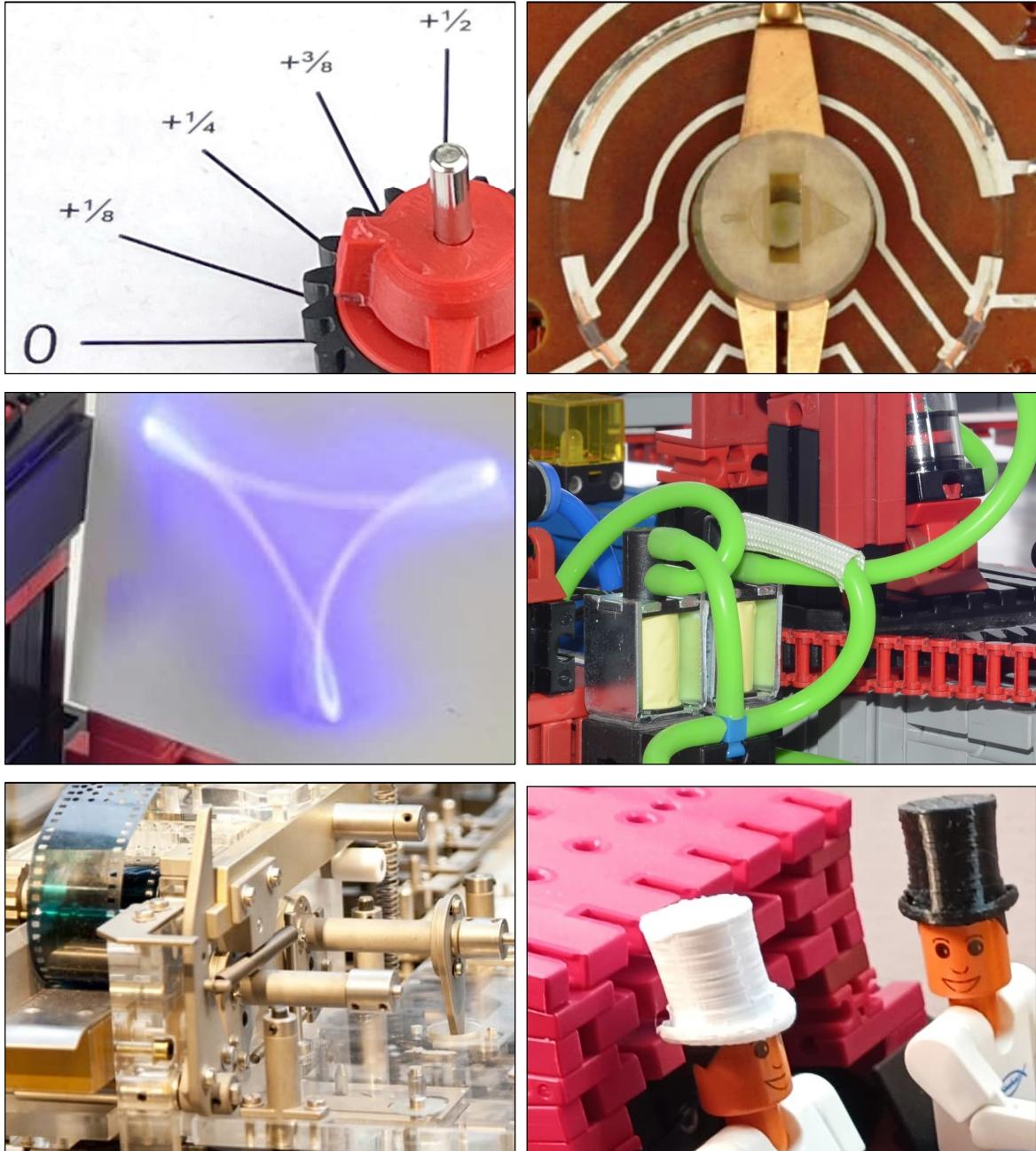


ft:pedia

Heft 1/2023



Herausgegeben von
Dirk Fox und Stefan Falk

ISSN 2192-5879

Editorial

Hard Soft Skills

Gute Techniker, Ingenieure und Informatiker müssen ihr Handwerk verstehen – das steht außer Frage. Ohne Grundkenntnisse und -fertigkeiten entsteht kein Produkt und läuft kein Programm. Und mit tieferen Kenntnissen und größeren Fertigkeiten entsteht ein besseres Produkt oder Programm. Übung macht eben noch immer den Meister.

Das erleben wir bei jedem unserer fischertechnik-Modelle. Mit jeder Konstruktion steigt deren Qualität – und mindestens im gleichen Maße unser Anspruch an das Ergebnis. Dabei erfahren wir auch, dass ein Modell eigentlich nie fertig ist: Man kann es immer noch irgendwie besser, raffinierter und ausgetüftelter gestalten.

Das ist wie im echten Leben, und für „Jungingenieure“ auch eine sehr wichtige Erfahrung. Denn Produkt-Innovationen entstehen in erster Linie durch ständige Verbesserung. Dabei darf auch von anderen gelernt werden: Erst viele unterschiedliche Herangehensweisen an eine Aufgabenstellung, zahlreiche Experimente, Rückschläge (bei denen man lernt, wie und warum etwas *nicht* funktioniert) und clevere Detaillösungen führen zu einem befriedigenden Ergebnis.

Aber zur wahren Meisterschaft gehört noch eine Zutat, die auf diese Weise gar nicht so einfach zu erwerben ist. Denn im echten Leben muss, wer ein Produkt oder Programm auf den Markt bringen will, pünktlich zu einem vorab feststehenden Termin fertig sein. Jeder Techniker, Ingenieur und Informatiker weiß das – und hasst es, denn es bedeutet, etwas per Definition Unfertiges

Dirk Fox, Stefan Falk

als „fertig“ zu deklarieren und in einem einigermaßen zufriedenstellend funktionierenden Zustand „auszuliefern“.

Das gelingt nur, wenn man frühzeitig plant, strukturiert entwickelt, sich durch Rückschläge nicht entmutigen lässt – und vor allem: Prioritäten setzt und sich nicht in weniger wichtigen Details verzettelt. Das nennt man Projektmanagement. Und man lernt es nirgendwo nachhaltiger als in der Praxis.

Unsere jüngeren Fischertechniker können das erleben, wenn sie ein fischertechnik-Modell für eine Convention vorbereiten oder mit ihrer Konstruktion an einem Wettbewerb teilnehmen. Daher sind Angebote wie „Jugend experimentiert“, „Jugend forscht“ oder der internationale Robotik-Wettbewerb „RoboCup“ großartige Gelegenheiten um zu lernen, worauf es beim Projektmanagement ankommt – und zugleich eine steile Vorbereitung auf das „echte Leben“.

Weder Schulunterricht noch Studium können ein solches Lernerlebnis in dieser Form und Intensität bieten. Wer es erlebt hat, wird sich noch Jahrzehnte später eindrücklich daran erinnern.

Ermutigen wir also unsere Kinder, Schülerinnen und Schüler, sich solchen Herausforderungen zu stellen. Sie werden uns dafür ewig dankbar sein.

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

Hard Soft Skills	2
Benz Victoria.....	4
Bierdeckel-Weitwurf	5
Konrad Zuses mechanische Logikgatter	8
Ein Bild von einem Modell (1): Großer Portalkran 1967.....	13
Ein Bild von einem Modell (2): Großer Raupenkran 1969	20
Kugelspieler mit ftDuino	26
Neue ft-Teile selbst gemacht – 3D-Druck (7)	33
Ein kompaktes Uhrengetriebe mit Sekundenzeiger.....	43
Laserprojektion (1): Hypozykloiden	60
Kardanische Aufhängung.....	70
Flexures – Nachgiebige Mechanismen	74
Scheibenwischer.....	87
Fahrtregler (1): Vom Widerstandsdrat bis zur PWM	93
Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 10).....	101
V. I. P. – Ein I ² C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 4)	
.....	111
Einführung in ftScratch (5): Der Malrobooter.....	123

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Clubdag	06.05.2023	Veghel

Impressum

<http://www.ftpedia.de>

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

Autoren: Michael Biehl, Arnoud van Delden, Stefan Falk, Dirk Fox, Hans-Christian Funke, Christoph Hülsmann, Peter Krijnen, Thomas Püttmann, Rüdiger Riedel, René Trapp.

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

Modell

Benz Victoria

Michael Biehl

Ein paar Modelle habe ich auf Dauer in meinen Glasschrank verbannt. Unter anderen die Adler, die Dampfmaschine und die Dampfwalze. Und: mein Benz Victoria.

Als ich entdeckte, dass es einige Oldtimer-nachbauten von fischertechnik gibt, z. B. im Deutschen Museum, leider aber ohne Baupläne, stöberte ich im Internet und stieß auf ein Foto des Benz Victoria. Da habe ich mich selbst daran gemacht, ein einigermaßen maßstabsgerechtes Modell zu bauen.



Benz Victoria (1894)

Da ich mich gleich draufstürzte, habe ich nichts dokumentiert. Den Motorblock habe ich vom Dragster übernommen und habe einfach drum herum gebaut. Sogar erst mit dem V-Führerhaus als Dach. Aber ich fand dann doch, dass das Modell offen besser aussieht. Jetzt kam aber Schummeln ins Spiel. Da vorne keine Reifen von fischertechnik passten und ich ja versuchte, ein bisschen im Maßstab zu bleiben, habe ich ein 60er Speichenrad entworfen und mit dem 3D-Drucker ausgedruckt. Hat mir auch nicht gefallen, deshalb nochmal: ein 70er.



Abb. 2: Benz Victoria mit offenem ...

Da passen nun auch die alten 230er Raupenbänder mit etwas Acryl-Kleber drauf. Jetzt noch den AA-Akkublock verstecken: Also habe ich einen Kasten gebaut, der dem Motor ähnlich sieht. Zum Schluss kamen noch Zylinder und die Haare für die Damen.



Abb. 3: ... und geschlossenem Verdeck

Ich denke es ist ein schönes Model geworden – das natürlich auch im Glasschrank bleibt.

Modell

Bierdeckel-Weitwurf

Rüdiger Riedel

Wieder einmal übertreibt der Titel: Wir nehmen modellmäßige „Bierdeckel“, das sind Münzscheiben aus Pappe, und die Wurfweite beschränkt sich auf wenige Meter.

Tontaubenschießen

Angeregt von der Wurfmaschine beim Tontauben- oder Skeetschießen (*trap thrower*) habe ich das modellmäßig nachempfunden. Im Internet findet man zahlreiche Beispiele. Das Besondere gegenüber einem Katapult ist das gleichzeitige Erzeugen der Wurfgeschwindigkeit und der Drehbewegung, also der Rotation der Scheibe. Die Scheibendrehung ist entscheidend für eine gute Fluglage. Eine vergleichbare Kombination wird im Sport beim Diskuswurf erzeugt.

Die Energie für den Wurf wird in einer starken Schraubenfeder gespeichert und mit einer Kurbel über etwas weniger als 180° entladen. Für das Modell kommen als Federelemente die Flechtgummikordel ([122950](#)) und der Pneumatikschlauch aus Silikon ([122363](#)) zum Einsatz.

Die Wurfscheibenmaschinen sind dafür konstruiert, die Wurfscheiben oder Tontauben (*clay pigeon*) bis zu 100 m weit zu werfen. Sie können, wie unsere Modelle, einfach von Hand gespannt und von Hand ausgelöst werden. Modern sind aber elektrisch betriebene Maschinen, die auf Knopfdruck ausgelöst werden. Sie haben ein Magazin mit vielen Wurfscheiben darin.

Gemäß dem Reglement des Internationalen Schießsport-Verbandes (ISSF) hat die Wurfscheibe einen Durchmesser von 110 mm, eine Höhe von 25 mm und ein Gewicht von 105 g.

Wurfmaschine Typ 1

Die Kombination aus Nockenscheibe ([35466](#) oder [31038](#)), Metallachse 30 und Lenkwürfel-Zunge 22,5 ([31843](#)) ist robust genug, um die erforderlichen starken Zugkräfte aufzunehmen.



Abb. 1: Wurfmaschine Typ 1 ist wurfbereit

Das Gerüst der Wurfmaschine Typ 1 besteht aus einem 150 mm langen Aluprofil und als Füße hinten ein Baustein 30 und

vorne je zwei BS 30, BS 15 und Winkelträger 60. Ich verwende keine fischertechnik-Aluprofile, sondern Maker Beams von Stefan Roth mit passenden Endstücken [1]. In Abb. 3 und 4 sieht man hinten den BS 15 zur Aufnahme des Silikonschlauchs. Zur Versteifung habe ich einen Baustein 5 15 30 3N ([38428](#)) mit zwei Federnocken eingesetzt.

Vorne wird ein Baustein 15 mit Bohrung ([32064](#)) mit zwei Verbindern 45 ([31330](#)) verstärkt. Eine Achse 50 verbindet die Nockenscheibe und die Drehscheibe 60 ([31019](#)) mit ihren Flachnaben. Unter der Drehscheibe sorgt eine Klemmbuchse 5 ([37679](#)) für den richtigen Abstand.



Abb. 2: Wurfmaschine Typ 1 von unten

In Abb. 2 erkennt man das Einlegen des Schlauchs. Die Länge wird so gewählt, dass er im Ruhezustand nur leicht gespannt ist. Die Enden werden mit zwei Pneumatik-Stopfen ([31708](#)) gesichert.

Als Wurfplatte verwenden wir eine Bodenplatte 30 90 (z. B. [163433](#)), in die wir drei Schlauchanschlüsse D4 ([163204](#)) gemäß Abb. 5 einsetzen. Die Oberseite erhält drei Federnocken am Rand. Die Wurfplatte wird mit den zwei rechten Schlauchanschlüssen in Abb. 5 auf der Drehscheibe 60 befestigt.



Abb. 3: Wurfmaschine Typ 1 im Ruhezustand



Abb. 4: Wurfmaschine Typ 1 gespannt

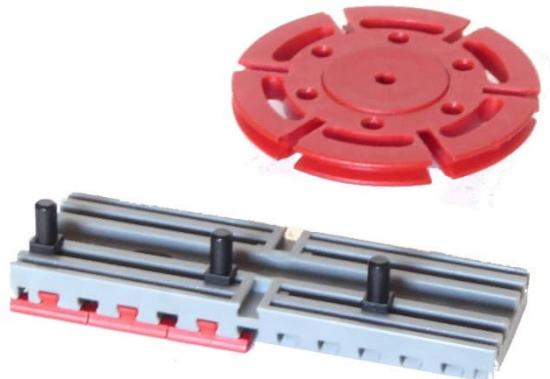


Abb. 5: Wurfplatte

Zwei Bausteine 15 werden auf das Aluprofil geschoben und darin eine Bauplatte 15 90 ([38245](#)). Wird die Wurfplatte von oben gesehen gegen den Uhrzeigersinn gedreht, dann soll der äußere Schlauchanschluss leicht an die Bauplatte anstoßen. Durch Drücken der Bauplatte wird der Wurf ausgelöst.

Die Flachnaben von Nockenscheibe und Drehscheibe sind sehr fest anzuziehen. Zum Spannen nicht an der Drehscheibe, sondern nur an der Nockenscheibe drehen.

Wurfmaschine Typ 2

Für das Gerüst nehmen wir zwei U-Träger 150 ([32854](#)) und als Federelement die Flechtgummikordel. Alles Weitere ergibt sich aus den Abbildungen.



Abb. 6: Wurfmaschine Typ 2 von oben



Abb. 8: Wurfmaschine Typ 2 von der Seite im Ruhezustand



Abb. 9: Wurfmaschine Typ 2 von der Seite, gespannt

Für unser Modell eignen sich auch die Plastikscheiben der Einkaufswagen.

Referenzen

- [1] Stefan Roth: [fischerfriendsman.de](#).
- [2] Deutscher Schützenbund: [Flintendisziplinen](#)



Abb. 7: Wurfmaschine Typ 2 von unten, Ruhezustand

Modell

Konrad Zuses mechanische Logikgatter

Thomas Püttmann

Konrad Zuse baute im Jahr 1937 mit der Z1 den ersten frei programmierbaren Rechner. Er rechnete im Binärsystem. In ihm kamen mechanische Logikgatter zum Einsatz. Dabei handelte es sich um getaktete Logik, d. h. der Ausgang reagiert nicht direkt auf die Eingänge, sondern verändert sich erst durch und während eines Taktimpulses. Wir verdeutlichen mit einer Handvoll Grundbausteinen, wie diese genialen Gatter funktionieren.

Zuse und die Z1

Konrad Zuse (1910-1999) war nach eigenen Aussagen zu faul zum Rechnen. Aus diesem Grund verwandelte er im elterlichen Wohnzimmer von 1936 bis 1938 eine Tonne Stahlblech in den ersten frei

programmierbaren Rechner der Welt. Offensichtlich waren er, seine Familie und Freunde nicht zu faul dazu, die erforderlichen tausende Aussparungen in die Bleche zu sägen.

Die Z1 wurde von einem einzigen Motor angetrieben, dessen Antriebskraft für das



Abb. 1: Konrad Zuse und sein Nachbau der Z1 (Stiftung Deutsches Technikmuseum CC0)



Abb. 2: Sicht auf die Programmleseeinheit (Stiftung Deutsches Technikmuseum CC0)

Schieben der unterschiedlichen Bleche verteilt werden musste. Nach Zeugenaussagen machte die Apparatur einen Höllenlärm. Die Bleche neigten zwangsläufig zum Verklemmen.

Getaktete Logik

Konrad Zuse lehnte die mechanischen Gatter der Z1 an die ihm bekannten elektromagnetischen Relais an und baute daher von vorne herein getaktete Gatter. Bei diesen Gattern reagieren die Ausgänge nicht direkt auf Änderungen an den Eingängen. Erst während eines Taktimpulses wird der Ausgangszustand anhand der Eingangszustände ermittelt.

Das Taktblech und das Ausgangsblech eines Gatters bewegen sich in einer Flucht. Die Eingänge des Gatters bewegen sich dagegen in einer um 90° verdrehten Richtung. Ein oder mehrere *Kopplungsbleche* sorgen dafür, dass sich das Ausgangsblech mit dem Taktblech bewegt oder

nicht, je nach Stellung der Eingänge. In Abb. 4 ist das Modell eines UND-Gatters dargestellt.

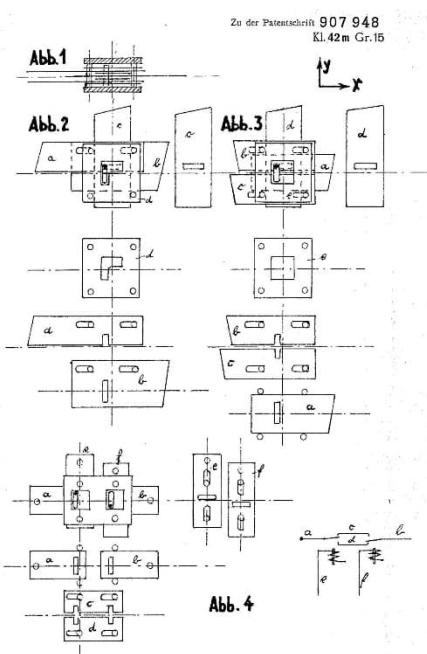


Abb. 3: Aus der Patentschrift aus dem Jahr 1936 (Quelle: Wikipedia, gemeinfrei)

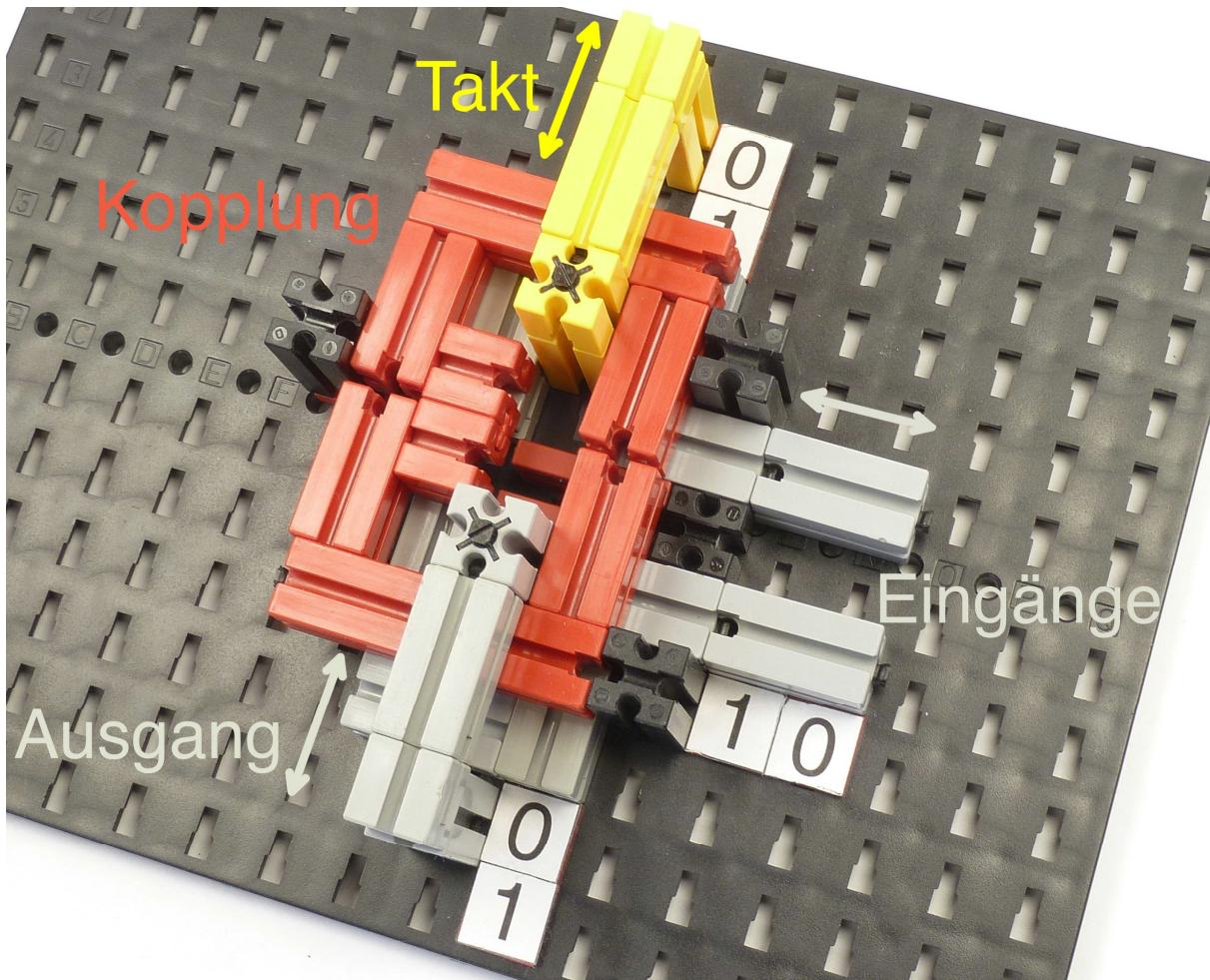


Abb. 4: Das Modell eines UND-Gatters

Funktion

In Abb. 4 sind beide Eingänge in der Stellung 0. Bewegt sich das „Taktablech“ von 0 auf 1, so bewegen sich die vertikalen gelben Bausteine in eine Aussparung des Kopplungsblechs. Das Kopplungsblech und das Ausgangsblech werden also nicht mit dem Taktimpuls bewegt.

In Abb. 5 ist der obere Eingang 0 und der untere 1. Genau wie in Abb. 4 bewegt sich das Kopplungsblech nicht mit dem Taktblech.

In Abb. 6 ist der obere Eingang 1 und der untere 0. Jetzt wird zwar das Kopplungsblech mit dem Taktablech bewegt, aber der Ausgang bewegt sich nicht mit dem Kopplungsblech.

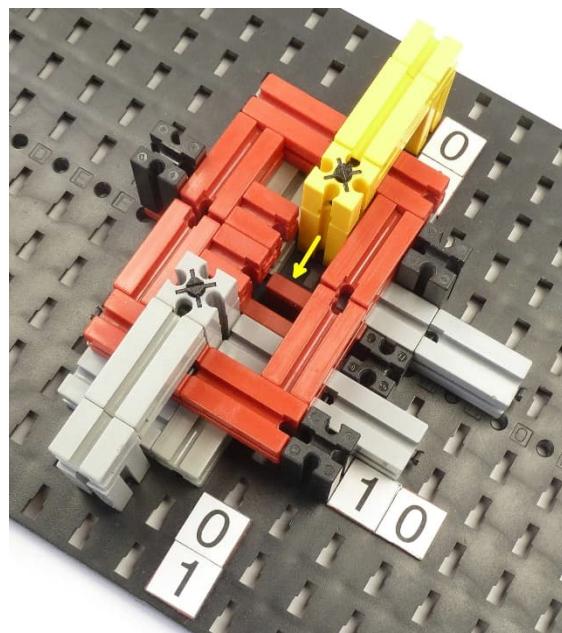


Abb. 5: Das Kopplungsblech bewegt sich nicht mit dem Takt

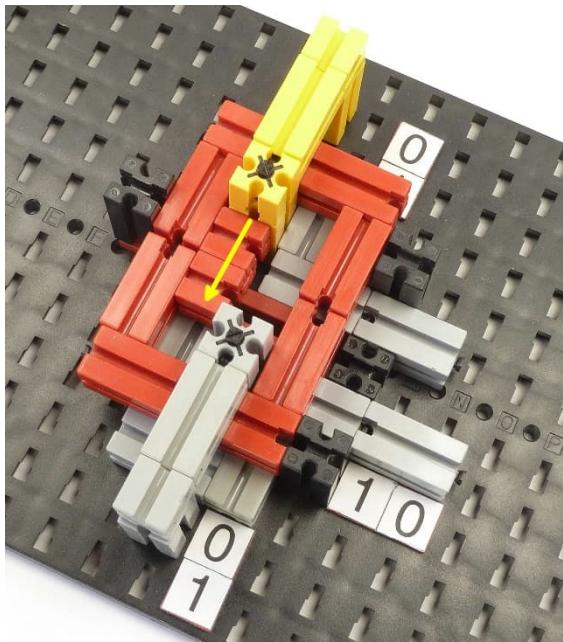


Abb. 6: Der Ausgang bewegt sich nicht mit dem Kopplungsblech

In Abb. 7 schließlich sind beide Eingänge 1 und die Bewegung des Taktblechs wird auf das Ausgangsblech übertragen.

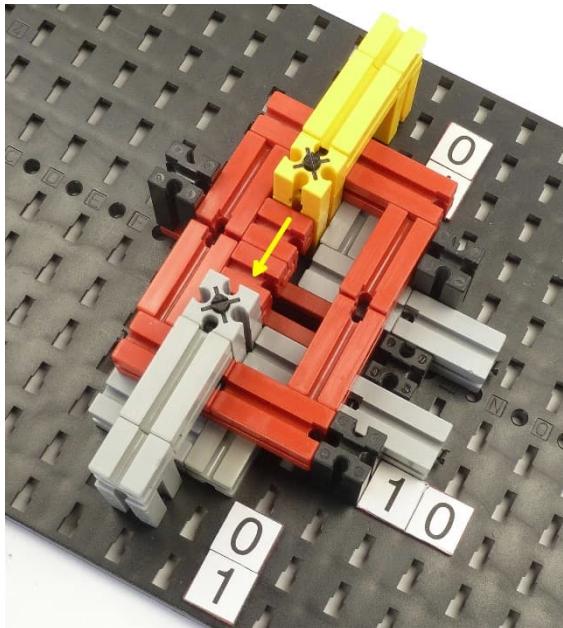


Abb. 7: Takt, Kopplungsblech und Ausgang bewegen sich verkoppelt

Bauanleitung

Baue zunächst die Führungssteine auf die Grundplatte 500. Damit die „Bleche“ nicht festgeklemmt werden, lass an den gekennzeichneten Stellen etwas Spiel.

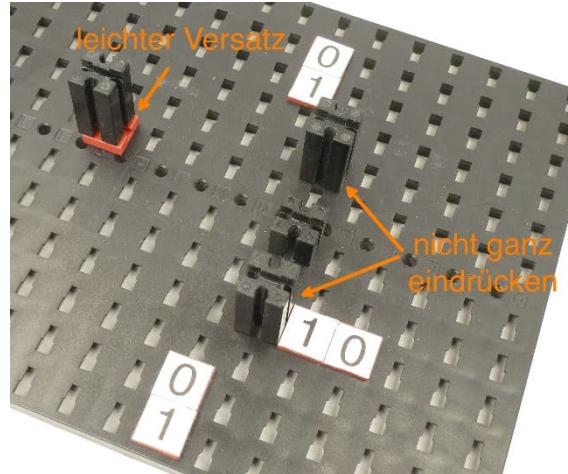


Abb. 8: Die Achse des Schlagrads mit Z40

Auch bei den Eingangsblechen musst du etwas Spiel lassen, sonst können sich das Takt- und das Ausgangsblech nicht bewegen.

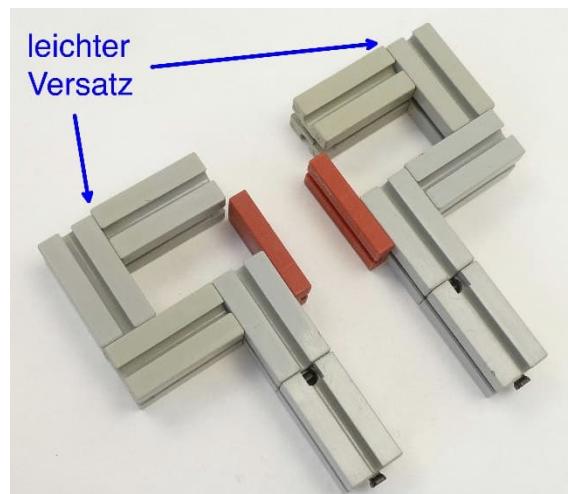


Abb. 9: Die Eingangsbleche

Beim Kopplungsblech verbindest du zunächst zwei Bausteine 15 mit einem Verbindungsstück 15. Dadurch kannst du zwischen den angebauten Bausteinen 30 einen kleinen Spalt lassen. Der Spalt sorgt dafür, dass die Lücken neben den Bausteinen 15 groß genug sind, so dass das Takt- bzw. das Ausgangsblech hinein passen.

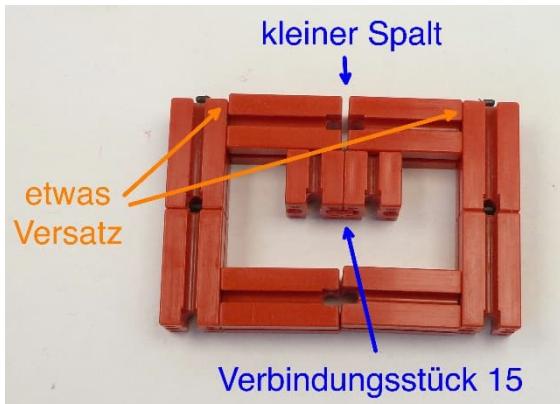


Abb. 10: Das Kopplungsblech

Die horizontalen Bausteine des Taktblechs und des Ausgangsblechs sollten minimal oberhalb des Kopplungsblechs liegen, damit keine unerwünschte Mitnahme erfolgt. Dazu kannst du sie mit leichtem Versatz nach oben an die vertikalen Steine einer Seite anbauen.

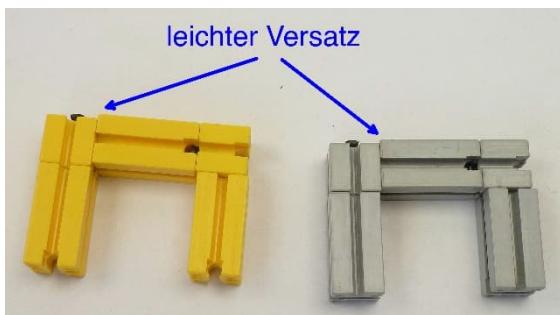


Abb. 11: Das Takt- und das Ausgangsblech

Jetzt brauchst du die Bleche nur noch aufeinander zu legen bzw. ineinander zu stecken, dann ist das UND-Gatter fertig.

Ausblick

Versuche doch einmal selbst, andere logische Funktionen wie ODER oder XOR mit passenden Kopplungsblechen zu erzeugen!

Für die XOR-Funktion benötigst du zum Beispiel zwei Bleche. Die Bausteine 15, die bei unserem UND-Gatter auf einer Seite saßen, wandern dabei auf verschiedene Seiten.

Wenn du dazu eine Anleitung suchst, empfehle ich das ausgezeichnet gemachte

Video *Konrad Zuses Addiermodell* von Michael Holzheu auf YouTube [1].

Auf dem gleichen Kanal gibt es auch das Video *Konrad Zuses Z1* [2], in dem die gesamte Architektur der Z1 erklärt wird.

Sehr empfehlenswert sind auch die Videos, die Klemens Krause vom Computermuseum der Universität Stuttgart zum Thema Z1 gemacht hat [3]. Sie geben einen detaillierten Einblick in das Innenleben des Nachbaus. Das Original wurde übrigens im Zweiten Weltkrieg zerstört.

Konrad Zuses mechanische Gatter waren ein Geniestreich. Mit ihnen konnte er sich auf günstige, aber arbeitsreiche Weise vergewissern, dass die Rechnerarchitektur, die er gefunden hatte, funktionierte.

Für große Maschinen waren seine Gatter aber nicht sehr geeignet. Umfangreichere Rechenfunktionen erfordern viele 90°-Drehungen und – damit verbunden – aufeinanderfolgende Takte. Die Drehbewegung des Motors musste in Schubbewegungen vieler einzelner Bleche verwandelt und in unterschiedliche Bereiche der Maschine transportiert werden. Die Z1 neigte daher zum Verklemmen und funktionierte nur unzuverlässig.

Ein Mitbau-Video zu unserem Modell findest du unter [4].

Quellen

- [1] Michael Holzheu: *Konrad Zuses Addiermodell*. Auf [YouTube](#), 2021.
- [2] Michael Holzheu: *Konrad Zuses Z1*. Auf [YouTube](#), 2020.
- [3] [YouTube-Kanal](#) des Computermuseums der Universität Stuttgart
- [4] Thomas Püttmann: [*Bau mit! Konrad Zuses mechanische Logikgatter*](#). Auf [YouTube](#), 2023.

Modell

Ein Bild von einem Modell (1): Großer Portalkran 1967

Stefan Falk

In den ersten DIN-A4-Bauanleitungen zu den fischertechnik-Grundkästen der 1960er Jahre finden sich neben Modellen für die Kästen fischertechnik 100, 200, 300 und 400 am Ende auch ein paar „Großmodelle“. Wohl kaum jemand hatte damals genug Bausteine, um sie nachzubauen, und da nur ein einziges Foto gezeigt wurde, kann man auch viele Details nicht sehen. Das rief (und ruft) nach Nachbauversuchen. Den Anfang macht der einfache, aber für damalige Zeiten große Portalkran von 1967/1969.

Worum geht's?

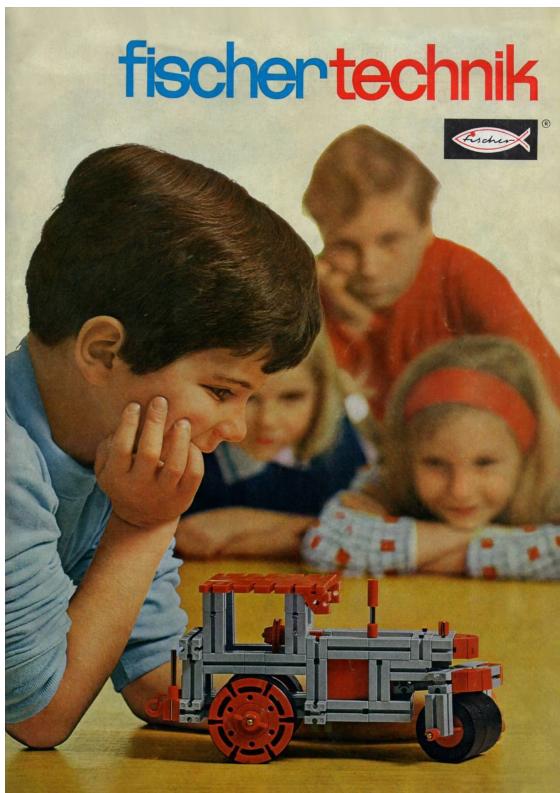


Abb. 1: Titelseite der Anleitung von 1967

Die Anleitung aus dem Jahr 1967 [1, 2] enthält auf Seite 30 ein einziges Foto eines Portalkranks (Abb. 3). Der ist – genügend viele Grundbausteine vorausgesetzt – leicht nachzubauen. Lediglich bei der Laufkatze

muss man etwas raten, was ich also versucht habe.

In der Fassung von 1969 [3] gibt es ein Foto des Portalkranks mit einer etwas aufwändiger gebauten Laufkatze (Abb. 6). Gegenstand dieses Beitrags ist aber die Fassung von 1967.

Der Nachbau



Abb. 2: Der nachgebauten Portalkran von 1967

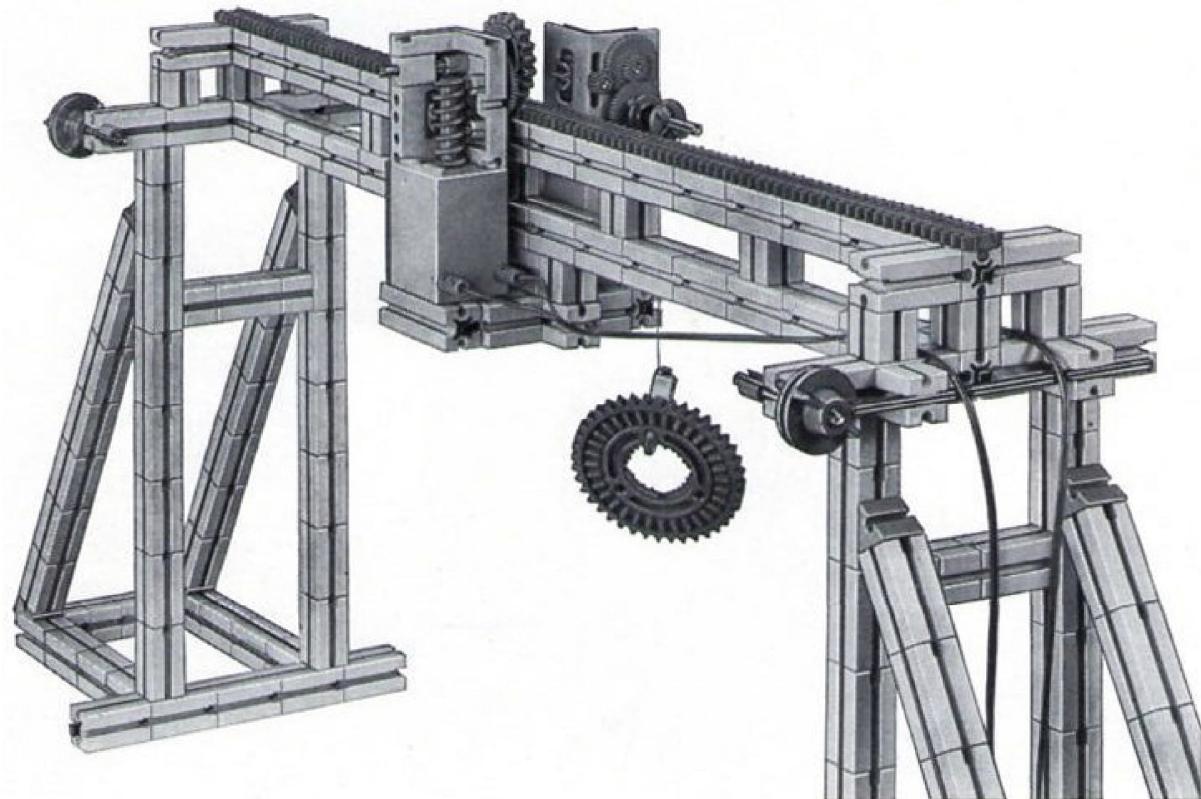


Abb. 3: Das Foto in der Anleitung von 1967

Der Bau des Gestells gelingt leicht. Da es noch nicht einmal die fischertechnik-Statik gab, braucht man nur wenige verschiedene Teile – nur von den Grundbausteinen eben für die damalige Zeit für mich als Kind unerreichbar viele.

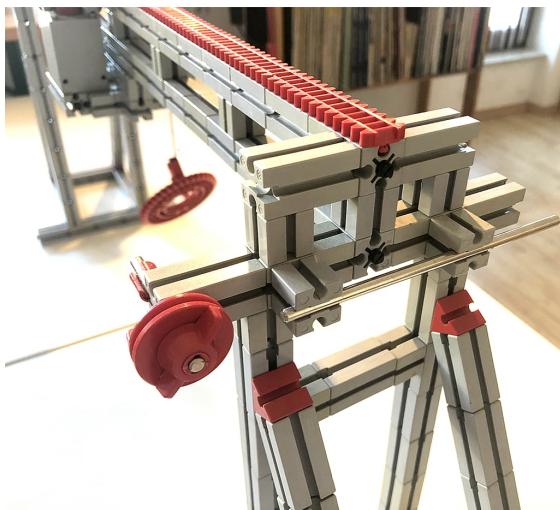


Abb. 4: Ein näherer Blick aufs Modell

Unten im Fuß sind *Winkelstein rechtwinklig* ([31012](#)) verbaut [4], die sich längst nicht

mehr im aktuellen Programm befinden. Zur Not können die aber durch normale Winkelsteine 30° ersetzt werden.

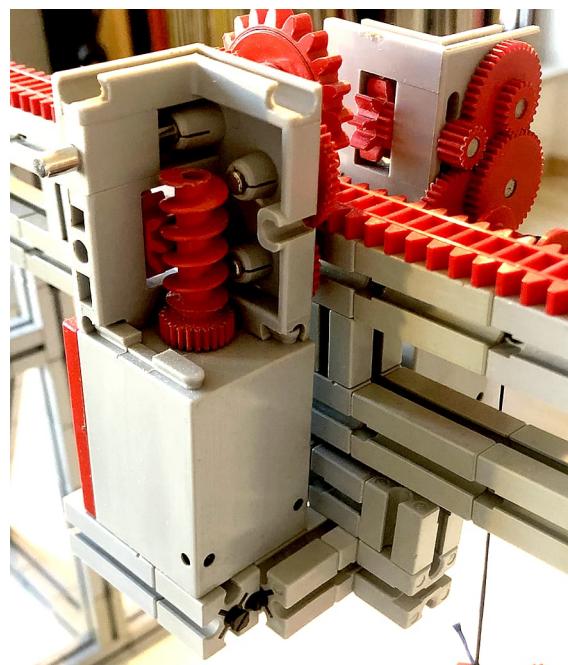


Abb. 5: Laufkatze (1)

Lediglich bei der Laufkatze muss ein wenig geraten werden, wie das 1967 wohl genau gebaut gewesen sein könnte. Es ist gut möglich, dass ich mich irre und es nicht richtig nachgebaut habe, aber soweit ich das erkennen kann, müsste die Laufkatze aufgebaut sein wie in Abb. 5, 7, 8 und 10.

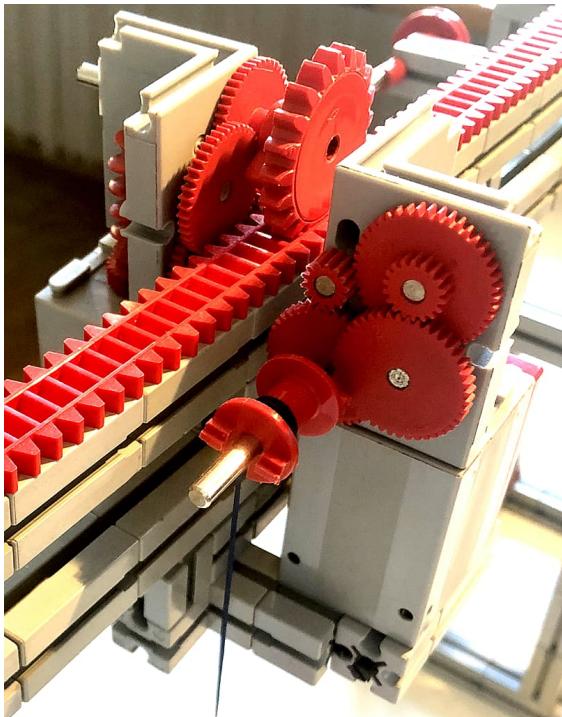


Abb. 7: Laufkatze (2)

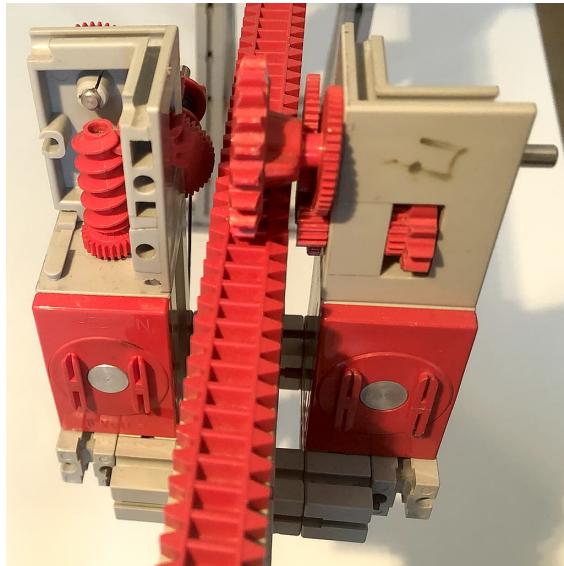


Abb. 8: Laufkatze (3)

Insbesondere die Unterseite gibt zu Spekulationen Anlass. Wie ich nach genauer Betrachtung des Fotos vermute, war sie gebaut, wie es Abb. 10 zeigt.

Wer mag, rate mit – und schreibe abweichende Vermutungen oder sogar belegbares Wissen ins fischertechnik-Forum. Wer weiß, welches Wissen „da draußen“ noch schlummert!

