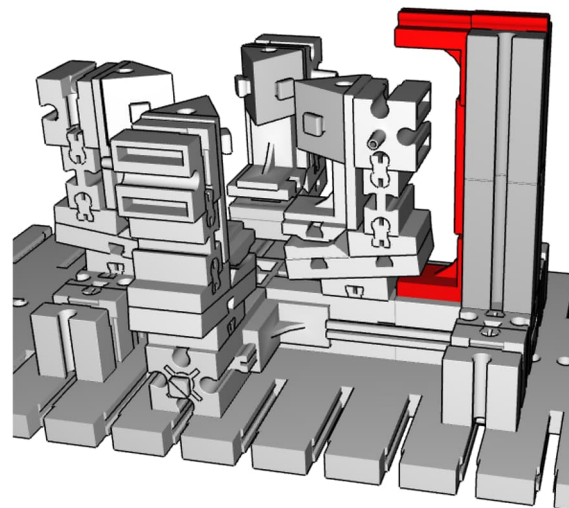


Abb. 38: Vier Hebel plus Tragarm

Die Abtriebsachse besteht bei diesem Modell aus einer Achse 110 mit einem Klemmzahnrad Z15 ([37685](#)) und einem Klemmring darüber. Wer so ein selbstklemmendes Z15 nicht hat, kann ein normales Z15 und z. B. ein darin steckendes Z10, gesichert mit einem Klemmring, verwenden.

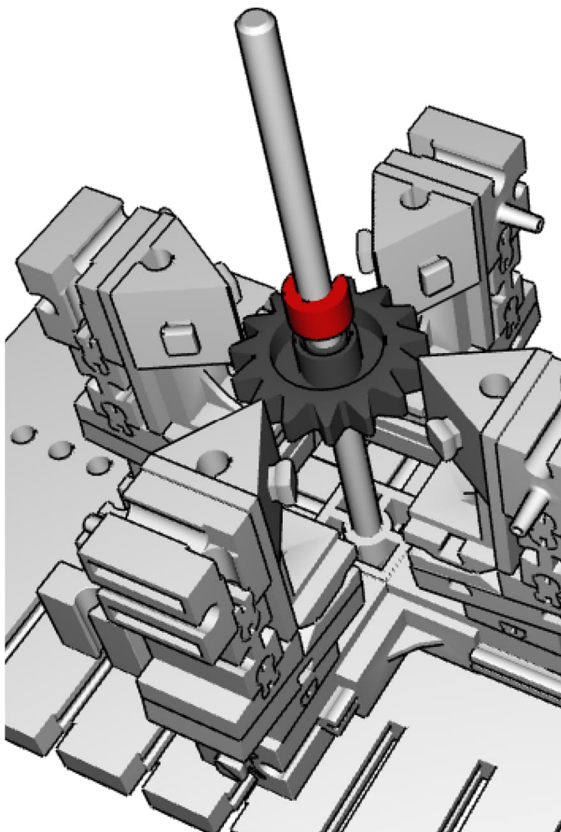


Abb. 39: Abtriebsachse mit Klemm-Z15

Obenauf folgen wieder Führungsarm (versteift mit einem Verbindungsstück 45) und Zeiger, siehe Abb. 40.

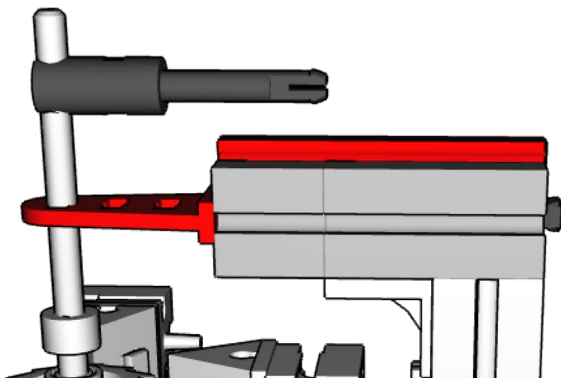


Abb. 40: Führungsarm und Zeiger

Auf dem größeren freien Platz der Grundbauplatte landen nun die Befestigungen für unsere Ventilgruppe (Abb. 41).

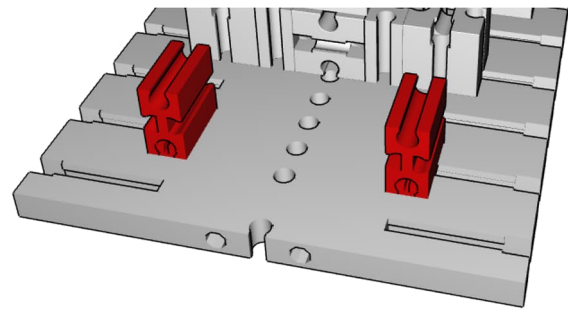


Abb. 41: Anbauteile für die Ventilgruppe

Daran werden nun vier Ventile angebaut, im Prinzip genauso wie bei der dreiphasigen Variante (Ab. 42):

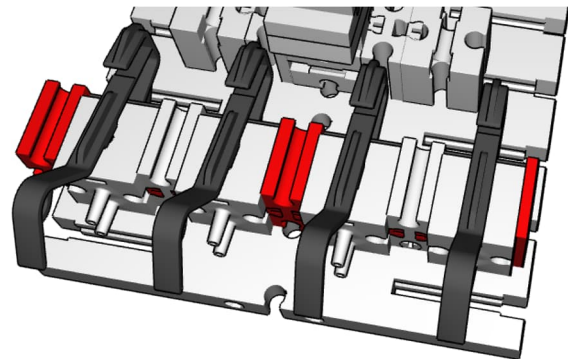


Abb. 42: Vier Ventile

Es folgen ein paar Teile für die Führung der Pneumatikschläuche, der Kompressor, auf der anderen Seite der Drucktank (aus Platzgründen mit einem Winkelstein 15° schräg angebracht) sowie ein bisschen Elektrik für die Stromversorgung, wie die nächsten Abbildungen zeigen.

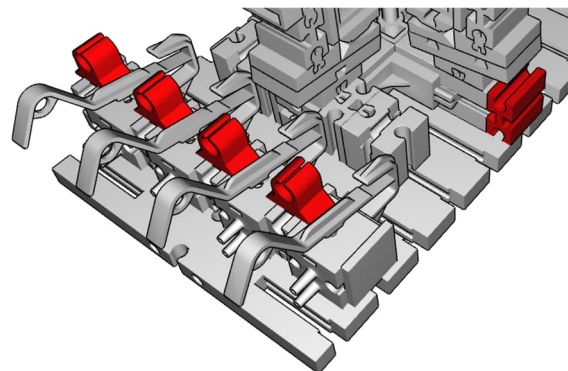


Abb. 43: Schlauchführungen

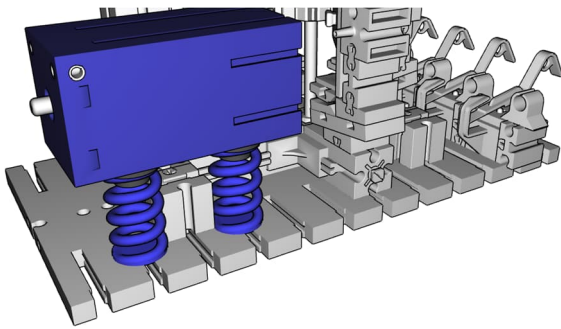


Abb. 44: Kompressor, federgelagert

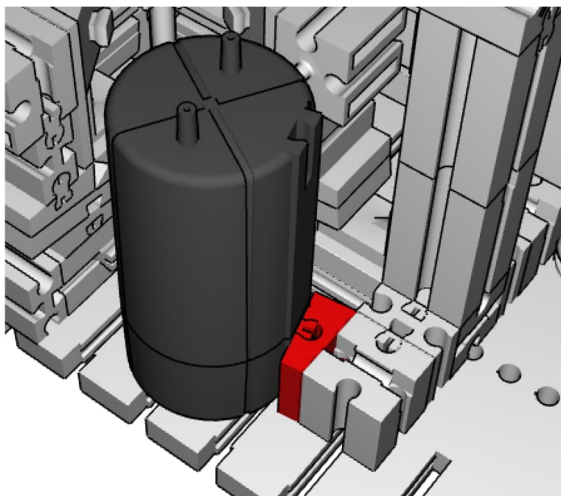


Abb. 45: Drucktank

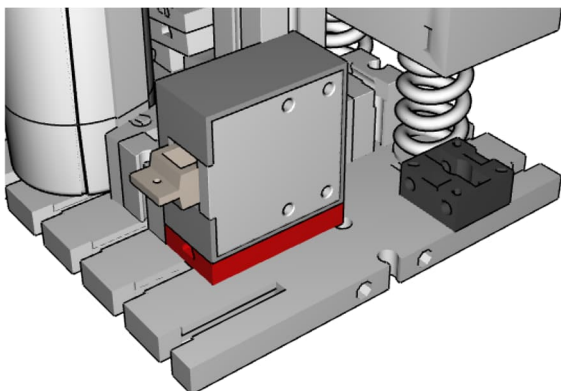


Abb. 46: Elektrik

Der Motor funktioniert wie der dreiphasige. Seine Justage ist tatsächlich etwas einfacher als bei jenem, weil wir nur 90°-Winkel einzuhalten haben. Jeder Betätiger muss die Achse auch nur um 1/4 weiterschalten, also bei einem Z15 nur um

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{15} \cdot 360^\circ = 6^\circ$$

Die Betätigung der Ventile der Reihe nach von links nach rechts bzw. umgekehrt wird auch hier die Drehrichtung der Achse bestimmen. Wir brauchen nun immerhin $360^\circ / 6^\circ = 60$ Ventilbetätigungen für eine volle Umdrehung.

Vollschritt- vs. Halbschritt-Betrieb

Wenn wir – beim drei- und beim vierphasigen Modell – zu jedem Zeitpunkt immer nur ein einziges Ventil durchschalten, sind das Zahnrad und damit die Abtriebsachse allerdings von außen frei drehbar – das Zahnrad wird dann ja von keinem Winkelstein 60° in Position gehalten.

Wir können aber auch immer zwei aufeinanderfolgende Ventile betätigen, also etwa so:

1. Ventil 1 drücken.
2. Ventil 2 drücken.
3. Erst jetzt Ventil 1 loslassen.
4. Ventil 3 drücken.
5. Erst jetzt Ventil 2 loslassen.
6. Und so weiter...

Damit haben wir zwei Effekte erreicht:

- a) Das Zahnrad kann niemals frei drehen. Es wird immer von einem oder sogar zwei Winkelsteinen 60° festgehalten.
- b) Wenn zwei Ventile gleichzeitig betätigt sind, dreht sich die Achse nur um einen Teil – etwa die Hälfte – eines normalen Schrittes. Das dreiphasige Modell erhält damit eine Auflösung von ca. 6° anstatt 12°, das vierphasige sogar eine von ca. 3° anstatt 6°.

Das nennt sich dann *Halbschrittbetrieb*. Das gibt es auch bei elektrischen Schrittmotoren [6].

Warum eine manuelle Ansteuerung?

Die Steuerung von Hand lässt einen wunderbar erfahren, wie diese Schrittmotoren funktionieren, und zumindest mir machte sie viel Spaß. Wer aber noch Material hat, kann natürlich auch eine automatische Steuerung über Magnetventile mit einem Controller, Elektronik oder einer Relaischaltung ergänzen – nur zu!

Quellen

- [1] Stefan Falk: *Druckluftsteuerungen (Teil 1)*. [ft:pedia 1/2014](#), S. 58–72.
- [2] fischertechnik: Anleitung zu den Grundkästen 100 – 400 ([31641](#)), 1969.
- [3] Stefan Falk: *Varianten des Winkelsteins 30°*. Im [Bilderpool](#) der ft Community, 2009.
- [4] Stefan Falk: *Pneumatische Schrittmotoren*. fischertechnik-Designer-Dateien der vorgestellten Modelle zum Download auf der [ft:pedia-Seite zu dieser Ausgabe](#), 2026.
- [5] Stefan Falk: *Pneumatische Schrittmotoren*. Video der Modelle, auf [YouTube](#), 2026.
- [6] Technik-Unterricht: Forum e.V.: *Schrittmotoren – Halbschrittbetrieb*. Auf [tuv-ev.de](#).

Modell

Es quietscht und pfeift: Wie man eine Orgel baut (Teil 3)

Peter Krijnen

In meinem vorherigen Beitrag beschrieb ich, wie ich die Tonerzeugung mit Standard-IC-Modulen realisierte. Neben den Standardmodulen verwendeten die Fischerwerke in den 1970er und 1980er Jahren auch speziell für den industriellen Modellbau gefertigte Module. Diese beschrieb ich ausführlich in meiner Reihe „Silberlinge: Original oder Nachbau“. In diesem Beitrag werde ich mich daher mit diesen Modulen beschäftigen. Dazu musste ich sie jedoch zunächst nachbauen. Dies werde ich in einem späteren Beitrag beschreiben.

Orgel Nummer 4 besteht aus dem kleinen und dem großen Taktgeber sowie zwölf Teiler-ICs.

Tonerzeugung: Kleiner Taktgeber

Ich hatte geplant, jeweils sechs Einheiten der beiden Taktgeber zu verwenden. Da ich den benötigten SN7413N nicht mehr beschaffen konnte, hat sich das Verhältnis auf 2:10 geändert. Leider funktioniert der

kleine Taktgeber nur mit dem SN7413N und nicht mit der LS-Version.

Ich konnte jedoch nur noch zwei ICs zu einigermaßen günstigen Preisen erwerben. Mit etwas Mühe gelang es mir, einen SN74LS132N auf der Platine zu platzieren. Das wäre jedoch Verschwendung, da nur die Hälfte davon genutzt wird. Außerdem war es unnötig, da dieser IC auch auf dem großen Taktgeber vorhanden ist.

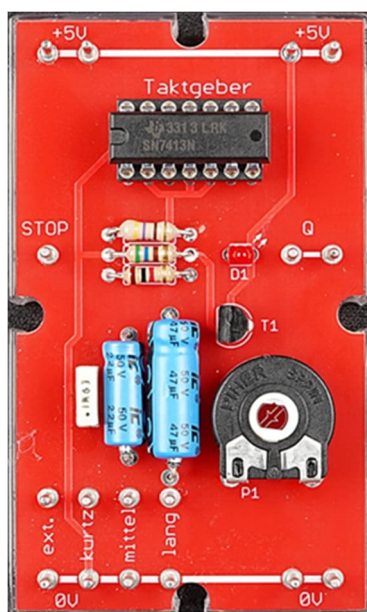


Abb. 1: Der kleine Taktgeber



Abb. 2: Der große Taktgeber

Großer Taktgeber

Der große Taktgeber ist nicht größer als der kleine, bietet aber mehr Möglichkeiten. Für den Betrieb müssen beide Rx-Pins verbunden sein.

Es ist jedoch auch möglich, einen anderen Widerstand anzuschließen, beispielsweise einen NTC- oder PTC-Widerstand. Auch ein LDR oder ein Potentiometer sind möglich. Ich habe einen 5-k Ω -Trimmer angeschlossen. Dieser dient zur Feinabstimmung zusammen mit dem 100-k Ω -Potentiometer auf der Platine.

Teiler: IC-14 Baustein mit Zähler IC.

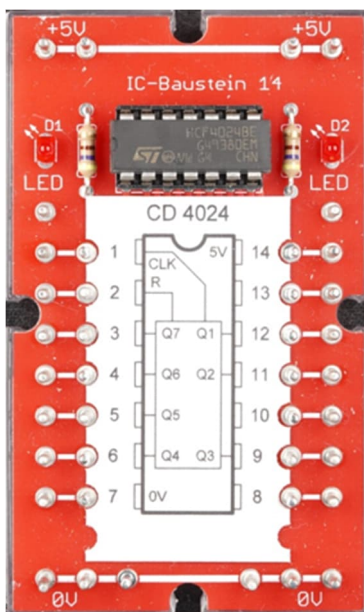


Abb. 3: IC-14-Kit mit CD4024 oder HCF4024BE? Kein Problem: Beide erfüllen denselben Zweck.

Um die drei Oktaven aus den zwölf Oszillatoren zu erzeugen, benötige ich ebenso viele Teiler-ICs. In meinem vorherigen Aufbau verwendete ich den Dualzähler SN74LS393N und den CD4520B. Das war praktisch, da der Schwellwertschalter ebenfalls zwei Oszillatoren pro IC bereitstellt.

Für diese Konfiguration habe ich mich nun jedoch für den CD4024B entschieden. Abb. 3 zeigt allerdings einen HCF4024BE.

Beide sind Pin-kompatibel, weisen aber leicht unterschiedliche Spezifikationen auf. Auch dieser ist ein Binärzähler, verfügt aber über sieben Ausgänge. Dadurch konnte ich die Oszillatorfrequenzen höher einstellen. Ich hätte die Tastatur eventuell auch um drei Oktaven erweitern können. Allerdings sind bereits alle meine Taster im Einsatz.

Spannungsversorgung OK?

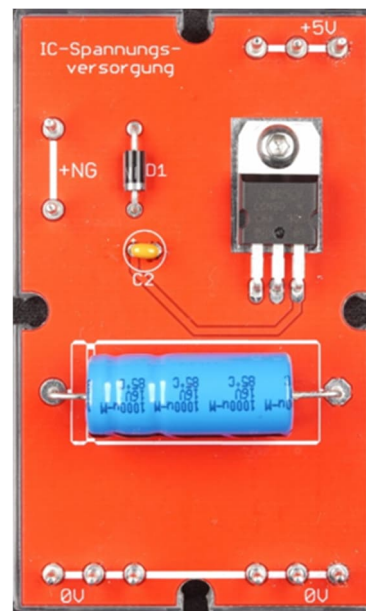


Abb. 4: Spannungsversorgung nach der Modifikation: 100 nF statt 47 μ F.

Es stellte sich heraus, dass diese Konfiguration für die Stromversorgung meiner Orgel nicht optimal funktionierte. Nach Durchsicht mehrerer Datenblätter wurde mir klar, dass der 47- μ F-Tantal-Elektrolytkondensator am Ausgang des Stabilisators viel zu hoch dimensioniert ist. Laut verschiedenen Herstellern sollte er maximal 100 nF betragen. Auch der große 1000- μ F-Elektrolytkondensator am Eingang ist nicht immer notwendig und wird eigentlich nur benötigt, wenn das Zuleitungskabel sehr lang ist. In meinem Fall sind es jedoch nur 50 cm. Die Datenblätter empfehlen außerdem einen 300-nF-Kondensator am Eingang. Da ich dies nicht bedacht hatte, lötete ich einfach einen mit 330 nF auf die Unterseite der Platine. Nach den Modifikationen waren

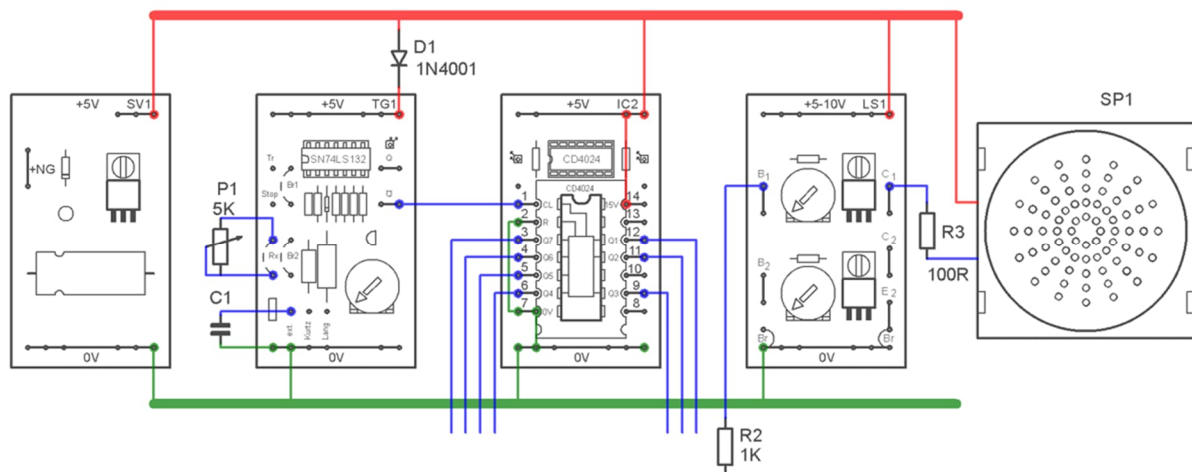


Abb. 5: Einer der zwölf Oszillatoren und Teiler. Spannungsversorgung, Verstärker und Lautsprecher sind für den gemeinsamen Gebrauch bestimmt.

keine Restwelligkeit oder Störungen mehr vorhanden.

Nach dem vollständigen Aufbau und der Justierung war sofort hörbar, dass die Töne deutlich klarer klangen als in den vorherigen Versionen.

Allerdings waren auf den Oszilloskop-Bildern noch einige Störungen zu erkennen. Diese wurden durch die Oszillatoren verursacht. Verstärkt wurden sie dadurch, dass alle Oszillatoren über die Spannungsschiene miteinander verbunden sind. Die Lösung dieses Problems bestand in der Entkopplung der Module mittels je einer Diode. Zusätzlich wurde pro Modul ein 10- μ F-Elektrolytkondensator angeschlossen. Ein 100-nF-SMD-Kondensator befindet sich bereits auf der Unterseite der Platine, direkt neben Pin 14 des IC.

Es ist verständlich, dass ich diese Entkopplung auch für den CD4024 durchführen wollte. Dies führte jedoch nur zu einer Verschlimmerung des Problems. Daher habe ich das schnell wieder entfernt.

Frequenzen und Kondensatoren

Ich gehe davon aus, dass mittlerweile jedem bekannt ist, dass die zu erzeugenden Frequenzen von Spannung, Widerstand und

Kapazität abhängen. Die Spannung beträgt konstant 5 V. Mit einem Potentiometer auf der Platine und einem externen Trimmer lässt sich der Widerstand variabel einstellen. Der Regelbereich des Potentiometers wird unter anderem durch den verwendeten Kondensator bestimmt. Die auf der Platine vorhandenen Kondensatoren sind jedoch viel zu groß. Selbst der 100-nF-Kondensator des kleinen Taktgebers ist noch zu groß.

Für meine Anwendung benötige ich deutlich kleinere Kondensatoren. Tabelle 1 zeigt die erforderlichen Werte.

Abgleich

Der Abgleich verlief nicht so reibungslos wie erwartet.

Das Potentiometer auf der Platine hat eine lineare Widerstandskennlinie. Die beiden Taktgeber hingegen scheinen eine logarithmische Widerstandskennlinie zu haben. Je weiter man das Potentiometer im Uhrzeigersinn dreht, desto schneller steigt die erzeugte Frequenz an. Daher war es ratsam, das Potentiometer zunächst in die Mittelstellung zu bringen.

Anschließend schloss ich einen Kondensator an und drehte dann am Potentiometer, bis die gewünschte Frequenz erreicht war.

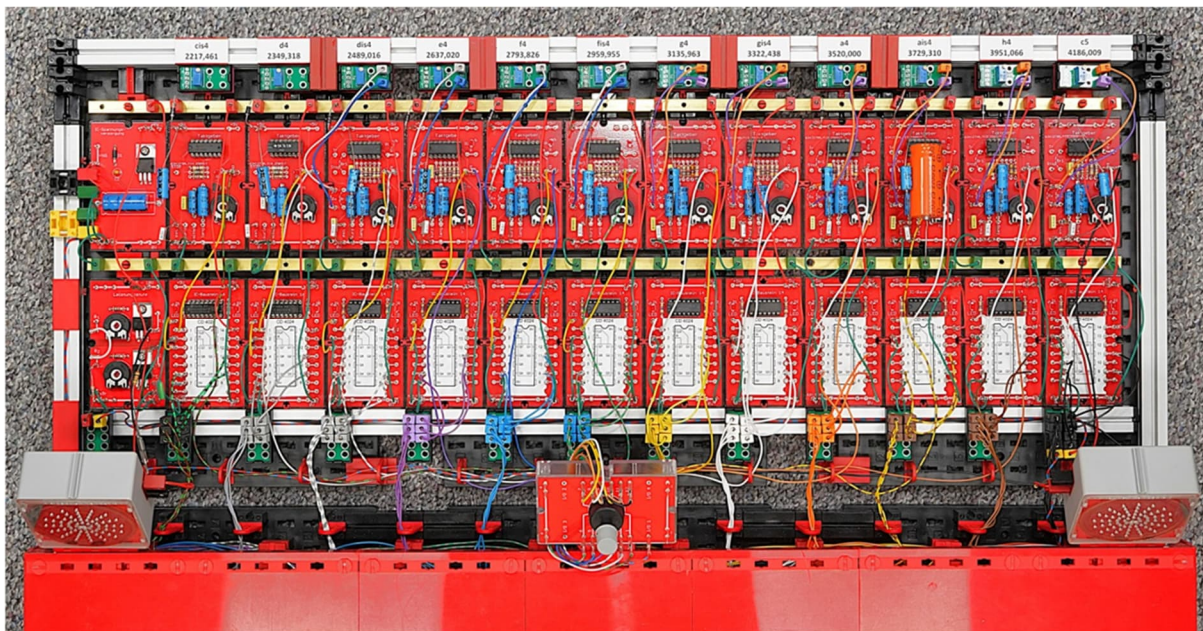


Abb. 6: Orgel Nummer 4: erweitert um einen zweiten Lautsprecher und einen 1-aus-12-Drehschalter zum Abgleich

Falls ich die gewünschte Frequenz nicht erreichen konnte, musste ich einen anderen Kondensator wählen. Das dauerte jedesmal etwa fünfzehn Minuten.

Schließlich gelang es mir, für jeden Grundton die richtige Kapazität zu finden (Ab. 1).

Ton	Frequenz	Kapazität
c5	4186,009 Hz	3n9
h4	3951,066 Hz	3n9
a#4	3729,310 Hz	4n7
a4	3520,000 Hz	4n7
g#4	3322,438 Hz	5n6
g4	3135,963 Hz	5n6
f#4	2959,955 Hz	5n6
f4	2793,826 Hz	5n6
e4	2637,020 Hz	8n2
d#4	2489,016 Hz	8n2
d4	2349,318 Hz	8n2
c#4	2217,461 Hz	8n2

Tab. 1: Kapazitäten je Tonhöhe für Orgel Nr. 4

Ich hatte den Vorteil, dass ich an den großen Taktgeber einen externen Trimmer anschließen konnte. Das ist beim kleinen Taktgeber jedoch nicht möglich. Ich überlegte, den 100-nF-Kondensator auf der Platine durch einen 8,2-nF-Kondensator zu ersetzen. Anschließend wollte ich einen Drehkondensator an „ext“ anschließen. Das hätte funktioniert, wenn sich die Kondensatoren nicht so schwer drehen ließen. Ein Feinabgleich war so nicht möglich. Daher habe ich darauf verzichtet.

Klang

Und wie klingt diese Schaltung? Ziemlich gut! Klar und ohne wahrnehmbare Verzerrungen.

Obwohl ich die Justierung mehrmals wiederholt habe, bleiben die Oszillatoren nicht stabil. Dafür gibt es mehrere mögliche Ursachen. Eine davon ist die Erwärmung der Schaltung. Ich habe versucht, das Problem mit 10-kΩ-NTCs zu beheben, aber das hat es nur verschlimmert.

Schon die Berührung eines Drahtes, Kondensators oder Widerstands führte zu Abweichungen. Außerdem spielt der

Kontaktwiderstand der verwendeten Klemmen eine Rolle. Im Neuzustand haben sie eine hohe Anpresskraft. Je öfter man jedoch daran zieht oder dreht, desto geringer wird diese. Das führt dann zu einem Spannungsabfall – was wiederum eine niedrigere Frequenz zur Folge hat. Deshalb habe ich immer eine kleine Flachzange griffbereit.

Um während des Abgleichs keine Bauteile berühren zu müssen, habe ich eine Schaltung platine entwickelt. Sie verfügt über einen Drehschalter, mit dem ich einen der zwölf Eingänge (Grundtöne) auswählen kann. Der Drehschalter ist einer von Kyocera AVX mit variabler Polzahl [3]. Meine Platine ist so universell gestaltet, dass man damit aber auch zwei Anschlüsse zwischen je sechs umschalten kann oder vier Anschlüsse zwischen je drei.

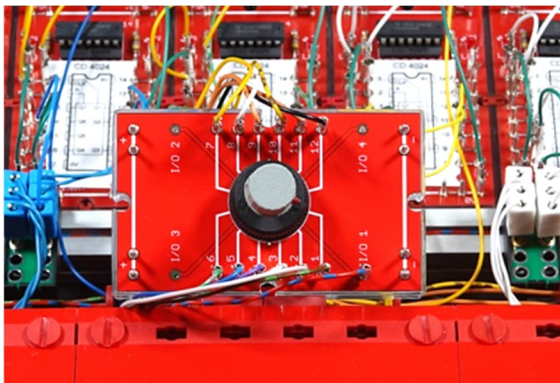


Abb. 7: Drehschalter 1 aus 12: 1 ist c#4 und 12 ist c5.

Orgel Nummer 5

Schon beim Bau von Orgel Nummer 4 fragte ich mich, ob es möglich ist, mit den IC-Modulen einen Zähler zu realisieren. Ich habe bisher die ICs LS393, CD4024B und CD4520B verwendet. Gibt es denn nicht ein IC-Modul mit integriertem Zähler? Ja, das gibt es: den Universalzähler.

Universalzähler

Neben dem eigentlichen Zähler verfügt der Universalzähler auch über einen Displaytreiber und eine 7-Segment-Anzeige. Als Zähler kommt der SN74192N zum Einsatz.

Es handelt sich um einen Dezimalzähler, der von 0 bis 9 zählt. Der SN7447AN dient als Displaytreiber. Dieser ist nur für Displays mit gemeinsamer Kathode geeignet. Allerdings werden noch acht Serienwiderstände benötigt, um den Strom durch die Segmente zu begrenzen.

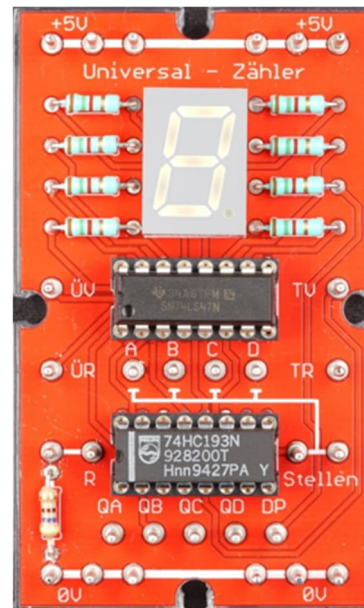


Abb. 8: Modifizierter Universalzähler: Der SN74192N wurde durch sein binäres Pendant SN74HC193N ersetzt.

In meinem bereits angekündigten Beitrag werde ich die Funktionsweise des Moduls genauer erläutern.

Ich kann aber schon mal sagen, dass ich dachte, ich könnte dieses Modul verwenden. Da der SN74192 bis 9 zählt, hätte ich die Ausgänge Qa, Qb und Qc verwenden können. Es stellte sich jedoch heraus, dass dieser IC etwas anders funktioniert als erwartet. Nur Qa hatte eine durch 2 geteilte Frequenz. Dies war bei Qb nicht der Fall, und Qc hatte die Teilung von Qb.

Daher musste eine andere Lösung gefunden werden. Und glücklicherweise gibt es eine: den Pin-kompatiblen SN74193N. Dies ist das binäre Pendant zum SN74192N. Als Zähler ist er vergleichbar mit der Hälfte eines SN74393N.

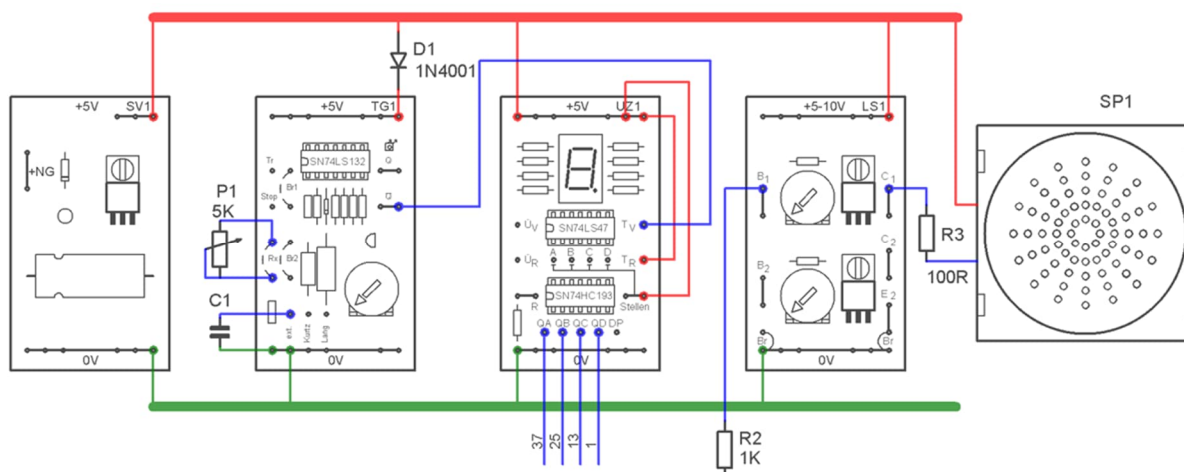


Abb. 9: Orgel Nummer 5: Anstelle von IC-Baustein + CD4024B wird der Universalzähler verwendet.

Beide Taktgeber werden wieder als Oszillatoren verwendet. Die \bar{Q} -Ausgänge sind mit den „TV“-Eingängen (Trigger Vorwärts) des Universalzählers verbunden. Damit das System funktioniert, müssen die Eingänge „TR“ und „Stellen“ an +5 V angeschlossen sein.

Problem: Stromversorgung?

Das könnte durchaus der Fall sein. Bei meinen Experimenten habe ich festgestellt, dass ein Universalzähler-Modul mit 1,5-k Ω -Serienwiderständen maximal etwa 60 mA Strom aufnimmt. Multipliziert man dies mit zwölf, ergeben sich 720 mA. Dazu muss dann noch der Stromverbrauch der zwölf Taktgeber addiert werden. Dies könnte für den Stabilisierungs-IC 7805 etwas zu viel sein. Man kann jedoch davon ausgehen, dass nicht alle Anzeigen gleichzeitig eine „8“ anzeigen (Abb. 11). Folglich beträgt der gesamte Stromverbrauch von Orgel Nummer 5 nur 370 mA.

Sollte die Stromaufnahme jedoch zu hoch sein, empfiehlt es sich, den SN7447 aus seinem Sockel zu entfernen. Die Anzeigen sind dann nicht mehr angeschlossen.

Abgleich

Um Orgel Nr. 5 zu stimmen, musste ich die Frequenzen aller Oszillatoren jeweils um eine Oktave absenken. Dabei zeigte sich

sofort, dass die in Orgel Nr. 4 verwendeten Kondensatoren nicht für alle Frequenzen geeignet waren. Tabelle 2 gibt einen Überblick.