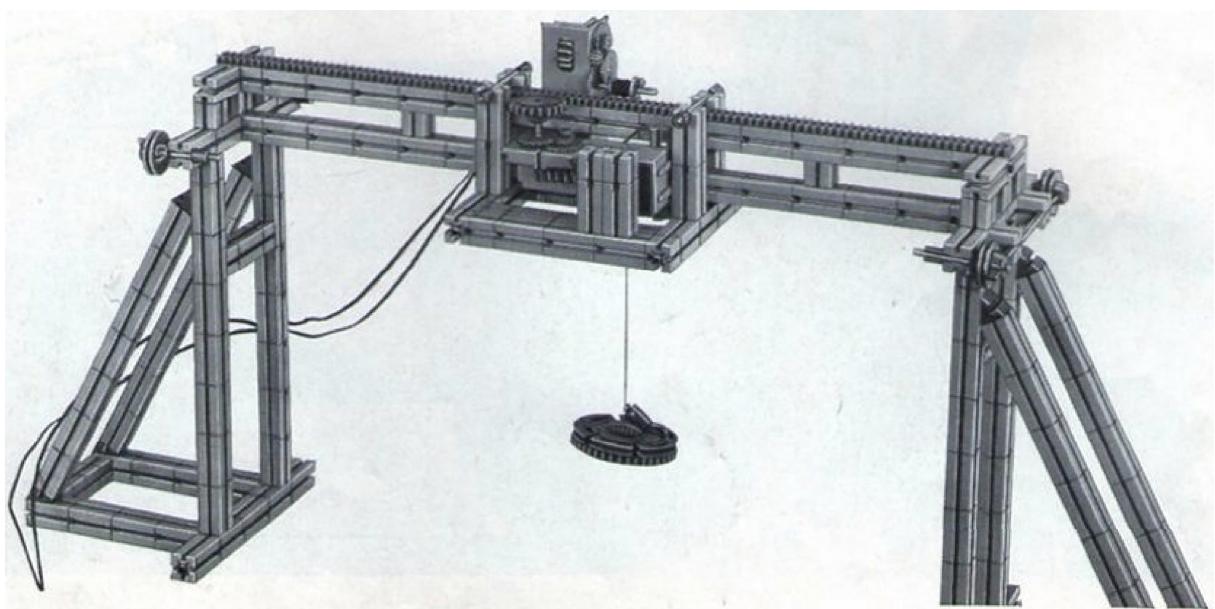


Abb. 6: Erweiterte Laufkatze aus der Anleitung von 1969

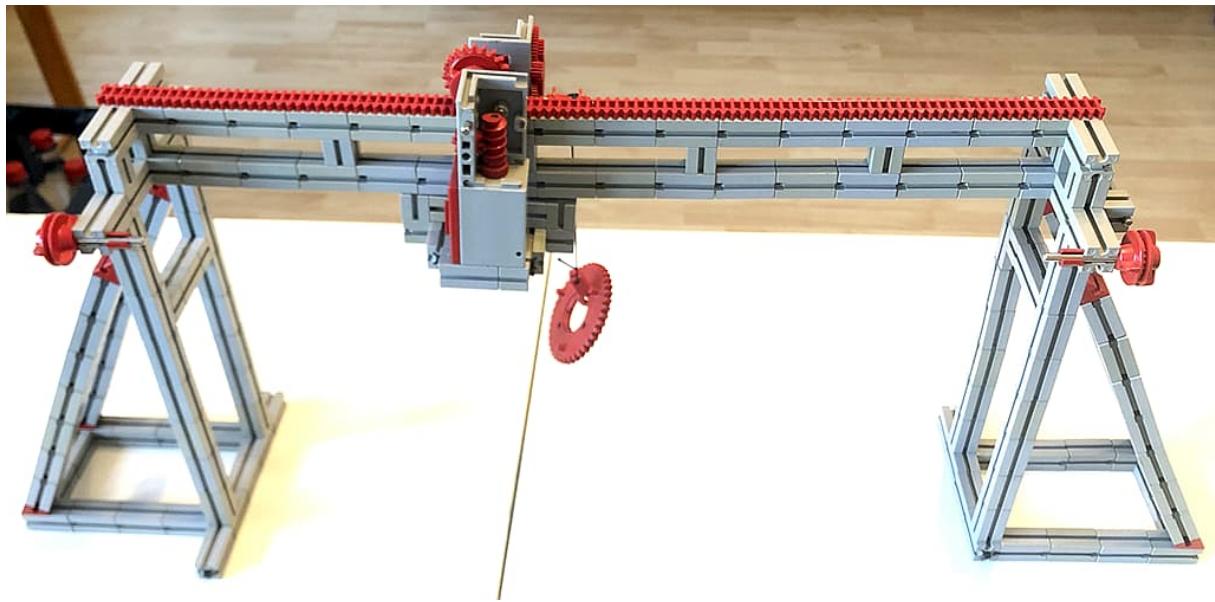


Abb. 9: Noch eine Gesamtansicht des Nachbaus

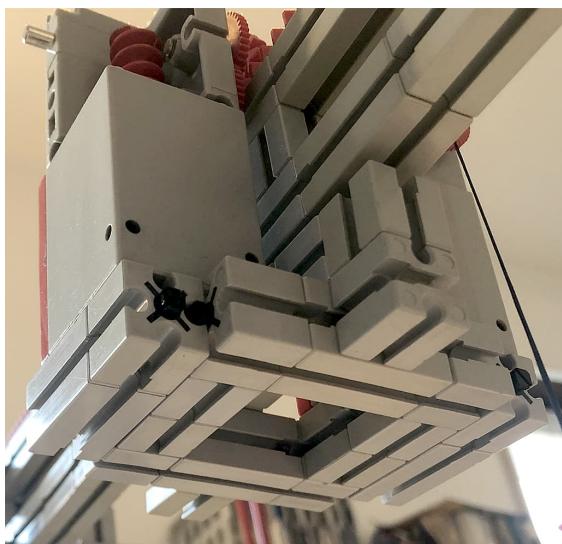


Abb. 10: Laufkatze (4) – die vermutete Unterseite

Designer-Datei

Ich habe meinen Nachbau auch in einer fischertechnik-Designer-Datei [5] erstellt. Die Datei steht als Download zu dieser ft:pedia-Ausgabe zur Verfügung [6].

Der Designer sagt, ich hätte 135 Grundbausteine 30 verbaut. Zum Vergleich: Der Ur-Grundkasten 100 enthielt acht davon, und der fischertechnik 400, der größte damals erhältliche Kasten, 34 Stück. Von dem hätte

man also vier gebraucht, plus zwei Motorkästen mot.1 und mot.2.



Abb. 11: Die erste Version des fischertechnik 100

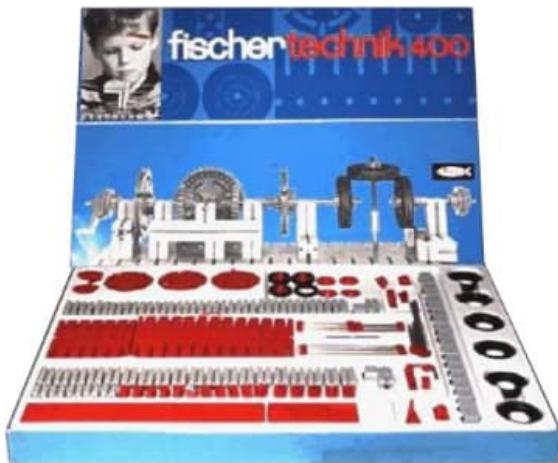


Abb. 13: Baukasten fischertechnik 400

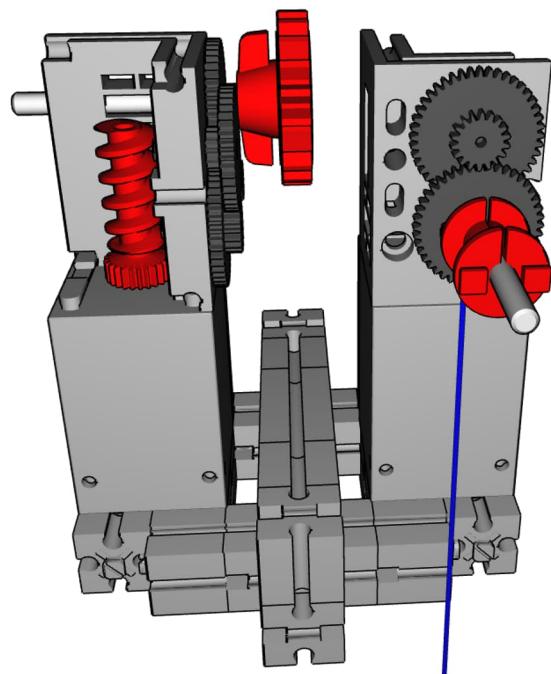


Abb. 14: Laufkatze im Designer (1)

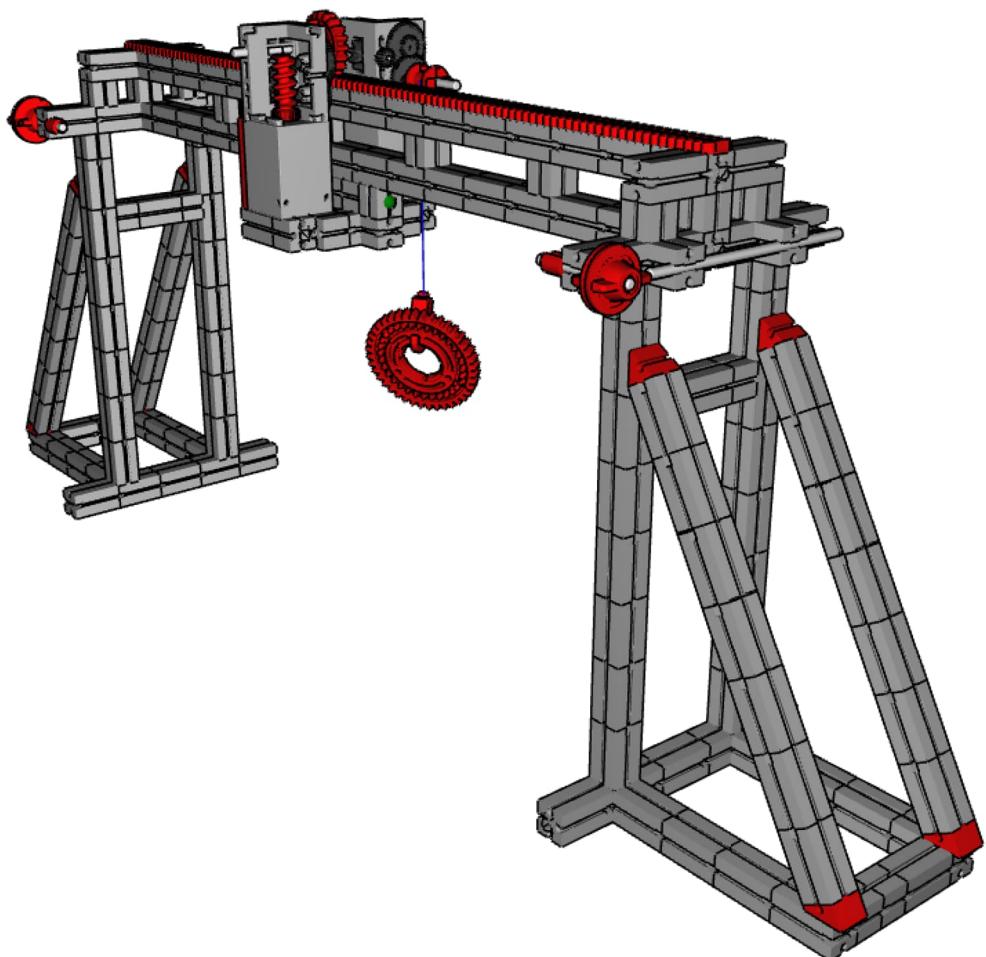


Abb. 12: Das Modell im fischertechnik Designer

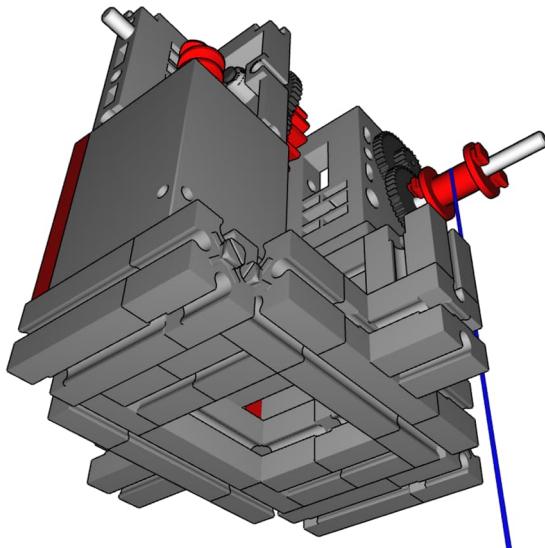


Abb. 15: Laufkatze im Designer (2)

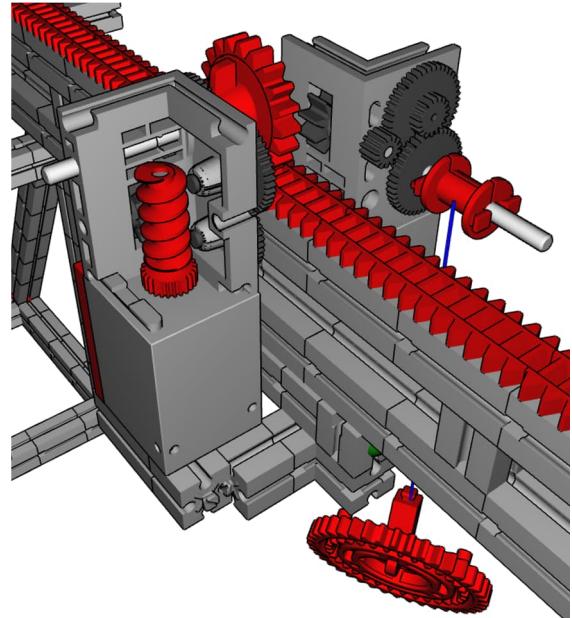


Abb. 16: Die Laufkatze auf der Zahnstange

Quellen

- [1] fischertechnik: Bauanleitungen der 1960er Jahre. In der [fischertechnik-Datenbank](#).
- [2] fischertechnik: Bauanleitung zu den Kästen ft 100, 200, 400 von 1967. Direkt-Link zum [PDF-Download](#) in der fischertechnik-Datenbank.
- [3] fischertechnik: Bauanleitung zu den Kästen ft 100, 200, 300, 400 von 1969. Direkt-Link zum [PDF-Download](#) in der fischertechnik-Datenbank.
- [4] Stefan Falk: *Perlentauchen (Teil 1)*. [ft:pedia 3/2012](#), S. 11–18.
- [5] Michael Samek: *fischertechnik Designer*. Auf [3dprofi.de](#).
- [6] Stefan Falk: *Portalkran 1967*. Download zu diesem Beitrag auf der [ft:pedia-Website](#).
- [7] Roland Enzenhofer: *Wie alles begann*. [ft:pedia 1/2020](#), S. 4–9.

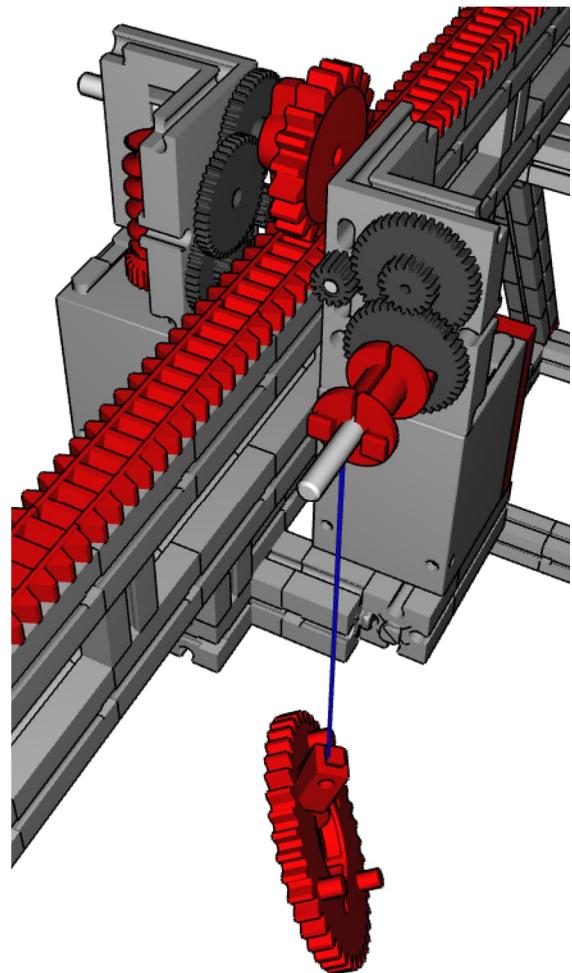


Abb. 17: Die Seilrollen-Seite der Laufkatze

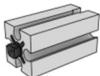
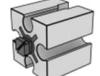
	31003 135 x		31048 2 x
	31006 23 x		32915 2 x
	31005 17 x		32916 1 x
	31012 4 x		31050 2 x
	31010 4 x		31021 1 x
	31053 8 x		35031 1 x
	31033 2 x		31016 1 x
	35030 2 x		31025 1 x
	31058 3 x		31022 1 x
	31023 2 x		
	31031 1 x		
	31039 2 x		

Abb. 18: Stückliste laut fischertechnik Designer

Modell

Ein Bild von einem Modell (2): Großer Raupenkran 1969

Stefan Falk

In den ersten DIN-A4-Bauanleitungen zu den fischertechnik-Grundkästen der 1960er Jahre finden sich neben Modellen für die Kästen fischertechnik 100, 200, 300 und 400 am Ende auch ein paar „Großmodelle“. Wohl kaum jemand hatte damals genug Bausteine, um sie nachzubauen, und da nur ein einziges Foto gezeigt wurde, kann man auch viele Details nicht sehen. Das rief (und ruft) nach Nachbauversuchen. In Teil 2 versuche ich mich am großen Raupenkran von 1969.

Worum geht's?

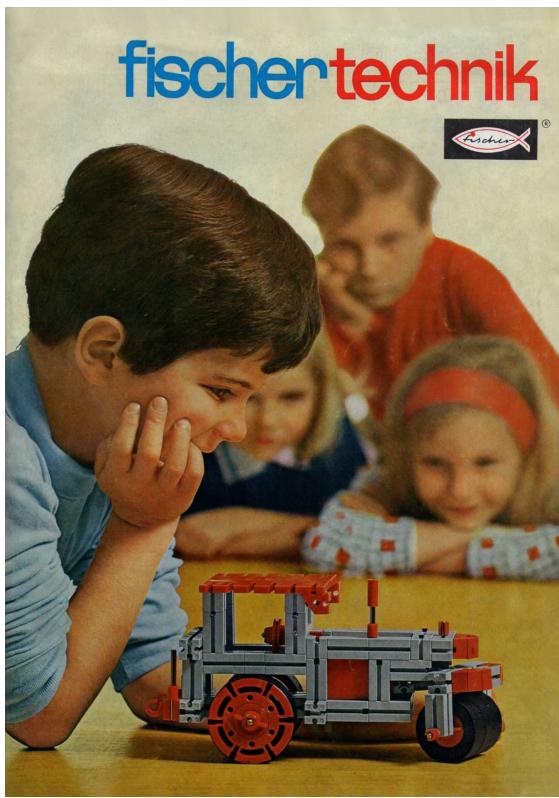


Abb. 1: Titelseite der Anleitung von 1969

Die Anleitung aus dem Jahr 1969 [1, 2, 3, 4] enthält auf Seite 34 ein einziges Foto eines Raupenkrans (Abb. 3). Abgesehen davon, dass man einen Haufen Grundbausteine braucht – Statik gab es noch nicht! – sind im Modell zwei Motoren mot.1 und ein

mot.2 verbaut. An einigen Stellen muss man, außer genau hinzusehen, auch ganz schön raten, wie die Sache wohl gebaut gewesen sein könnte. Vor allem die Unterseite des Fahr-Antriebs bleibt auf dem Bild ein Mysterium. Beim Nachbau – wir werden es noch sehen – kam eine gänzlich unerwartete und sehr seltsame Überraschung ans Tageslicht. Die verrate ich später noch.

Der Nachbau

Genau das macht aber den Reiz aus, dieses Modell doch einmal nachzubauen. Im ftc-Chat diskutierten wir, wie wohl der Antrieb unten gestaltet sein könnte – da, wo man es auf dem Bild eben nicht sieht.



Abb. 2: Ausschnitt aus dem Foto

Wir konnten uns keinen rechten Reim darauf machen, wie die mot.1 und mot.2

beim Fahrantrieb zu montieren sind. Irgendwie wollte es nie passen. Erst ein Nachbauversuch brachte die Lösung zu Tage:

Die spiegelverkehrte Aufnahme

Auf dem Foto in der Anleitung kann man – siehe den Ausschnitt in Abb. 2 – noch ganz gut erkennen, dass die obere Nut des mot.2-Getriebes und seine rechte Achsaufnahme (bei der Spitze der Motor-Schnecke) nahe beieinander liegen.

Wenn man das im Designer zusammenbaut und links und rechts spiegelverkehrt vertauscht, dann sieht es aus wie im Foto.

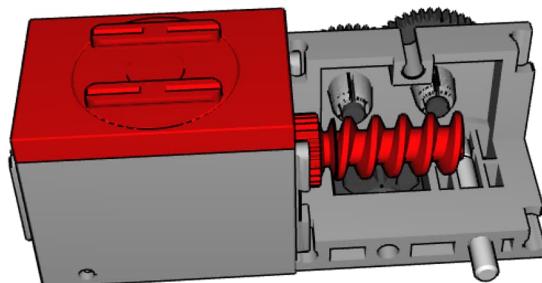


Abb. 4: Spiegelverkehrtes Bild – sieht aber aus wie auf dem Foto

Tatsächlich stellt sich das aber so dar:

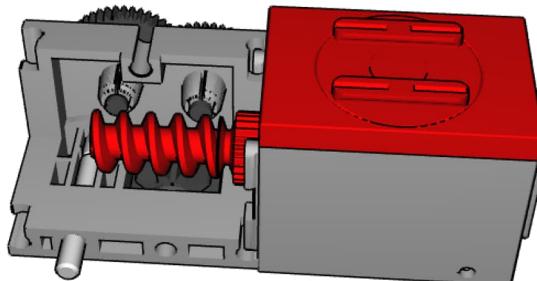


Abb. 5: So ist das Aufsteckgetriebe tatsächlich gebaut

Das Bild in der Anleitung muss also – man glaubt es kaum – spiegelverkehrt dargestellt sein! Das mot.2-Aufsteckgetriebe könnte man niemals so anordnen, dass sich das Bild des Fotos bzw. des Ausschnitts (Abb. 2) ergäbe!

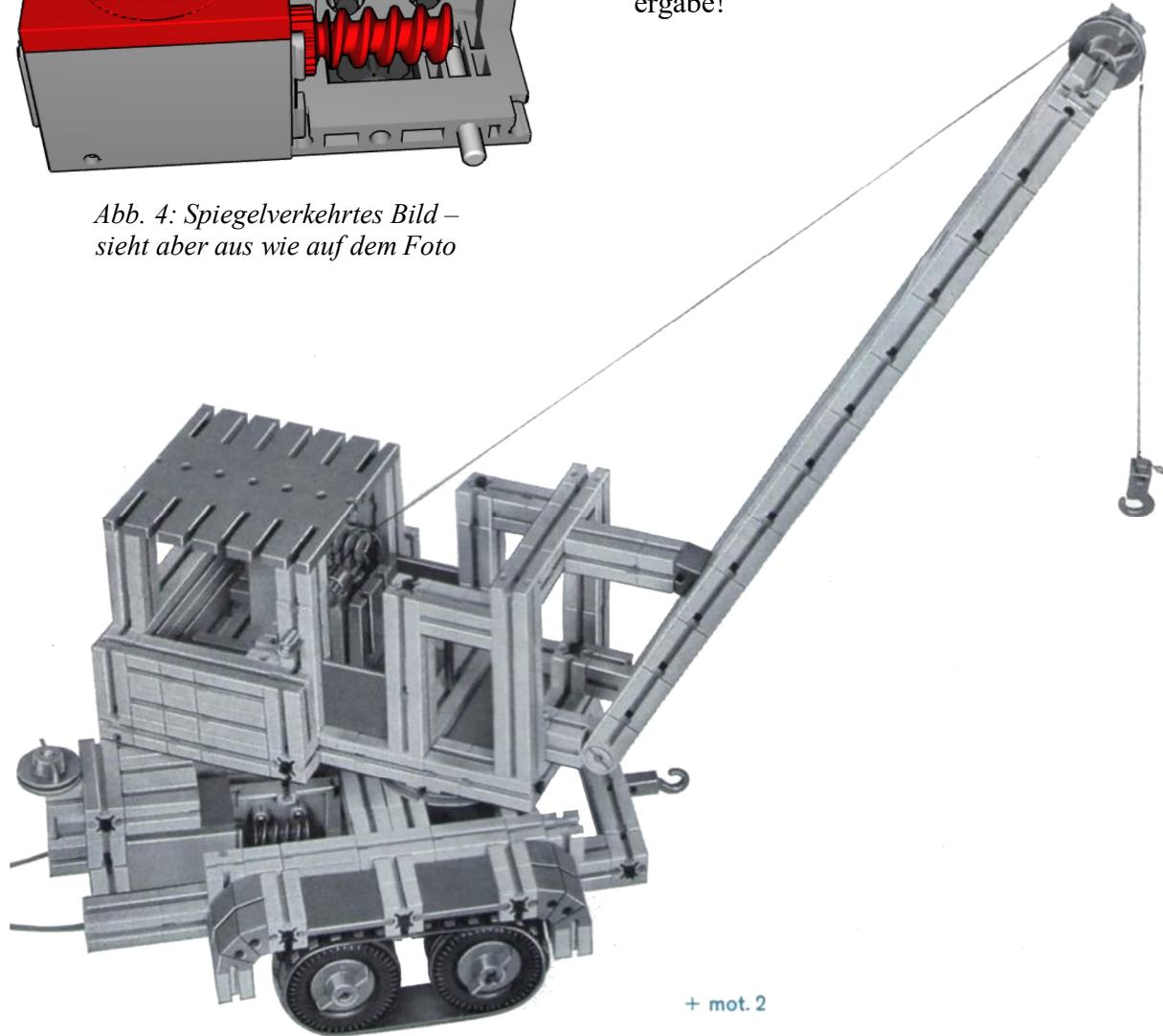


Abb. 3: Das Foto aus der 1969er Anleitung – mehr steht nicht zur Verfügung

Nachdem das klar war, konnte das Modell angegangen werden, und es klappte, wie Abb. 6 zeigt.

Das Fahrwerk

Die Breite des Modells lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit korrekt feststellen: Der Motor mitsamt Aufsteckgetriebe muss hinein passen. Außerdem dürfte der vorne am Fahrwerk angebrachte Haken wohl mittig sitzen.

Es ist auch klar, dass der Kranaufbau auf einer Drehscheibe mit einer senkrecht stehenden Achse ruht und gedreht werden kann. Die muss im Fahrwerk irgendwo gelagert sein, und da erscheinen mir mittig angebrachte Bausteine 30 mit Bohrung am besten zur Position des Aufbaus auf dem Foto zu passen – und zum damaligen Zeitgeist bei fischertechnik (Abb. 6).

Spannender ist die Unterseite. Wie geht die Kraftübertragung vom Motor zu welchen

Achsen? Und wie sind die Achsen überhaupt angebracht und gelagert? Was für Achsen sind es überhaupt?

Nach etwas Tüfteln bildete sich die Lösung aus Abb. 7 heraus. Ein paar bemerkenswerte Punkte – alle natürlich spekulativ, aber so gebaut funktioniert das Modell und ich kann keine Abweichung vom Originalfoto feststellen:

- Die Achsen sitzen vermutlich – wie fast alle Radachsen aller Modelle dieser Zeit – einfach in senkrecht nach unten ragenden Bausteinen 30.
- Ich sage, da stecken je eine Metallachse 110, eine Achskupplung 20 und eine Metallachse 60 in den Radachsen. Das ergibt die richtige Breite, um die Zwillingssreifen anzubringen, und man sieht – wie im Originalfoto – die Achsen gerade nicht mehr in den Radnaben.
- Damit sich die Achsen beim Fahren nicht aus den Kupplungsstücken heraus

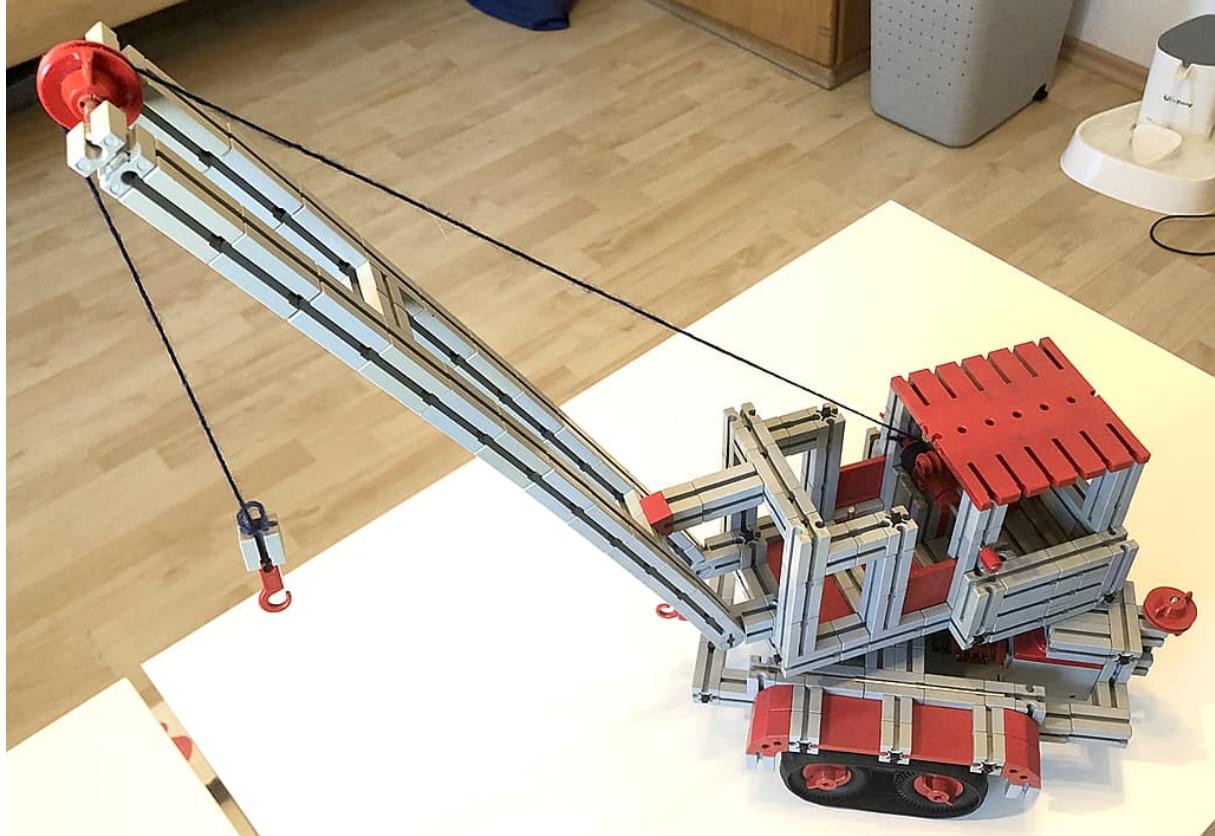


Abb. 6: Der nachgebaute Kran – so rum, wie man ihn nur bauen kann

arbeiten, sind die vordere und die hintere Achse möglicherweise auch im Original mit einer Haltestange aus einigen Bausteinen verbunden. Ohne sie würde der Kran nicht lange fahren können, weil sich seine Achsen lösen würden. Die Haltestange kommt auch nicht mit dem Antrieb ins Gehege, und genug Bodenfreiheit bleibt auch.

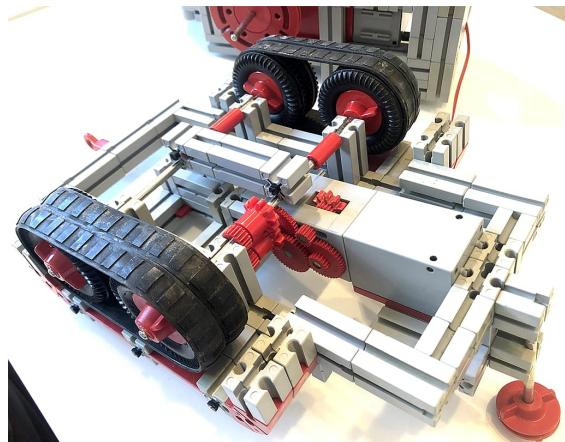


Abb. 7: Schrägansicht der Fahrwerks-Unterseite

- Die inneren Reifen sitzen auf normalen Nabens (35030, aktuell nicht mehr im Programm), die äußereren auf Flachnaben.
- Der Antrieb dürfte einfach ein Ritzel Z10 auf dem kurzen Stummel der kurzen mot.2-Einsteckachse sein, das wiederum einfach auf ein Z10 auf der Hinterachse wirkt.

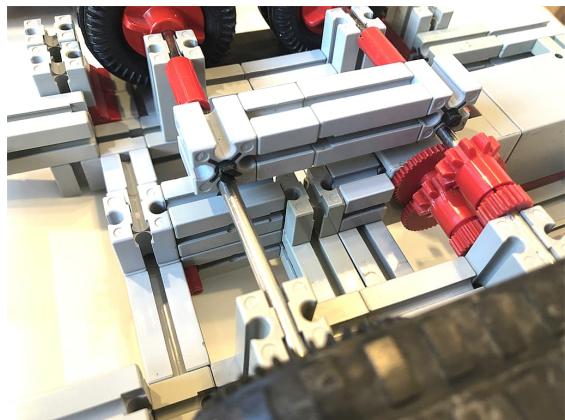


Abb. 9: Blick auf das zwar nur vermutete, aber zweckmäßige Verbindungsstück zwischen den Achsen

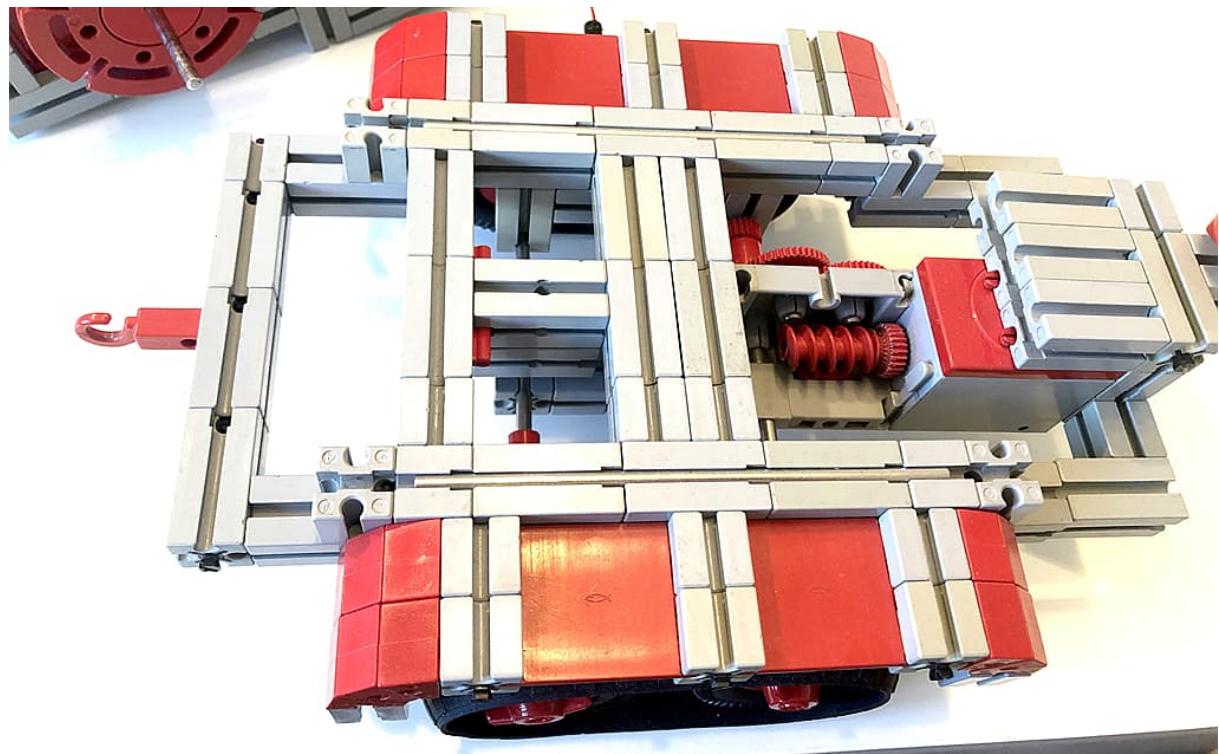


Abb. 8: Das Fahrwerk, gebaut wie vermutet, von oben gesehen

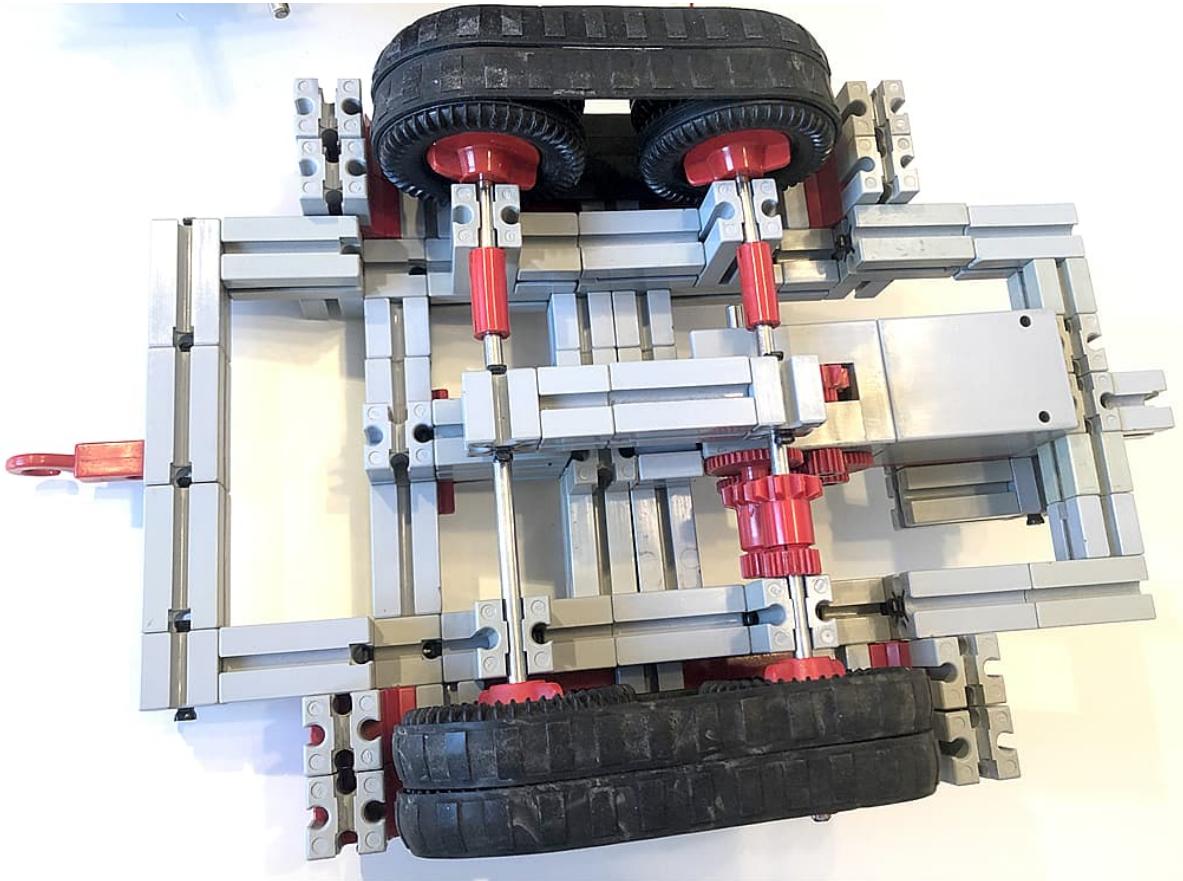


Abb. 11: Das Fahrwerk, wie vermutet gebaut, von unten gesehen

Bei weggedrehtem Kranaufbau erhält man einen guten Einblick von oben in den Antriebsblock:

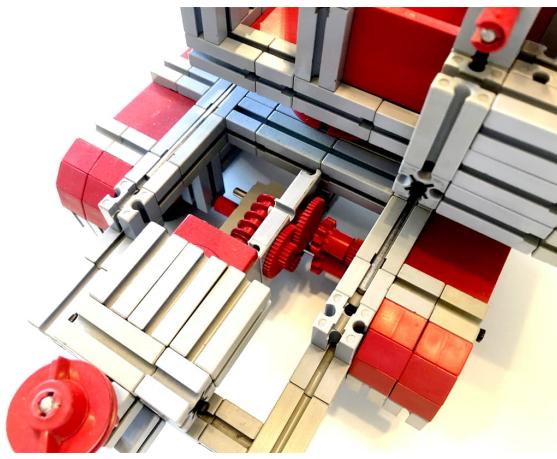


Abb. 10: Blick von oben in den Antrieb

Der Motor für den Seilantrieb steckt in der Kabine. Wo er ist, ist kein Boden, der ansonsten, wie die ganze Kabine, massiv aus jeder Menge Grundbausteinen besteht.

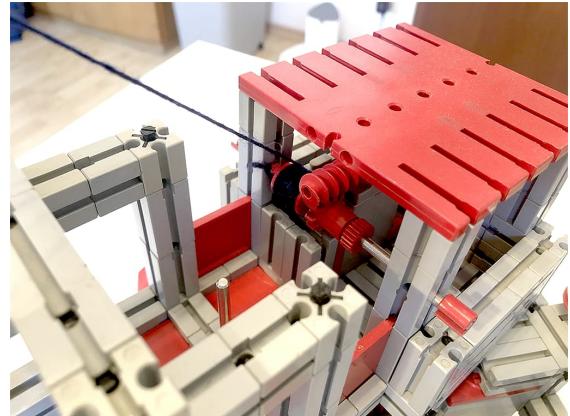


Abb. 12: Blick in die Kabinenfront mit dem Seilantrieb

Weitere Fotos finden sich unter [8] im ftc-Bilderpool.

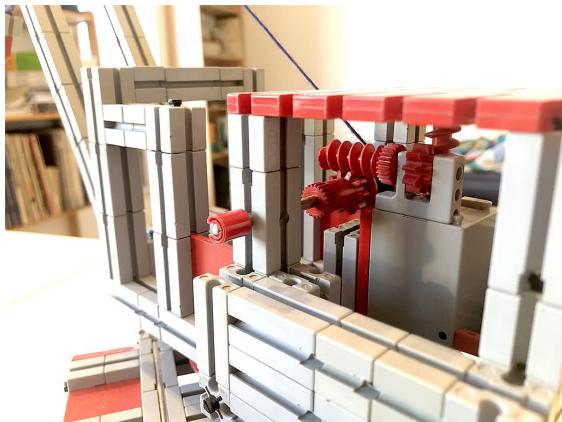


Abb. 13: Blick von der Seite in die Kabine

Designer-Datei

Zu diesem Nachbau gibt es eine fischertechnik-Designer-Datei [6, 7]. Darin können alle Baustufen – zumindest wie ich sie vermute und wie sie mindestens funktionsfähig sind – genau nachvollzogen werden.

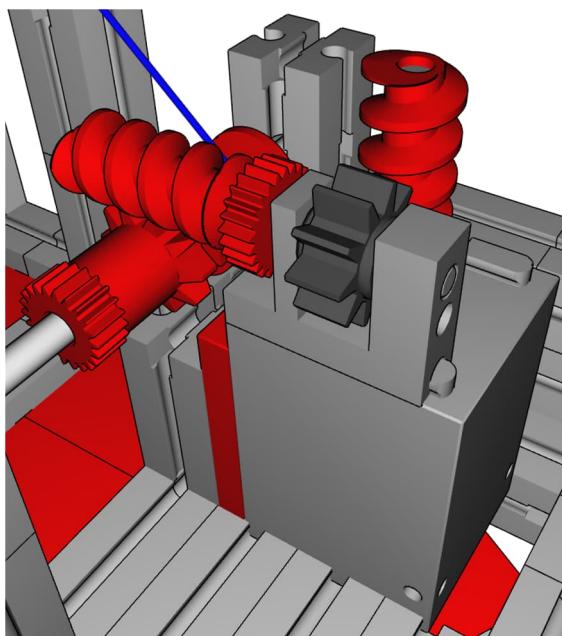


Abb. 14: Seilantrieb im Designer-Modell

Quellen

- [1] fischertechnik: Bauanleitungen der 1960er Jahre. In der [fischertechnik-Datenbank](#).
- [2] fischertechnik-Club NL: *Basis Dozen*. Bauanleitungen der Standard-Baukästen der frühen fischertechnik-Jahre.
- [3] fischertechnik: Bauanleitung zu den Kästen ft 100, 200, 300, 400 von 1969. Direkt-Link zum [PDF-Download](#) in der fischertechnik-Datenbank.
- [4] fischertechnik: Bauanleitung zu den Kästen ft 100, 200, 300, 400 von 1969. Direkt-Link zum PDF-Download auf docs.fischertechnikclub.nl. Dieser Scan ist höher aufgelöst als der aus [2].
- [5] Stefan Falk: *Perlentauchen (Teil 1)*. [ft:pedia 3/2012](#), S. 11–18.
- [6] Michael Samek: *fischertechnik Designer*. Auf [3dprofi.de](#).
- [7] Stefan Falk: *Portalkran 1967*. Download der Designer-Datei zu diesem Beitrag auf der [ft:pedia-Website](#).
- [8] Stefan Falk: *Großer Raupenkran 1969*. Nachbau des Modells im Bilderpool der ft Community, 2023.
- [9] Roland Enzenhofer: *Wie alles begann*. [ft:pedia 1/2020](#), S. 4–9.

Modell

Kugelspieler mit ftDuino

Christoph Hülsmann

Ich hatte fischertechnik Jahrzehnte auf dem Dachboden in einem Koffer abgestellt. Vor einigen Monaten habe ich den Schatz geöffnet! Vergessen habe ich den Koffer nie. Aktuell, die schlimmen Nachrichten gehen mir nah – das wiederentdeckte Hobby macht mir Freude. Jetzt gerade habe ich den fischertechnik-Kugelspieler konstruiert: Fünf Kugeln fallen und werden wieder zurück gebracht. Zu jedem der sieben mechanischen Zyklen ertönt ein spezieller Sound (mp3). Eine gesteuerte Spot-Lampe beleuchtet mechanische Ereignisse.

Ich habe Braun-Hi-Fi-Geräte [2] gesammelt. Da hatte ich dieses Ersatzteil in der Hand, ein Plattenspieler aus einer Braun-Kompaktanlage „Audio400“ aus dem Jahr 1975. Der 2,3 kg schwere Plattenteller, dreht wunderbar – irgendetwas mit Kugeln, die fallen, wieder automatisch aufgesammelt werden – die Idee war da, aus dem Plattenspieler wird ein Kugelspieler!

Gerade hatte ich zum ersten Mal einen 3D-Drucker erklärt bekommen – die Bewegungen, der Druck – ich schaue zu und freue mich, wie die Maschine arbeitet: Ästhetik in der automatischen Bewegung. In meinem neuen Modell sollen jetzt auch Schrittmotoren für Bewegung sorgen und zu jedem einzelnen Programmteil müsste ein Sound ertönen. Ich habe „Kraftwerk“ (Elektro-Pop) gewählt und sofort Sounds gefunden.

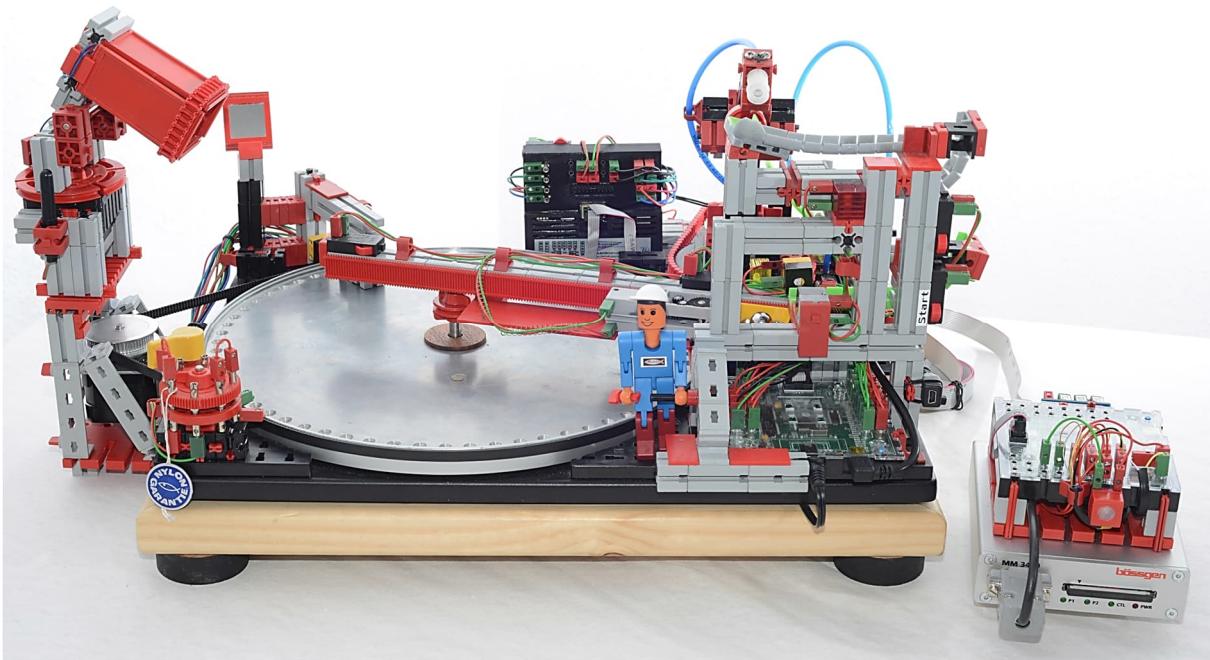


Abb. 1: Gesamtansicht

Das Video unter [1] zeigt das Modell und macht seine Funktionsweise anschaulich.

Als erstes habe ich für das Plattenspieler-Chassis einen Holzrahmen gebaut. Die federnde Lagerung des Chassis ist erhalten geblieben. Dann wurde seitlich einen Stepper angebracht. Die Kraftübertragung erfolgt über die Zahnriemenscheibe (60 Zähne) auf den Zahnriemen (1000 mm) zum Kugelteller. Auf die freien Chassis-Flächen habe ich fischertechnik-Grundplatten angepasst und aufgeschraubt.



Abb. 2: Spotlampe und Reedkontakt

Fünf Kugeln werden ins Zentrum gefahren und fallen aus der gelben Box auf den sich drehenden Teller. Sie durchlaufen seriell die Lichtschranke, rollen dann weiter zielgenau zur definierten Tellerübergabestelle.

Dies passiert nach dem Scannen durch die Lichtschranke sehr präzise. Die Sauggreifer-Position an der Tellerübergabestelle ist durch die Programmierung von zwei Schrittmotoren eingestellt, A für Tellerantrieb und B für Greifarmdrehung. Zum Heben der Kugeln sind zwei pneumatische Kreise mit zwei Ventilen und einem Kompressor programmiert.



Abb. 3: Spotlampe, Reedkontakt und Spiegel



Abb. 4: ftDuino vorne rechts

Mit einer Standbohrmaschine sind die Lochsenkungen auf dem Teller hergestellt.

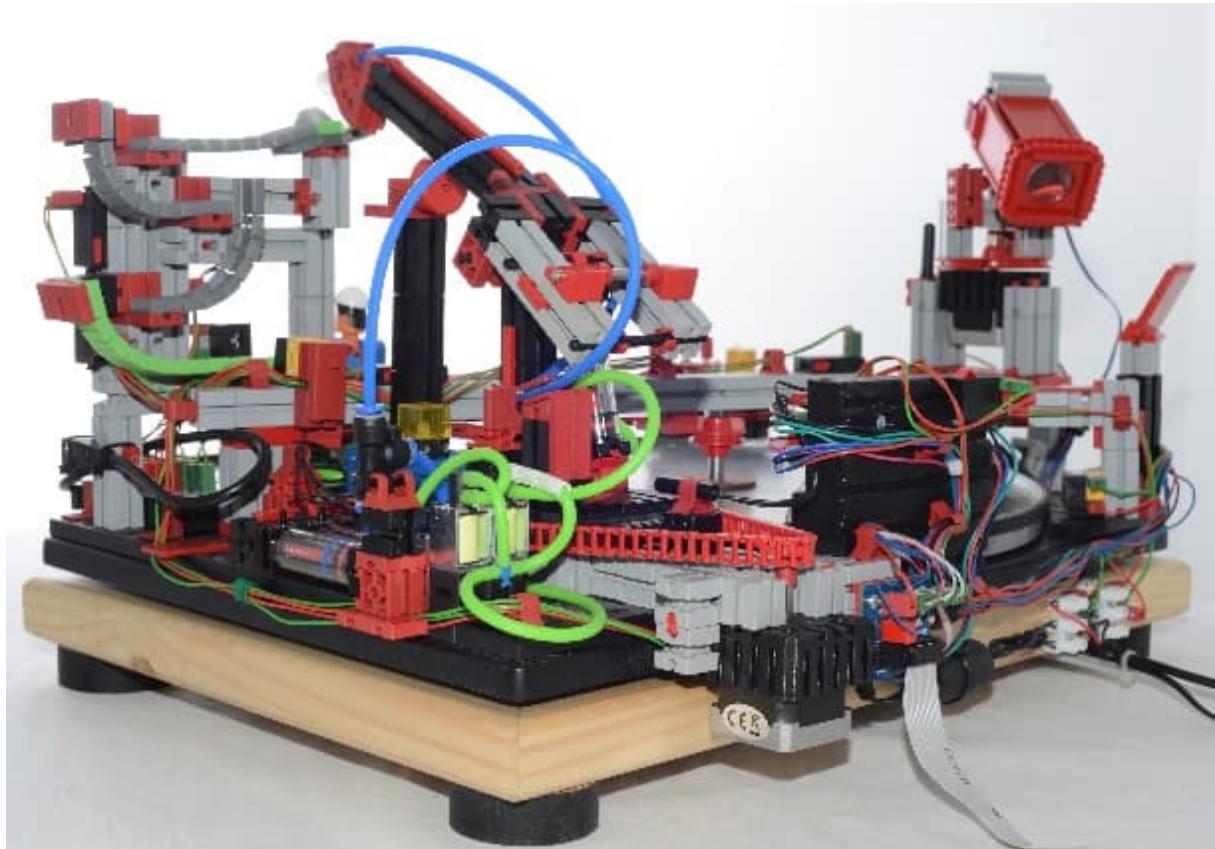


Abb. 5: Gesamtansicht von hinten rechts

Für das Gelingen der Abholbewegung sind genau gleiche Abstände zwischen ihnen nicht entscheidend. Wichtig ist das Einhalten des Maßes zur Mitte des Tellers. Bitte unbedingt den Anriss nur von dort messen.

Zwischen zwei in den Senkungen ruhenden Kugeln sollten 2 mm Abstand eingehalten sein. Wenn in dieser Situation eine Kugel vom Sauggreifer angezogen wird und der Greifarm nach oben schwenkt, sollten die Kugeln sich nicht berühren. Die gehobene Kugel könnte sonst dabei unkontrolliert fallen. Wenn sie auf dem Teller bleibt, ist alles gut.

Der Greifarm schwingt durch die Federkraft der freigegebenen Pneumatik-Zylinder nach oben. Er muss genau austariert sein, damit er sanft anschlägt, und am besten keinen oder nur einen sehr sanften Impuls auf die Kugel überträgt. Das Vakuum kann die Kugel sonst nicht halten. Die Einstellungen erfordern Geduld.



Abb. 6: Knebel mit Drehschalter vorne links

Die Figur vorne (Abb. 8) steht für uns alle, die Spaß, Arbeit und Freude mit fischertechnik haben – wie die Community. Der gelbe Knebel links ist mittels einer Motorachse mit dem fischertechnik-Drehschalter gekoppelt. Er stammt, wie Teller und Chassis, vom Braun-Plattenspieler und ist ein wichtiges Design aus der Braun-Hi-Fi-Welt der 1960er und (in Gelb) der 1970er Jahre.

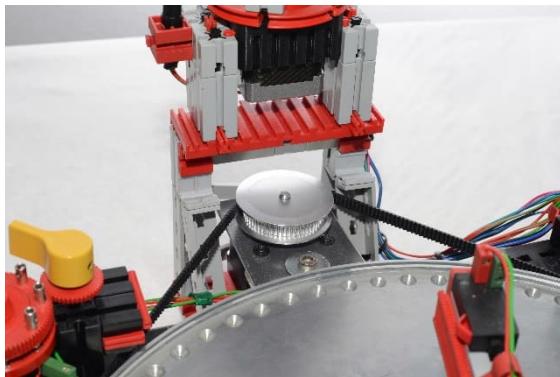


Abb. 7: Tellerantrieb mit Schrittmotor I7HS13

Der fischertechnik-Kugelspieler wird mit dem Knebel ein- und ausgeschaltet.

Sekundärseitig gibt es zwei Netzteile: ein 12-V-Netzteil versorgt die Schrittmotoren, die am ftPwrDrive angeschlossen sind; ein 9-V-Netzteil versorgt die fischertechnik, die am ftDuino angeschlossen ist.

Die programmierten Bewegungen, die ausgeführt werden, sind mit Sounds gekoppelt. Die mp3-Sounddateien werden von einem

Systemplayer der Firma Bässgen [3] abgespielt. Den Player konnte ich gebraucht kaufen. Er wird bzw. wurde in Museen oder auch z. B. Geisterbahnen eingesetzt.

Angesteuert wird der Player über einen zweiten ftDuino. Den Sketch dazu gibt es in der ftDuino-Bedienungsanleitung (ftDuino als Client). Jeder Sound, jede mp3-Ansteuerung im Player, belegt einen Output des Client-ftDuino. Im Web werden verschiedene andere Audioplayer angeboten, die digital ansteuerbar sind.

Die Programmierung der Minimotorfahrt ist auch aus der ftDuino-Anleitung von mir übernommen, findet sich dort im Sketch „Schranke“. Als Anfänger konnte ich viel aus der Begleitliteratur anwenden. Das war auch die Entscheidungshilfe, ich musste einen Controller auswählen – nicht einfach, wenn man keine Ahnung hat. Die Arduino-Umgebung und C++ waren mir völlig unbekannt.

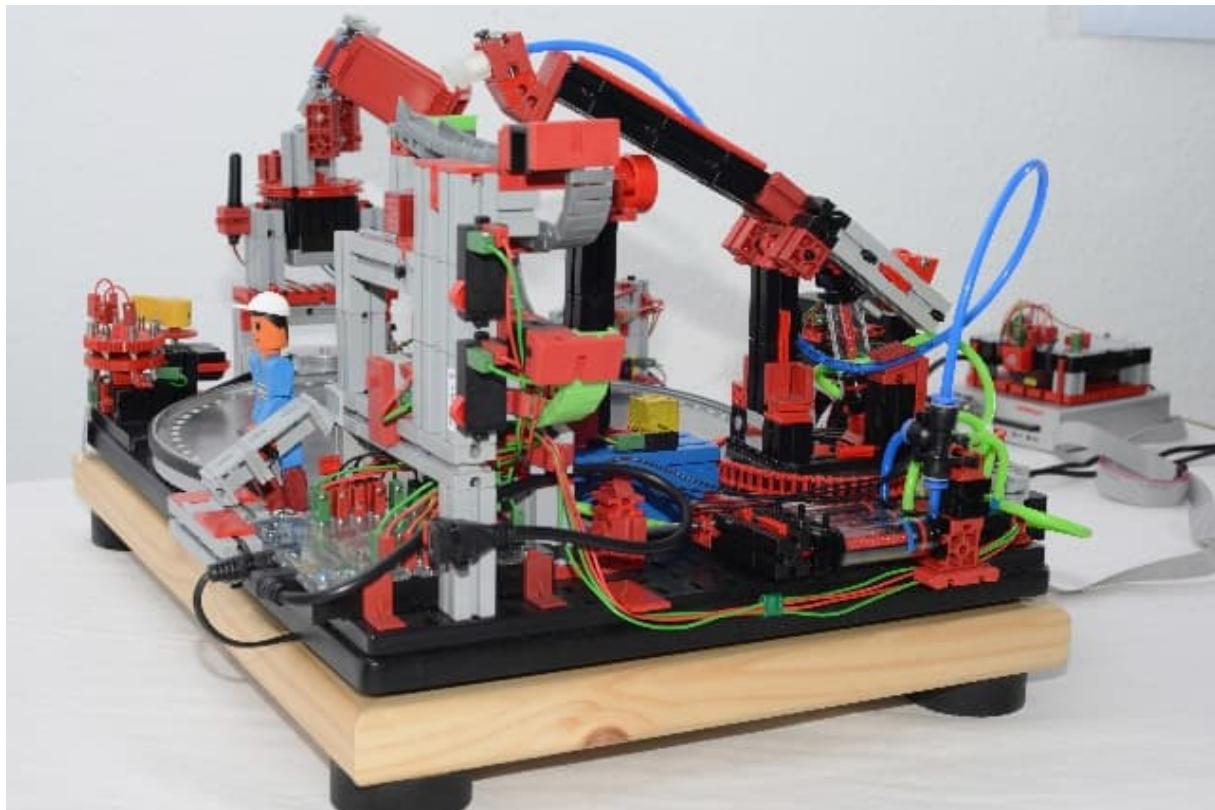


Abb. 8: Gesamtansicht seitlich von vorne rechts

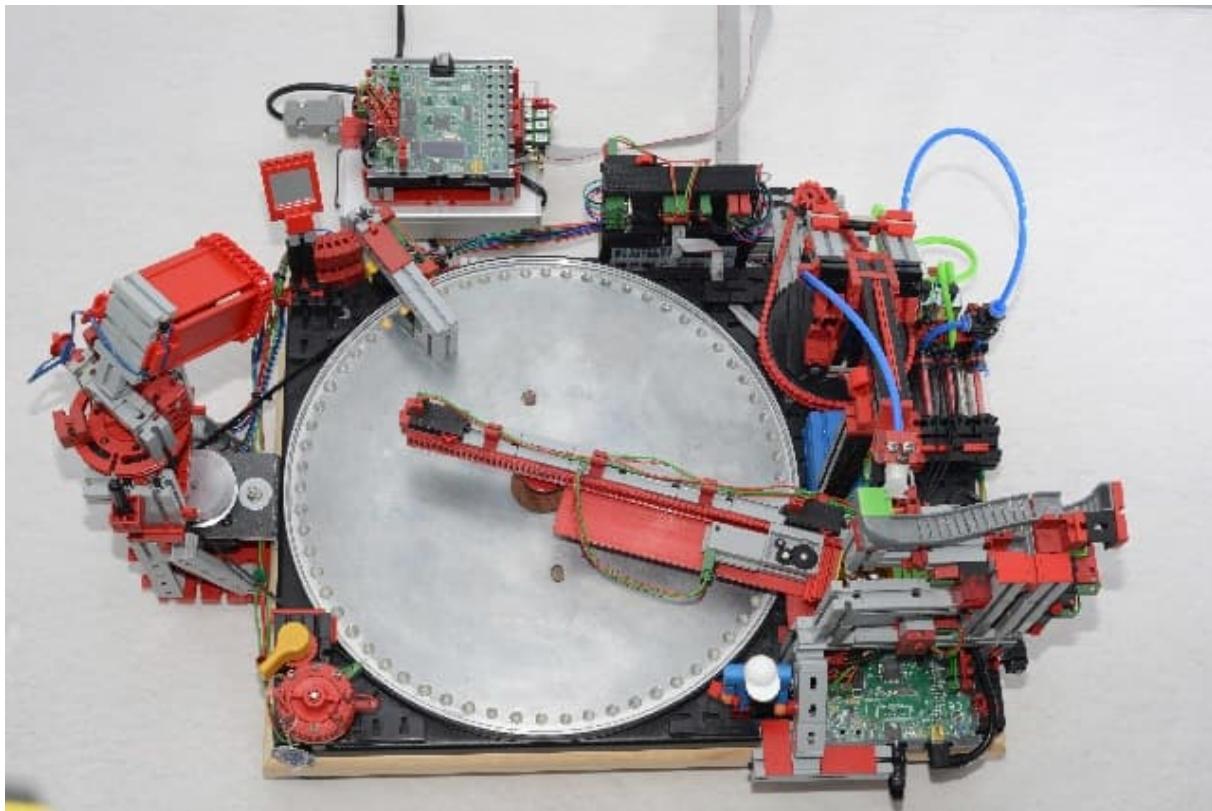


Abb. 10: Gesamtansicht von oben



Abb. 9: Greifarm an der Position „Kugelbahn“

Als ich durch einen Tipp von „fischerfriendsman“ Stefan Roth auf den Internet-Shop von Björn Gundermann hingewiesen worden bin, habe ich den ftDuino entdeckt.

Die ausführliche Bedienungsanleitung des Entwicklers Dr.-Ing. Till Harbaum hat mich überzeugt. Ich habe mir die PDF ausgedruckt (169 Seiten).

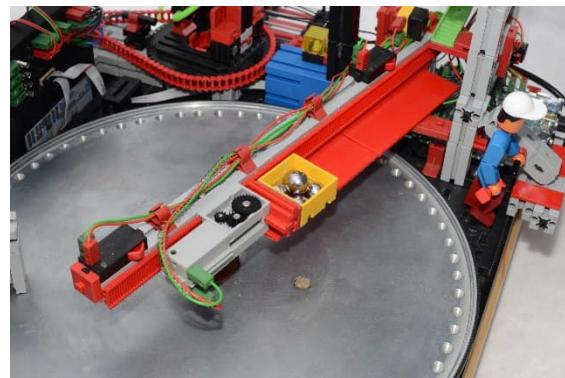


Abb. 11: Minimotor mit gelber Kugelbox

Bei „Gundermann“ im Shop gab es für mich noch Anderes zu entdecken. Ganz wichtig ist der ftPwrDrive-Controller. Die Schrittmotoren sind mit ihm ganz leicht zu programmieren; ohne diese Vereinfachung wäre es für mich schwierig geworden. Ich hatte Fragen gestellt, mir wurden alle beantwortet – Community!

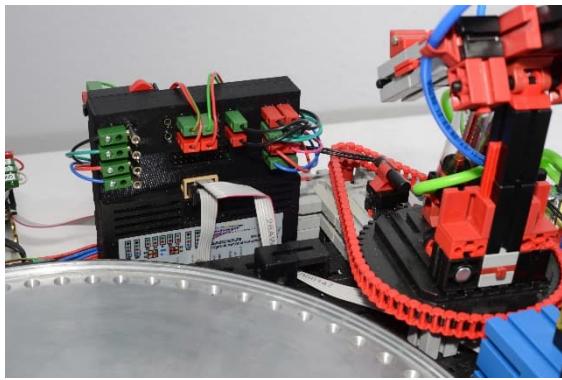


Abb. 12: ftPwrDrive, Greifarm Schrittmotor, Reedkontakt

Hier die siebenteilige Ablaufsteuerung, nachdem der Front-Taster „Start“ gedrückt wurde:

1. „Kraftwerk“-Sound 1: Der Minimotor fährt ins Zentrum, fünf Kugeln fallen aus der gelben Kugelbox auf den schnell drehenden Teller, die Spotlampe beleuchtet das Ereignis. Die Kugeln finden durch Zentrifugalkraft einen Platz in den Lochsenkungen.

2. „Kraftwerk“-Sound 2: Die Tellerlichtschranke wird eingeschaltet, die erste Kugel wird gescannt.
3. „Kraftwerk“-Sound 3: Kugel 1 wird zur Übergabestelle gefahren.
4. „Kraftwerk“-Sound 4: Der Vakumsauger setzt auf die Kugel auf, die Spotlampe beleuchtet das Ereignis. Der Greifarm schwenkt mit ihr nach oben und fährt zur Kugelbahn-Übergabestelle.
5. „Kraftwerk“-Sound 5: Die Kugelbahn-Lichtschranke wird eingeschaltet. Kugel 1 fällt, rollt durch die Kugelbahn-Lichtschranke in die gelbe Kugelbox zurück. Die Spotlampe beleuchtet dieses Ereignis mit dem auf den Spiegel gerichteten Licht. Der Vakumsauger ist durch die Lichtumlenkung ausgeleuchtet. Das Fallen wird verdeutlicht, auch durch das in diesem Moment ertönende „Boing Boom Tschak“ von Kraftwerk im Sound 5. Kugel 1 wird gezählt, das Ergebnis wird durch einmaliges Blinken mit der roten Frontlampe angezeigt.



Abb. 13: Integriert in meine Braun-Stereoanlage „Eingang Aux“

6. „Kraftwerk“-Sound 6: Wenn es nicht gegückt ist, eine Kugel zurück zu bringen, flackert die rote Frontlampe hektisch.
7. Alle fünf Kugeln sind zurück, das rote Frontlicht blinkt fünfmal, das Spotlicht fährt Bewegungen, die das Ende verdeutlichen. Sound 5 endet punktgenau mit der letzten Bewegung.

Die verwendeten Controller:

- 1 ftDuino (steuert fischertechnik und die Clients über den I²C-Bus)
- 1 ftDuino (schaltet die Sounds, die vom Bässgen-mp3-Player gespielt werden)
- 1 ftPwrDrive (bewegt drei Schrittmotoren)

Die eingesetzten Sensoren:

- 1 Taster („Start“)
- 2 Taster (Steuerung Minimotor-Fahrt)
- 1 Taster (Not-Aus Schrittmotoren)
- 1 Taster (Reserve, frei für Programmiersversuche)
- 1 Reedkontakt (Referenzpunkt Greifarm)
- 1 Reedkontakt (Referenzpunkt Spotlampe)
- 1 Fototransistor (Kugelscan-Position auf dem Teller)
- 1 Fototransistor (Kugelscan-Zähler)

Schließlich die erforderlichen Aktoren:

- 1 Minimotor
- 1 Schrittmotor 14HS13 (Drehbewegung Greifarm, Spotlampe)

- 1 Schrittmotor 17HS13 (Tellerantrieb – 14HS13 wäre hier besser, da im ftPwrDrive der maximale Strom einstellbar ist, jedoch nur ein Wert für alle angeschlossenen Schrittmotoren; ich habe eine Kompromisseinstellung vorgenommen und damit keine Probleme.)
- 1 pneumatisches Ventil (Greifarm runter)
- 1 pneumatisches Ventil (Vakumsauger)
- 1 Kompressor
- 1 LED (Frontlicht rot, zeigt Bereitschaft, blinkt „Kugeln zurück“, blinkt hektisch bei „keine Kugel zurück“, also bei Fehlversuch)
- 1 LED (Kompressor eingeschaltet, gelb)
- 1 LED (Kugelscan-Position auf dem Teller)
- 1 LED (Kugelscan-Zähler)
- 1 LED (Spotlampe)
- 1 Rainbow-LED (Verbindung ftDuino zum ftDuino Client erfolgreich)

Quellen

- [1] Christoph Hülsmann: *fischertechnik Kugelspieler mit ftDuino*. Auf [YouTube](#) (aus urheberrechtlichen Gründen ohne Ton), 2023.
- [2] Wikipedia: [Braun \(Elektrogeräte\)](#).
- [3] [BÄSSGEN AV-Technik GmbH](#): Die Firma hat in der Vergangenheit Controller für die automatisierte Projektion von Dia-Schauen hergestellt. Später kamen die Systemplayer (mp3) dazu.

Tipps & Tricks

Neue ft-Teile selbst gemacht – 3D-Druck (7)

Arnoud van Delden

Während die Puristen so konsequent wie möglich innerhalb der von fischertechnik geschaffenen Möglichkeiten bleiben wollen, sehen andere kein Problem darin, die Möglichkeiten zu erweitern und Modelle durch Bohren oder Sägen von fischertechnik-Teilen zu verstärken, zu erweitern oder zu optimieren. Oder den 3D-Drucker zu nutzen, um das erträumte Ziel zu erreichen. Ich zähle mich definitiv zur letzten Kategorie. Deshalb fand ich es höchste Zeit, dass die Serie „Neue ft-Teile selbst gemacht“, deren letzter Teil 2017 in der ft:pedia erschienen ist, eine neue Folge bekommt.

Die Anschaffung eines eigenen 3D-Druckers habe ich lange aufgeschoben, weil ich dachte, dass es sehr teuer und aufwändig wäre, tatsächlich brauchbare Teile selbst zu entwerfen und zu drucken. Ich habe jedoch jahrelang mit 3D-Software gearbeitet, um Computeranimationen zu erstellen, und dieser „Entwicklungsprozess“ erwies sich als sehr nützlich für die reibungslose Entwicklung von 3D-Objekten.

Doch mit der steigenden Zahl selbst entworfer 3D-Teile wurde die Abhängigkeit von 3D-Drucker-Freunden und Online-Druckdiensten immer mehr zur Herausforderung. Besonders auf die Abmessungen von fischertechnik-kompatiblen Nuten und Federn der Teile wurde genau geachtet. Auch aus diesem Grund habe ich Anfang 2022 beschlossen, einen 3D-Drucker anzuschaffen. In meinem Fall wurde es ein Prusa i3 MK3S+.

Da ich bereits Erfahrung damit hatte, verwende ich Blender für das 3D-Design. Blender ist eine sehr umfassende Open-Source-3D-Suite mit Modellierungs-, Mapping-, Texturierungs-, Animations- und sogar Video-Postproduktionsfunktionen. Aufgrund der ziemlich steilen Lernkurve, die mit dieser Vielseitigkeit verbun-

den ist, ist die Wahl als reines Modellierungs- oder CAD-Tool nicht offensichtlich, aber mein Hintergrund in der 3D-Animation macht es zur idealen Wahl für mich.



Abb. 1: Gibt es das fischertechnik-Teil noch nicht? Mach' es dir selbst! [16]

Materialauswahl

Nach dem Start dieser Artikelserie im Jahr 2011 [1], in der über das „Modding“ von Originalteilen und das Gießen von Teilen aus Kunstharz gesprochen wurde, wurde 2013 über die Selbst-3D-Modellierung von

Neuteilen diskutiert [2]. Die dort beschriebene Software und die Methoden haben sich natürlich inzwischen weiterentwickelt, aber der Artikel ist im Großen und Ganzen immer noch aktuell. Während im Jahr 2013 noch ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol [13]) als Druckmaterial genannt wird, stehen mittlerweile leichter bedruckbare und vor allem umweltfreundlichere Materialien zur Verfügung.



Abb. 2: Selbst entworfene und gedruckte Zeiger

PLA und recyceltes rPLA

Die Abkürzung PLA steht für Polylactid [14]. Dieses Material wird oft als Alternative zu Plastik verwendet. Polylactid ist in verschiedenen Farben erhältlich, hat aber ein natürlich transparentes Aussehen. Farbe kann hinzugefügt werden, indem dem Material Farbpigmente zugesetzt werden. Es wird aus stärkehaltigen Pflanzen hergestellt und ist ein Thermoplast. PLA ist biologisch abbaubar und stammt beispielsweise aus Maispflanzen, Zuckerrohr oder Zuckerrüben. Damit ist PLA ein umweltfreundlicheres Material als beispielsweise ABS, das aus fossilen Brennstoffen hergestellt wird. Da PLA ein starkes, einfach zu verwendendes und umweltfreundliches Material ist, ist es eine beliebte Wahl für den Einsatz in 3D-Druckern.

Recycled-, Reflow- oder Reform-rPLA ist ein recyceltes 3D-Druckerfilament vom PLA-Typ, das aus Extrusionsabfällen oder anderen Reststoffen während des Herstellungsprozesses der regulären PLA-Filamente hergestellt wird. Obwohl normales PLA bereits biologisch abbaubar ist, ist rPLA im Prinzip eine noch nachhaltigere Wahl. Da Farben manchmal gemischt werden, hat dieses Material teilweise überraschende Farben. Es gibt sogar Filamente, die dem Objekt nach dem Drucken einen „Regenbogen“-Effekt verleihen. Von den Produkteigenschaften her ist dieses Material zu 100% mit normalem PLA-Filament vergleichbar. Das Material und damit das fertig gedruckte Objekt hat manchmal eine etwas mattere Oberfläche als normales PLA.

PLA ist beim Drucken ein angenehmes und nachsichtiges Material, das auf Wunsch eine schöne matte Druckoberfläche erzeugt. fischertechnik-Nuten sind stark, aber lose Nocken und Federn sind oft zu spröde und nicht sehr stark.

PETG

Aus diesem Material werden die bekannten PET-Flaschen hergestellt. Polyethylenterephthalatglykol, bekannt als PETG oder PET-G, ist ein thermoplastischer Polyester, der eine erhebliche chemische Beständigkeit, Haltbarkeit und Formbarkeit für die Herstellung bietet. PETG ist eine Adaption von PET (Polyethylenterephthalat [15]), wobei das „G“ für Glykol steht, das auf molekularer Ebene hinzugefügt wird, um verschiedene chemische Eigenschaften bereitzustellen. PET verwendet die gleichen Monomere wie Glykol-modifiziertes PETG, aber PETG ist stärker und haltbarer, schlagfester und besser für höhere Temperaturen geeignet. Die Oberfläche von PETG-Material ist normalerweise glänzender als PLA-Material, das zu einem seidigen Glanz neigt. Aus diesem Grund wird PETG-Material auch häufiger für Objekte

verwendet, die transparent oder durchscheinend bleiben müssen.

Mittlerweile gibt es PETG-Filamente mit Seidenglanz, aber die Oberfläche eines mit PETG bedruckten Teils glänzt meist recht stark. Im Vergleich zu PLA ist PETG stärker. Dadurch sind fischertechnik-Federn und Nocken am Druckobjekt weniger anfällig und die Montagefestigkeit höher.



Abb. 3: Filament in vielen Farben. Der Durchmesser beträgt in der Regel 1,75 mm.

PVA

PVA ist ein im Allgemeinen transparentes, wasserlösliches Filament zur Herstellung entfernbbarer Stützstrukturen. Überstehende Teile des zu bedruckenden Objekts können während des Druckens gestützt werden. Diese „Unterstützung“ wird anschließend entfernt.

PVA ist jedoch relativ teuer und hat bei Druckern mit einem einzelnen Druckkopf eine begrenzte Brauchbarkeit, da das Wechseln der Filamente während des Druckens kostspielig und zeitaufwändig ist. Ich verwende das Material aus diesem Grund kaum. Umso mehr, als die notwendige „Stützstruktur“ in der Regel genauso gut aus dem Originalmaterial gedruckt werden kann. Mein Drucker ist in der Lage, dieses Material während des Auftragens etwas stärker abzukühlen, sodass es weniger gut

am endgültigen Objekt haftet und sich daher später leichter entfernen lässt.

Tipps und Tricks

Kleine fischertechnik-Nocken an Objekten sind anfällig, selbst wenn das stärkere PETG verwendet wird. fischertechnik-Federn sind stärker, aber für eine optimale Festigkeit sollte man immer versuchen, sie so weit wie möglich über das Objekt zu ziehen. Gedruckt in PLA sind die Federn dann aber schnell beschädigt, weil sie beim Einfahren über eine große Länge auf Widerstand stoßen können. Daher scheint die Wahl von PETG für fischertechnik-Federn besser zu sein.

fischertechnik-Nuten bieten die größte Festigkeit und sind am wenigsten anfällig, erfordern jedoch eine viel dickere Wandstärke des Objekts. Manchmal ist das nicht möglich, zum Beispiel bei einem hohlen Baustein, in dem ein Magnet montiert werden muss, oder wenn ein Motorgehäuse innerhalb des fischertechnik-Rasters von 15 mm so klein wie möglich gehalten werden muss.

Inzwischen habe ich die fischertechnik-Nocken und -Nuten in meiner 3D-Software als Bibliothekselemente implementiert, die einfach dem zu gestaltenden Objekt hinzugefügt werden können. Jedes Element ist mit einem sogenannten Referenzobjekt ausgestattet, damit die Positionierung der Nut oder Feder jedes Mal exakt gleich ist. Dadurch ist es einfach, jedes zu gestaltende Objekt mit einer perfekt platzierten Nut oder Feder in der richtigen Tiefe zu versehen.

Es lohnt sich auch, mit Druckgeschwindigkeit, Druckkopftemperatur, Druckrichtung und natürlich dem Designdurchmesser zu experimentieren, um den idealen Lochdurchmesser für 4-mm-fischertechnik-Wellen zu erhalten. Je schneller und wärmer gedruckt wird, desto mehr kann die Viskosität des Materials kleine Innendurchmesser wie ein Gummiband „ziehen“. Dies

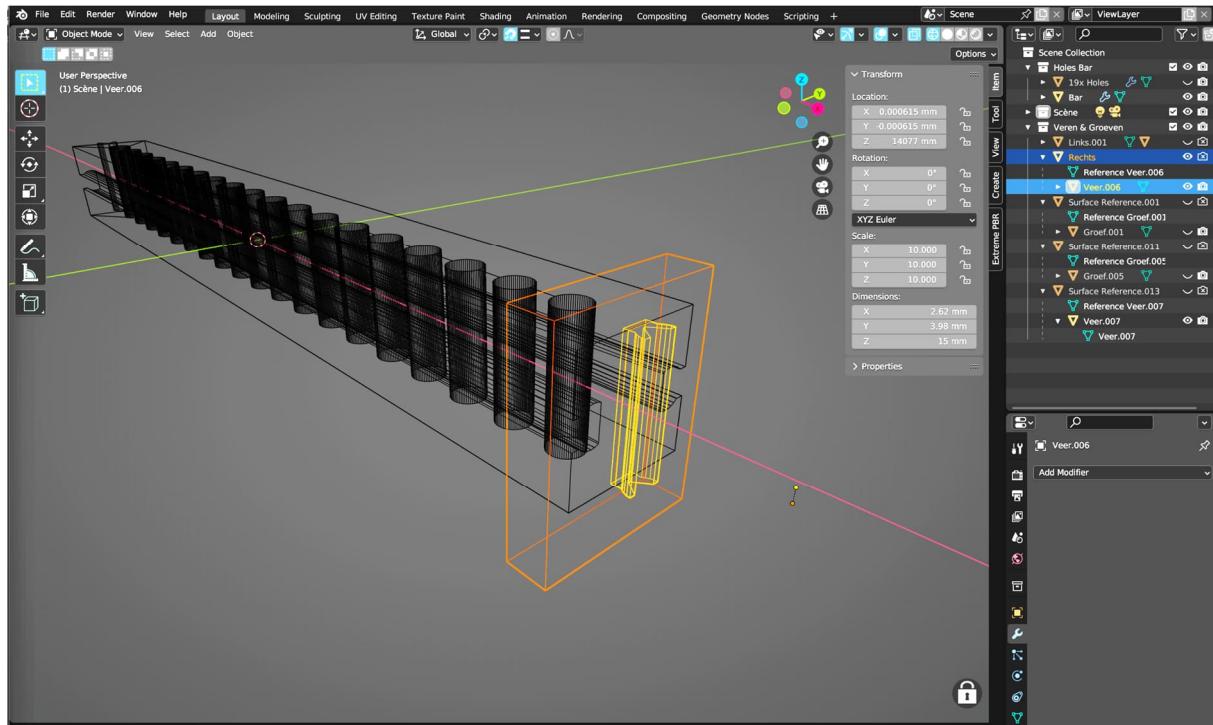


Abb. 4: Positionieren der Nut oder Feder mit verknüpften Referenzobjekten

kann gelöst werden, indem in der Druckdatei ein etwas größerer Durchmesser gewählt wird (z. B. 4,3 mm statt 4,1 mm für die 4-mm-Achsen). In der sogenannten Slicer-Software, in der das 3D-Design (meist eine STL-Datei) in die zu druckenden Schichten umgewandelt wird, kann es auch Konfigurationseinstellungen geben, mit denen experimentiert werden kann.

Neue fischertechnik-Teile

Ein Skateboard



Abb. 5: fischertechnik-„Fingerboards“

Ende 2022 rief fischertechnik einen Wettbewerb aus. Unter dem Motto „Wie würdest du Technik spielerisch erklären?“ wurden wir eingeladen, über mögliche zukünftige

Produktideen nachzudenken. Neben ein paar weiteren konkreten „technischen“ Ideen habe ich mich entschlossen, ein Risiko einzugehen, indem ich in kurzer Zeit eine schlummernde Spielidee formte und einreichte.



Abb. 6: Skatpark (1)

Die Idee bestand aus einem fischertechnik-Skatepark. Aber was ist ein Skatepark ohne Skateboard? Grundsätzlich lässt sich ein Skateboard am besten mit den Standardbauelementen bauen, jedoch nicht in der Form und im Maßstab, die den beliebten „Fingerboards“ entspricht. Dies erforderte ein eigenes Design.

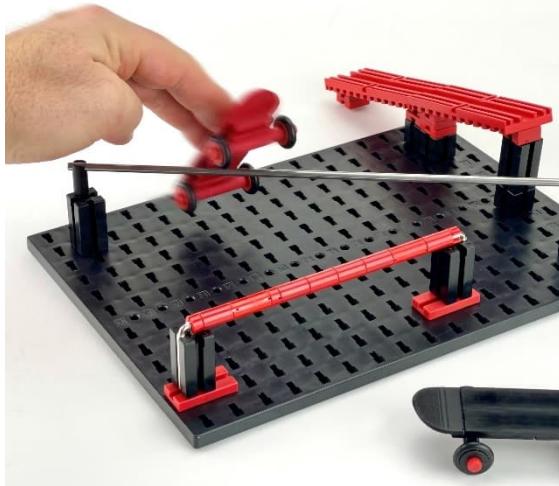


Abb. 7: Skatepark (2)

Mit so einem Stein auf jeder Seite einer Bauplatte entsteht schnell ein schönes

„Fingerboard“ [4]. Man kann zum Beispiel zwei rote Bauplatten mit je vier Nocken ([38464](#)) oder eine breitere mit 6 Reihen Clips ([31503](#)) verwenden, wenn das Skateboard länger sein soll. Vier Seilrollen ([38258](#)), wahlweise bestückt mit 17 mm × 4 mm O-Ringen sind mit roten 20-mm-Rastachsen ([31690](#)) montierbar.

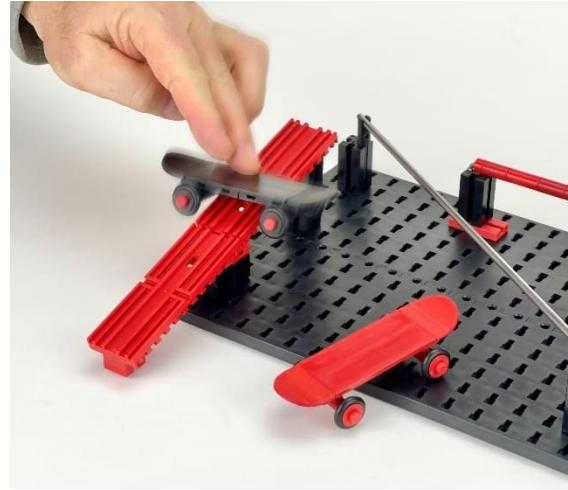


Abb. 8: Skatepark (3)

Wenn ihr mit den vorhandenen Bauelementen eurer Fantasie freien Lauf lasst, könnt

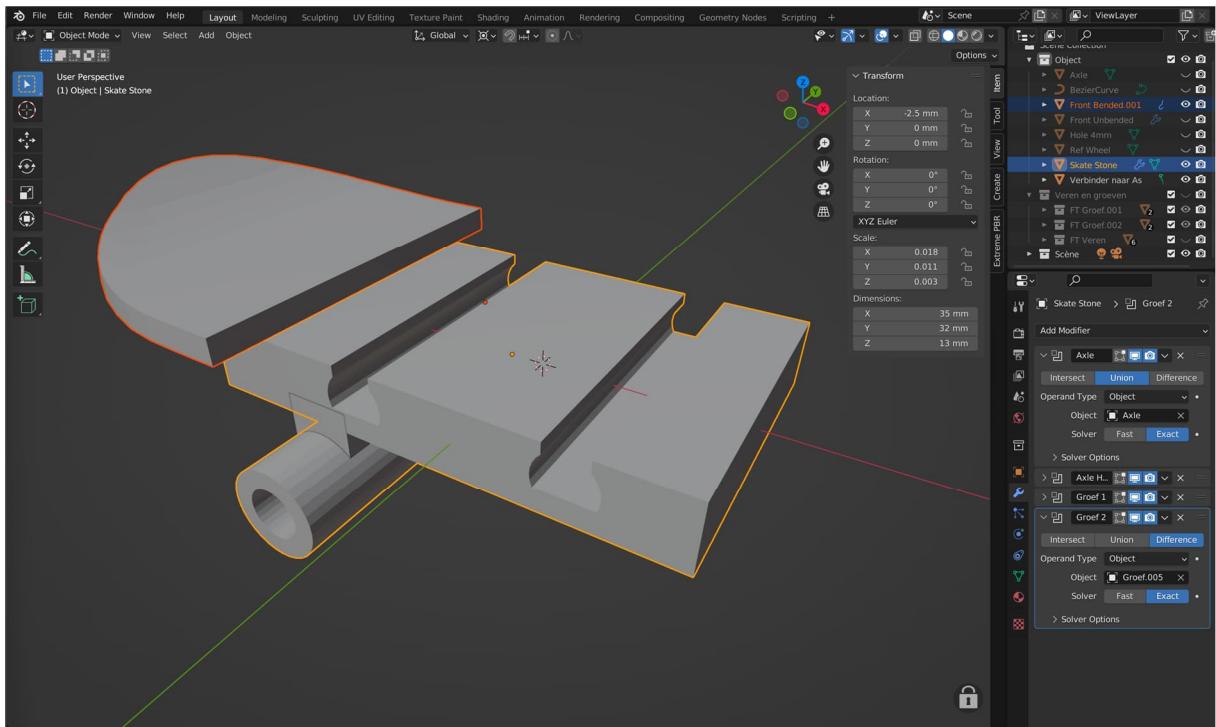


Abb. 9: Ein Skateboard-Stein wird entworfen

ihr mit fischertechnik schnell einen spannenden Skatepark für dieses Mini-Skateboard bauen. Da für den Wettbewerb explizit technisch-pädagogische Spiel- und Produktideen gefragt waren, ist es fraglich, ob der Skatepark viel Aufmerksamkeit bekommen wird. Aber der Designprozess und das Endergebnis waren die Mühe definitiv wert.

Teile für ein Lernspiel

Eine andere Idee forderte kurzfristig möglichst flexible Platzierungsmöglichkeiten für jede denkbare Anordnung von zwei oder mehr Ritzeln (Z10, Z20, Z30 oder Z40). Für eine hohe Flexibilität sollten die Einstellungpositionen idealerweise eine halbe fischertechnik-Einheit (15 mm), d. h. 7,5 mm voneinander entfernt sein. Nach einigem Tüfteln mit einem Streifen aus Bausteinen 15 mit Bohrung ([32064](#)) und zwei teilweise

verschobenen Streifen entschied ich mich, das Traumbauteil einfach selbst zu designen und zu drucken. Das Design ist in Abb. 10 ersichtlich. Diese Leiste bildet schließlich das zentrale Element in diesem Zahnradspiel.

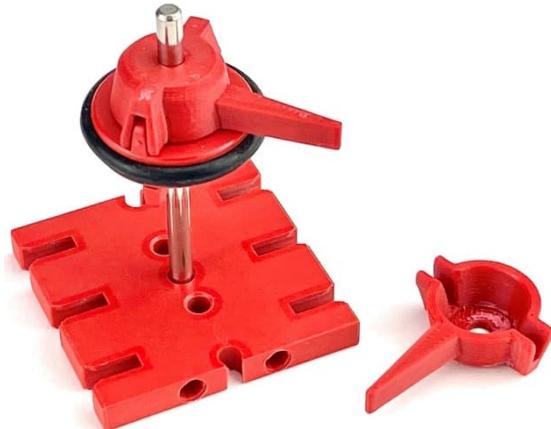


Abb. 11: Zeiger für Nabe

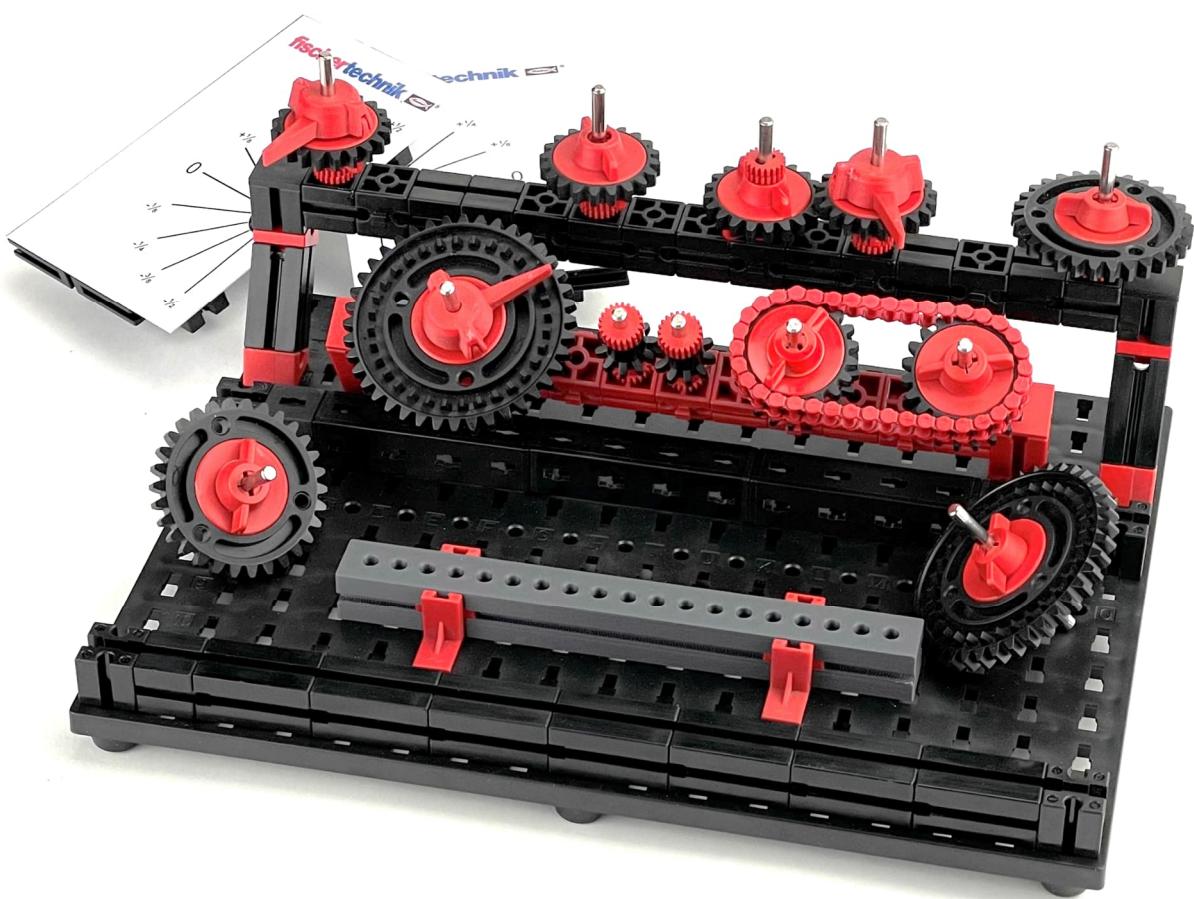


Abb. 10: Steg mit Platzierungspositionen alle 7,5 mm

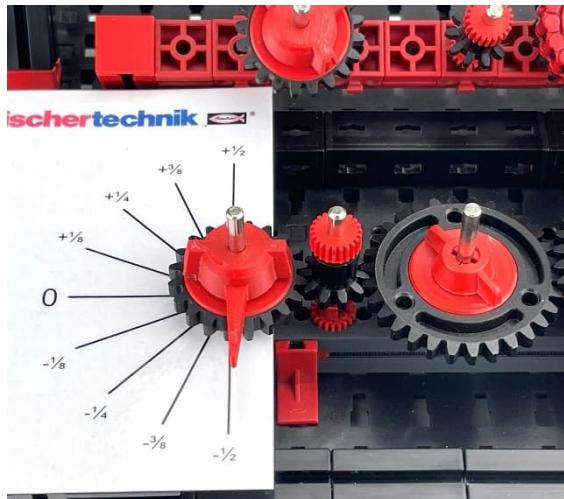


Abb. 12: Skalierte Anzeige

Die Zahnräder an den Seiten haben einen Zeiger, der die Drehungen auf Skalen anzeigt. Da keine Kurbel benötigt wird und mir daher eine Handkurbel (31026) nicht gefiel, habe ich einen Zeiger konstruiert, der über die Nabenaufnahme geschoben wird und diese Funktion etwas eleganter erfüllt [5].

Bausteine mit Solenoiden oder Magneten

Ein 3D-Drucker ist natürlich auch während der Entwicklungsphase eines Projekts sehr nützlich. Ich spiele zum Beispiel schon seit einiger Zeit mit Magneten und Solenoiden.

Letztlich geht es darum, neue Möglichkeiten des Aufnehmens und Mitnehmens der Kugeln in den Kugelbahnen zu finden. Die in den bestehenden Modellen vorgeschlagenen Transportmechanismen basieren hauptsächlich auf Kettensystemen mit Permanentmagneten, von denen die Kugel am Ende ihres Transports abgeschabt wird.