Ton	Frequenz	Kapazität
c4	2093,005 Hz	5n6
h3	1975,533 Hz	5n6
a#3	1864,655 Hz	5n6
a3	1760,000 Hz	5n6
g#3	1661,21 Hz	5n6
g3	1567,982 Hz	8n2
f#3	1479,978 Hz	8n2
f3	1396,913 Hz	8n2
e3	1318,510 Hz	8n2
d#3	1244,508 Hz	8n2
d3	1174,659 Hz	10n
c#3	1108,731 Hz	10n

Tab. 2: Kapazitäten je Tonhöhe für Orgel Nr. 5

Klang

Nach dem Abgleich des Taktgebers ließ sich auch diese Version endlich spielen. Allerdings funktionierten zwei Tasten nicht: Bei einem Taster waren vermutlich die Kontakte abgenutzt und er musste ausgetauscht werden. Bei der anderen Taste stellte sich heraus, dass nicht der Taster,

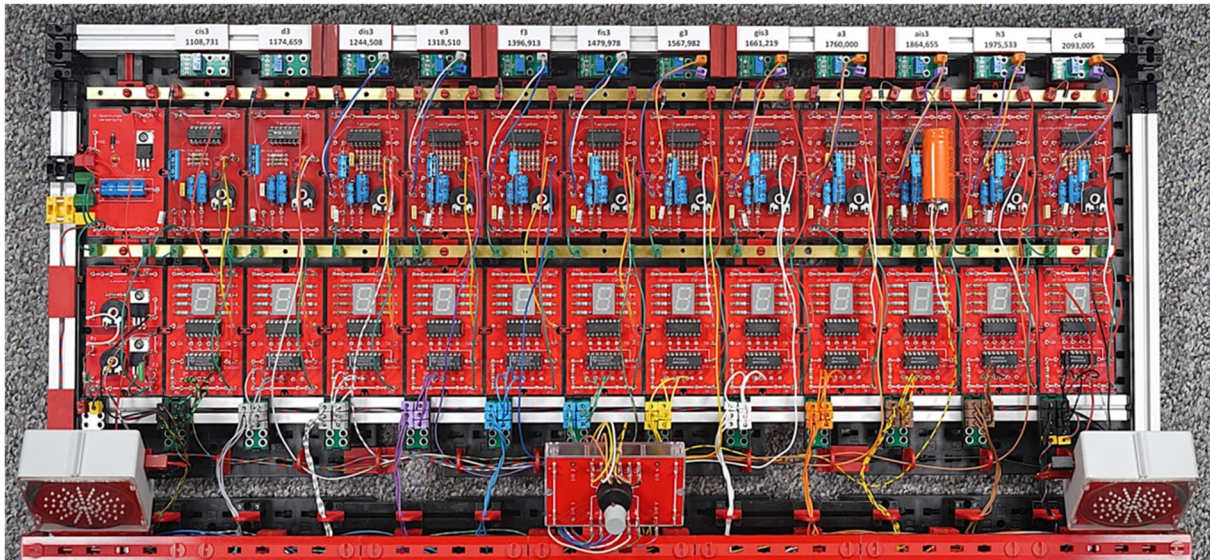


Abb. 10: Auch Orgel Nummer 5 ist fertig. Sie klingt jedoch etwas schärfer als Nummer 4.

sondern ein Klemmkontakt defekt war. Nach der Reparatur klingt das Gerät nun gut und klar, nur etwas schärfer als mit dem CD4024.

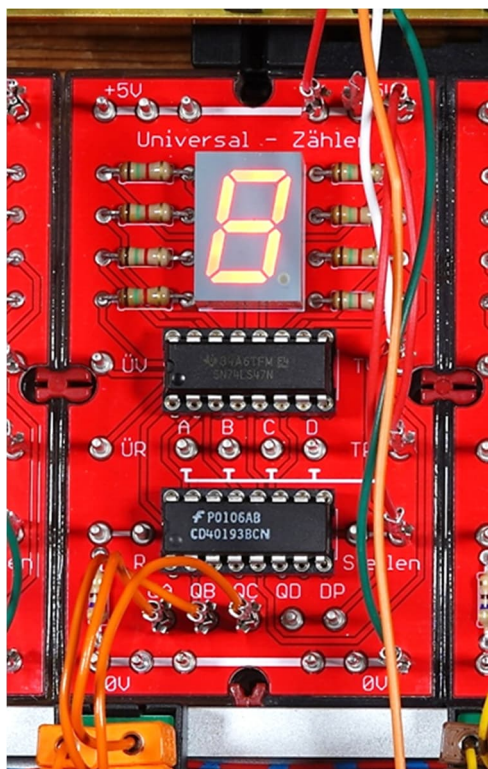


Abb. 11: Obwohl scheinbar kontinuierlich eine „8“ angezeigt wird, ist dies nicht der Fall: Zähler „a“ zeigt 1720 Mal pro Sekunde ein anderes Zeichen an.

Da ich mit der Stabilität der Tonerzeugung noch nicht zufrieden bin, werde ich in meinem nächsten Beitrag meine Suche nach einer besseren Methode fortsetzen.

Quellen

- [1] Peter Krijnen: *Es quietscht und pfeift: Wie man eine Orgel baut.* [ft:pedia 3/2025](#), S. 21–31.
- [2] Peter Krijnen: *Es quietscht und pfeift: Wie man eine Orgel baut (Teil 2).* [ft:pedia 1/2026](#), S. 60–66.
- [3] Kyocera AVX: *Rotary knob switches Series 419 Type 419.* PDF-Datenblatt auf sc.kyocera-avx.com, 2021.

Elektromechanik

Wie man mit Silberling-Relais einen 8-Bit-Addierer erstellt

Jeroen Regtien

Der Addierer ist eine der wichtigsten und grundlegenden Komponenten eines Computers. Jede arithmetische Verarbeitung erfordert irgendeine Form der Zahlenaddition. Genauer gesagt handelt es sich um eine digitale Schaltung, die zwei Binärzahlen addiert. Zum Beispiel kann ein 8-Bit-Addierer zwei 8-Bit-Zahlen addieren, also in Dezimalnotation zwei Zahlen zwischen 0 und 255. In der Silberling-Familie gibt es Logikgatter, Operationsverstärker, Mono- und Flipflops sowie Relais. Die Herausforderung bestand darin, aus diesen Silberlingen einen 8-Bit-Addierer herzustellen.

Silberlinge aus den 1970er Jahren existieren weiterhin als Bausteine für elektronische Schaltungen. Ihre Attraktivität liegt in ihrem robusten Design und der hochwertigen elektronischen Umsetzung, der visuellen Anziehungskraft und der Klarheit dessen, was das Modul tut, der Kompatibilität mit den Standardsteckern und der nicht-TTL-Logik, sodass sie vollständig mit dem aktuellen 9V-Stromstandard kompatibel sind. Spätere elektronische Module wie die IC-Bausteine und das Elektronik Praktikum waren im Vergleich unbeholfen, was einer der Gründe ist, warum Silberlinge weiterhin gefragt sind und auf dem Gebrauchtmrkt gute Preise erzielen.

Addierer-Theorie

Man unterscheidet zwischen Halbaddierer und Volladdierer. Ein Halbaddierer addiert zwei Binärzahlen A und B und erhält einen Ausgang (H-out) und einen Übertrag oder Carry (C-out). Ein Volladdierer addiert drei einzelne Binärziffern, A, B, und den Carry (C-in) eines vorherigen Addierers und erzeugt einen Ausgang (F-out) und einen Carry (C-out). Ein 8-Bit-Addierer benötigt daher sieben Volladdierer und einen Halbaddierer, da das am wenigsten signifikante

Bit keinen eingehenden Carry hat. Die Wahrheitstabelle für diese beiden Addierer ist in Tabelle 1 angegeben.

A	B	H-out	C-out
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

Tab. 1: Wahrheitstabelle eines Halbaddierers

A	B	C-in	F-out	C-out
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Tab. 2: Wahrheitstabelle eines Volladdierers

Addierer können mit digitalen Logikschaltungen wie AND-, OR- und XOR-Gattern hergestellt werden. Zum Beispiel benötigt ein Volladdierer neun NAND- oder NOR-Gatter oder zwei XOR-, zwei AND- und ein ODER-Gatter (Abb. 1). Ein Halbaddierer erfordert fünf NAND- oder NOR-Gatter oder ein XOR- und ein AND-Gatter.

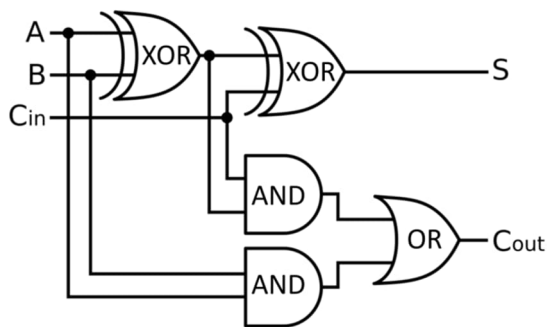


Abb. 1: Volladdierer mit Logikgattern.

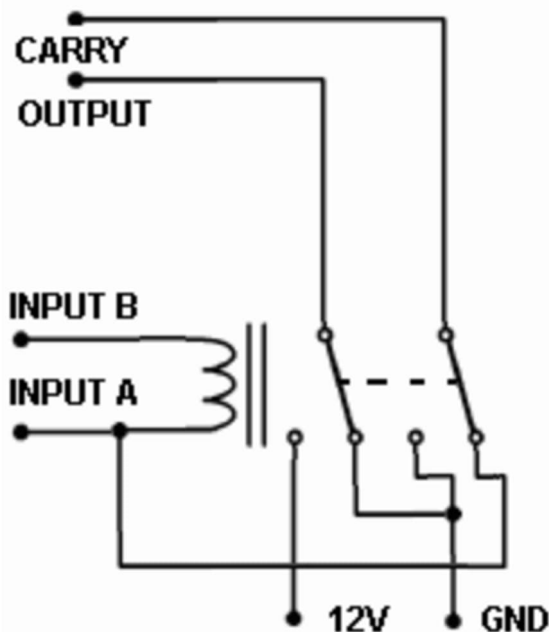


Abb. 2: Halbaddierer-Schaltbild mit Relais

Wenn wir einen 8-Bit-Addierer mit Silberlingen bauen möchten, bedeutet das 68 NAND- oder NOR-Einheiten; eine Version mit XORs ist nicht möglich, da es keine XOR-Silberlinge gibt. Ich habe noch nie so viele NAND- oder NOR-Silberlinge zusammen gesehen, daher war das ein „No-Go“. Man kann jedoch auch Logikgatter mit

einem Relais bauen, und es gibt mehrere fischertechnik-Silberling-Relais, wie den RB I ([36392](#)) und RB II ([37683](#)). Genauso funktionieren auch andere klassische Relais [35793](#) aus e-m5, u-t3 und hobby-3 oder der „IC-Baustein Schaltstufe“ [38617](#) aus dem IC-Digital-Praktikum.

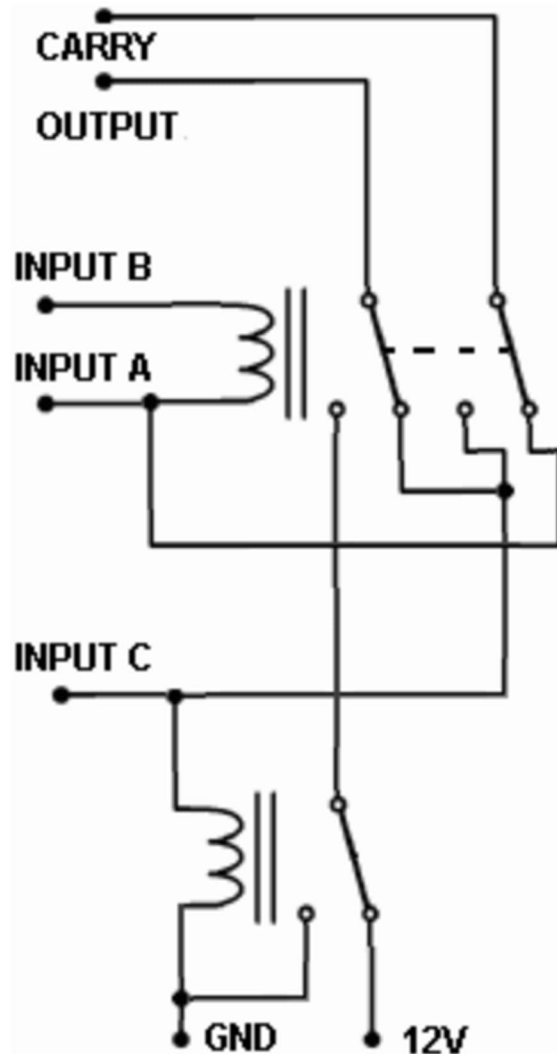


Abb. 3: Volladdierer-Schaltbild mit Relais.

Können wir mit Silberling-Relais' einen Addierer herstellen? Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob wir AND-, NAND- und XOR-Gates mit Relais herstellen können. Natürlich können wir das! Der Grund dafür wird sofort offensichtlich, wenn wir uns die Geschichte des Rechners ansehen. Die ersten Rechner waren bis in die 1940er Jahre mechanisch. Etwas später wurden dann elektromechanische Rechner

entwickelt, darunter auch Versionen mit Relais. Angesichts des enormen Stromverbrauchs und der geringen Berechnungsgeschwindigkeit wurden Alternativen benötigt und schnell in Form von Vakuumröhren gefunden, die die Relais ablösten. Mit der Erfindung der Transistoren im Jahre 1947 nahm das digitale Zeitalter richtig Fahrt auf. Glücklicherweise ist das Wissen darüber, wie man diese Logikgatter mit Relais herstellt, noch im Internet zu finden [2]. Die grundlegenden Schaltungen für Halb- und Volladdierer sind in Abb. 2 und 3 zu sehen.

Wenn wir diese Schaltbilder betrachten, erkennen wir sofort ein RB-II-Relais im Halbaddierer und im Volladdierer. Außerdem sehen wir zusätzlich ein halbes RB-II-Relais im Volladdierer. Das bedeutet, dass wir einen RB II für einen Halbaddierer und zwei RB IIs für einen Volladdierer benötigen, weil wir die andere Hälfte nicht verwenden können, da wir sonst einzelne Bits vermischen würden. Daher benötigen wir für einen 8-Bit-Addierer 15 RB-II-Silberlinge, was eine große Verbesserung gegenüber den zuvor erwähnten 68 NAND- oder NOR-Einheiten darstellt. Beachtet, dass die in den anderen Silberlingen verwendete Logik zwar die völlig verwirrende sogenannte „negative“ Logik ist, bei der „-“ = HIGH = „1“ und „+“ = LOW = „0“

bedeutet, wir hier aber einen „dummes“ Relais ohne interne Spannungspegel-Definition verwenden, sodass die Standardkonvention verwendet werden kann. Daher gilt: HIGH = „+“ = „on“ = „1“ und LOW = „-“ = „off“ = „0“. Der nächste Schritt besteht darin, die Schaltbilder in eine Silberling-Implementierung umzuwandeln, was in Abb. 4 dargestellt ist.

Implementierung

Schauen wir uns zuerst den Halbaddierer an. In der „off“-Position des Relais ist Eingang A mit C-out verbunden und H-out mit GND. Wenn A & B also „0“ sind, ist das Relais „off“ und somit sind auch H-out und C-out „0“. Dies ist die erste Zeile der Wahrheitstabelle (Tab. 3). Wenn A & B „1“ sind, ist das Relais auch „off“ und C-out = A = „1“ und H-out = GND = „0“. Dies ist die letzte Zeile der Wahrheitstabelle. Wenn entweder A oder B „ein“ sind, ist das Relais „on“ und C-out = GND = „0“ und H-out = V = „1“. Dies vervollständigt die zweite und dritte Zeile in der Wahrheitstabelle. Wir sehen also, dass wir mit zwei Kabeln den RB II in einen Halbaddierer verwandelt haben.

Der vollständige Addierer ist etwas komplizierter. Das Halbaddierer-relais (H-Relais) folgt C-in, sodass der Ausgang H-out gleich

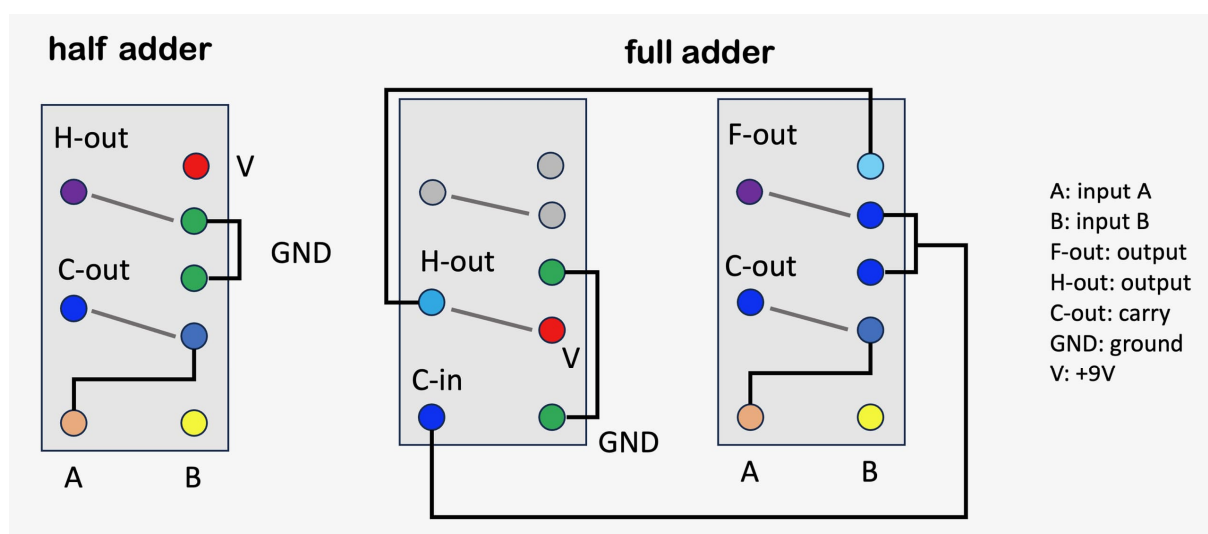


Abb. 4: Silberling-RB-II-Verbindungen für Halbaddierer und Volladdierer

C-in	H-Relais	H-out	A	B	F-Relais	F-out	C-out
0	off	1	0	0	off	0	0
0	off	1	0	1	on	1	0
0	off	1	1	0	on	1	0
0	off	1	1	1	off	0	1
1	on	0	0	0	off	1	0
1	on	0	0	1	on	0	1
1	on	0	1	0	on	0	1
1	on	0	1	1	off	1	1

Tab. 3: Halb- und Volladdierer-Silberling-Wahrheitstabelle

dem Inversen von C-in ist. Wenn A und B gleich sind (beide „0“ oder beide „1“), ist das Volladdierer-Relais „off“. Daher ist C-Out gleich A und F-Out gleich C-In. Damit ist bereits die Hälfte der Wahrheitstabelle komplett. Wenn A oder B unterschiedlich sind, ist das F-Relais „on“, daher gilt C-out = C-in und F-out ist das Inverse von C-in. Dieses Ergebnis ist identisch mit der „offiziellen“ Wahrheitstabelle in Tab. 1. Jetzt haben wir einen Volladdierer aus einhalb RB II Silberlingen realisiert.