Allerdings ist der Neodym-Magnet im Magnetbaustein 15×15 (108278) zu stark für den Einsatz in den Kugelbahnen in (Ketten-)Transportsystemen. Dieser Magnet war ursprünglich zum Schalten von Reedkontakte gedacht. Der Magnetkugelhalter/Mitnehmer (119850) hingegen kann

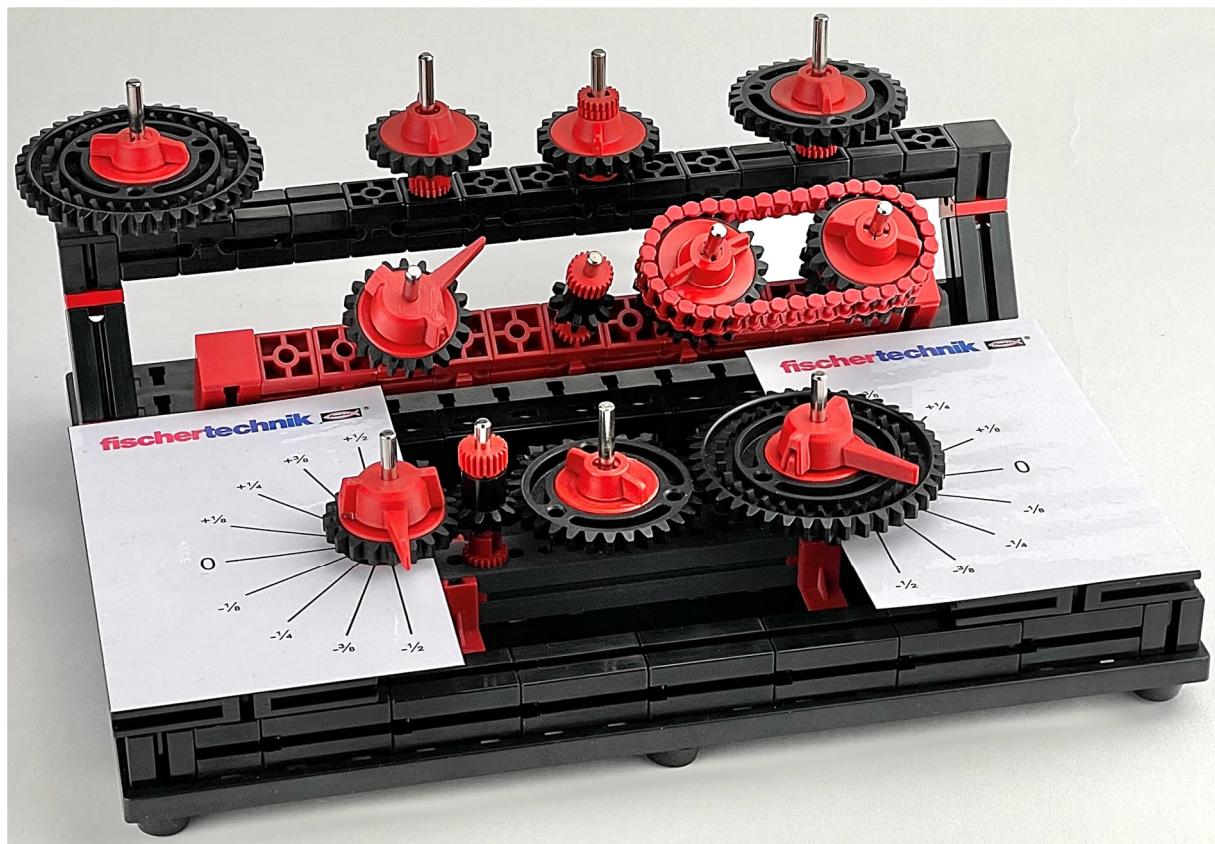


Abb. 13: Skalierte Anzeige beim Zahnradspiel

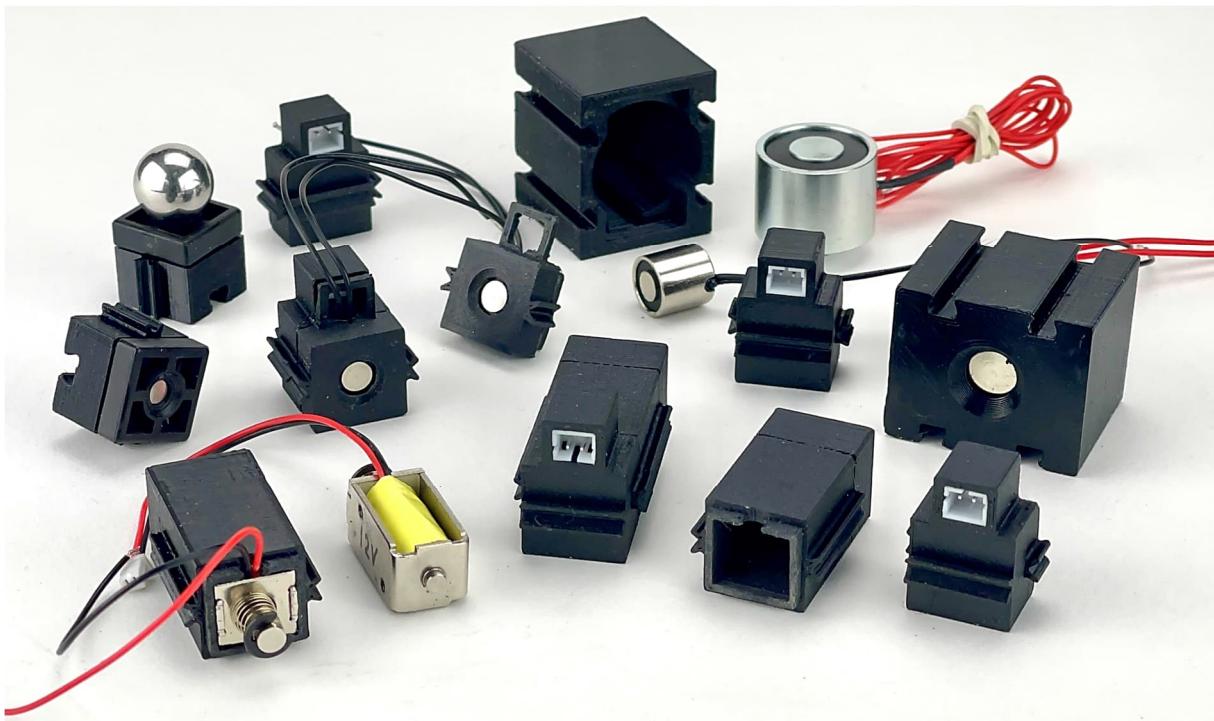


Abb. 14: Mehrere Prototypen von Steinen mit Solenoiden oder (Elektro-)Magneten

nur an einem Kettenglied verwendet werden. Der Montagevorschlag zum Einbau in einen generischen „Magnetstein“ ist komplex (empfohlen wird die Verwendung eines losen Kettenglieds, das zu breit ist, um es stabil auf der Querschnittsseite eines 15×15 -Bausteins zu montieren) und die endgültige Lösung fällt nicht in das 15×15 -Raster von fischertechnik.

Ein „Adapter“-Stein oder ein spezieller Magnetstein mit „schwächerer“ Kraft würde die Anwendung dieses Teils erweitern. Abb. 14 zeigt 3D-Drucke von Prototypen. Diese besitzen unterschiedliche Stärken und Größen, mit denen eine Kugel von einem Dauermagnetstein übernommen werden kann.

Dieses Projekt befindet sich noch in der Experimentierphase, aber das Foto zeigt bereits einen funktionsfähigen Prototypen eines Bausteins mit kleinem Solenoid. In diesem Baustein befinden sich vorne zwei kleine Neodym-Magnete, die zum Aufnehmen oder Übertragen von Kugeln verwendet werden können.

Sobald der „Pusher“ aktiviert ist, wird die Kugel losgeschlagen und kann ihre Flugbahn an einer anderen Stelle fortsetzen, oder ihr „Sprung“ kann von einem Trichter aufgefangen werden.

Getriebe

Ein immer wiederkehrender Wunsch ist es, individuelle Zahnräder für die Verwendung in fischertechnik-Modellen zu drucken. Zum Beispiel schienen selbst gedruckte Z50- und Z60-Zahnräder [6] bei der Konstruktion eines Sechsganggetriebes nützlich zu sein. Kettenräder mit 50 oder 60 Zähnen gehören schließlich nicht zum Standardprogramm von fischertechnik.

Verschiedene herunterladbare Zahnräddesigns für fischertechnik sind bereits online zu finden. Diese sind jedoch nicht immer optimal, da die Zähne nicht zu 100 % den von fischertechnik verwendeten Parametern für die Modul-1,5-Verzahnung entsprechen. Dadurch laufen Übertragungen manchmal nicht reibungslos. Es wurde auch festgestellt, dass Ketten manchmal stecken bleiben, weil die Kanten des Kettenrads

nicht korrekt facettiert sind. Die Zahnform der fischertechnik-Zahnräder erfordert daher Präzision: Wer sie exakt konstruieren und drucken will, sollte die vorhandene Dokumentation genau studieren [7, 8, 9, 10].

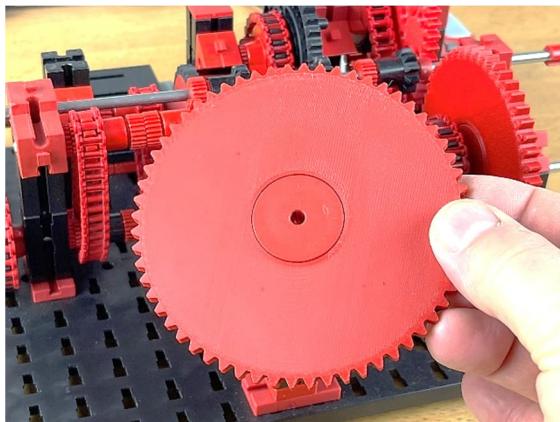


Abb. 15: Selbstgedruckte Zahnräder

Ich habe jetzt einen (für mich) praktikablen Workflow zum Entwerfen und Drucken von Zahnräden gefunden. Innerhalb der 3D-Software (Blender) verwende ich ein Add-On [11], mit dem es möglich ist, vollständig parametrisch, mathematisch genaue Zahnräder zu entwerfen. Damit war es relativ einfach, die modular erweiterbare „Zahnradrolle Z20“ [12] passgenau zu konstruieren.

Da es diesen Durchmesser Z20 bereits gab, machte ich auf dem Zeichenleuchtkasten meines Sohnes ein orthogonales Foto eines Z20-Zahnrad, das in Blender als Referenzhintergrund für eine möglichst genaue parametrische Formgebung der Zähne verwendet werden konnte. In einer orthogonalen Ansicht von oben im Modellierer, wobei das entstehende 3D-Modell das Referenzbild überlagert, kann mit den parametrischen Einstellungen gespielt werden, bis die Zähne des 3D-Modells vollständig mit dem Referenzbild übereinstimmen.

Mittlerweile drucke ich nicht mehr die untere Facettenkante des Zahnrad, sondern drucke das Zahnrad einseitig flach auf das Druckbett. Um einen solchen schrägen Hochkant auf dem flachen Druckerbett zu drucken ist eine später zu entfernende Stützkonstruktion notwendig. Nach dem Entfernen dieser Stützkonstruktion ist diese Kante oft ziemlich rau, sodass ein manuelles Schleifen erforderlich ist. Dann ist es einfacher, später, wenn das Getriebe bereits im Modell motorisiert ist, einfach einmal Schleifpapier dagegenzuhalten. Dies ist nur erforderlich, wenn das Zahnrad für fischertechnik-Ketten verwendet wird und diese Facette auf beiden Seiten des Kettenrads benötigt wird (und man die tatsächliche Dicke von 5,5 mm beibehalten möchte).

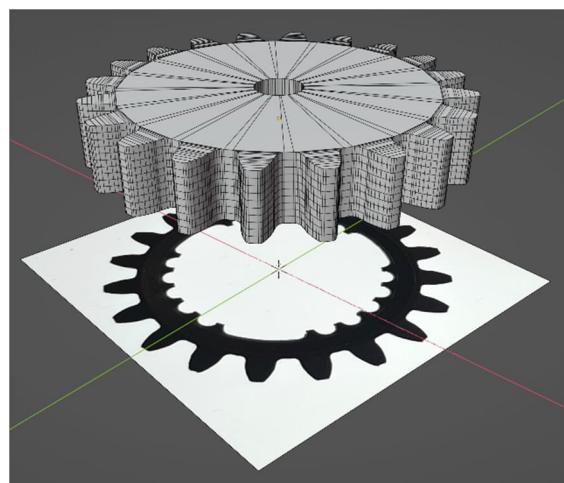


Abb. 16: Referenzfoto für genaue Modellierung

Fazit

Der Besitz von konstruktivem Talent und Geduld sowie eines 3D-Druckers sind sicherlich nicht notwendig, um ein gutes Modell zu bauen. Aber damit zu experimentieren und neue Elemente zu kreieren, fügt für mich sicherlich eine sehr herausfordernde und kreative Dimension hinzu. Im ftcommunity-Forum gibt es viel Kreativität zu finden. Genug für viele spannende zukünftige Teile in dieser Reihe „Neue fischertechnik-Teile selbst gemacht“.

Also: Wer schreibt Teil 8?

Referenzen

- [1] Harald Steinhaus: *Neue ft-Teile selbstgemacht: Teile-Modding.* [ft:pedia 3/2011](#), S. 20–24.
- [2] Frederik Vormann: *Neue ft-Teile selbstgemacht: Polycaprolacton.* [ft:pedia 3/2011](#), S. 14–19.
- [3] Harald Steinhaus: *Neue ft-Teile selbst gemacht: 3D-Druck.* [ft:pedia 2/2013](#), S. 4–10.
- [4] Arnoud van Delden (Arnoud Whizzbizz): *Fingerboard for fischertechnik skatepark.* STL-Druckdatei zum [Download von printables.com](#), 2022.
- [5] Arnoud van Delden (Arnoud Whizzbizz): *Pointing needle for fischertechnik.* STL-Druckdatei zum [Download von printables.com](#), 2022.
- [6] Arnoud van Delden (Arnoud Whizzbizz): *Z50 and Z60 cogwheel for fischertechnik.* STL-Druckdatei zum [Download von printables.com](#), 2023.
- [7] Thomas Püttmann: *Zahnräder und Übersetzungen (Teil 1).* [ft:pedia 2/2011](#), S. 30–37.
- [8] Thomas Püttmann: *Zahnräder und Übersetzungen (Teil 2).* [ft:pedia 3/2011](#), S. 25–28.
- [9] Thomas Püttmann: *Zahnräder und Übersetzungen (Teil 3).* [ft:pedia 1/2012](#), S. 13–21.
- [10] Fischer-Werke: *Elemente der Technik*, Heft 2, 1978. Hier: Abschnitt 2.2, „Maße an Zahnrädern“, S. 25-27. [PDF-Download](#) von [docs.fischertechnikclub.nl](#).
- [11] Maker Tales: *Precision Gears [Add-On]*. Zahnräder-Add-On für Blender, auf [makertales.gumroad.com](#).
- [12] Arnoud van Delden (Arnoud Whizzbizz): *Extendable Z20 gearbox barrel sprocket.* STL-Druckdatei zum [Download von printables.com](#), 2023.
- [13] Wikipedia: [Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer](#).
- [14] Wikipedia: [Polylactide](#).
- [15] Wikipedia: [Polyethylenterephthalat](#).
- [16] Arnoud van Delden (Arnoud Whizzbizz): *Parts for fischertechnik wheelchair.* [Download von printables.com](#), 2022.

Getriebe

Ein kompaktes Uhrengetriebe mit Sekundenzeiger

Stefan Falk

In zwei Uhren mit ganz verschiedenen Antrieben verwendete ich schon dasselbe Uhrengetriebe, um Stunden-, Minuten- und Sekundenzeiger in einer kompakten, wiederverwendbaren Einheit auf eine Achse zu bekommen. Eine dritte Uhr mit diesem Getriebe ist in Arbeit. Da sich das Getriebe bestens bewährt hat, gibt es hier eine ausführliche Anleitung zum Nachbauen.

Uhrengetriebe

Uhrengetriebe haben schon eine lange Tradition bei fischertechnik. Das erste mir bekannte stammt immerhin schon aus der Anleitung zum fischertechnik 300S Statik-Kasten von 1970:



Abb.1: Das 300S-Uhrengetriebe in der Statik-Anleitung von 1970

Die Kunst dabei besteht in der Meisterung zweier Herausforderungen:

- Zwischen Minuten- und Stundenzeiger wird eine Untersetzung 1:12 benötigt.
- Wie bekommt man zwei Zeiger auf eine und derselben Achse montiert, die sich unterschiedlich schnell drehen können?

Herausforderung a) ist mit fischertechnik-Zahnradern kein großes Problem. Herausforderung b) wird fast immer dadurch gelöst, dass auf der Achse der Minutenzeiger fixiert ist, aber eine Drehscheibe nebst Zahnrad Z40 nur locker und somit frei drehbar auf der Achse liegt, den Stundenzeiger trägt und über die Zähne des Z40 angetrieben wird.

Unzählige Varianten von solchen Uhren mit ganz unterschiedlichen Antrieben – von Pendeln über 50-Hz-Antriebe bis zu Computern – wurden schon gebaut. Ein Blick in die Kategorie „Uhren“ auf den Webseiten der fischertechnik-Community sei für ein Meer an Anregungen sehr empfohlen [2].

Uhren mit Sekundenzeiger

Die Königsklasse ist eine Uhr mit Stunden-, Minuten- und Sekundenzeiger auf einer einzigen Achse. Bemerkenswerterweise hat sich jahrzehntelang wohl niemand da ran getraut. Offenbar hatte niemand gedacht, dass das überhaupt möglich wäre.

Unmögliches ist aber eben nur so lange unmöglich, bis es jemand macht! Hier war es der grandiose Thomas Püttmann, der es 2011 – meines Wissens als erster – geschafft hat [3] (Abb. 2).

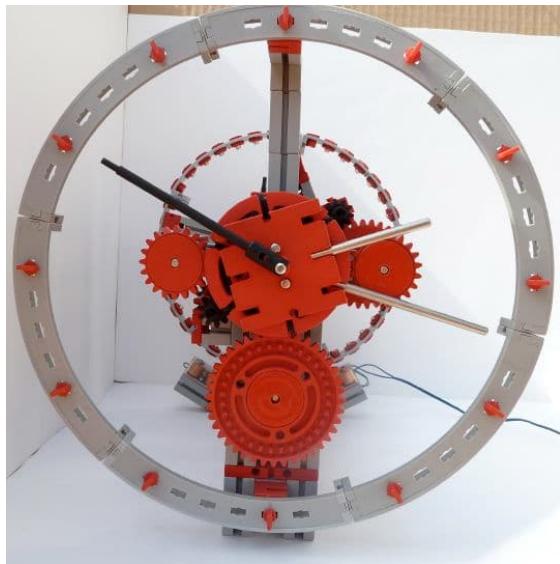


Abb. 2: Uhr mit Sekundenzeiger von Thomas Püttmann

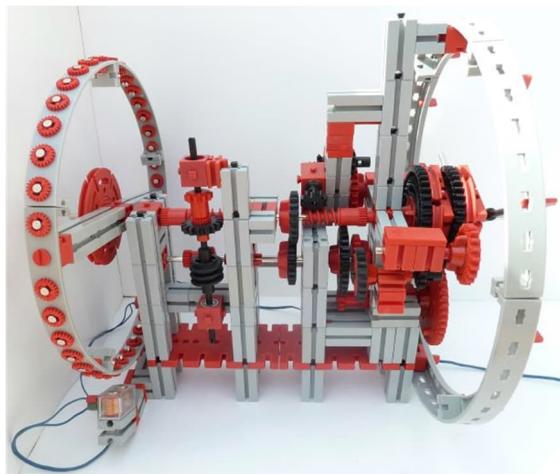


Abb. 3: Seiteneinblick ins Getriebe und die Zeigeraufhängung

Hindernisse wie mechanische Unmöglichkeiten existieren für Thomas Püttmann ja nicht, wie man an seinen fantastischen Konstruktionen immer wieder sieht. Frischen Wind hat er also ins Thema gebracht! Und damit eine ganze Welle ausgelöst. Nachdem der Community klar und bewusst wurde, dass es ja doch möglich ist, die drei benötigten Zeiger auf eine Achse zu bringen, ging die Suche nach weiteren Bauarten dazu los.

Das Problem

Grundsätzlich braucht man einen Aufbau mit folgender Wirkungsweise:

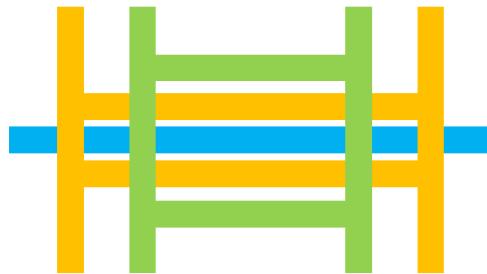


Abb. 4: Prinzip mehrerer Zeiger auf einer Achse

Blau gezeichnet ist die normale Achse, die von ganz links (das sei die Antriebsseite) nach ganz rechts (dort mögen die Zeiger angebracht sein) durchläuft. Sie trägt typischerweise den am schnellsten laufenden Zeiger – hier also den Sekundenzeiger. Sie kann einfach gedreht werden, und der Zeiger wird seine Arbeit tun.

In gelb gezeichnet ist die Konstruktion für den zweiten Zeiger – z. B. den Minutenzeiger. Links ist ein Zahnrad – das ist das oft verwendete Z40 – für den Antrieb. Irgendwie muss die Drehung jetzt unabhängig von der Achse nach vorne gehen – dort sitzt oft eine Drehscheibe, an der der zweite Zeiger angebracht ist. Diese Baugruppe kann sich auf der blauen Achse frei drehen, z. B. indem eine Nabe nur leicht angezogen oder eine Freilaufnabe [4] verwendet wird.

Ab jetzt wird's knifflig. Wie bekommen wir um all dies herum noch so eine Baugruppe angebracht – für den dritten Zeiger, in Abb. 4 grün gezeichnet?

Lösungen

Einige der mir bekannten Lösungen beruhen darauf, durch die Öffnung eines fischertechnik-Rades weitere Verbindungen durchzuschleusen. Thomas Püttmanns Uhr verwendete dafür Bauplatten 45×45 ([36593](#)) und steckte in deren Bohrungen zwei Achsen, wie der Bildausschnitt in Abb. 5 zeigt.

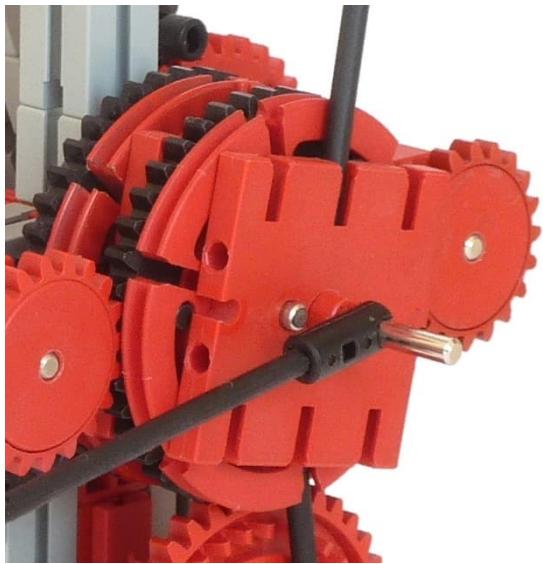


Abb. 5: Die Bauplatte trägt einen weiteren Zeiger und wird von zwei exzentrisch gelagerten Achsen getragen

2013 demonstриerte Helmut („hamlet“) eine tolle und äußerst elegante Lösung mit fischertechnik-Innenzahnradern [5] (Abb. 6 und 7):

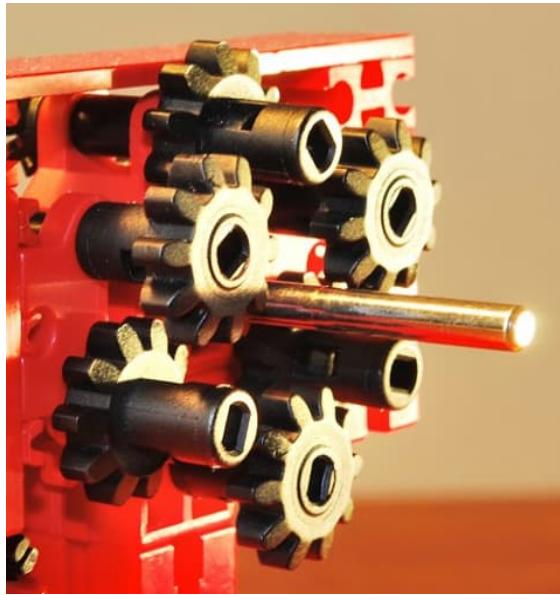


Abb. 6: Helmut's Trick mit versetzten Rast-Z10 zum Antrieb der beiden Innenzahnräder

2020 stellte Claus Ludwig eine Konstruktion [6] nach Rüdiger Riedels Beiträgen in der ft:pedia [7] vor. Dort wird das Problem dadurch umschifft, dass große, selbst gebaute Innenzahnräder die Zeiger tragen

und so Platz genug für getrennte Antriebe bereitsteht (Abb. 8).

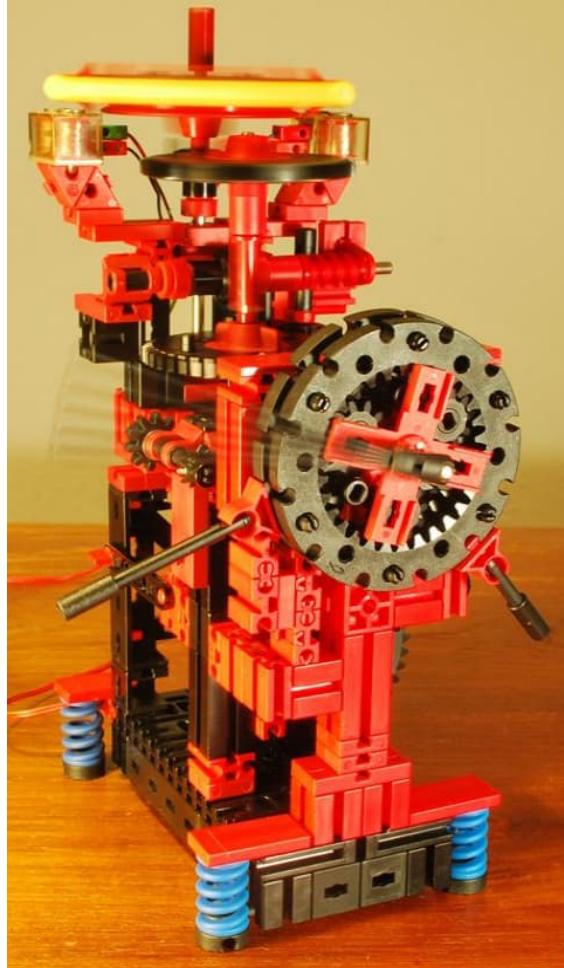


Abb. 7: Helmut's Uhr mit Innenzahnräder



Abb. 8: Getrennte Antriebe für „Zeiger-Ringe“ von Claus-Ludwig

Da ich Uhren für ein nicht nur äußerst reizvolles, sondern schier endloses Feld für einen fischertechniker ansehe, entstanden bei mir auch ein paar Varianten.

Nur unterschieden durch die Antriebsarten beute ich 2016 drei Uhren [8], in denen Rastachsen zwischen Bausteinen 15 mit Bohrung eingeklemmt wurden:



Abb. 9: Mitteldurchführung mit eingehängten Rastachsen

2017 mogelte ich mich um das Problem herum, indem ich von außen kommende Ketten verwendete [9]:



Abb. 10: Freilaufende Räder, von außen von Ketten angetrieben

Ebenfalls 2017 entstand die Uhr, deren Uhrengetriebe in diesem Artikel ausführlich dargestellt werden soll [10] (Abb. 11).

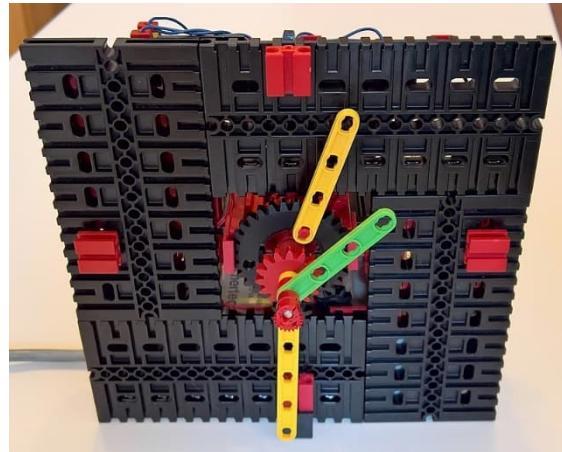


Abb. 11: Die Uhr, um deren Getriebe es in diesem Beitrag geht

Das Uhrwerk (Abb. 16) ist ein kompakter Block. Die Führung der drei Zeiger ist darin so realisiert:

- Der Sekundenzeiger sitzt direkt auf der Achse.
- Der Stundenzeiger wird von einem Zahnrad Z30 getragen, dass nur seitlich von Führungsplatten geführt und von unten von einem Z10 sowohl getragen als auch angetrieben wird.
- Die Drehung des Minutenzeigers wird durch zwei mit folgenden Bauteilen verbundenen Z15 durchgeführt, von denen das eine angetrieben wird und das andere den Zeiger führt:



Abb. 12: Die Komponenten der Mitteldurchführung: zwei Zahnräder [Z15](#), zwei Zangenmuttern [Z22 m0,5](#) ([31915](#)) und eine Hülse 15 ([31983](#)).

Das Uhrengetriebe ist leicht in einer Uhr verbaubar und gut wiederzuverwenden. Bei einer neuen Uhr griff ich deshalb darauf zurück [11] (Abb. 13).



Abb. 13: Die zweite Verwendung des Uhrengetriebes – hier in einer elektromagnetisch angetriebenen Pendeluhr

Dafür baute ich das Uhrwerk nur anhand der Fotos auf der fischertechnik-Community nochmal nach. Ich dachte, anhand der Bilder sollte das einfach gehen, aber es stellte sich doch als kniffliger heraus als gedacht. Also musste eine ordentliche Dokumentation des Getriebes her – zumal ich gerade eine Pendel-Standuhr damit in Arbeit hatte (und beim Schreiben dieses Beitrags noch habe).

Bauanleitung

Die folgende Anleitung führt also zu einem Uhrengetriebe mit Stunden-, Minuten- und Sekundenzeiger und Frontabdeckung. Es kann leicht in Uhren eingebaut werden. Der Antrieb kann dann nach Belieben ausfallen. Wir brauchen als Eingang nur etwas, was sich in einer Minute einmal dreht – das geht direkt durch zum Sekundenzeiger.

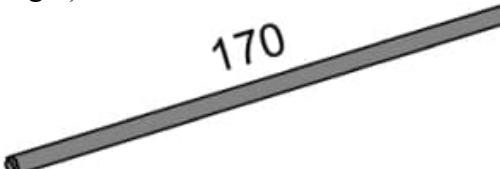
Das Getriebe steht auch als fischertechnik-Designer-Datei [12] im Download-Bereich zu dieser ft:pedia-Ausgabe [13] zur Verfügung. Michael Samek, der Entwickler des fischertechnik-Designers, hat sie am 12.01.2023 auch freundlicherweise in die „Bibliothek“ des Designers aufgenommen.

Hinweis: Die Fotos in dieser Bauanleitung stammen von der ersten so gebauten Uhr [10]. Deshalb sieht ihr da auch Teile des 50-Hz-Antriebs dieser Uhr. Der Antrieb selbst ist aber nicht Teil dieser Bauanleitung – schließlich sollt ihr den selbst nach Belieben anflanschen können. In den Bildern wird jeweils darauf hingewiesen. Zum Nachbauen stützt euch auf die Designer-Bilder; die Fotos dienen nur der Veranschaulichung.

Verwendete seltene Bauteile

Außer einigen häufig vorhandenen Bauteilen werden in diesem Getriebe folgende seltener Spezialteile verwendet – die braucht ihr also, wenn ihr das Getriebe nachbauen möchtet:

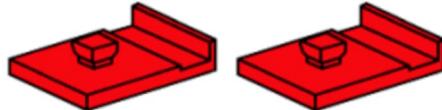
- Eine Metallachse 170 ([35696](#), oder länger):



- Eine Kunststoffachse 15 Seilklemmstift ([107356](#), rot; der klemmt strammer als der graue):



- Zwei Stück E-Magnet-Führungsplatte 15x20 ([32455](#)):



- Ein S-Mitnehmer ([31712](#), rot/schwarz):



Das Grundgestell

Wir beginnen mit zwei Bausteinen 30 und einem Baustein 15. Die Nut rechts im Bild ist später „vorne“, der Zapfen des BS15 „hinten“.

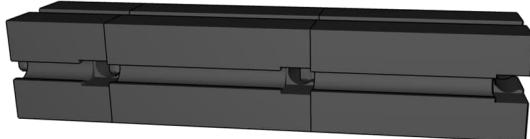


Abb. 14: Der Längsträger

Das wird beidseitig stabilisiert mit je zwei Verbindern 30 und 45 (Abb. 15).

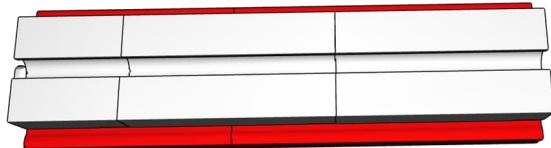


Abb. 15: Stabilisierung mit Verbindern 30 und 45

Oben und unten werden je zwei S-Kupplungen 15 2 ([38253](#)) angebracht, die später Achsen leichtgängig führen werden. Die vorderen (rechts im Bild) gehören bündig mit dem Baustein 30 angeordnet:

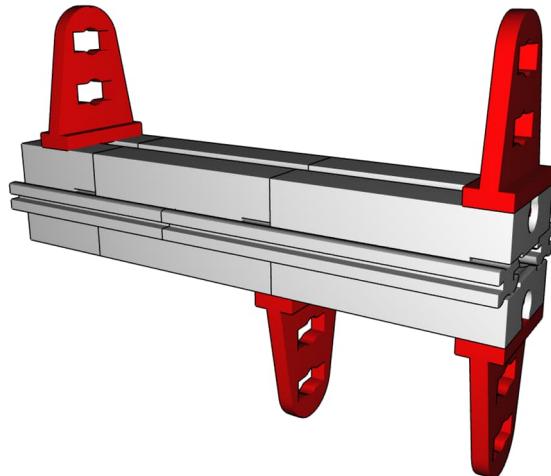


Abb. 17: Achslager

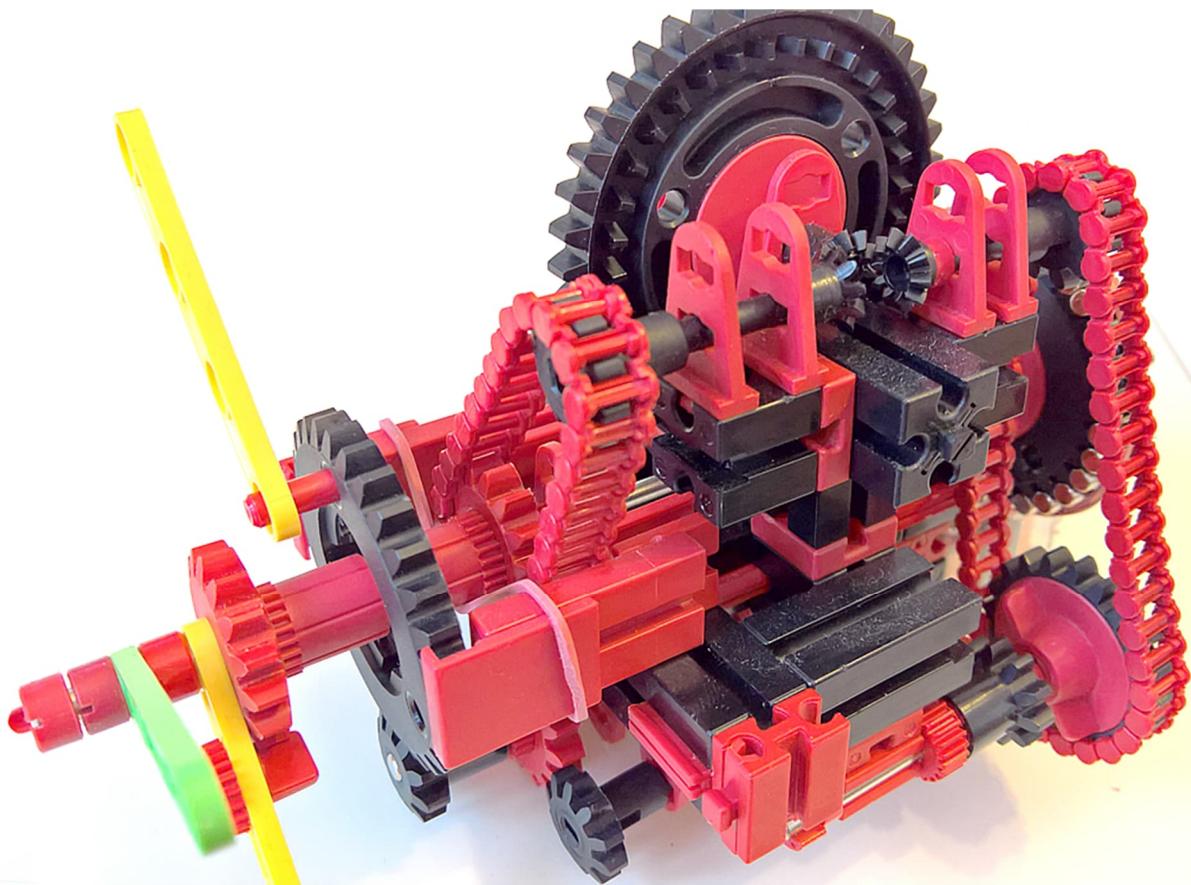


Abb. 16: Das fertige Getriebe (rechts hinten sieht man noch das Z30 mit 30 Neodym-Magneten aus der ersten damit gebauten Uhr; das Haushaltsgummi links ist hier ebenfalls entbehrlich)

Es folgen vier Bausteine 30:

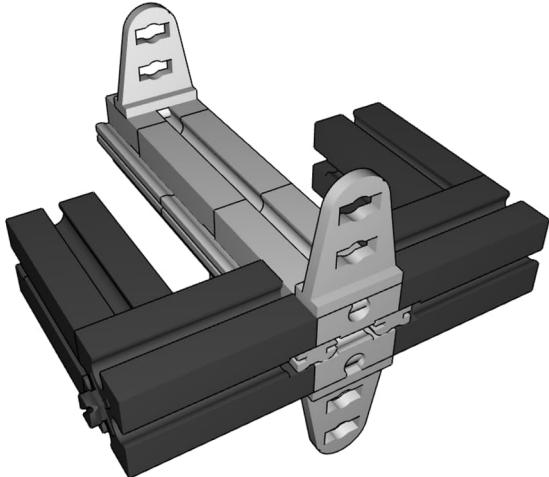


Abb. 18: Vervollständigung des Rahmens

In diesen Rahmen werden zwei Bausteine 15 mit aufgesetzten Bausteinen 5 eingeschoben. Der von vorne betrachtet rechte benötigt auf seiner Unterseite zusätzlich eine weitere *S-Kupplung 15 2* ([38253](#)). Achtet darauf, dass die BS5 auf der Oberseite ihre Nut quer zum Uhrwerk ausgerichtet haben. Außerdem bringen wir auf der Oberseite vorne schon mal zwei Federnocken an. Abb. 20 und 21 zeigen das.

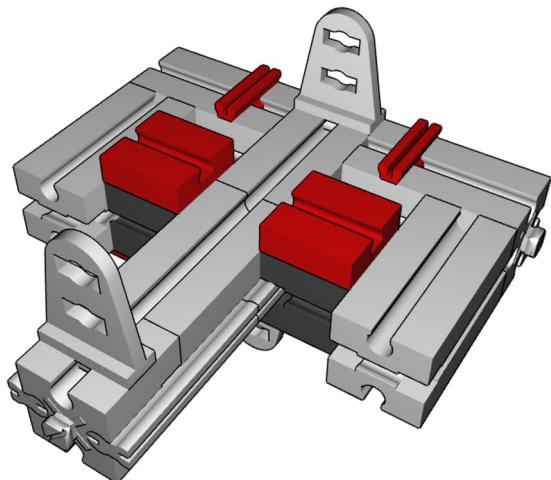


Abb. 20: Vorbereitung für weitere Aufbauten

Zusätzlich erhält die Unterseite noch eine *S-Kupplung 15 2* ([38253](#)) unter dem rechten BS30 sowie einen weiteren BS5. Die hier neu angebrachte vordere S-Kupplung wird später etwas weiter nach rechts (außen) justiert, damit Zahnräder leichtgängig ineinandergreifen. Aber dazu kommen wir noch.

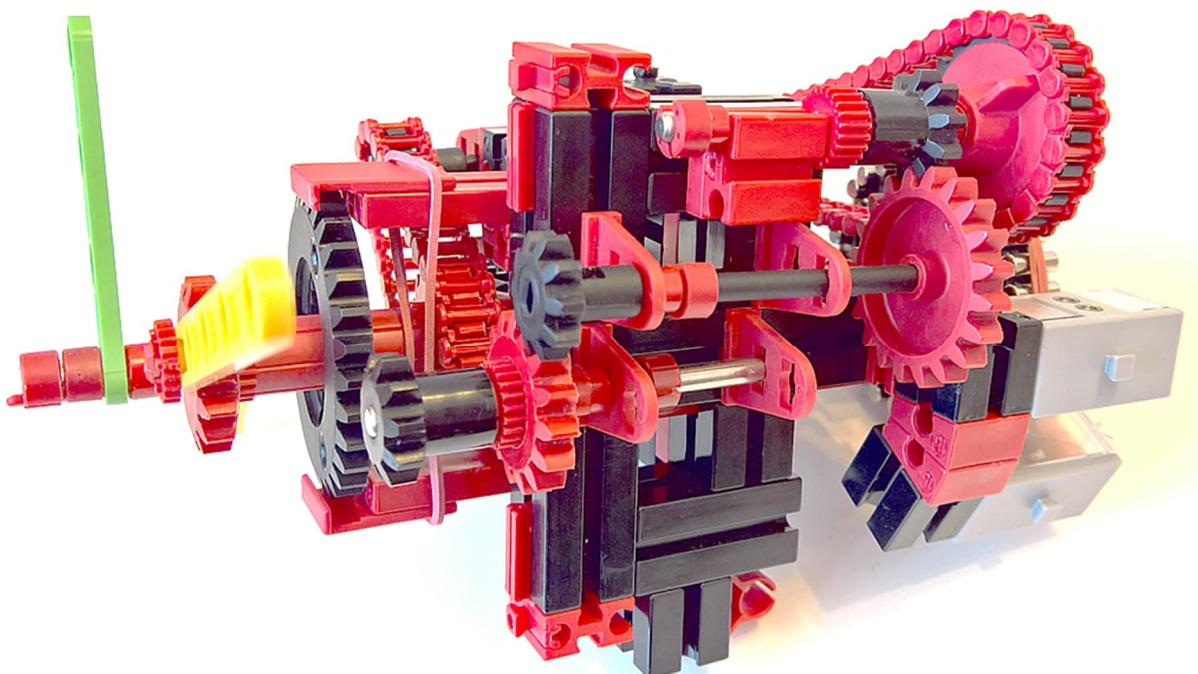


Abb. 19: Die Unterseite des Getriebes (auch hier sieht rechts man noch Reste des Elektromagnetschrittmotors, der nicht Gegenstand dieser Anleitung ist)

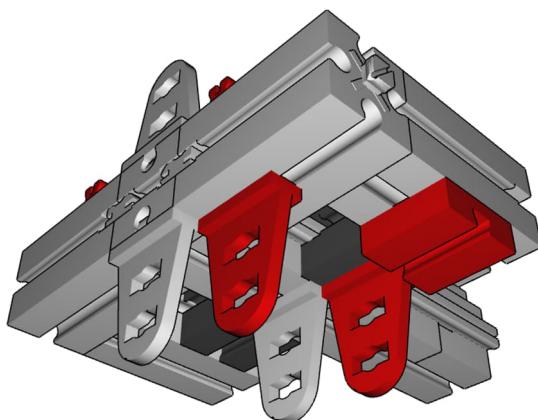


Abb. 21: Achslager und ein BS5 auf der Unterseite

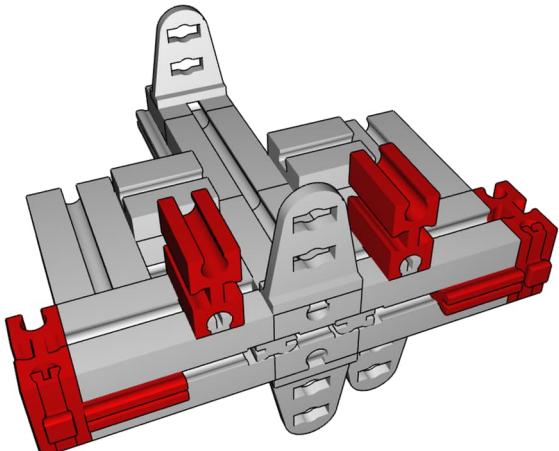


Abb. 22: Ein paar rote Bauteile für später

Auf die oben bereits angebrachten Federnocken kommen nun Bausteine 7,5. Wer die Frontplatte – wie später noch gezeigt – anbringen möchte (andere können das ausspielen): Links und rechts werden Verbinder 15 ergänzt (deren flache Seite muss vorne liegen!), sowie zwei weitere BS7,5 mit Federnocken (mit dem Zapfen nach vorne).

Getriebe für den Stundenzeiger

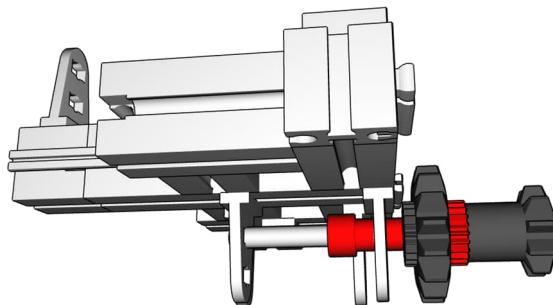


Abb. 24: Diese Achse wird später das Stunden-Z30 tragen und antreiben. Direkt um die S-Kupplung trägt sie zwei Abstandsringe 3.

Jetzt kommt die erste Achse: Eine Metallachse 60 trägt, von vorne nach hinten gesehen: Ein Ritzel Z10 mit Spannzange, ein Zahnrad Z15 – und zwar eines mit der fein zahnigen Einsparung, in das die feinen

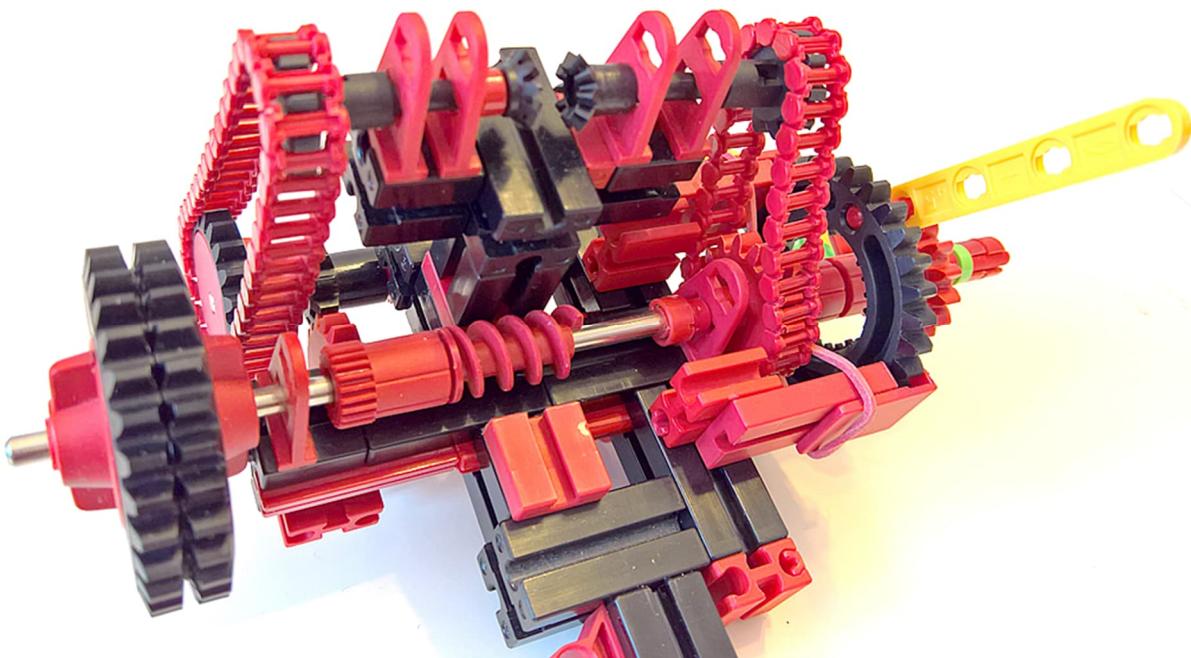


Abb. 23: Blick von oben ins Getriebe. Später wird noch ein Z40 ergänzt.
Die beiden Z30 links gehören zur ersten Uhr und sind nicht Teil dieser Bauanleitung.

Zahnräder der Spannzange eingreifen können – und wird schließlich von einem Klemmring gehalten. Der Klemmring aber stößt nicht direkt an die S-Kupplung, sondern die wird beidseitig erst von zwei *Abstandsringen 3* ([31597](#)) umgeben.

Wichtig: Die Klemmringe müssen so justiert werden, dass die Achse zwar zuverlässig in Position gehalten wird, sich aber noch völlig leichtgängig drehen kann! Also bitte den Klemmring nicht zu stramm ansetzen.

Den Konstruktionstrick mit den Abstandsringen anstatt nur Klemmringen verwende ich gerne, wenn es auf die besonders leichtgängige Lagerung einer Achse ankommt. So reibt nur wenig Material in geringem Radius um die Achse aneinander. Dieses Prinzip zieht sich durch das ganze Getriebe.

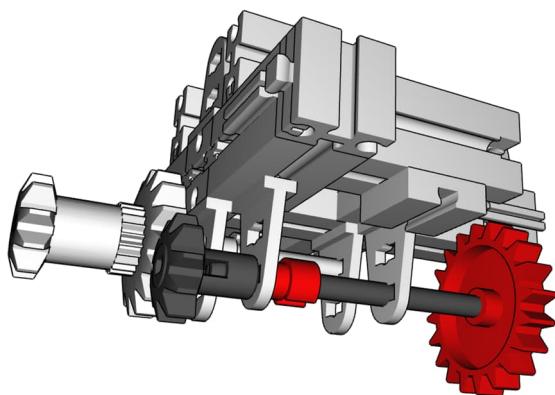


Abb. 25: Die nächste Achse für den Stundenantrieb

Durch die beiden anderen S-Kupplungen auf der Unterseite des Getriebes verläuft nun eine Rastachse 60 (Abb. 25). Sie trägt vorne ein Rast-Z10, wird wieder von der Kombination aus Abstandsring 3 und Klemmring fixiert und endet hinten im Getriebe mit einem Rast-Kettenzahnrad Z20 m1,5 ([137677](#)).

Die S-Kupplung vorne rechts müsst ihr etwas nach außen justieren, damit das Rast-Z10 satt, aber leichtgängig ins Z15 eingreift. Die hintere S-Kupplung könnt ihr nicht nach außen schieben, weil der BS5 auf der Unterseite im Weg ist. Die Rastachse 60

steht dadurch leicht schräg. Das macht aber nichts, da die Lagerung in den S-Kupplungen genügend Spiel bietet. Testet bitte, dass das Getriebe immer noch leichtgängig läuft.

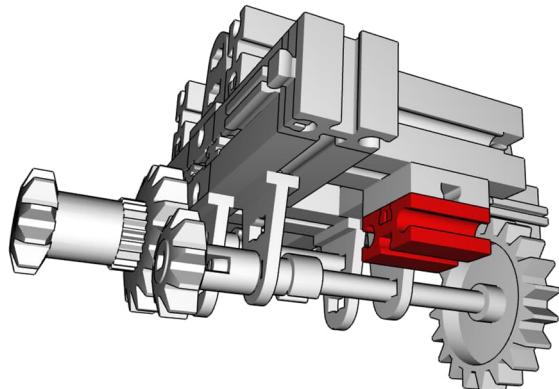


Abb. 26: Achslager

Auf den BS5 der Unterseite setzen wir nun einen Federnocken und einen BS7,5 (Abb. 26). Der trägt in seiner außen liegenden Nut die nächste Achse des Stundenantriebs – eine weitere Metallachse 60, bündig versehen mit einem Zahnrad Z20 auf einer Flachnabe, gefolgt von einem Ritzel Z10, auf der Frontseite wieder gesichert durch die Kombination aus Abstandsring 3 und Klemmring (Abb. 27).

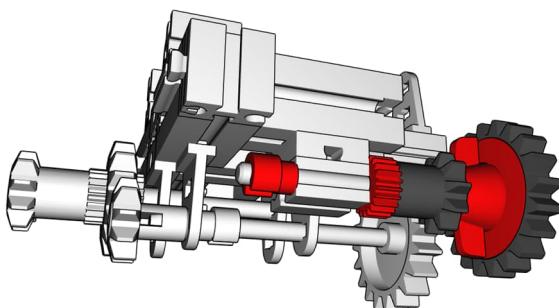


Abb. 27: Die dritte Stundenachse

Achse für den Sekundenzeiger

Die Achse für den Sekundenzeiger geht von ganz hinten bis ganz vorne durchs Getriebe. Das ist deshalb eine lange Metallachse 170 ([35696](#)). Sie trägt, von hinten nach vorne gesehen (Abb. 28):

- Eine Schnecke 45 m1,5 klemmbar ([37858](#)), fixiert mit einer Zangenmutter Z22 m0,5 ([31915](#)),
- einen Klemmring,
- zwei (!) Abstandshalter 3,
- vor der vorderen S-Kupplung einen Klemmring 5,
- ein Zahnrad Z15 (wiederum ein rotes oder schwarzes mit dem Einlass mit feiner Verzahnung),
- darin eine Zangenmutter Z22 m0,5 ([31915](#)) und schließlich
- in die hineingedrückt eine Hülse 15 ([31983](#)).

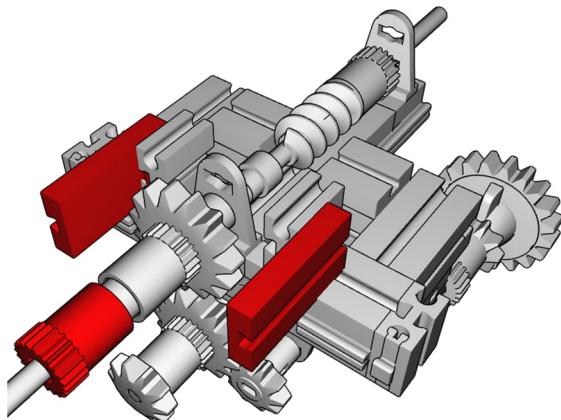


Abb. 29: Vervollständigen des „Tunneldurchgangs“ und Vorbereitung für die Führung eines Z30

Die Hülse wird später Teil des „Tunnels“ durch ein Z30 hindurch. Vorne kommt nun auf die Hülse eine weitere Zangenmutter Z22 m0,5 ([31915](#)). Seitlich ergänzen wir für die spätere Führung des Stunden-Z30 zwei Bausteine 5 15x30 ([35049](#), Abb. 28).

Zeiger

Das ist der geeignete Moment, die drei Zeiger anzubringen – auch wenn wir mit dem Getriebe noch gar nicht fertig sind.

Zunächst folgt der Stundenzähler (Abb. 30): Ein Z30 wird einfach auf das untere Z10 „gestellt“. Damit es nicht fällt oder kippt, wird es seitlich von den gerade eben verbauten Bausteinen 5 15x30 sowie zwei daran angebrachten E-Magnet-Führungsplatten 15x20 ([32455](#)) geführt – leider recht selten gewordene Spezialteile, die nur noch gebraucht erhältlich sind.

Der Zeiger selbst ist eine I-Strebe 45, die mittels einer Kunststoffachse 15 Seilklemmstift ([107356](#), rot) am Z30 angebracht wird. Der Stift sollte hinten bündig im Z30 enden. Die Strebe kommt ganz vorne auf den Seilklemmstift.

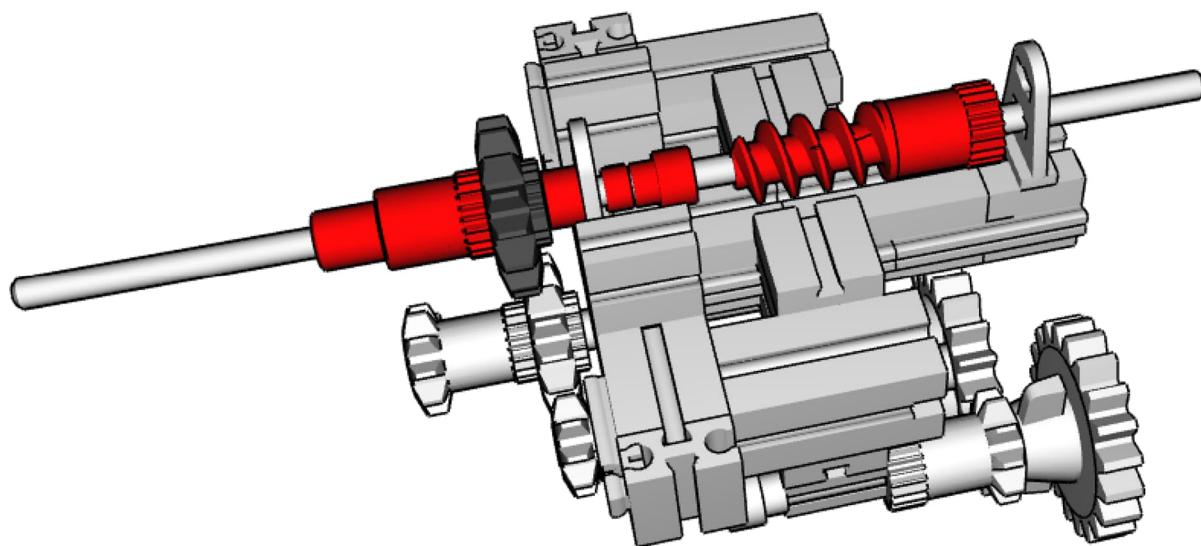


Abb. 28: Die Achse für den Sekundenzeiger

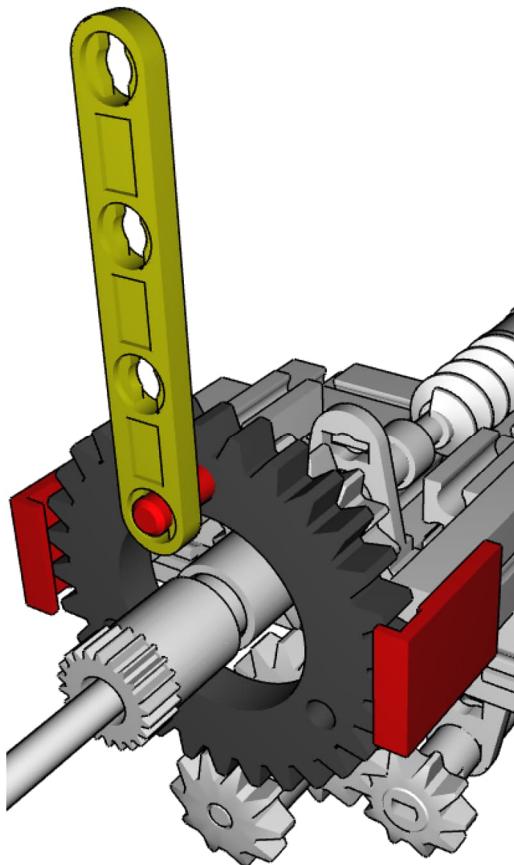


Abb. 30: Der Stundenzeiger

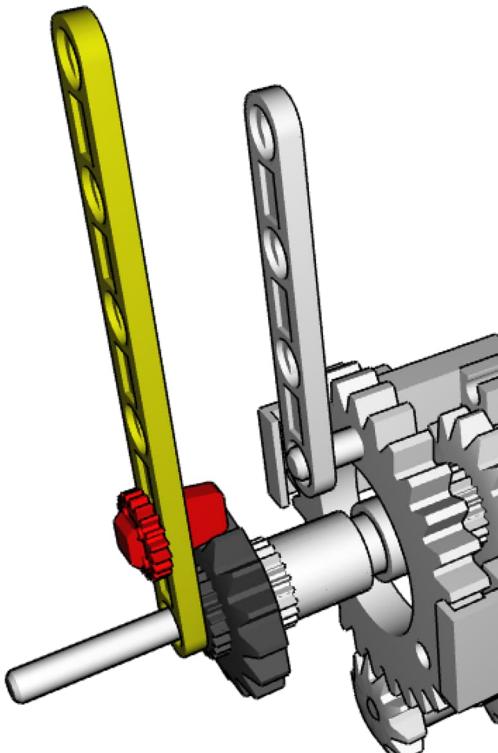


Abb. 31: Der Minutenzeiger

Eine I-Strebe 75 stellt den Minutenzeiger dar. Er wird angetrieben von einem weiteren Zahnrad Z15, welches mit seiner feinen Innenverzahnung auf die vordere *Zangenmutter Z22 m0,5* ([31915](#)) aufgesetzt wird. Mitgedreht wird der Minutenzeiger, weil er über einen *S-Riegel 4* ([111429](#)) mit den Zähnen des Z15 verbunden ist, gesichert mit einer *S-Riegelscheibe Z20 m0,5* ([36334](#)).

Schließlich folgt ganz vorne der Sekundenzeiger: Zunächst wird ein *S-Mitnehmer* ([31712](#)) mit seiner Spitze nach vorne auf die Achse gesetzt, dann eine I-Strebe 45 als Sekundenzeiger, und schließlich zur Sicherung zwei Klemmringe 5 (oder ein älterer Klemmring 10). Das alles soll vorne bündig mit der Achse abschließen. Verschiebt die Achse 170 also ggf. geeignet, bevor ihr weiterbaut.

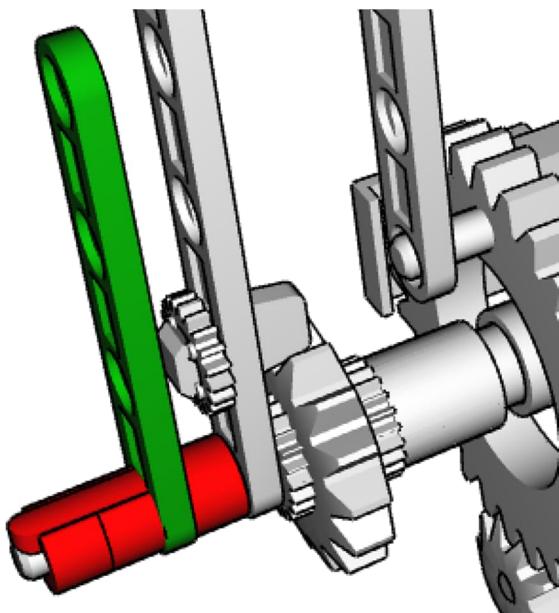


Abb. 32: Der Sekundenzeiger

Das Zentral-Z40

Die Schnecke, die wir verbaut haben, soll ein Zahnrad Z40 antreiben. Wir beginnen das Lager mit je einem Baustein 15 mit zwei Zapfen, Baustein 30 und einer weiteren *S-Kupplung 15 2* ([38253](#)) auf der von vorne gesehen rechten Seite des Modells. Die S-Kupplung schließt wieder bündig mit dem Baustein 30 ab (Abb. 30).

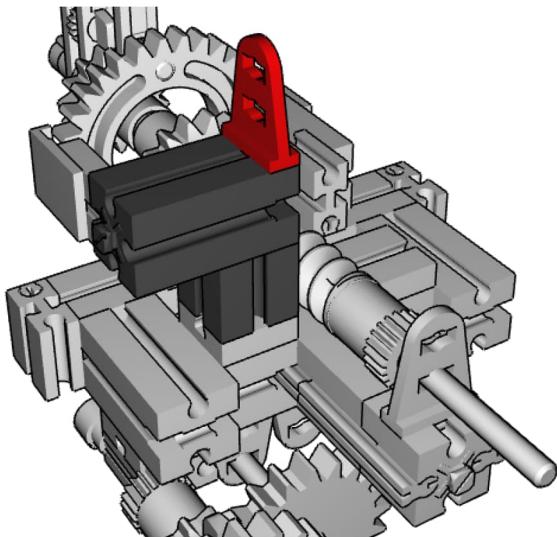


Abb. 33: Eine Hälfte des Z40-Lagers, von hinten gesehen

Bevor wir das zweite Lager ergänzen, kommt das Z40 auf einer Flachnabe dran. Es sitzt auf einer Rastachse 45, die hinter der S-Kupplung in einem *Rastkegelzahnrad Z10 m1 45°* (35062) endet (Abb. 34).

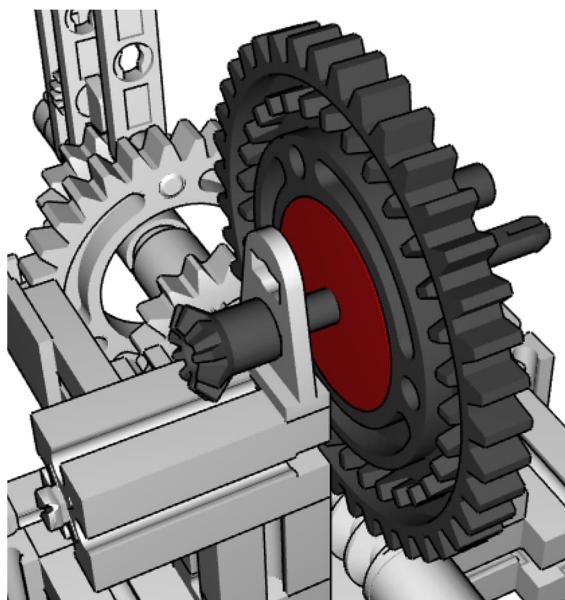


Abb. 34: Achse mit Z40 und Rastkegelzahnrad

Das Zahnrad Z40 soll so auf der Achse angebracht werden, dass es sauber mittig in die darunter liegende Schnecke eingreift. Die Schnecke wiederum muss so auf ihrer Achse justiert werden, dass sie das Z40 antreiben kann, ohne dass Zähne mit dem hinteren Ende der Schnecke kollidieren.

Auf der anderen Seite des Z40 besteht das Lager einfach aus einem Statikträger 30 mit aufgesetzter *S-Kupplung 15 2* (38253). Die Ausrichtung der Nut des Statikträgers quer zum Getriebe sorgt für die präzise Führung. Nach außen kann der Statikträger auf dem darunter liegenden Baustein 5 so justiert werden, dass sich das Zahnrad Z40 störungsfrei drehen kann:

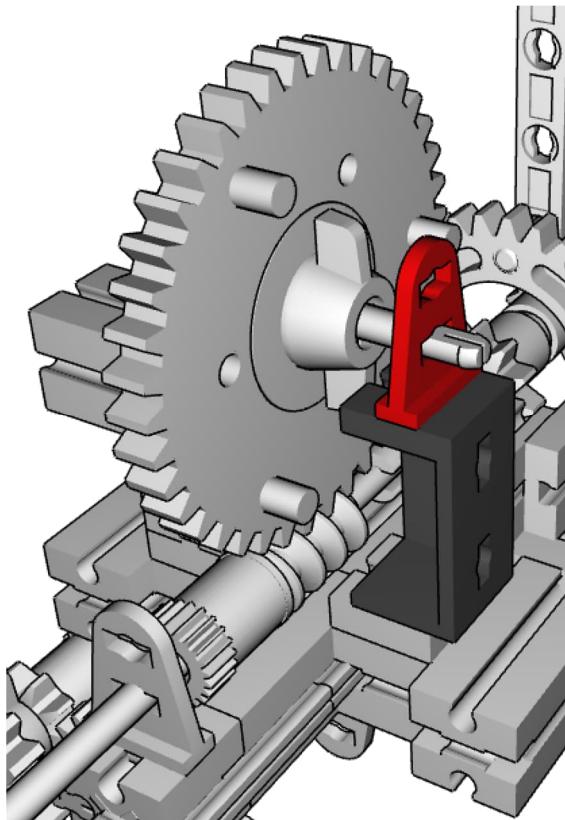


Abb. 35: Die zweite Hälfte des Z40-Lagers

Antriebsstrang zum Minutenzeiger

Für den Minutenzeiger ergänzen wir auf der von vorne gesehen rechten Seite des Modells ein Lager für eine weitere Achse. Es besteht aus Baustein 5, Baustein 15 und zwei weiteren *S-Kupplungen 15 2* (38253) (Abb. 36).

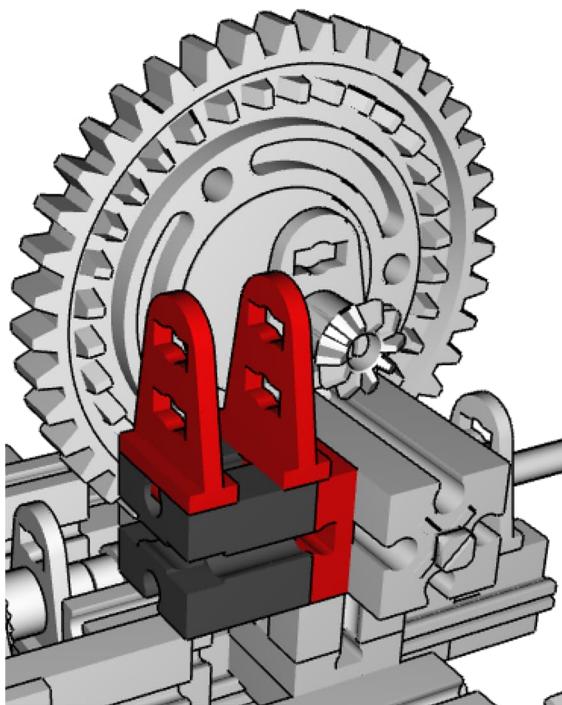


Abb. 36: Lager für die Minuten-Antriebsachse

Davon gelagert wird eine Rastachse 30, die hinten ein *Rastkegelzahnrad Z10 m1 45°* ([35062](#)) trägt und vorne ein Rast-Z10 (Abb. 37).

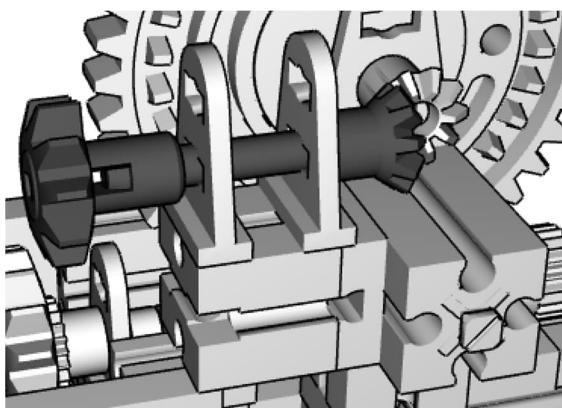


Abb. 37: Minuten-Antriebsachse

Das muss so justiert werden, dass es satt und leichtgängig in das vorherige Rastkegelzahnrad (auf der Achse des Z40) eingreift. Das Z10 müsste dann recht gut in einer Ebene mit dem hinteren Z10 des „Tunnel-durchgangs“ liegen, sodass wir eine Kette um beides schlingen können (Abb. 38).

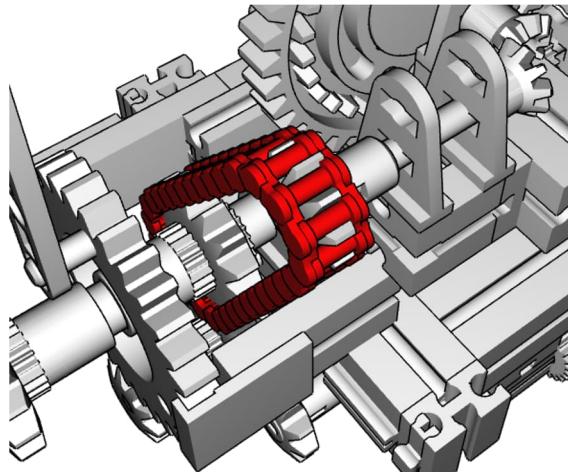


Abb. 38: Eine Kette verbindet das Rast-Z10 mit dem vorher verbauten hinteren Z15 auf der langen Metallachse 170

Wer sie besitzt, verwende die älteren Ur-Kettenglieder, die keinerlei seitliche Noppen tragen. Damit fällt es leicht, sauber an allen anderen Bauteilen vorbei zu kommen. Abb. 16, 19 (links) und 23 (rechts) zeigen ebenfalls gut, wie die Kette liegt.

Damit ist das Getriebe bis zum Minutenzeiger fertig! Wir können nun nachrechnen, ob die richtige Untersetzung erreicht wird. Wir haben zunächst

- Schnecke auf Z40 (1:40) und dann
- über die Kette Z10 auf Z15 (10:15).

Das ergibt, wie es zwischen Sekunden und Minuten sein soll:

$$\frac{1}{40} \cdot \frac{10}{15} = \frac{1}{60}$$

Antriebsstrang zum Stundenzeiger

In die andere Richtung – nach hinten im Modell – folgt ein zweites Lager aus Baustein 5 und zwei S-Kupplungen 15 2 ([38253](#), Abb. 40). Darin verläuft eine Rastachse 30 + Kegelzahnrad Z10 m1 45° ([35061](#)). Für den richtigen Abstand sorgt wieder ein Abstandsring 3. Am Ende sitzt ein weiteres Rast-Z10 darauf (Abb. 41).

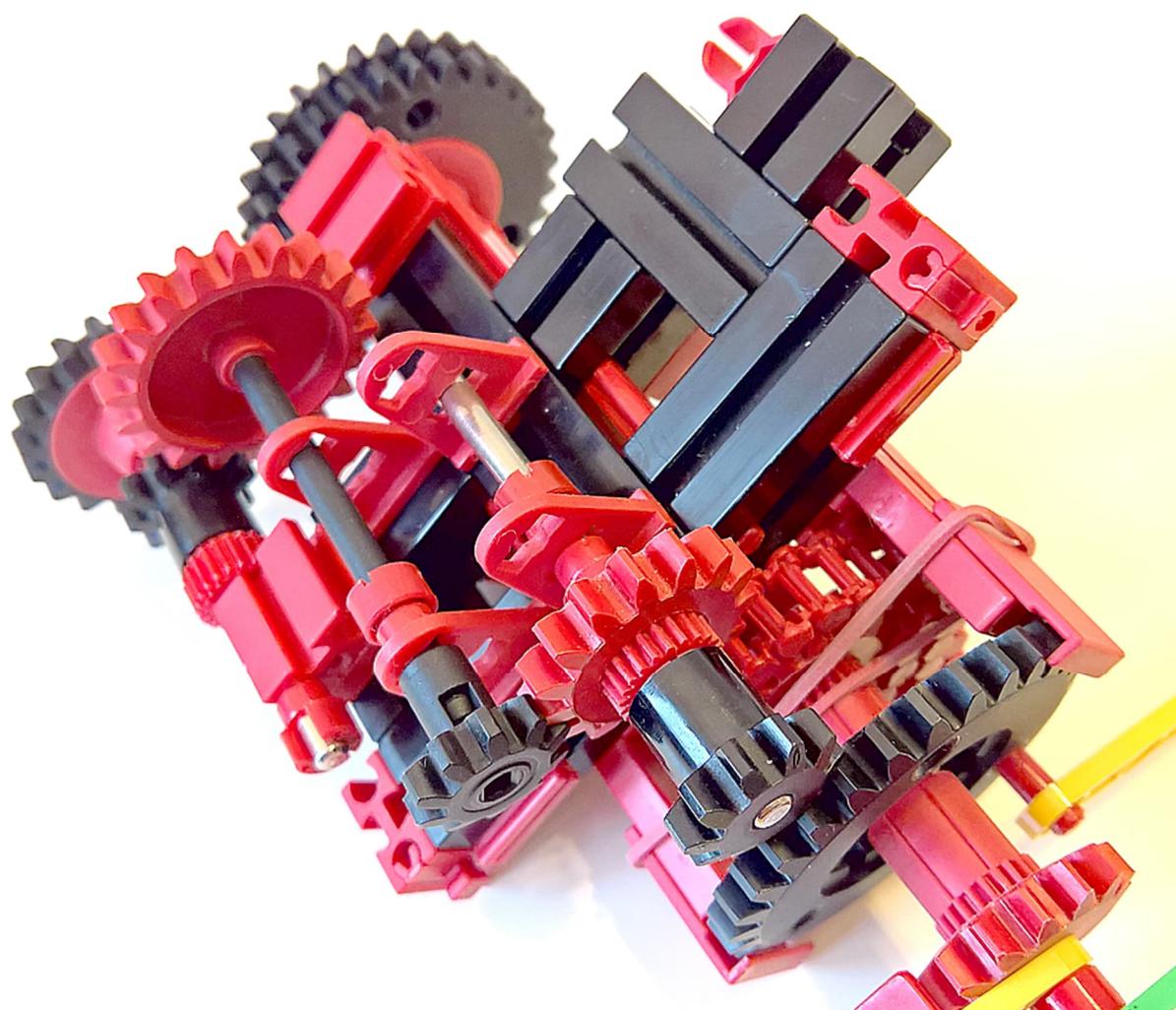


Abb. 39: Blick auf die Unterseite des Getriebes

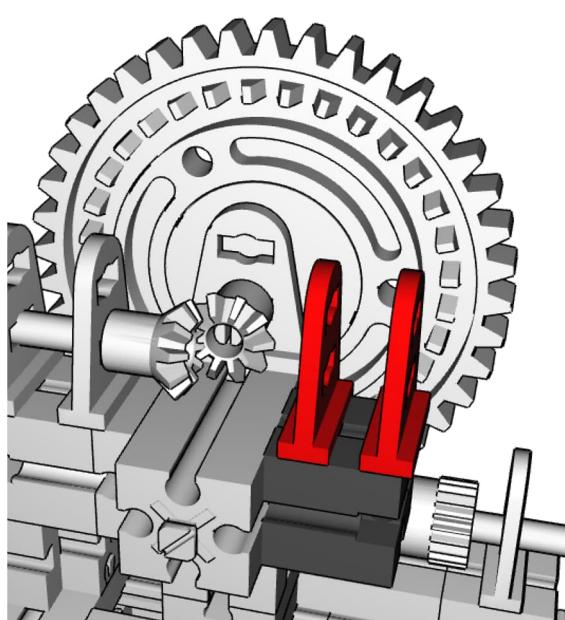


Abb. 40: Lager für die Stunden-Antriebsachse

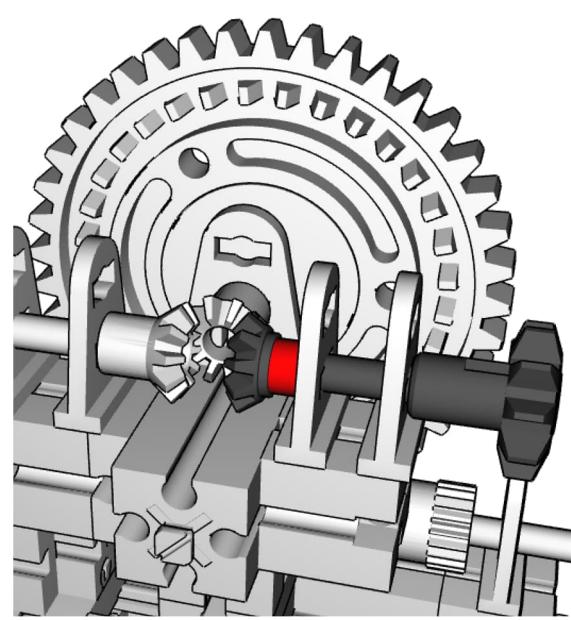


Abb. 41: Stunden-Antriebsachse

Dieses Z10 liegt in derselben Ebene wie das Z10 auf der Unterseite des Getriebes. Eine weitere Kette verbindet beide (Abb. 42).

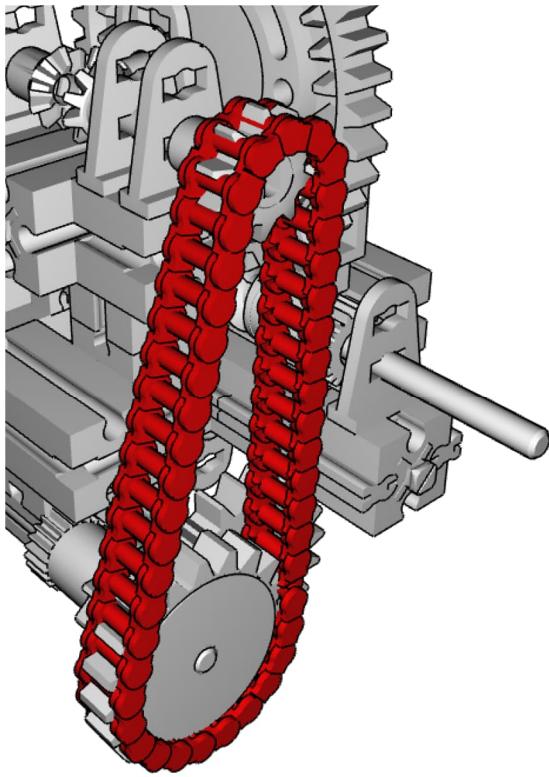


Abb. 42: Kette für den Stundenantrieb auf der Rückseite des Getriebes

Rechnen wir wieder nach. Zwischen der durchgehenden Sekundenachse und dem Stundenzeiger haben wir:

- Schnecke auf Z40 (1:40),
- Kette mit Z10 auf Z20 (10:20),
- auf der Unterseite zunächst Z10 auf Z20 (10:20),
- vorne unten Z10 auf Z15 (10:15) und schließlich
- Z10 auf Z30 (10:30).

Das ergibt:

$$\frac{1}{40} \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{10}{15} \cdot \frac{10}{30} = \frac{1}{720} = \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{12}$$

Der Stundenzeiger dreht sich also mit $1/12$ der Umdrehungsgeschwindigkeit des Minutenzeigers – ganz wie es sein muss.

Damit ist das Getriebe selbst fertig. Nur symbolisch stelle ich hier mit einer aufgesetzten Kurbel dar, wo ein Antrieb – welcher Art und Steuerung auch immer – die Uhr antreiben kann (Abb. 43).

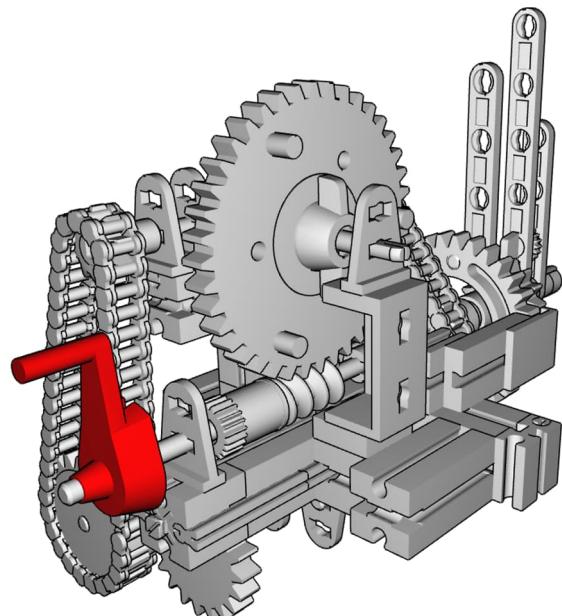


Abb. 43: Das fertige Getriebe mit einem symbolischen Antrieb

Die Frontplatte

Zum Abschluss bleibt noch eine dunkle Frontplatte anzubringen, gegenüber der sich die Zeiger gut abheben (siehe Abb. 11, 13). Die Frontplatte besteht aus vier *Grundplatten* 120x60x7,5 ([35129](#), schwarz):

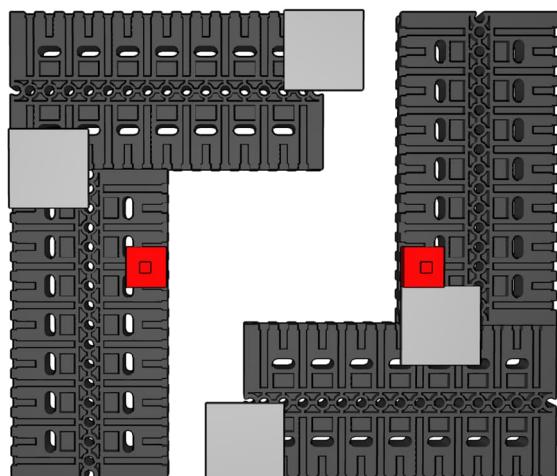


Abb. 44: Frontplatten-Hälften von der Rückseite gesehen

Am besten baut man die linke und rechte Hälfte separat. Als Verbindung zwischen den Platten bieten sich *Bauplatten 30x30 4Z* ([38265](#), schwarz) an, die Farbe ist aber nicht wesentlich. Die beiden roten Bausteine 5 mit zwei Zapfen sind so angebracht, dass sie zu den in Abb. 22 ergänzten Halterungen passen.

Die beiden Frontplattenhälften werden von links und rechts kommend zwischen die Zeiger und dem Uhrwerksrahmen eingefügt und zusammengesteckt:

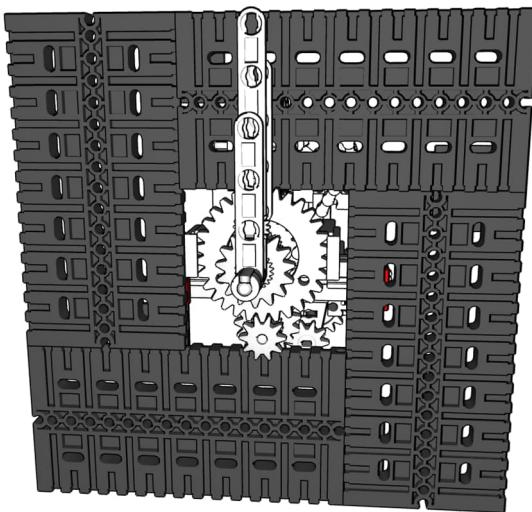


Abb. 45: Die Frontplatte in Position

Die Bausteine 5 mit zwei Zapfen landen dann links und rechts vor den dafür gedachten Halterungen (Abb. 46).

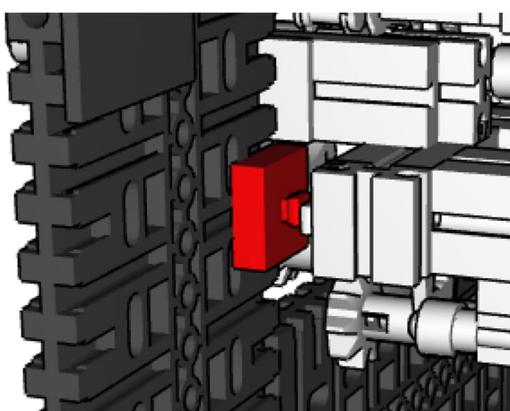


Abb. 46: Position auf der rechten Seite

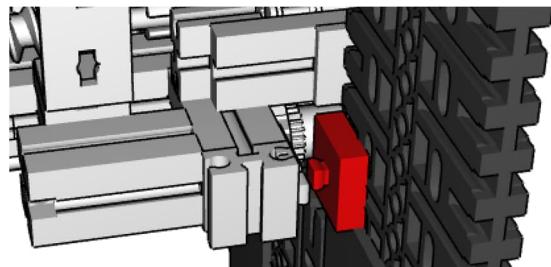


Abb. 47: Position auf der rechten Seite

Nun brauchen wir nur noch links und rechts je einen Baustein 7,5 dazwischenschieben, und schon hält die Frontplatte sich zuverlässig am Getrieberahmen fest.

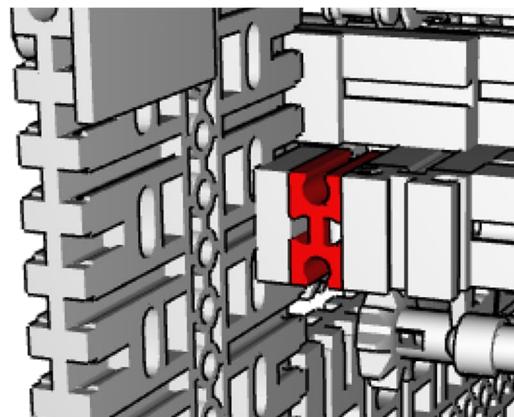


Abb. 48: Zwischen-BS7,5 auf der rechten Seite

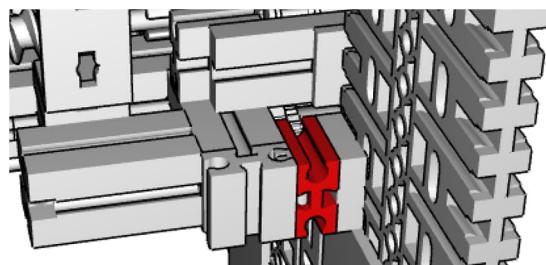


Abb. 49: Zwischen-BS7,5 auf der linken Seite

Als Markierungen für die Uhrzeiten 3, 6, 9 und 12 können wir auf der Vorderseite Bausteine 7,5 auf Federnocken anbringen.

Man beachte, dass die Frontplatte nicht genau zentrisch um die Zeigerachsen liegt. Unterhalb des Z30 muss ja Platz für das Z10 sein, welches das Z30 antreibt. Deshalb muss die untere Markierung – die für 6 Uhr – höher angebracht werden als es die halbe Nut in der Bauplatte an dieser Stelle erlaubt.

Ich habe dafür zwei BS7,5 auf eine Federnocke gesetzt, die mit zwei weiteren *Kunststoffachsen 15 Seilklemmstift* ([107356](#)) verbunden sind. Auf den unteren kommt eine *Bauplatte 15x15 1Z* ([36911](#), schwarz), die den unerwünschten „roten Fleck“ abdeckt.

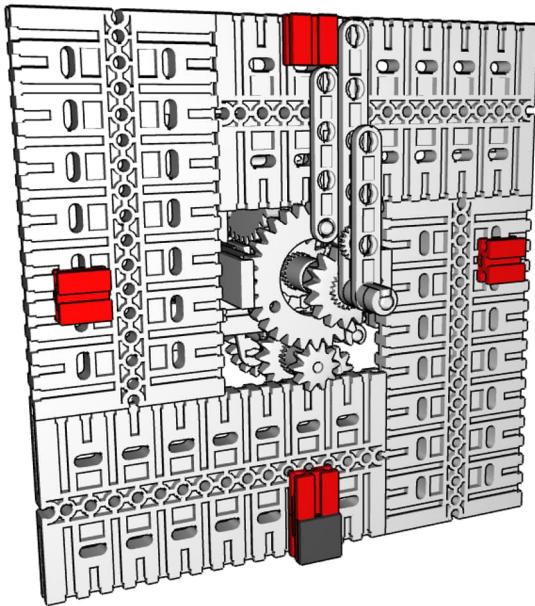


Abb. 50: Ziffernmarkierungen

Wem keine weiteren Seilklemmstifte zur Verfügung stehen, kann für die Ziffernmarkierungen auch einfach Bausteine 15 und unten einen *Baustein 5 15x30* ([35049](#)) mit einer (möglichst nicht roten) Platte 15x15 als Abdeckung verwenden.

Antriebsmöglichkeiten

Am hinteren Ende der langen Metallachse 170 könnt ihr nun beliebige Antriebe und Steuerungen ansetzen lassen. Einzige Anforderung: Innerhalb einer Minute muss die Achse genau eine Umdrehung in der richtigen Drehrichtung vollführen, damit der Sekundenzeiger korrekt angetrieben wird. Alles andere leistet das gerade gebaute Getriebe. Ein Motorantrieb, der die Achse jede Sekunde um 1/60 Umdrehung

dreht, funktioniert ebenso wie einer der unzähligen 50-Hz-Antriebe, die in [2] zu bewundern sind. Auch eine gut gebaute Pendelmechanik funktioniert. Lasst eurer Phantasie freien Lauf.

Quellen

- [1] fischertechnik: *Statik*. Bauanleitung in der [ft-Datenbank](#), S. 40.
- [2] ft Community: [Uhren](#).
- [3] Thomas Püttmann: *50Hz-Uhr mit Stunden-, Minuten- und Sekundenzeiger*. Im [Bilderpool](#) der ft Community, 2011.
- [4] fischertechnik-Datenbank: [Freilauf](#).
- [5] Helmut („hamlet“): *Und noch 'ne 50Hz Uhr*. Im [Bilderpool](#) der ft Community, 2013.
- [6] Claus Ludwig: *Design-Uhr*. Im [Bilderpool](#) der ft Community, 2020.
- [7] Rüdiger Riedel: *Die Zahnstangen-Uhr*. [ft:pedia 2/2018](#), S. 24–37.
- [8] Stefan Falk: *50-Hz-Electronics-Zeigeruhr mit Sekundenzeiger*. Im [Bilderpool](#) der ft Community, 2016.
- [9] Stefan Falk: *Geräuschlose 50-Hz-Uhr mit Rotor als Sekundenwelle*. Im [Bilderpool](#) der ft Community, 2017.
- [10] Stefan Falk: *Geräuschlose 50-Hz-Uhr mit Neodym-Sekundenwelle*. Im [Bilderpool](#) der ft Community, 2017.
- [11] Stefan Falk: *50-Hz-Pendeluhr mit Sekundenzeiger*. Im [Bilderpool](#) der ft Community, 2023.
- [12] Michael Samek: *fischertechnik Designer*. Auf [3dprofi.de](#).
- [13] Stefan Falk: *Uhrwerk*. Download zu diesem Beitrag auf der [ft:pedia-Website](#).

Modell

Laserprojektion (1): Hypozykloiden

Arnoud van Delden

Zufällig stieß ich kurz hintereinander auf mehrere Hinweise auf faszinierende Figuren: Auf dem Dachboden fand ich einen alten „Spirograph“-Zeichenkasten und fand in alter und neuer Literatur solche Kurven [1, 2]. Bald wurde mir schwindelig von den verschiedenen Begriffen. Denn was genau ist eine „Zykloide“, „Hypozykloide“, „Epizykloide“ oder „Trochoide“? Und ist es möglich, diese wundersamen Figuren sowohl mechanisch als auch elektronisch mit einem kleinen Halbleiterlaser zu projizieren?

Zykloiden

Eine Zykloide ist eine mathematische Figur. Es ist der Weg, den ein Punkt auf einem Kreis nimmt, der über oder an einer anderen Figur (z. B. einem anderen Kreis) entlang rollt. Optisch sehr auffällig sind die Hypozykloiden, die entstehen, wenn sich ein (Zahn-)Rad in einem anderen (Zahn-)Rad dreht. Ein Punkt auf dem inneren Zahnrad beschreibt, wenn wir dieses Zahnrad drehen, eine Hypozykloide. Platzieren wir den Punkt nicht am Rand, sondern näher am Drehpunkt, nennen wir diese Kurve eine Trochoide. Hypo- ist das griechische Präfix für „unter“ und epi- für „an“. Wenn wir ein kleines Zahnrad in ein größeres stecken, zeichnen wir Hypotrochoiden, wenn wir ein kleines Zahnrad außen um das größere legen, erscheinen Epitrochoiden. Ohne es zu merken, haben wir als Kinder echte Trochoiden mit dem alten Spirographen aus Abb. 1 gezeichnet.

In der Praxis entstehen Zykloiden durch „Modulieren“ (Multiplizieren) einer kreisförmigen Kurve mit einem bestimmten Durchmesser (z. B. der durch den Punkt auf dem inneren Rad beschriebenen Bahn) durch eine zweite kreisförmige Kurve mit einem anderen Durchmesser (z. B. dem äußeren Rad, über oder in dem sich das andere Rad dreht).



Abb. 1: Der Spirograph zeichnet Trochoiden

Diese Kurven lassen sich natürlich mathematisch mit Formeln beschreiben. Dieser Beitrag verfolgt einen praktischen Ansatz. Wichtige Parameter in den zugrunde liegenden Formeln sind der Radius des Außen- und des Innenrades. Das Verhältnis zwischen diesen bestimmt die Form der Zykloide. Die Erklärung mit kleinen Animationen auf der Wiki-Seite zu diesen Kurven verdeutlicht die Sache und macht auch klar, dass es innerhalb der Zykloidenfamilie mehrere spezifische Varianten gibt [3]. Neben den gewöhnlichen, nämlich den spitzen Zykloiden, gibt es die verlängerten

und somit verschlungenen sowie die verlängerten und somit gestreckten Epizykloiden, Perizykloiden und Hypozykloiden, die häufig auch Epitrochoiden, Peritrochoiden und Hypotrochoiden genannt werden.

Darüber hinaus haben einige Verhältnisse sogar einen eigenen Namen. Beispielsweise ist in Abb. 2 eine spitz zulaufende Hypozykloide mit einem Übersetzungsverhältnis von 3:2 zu sehen [2], während sich ein Kettenrad Z20 in einem Innenzahnrad Z30 dreht. Diese besondere Zykloide wird Deltoiden genannt.