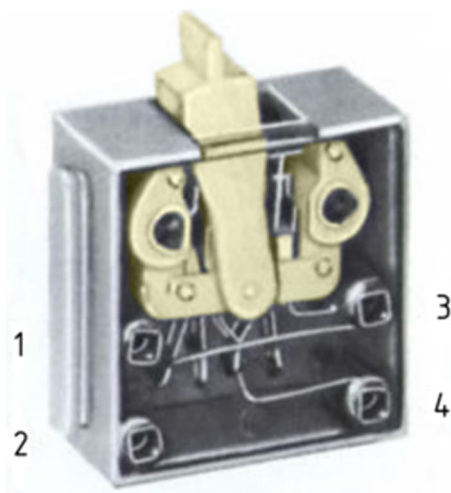


Abb. 5: Der Polwendeschalter und seine Anschlüsse

Der nächste Schritt ist, diese Konzepte in ein funktionierendes Modell umzuwandeln. Die Eingangsnummern A und B werden durch Schalter angegeben. Der Polwende-

schalter ([31331](#), Abb. 5) ist dafür ideal, da er einfach zu bedienen ist.

Die Verbindungen sind wie folgt:

Anschluss 4 aller Schalter wird mit GND (0) verbunden und Anschluss 3 aller Schalter mit 9 V (1).

Verbindung 1 wird dann als A oder B verwendet. Wenn der Hebel links steht, ist das Signal „0“, und wenn der Hebel rechts steht, ist das

Signal „1“. Auf diese Weise ist auch visuell klar, ob ein Bit hoch (1) oder niedrig (0) ist.

Schließlich benötigen wir für jeden Ausgang eine Lampe plus eine für das letzte Übertrag/Carry-Bit, einen Gleichrichter und einen Ein-/Ausschalter für das gesamte Modell, für den wir auch einen Polwendschalter verwenden.

Man muss natürlich auch entscheiden, wie viele Bits man addieren möchte. Für einen 4-Bit-Addierer benötigt man 9 Schalter, 7 RB II Silberlinge, 1 Gleichrichter und 5 Lampen. Im untenstehenden Beispiel benötigt man bei einem 8-Bit-Addierer 17 Schalter, 15 RB II Silberlinge, 1 Gleichrichter und 9 Lampen.

Zunächst werden die Silberlinge miteinander verbunden und auf einer Bodenplatte mit Unterstützung montiert, damit die Federn der Silberlinge nicht brechen (Abb. 6). Der Gleichrichter befindet sich oben rechts. Dann werden die Schalter ebenfalls schräg montiert; die untere Reihe der Schalter entspricht der Spalte A, die obere Reihe der Spalte B in Tab. 3.

Nun folgt die mühsame Arbeit, alle Verbindungen herzustellen. Am besten arbeitet man von rechts nach links; so kann man sofort überprüfen, ob das Modell für die abgeschlossenen Addierer bereits funktioniert und bei Bedarf Korrekturen vorneh-

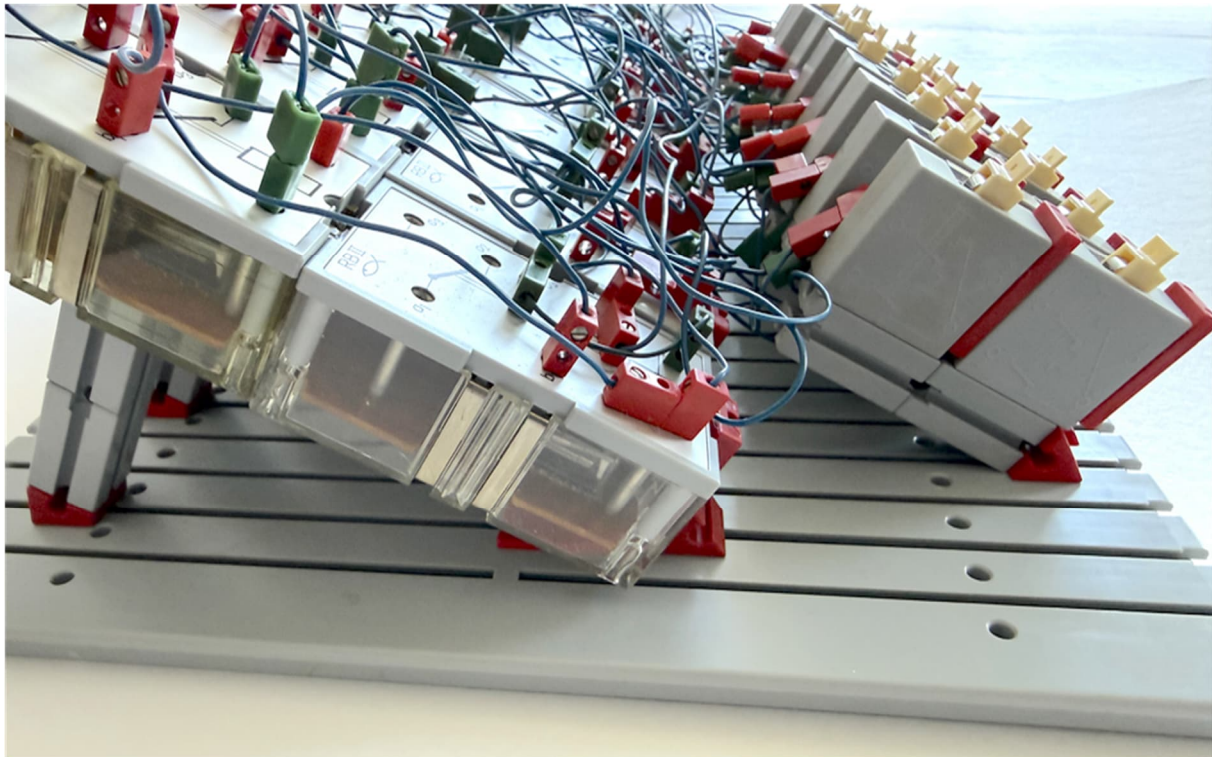


Abb. 6: Montage der Silberlinge und Schalter

men. Es umgekehrt zu machen wäre ein Albtraum bei der Fehlersuche.

In Abb. 7 sieht man das fertige Modell mit zwei Reihen zu je acht Schaltern für die Werte A und B und zwei Reihen Silberlinge mit dem Gleichrichter oben rechts. Für das erste Bit benötigt man einen Halbaddierer, also einen RB II, der unter dem Gleichrichter montiert ist. Für die anderen Bits sehen wir sieben Spalten von RB II, wobei die untere Zeile die Halbaddierer enthält und die obere die Volladdierer ergänzt. Für die Zahleneingabe ist das am wenigsten signifikante Bit rechts, sodass die Zahl „1“ bedeuten würde, dass der am weitesten rechts montierte Schalter in der „on“-Position ist, der Hebel also oben liegt. Wenn man sich die Schalter jetzt anschaut, sieht man, dass sowohl die Zahlen A als auch B den Binärcode 1101 besitzen, das entspricht der Dezimalzahl 13. Addiert man 13 und 13,

erhält man 26, was binär 11010 entspricht, und genau das zeigen die Lampen oben an – wenn alles richtig angeschlossen ist.

Damit endet ein unterhaltsames Experiment mit RB-II-Relais, das zeigt, dass durch den cleveren Einsatz alter Relais-Technologie eine Lösung gefunden werden kann, die deutlich weniger Komponenten als eine komplizierte Schaltung mit Logikgattern aus Silberlingen verwendet. Natürlich sind der Stromverbrauch und die Schaltzeiten deutlich schlechter als bei den elektronischen Logikgattern, aber dieses Modell und diese Methode ist ein hervorragendes Beispiel des Prinzips der binären Addition.

Quellen

- [1] Wikipedia: [Adder \(electronics\)](#).
- [2] *Basic Relay Computer* auf electronixandmore.com.

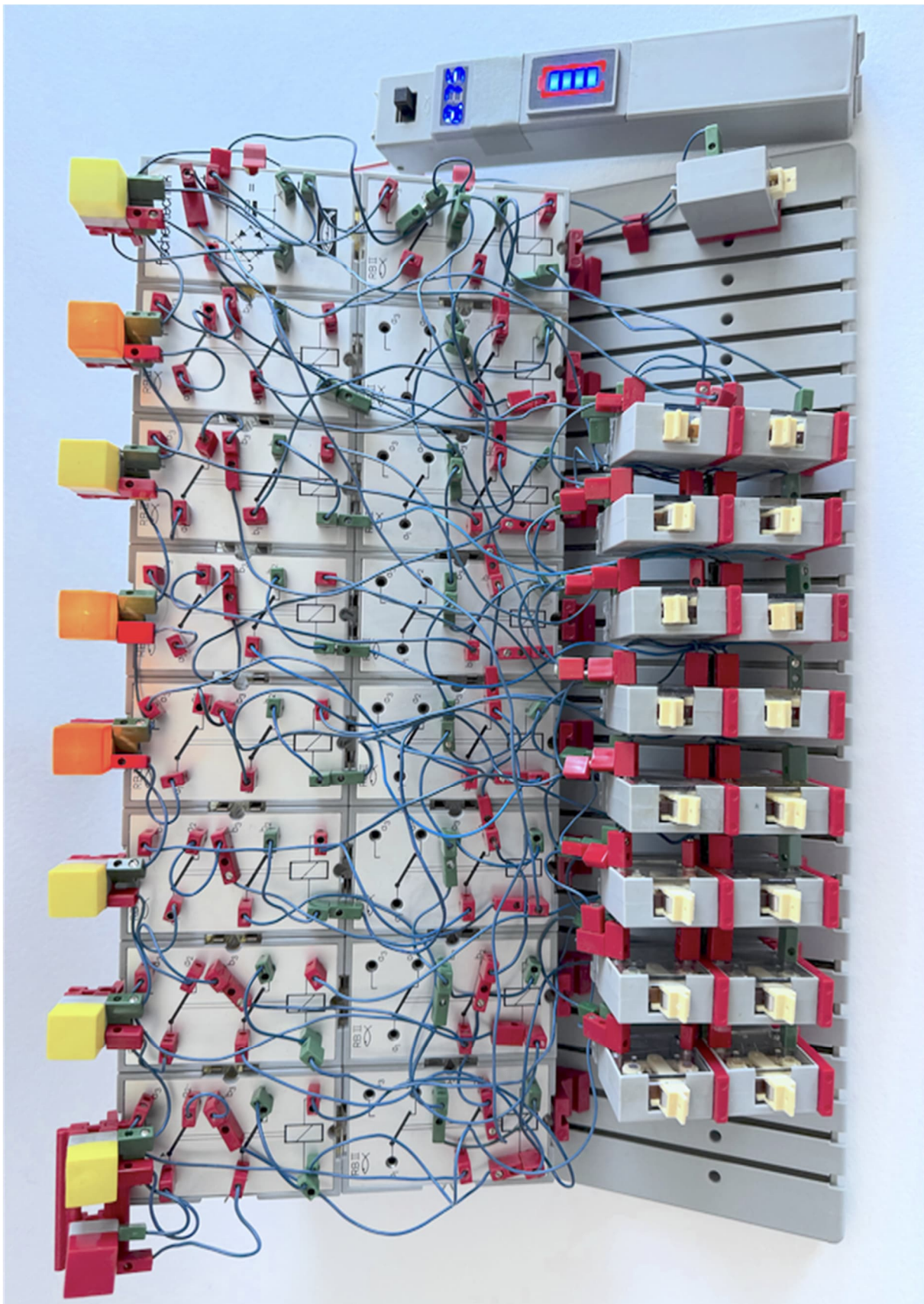


Abb. 7: Der fertige 8-Bit-Addierer

Modell

Pimp my Car (1) – Einfach nur eine Fernsteuerung

Frank Unglaub, Christian Bergschneider, Stefan Fuss

Wer erinnert sich nicht an die wegweisenden fischertechnik-Modellbaukästen der 1980er Jahre? Mit dem Autokran (30474), dem Universalfahrzeug (30481) oder dem legendären Super Truck (30477) holten wir uns echte Schwerlast-Technik ins Kinderzimmer. Die Modelle von damals faszinieren durch ihre mechanische Stabilität und die liebevollen Details noch heute. Doch Hand aufs Herz: Wenn es um die Motorisierung und vor allem um die Fernsteuerung geht, nagt der Zahn der Zeit unerbittlich an den grauen und roten Bausteinen.

Hintergrund

Das Thema „Fahrzeugmodelle“ zieht sich wie ein roter Faden durch die 60-jährige Geschichte von fischertechnik. Es ist die Königsdisziplin; hier treffen Stabilität, Lenkgeometrie und Antriebstechnik auf engstem Raum zusammen. Parallel dazu ist die Frage, wie man diese Gefährte komfortabel „an die Leine“ nimmt oder eben davon befreit, schon immer ein Treiber für Innovationen aus dem Hause fischertechnik – und ein stetiger Quell für Bastellösungen in der Community [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

Wer die fischertechnik-Chronik betrachtet, erkennt die Zyklen der Fernsteuerungstechnik:

- Die meist selbst entworfenen **Kabelfernsteuerungen** aus Tastern und Polwendeschaltern der 70er Jahre boten zwar volle Kontrolle, limitierte aber den Aktionsradius auf die Länge der blauen Litzen [11].
- Die **RC-Anlagen der 80er**, die wir in dieser Serie als Basis nutzen, brachten die Freiheit des 27-MHz-Bandes. Mit dem stolzen Preis von ca. 300 DM blieb das RC-Set für viele von uns leider nur ein schöner Traum. Aufgrund der Alterung der Quarze funktionieren heute

nur noch wenige Geräte. Diese werden jedoch zu Höchstpreisen bei Ebay & Co gehandelt (Abb. 1).



Abb. 1: Das RC-Set aus den 80iger Jahren verbaut in einem Fischertechnik Super Truck

- Ab dem Ende der 1990er Jahre setzte fischertechnik auf **Infrarot-Steuerungen**. Das legendäre rote IR Control Set von 2008 (Abb. 2) verband eine gute Haptik, einfache Anwendung mit einem erschwinglichen Preis. Trotz Anfälligkeit bei direkter Sonneneinstrahlung und kurzer Reichweite wurde das IR Control Set schnell zum Gold-Standard für Fahrzeugsteuerungen.
- Mit der Umstellung auf **Bluetooth** wurde aus der roten eine blaue Fernsteuerung. Zuletzt wurde der Controller durch eine Smartphone App

ersetzt und so die Haptik an die 2020er Jahre angepasst.



Abb. 2: IR Control Set von 2008

Code oder Schraubenschlüssel?

Die Frage nach der richtigen Fernsteuerung spaltet die Community. Ist eine Gestensteuerung eines Kranmodells modern und cool oder einfach nur das Thema verfehlt und Teufelszeug?

Die Antwort muss jeder für sich selbst finden: Liegt der Fokus auf Elektronikbasteleien und Software Defined Robotics oder möchte ich meinen mechanischen Modellen etwas Leben einhauchen?

Für die Modellbauer und Auto-Schrauber-Szene ist die Antwort meist klar – man möchte die Haptik und Einfachheit der roten Fernsteuerung, gerne mit ein paar Zusatzfunktionen.

Die gelbe Fernsteuerung

Mit dem ftSwarmControl (Abb. 3) gibt es bereits eine alternative Fernsteuerung. Als Empfänger kann z. B. ein ftSwamRS eingesetzt werden. Er ist klein und hat je zwei Motor- und Servo-Anschlüsse. Eine sehr gute Kombination, um klassische Fahrzeugmodelle zu steuern.

So genial der ftSwarm-Ansatz auf dem Papier ist, zu steil war für viele bisher die Lernkurve. Denn der klassische fischertechnik-Modellbauer tickt anders als der Vollblut-Informatiker: Er möchte Zahnräder kombinieren, Lenkgeometrien optimieren und die Federung abstimmen. Wenn es dann an die Elektronik geht, soll das Ganze

bitte schön nach dem Prinzip „Plug and Play“ funktionieren.