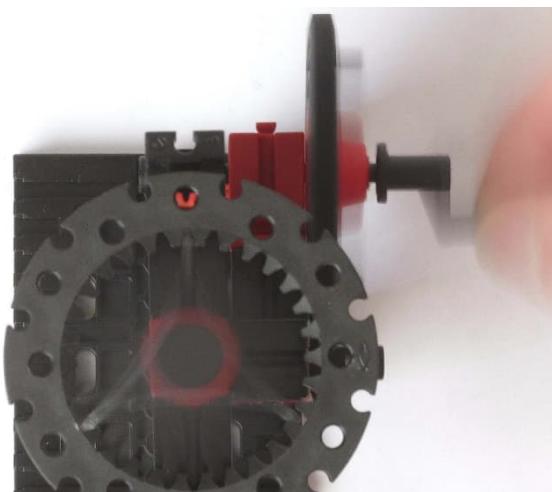


Abb. 2: Ein Punkt auf einem Z20 beschreibt eine Deltoiden im Innenzahnrad Z30

Zeichnen mit einem Laser

Montieren wir einen runden Spiegel leicht schräg in einem Winkel von wenigen Grad auf einer Achse und bestrahlen ihn mit einem Laser, so wird durch diesen „wackelnden“ Spiegel ein Kreis projiziert. Fällt der Lichtstrahl auf einen zweiten „wackelnden“ Spiegel, beschreibt der resultierende Lichtstrahl eine Zykloidenkurve. Die beiden Spiegel müssen sich dann gegenläufig drehen, genau wie das Planetenrad, das in Abb. 2 auf der kreisförmigen Bahn des Innenzahnrad läuft. Der erste Spiegel würde dann dem Beitrag eines Zahnrad zur resultierenden Kurve entsprechen.

Diese (kreisförmige) Lichtkurve wird dann durch den zweiten Spiegel „moduliert“, ähnlich dem Einfluss des anderen Zahnrad. Bei solchen Kurven beschreibt der Laserlichtpunkt schnell eine Bahn, die nicht vollständig in den umhüllenden, größten Kreis fällt. Solche Zykloiden könnte man Hypotrochoiden nennen. Die Figuren zeigen große Ähnlichkeiten mit der mathematischen Rosettenkurve [4].

Die endgültige Kurve hängt, wie bei den Übersetzungsverhältnissen des Spirographen, vom Verhältnis der beiden Rotationsgeschwindigkeiten der Spiegel ab. Abb. 3 gibt einen Eindruck von den Formen, die sich bei unterschiedlichen n/d -Verhältnissen ergeben. Wenn beide Spiegel genau die gleiche Rotationsgeschwindigkeit haben, ist das Ergebnis ein einfacher (relativ kleiner) Kreis. Dasselbe passiert, wenn sich einer der Spiegel nicht dreht.

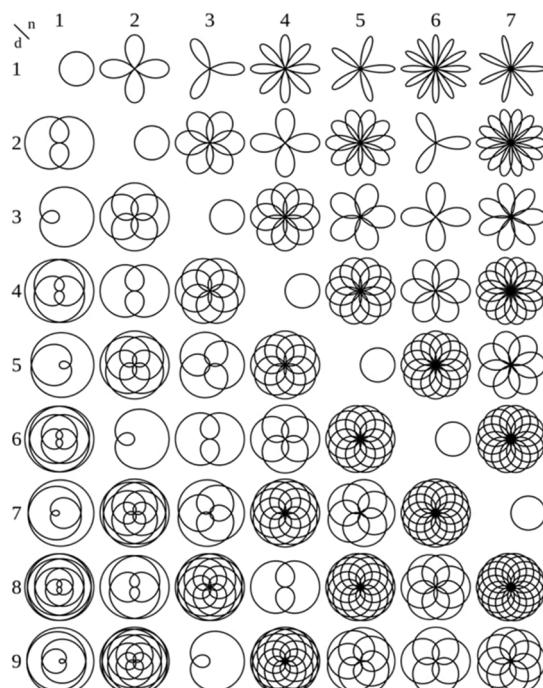


Abb. 3: Rosettenkurven bei unterschiedlichen Zahnraddurchmessern oder Drehzahlverhältnissen (Jason Davies, [CC BY-SA 3.0](http://www.mathopenref.com/constrosette.html))

Den in Abb. 3 gezeigten Rosetten fehlt die freie Fläche in der Mitte der verschiedenen Trochoiden, die beim Zeichnen mit dem

Spirographen entstehen. Aber mit etwas Phantasie ist zu erkennen, dass die blumenartigen Figuren aus der ersten Zeile mit komplexeren n/d-Verhältnissen in die Figuren übergehen, die wir vom Spirographen aus unserer Jugend kennen.

Laser und Spiegel

Für verschiedene Experimente und Projekte habe ich bereits eine Reihe verschiedener Halbleiterlaser zusammengetragen. Verschiedene rote (650 nm) mit Leistungen von 5 und 50 mW und ein blauer (450 nm) Laser mit einer Leistung von 100 mW, die alle mit einer Versorgungsspannung von 5 Volt arbeiten. Das grüne (532 nm) Modell mit 50 mW muss als einziges mit 1,8 Volt betrieben werden. Keiner dieser Laser ist stark fokussiert. Der Laserpunkt hat schnell einen Durchmesser von wenigen Millimetern.

Außerdem haben die Laser mit geringer Leistung (<50 mW) eigentlich zu wenig Lichtleistung für die Projektion. Als Ersatz für eine Linsenlampe in einer Lichtschranke sind sie sicherlich geeignet, jedoch sind mit ihnen projizierte Figuren bei Tageslicht kaum zu erkennen. Aus diesem Grund habe ich mich für den blauen Laser entschieden, der mit 100 mW eine wesentlich höhere Leistung hat und daher besser erkennbare projizierte Figuren erzeugt.



Abb. 4: Laser unterschiedlicher Leistung; separat, als Modul und in 3D-gedruckter Halterung mit JST-PH-Stecker

Wie bei allen Lasern ist Vorsicht geboten. Diese Laser sind relativ schwach, aber auch sie können Augenschäden verursachen. Blickt daher niemals direkt oder durch eine Optik in einem solchen Laser!

Für die Spiegel hat sich ein Durchmesser von 30 mm als ausreichend herausgestellt. Durch die etwas engere Platzierung der Spiegel reichte sogar ein Durchmesser von 20 mm aus. Wichtig ist nur, dass die vom ersten Spiegel gebildete Kreiskurve vollständig auf den zweiten Spiegel fällt. Prinzipiell sind auch kleine Spiegel aus einem Untersuchungssteleskop, Zahnarzt- oder Schminkset geeignet. Für meine allerersten Experimente habe ich einfach kleine runde Spiegel aus einer reflektierenden PVC-Platte geschnitten, die ich mit einer Klebe-pistole in einem leichten Winkel auf eine Flachnabe ([35031](#)) geklebt habe.

Normale Spiegel reichen aus, um die Figuren zu projizieren. Wenn es richtig gut werden soll, dann solltet ihr euch ein paar optische Oberflächenspiegel für Laser kaufen. Die reflektierende Schicht befindet sich hier auf der Oberfläche des Spiegels und der Laserstrahl muss nicht erst das transparente Glas passieren (dessen Oberfläche einen Teil des Lichts reflektiert). Dadurch werden „Geisterreflexionen“ vermieden und das projizierte Bild nicht unnötig „getrübt“.

Für diese Spiegel mit einem Durchmesser von 30 mm habe ich schließlich eine Halterung konstruiert, die über eine Flachnabe geklemmt werden kann (Abb. 5). Für die Weiterführung dieses Projektes werden ähnliche Halterungen für Rundspiegel mit einem Durchmesser von 25 mm verwendet, die direkt auf die Motorwelle eines fischertechnik-Motors aufgesetzt werden können. In beiden Fällen ist der Spiegel zur Nabe bzw. der Plattform in einem Winkel von 4 Grad geneigt, sodass der rotierende Spiegel von selbst zu „wackeln“ beginnt [5].

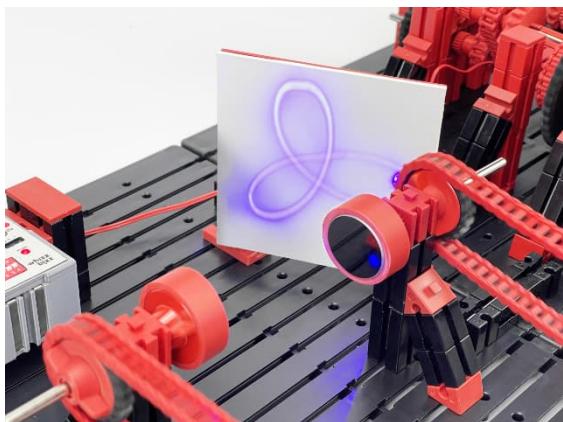


Abb. 5: Spiegelhalter, die über eine Flachnabe geschoben werden können

Mechanisches Getriebe

Um die beiden Dreh- oder Schwingspiegel mit einem gemeinsamen Motor, aber unterschiedlichen Drehzahlen anzutreiben, ist ein mechanisches Getriebe mit zwei Abtriebswellen ideal, deren Drehzahlen getrennt regelbar sind.

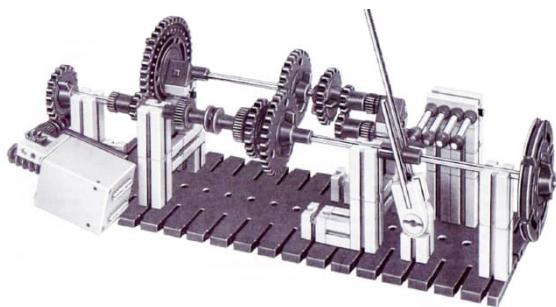


Abb. 6: Schaltgetriebe aus Hobby2 Band 3
(Abbildung 66.2) [6]

In den fischertechnik-Hobbybändern wird an verschiedenen Stellen auf das Prinzip eines Schaltgetriebes eingegangen; der Schwerpunkt liegt dabei auf der Fahrzeugtechnik (Abb. 6). Die verschiedenen Gänge müssen dafür nicht in gleichen Schritten steigen; sie werden hauptsächlich verwendet, um unterschiedliche Drehmomente an der Antriebsachse zu erzeugen. Dabei gilt: Je niedriger die Drehzahl, desto höher das Drehmoment.

Diese Modelle dienen in erster Linie der Verdeutlichung des Prinzips, daher wird der Schaltwelle meist nicht die endgültige Drehbewegung entnommen und oft nur eine begrenzte Anzahl von Abtriebsdrehzahlen bzw. Drehmomentverhältnissen erreicht.

Um möglichst viele verschiedene Hypotrochoiden herstellen zu können, wäre ein Getriebe mit möglichst vielen aufeinander folgenden Gängen ideal. Am besten wäre ein Getriebe mit den Übersetzungen 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 und 1:6. Würde ein solches von einem einzigen Motor angetriebenes Getriebe doppelt ausgeführt, so ließe sich die ganze 6x6-Matrix der Hypotrochoiden aus Abb. 4 projizieren (also auch die Übersetzungen 3:4, 5:4 etc.).

Am günstigsten wäre es, die unterschiedlichen Übersetzungen „direkt“ vorzunehmen, indem der Motor Zahnräder Z10, Z20, Z30, Z40, Z50 und Z60 mit der gleichen Drehzahl antreibt. Ein Z10 auf der Abtriebswelle könnte dann einfach durch diese sechs Gangstufen geschaltet werden, um die verschiedenen Übersetzungen einzustellen.

Zahnräder Z50 und Z60 gehören jedoch nicht zum Standardprogramm von fischertechnik. Eine Übersetzung von 1:5 oder 1:6 erfordert ein eigenes kleines Getriebe [7]. Um bei einem Minimum von sechs Gängen zu bleiben und den mechanischen Aufbau so einfach wie möglich zu halten, habe ich daher beschlossen, die fehlenden Z50 und Z60 selbst zu entwerfen und zu drucken.¹

Ich habe den ersten Prototyp des Getriebes mit drei Z10 auf der Schiebeausgangswelle ausgestattet (Abb. 7). Der Abstand der Reihe von sechs Antriebsräder ist so gewählt, dass jedes Z10 auf der Zentralwelle im gesamten Hub von $(6 \times 7\frac{1}{2}) = 45$ mm von nur zwei Antriebsräder angetrieben wird.

¹ In einem weiteren Beitrag in dieser Ausgabe der ft:pedia beschreibe ich die Designschrifte, die ich

dafür mit der von mir verwendeten 3D-Software vorgenommen habe.

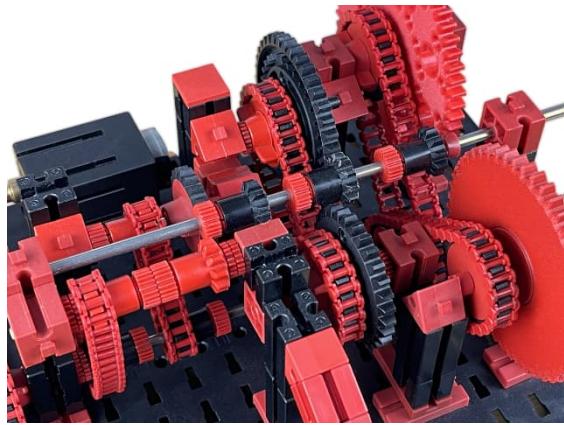


Abb. 7: Prototyp des Getriebes mit drei Z10 auf der Zentralwelle

Das Prinzip ist im Diagramm in Abb. 8 erkennbar. Jede gestrichelte Linie ist ein Abstand von einer halben „fischertechnik-Einheit“ von 15 mm und entspricht somit einem Abstand von 7½ mm.

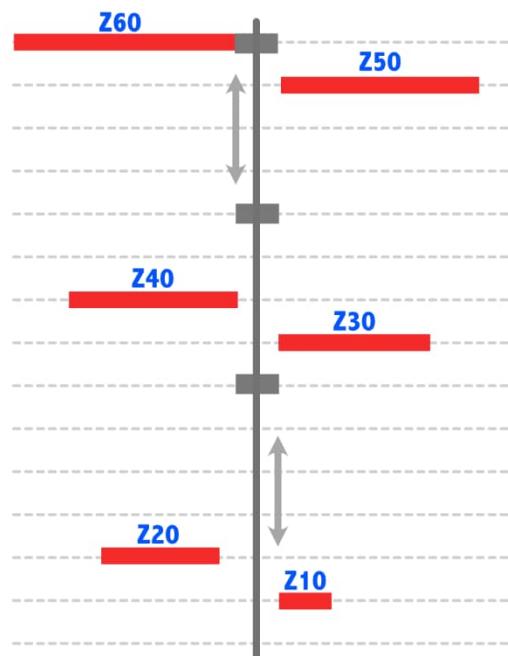


Abb. 8: Die Abtriebswelle kann entlang sechs Gänge gleiten

Obwohl es nicht unbedingt erforderlich ist, dass das Getriebe im laufenden Betrieb geschaltet werden kann, fand ich es schön, den Einfluss der möglichen Drehzahlverhältnisse auf die verschiedenen projizierte Kurven einfach vergleichen zu können.

Es zeigte sich, dass die Verwendung von Z10 auf der Zentralwelle nicht optimal ist. Dieses Zahnrad hat eigentlich einen zu kleinen Umfang für die $m=1,5$ -Verzahnung. Da der Durchmesser des Rades zu klein ist, werden die Zähne zu weit „unterschnitten“ und bilden nicht das ideale Maß [8, 9]. Dadurch wird das Schalten erschwert und es entsteht mehr Spiel. In einem Folgemodell habe ich daher diese Schalträder auf der Hauptwelle durch drei Z20 ersetzt (Abb. 9). Dadurch ändern sich die einstellbaren Übersetzungen zu $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$ und 3. Obwohl die Abtriebsdrehzahl dabei halbiert wird bleiben die Übersetzungsverhältnisse erhalten. Dabei schaltet das Getriebe leichter und läuft wesentlich leiser.

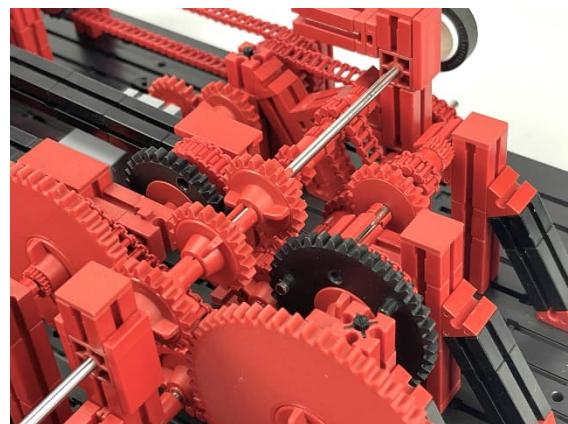


Abb. 9: Die Abtriebswelle kann entlang der sechs Gänge gleiten

Von der Entwicklung des Sechsgang-Getriebes habe ich ein Video gemacht, in dem man es in Aktion sehen (und hören!) kann [10]. Um beide Spiegel anzutreiben, braucht man ein zweites solches Getriebe, das spiegelbildlich gebaut wird. Damit hat die Abtriebswelle sofort die gewünschte entgegengesetzte Drehrichtung.

3D-gedruckte Teile

Weil ich die Möglichkeit dafür hatte, habe ich einige modellspezifische Teile für den Antriebsteil des Getriebes entworfen und gedruckt. Die Zahnräder Z50 und Z60 habe ich bereits erwähnt. Um die verschiebbare Hauptwelle anzutreiben, habe ich ein „verdicktes“ Z20 entworfen (Abb. 10).

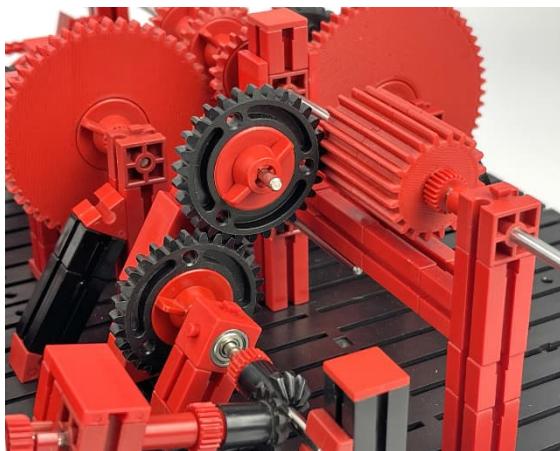


Abb. 10: Modular erweiterbares „Z20-Fass“ für den „Gangwechsel“

Für andere Anwendungen kann der 3D-Entwurf dieses „Z20-Fasses“ in 10 mm-Schritten verbreitert werden.²

Für das Modell nicht unbedingt erforderlich sind die speziellen Teile, die ich für den Laser [11] und die Spiegel entworfen habe. Die Lasersteine zur Befestigung der unterschiedlichen Laser (mit Durchmessern von 9 bzw. 13 mm; Abb. 4) und die „Wackelplattformen“ für die Spiegel lassen sich problemlos durch eigene Befestigungslösungen ersetzen.

Mechanische Grenzen

Mit dem Doppelgetriebe ist es möglich, die Figuren vollmechanisch zu „zeichnen“. Wer jedoch wie hier aus einem Motor zwei individuell einstellbare Drehzahlen machen möchte, stößt auf praktische Probleme. Obwohl der Aufbau des Getriebes durch die selbst entworfenen und gedruckten Zahnräder relativ einfach gehalten werden konnte, steigt die Gesamtzahl der Übertragungsmomente und Zahnräder in der Gesamtkonstruktion dennoch rapide an.

Das Doppelgetriebe hat nicht weniger als 58 Zahnräder und 16 Kettengetriebe!

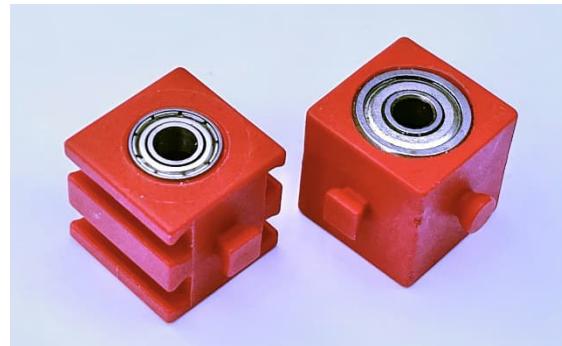


Abb. 11: Kugellager mit Außendurchmesser 9 und 12 mm in Schneckenmuttern

Um den Reibungswiderstand gering zu halten, habe ich überall, wo es möglich ist, Schneckenmuttern ([35973](#) oder [37925](#)) mit Kugellagern verwendet (Abb. 11). Für die beiden (36 cm) langen Schiebeschaltwellen und die Kugellagerwellen habe ich 4 mm-Silberstahl verwendet [12], der mühelos durch die Lager geführt werden kann.³

Trotz der Kugellager stieg der Reibungswiderstand schnell an. Der Motor erwies sich als stark genug, aber das Rutschen der Zahnräder auf den Wellen war manchmal ein Problem. Die fischertechnik-Naben lassen sich nicht beliebig fest anziehen und anscheinend war das Drehmoment, gerade wenn mal etwas stockte, deutlich größer. In den unteren Gängen war die Belastung teilweise so groß, dass bei versagender Mechanik gelegentlich sogar Kettenglieder brachen. Die Konstruktion schien in diesen Momenten an die Grenzen des mit fischertechnik Machbaren zu stoßen.

² Die STL-Dateien, um dieses Teil selbst zu drucken, findet ihr im Beitrag „Neue ft-Teile selbst gemacht“ in diesem Heft.

³ Wegen unterschiedlich dicker Chromschicht passen die meisten originalen fischertechnik-

Achsen nicht. Mit etwas Suchen und Probieren lässt sich aber oft eine fischertechnik-Achse finden, die problemlos in so ein Kugellager mit 4 mm-Bohrung eingesetzt werden kann.

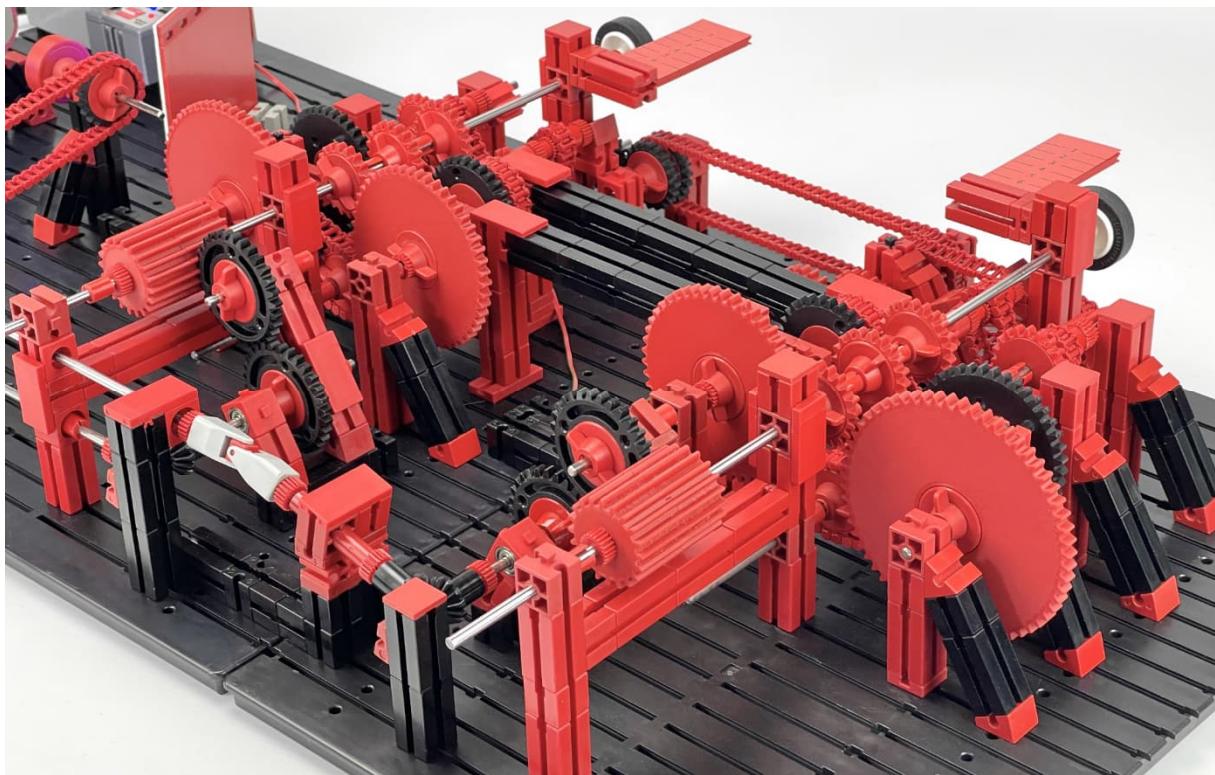


Abb. 12: Gesamtansicht des Getriebes

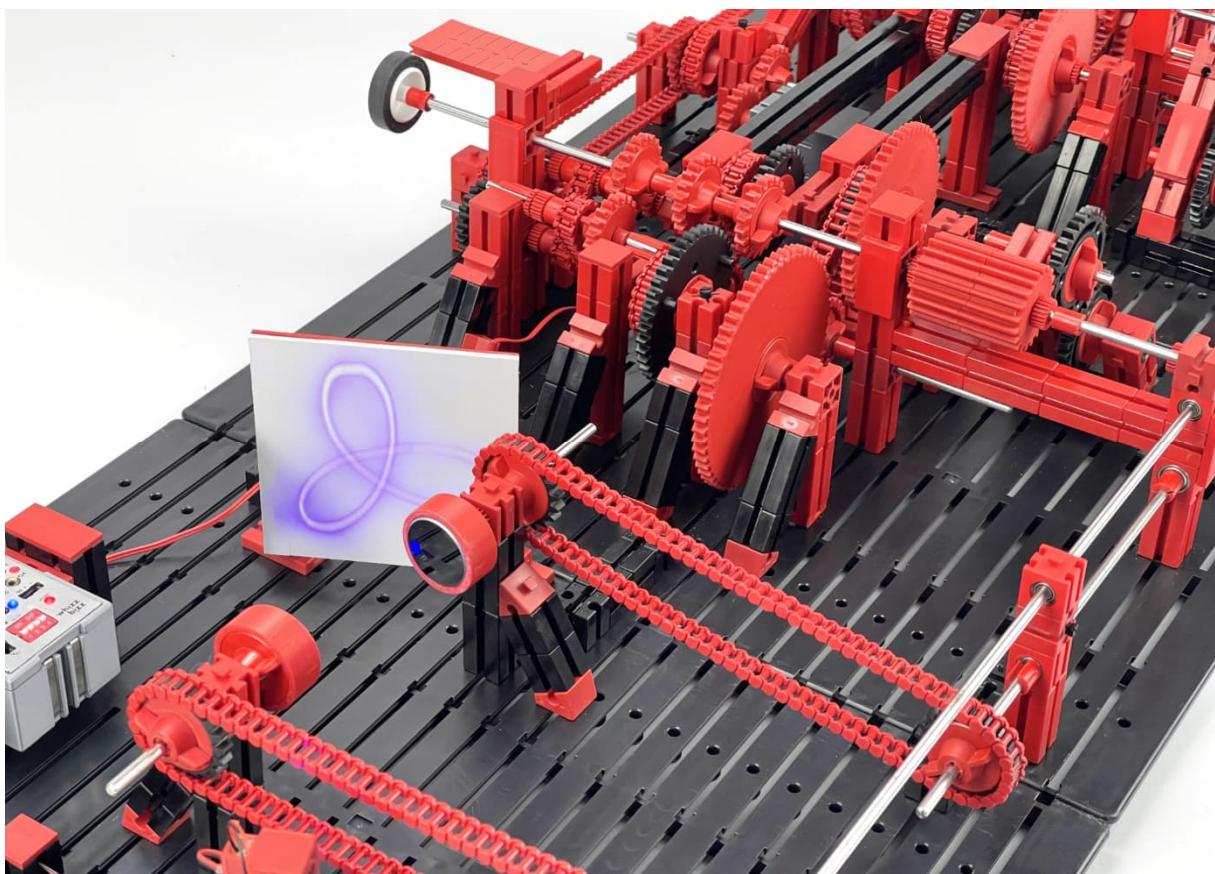


Abb. 13: Ein projiziertes Hypotrochoid mit einem Verhältnis von 1:3

Verwendet habe ich einen 12 Volt JGA25-370 Motor mit 500 U/min [13] in einem selbst gedruckten Gehäuse [14], der im höchsten Gang (6x) maximal 1500 U/min liefert. Das einstellbare Getriebe funktioniert und erzeugt stabile „stehende“ Kurven, da die einzelnen Drehbewegungen von einer einzigen Motorquelle abgeleitet werden.

Doch bei so vielen Zahnrädern und Kettenübersetzungen reichte das Drehmoment nicht aus, um die Drehgeschwindigkeiten der Spiegel deutlich zu erhöhen. Da vor allem an den Kegelzahnrädern relativ viel Drehmoment verloren geht, oszillieren die Spiegel nur mit 4 bis maximal 25 Hz. Selbst die höchste Geschwindigkeit ist zu langsam, um die für das klare Erkennen der Figuren erforderliche ‚Persistenz des Sehens‘ [15] zu erreichen. Die Projektion zeigt einen Laserpunkt, der sich entlang der Bahn der Figur bewegt. (Bei Fotos kann das mit einer langen Verschlusszeit gelöst werden.)

Die Figuren sind jedoch gut zu erkennen und es ist deutlich zu sehen, dass die Eckpunkte der Rosetten immer genau auf denselben Punkt fallen. Ich habe kurz überlegt, als Projektionsfläche phosphoreszierendes Papier zu verwenden, aber nach diesem mechanischen Proof-of-Concept erschien es mir sinnvoller, die Ansteuerung der Spiegel elektronisch vorzunehmen.

Elektronisch gesteuert

Wenn die beiden Spiegel direkt von einem eigenen Motor angetrieben werden, lässt sich ihre Rotationsgeschwindigkeit leicht individuell steuern und erheblich erhöhen. Um die unterschiedlichen Geschwindigkeiten und insbesondere die Beziehung zwischen ihnen im Auge zu behalten, verlagert sich die Herausforderung auf die Geschwindigkeitssteuerung. Ich habe mich für meinen Zauberling [16] entschieden, der bereits über eine duale Motorsteuerung

verfügt. Mit einem ftDuino, einem fischertechnik TXT Controller oder sogar zwei getrennten Motorcontrollern lässt sich sicher etwas Ähnliches konstruieren.

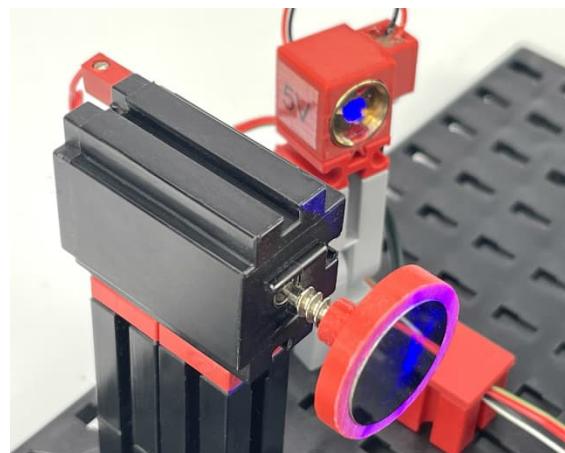


Abb. 14: Spiegelhalter zur Montage am Motor

Für die direkte Montage auf der Motorwelle habe ich kleine Flächenspiegel mit einem Durchmesser von 20 mm gewählt. Die 3D-gedruckten Spiegeltische haben eine Befestigungshülse mit einer Bohrung von 4,5 mm und passen direkt auf die Schnecke eines fischertechnik Mini- oder S-Motors (Abb. 14). Diese selbst gedruckten Teile sind nicht notwendig; es ist auch möglich, die Spiegel mit einem großen Klebepunkt aus der Klebepistole direkt (provisorisch) an der Schnecke des Motors zu befestigen.

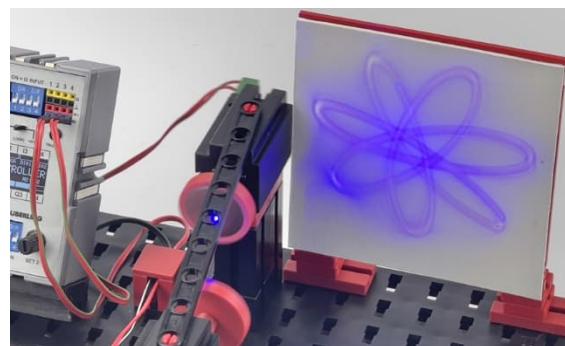


Abb. 15: Drehzahlverhältnis 5:7

Ich hatte erwartet, dass die projizierten Figuren aufgrund der Verwendung zweier völlig getrennter Motoren instabil sein würden. Es stellte sich jedoch als recht einfach heraus, die Drehzahlverhältnisse so zu variieren, dass die verschiedenen

Figuren aus Abb. 4 stabil projiziert werden. Die stufenlosen Einstellungen ermöglichen es zudem, die Figuren ineinander übergehen zu lassen.

Fazit

Wie erwartet vereinfacht die elektronische Steuerung mit einem Mikrocontroller das Modell erheblich. Das Ganze passt nun auf eine kleine Bauplatte statt auf mehrere verbundene große Bauplatten (Abb. 16).

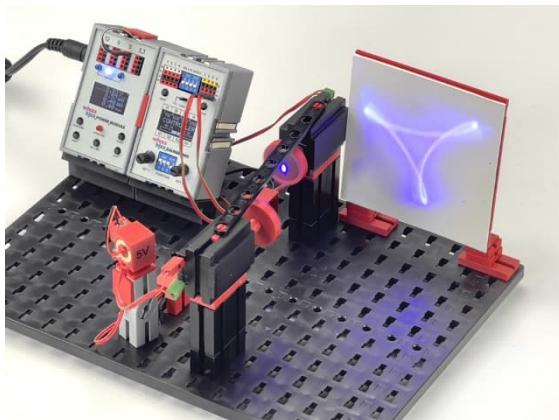


Abb. 16: Die elektronische Version ist deutlich kleiner

Dennoch haben beide Ansätze ihre jeweiligen technischen Vorteile und Herausforderungen. So darf nicht vergessen werden, dass bei der mechanischen Lösung die beiden Drehzahlen mittels Getriebeübersetzungen von einer Basis-Drehzahl abgeleitet werden. Dadurch ist die projizierte Kurve immer stabil und die Drehzahlverhältnisse folgen genau den Übersetzungsvorhältnissen der Zahnräder.

Das Drehzahlverhältnis zweier Motoren mit getrennter elektronischer Steuerung ist schwieriger zu synchronisieren. Im Prinzip läuft jeder Motor mit seinen eigenen elektromechanischen Eigenschaften frei, was bedeutet, dass es zu Phasenänderungen kommt. Die projizierte Figur kann dadurch beginnen, sich zu drehen und zu verdrehen. In den meisten Fällen lässt sich das durch ein manuelles Feintuning lösen. Eine Verfeinerung könnte noch darin bestehen, die Motorsteuerung so anzupassen, dass

statt zweier Einzeldrehzahlen hauptsächlich das entscheidende Drehzahlverhältnis geregelt wird. Eine weitere sinnvolle zukünftige Erweiterung ist die Minimierung der driftenden Drehzahldifferenz durch eine Messung der tatsächlichen Drehzahlen und deren Rückkopplung mit der Motorsteuerung.

Um dies vorzubereiten und einen besseren Eindruck vom genauen Drehzahlverhältnis der beiden separaten Motoren zueinander zu bekommen, habe ich bereits einen Prototyp eines Drehzahlmessers mit einem Arduino Uno und einem LCD-Shield gebaut (Abb. 16, [17]). IR-Sensoren erkennen das Passieren eines Reflektionsstreifens und die unterschiedlichen Geschwindigkeiten werden auf dem Display angezeigt. Ich habe auch gleich einen Modus hinzugefügt, in dem die Übersetzung direkt auf dem Display abgelesen werden kann.

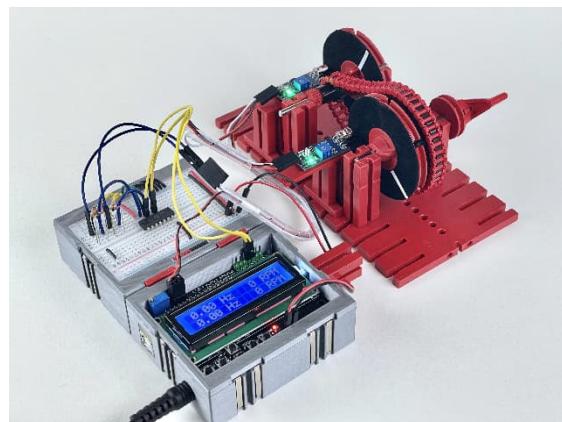


Abb. 17: Prototyp eines dualen Drehzahlmessers mit IR-Sensoren

Die Messung der tatsächlichen Drehgeschwindigkeiten der beiden Spiegel und die Rückführung dieser Werte in die Steuerung könnten interessante Folgeprojekte sein. Die Projektseite auf meiner Website werde ich mit weiteren Details zu diesem Bauabenteuer aktualisieren [18].

In einer Fortsetzung dieses Beitrags möchte ich mich mit der Laserprojektion weiterer faszinierender mathematischer Kurven befassen: den sogenannten Lissajous-Figuren.

Referenzen

- [1] fischertechnik: *Ellipsenzeichner*. In: Hobby 2 Band 1, Seite 28.
- [2] Thomas Püttmann: *Der Sinuscomputer*. In: [*Mathematik verstehen mit fischertechnik*](#). dpunkt-Verlag, 2022.
Der Sinuscomputer (Seite 69) beschreibt die Hypozykloiden mathematisch detaillierter. Auch die in Kap. 26 („Der Isograph“) beschriebenen Kurven sind verwandt.
- [3] Wikipedia: [*Zykloide*](#).
- [4] Wikipedia: [*Rosette*](#). Eine Rosette ist in der Geometrie eine ebene Kurve, die sich in Polarkoordinaten beschreiben lässt.
- [5] [*3D-STL-Druckdatei 417963*](#), printables.com.
- [6] fischertechnik: *Dreigang-Kraftfahrzeuggetriebe*. In: Hobby 2 Band 3, Seite 66.
- [7] Thomas Püttmann: *Zahnräder und Übersetzungen (Teil 2)*. [*ft:pedia 3/2011*](#), S. 25–28.
- [8] Thomas Püttmann: *Zahnräder und Übersetzungen (Teil 3)*. [*ft:pedia 1/2012*](#), S. 13–21.
- [9] Elemente der Technik. *Heft 2: Bewegungsübertragung*. 2.2: Maße an Zahnrädern. Fischer Werke.
- [10] Video des [*Sechsgang-Getriebes*](#). youtube.com.
- [11] [*3D-STL-Druckdatei 42970*](#), printables.com.
- [12] Conrad: Silberstahl-Welle Reely (\varnothing x L) 4 mm x 500 mm von Famotec. Artikel-Nr. 237060. [*conrad.de*](#)
- [13] Video über [*verschiedene Motoren*](#). youtube.com.
- [14] 3D-STL-Druckdatei an <https://www.printables.com/model/204694-jga25-370-motor-housing-for-fischertechnik>
- [15] Wikipedia: [*Persistenz des Sehens*](#).
- [16] Arnoud van Delden: *Der Zauberling (Teil 4)*. [*ft:pedia 1/2022*](#), S. 71–79.
- [17] Video [*Dual rpm meter*](#). youtube.com.
- [18] [*Projektseite*](#) auf whizzbizz.com.

Getriebe

Kardanische Aufhängung

Dirk Fox

Die Idee ist viel älter als Gerolamo Cardano, aber sie wird wohl für immer mit seinem Namen verbunden bleiben. Auf sie geht nicht nur die Kardan-Welle [1] zurück: Sie ermöglicht eine horizontale Lagerung bei Seegang – und die stabile Fokussierung bewegter Kameras [2].

Geschichte

Kardanische Aufhängungen – benannt nach dem Italiener *Gerolamo Cardano* (1501–1576), der sie 1560 in *De Subtilitate* beschrieben hat – bestehen aus einem zumeist runden Gestell aus zwei konzentrischen Ringen, die zueinander rechtwinklig angeordnet sind. Damit lassen sich Kerzen, Kreisel oder Kompassen so lagern, dass sie auch bei starken Schwankungen (z. B. bei Seegang) immer lotrecht stehen (Abb. 1).

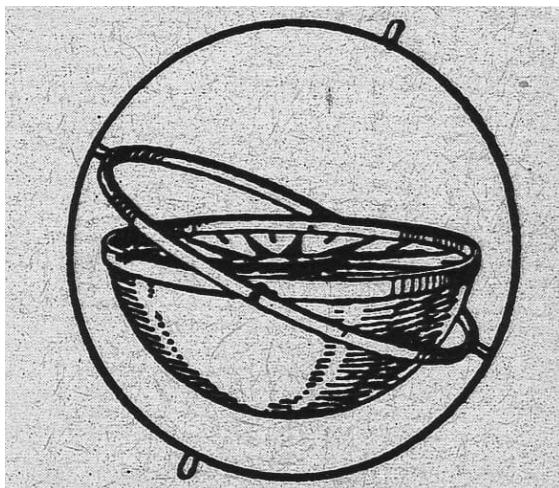


Abb. 1: Kardanischer Kompass (um 1570)

Kardanische Aufhängungen waren schon in vorchristlicher Zeit bekannt. Sie wurden wahrscheinlich schon von *Phylon von Byzanz* im 3. Jhd. v. Chr. zur Lagerung von Tintenfässchen auf Schiffen eingesetzt. In China waren sie nachweislich im 2. Jhd. n. Chr. bekannt.

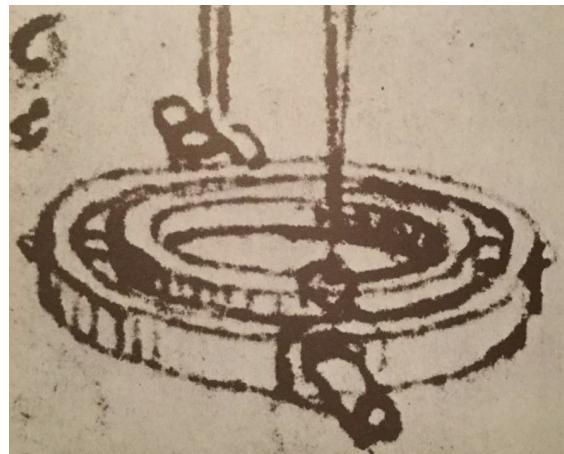


Abb. 2: Kardanische Aufhängung nach Leonardo da Vinci (15. Jhd.)

Auch in den Zeichnungen von *Leonardo da Vinci* (1452–1519) finden sie sich, fast 100 Jahre vor Cardanos Veröffentlichung (Abb. 2).

Seit Ende des 18. Jahrhunderts wurden auf Schiffen auch die zur Navigation eingesetzten Präzisions-Längenuhren in kardanischer Aufhängung transportiert (Abb. 3).

Die gleichmäßig runde Form der Ringe sorgt dafür, dass die Aufhängung nicht die Wirkung der Schwerkraft auf das aufgehängte Objekt verfälscht. Wichtig ist außerdem, dass der Schwerpunkt des Objekts deutlich unter der von den beiden Ringen der kardanischen Aufhängung aufgespannten Ebenen liegt, damit die Lagerung in einem stabilen Gleichgewicht bleibt.



Abb. 3: Kardanisch aufgehängtes Schiffschronometer

Eingesetzt werden kardanische Aufhängungen auch in Therapiegeräten wie dem Aerotrim (Abb. 4). Hier liegt der Schwerpunkt der Person dicht am Mittelpunkt der Konstruktion, denn die Ringe sollen durch geringe Schwerpunktverlagerungen in Bewegung versetzt werden.



Abb. 4: Aerotrim (Spacecurl)

Konstruktion

Mit fischertechnik lässt sich eine kardanische Aufhängung in verschiedenen Größen konstruieren. Sehr elegant geht das mit den S-Bogenstücken 30° ([36330](#)): Damit lassen sich Ringe mit einem Innendurchmesser

von 39 cm für den inneren (mit elf Flachträgern 120, [35054](#)) und 43 cm für den äußeren Ring bilden (mit 12 Flachträgern 120, Abb. 5). Dabei werden die Zapfen der Flachträger des inneren Rings um jeweils knapp 3° gebogen – eine moderate Belastung, die die Zapfen der Flachträger nicht beschädigt.

Die Verbindungen zwischen den Ringen und die Aufhängung gelingen leicht mit kurzen Rast- oder Metallachsen, deren Verlängerungen senkrecht zueinander stehen müssen.



Abb. 5: Ringe mit S-Bogenstücken 30°

Diese Konstruktion kann allerdings, selbst wenn die Flachträger beidseitig mit Bogenstücken verstärkt werden, nur vergleichsweise leichte Objekte wie beispielsweise einen sehr großen, mit ein wenig Wasser oder einem Gewicht an einem Ende beschwerten Luftballon aufnehmen.

Mit den S-Bogenstücken 60° ([35055](#)) lässt sich eine deutlich kompaktere Aufhängung konstruieren: Der innere Ring mit einem Innendurchmesser von 20 cm und der äußere durch eine Kombination von sechs Flachträgern und S-Bogenstücken 30° mit sechs Winkelsteinen 30° und einigen BS 5, mit einem Innendurchmesser von 23,5 bis 24,5 cm (Abb. 6).



Abb. 6: Ring mit S-Bogenstücken 60°

Wie man sieht gerät der äußere Ring leicht sechseckig. Dafür sind auch hier die Aufhängung und die Verbindung der beiden Ringe leicht durch kurze Achsen realisierbar – allerdings nicht ganz genau orthogonal zueinander.

Kleinere kardanische Ringe lassen sich ganz ohne Bogenstücke mit Winkelsteinen in fast jeder benötigten Größe konstruieren, wenn auch nicht in exakt runder Form. Solche Konstruktionen hat z. B. Stefan Falk im Jahr 2005 für die Ringe seines Nachbaus der Maschine aus dem Sci-Fi-Film „Contact“ verwendet (Abb. 7).



Abb. 7: Maschine aus dem Film „Contact“
(Modell und Foto: Stefan Falk)

Man erkennt drei kardanische Aufhängungen unterschiedlicher Ring-Konstruktionen, die ineinander verschachtelt sind. Der kleinste Ring aus Winkelsteinen 30° und S-Winkelträgern 15 wirkt rund, obwohl er eher ein 13-Eck darstellt.

Als Achsen eignen sich für solche kleinen Konstruktionen die Rastaufnahmearchen 22,5 ([130593](#)), als Lager Bausteine 30 mit Bohrung ([35015](#)) und Bausteine 15 mit Bohrung ([38871](#)) oder Ansenkung ([32321](#)).

Damit gelingt die sehr kompakte kardanische Aufhängung in Abb. 8 mit einem Innendurchmesser (innerer Ring) von 5,5 cm.

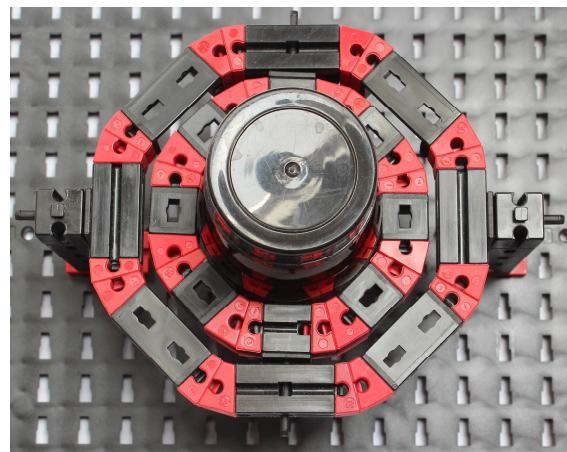


Abb. 8: Kardanische Aufhängung aus
fischertechnik (5,5 cm Innendurchmesser)

Hier stehen die beiden Achsen der Aufhängung exakt senkrecht zueinander. Setzen wir in die Mitte ein Gefäß mit etwas Wasser, so können wir schön beobachten, wie die Schwerkraft quasi „automatisch“ für eine senkrechte Lagerung sorgt.

Im neuen fischertechnik-Baukasten „Crazy Rides“ (569019), der im Sommer auf den Markt kommt, findet sich ein „Gyrospin“ mit kardanischer Aufhängung – ein Rummelplatz-Modell mit eher unrunden kardanischen Ringen (Abb. 9).



Abb. 9: Gyrospin aus Baukasten „Crazy Rides“ (569019, 2023)

Gimbal

Heute spielen kardanische Aufhängungen bei der stabilen Ausrichtung von (Action-) Kameras eine wichtige Rolle. Eine Kompensation plötzlicher Schwankungen bspw. einer Drohnenkamera bei Windböen oder einer Schulterkamera beim Gehen ist jedoch allein durch eine kardanische Aufhängung und die Schwerkraft nicht möglich, da dabei starke, schnell wechselnde Kräfte einwirken, die auch die Kamera-Software nicht ausgleichen kann.

Daher wird bei solchen Anwendungen die kardanische Aufhängung „motorisiert“: Die Neigungsänderung wird mit Beschleunigungssensoren gemessen und unmittelbar

über (Servo-) Motoren korrigiert (Abb. 10). Eine solche motorisierte kardanische Aufhängung wird auch „Gimbal“ genannt.



Abb. 10: Gimbal

Eine runde Form der Aufhängung ist in einem Gimbal nicht erforderlich, da Unwuchten den Wirkmechanismus nicht beeinflussen. Viele Gimbal sind daher entweder rechteckig oder besitzen gar keine geschlossene Form. Auch einen Gimbal kann man mit fischertechnik konstruieren – mit zwei Servos und einem Controller. Doch das ist einen eigenen Beitrag wert.

Referenzen

- [1] Stefanie Busch: *Kardanische Geleinkwelle*. ft:pedia 2/2015, S. 8–14.
- [2] Sendung mit der Maus: [Was ist eine kardanische Aufhängung?](#)
15.01.2022.

Mechanik

Flexures – Nachgiebige Mechanismen

Florian Bauer

Flexible mechanische Strukturen mit kinematischer Funktion sind in Natur und Technik weit verbreitet. Dieser Beitrag zeigt, wie man dieses interessante Thema mit fischertechnik und 3D-Druck erkunden kann.

Einführung

Auf meiner Suche nach genauen Linearverstellungen für ein optisches Experiment bin ich auf ein sehr begeisterndes Video [1] von Dan Gelbart gestoßen, das für mich ausschlaggebend war, mich eingehender mit dem Thema „Flexures“ zu beschäftigen.

Viele Teile des fischertechnik-Baukastensystems sind flexibel im doppelten Sinn. Man kann sie einerseits in unzähligen Kombinationen beim Bau von Modellen einsetzen. Andererseits sind sie aber aufgrund ihrer Materialeigenschaften auch sehr biegsam. Im Vergleich zu anderen Konstruktionsbaukasten-Systemen sogar deutlich mehr. Die Weichheit mancher Teile stellt für starre Konstruktionen manchmal eine Herausforderung dar. Für die fischertechnik-Statik-Linie ist diese Eigenschaft didaktisch wertvoll, da man Verbiegungen sehr gut sehen und auch erfühlen kann und dabei spielerisch lernt, welche Maßnahmen geeignet sind, die Stabilität einer Struktur zu erhöhen. Andererseits kann man sich die mechanische Flexibilität bei Konstruktionen von zunächst nicht naheliegender Bauart zu Nutze machen: den sog. *Flexures*. Ein deutscher Begriff dafür ist mir nicht bekannt.

Was es damit auf sich hat und wie man sie mit fischertechnik ausprobieren kann, soll in diesem Beitrag vorgestellt werden.

Was sind Flexures?

Die Definition in Wikipedia lautet [3]: *Ein Flexure ist ein flexibles Element (oder ein Aggregat flexibler Elemente), das bezüglich bestimmter Freiheitsgrade definiert nachgiebig (compliant) ist. Flexures sind Design-Features, die von Ingenieuren verwendet werden, um eine gezielte Nachgiebigkeit in einem Design zu erreichen.*

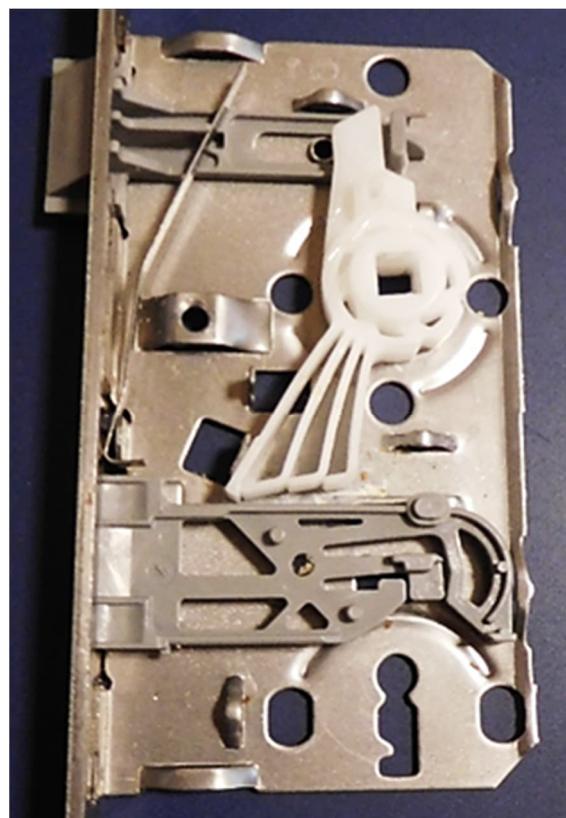


Abb. 1: Flexures mit Rückstell-Effekt im Einstekschloss einer Zimmertür

Flexures everywhere

Will man Beweglichkeit in einer Konstruktion, denkt man oft zunächst an Lager und Gelenke und kaum an nachgiebige Verbindungen. Flexures sind allerdings in Natur und Alltagstechnik sehr weit verbreitet. Oft erkennt man sie nicht sofort oder macht sich kaum Gedanken darüber.

Flexures sind in der Natur die Regel. Unsere Bandscheiben könnte man als Flexures bezeichnen. Sie bestehen aus einem Faserknorpelring mit gelartigem Kern. Durch die Bandscheiben erhält unsere Wirbelsäule einerseits eine gewisse Beweglichkeit und hat andererseits noch eine ausreichende Steifigkeit.

Ein Beispiel aus dem Alltag ist mir neulich aufgefallen, als ich ein defektes Türschloss zerlegt habe. Darin habe ich zwei Kunststoff-Flexures mit Rückstell-Mechanismus für den Schnapper und die Klinke gefunden. (siehe Abb. 1).

Eigenschaften von Flexures

Vorteile von Flexures

1. Flexures schaffen eine definierte Flexibilität in bestimmten Bewegungsfreiheitsgraden bei großer Starrheit in anderen Freiheitsgraden. Dadurch eignen sie sich hervorragend für Präzisions-Mechanismen, die definierte Verschiebungen im nm-Bereich ermöglichen (siehe zum Beispiel [12]).
2. Sie sind oft aus einem Guss und lassen sich daher aufwandsarm und daher preisgünstig fertigen. Flexures können durch Additive Manufacturing (3D-Druck), Laser-Schnitt oder Waterjet aus einem Material gefertigt werden.
3. Flexures sind verschleißfrei, solange sie im elastischen Arbeitsbereich eingesetzt werden.
4. Mit Flexures können spielfreie Mechanismen aufgebaut werden.
5. Flexures kommen ohne Lager aus, die gefettet oder geölt werden müssen.

Daher sind sie für Umgebungen geeignet, die Kontaminationsfreiheit erfordern wie im medizinischen Bereich oder bei der Nahrungsmittelherstellung.

6. Flexures können mechanische Energie speichern und bei Bedarf wieder abgeben. Als Beispiel seien die flexiblen Wurfarme eines Pfeilbogens genannt.

Nachteile von Flexures

Demgegenüber haben Flexures auch Eigenschaften, die für manche Einsatzgebiete nachteilig sein können:

1. Flexures haben im Allgemeinen einen begrenzten Bewegungsbereich, da nur Verbiegungen innerhalb des Elastizitätsbereiches zulässig sind.
2. Bei der Verbiegung von Flexures entstehen Reaktionskräfte, die mit der Stärke der Verbiegung zunehmen – wobei diese Eigenschaft manchmal auch nützlich sein kann.
3. Während Flexures aus Metall langlebig sind, zeigen Flexures aus Kunststoffen manchmal Materialermüdung.
4. Die Kinematik von Mechanismen mit Flexures ist mathematisch schwerer zu beschreiben als von Mechanismen, bei denen Lager verwendet werden.
5. Durch die Reaktionskräfte ist auch die kinematische Beschreibung von mechanischen Systemen mit Flexures aufwändiger.

Bestandteile von Flexures

Die Grundelemente von Flexures sind nachgiebige Strukturkomponenten. Ihre Nachgiebigkeit kann entweder konzentriert oder über einen größeren geometrischen Bereich ausgetragen sein. Von konzentrierter Nachgiebigkeit spricht man, wenn der nachgiebige Bereich in etwa zehn Mal kleiner ist als die maximale Abmessung eines Mechanismus‘ oder eines Systems. Im anderen Fall spricht man von verteilter Nachgiebigkeit [5].

Die Grundelemente eines Flexures lassen sich in der Art und der Zahl ihrer mechanischen Freiheitsgrade unterscheiden [5]. Hier einige Beispiele:

- Balken mit quadratischem Querschnitt: 2 Biege-Freiheitsgrade und 1 Torsions-Freiheitsgrad
- Blattfeder: 1 Biege-Freiheitsgrad
- Torsionsstab, geschlitzter Torsionszylinder: 1 Rotations-Freiheitsgrad

Durch Zusammensetzen mehrerer Grundelemente kann man Flexures erzeugen, die translatorische oder rotatorische Freiheitsgrade besitzen.

Das bekannteste Flexure-Element bei fischertechnik ist das Statik-Scharnier ([36329](#)). Dieses Element ist aber für Dauer-Bewegungen erfahrungsgemäß nicht so gut geeignet, da es vor allem bei häufiger Bewegung zwischen 0° und 90° leicht kaputt gehen kann.

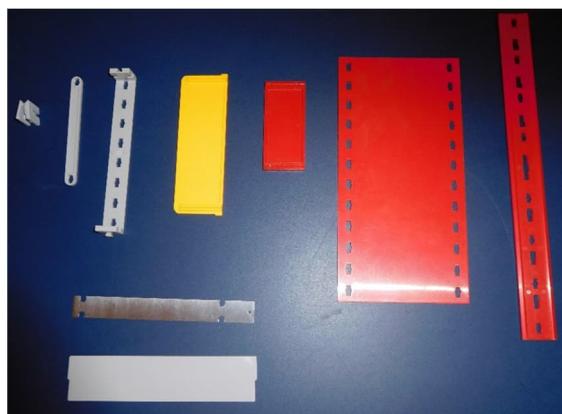


Abb. 2: „Nachgiebige“ Bauteile von fischertechnik, die sich als Flexure-Grundelemente eignen

Das fischertechnik-Baukastensystem enthält einige Bauteile, die sich als Grundelemente für eigene Flexure-Aufbauten eignen (siehe Abb. 2)

- Statikstreben (diverse)
- Statik-Scharnier ([36329](#))
- Statikelemente für Bögen und gerade Statik-Träger (Flachträger, [35054](#))
- Steck-Bauplatten ([31555](#))
- Muldenklappen ([163434](#))

- Trenn-Platten für Sortierkästen (ggf. nach Bohrung)
- Statik-Laufschienen ([36333](#))
- Großflächige Statik-Verblendungsplatten
- Metall-Blattfedern

Flexures für Verschiebungen

Ein einfaches Flexure für Verschiebung ist ein paralleles Blattfederpaar, welches an einer Seite eingespannt und am anderen Ende verbunden, aber beweglich ist. Durch Anwenden einer Kraft am nicht eingespannten Ende entsteht eine Translation. Ein entsprechendes fischertechnik-Modell ist in Abb. 3 zu sehen.

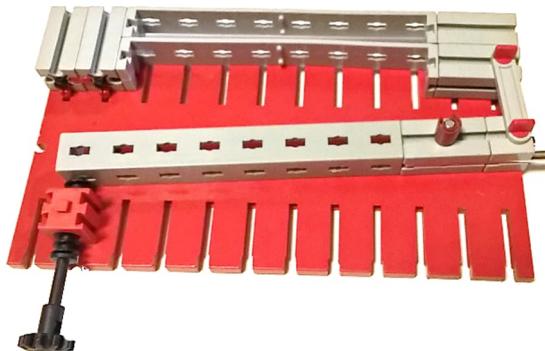


Abb. 3: Einfaches Blattfeder-Flexure

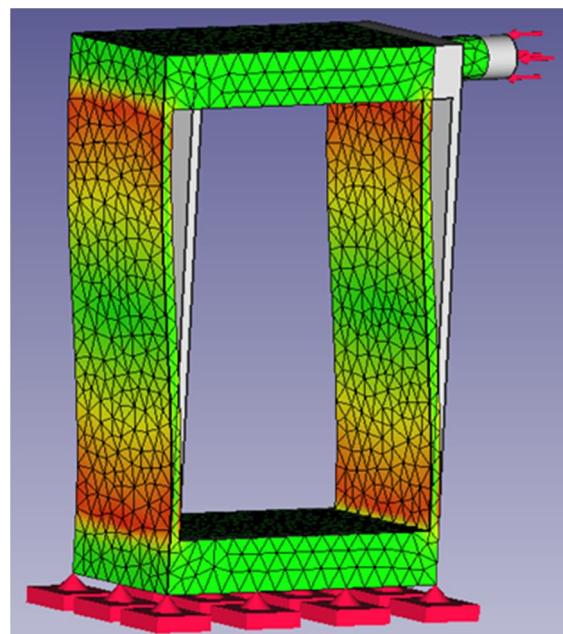


Abb. 4: FreeCAD-Spannungs-Simulation für Blattfeder-Flexure mit deutlich ausgeprägter S-Verformung

Die „Blattfedern“ beschreiben bei der Verschiebung eine S-förmige Kurve, wie in der FreeCAD-Simulation in Abb. 4 zu sehen ist. FreeCAD hat eine Finite Elemente Workbench, mit der man recht einfach Spannungen und Verbiegungen von Werkstücken berechnen kann. Eine gute Anleitung findet sich in [15].

Dieses Flexure kann auch als Doppel in symmetrischen Aufbauten verwendet werden. Dadurch werden leichte Verkippungen des bewegten Bereichs eliminiert. In dem Michelson-Interferometer aus ft:pedia 1/2021 [7] wird ein solches Flexure aus vier gelben Muldenklappen ([163434](#)) zur Verstellung eines Endspiegels eingesetzt (Abb. 5). Mit diesem Aufbau und der davor geschalteten Hebelmechanik lässt

sich eine sehr winkeltreue lineare Verschiebung des Spiegels im Mikrometerbereich erreichen.

Um den Arbeitsbereich eines translatorischen Flexures zu vergrößern oder die Nachgiebigkeit in der Längsrichtung zu vergrößern, kann man die Flexures auch „falten“. Abb. 6 und 7 zeigen fischertechnik-Flexures, die auf diesem Prinzip basieren. Beim Modell in Abb. 6 wurden als biegsame Grundelemente die roten fischertechnik-Steckplatten verwendet. Sie klemmen über eine Strecke von 30 mm, womit eine gute Verwindungssteifheit in Quer-Richtung erreicht wird. Im Modell in Abb. 7 sind längere Statik-Stäbe als Grundelemente eingesetzt. Dieses Flexure hat einen größeren Verschiebeweg von ± 15 mm. Dafür ist die Verwindungssteifheit in Quer-Richtung (aus der Ebene)

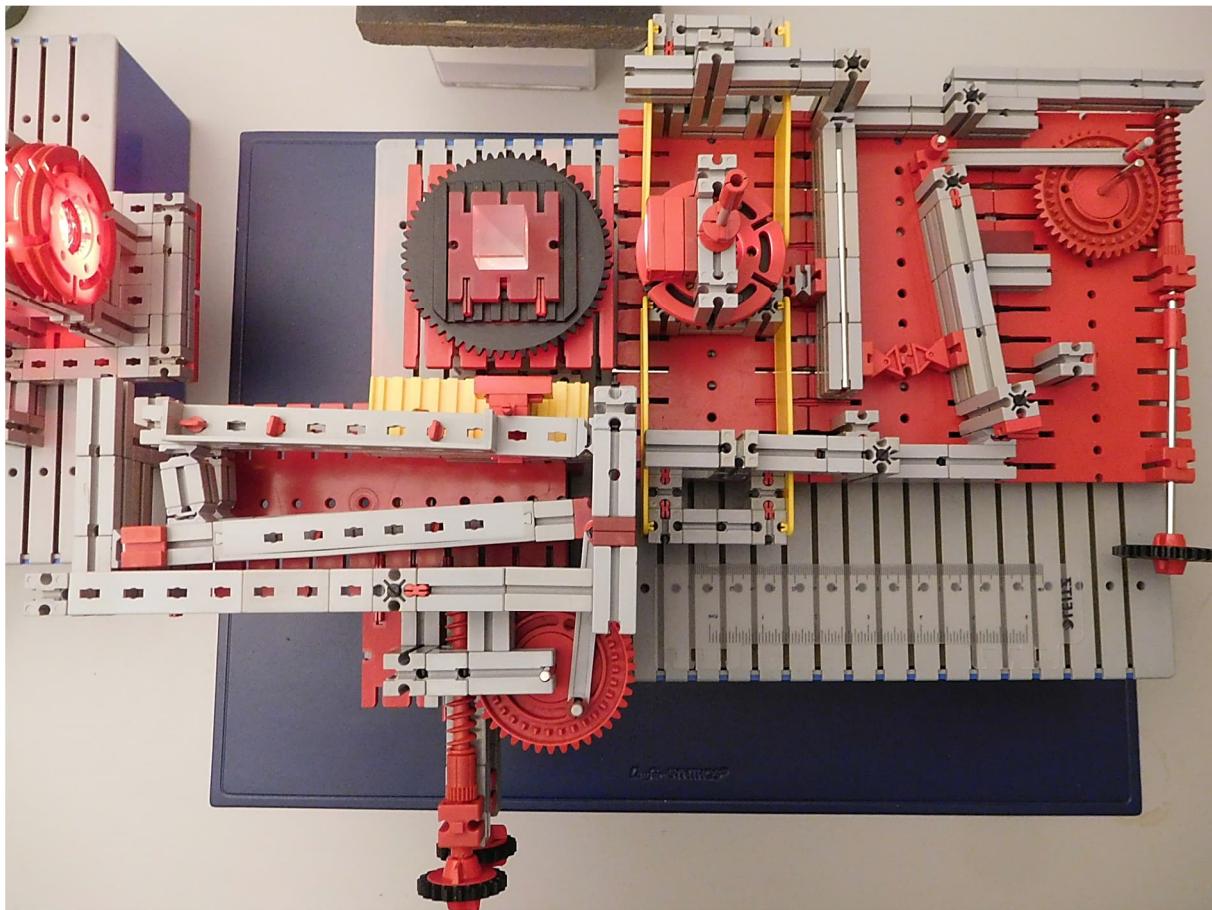


Abb. 5: Doppel-Blattfeder-Flexure (gelb) für Linearverstellung eines Spiegels in einem Michelson-Interferometer

schlechter. Um die Stabilität in Quer-Richtung zu verbessern, kann man die Statik-Elemente auch jeweils paarweise nebeneinander einsetzen.

Ziel beider Konstruktionen ist wieder eine winkeltreue Translation des „Shuttles“ in der Mitte. Wichtig beim Aufbau ist eine feste Verankerung auf der Grundplatte, da ansonsten „parasitäre“ Flexures mit Freiheitsgraden entstehen, die zu unerwünschten Verkippungen führen.

Um die Güte der Linearverschiebung zu beurteilen, kann man einen Laser auf das „Shuttle“ stellen und in einiger Entfernung an der Wand beobachten, ob der Laserpunkt seitlich oder nach oben oder unten ausweicht.

Alternativ kann man die Güte auch mittels Autokollimation [4] quantitativ bestimmen:

Dabei montiert man einen Spiegel auf das „Shuttle“ und strahlt mit einem Laser durch eine Lochblende mit 1 mm Durchmesser in einem Abstand d zum Spiegel und justiert die Lineareinheit so, dass der Strahl durch die Lochblende zurück reflektiert wird.

Anschließend beobachtet und misst man die laterale Abweichung des Rückreflexes des Spiegels auf der Blende in Abhängigkeit der Verstellung der Lineareinheit. Aus dem Verschiebeweg Δy , der lateralen Abweichung Δx und dem Abstand zwischen Spiegel und Lochblende y lässt sich dann die Winkelabweichung (in rad) in Abhängigkeit der Verschiebung berechnen aus

$$\frac{\Delta x}{y \cdot \Delta y}$$

Die Einheit ist mrad/mm.

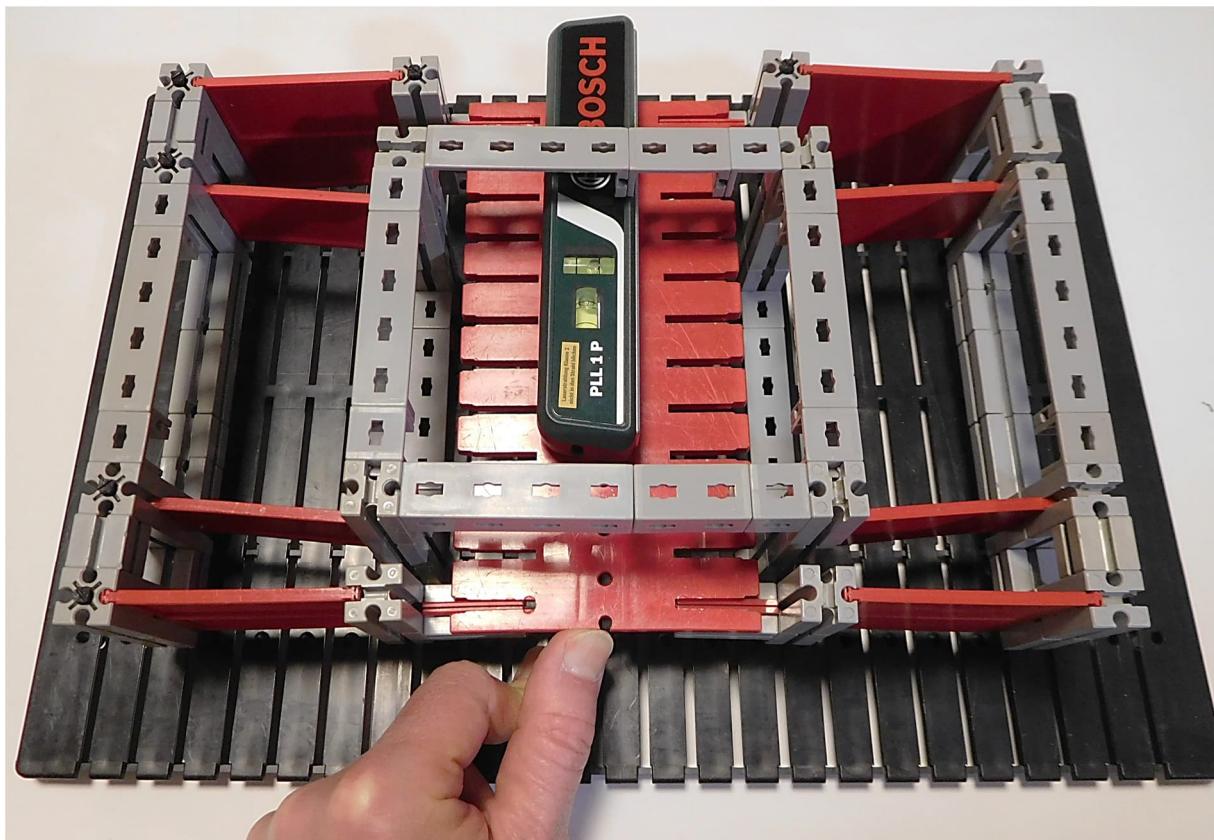


Abb. 6: Gefaltetes Doppel-Suspensions-Flexure aus roten Steckplatten. Das Shuttle (rote Bauplatte) bewegt sich unter der an der Grundplatte befestigte quadratische Rahmenkonstruktion. Die „Beams“ an den Seiten verbinden alle Flexure-Grundelemente und bewegen sich über der Grundplatte. Ohne die Beams erhält der Aufbau einen weiteren Torsionsfreiheitsgrad um die Hochachse.

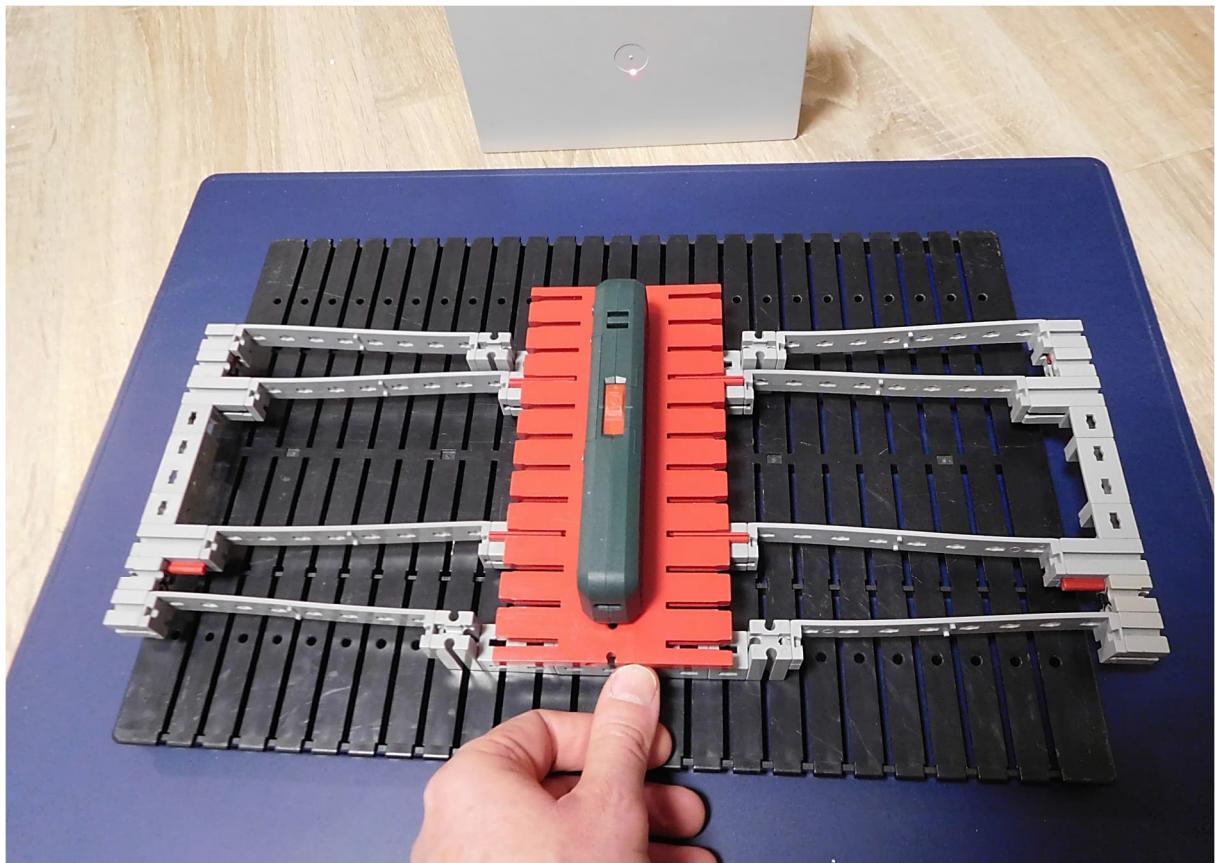


Abb. 7: Flexure-Variante mit größerem Verschiebeweg aus Statik-Elementen

Man versucht nun durch Justage der einzelnen Elemente des Flexures, das Ausweichen des Laser-Rückreflexes zu minimieren oder ganz auszuschalten. Durch Fertigungstoleranzen sind die Bauteile oft nicht gleich. Ein Aufbau aus Elementen ermöglicht oft eine gute Kompensation.

Auf jeden Fall kann man die Nachgiebigkeit in Längsrichtung und die Steifigkeit in Querrichtung gut erfühlen.

Da eine Dreieckskonstruktion statisch sehr stabil ist, kam mir die Idee, ein prismatisches Flexure zu bauen. Abb. 8 zeigt den Aufbau mit flexiblen Statik-Trägern als Flexure-Grundelementen. Bei der Verschiebung entlang der Längsrichtung kommt es allerdings zu einem minimalen Höhenversatz.

Um diesen Höhenversatz zu eliminieren und den Arbeitsbereich der Lineareinheit zu vergrößern, habe ich ein Flexure aus drei

prismatischen Elementen gebaut (Abb. 9), ein Tripel-Prismen-Suspensions-Flexure: Zwischen zwei flankierenden auf einer Bauplatte befestigten Prismen-Flexures hängt ein weiteres Prisma mit seiner Unterkante als Shuttle. Um die doppelten Kräfte der seitlichen Flexures etwas auszugleichen wurden jeweils zwei Statik-Elemente hintereinander gesetzt.

Es ist erstaunlich, dass auch bei diesem Aufbau trotz der „gummerigen“ Fischer-technik-Teile keine sichtbare Abweichung auf 5 m erzeugt wird. Man kann das „Shuttle“ in Längsschwingungen versetzen, ohne dass sich der Fleck des Lasers bewegt.

Flexures für Drehungen

Das einfachste Flexure für Drehungen ohne Verkipfung ist das sog. Kreuzfederlager, bei dem die gegeneinander zu verdrehenden Elemente mit gekreuzten Blattfedern in unterschiedlichen Ebenen verbunden sind.

In Abb. 10 ist ein Flexure-Pivot-Lager gezeigt, welches ebenfalls mit FreeCAD modelliert ist und mit dem 3D-Drucker aus PET hergestellt wurde (Abb. 11).

Die Idee hatte ich allerdings nicht selbst. Sie stammt aus einem Wikipedia-Artikel [3]. Mit diesen raffinierten Flexuren erhält man eine sehr stabile Dreh-Ebene, d. h. beim

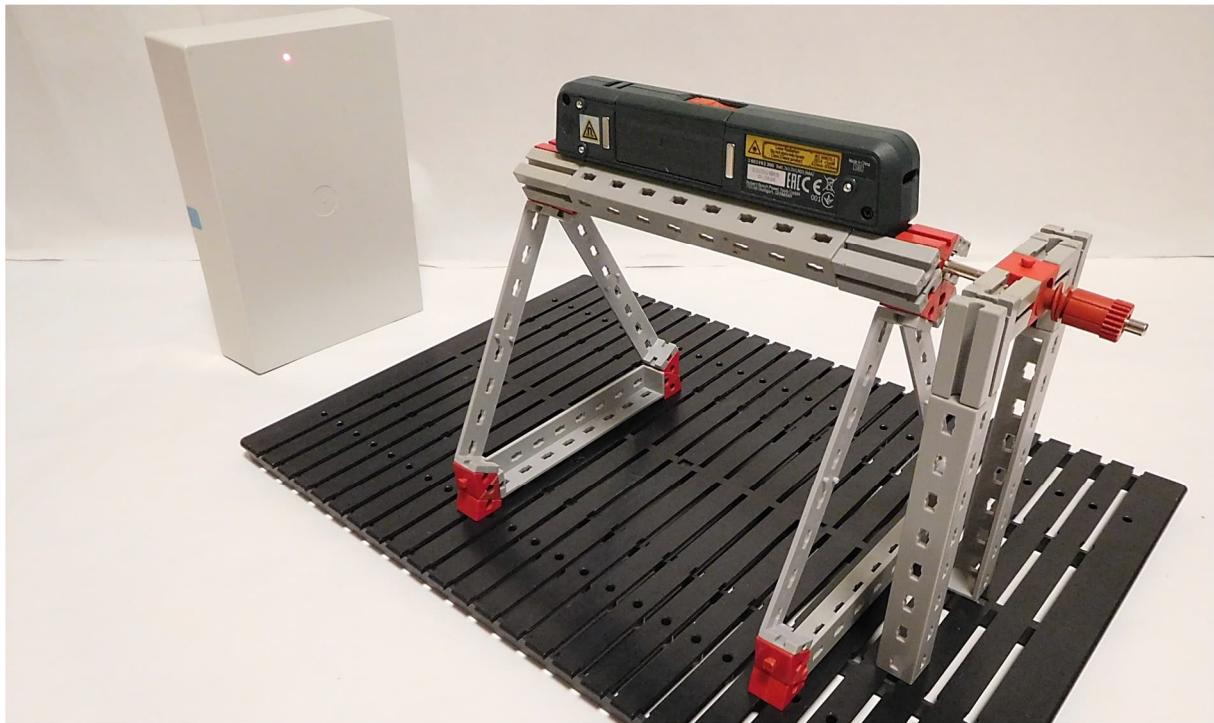


Abb. 8: Prismatisches Flexure mit Verstellantrieb für die Verschiebung

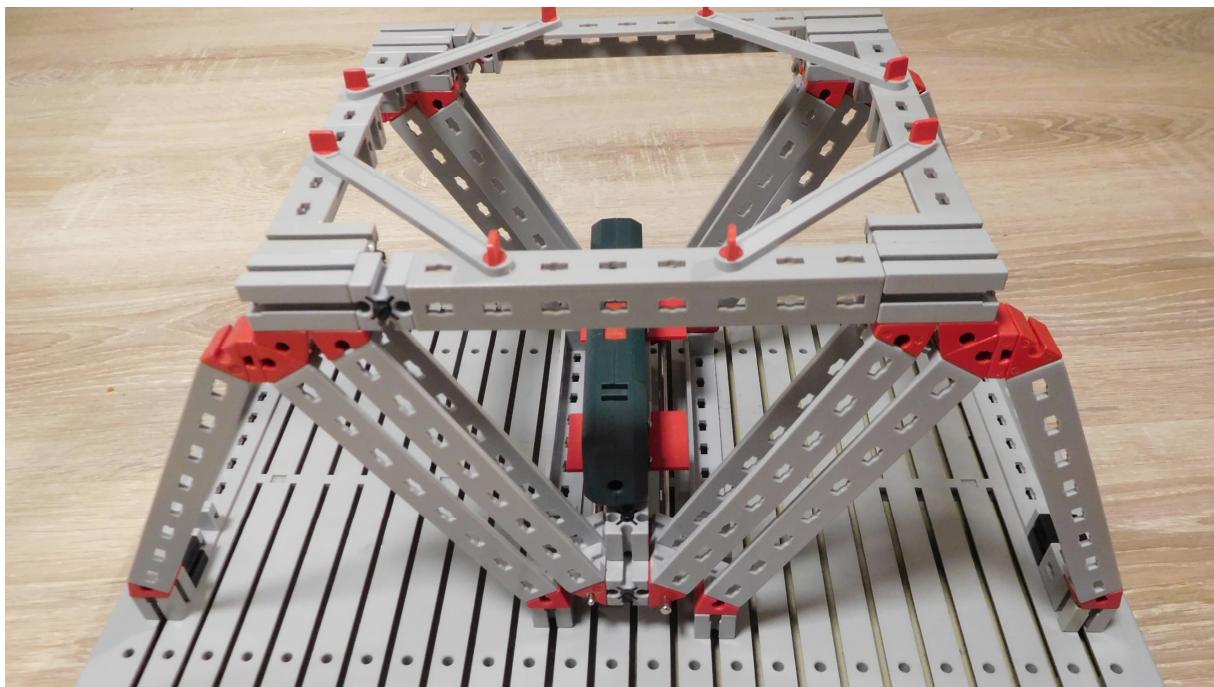


Abb. 9: Tripel-Prismen-Suspensions-Flexure. Der obere quadratische Rahmen bewegt sich auf den flankierenden Prismen-Flexuren. An diesem Rahmen hängt mittig ein weiteres Prismen-Flexure, dessen unteren Kante das „Shuttle“ bildet, welches hier einen Laserpointer als Arbeitslast trägt.

Verdrehen dieses Lagers kommt es praktisch zu keiner Verkipfung. Der Nachteil ist, dass der Winkelbereich auf ca. $\pm 20^\circ$ begrenzt ist.

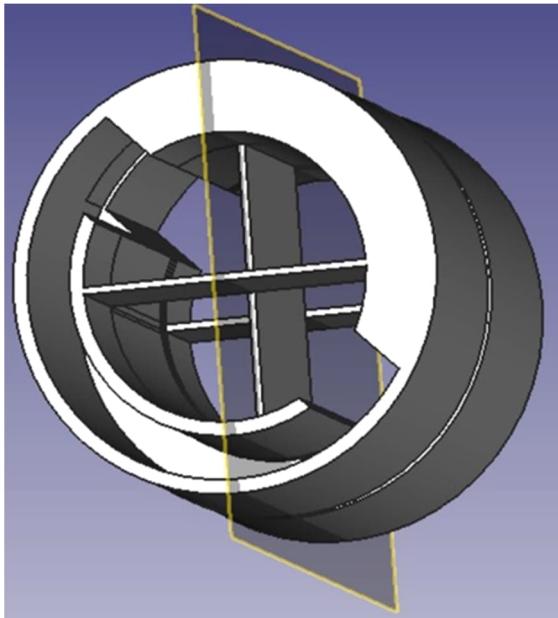


Abb. 10: Parametrisches FreeCAD 3D-Modell eines Flexure-Pivot-Lagers



Abb. 11: 3D-Druck eines Flexure-Pivot-Lagers aus PET (30 mm Durchmesser)

Abb. 12 zeigt den 3D-Druck eines mit FreeCAD entworfenen Kreuzfederlagers mit Nuten für die Kompatibilität zum fischertechnik-Baukastensystem.

In der FreeCAD-FEM-Simulation in Abb. 13 kann man die Verbiegungen dieses Flexures erkennen. Das Design und die STL-Dateien können auf [16] heruntergeladen werden.



Abb. 12: fischertechnik-kompatibles Kreuzfederlager aus dem 3D-Drucker

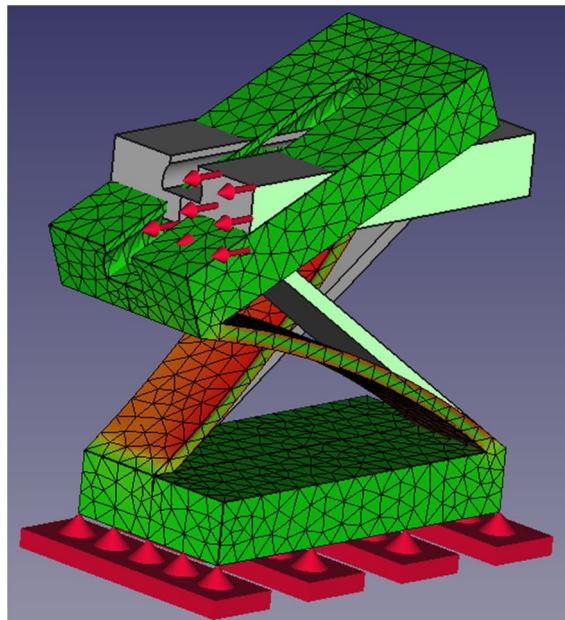


Abb. 13: FreeCAD-Spannungs-Simulation für das fischertechnik-Kreuzfederlager mittels Finite-Elemente-Analyse [16, 17, 18]

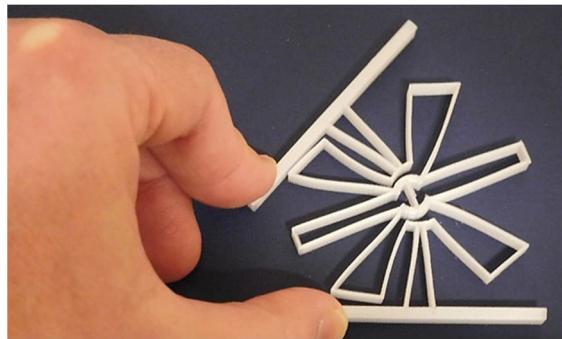


Abb. 14: Flex-16: Large-Displacement Monolithic Compliant Rotational Hinge

Für Drehwinkel bis 90° kann man das in Abb. 14 gezeigte dekorative Flexure verwenden. Es wird von seinen Erfindern als „Large-Displacement Monolithic Compliant Rotational Hinge“ bezeichnet. Die STL-Dateien habe ich auf Thingiverse gefunden [10]. Allerdings weist dieses Flexure einen weiteren translatorischen Freiheitsgrad auf: Man kann es recht leicht wie eine Feder zusammendrücken.

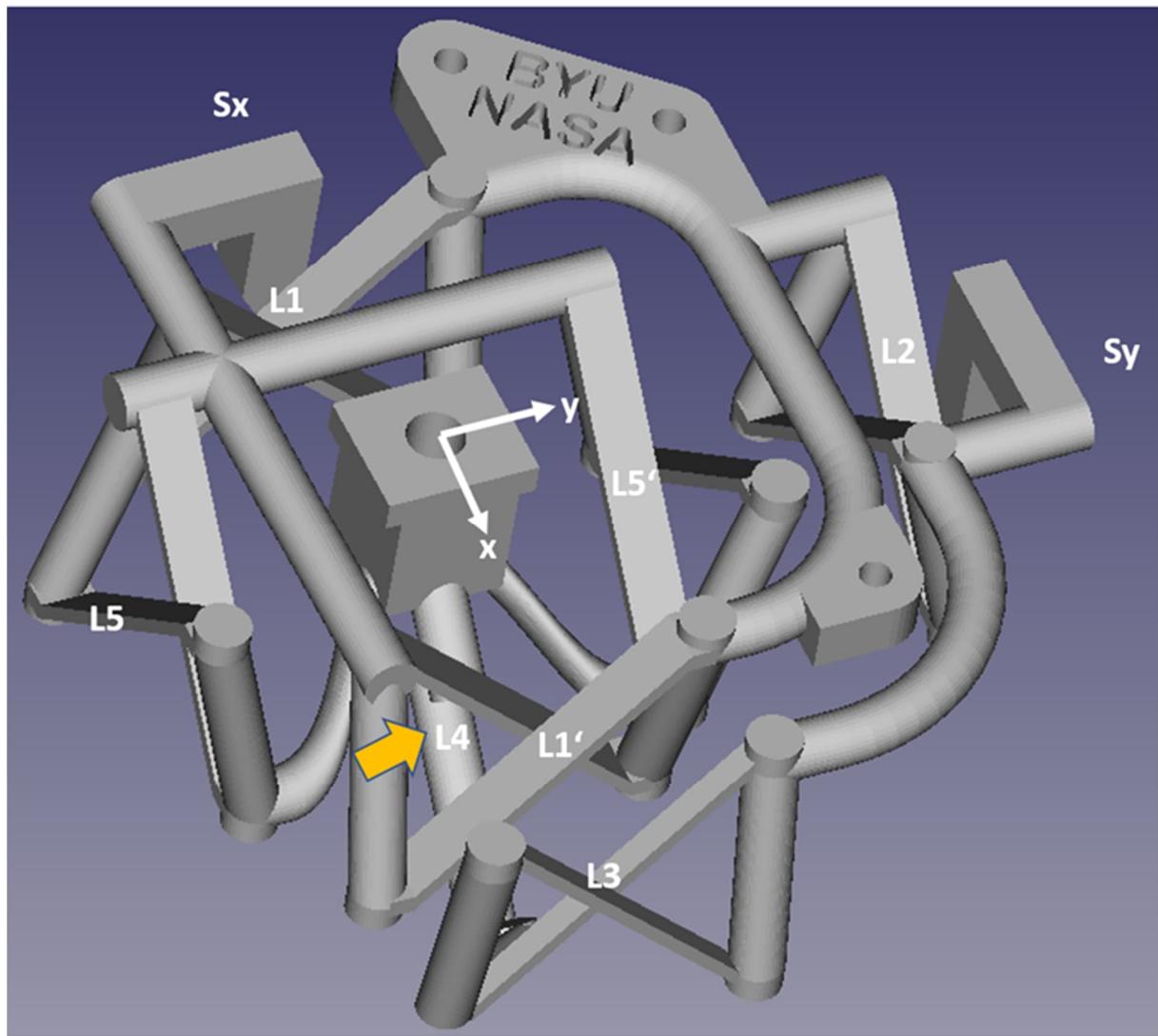


Abb. 15: STL-Datei aus [12] in FreeCAD importiert. Man erkennt sechs Kreuzfederlager $L1$, $L1'$, $L2$, $L3$, $L5$ und $L5'$. Ein weiteres Lager $L4$ aus einem längs geschlitzten Rohr-Flexure (ein anderer Flexure-Typ, gelber Pfeil) verbindet die Pointing-Plattform in der Mitte mit dem äußeren Ansteuer-Element Sy rechts außen. Die Verstellung um die x - und y -Achsen erfolgt über die Aktuator-Hebel Sx

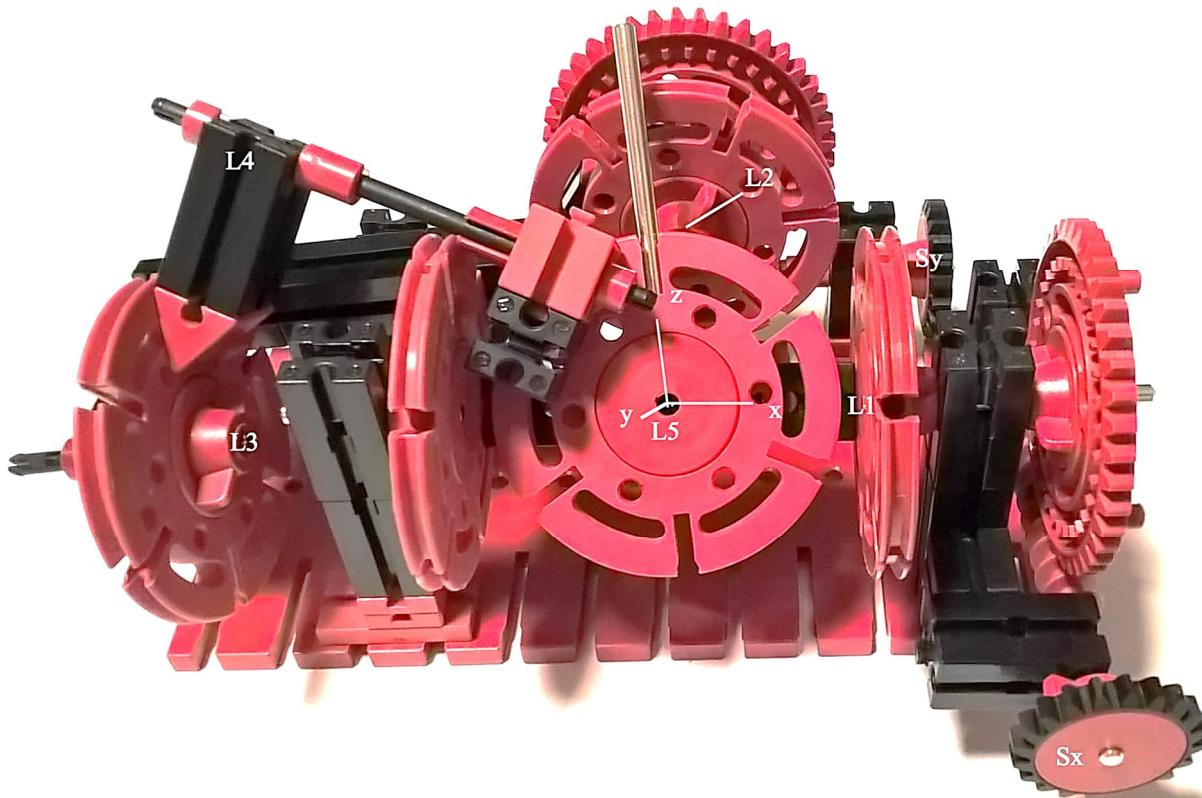


Abb. 16: Kinematisches Modell des Space-Pointing-Mechanismus'. Die Bezeichnungen der Lager korrespondieren mit denen aus Abb. 15. Die x-y-Ebene für die „Nutzlast“ in der Mitte korrespondiert nicht mit der x-z-Ebene der Drehscheibe in diesem Bild. In [19] steht ein Video des Aufbaus bereit.

Komplexere Flexures

Auch komplexe Flexures lassen sich entwerfen, wie der in [9] beschriebene „2 DOF fully compliant space pointing mechanism“, was man etwa übersetzen könnte mit „in zwei Freiheitsgraden vollständig nachgiebiger Raumzeiger-Mechanismus“ (Abb. 15). Der Mechanismus ermöglicht eine Richtungsverstellung in zwei Achsen um jeweils $\pm 15^\circ$, um beispielsweise Antennen oder Steuerdüsen an Raumfahrzeugen ausrichten zu können. Die entscheidende Anforderung an diesen kardanischen Mechanismus war, dass die Ansteuerung der zwei Orientierungen aus dem raumfesten System erfolgen soll, damit kein Aktuator und dessen Ansteuerung bewegt werden muss. Eine weitere Vorgabe für dieses Flexure war, dass der Mechanismus monolithisch über EBM (Electron Beam Manufacturing von Titan), ein Additive

Manufacturing-Verfahren, herstellbar sein soll. In der lesenswerten Veröffentlichung wird erläutert, wie man auf den Mechanismus gekommen ist. Sehr interessant fand ich, dass für das Prototyping der Kinematik ein Lego-Modell herangezogen wurde. Ein analoges Modell aus fischertechnik ist in Abb. 16 gezeigt.