Abb. 3: Mit dem ftSwarmControl lassen sich die Funktionen des RC-Sets aus den 80iger Jahren exakt ersetzen, ohne die Optik der alten Modelle zu verändern

Bislang hieß es bei der ftSwarm-Technologie jedoch erst einmal: Ab in die Entwicklungsumgebung. Wer sein Fahrzeug in Bewegung setzen wollte, musste sich mit Programmierung, Code-Zeilen oder zumindest mit einer recht umfangreichen und technisch anspruchsvollen Konfiguration auseinandersetzen [12]. Der leidenschaftliche Modellbauer, der BS30 blind zusammensteckt, winkt beim Wort „Repository“ verständlicherweise ab – man will schließlich am Modell schrauben und nicht am Quellcode verzweifeln, nur um den Servo für den Lenkeinschlag zu kalibrieren.

Genau an dieser Stelle haben wir angesetzt und der gelben Fernsteuerung ein mächtiges Upgrade verpasst. Die Zauberformel der neuesten Firmwareversion lautet: Konfiguration statt Programmierung.

Möglich macht dies das OLED-Display des ftSwarmControl. Ab jetzt lässt sich alles, was das Modellbauerherz begehrt, intuitiv und in Sekundenschnelle direkt an der Fernsteuerung einstellen. Ein paar Klicks durch das übersichtliche Menü genügen, und die Konfiguration ist erledigt.

Der ftSwarmControl wird damit zu dem, was sich viele immer gewünscht haben: Eine hochmoderne, flexible Fernsteuerung, die sich so einfach und haptisch bedienen

lässt wie der rote Klassiker. Der Fahrspaß im Kinderzimmer kann endlich ohne Software-Diplom beginnen.

Die Übertragungstechnik

Bei der Funkübertragung setzt das System auch weiterhin konsequent auf das bewährte WLAN-Protokoll.¹ In den eigenen vier Wänden klinken sich Fernsteuerung und Empfänger ganz klassisch in das heimische Netzwerk ein. Das sorgt für eine stabile Verbindung – auch ohne Sichtkontakt zwischen Controller und Fahrzeug.

Spannend wird es jedoch, wenn der heimische Router außer Reichweite ist: beim Betrieb im Garten oder auf Ausstellungen und Conventions. Um hier nicht auf externe Hotspots angewiesen zu sein, beherrscht der ftSwarmControl nun einen cleveren Rollenwechsel: Er spannt per Knopfdruck selbst ein eigenes WLAN-Netzwerk auf. Damit bleibt das System völlig autark und ist in Sekunden einsatzbereit – egal, ob auf dem Teppich oder auf dem Event-Gelände.



Abb. 4: Das WLAN lässt sich über das OLED-Display einfach einstellen

Am ftSwarmControl lassen sich über das Display WLAN-Name und Passwort leicht einstellen. Anschließend wird der ftSwamRS verbunden. Befindet sich dieser

noch nicht im richtigen WLAN, so wird dies durch die Fernsteuerung korrigiert.²

Im Gegensatz zur roten Fernsteuerung lassen sich so bis zu vier Fahrzeuge mit dem ftSwarmControl verbinden. Welches gerade gesteuert wird, lässt sich in Sekunden-schnelle am Display einstellen.

So kann ein Bagger einen Radlader mit grauen und roten Klötzchen beladen. Mit der gleichen Fernbedienung kann der Radlader dann die Klötzchen direkt hinter der Couch abladen.

Taster, Joysticks und Motoren

Nachdem der Swarm erfolgreich gebildet wurde, steht im nächsten Schritt die Belegung der Bedienelemente an. Um dem Anwender mühsame Einzelzuweisungen zu ersparen, bringt die Firmware bereits mehrere vorkonfigurierte Standard-Setups für typische Modellvarianten mit. Diese lassen sich einfach über das Display auswählen und aktivieren (Abb. 5).



Abb. 5: Auswahl der Standard-Setups

Bei der Aktivierung des Profils erfolgt die Zuordnung der Ausgänge am Empfänger automatisch nach einem festen Schema: Die Lenkung wird direkt auf den Servoausgang **SERVO1** gelegt, während der Antrieb über

¹ BLE, die bei den ftSwarm-Controllern zur Verfügung stehende Bluetooth-Variante, ist für das ftSwarm-Protokoll zu langsam.

² Mit der neuesten Firmware lassen sich alle Controller beim Neustart und das Drücken des Tasters S1 auf die Werkseinstellung zurücksetzen. Ist – wie beim ftSwarmRS – kein Taster vor-

handen, so übernimmt diese Funktion ein fischertechnik-Taster am Eingang A6. Nach dem Zurücksetzen strahlt jeder Controller ein eigenes WLAN aus. Findet die Fernsteuerung den Controller nicht im eigenen WLAN, so sucht sie nach dem Controllereigenen WLAN-Profil und kann so den Empfänger korrigieren.

den Motorausgang **M1** geregelt wird.³ Auf der Seite der Fernsteuerung sind die Joysticks passend dazu gemappt, sodass das Modell sofort fahrbereit ist. Über den Motorausgang **M2** kann eine Zusatzfunktion wie das Kippen einer Ladefläche angeschlossen werden. Die Nullstellung der Lenkung lässt sich ebenfalls über die Fernsteuerung trimmen (Abb. 6).

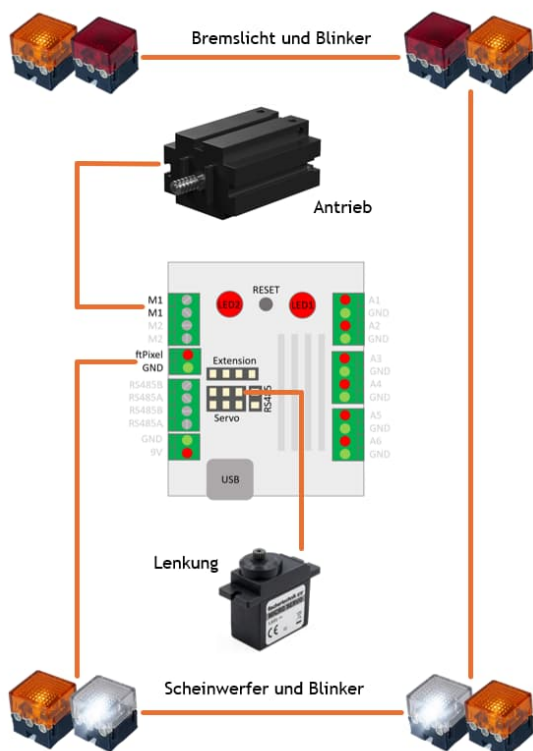


Abb. 6: Anschlussplan für das Setup „Auto“ am ftSwarmRS

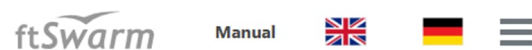
Ein besonderes Feature ist der Anschluss von ftPixeln an den Controller. Damit lassen sich ein realistisches Fahrlicht, Brems- und Rückfahrleuchten sowie Blinker realisieren. Welcher Pixel welche Funktion hat, wird ebenfalls durch die Firmware vorgegeben.

Bislang stehen Standardkonfigurationen für Autos, Raupenfahrzeuge, Kräne und Anhänger zur Verfügung.

³ Je nach Empfängertyp kann die Belegung der Ausgänge abweichen. Der neue ftSwarmRC kennt z. B. die Funktionen Lenkung, Gangschal-

Firmware Updates

Auch das Aufspielen von verbesserten Firmwareversionen ist jetzt ohne Schnickschnack möglich: den Controller mit einem USB-Kabel an PC, Mac, oder Android-Smartphone anschließen, auf der [ftSwarm-Webseite](#) Version, Controller sowie Sprache auswählen und mit einem Click die neue Version einspielen.



Firmware Upload

Aktualisieren Sie Ihren ftSwarm-Controller in drei einfachen Schritten:

1. Schließen Sie den Controller über ein USB-Kabel an.
2. Wählen Sie Version, Gerätetyp und Firmwaresprache aus.
3. Upload-Firmware installiert die gewählte Firmware.

Version Gerät Sprache

Upload Firmware

Ausgewählte Firmware: ftSwarmControl-0.7.0-de.bin

> Bereit

Abb. 7: Neue Firmwareversionen lassen sich nun leicht über die ftSwarm-Webseite „flashen“

Ausblick

In den nächsten Folgen der Beitragsserie wird es um den Nachbau der Fahrzeugmodelle aus den alten 1980er Modellbaukästen gehen. Neben einer funktionierenden Fernsteuerung stellen RC-Servos und der Radantrieb völlig neue Anforderungen an den Empfänger, so dass wir den alten Empfänger durch den neuen ftSwarmRC ersetzen. Nicht zuletzt benötigen auch Radantrieb und Servo eine Pflegeanleitung.

tung und Antrieb an dem Motorausgängen M1, M2 und M4. Mehr dazu in der nächsten Folge dieser Beitragsserie.

Referenzen

- [1] Axel Chobe: *fischertechnik-Modelle über die Oxocard fernsteuern*. [ft:pedia 3/2025](#), S. 54–58.
- [2] Axel Chobe: *Hard- und Software-übersicht zur Ansteuerung von fischertechnik*. [ft:pedia 4/2022](#), S. 89–103.
- [3] Arnoud van Delden: *fischertechnik-Roboter mit Arduino (Teil 2): 2,4-GHz-Fernbedienung mit dem PS2-Gamepad*. [ft:pedia 4/2020](#), S. 58–63.
- [4] Arnoud van Delden: *fischertechnik-Roboter mit Arduino (Teil 3): Steuerung mit dem Joystick Shield*. [ft:pedia 1/2021](#), S. 119–127.
- [5] Dirk Fox: *I²C mit dem TX – Teil 4: Nunchuk-Fernsteuerung*. [ft:pedia 2/2013](#), S. 41–49.
- [6] Till Harbaum: *Bluetooth-Modul für den ftDuino*. [ft:pedia 4/2020](#), S. 64–67.
- [7] Raphael Jacob: *TX-Fernsteuerung mit dem Raspberry Pi*. [ft:pedia 4/2014](#), S. 33–38.
- [8] Dirk Uffmann: *Codes der fischertechnik-Infrarot-Fernsteuerungen*. [ft:pedia 3/2016](#), S. 35–42.
- [9] Dirk Uffmann: *Codes der fischertechnik-Infrarot-Fernsteuerungen (2)*. [ft:pedia 2/2017](#), S. 48–50.
- [10] Dirk Wölffel: *Große Modelle mit nur einer fischertechnik-IR-Fernsteuerung ansteuern*. [ft:pedia 3/2016](#), S. 33–34.
- [11] Dirk Fox: *Taster, Schalter und Steuerhebel (Joysticks)*. [ft:pedia 2/2020](#), S. 17–23.
- [12] Stefan Fuss, Christian Bergschneider: *ftSwarm (2) – Codierst du noch oder schwärmst du schon?* [ft:pedia 2/2022](#), S. 134–137.



Abb. 8: Modifizierter Super Truck von 1983 mit ftSwarm-Fernsteuerung auf dem Fanclub-Tag 2026

Computing

Ein universeller I²C-Hub

Arnoud van Delden

Die EXT-Erweiterungsanschlüsse des fischertechnik ROBOTICS TXT-Controllers oder des moderneren TXT 4.0-Controllers arbeiten mit einem Logikpegel von 3,3 V. Modernere (fischertechnik) 3,3 V-Sensoren lassen sich jedoch nicht direkt an einen Arduino- oder ftDuino-Controller mit einem I²C-Bus mit 5 V-Signalpegeln anschließen. Die gemischte Verwendung von Sensoren mit unterschiedlichen Spannungspegeln ist daher standardmäßig problematisch. Hinzu kommt, dass die EXT-Anschlüsse nicht zur Versorgung der angeschlossenen Sensoren mit Spannung genutzt werden können. Obwohl bereits brauchbare Lösungen für diese Probleme entwickelt wurden, habe ich noch keine elegante All-in-One-Lösung gefunden, mit der beide Spannungspegel bereitgestellt werden können und sich der Übergang zu anderen gängigen Steckersystemen für den I²C-Bus leicht bewerkstelligen lässt.

In der Vergangenheit wurden verschiedene Lösungen für den Anschluss von I²C-Sensoren an die damals erhältlichen fischertechnik-Controller (TX, TXT) beschrieben. Die Aufnahme des TXT4.0-Controllers in das Controller-Sortiment von fischertechnik bedeutete jedoch einen Wechsel von einem 10-poligen EXT-/I²C-Stecker zu einer 6-poligen Variante mit einer abweichenden Pinbelegung. Aus unklaren Gründen sind die Pins für die Versorgungsspannung sowie das Daten- und Taktsignal hier im Vergleich zu den vorherigen Steckern gespiegelt. Dies ist sicherlich etwas, das beim Anschließen unbedingt berücksichtigt werden muss, um die empfindlichen EXT-/I²C-Anschlüsse nicht zu beschädigen.

Verschiedene Sensoren anschließen

Der ROBO TX Controller, der 2009 auf den Markt kam, war bereits mit einer I²C-Schnittstelle ausgestattet. Seitdem hat fischertechnik verschiedene Sensoren auf den Markt gebracht, die über die I²C-Schnittstelle (EXT) des Controllers kommunizieren.



Abb. 1: Verschiedene Sensoren mit verschiedenen I²C-Steckersystemen

Axel Chobe hat eine hervorragende Anleitung [1] zur Verwendung von Sensoren mit dem späteren ROBOTICS TXT Controller verfasst. Dieses Dokument wurde (derzeit) noch nicht für Python oder ROBO Pro Coding aktualisiert, aber für die Arbeit mit I²C auf dem TXT4.0-Controller gibt es

glücklicherweise immer mehr nützliche Bibliotheken und Programmierbeispiele [2]. Auch bei fischertechnik selbst sind online viele Informationen zur Arbeit mit den I²C-Sensoren zu finden [3].

Adapter 6P auf 10P

Der äußerst nützliche ftExtender [4] verfügte zwar bereits über einen 6-poligen Stecker, dieser ist jedoch für den Anschluss des 5 V-TX-Controllers oder des ftDuino reserviert. Obwohl dieser Stecker vom Formfaktor her übereinstimmt, kann er nicht zum Anschluss des moderneren TXT-4.0-Controllers verwendet werden: Sowohl die Signalpegel (3,3 V beim TXT 4.0) als auch die Pinbelegung dieses Steckers sind inkompatibel. Beim ftDuino, TX- und ROBOTICS TXT-Controller führt Pin 1 des Steckers das Massesignal und Pin 2 die (eventuell vorhandene) positive Versorgungsspannung. Beim TXT 4.0 finden wir dieses Signal auf Pin 1 des Steckers!

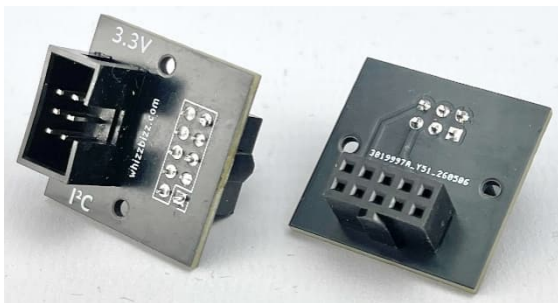


Abb. 2: Vorder- und Rückseite eines 6-poligen auf 10-poligen I²C-Adapters

Zum Anschluss der älteren 10-poligen Sensoren an den TXT-4.0-Controller bietet fischertechnik einen Adapter ([186150](#)) an. Geschickte Bastler (darunter auch ich selbst – siehe meinen [Online-Katalog](#)) haben diesen bereits in verschiedenen Varianten selbst gebaut. Die Lösung aus Abb. 2 lässt sich direkt in den 10-poligen Sensor einstecken, während mit dem kleinen Modul aus Abb. 3 der Übergang von 6-poligem I²C auf 10-poliges I²C mit Flachkabeln hergestellt werden kann (Abb. 4).



Abb. 3: Flachkabelmodul für 6-polige auf 10-polige I²C-Anschlüsse und umgekehrt

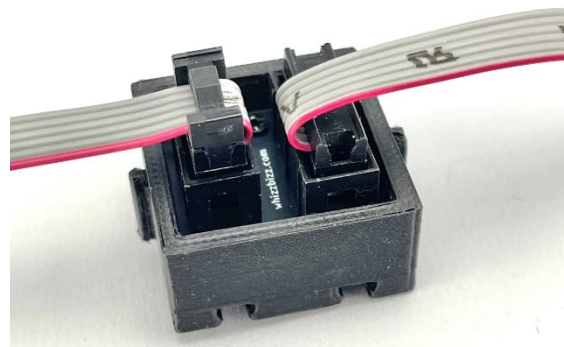


Abb. 4: Übergang vom 6-poligen zum 10-poligen Flachkabel

I²C-Steckverbindersysteme

Für den Anschluss des I²C-Busses werden verschiedene Steckersysteme verwendet. Diese werden hauptsächlich von den verschiedenen Herstellern kleiner Sensormodule und Erweiterungsplatinen festgelegt. Eine kurze Übersicht:

- Dupont-Stiftleisten oder Löt pads auf der Leiterplatte (2,54 mm Rastermaß)
- Gravity (DFRobot) I²C-Steckverbinder-system (2 mm Rastermaß)
- Grove (Seeed) I²C-Steckverbinder-system (2 mm Rastermaß)

- Stemma (Adafruit) I²C-Steckverbinder-system (2 mm Rastermaß)
- Stemma QT (Adafruit) I²C-Stecker-system (1 mm Rastermaß)
- Qwiic (Sparkfun) I²C-Steckersystem (1 mm Rastermaß)

Für (Sensor-)Boards, die nicht über den I²C-Bus kommunizieren müssen (wie Drucktaster, LDRs oder Regler), gibt es viele der genannten Anschlussysteme auch in einer 3-poligen Variante, auf die wir hier jedoch nicht näher eingehen werden. Auch bei den 4-poligen Anschlüssen ist Vorsicht geboten, da beispielsweise im Grove-Stecker-system dieselben vierpoligen Stecker manchmal zur Übertragung von analogen oder digitalen (z. B. PWM) Signalen verwendet werden. Man sollte sich daher vor dem Anschließen immer vergewissern, dass tatsächlich ein I²C-Bus mit den charakteristischen SDA- und SCL-Leitungen angeschlossen wird.

Darüber hinaus muss das angeschlossene Modul für die über den Stecker bereitgestellte Versorgungsspannung geeignet sein. Glücklicherweise können viele Module heutzutage sowohl mit 3,3 V als auch mit 5 V betrieben werden. Der hier besprochene I²C-Hub bietet beide Versorgungsspannungen über separate Grove-Anschlüsse an, sodass der Anschluss an den Sensor in der Praxis keinerlei Probleme bereiten wird.

In der Tabelle 1 habe ich versucht, einen Überblick über die gängigsten I²C-

Anschlussysteme und -methoden zu geben. Auch online finden sich hierzu zahlreiche Informationen [5].

Beachtet, dass die Stecker des Gravity-Systems von DFRobot und des Stemma von Adafruit zwar physisch kompatibel sind (JST-PH), die Aderreihenfolge sich jedoch unterscheidet. Daher muss die Reihenfolge in vorhandenen Anschluss- oder Adapterkabeln sorgfältig überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Generell lässt sich feststellen, dass das JST-PH-Stemma-Steckersystem vollständig Pin-kompatibel mit den JST-HY-2.0-Steckverbindern des Grove-Systems ist. Trotz der übereinstimmenden Abmessungen und des 2-mm-Rasters der Anschlussstifte sind diese Stecker jedoch physisch nicht vollständig austauschbar. Hinzu kommt, dass die JST-HY-Stecker häufig mit einer Verriegelungslasche versehen sind, für die die Aussparung an den JST-PH-Steckverbindern fehlt.

Die austauschbaren Stemma-QT- und Qwiic-Steckverbindersysteme verwenden kleinere Stecker mit einem Rastermaß von nur 1 mm, die untereinander vollständig kompatibel sind, sich jedoch in der Farbe unterscheiden können. Die Stemma-QT- und Qwiic-Kabel scheinen daher die einzigen zu sein, die problemlos miteinander verwechselt werden können. Die anzuschließenden Module erwarten in der Regel eine Versorgungsspannung von 3,3 V.

Name	Brand	Voltage	Connector	Pitch	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4
Gravity	DFRobot	3.3 / 5	JST-PH	2 mm	SDA	SCL	GND	Vcc
Grove	Seeed	3.3 / 5	JST-HY 2.0	2 mm	SCL	SDA	Vcc	GND
Stemma	Adafruit	5	JST-PH	2 mm	SCL	SDA	Vcc	GND
Stemma QT	Adafruit	3.3 / 5	JST-SH	1 mm	SCL	SDA	Vcc	GND
Qwiic	SparkFun	3.3	JST-SH	1 mm	SCL	SDA	Vcc	GND

Tab. 1: Übersicht über verschiedene Anschlussysteme für I²C

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Steckersysteme, mit denen der I²C-Bus verbunden wird, immer vier Pins haben. Für Plus und Minus werden in allen Fällen jeweils Rot und Schwarz verwendet. Für das Daten- und Taktsignal des I²C-Busses wechseln die Farben. Der CLK-Pin ist meist gelb, manchmal aber auch blau. Für die Farbcodierung der I²C-Daten kommen Grün, Weiß und Blau vor.

Übergangskabel

Ich hielt es für sinnvoll, beim Anschluss verschiedener I²C-Sensoren und Peripheriegeräte ein zentrales Steckersystem zu wählen und bei Bedarf mit maßgefertigten Adapterkabeln zu arbeiten. Aufgrund der Aderfarben und der deutlich unterschiedlichen Form der Stecker der verschiedenen Systeme erschien mir dies als eine weniger fehleranfällige und universellere Lösung als ein ganzes Arsenal an maßgefertigten Flachkabeln mit abgeschnittenen und gekreuzten Adern, die jeweils nur für eine bestimmte Anwendung bestimmt sind. Dies sorgt für einen übersichtlichen Aufbau, verringert mögliche Anschlussfehler und erleichtert die gemischte Verwendung verschiedener Komponenten in einem Projekt.

Da ich die flexiblen und farbigen Kabel angenehmer in der Verwendung finde als die manchmal schwer biegbaren grauen Flachkabel, habe ich mich dafür entschieden, den Grove/Seeed-Steckern eine zentrale Rolle zu geben. Übergangs- und Verlängerungskabel von allen gängigen Steckersystemen (Tab. 1) auf Grove sind fertig konfektioniert erhältlich. Noch flexibler ist es natürlich, diese selbst in jeder gewünschten Länge herzustellen. Die losen JST-Stecker lassen sich mit einer guten JST-Crimpzange montieren, und wo ein 2×3- (oder 2×5-)Loch-Steckverbinder gewünscht ist, kann dieser gelötet werden. Ich selbst habe die Drahtlötstellen mit einem Stück Schrumpfschlauch in der entsprechenden Farbe geschützt. Da ich das Gegenstück zu diesem Steckertyp eigent-

lich nur in der DC3-Variante finden konnte, die auf Flachkabel gepresst wird, habe ich eine Hülse entworfen und gedruckt, um den spezifischen IDC-Stecker mit der Nase mit einem normalen „weiblichen“ Dupont-Stiftleistenstecker nachzubilden (Abb. 5).

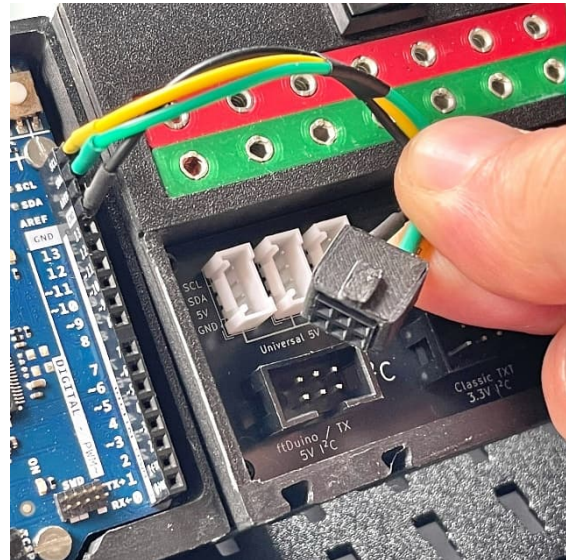


Abb. 5: Selbstgebauter IDC-Stecker

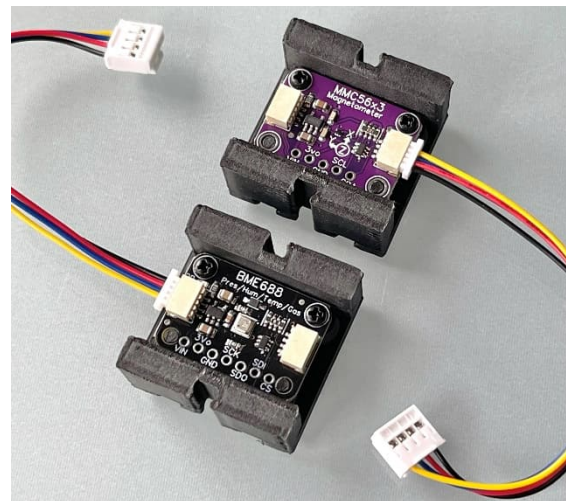


Abb. 6: Sensoren mit Übergangskabeln von Qwiic- auf Grove-Stecker

Für die Sensoren, die mit den kleinen Qwiic-Steckern ausgestattet sind, sind Adapterkabel auf Grove-Stecker erhältlich. In Abb. 6 ist eine Platine mit dem MMC5603-Magnetometer/Kompass aus dem „Kombisensor“ von fischertechnik zu sehen. Ebenfalls zu sehen ist der leistungsstarke Nachfolger des beliebten BME680 (das Herzstück von fischertechnik's „Um-

weltsensor“): der Bosch BME688, der dank seiner KI-Funktionalität darauf trainiert werden kann, einzelne Gase (wie bestimmte VOCs, Schwefelverbindungen und Wasserstoff) zu erkennen und zu identifizieren.

Ein I²C-Hub

Wer sich nicht strikt auf die von fischertechnik angebotenen Sensoren und Möglichkeiten beschränkt, sammelt schnell verschiedene Sensoren von Drittanbietern und nützliche I²C-Peripheriegeräte an. Das ständige Herausfinden der richtigen Verkabelung und das riskante manuelle Anschließen kann dann zu einer zeitraubenden Frustration werden. Eine zentrale, benutzerfreundliche Lösung, um all diese verschiedenen Komponenten mühelos und ohne Risiko mit den fischertechnik-Controllern verbinden zu können, wäre dann die ideale Lösung. Am besten wäre es, wenn dieser Hub selbst die erforderlichen 5-V- und 3,3-V-Versorgungsspannungen bereitstellen und gleichzeitig die Logikpegel des I²C-Busses bidirektional verschieben könnte.

Da ich meine Anforderungen in den bereits vorhandenen Lösungen nicht direkt wiederfand, habe ich eine Liste mit Anforderungen für einen solchen All-in-One-Verteiler erstellt:

- Bereitstellung von 5- und 3,3-V-Versorgungsspannung aus einer separat anzuschließenden 9-V-Eingangsspannung zur Versorgung der angeschlossenen Sensoren und anderer I²C-Peripheriegeräte.
- Anschlussmöglichkeiten für Arduino, ftDuino, ROBOTICS TXT Controller, ROBO TX Controller und TXT 4.0 Controller mit ihren entsprechenden I²C-Signalpegeln über die bekannten DC3-Flachkabelstecker.
- Mehrere Grove/Seeed-I²C-Stecker zum Anschluss von Sensoren mit einer Versorgungsspannung und einem I²C-Signalpegel von 3,3 V.

- Mehrere Grove/Seeed-I²C-Anschlüsse zum Anschluss von Sensoren mit einer Versorgungsspannung und einem I²C-Signalpegel von 5 V.

Daraus entstand der I²C-Hub in Abb. 7. Den Schaltplan, den Leiterplattenentwurf und die 3D-Dateien für den Druck des Gehäuses findet ihr auf GitHub [6].

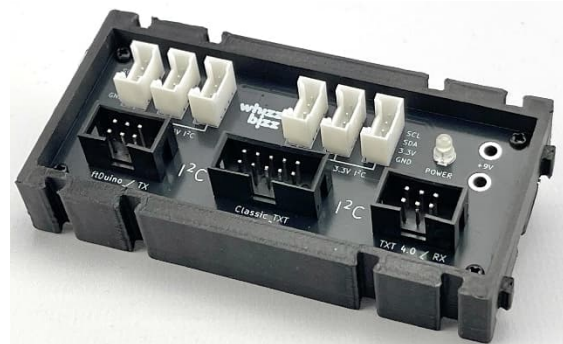


Abb. 7: Selbstgebauter I²C-Hub für den Einsatz in fischertechnik-Projekten

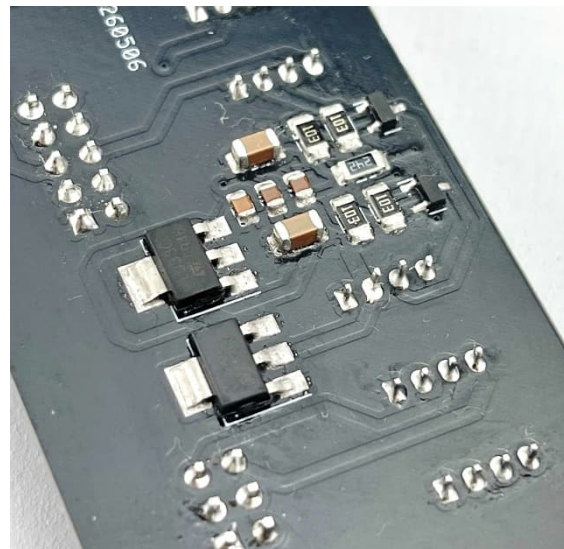


Abb. 8: Alle Komponenten befinden sich auf der Unterseite der Leiterplatte

Alle SMD-Bauteile befinden sich unsichtbar auf der Unterseite der Leiterplatte (Abb. 8). Die Entwicklung und der Bau des Hubs dienen mir als Übungsprojekt zum Lötten von Leiterplatten mit SMD-Bauteilen. Dabei verwendete ich eine selbst gedruckte Lötpastenschablone zum Auftragen der Lötpaste. Außerdem habe ich zum ersten Mal mit einer Heizplatte für den eigentlichen Lötvorgang experimentiert.

Die Ergebnisse waren sehr ermutigend. Auf der Projektseite meiner Website [7] findet ihr einen Link zu einem kurzen Video, in dem ich meine Erkenntnisse zeige.

Bei Verwendung eines fischertechnik-Controllers reicht ein einziger 9-V-Anschluss, um alle Grove-Anschlüsse mit der richtigen Spannung zu versorgen. Außerdem habe ich eine Variante des Gehäuses entwickelt, die direkt über einen Gleichstromadapter mit Strom versorgt werden kann. Diese Variante verfügt über einen praktischen Ein-/Aus-Schalter, leitet die Versorgungsspannung an das verwendete Arduino-Board weiter und stellt sie zudem für den Anschluss von Kabeln mit den bekannten 2,5-mm-fischertechnik-Steckern zur Verfügung.

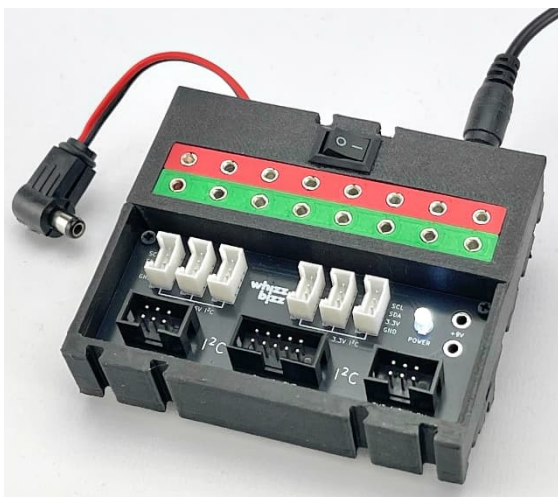


Abb. 9: Hub in größerem Gehäuse mit Gleichstromeingang

Verwendung mit dem TXT4.0-Controller

Als Pilotprojekt für den I²C-Hub mit dem TXT-4.0-Controller beschloss ich, die über I²C von einem 3,3 V-Bewegungssensor gelesenen Daten auf einem 5 V-LC-Display anzuzeigen, das über denselben I²C-Bus angesteuert wird.

Sowohl die 10-polige als auch die 6-polige Variante des fischertechnik-Bewegungssensors ([183267](#)) aus dem *Robotics Add On: Competition* verwendet den

Avago/Broadcom APDS-9960-Sensor. Dabei handelt es sich um einen digitalen Chip, der folgende Funktionen vereint:

- *Bewegungserkennung*: Erkennung von Handbewegungen in sechs verschiedenen Richtungen.
- *Farberkennung*: Messung von RGB-Werten.
- *Entfernungsmessung*: Erfassung der Entfernung zu einem Objekt (bis zu ca. 15 cm).
- *Umgebungslicht*: Messung der Helligkeit im Raum.

Die I²C-Adresse des APDS-9960-Sensors ist sowohl bei der von mir verwendeten, separat online erhältlichen Sensorplatine (GY-9960) als auch bei den 10- und 6-poligen Versionen des fischertechnik-„Gesten-sensors“ standardmäßig 0x39. Das Auslesen dieses Sensors stellt also keinerlei Problem dar.

Es war wesentlich aufwändiger, das 2004A-LC-Display auf dem TXT-4.0-Controller zum Laufen zu bringen! In der hervorragenden I2cCode-TXT-4.0-Bibliothek von „calliope“ fand ich lediglich Unterstützung für das SparkFun Qwiic 20×4 SerLCD. Dieses Display verfügt über einen eigenen Mikroprozessor (ATmega328P). Das 2004A-Display verfügt jedoch über einen viel einfacheren HD44780-Controller und nutzt für die Kommunikation über I²C den gängigen PCF8574-I/O-Expander.

Schließlich gelang es mir, einen einfachen LCD-Treiber für diesen Controller in ROBO Pro Coding zu schreiben ([8], Abb. 10), sodass das Display schließlich für das Experiment genutzt werden konnte, um die Messwerte des Bewegungssensors anzuzeigen (Abb. 11). Obwohl das Schreiben auf das Display relativ langsam ist, funktioniert dieser „Proof-of-Concept“ hervorragend. Auch dieses Programm wurde in der fischertechnik-Cloud GitLab hinterlegt [9].

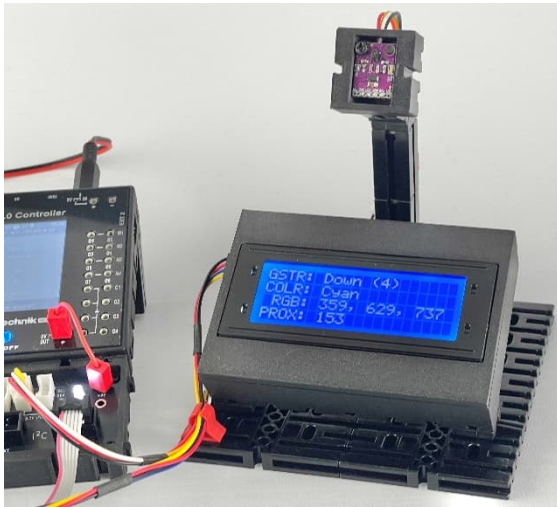


Abb. 10: LC-Display 2004A
am TXT-4.0-Controller



Abb. 11: Bewegungssensor APDS-9960 und
LC-Display 2004A am TXT-4.0-Controller

Verwendung mit Arduino

Der APDS-9960-Sensor im fischertechnik-Gestensensor ist bereits ein recht klassischer Bewegungssensor; mittlerweile gibt es intelligente Sensoren mit Kamera und KI, die auch Handgesten ohne Bewegung sowie Gesichter usw. erkennen können. Beliebt ist der DFRobot SEN0626 Gravity AI Gesture & Face Detection Sensor [10].

Als (5 V-) Display am I²C-Bus wählte ich ein sogenanntes „Led & Key“-Board mit TM1638-Controller. Dabei handelt es sich um ein Experimentierboard mit acht Drucktasten, acht LEDs und acht 7-Segment-Anzeigen. Vor kurzem hatte ich gerade die

Ansteuerung dieses Boards über I²C realisiert [11].

Obwohl die Stromanschlussbuchsen für die fischertechnik-Stecker nicht erforderlich waren, entschied ich mich für die Variante des Hubs aus Abb. 9. Zum Anschluss des Gestensensors an den 3,3 V-I²C-Bus verwendete ich ein Qwiic-zu-Grove-Adapterkabel. Die Display-Platine schloss ich an den 5 V-I²C-Bus an. Beide Geräte beziehen ihre Versorgungsspannung aus dem Hub und belasten die Mikrocontroller-Platine hierfür nicht.

In Abb. 12 ist das Ergebnis zu sehen. Die LEDs auf der Platine zeigen an, an welcher Position vom Mittelpunkt aus der Sensor eine „Schulter mit Kopf“ erkannt hat. Das dazugehörige 7-Segment-Display zeigt die eventuell erkannte Gesten-ID an.

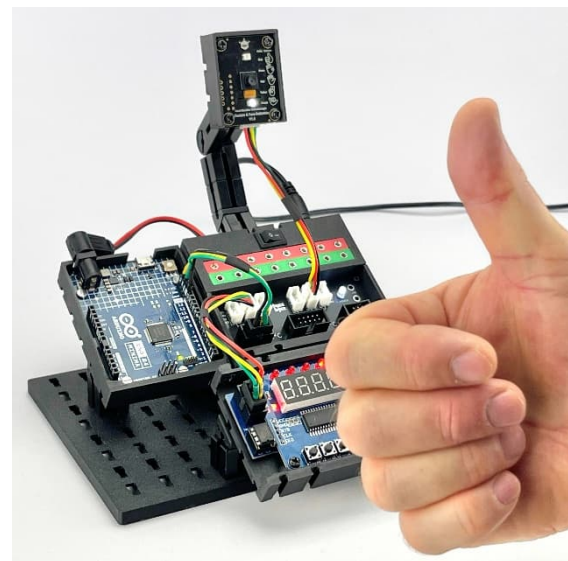


Abb. 12: DFRobot SEN0626 Gestensensor

Fazit

Im Bereich I²C wurde für den TXT-4.0-Controller bereits viel Vorarbeit geleistet. Durch den Informationsaustausch im ft-Forum und anhand von Beispielen in der fischertechnik GitLab-Cloud gelang es mir recht zügig, innerhalb von Robo Pro Coding in Python einen brauchbaren Treiber für mein noch nicht unterstütztes LC-Display zu erstellen.

Dieser neue I²C-Hub erfüllt seinen Zweck und macht es einfach, verschiedene Sensoren mit unterschiedlichen Versorgungsspannungen mit Strom zu versorgen und auf einem I²C-Bus zusammenzuführen. Die Verwendung der Sensor-Chips, die fischertechnik in den Sensoren verwendet, stellte kein Problem dar.

Wer mehr über den I²C-Hub erfahren oder diesen selbst bauen möchte, kann alle Dateien und Informationen von GitHub herunterladen [6]. Die 3D-Druckdateien der fischertechnik-kompatiblen Gehäuse für die in diesem Beitrag vorgestellten Senso-

ren stehen online zum Download bereit [12] [13] – für alle, die sie drucken (lassen) möchten.

Quellen

- [1] Axel Chobe: *I²C*. PDF-Datei auf chobe.info, 2023.
- [2] elssner: *ft-Controller-I2C*. ROBO Pro-Coding-Blöcke auf github.io.

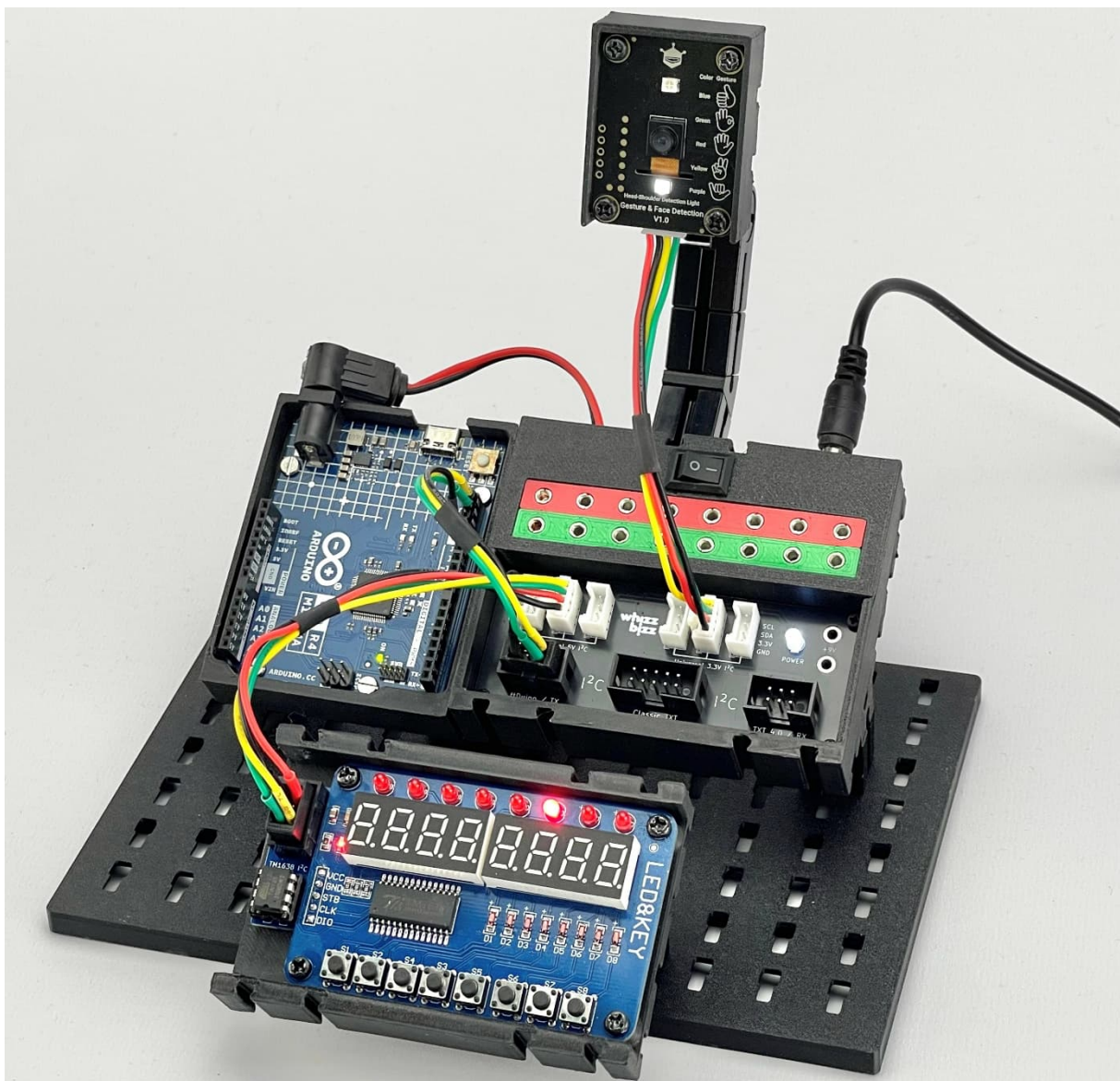


Abb. 13: Der I²C-Hub versorgt einen Gestensensor und eine TM1638-LED&Key-Platine mit Strom



Abb. 14: Der I²C-Hub ermöglicht den Anschluss eines Bewegungssensors und eines LCD-Displays an den TXT-4.0-Controller

- [3] fishertechnik: *I2C*. Einsatz von Sensoren von fishertechnik in Robo Pro Coding, auf doc.fischertechnik-cloud.com.
- [4] Stefan Fuss, Christian Bergschneider, Björn Gundermann, Christian Lauff, Rudenz Schulz: *Plug & Play am I²C-Bus mit dem ftExtender*. [ft:pedia 2/2018](https://ft:pedia/2/2018), S. 55–59.
- [5] PIC-CONTROL Pte. Ltd.: *I2C Pin Out*. Auf cable-tester.com.
- [6] Arnoud van Delden: *i2c-hub*. Auf github.com, 2026.
- [7] Arnoud van Delden: *An Universal I2C Hub*. Projektseite des I2C-Hubs auf whizzbizz.com.
- [8] Arnoud van Delden: *LCD_2004A_over_I2C*. Programm auf git.fischertechnik-cloud.com.
- [9] Arnoud van Delden: *Gesture-LCD-2004A*. Programm auf git.fischertechnik-cloud.com.
- [10] DFRobot: *Gravity: Offline Edge AI Gesture & Face Detection Sensor*. Auf wiki.dfrobot.com.
- [11] Arnoud van Delden: *TM1638-Led-Key-board-over-I2C*. Leiterplatte und alternatives Gehäuse für das Projekt von „juh“, auf github.com, 2026.
- [12] Arnoud van Delden: *Various small sensor enclosures for use with fishertechnik*. Auf printables.com, 2026.
- [13] Arnoud van Delden: *Various small sensor enclosures for use with fishertechnik*. Auf thingiverse.com, 2026.

Computing

Oxocard-Splitter

Axel Chobe

Wenn man sich intensiv mit der Programmierung der Oxocard in NanoPy beschäftigt, fallen nebenbei immer mal wieder zusätzliche Informationen an, für die es sich nicht lohnt, eine eigene Dokumentation zu erstellen. Deshalb habe ich einige dieser kleinen, aber teilweise wichtigen Informationen im folgenden Beitrag zur Oxocard zusammengefasst.

1 NanoPy-Bibliotheken

Mit Hilfe der Bibliotheken können häufig benötigte Funktionen in NanoPy einfach wiederverwendet werden, ohne sie jedes Mal neu schreiben zu müssen. Die Bibliotheken IO und Monitor sind Teil der Entwicklungsumgebung; alle anderen müssen in das Verzeichnis `libs` kopiert werden. Die hier vorgestellten Bibliotheken finden sich im [Github-Repository der Oxocard](#).

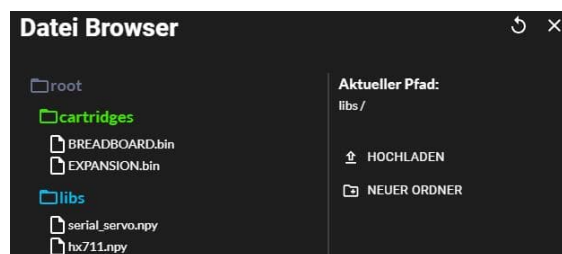


Abb. 1: Github-Repository der Oxocard

Allen gemein ist, dass sie vor der Benutzung in das Programm eingebunden werden müssen. Dazu wird in der ersten Zeile die entsprechende Bibliothek mit `import` aufgerufen (z. B. `import IO`).

1.1 IO

Diese Bibliothek stellt ein IO-Objekt zur Verfügung, das das Ansteuern von Hardware vereinfacht.

Beispiel 1 digital (für Pin 1 bis Pin 5)

```
1 import io
2 while true:
3   if IO.readPin(C_PIN_05):
```

```
4   IO.writePin(C_PIN_02, 1)
5   print(IO.readPin(C_PIN_05))
6   else:
7     IO.writePin(C_PIN_02, 0)
8     delay(100)
```



Abb. 2: Taster an der Oxocard

In der ersten Zeile wird die Bibliothek eingebunden. Die zweite Zeile eröffnet eine Endlosschleife. Zeile drei fragt einen Taster am Pin 5 ab: Wurde der Taster gedrückt, wird in Zeile 4 ein High an Ausgang 2 ausgegeben (LED leuchtet). Mit dem Befehl `print(IO.readPin(pin))` wird zusätzlich eine 1 auf dem Terminal ausgegeben. Im Else-Zweig ab Zeile 6 bekommt der Ausgang 2 in Zeile 7 ein Low.

Beispiel 2 analog (für Pin 6 und Pin 7):

```
1 import io
2 IO.setSampleRate(1000)
3 while true:
4   if IO.readPin(C_PIN_06) > 1000:
5     IO.writePin(C_PIN_02, 1)
6     print(IO.readPin(C_PIN_06))
7   else:
8     IO.writePin(C_PIN_02, 0)
9   delay(100)
```

Die Pins 6 und 7 geben keinen digitalen, sondern einen analogen Wert zwischen 0 und 4095 zurück. Dieser Wert wird in Zeile

4 abgefragt. In Zeile 2 wird die Anzahl der Messwerte für die Durchschnittsbildung für die Messungen bestimmt. In der folgenden Abfrage wird geprüft, ob der Wert größer 1000 ist, um in diesem Fall die LED an Pin2 ein- bzw. auszuschalten.

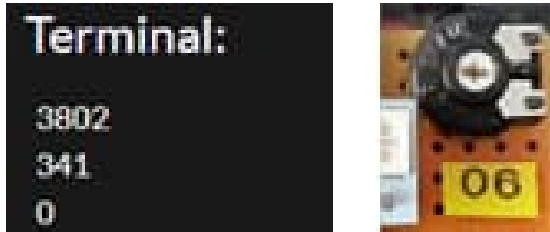


Abb. 3: Poti an der Oxocard

1.2 Monitor

Mit dem `monitor`-Objekt lassen sich einfach Systemmeldungen auf den Screen ausgeben. Der Text wird auf dem Display ohne Positionsangaben von oben nach unten ausgegeben. Ist der Bildschirm voll, wird die Ausgabe in der ersten Zeile fortgesetzt.

Beispiel:

```
1 import monitor
2 monitor.init()
3 monitor.push("ohne Farbe")
4 monitor.pushc("Rot",MONITOR_RED)
5 monitor.pushc("Grün",
MONITOR_GREEN)
6 monitor.pushc("Gelb",
MONITOR_YELLOW)
7 monitor.pushc("Blau",
MONITOR_BLUE)
```

In der ersten Zeile wird die Bibliothek eingebunden. Die zweite Zeile löscht den Monitor und dient der Initialisierung. Die dritte Zeile gibt einen Text ohne Farbe aus; in den Zeilen 4 bis 7 wird der Text in einer definierten Farbe ausgegeben.



Abb. 4: Ausgabe des Beispielprogramms

Mit den Befehlen `monitor.smallFont()` und `monitor.bigFont()` kann der gesamte Text verkleinert oder vergrößert dargestellt werden.

1.3 Serieller Servo

Anders als die fischertechnik-Servos, die über ein PWM-Signal angesprochen werden (Abb. 5, A), wird ein serieller Servo (B) über das serielle Protokoll UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) gesteuert.

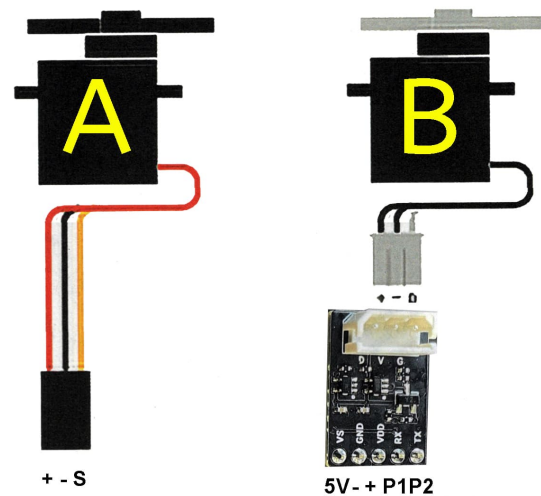


Abb. 5: fischertechnik-PWM-Servo (A) und serieller UART-Servo (B)

UART ist ein weit verbreitetes Protokoll, das mit zwei Datenleitungen betrieben wird. Die Umsetzung der Datenleitungen in die Eindrahtkommunikation des Servos übernimmt dabei ein Transceiver. Vorteile des UART Servos (Servo B) sind:

- sie können in Reihe geschaltet werden (bis zu 253 Servos über zwei Pins der Oxocard)
- sie sind bidirektional, d. h. es kann über ein Feedback u. a. die Position ausgelesen werden
- sie haben einen kontinuierlichen Motor-Modus (360°-Rotation)

Beispiel 1 (einfache Servosteuerung):

```
1 import serial_servo
2 servoBus:SerialServoBus
```

```
3 servoBus.init(C_PIN_02,C_PIN_01,
1000000)
```

```
4 servoBus.setPosition(1,500,800)
```

In der ersten Zeile wird die Bibliothek eingebunden, in der zweiten Zeile eine Variable deklariert und in Zeile 3 der Anschluss festgelegt.

Dabei gilt: Pin02 = tx, Pin01 = rx; Speed. Der eigentliche Bewegungsbefehl folgt in Zeile 4. Die drei Parameter sind die Servonummer (1–255), der Zielwinkel (0–1000) und die Geschwindigkeit (0–1000).

Beispiel 2 (Servo als Motor):

```
1 import serial_servo
2 servoBus:SerialServoBus
3 servoBus.init(C_PIN_02,C_PIN_01,
1000000)
4 servoBus.setMotorSpeed(1,800,
true)
```

Die ersten drei Zeilen entsprechen denen in Beispiel 1. In Zeile 4 wird der Servo als Motor angesprochen. Die übergebenen Parameter sind die Servonummer (1–255), die Geschwindigkeit (0–1000) und die Richtung (true = rechts, false = links).



Abb. 6: Servo als Fahrzeugantrieb

Beispiel 3 (Position auslesen):

```
4 servoBus.stopServo(1)
5 while true:
6   print(servoBus.getPosition(1))
7   delay(1000)
```

Auch hier entsprechen die ersten drei Zeilen denen in Beispiel 1. In Zeile 4 wird der Servo deaktiviert, so dass er sich nun manuell betätigen lässt. In der Dauerschleife wird

im Sekundentakt die Position des Servos 1 auf dem Terminal ausgegeben.

Beispiel 4 (Servo Nummer zuordnen):

```
1 servoBus.changeId(1,2)
2 servoBus.isServoMoving(2)
```

Jeder neue Servo hat die Nummer 1. Für ein Fahrzeug mit 2 Antrieben wird in Zeile 1 dem angeschlossene Servo die Nummer 2 zugewiesen (alte Nummer, neue Nummer). Der Befehl in Zeile 2 zeigt an, ob der Servo als Nummer 2 erkannt wurde.

1.3 Wägezelle

Für eine Waage kann man sich in fischertechnik-Modellen viele mögliche Anwendungen vorstellen. So können über das Gewicht der Füllstand in einer Abfüllanlage bestimmt oder Bauteile gewogen und entsprechend sortiert werden.

Das Messprinzip

Die Wägezelle (Abb. 7, Preis: ca. 6 €) wird durch das Gewicht der zu wiegende Last leicht gebogen. Unter dem weißen Kleber sitzen vier als Wheatstone Brücke angeordnete Dehnungsmessstreifen, deren Widerstand sich mit dem Dehnungsgrad proportional zum Gewicht ändert. Der Widerstand wird über den Spannungsabfall bestimmt und mit einem A/D-Wandler ausgewertet.



Abb. 7: Wägezelle an der Oxocard

Der Aufbau

Die Daten der Wägezelle werden über den Wägezellenverstärker HX711 über das serielle Protokoll UART übertragen. Für meine Anwendung habe ich die Platine in das gedruckte Gehäuse geschraubt. Die Anschlüsse sind in Abb. 8 gekennzeichnet.



Abb. 8: Wägezellenverstärker HX711

```
1 import hx711
2 myScale:HX711
3 myScale.init(C_PIN_02, C_PIN_01)
4 myScale.tare()
5 while true:
6   print(myScale.getWeight())
7   delay(500)
```

In Zeile 1 wird die Bibliothek eingebunden und in Zeile zwei eine Variable erzeugt. Zeile 3 legt den Anschluss fest. Dabei gilt: Pin02 = tx, Pin01 = rx.

In Zeile 4 wird die Waage auf null gesetzt. In der folgenden Dauerschleife wird alle 0,5 Sekunden in Zeile 6 der Wert eingelesen und auf dem Terminal ausgegeben.

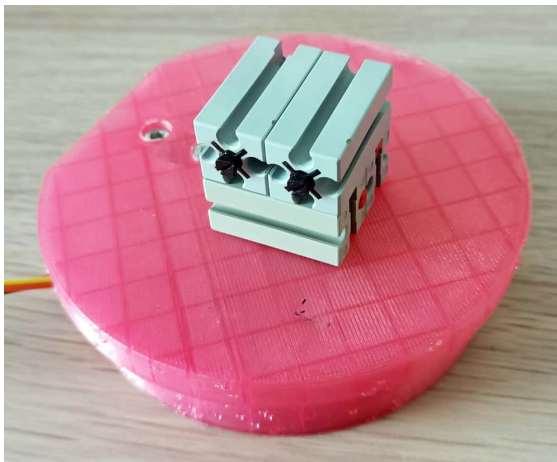


Abb. 9: Wägezelle im Einsatz

1.5 Eigene Bibliotheken

Zum Abschluss noch eine Erläuterung der Möglichkeit, Bibliotheken selber zu erstellen und später zu nutzen.

Zunächst wird der Code definiert, der später als Bibliothek genutzt werden soll. Im folgenden Beispiel ist es eine einfache Textausgabe auf dem Display der Oxocard.

```
1 def printText(text:byte[])
2   clear()
3   drawTextCentered(120,120,text)
4   update()
```

Der Code wird nun unter `mylib.npy` auf dem Computer gespeichert und dann in das Verzeichnis `libs` auf der Oxocard kopiert.

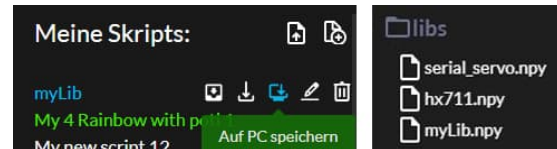


Abb. 10: Verzeichnis der NanoPy-Bibliotheken

Um die Bibliothek in einem neuen Skript nutzen zu können, muss sie zunächst eingebunden werden. Anschließend kann die formatierte Textausgabe in sehr einfacher Form erfolgen.

```
1 import myLib
2 printText("Hallo")
```

2 WS-LED mit Helligkeitssteuerung

Beleuchtungen an fischertechnik-Modellen lassen sich günstig und beeindruckend mit RGB-LED vom Typ WS2812 umsetzen [1]. Das funktioniert auch mit der Oxocard und NanoPy.

Beispiel:

```
1 initDigitalLeds(C_PIN_03,1,
2   C_LED_TYPE_WS2812)
3 setDigitalLed(0, 255,0,0)
4 applyDigitalLeds()
```



Abb. 11: RGB-LED (WS2812) an der Oxocard

In Zeile 1 wird die LED initialisiert. Dabei werden der Pin, die Anzahl der LEDs und der Typ festgelegt. In der zweiten Zeile wird für LED 1 (die Zählung beginnt bei 0)

der Wert für den jeweiligen RGB-Anteil festgelegt (Parameter 2, 3 und 4; hier: rot). Zeile 3 aktiviert die LED.

In Beispiel 1 erfolgt die direkte Ansteuerung der Farbe über RGB-Werte. Im folgenden Beispiel wird das HSV-System verwendet, um die Helligkeit der LED zu steuern. HSV steht dabei für

- H – Hue-Wert: Grundfarbe: eigentlich 0–359°, bei der Oxocard aber nur 0–255
- S – Saturation: Farbsättigung, 0 = Neutralgrau bis 255 = gesättigt (reine Farbe)
- V – Value: Helligkeit der Farbe (0–255)

```
1 initDigitalLeds(C_PIN_03,1,
C_LED_TYPE_WS2812)
2 whiletrue:
3   c:color
4   v = readADC(C_PIN_06, 100) / 16
5   c.hsv(100,255,v)
6   setDigitalLed(0, c.r,c.g,c.b)
7   applyDigitalLeds()
```

In Zeile 1 wird die LED initialisiert. Zeile 2 startet eine Dauerschleife, damit im Folgenden ständig ein Potiwert abgefragt wird. In Zeile 3 wird eine Objektvariable aus der bestehenden Klasse `color` mit den internen Variablen `c.r`, `c.g` und `c.b` deklariert.

In Zeile 4 wird der Wert vom Poti an Pin 6 ausgelesen (0-4095) und durch 16 geteilt, um einen Wert von 0 bis 255 zu erhalten. Mit der Funktion `hsv(h,s,v)` aus der Klasse `color` werden in Zeile 5 die Werte für den HSV-Farbraum angegeben: Farbe, Sättigung und Helligkeit in Abhängigkeit vom Poti. In Zeile 6 wird der Farbwert der ausgewählten LED gesetzt. Diese werden über die Klasse `color` aus den hsv-Werten berechnet. Anschließend wird die LED entsprechend aktiviert.

Wenn der S-Wert auf reine Farbe (255) eingestellt wird, ergeben sich für die Grundfarben etwa die folgenden Werte:

- Gelb: 50
- Rot: 80
- Blau: 200

Magenta liegt bei etwa 100, Grün bei 255.

3 Abstandssensor

Der Sharp GP2Y0A21YK0F-Distanzsensorm arbeitet in einem Bereich zwischen 10 und 80 cm. Der Preis schwankt um ca. 8 €. Er ist sehr einfach anzusteuern, da er sofort an einen analogen Port angeschlossen wird.

```
1 while true:
2   a = readADC(C_PIN_06, 100)
3   print(a)
4   delay(500)
```

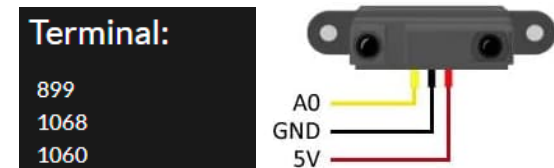


Abb. 12: IR-Abstandsmessung

In der Dauerschleife ab Zeile 1 wird alle 0,5 Sekunden die Variable `a` mit dem an Pin 06 gemessenen Wert beschrieben und ausgegeben. Der gemessene Wert ist stark abhängig von der Umgebungsbeleuchtung, daher müssen die Werte für eine möglichst genaue Messung vorher kalibriert werden. Abb. 13 zeigt eine Versuchsanordnung zur Entfernungsbestimmung.



Abb. 13: Versuchsaufbau zur Abstandsmessung

4 IR-Fernbedienung

Bei fischertechnik gab es bereits verschiedene Fernbedienungen, die ich in einer [Übersicht](#) beschreiben habe (siehe auch [2]). Leider wird von fischertechnik nur noch die Variante mit Handsteuerung angeboten.

Mittlerweile gibt es in jedem Haushalt eine Vielzahl von Handsendern für alle möglichen Zwecke. Die meisten lassen sich

auch als Sender für das Entwicklerboard einsetzen.

Die hier gezeigte Möglichkeit funktioniert über die Infrarot-Verbindung mit dem NEC-Protokoll (Kommunikationsprotokoll für Infrarotübertragungen). Als Empfänger dient der IR-Empfänger 38 kHz auf dem Entwicklerboard für ca. 5 € (Abb. 13).



Abb. 13: IR-Empfänger

Beispiel:

```
1 initIrNecRx(C_PIN_07)
2 while true:
3   res = readIrNecData()
4   nr = res[3]
5   print(nr)
```

In Zeile 1 wird der Empfangspin für das NEC-Protokoll festgelegt. Ab Zeile 2 wird in einer Endlosschleife kontinuierlich der Eingang überwacht: Zeile 3 liest die Daten ein; dabei werden die Adresse und das gesendete Kommando erfasst. Da nur der Wert der entsprechenden Taste benötigt wird, übergeben wir diesen Wert an die Variable `nr`, der in Zeile 5 auf dem Terminal ausgegeben wird.

Im gezeigten Beispiel werden die Werte der Tasten 1 (Wert 12) und 2 (Wert 24) der Fernbedienung aus Abb. 14 angezeigt.



69	70	71
68	64	67
07	21	09
22	25	13
12	24	94
08	28	90
66	82	74

Abb. 14: NEC-Kommando-Codes einer einfachen IR-Fernbedienung

5 Motorsteuerung mit H-Brücke

Die fischertechnik-Motoren benötigen eine Spannungsversorgung von 9 V und haben eine Leistungsaufnahme von bis zu 1 A; die Oxocard arbeitet jedoch mit maximal 5 V. Deshalb ist es notwendig, die Ansteuerung mit Hilfe einer H-Brücke (hier L298N) von der Spannungsversorgung der Motoren zu entkoppeln. Abb. 15 zeigt das Funktionsprinzip einer H-Brücke.

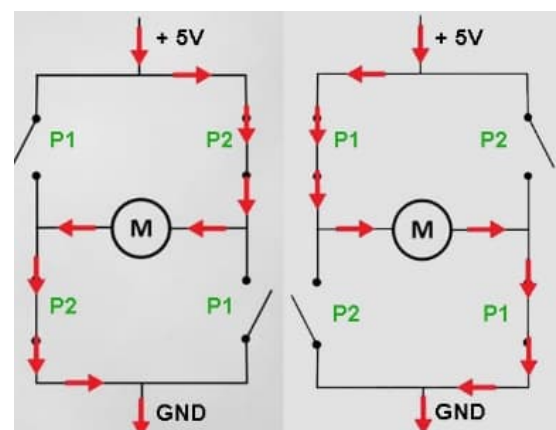


Abb. 15: Funktionsprinzip einer H-Brücke

Damit kann die Drehrichtung gewechselt und die Geschwindigkeit über PWM für zwei Motoren geregelt werden.

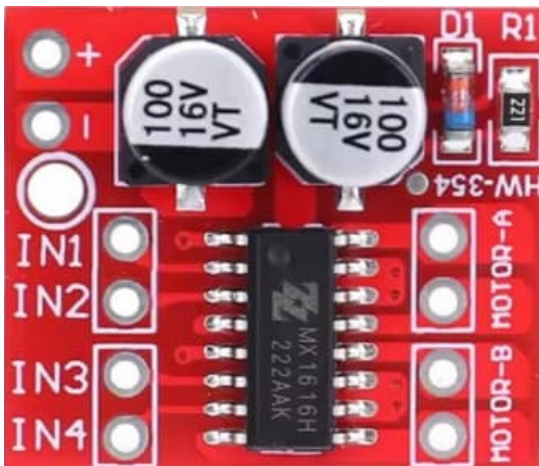


Abb. 16: H-Brücke L298N

Beispiel:

```
1 initGPIO(C_PIN_01, OUTPUT)
2 initGPIO(C_PIN_02, OUTPUT)
3 writePWM(C_PIN_01, 0)
4 writePWM(C_PIN_02, 4096)
```

In den ersten beiden Zeilen werden die entsprechenden Ausgänge initialisiert. Zeile 3 legt fest, dass der Ausgang P1 den Wert 0 hat. In Zeile 4 kann die Geschwindigkeit an P2 zwischen 1 und 4096 festgelegt werden. Durch Umkehrung der Werte von P1 und P2 läuft der Motor in entgegengesetzter Richtung. Der Motor stoppt, wenn beide Ausgänge auf den Wert 0 gesetzt werden.

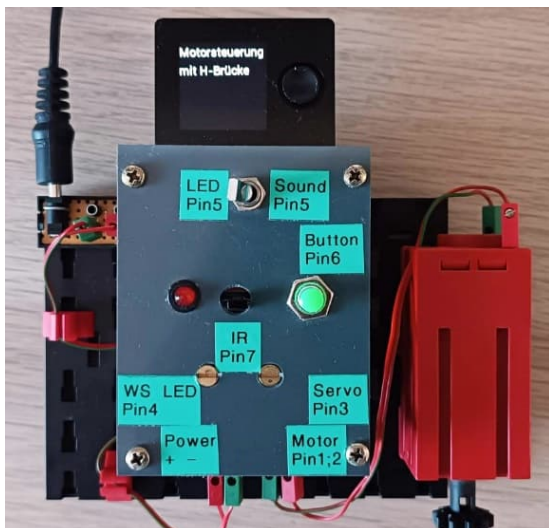


Abb. 17: Steuerung eines fischertechnik-Encoder-Motors mit Oxocard und H-Brücke

6 Fazit

Die in diesem Beitrag gezeigten kleinen Hardware- und Softwarelösungen für die Oxocard erweitern das Arbeiten mit fischertechnik um viele Möglichkeiten. Mit ein wenig Bastelgeschick oder 3D-Druck lassen sich die Bauteile zur Befestigung der Schaltung im fischertechnik-Modell einfach herstellen.

Einige der vorgestellten Beispiele habe ich in einem [Video](#) veröffentlicht.

Verweise

- [1] Till Harbaum: *Profi-Lights: WS2812B-Vollfarb-Leuchtdioden im fischertechnik-Design*. [ft:pedia 4/2017](#), S. 15–18.
- [2] Frank Unglaub, Christian Bergschneider, Stefan Fuss: *Pimp my Car (1) – Einfach nur eine Fernsteuerung*. [ft:pedia 2/2026](#) (in dieser Ausgabe).

- 01
- 02 Lieferung
- 03
- 04 Auspacken
- 05 Aufstellen
- 06
- 07 Aufbau
- 08
- 09 Elektrik
- 10 Elektrik
- 11 Programmierung
- 12 Programmierung
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18 Manifesta26
- 19 Manifesta26
- 20 Manifesta26
- 21
- 22 Bautage
- 23 Bautage
- 24 Bautage
- 25
- 26
- 27 Sonderausstellung
- 28 Abbau
- 29 Abtransport
- 30

Ein Ladengeschäft

Ein Monat

Ein Thema

wir bauen und zeigen Modellbau mit fischertechnik. Vom kleinen Modell bis zum Weltrekord. Für alle Generationen und alle Interessierten.

Hauptstraße 259
Fußgängerzone Herne-Wanne

Ein Hobby

Ein Team

das Team des ft.seilbahn-Projekt stellt aus, lädt ein und führt um die Seilbahn und die Modellschau.

In Zusammenarbeit mit dem ftc Modellbau e.V.

Täglich von 10:00 - 18:00
(Abweichungen möglich)

Ein-Ladung

an alle interessierten Mitbauenden
an alle fischertechnik Tüftler
an alle Seilbahnfans
an alle Modellbauende
an alle Technikbegeisterten

besuch uns !
stell aus !
mach mit !

ft.seilbahn@gmail.com