Da die STL-Datei für den Mechanismus inzwischen auf diversen Plattformen für 3D-Modelle verfügbar ist, kann man sich ein Exemplar mit dem 3D-Drucker ausdrucken [8].

Abb. 17 zeigt ein mit fischertechnik ansteuerbares Exemplar aus PET, mit dem ein Spiegel auf der Zeiger-Plattform in zwei Richtungen verstellt werden kann. Die Ansteuerung über eine Schnecke-Zahnrad-Kombination hat ein für die Rückstell-Momente des Flexures ausreichendes Haltemoment.

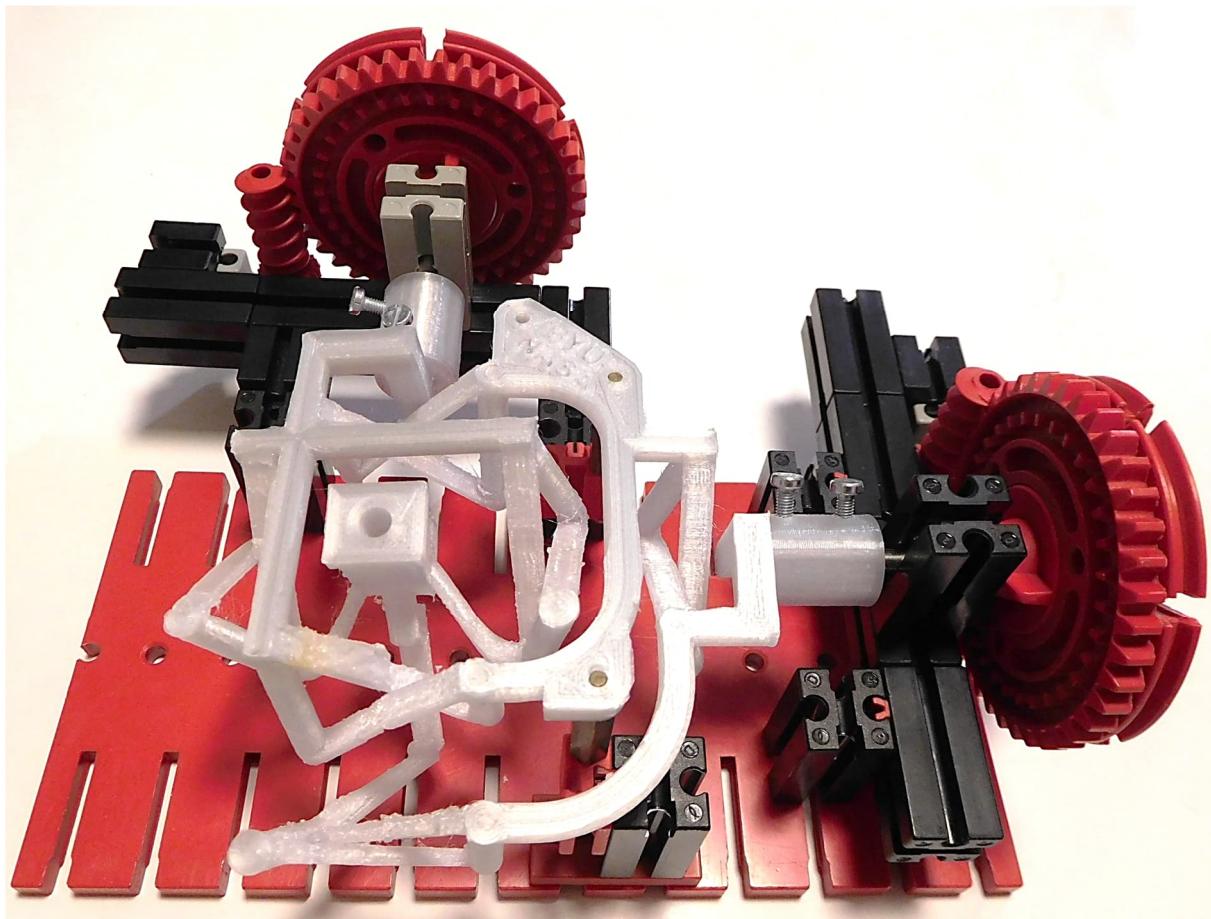


Abb. 17: 2D-pointing-Mechanismus aus dem 3D-Drucker in einem fischertechnik-Modell

Im Internet kann man zahlreiche weitere Flexures für alle Arten von Anwendungen finden. Zum Beispiel ein leistungsstarkes, kostengünstiges Mikroskop – das „Open-Flexure Microscope“ [13]. Dieses 3D-gedruckte Mikroskop nutzt die geometrische Freiheit des 3D-Drucks für ein monolithisches Design. Sein neuartiger Verstellmechanismus verwendet gedruckte Biege-Flexures, um die schlechte Toleranz von Fused Filament Fabrication (FFF) 3D-Druckern zu überwinden.

Das Ergebnis ist ein Instrument in Forschungsqualität, das Bewegungen mit einer Auflösung von unter 100 nm ausführen kann. Es hat auch eine ausgezeichnete mechanische Stabilität, die über mehrere Tage nur um wenige Mikrometer driftet. Dieses Mikroskop wurde als Open-Source-Hardware entwickelt und kann von jedem

mit einem FFF-3D-Drucker unter Verwendung der frei online geteilten Designdateien hergestellt werden. Abb. 18 zeigt ein Foto des Mikroskops von der Website des Open-Flexure-Projekts.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden der Begriff des Flexures und einige „compliant mechanisms“ vorgestellt. Es wurde gezeigt, wie man sie mit fischertechnik realisieren oder in Form von 3D-Drucken einsetzen kann. Die manchmal unerwünschte mechanische Weichheit von Elementen aus dem fischertechnik-Baukastensystem ist für Flexures ein klarer Vorteil.

Für mehr Informationen zu Eigenschaften und Design von Flexures sei hier auf das „Handbuch für nachgiebige Mechanismen“ [12] verwiesen.

Im Netz finden sich unzählige Beiträge und Flexure-Konstruktionen, die man sich mit einem 3D-Drucker ausdrucken und in eigenen Kreationen verwenden kann. Vielleicht achtet ihr mal in Zukunft bei Alltagsgegenständen darauf, ob ihr Flexures entdecken könnt. Ihr werdet erstaunt sein, wie häufig sie sind.

Quellen

- [1] Dan Gelbart: *Making Prototypes, Part 10 Flexures*. Auf [YouTube](#), Juni 2012.
- [2] Larry L. Howell, Spencer P. Magleby, Brian M. Olsen: *Handbook of compliant Mechanisms*. John Wiley & Sons Ltd., 04.02.2013.
- [3] Wikipedia: [Flexure](#).
- [4] Wikipedia: [Autokollimator](#).
- [5] Lena Zentner: *Klassifikation nachgiebiger Mechanismen und Aktuatoren*. Technische Universität Ilmenau, 2012. [PDF-Download](#).
- [6] Florian Bauer (atzensepp): *Parametric Flexure Bearing*. Auf [Thingiverse](#), 09.02.2021.
- [7] Florian Bauer: *Ein Michelson-Interferometer mit fischertechnik*. [ft:pedia 1/2021](#), S. 41–47.
- [8] BYU_CMR: *2 DOF fully compliant space pointing mechanism*. Auf [Thingiverse](#), 07.05.2019.
- [9] P. Magleby, E.G. Merriam, J.E. Jones, L.L. Howell: [Monolithic 2 DOF fully compliant space pointing mechanism](#). Mechanical Sciences 4(2):381-390, Dezember 2013.
- [10] BYU_CMR: *Flex-16: Large-Displacement Monolithic Compliant Rotational Hinge*. Auf [Thingiverse](#), 28.03.2019.
- [11] Openflexure.org: [OpenFlexure Microscope](#).
- [12] G. Parmar: [LARGE RANGE NANOPositioning FOR NANOMANUFACTURING AND NANOMETROLOGY](#). Precision Systems Design Laboratory, Mechanical Engineering, University of Michigan, 2021.
- [13] B.D. Jensen, L. L. Howell: *The modelling of cross-axis flexural pivots*. In: Mechanism and Machine Theory 37, (2002), S. 461-476. [PDF-Download](#)
- [14] Jorge Correa, Placid Ferreira: *Analysis and Design for Rapid Prototyping Mechanism using Hybrid Flexural Pivots*. In: Procedia Manufacturing 1 (2015), S. 779-791. [PDF-Download](#)
- [15] Tutorius: *Tutorial – Freecad mit FEM (Finite Elemente Methode)*. Auf [YouTube](#), 2018.
- [16] Florian Bauer: *Cross-axis flexural pivots for Fischertechnik*. Auf [Thingiverse](#), 2023.



Abb. 18: OpenFlexure Microscope [11]: Foto von Samuel McDermott mit freundlicher Genehmigung von Ed Meng (OpenFlexure-Projekt)

- [17] Wikipedia: [Finite-Elemente-Methode](#).
- [18] Konstruktionsbude: *Finite Elemente Methode [FEM] – Einfach erklärt!* Auf [konstruktionsbude.de](#), 2023.
- [19] Florian Bauer: [Video von Florian Bauer zum Beitrag "Flexures – Nachgiebige Mechanismen" in der ft:pedia 1/2023](#). Auf YouTube, 2023.

Modell

Scheibenwischer

Hans-Christian Funke

Die Scheibenwaschanlage (oder einfach Scheibenwischer) ist ein immer wiederkehrendes Thema bzw. Modell. In den Modellbüchern geht es in erster Linie um die technische Realisierung, aber in diesem Beitrag will ich den Scheibenwischern zu etwas Innovation verhelfen.

Schaut man sich die Historie an, dann fing es mal mit einem einfachen Einschaltknopf für die Scheibenwischer an. Im weiteren Verlauf der technischen Entwicklung wurde dann aus zwei Wischgeschwindigkeiten die Intervallschaltung. Heute erfolgt die Steuerung über einen Mikrocontroller, der über eine Vielzahl von Sensoren mit Daten versorgt wird.

Als ich das Modell in der fischertechnik Bauanleitung des Kastens „Mechanic & Static 2“ [1] (Seite 16) fand, dachte ich mir, dass man mit den Elektronikmodulen dem Modell etwas Hightech einflößen könnte. Zwar kann ich nicht mit einem Multifunktionsschalter aufwarten, wie dieser in den meisten modernen PKWs zu finden ist, aber der lässt sich ganz gut simulieren.

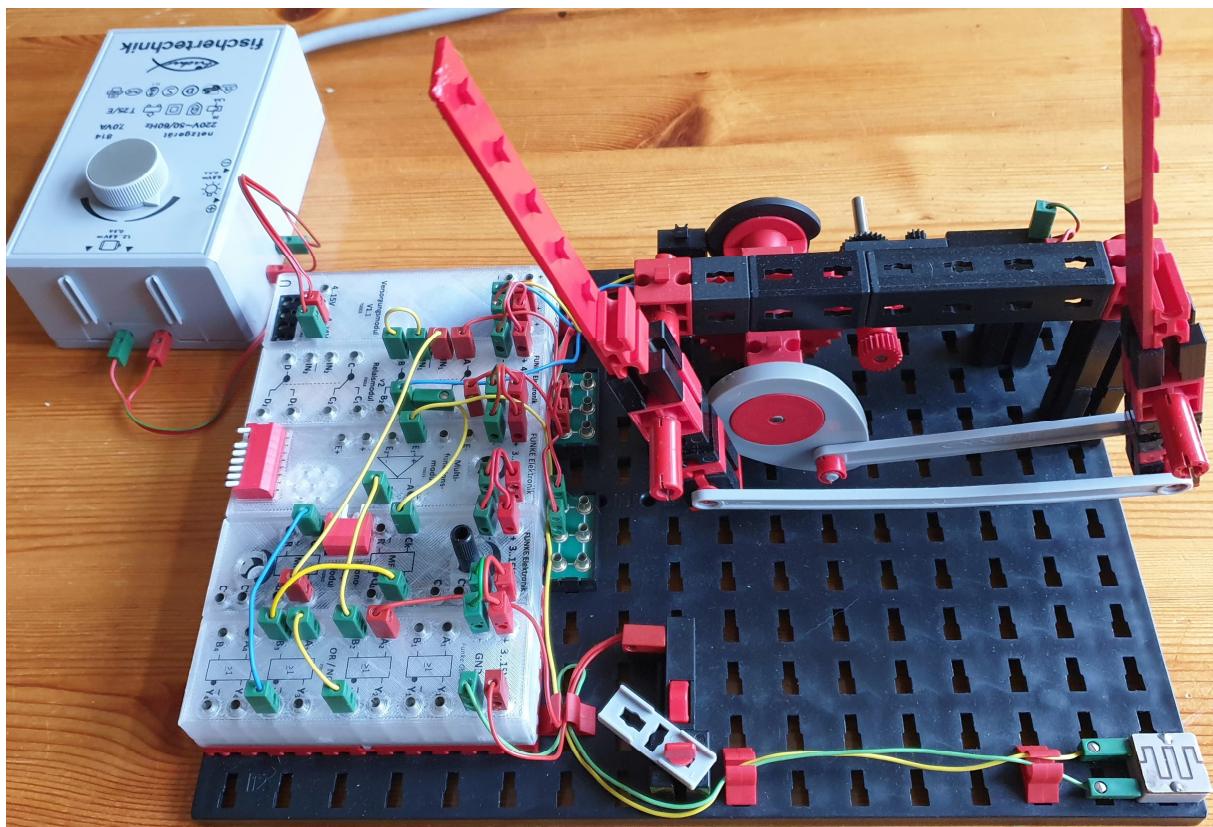


Abb. 1: Das Modell

Das Modell habe ich komplett aus der Bauanleitung übernommen und um ein paar Schalter und Elektronikmodule ergänzt. Die Teileliste findet ihr in Tab. 1, und wer über den Baukasten „Mechanic & Static 2“ verfügt, benötigt nur noch ein paar zusätzliche Teile (in der Tabelle *kursiv* gesetzt). Die Achse 80 war vorher eine Achse 60; ich musste sie austauschen, damit die Nabe mit den Schaltscheiben noch auf die Achse aufgeschraubt werden kann.

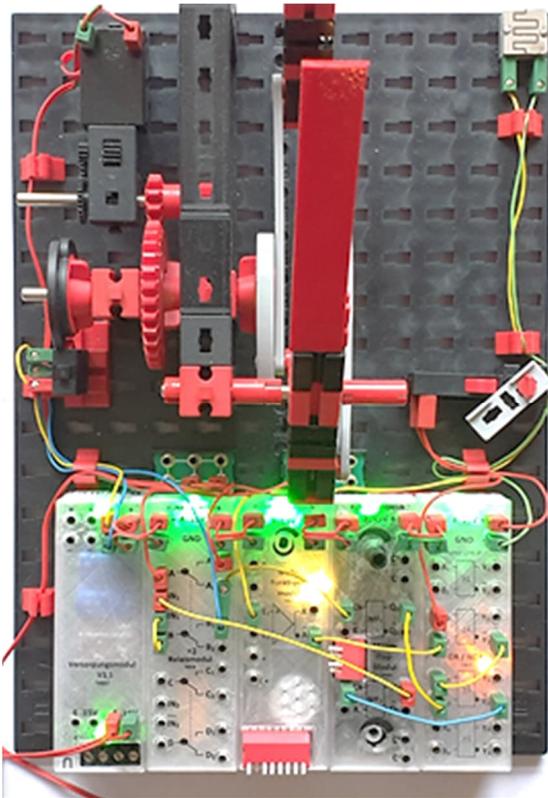


Abb. 2: Modellansicht von oben mit allen Ergänzungen

Bauteil	Stk.	Artnr.
Grundplatte 258 x 186	1	32985
Strebenadapter rt	3	31848
Klemmbuchse 5	6	37679
Klemmbuchse 10	4	31023
Achse 60	2	31032
Achse 80	1	37384
Strebe 90 sw	1	38543
Strebe 120 sw	1	38546

Bauteil	Stk.	Artnr.
Winkelträger 15 2x Zapfen	1	36950
Winkelträger 30	1	36920
Winkelträger 60	1	36921
Baustein 5	2	37237
Baustein 7,5 rt	2	37468
Baustein 15 mit Bohrung rt	6	32064
Baustein 30 sw	7	32879
Baustein 15 sw	6	32881
Ritzel Z10 sw	1	35112
Spannzange rt	1	35113
Zahnrad Z30 sw	1	36264
Nockenscheibe sw	1	35466
Nabenmutter	2	31058
Flachnabenzange	2	35031
Bauplatte 15 x 90	2	38245
Bauplatte 15 x 15	2	38246
Motor XS	1	137096
U-Getriebe sw	1	31078
U-Achse 60 Z28	1	31064
Grundplatte 258 x 186	1	32985
S-Riegel 4 rt	1	36323
Lasche 15 rt	1	31667
Nabenmutter	1	31058
Flachnabenzange	1	35031
Schaltscheibe sw	2	37727
Baustein 15 x 30 x 5 rt	1	35049
Baustein 15 sw	1	32881
Baustein 5	1	37237
Verteilerplatine	2	185518
Gehäuse Verteilerplatte	2	152059
Feuchtigkeitssensor	1	70070
Mini-Taster	2	37783

Bauteil	Stk.	Artnr.
OR-NOR-Modul	1	70013
Multifunktionsmodul	1	70015
Mono-Flop-Modul	1	70005
Relaismodul	1	70018
Versorgungsmodul	1	70003
Kabelhalter	8	35969
Stecker grün	31	181583
Stecker rot	23	181584
Power Regler	1	139778
Schaltnetzteil	1	505287
Federnocken	10	31982

Tab. 1: Teileliste für das Modell. Kursiv gesetzte Bauteile werden zusätzlich zum Kasten „Mechanic & Static 2“ benötigt.

Die baulichen Ergänzungen könnt ihr gut in den Abb. 2 und 3 erkennen. Lediglich die Federnocken sind nicht sichtbar – diese werden benötigt, um die Elektronikmodule auf der Grundplatte zu befestigen.

Für mein Modell habe ich zur Ansteuerung einen alten Trafo mot4 verwendet. Ersatzweise dafür kann der Powerregler mit einem Schaltnetzteil eingesetzt werden. Die Motorspannung des regelbaren Ausgangs wird an die Verteilerplatten angeschlossen.

Der Entwurf

Mit dem Modell sollten folgende Anforderungen umgesetzt werden:

- Ein Tastschalter für einmaliges betätigen des Scheibenwischers soll verfügbar sein.
- Mit dem Einschalten des Tastschalters erfolgt dauerhaftes Wischen.

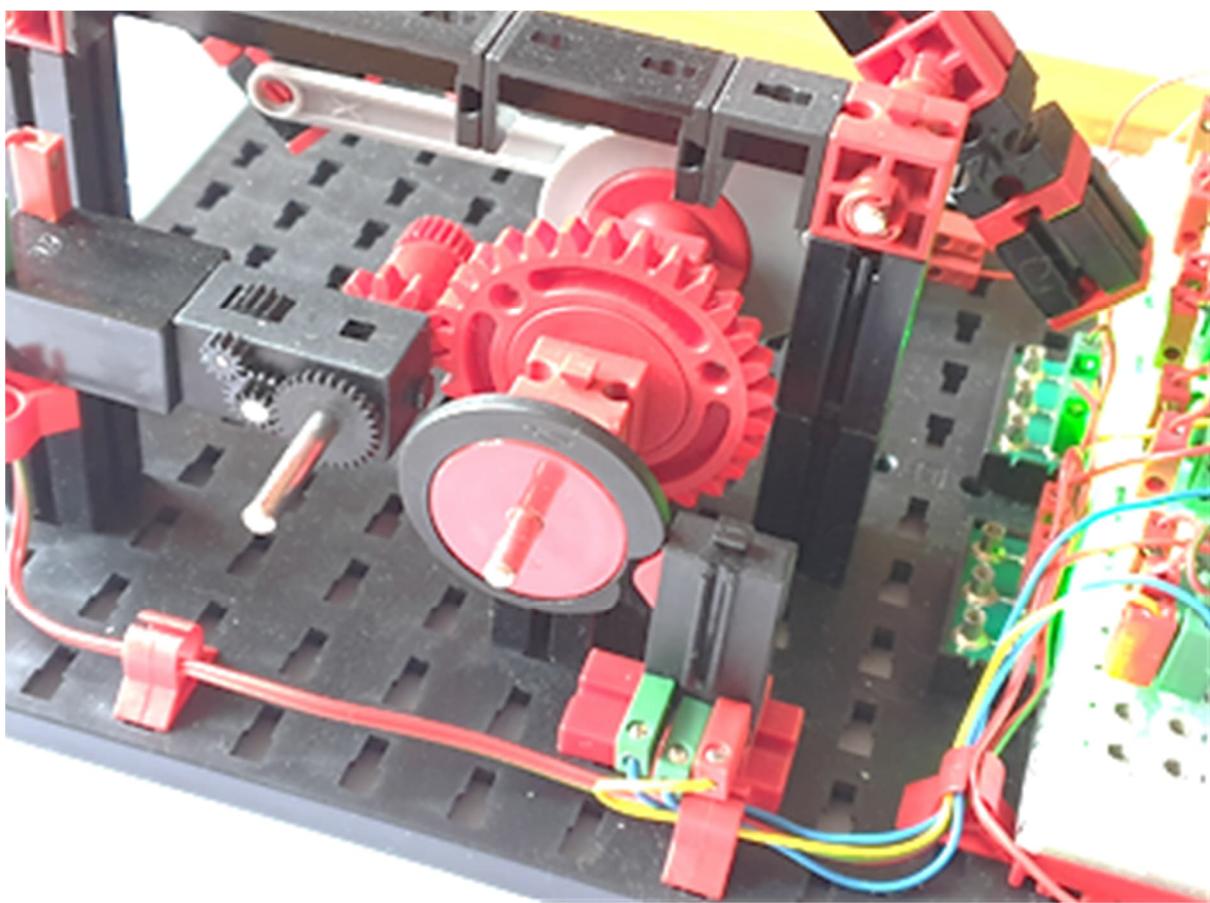


Abb. 3: Detailansicht des Stopp-Schalters, der durch Schalscheiben gesteuert wird

- Über ein Potentiometer kann ein Intervallwischen stufenlos eingestellt werden.
- Ein Feuchtigkeitssensor erkennt Regen und schaltet den Scheibenwischer ein.

Leider gibt es die alten kleinen Sensoren von fischertechnik, die in einem Leuchtenstein Platz gefunden haben, nicht mehr. Die aktuellen Sensoren können nur noch über einen Controller angeschlossen und ausgewertet werden. Aus diesem Grund habe ich einen einfachen Feuchtigkeitssensor (70070 bzw. [36718](#); Abb. 4) entworfen, der für kleines Geld zu haben und für dieses Modell vollkommen ausreichend ist.

Für den Schalttaster habe ich die Konstruktion aus dem „Labor für digitale Elektronik“ entliehen (Abb. 5).



Abb. 4: Feuchtigkeitssensor (70070)

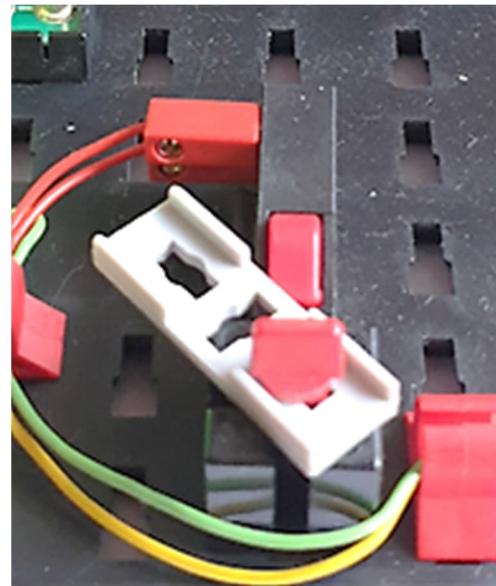


Abb. 5: Schalttaster aus dem „Labor für digitale Elektronik“

Die Schaltung

Schauen wir uns die Schaltung zum Modell im Einzelnen an. Für ein besseres Verständnis habe ich ein logisches Schaltbild erstellt (Abb. 6), auf das ich mich bei meinen Ausführungen beziehen werde.

Das Modell ist so aufgebaut, dass der Stopp-Taster nach einer vollen Umdrehung bzw. einmal Wischen in beide Richtungen wieder in die Ruheposition geht (das ist die Stopp-Bedingung).

Wird das MF2 aktiviert, dann muss der Impuls des MF2 so lang sein, dass der Stopp-Taster die Ruheposition verlassen

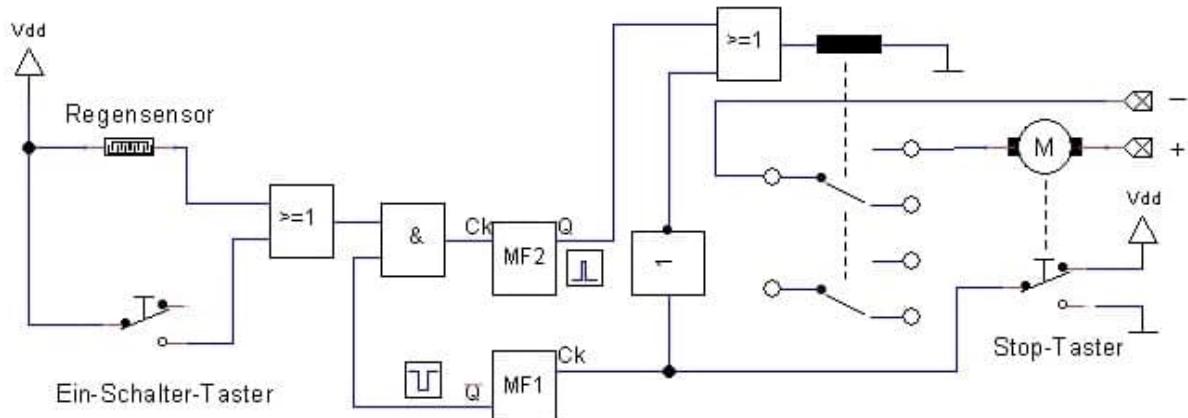


Abb. 6: Logische Schaltung

kann. Der Stopp-Taster ist, während der Motor läuft, eingeschaltet. Damit liegt Low am Ck-Eingang des MF1. Über den Inverter wird Low zu High, die logische Bedingung des ODER-Gatters am Relais ist erfüllt und das Relais bleibt eingeschaltet. Damit läuft der Motor so lange weiter, bis der Stopp-Taster wieder in die Ruheposition geht (das ist das „1-mal Wischen“).

In dem Moment, in dem der Stopp-Taster wieder die Ruheposition einnimmt, wird der Eingang Ck am MF1 High und das MF1 damit angestoßen. Das heißt, am Ende des Wischvorgangs wird MF1 angestoßen. An seinem Potentiometer kann die Länge der Pause eingestellt werden, bis der nächste Wischvorgang gestartet wird (Intervallzeit). Daher ist es wichtig, dass man am MF1 eine sehr kurze Zeit einstellen kann. Ist die Zeit am MF1 sehr kurz, dann wirkt es, als ob der Wischer sich im Dauerbetrieb befände (ohne Intervallverzögerung).

Vom MF1 ist der invertierte Q-Ausgang an ein UND-Gatter angeschlossen. Während MF1 aktiviert wurde, liegt Low am Eingang des UND-Gatters; die UND-Bedingung kann damit nicht erfüllt werden. Erst wenn der Zyklus des MF1 abgeschlossen ist, wird

der Eingang am UND-Gatter durch MF1 wieder High. Ist der andere Eingang des UND ebenfalls High – entweder weil es regnet ODER weil der Tastschalter dauerhaft eingeschaltet ist – dann ist die UND-Bedingung mit Ablauf des MF1 erfüllt und MF2 wird wieder angestoßen. Regnet es nicht und ist der Tastschalter nicht eingeschaltet, bleibt der Wischer stehen und beginnt erst wieder, wenn am ODER vom Eingang der Schaltung High am UND-Gatter anliegt – es regnet oder der Tastschalter wurde eingeschaltet.

Eine Anmerkung zum MF2, das von Haus aus für längere Zyklen ausgelegt ist: Sollte der Zyklus zu lang sein, sodass der Wischer wieder in die Ruheposition kommt, bevor der Impuls von MF2 abgeschlossen ist, muss ein externer Kondensator verwendet werden. In der Schaltung in Abb. 7 ist schon der kleinere Kondensator mit 2,2 µF für das MF2 aktiviert. In diesem Fall kann ein 1-µF-Kondensator oder der 100-nF-Kondensator aus dem Kondensatorset (71047), das auch im Multifunktionsmodul enthalten ist, verwendet werden. Der externe Kondensator wird zwischen C- und C+ am MF2 angeschlossen (Polung am Kondensator

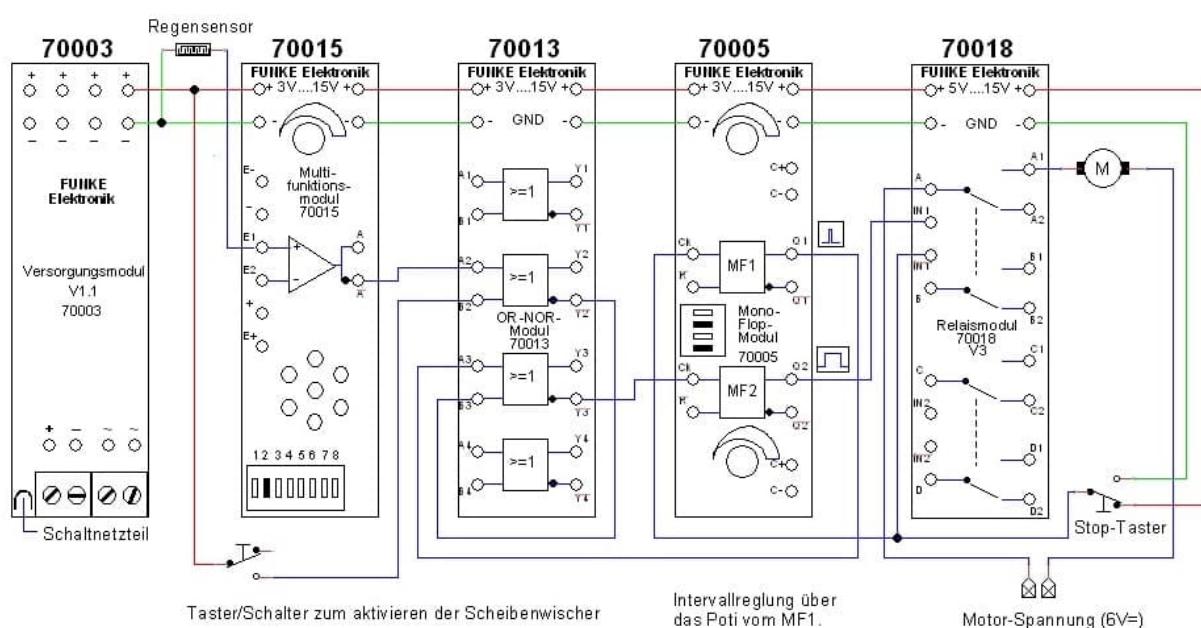


Abb. 7: Schaltung mit Elektronikmodulen

beachten – nur beim 100-nF-Kondensator ist sie egal).

Bei der Schaltung mit den Elektronikmodulen entfällt der Inverter, weil das im Relaismodul eingebaute ODER-Gatter einen invertierten Eingang bietet. Außerdem wollte ich nicht noch ein Elektronikmodul für das UND-Gatter einsetzen, und so habe ich das UND-Gatter über ein NOR-Gatter realisiert. Wer sich mit dem Labor für digitale Elektronik (75000/75008) beschäftigt hat, weiß bereits, wie die Ersatzschaltung für ein UND-Gatter aus einem NOR-Gatter aussieht (Abb. 8). Statt eines Inverters vor dem NOR-Gatter wurden die invertierenden Ausgänge der Gatter oder Speicher verwendet.

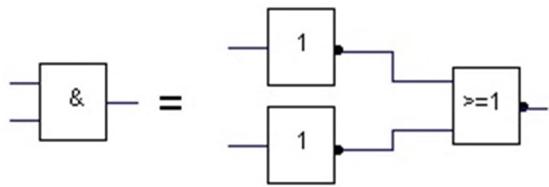


Abb. 8: Ersatzschaltung für ein UND-Gatter

Feuchtigkeitssensor (70070)

Der neue Sensor wird voraussichtlich ab Mitte März beim offiziellen fischertechnik-Servicepartner [2] im Online-Shop erhältlich sein, ebenso alle Elektronikmodule, Zusatzmodule, LED-Bausteine, Labore und sämtliches Zubehör.

Quellen

- [1] fischertechnik: *Profi Mechanic & Static 2.* Anleitung auf docs.fischertechnikclub.nl.
- [2] [santjohanser](#): Spielen. Lernen. Technik. Autorisierter fischertechnik-Fachhändler.

Elektronik

Fahrtregler (1): Vom Widerstandsdrat bis zur PWM

Peter Krijnen

Während ich damit beschäftigt war, alle Silberlinge zu dokumentieren, kam mir die Idee, etwas mit diesen Silberlingen zu machen. Vor zwei Jahren habe ich angefangen, auch aufgrund eines Themas im Forum über den Power-Controller, mit den Silberlingen zu experimentieren. Am Ende entstand ein halbwegs funktionierender Fahrregler.

Ein bisschen Geschichte

Aufgrund meines anderen Hobbys, der Modelleisenbahn, besitze ich mehrere Trafos und Fahrtregler. Darunter zum Beispiel der LGB 5012N (Abb. 19), von dem ich mal drei als Playmobil-Fahrtregler gekauft habe. Eine Übersicht zu diesem Controller [1] habe ich im Internet gefunden. Die ist zwar in niederländischer Sprache, aber die Schaltbilder zeigen, wie alles funktioniert.

Um die Drehzahl eines Motors zu variieren, wird ein Drehzahlregler benötigt. Anfangs hielt man es für am einfachsten, die Wechselspannung zu regeln, indem man einen Schleifkontakt über die Sekundärwicklung eines Transformators bewegt. Die Wechselspannung wurde dann gleichgerichtet. Die Fahrtrichtungsumkehr erfolgte durch einen Polwendeschalter.

Später wurde zunächst eine Sekundärwechselspannung gleichgerichtet. Anschließend wurde durch Bewegen eines Schleifkontakte über einen Widerstandsdrat die Höhe der Gleichspannung bestimmt. Die Fahrtrichtungsumkehr erfolgte wiederum über einen Polwendeschalter.

Dass es auch anders geht, beweist der fischertechnik Trafo 812 ([31040](#), Abb. 1).

Bei diesem Trafo hat die Sekundärwicklung noch vier Anzapfungen, sodass insgesamt fünf Wechselspannungen zur Verfügung stehen (Abb. 2 und 5). Eine dieser Spannungen kann mit einem Drehschalter ausgewählt werden. Die gewählte Spannung wird dann durch einen Brückengleichrichter gleichgerichtet. Die Polaritätsumkehr der Gleichspannung erfolgt durch einen Polwendeschalter, der auf der gleichen Welle wie der Drehschalter montiert ist (Abb. 3 und 5).



Abb. 1: Trafo 812

In Abb. 4 sieht man alles besser: Die roten Leiterbahnen sind die Unterseite und die grünen Leiterbahnen die Oberseite der Platine. Die Platine wird über Kopf in das Gehäuse eingebaut.

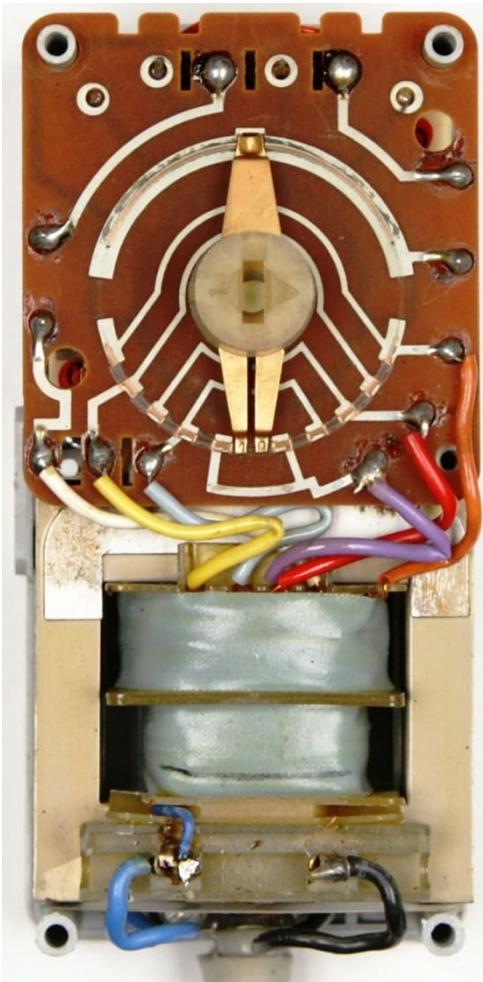


Abb. 2: Trafo 812: Drehschalter zur Spannungsauswahl



Abb. 4: Trafo 812: Der Polwendeschalter

Damit im Kurzschlussfall nicht zu hohe Ströme fließen, sind zwei Bimetall-Schalter eingebaut, die als Sicherung fungieren.

Es gibt fünf Spannungen vom Transistorator. Die Abgriffe der Sekundärwicklung sind farblich gekennzeichnet:

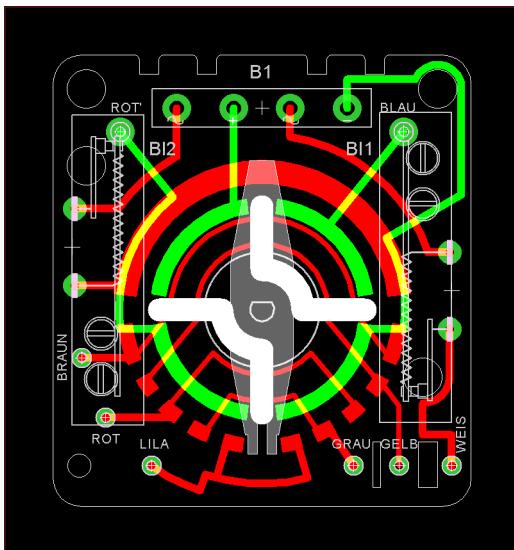


Abb. 3: Trafo 812: Layout der Platine

Farbe	Spannung	
Lila	5,5 V~	5,0 V=
Grau	6,1 V~	5,7 V=
Rot	6,8 V~	6,3 V=
Gelb	8,9 V~	8,2 V=
Braun	10,9 V~	9,8 V=

Tab. 1: Spannungsabgriffe am Transistorator

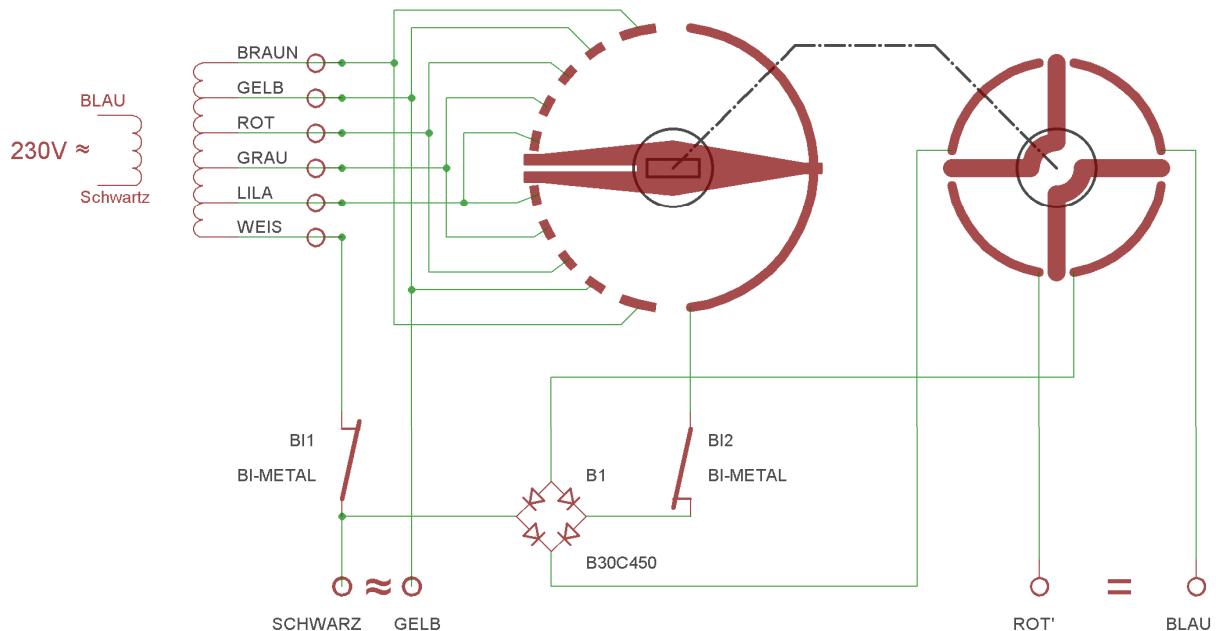


Abb. 5: Trafo 812: Schaltbild

Der Wechselspannungsanschluss an der Seite des Trafos ist mit Gelb verbunden und führt somit 8,9 V.

Der Transistor

In den 1970er Jahren entdeckte die Modellbau- und Spielzeugindustrie den Transistor.

Mit dem Transistor war es möglich, eine stufenlose Regelung aufzubauen. Fischer-technik hat dies bereits mit dem Transistor-Potentiometer-Modul ([37158](#)) des Kastens ut-4 ermöglicht. Später folgte die Leistungsstufe ([36296](#), Abb. 6).

Beide haben ein Potentiometer, das die Basis des Transistors steuert. Werfen wir zunächst einen Blick auf das Schaltbild (Abb. 7). Wir verbinden B1 mit +5 bis +10 V und schließen einen Motor zwischen C1 und +5 bis 10 V an. Befindet sich der Schleifkontakt des Potentiometers nun in Stellung 1, so liegen an der Basis des Transistors 0 V an. Das heißt, der Transistor ist geschlossen. Es kann also kein Strom durch den Motor fließen und der Motor steht still. Wenn wir das Potentiometer in Richtung 3 drehen, erhöht sich die Spannung an der Basis. Der Transistor öffnet nun

immer weiter, wodurch die Spannung am Kollektor C1 sinkt. Dies bedeutet, dass am Motor immer mehr Spannung anliegt und er daher immer schneller läuft.

Wenn der Transistor vollständig geöffnet ist, beträgt die Spannung am Kollektor fast 0 V und der Motor hat jetzt fast die volle Versorgungsspannung.



Abb. 6: Leistungsstufe, 36296

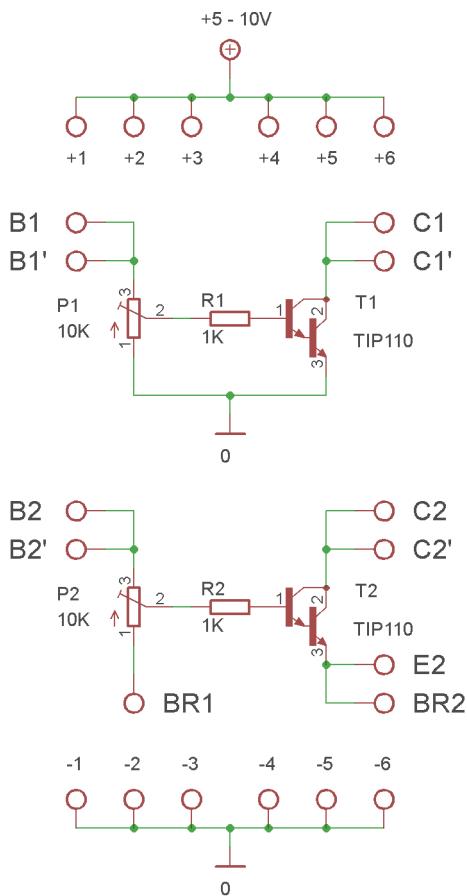


Abb. 7: Leistungsstufe, Schaltbild

Allerdings hat dieses Verfahren einen Nachteil: Es gibt Motoren, die erst mit 4 V laufen wollen, andere schon mit 1 V. Dies kann mit einem Potentiometer nicht erreicht werden. Und ein Polwendschalter muss immer noch verwendet werden.

Spannungsteiler

Um das zu lösen benötigt man eine andere Schaltung. Dafür müssen wir zurück zum Drehschalter. Ein Potentiometer kann auch als in Reihe geschaltete Widerstände angesehen werden: ein Spannungsteiler. Die Abb. 8 und 9 zeigen einen Regler, der mit einem Widerstandsteiler aufgebaut ist. Oben auf Abb. 8 sehen wir zwei Widerstandsarrays. Links davon ist ein einzelner Widerstand. Dies bestimmt die minimale Spannung an der ersten Position des Schalters.

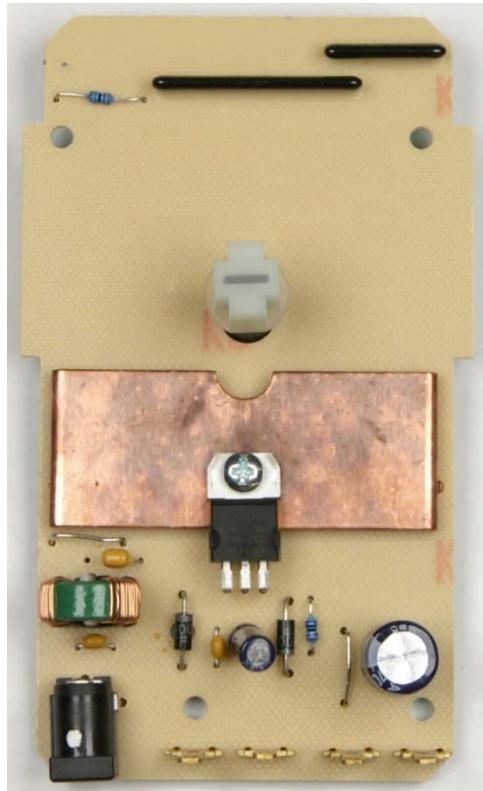


Abb. 8: Fahrregler mit Spannungsteiler und Drehschalter



Abb. 9: Fahrregler mit Spannungsteiler und Drehschalter (Leiterbahnseite)

Auf Abb. 9 sehen wir, dass es 17 Positionen gibt. Im Gegensatz zum fischertechnik-Trafo hat dieser Regler alle Leiterbahnen auf einer Seite der Platine.

Auch mit diesem Fahrregler sitzt der Polwendschalter auf derselben Achse wie der Drehschalter.

Chips

Paprikageschmack oder Zwiebeln? Nein. Mit Silizium-Geschmack, und sie sind um ein Vielfaches kleiner als die essbaren Sorten.

Die ersten ICs im fischertechnik-Sortiment entstammen der SN7400-Serie und finden sich im „IC-Digital-Praktikum“ ([30630](#)) und in „Elektronik“ ([30253](#)). Zweifellos wurden sie auch in den Funk-Fernsteuerungen und natürlich in den ersten Computerschnittstellen (CD4000-Serie) verwendet.

Damit lassen sich vollelektronische Fahrtregler bauen.

Puls-Weiten-Modulation (PWM)

Zum Aufbau eines PWM-Fahrtreglers stehen spezielle ICs zur Verfügung. Einer dieser ICs ist der NE555. Es befindet sich in einem 8-Pin-Gehäuse und ist dadurch sehr kompakt.

Neben diesem IC werden noch ein paar Widerstände und Kondensatoren und ein Potentiometer benötigt. Für den Ausgang braucht man außerdem einen Transistor oder FET.

Der in Abb. 10 und 11 gezeigte Power-Controller ist meines Wissens nach die letzte von Knobloch entworfene und produzierte Version. Knobloch hat für diesen Power-Controller auch einen NE555 verwendet.

Ich habe meinen Power-Controller geöffnet und versucht herauszufinden, wie die Schaltung aufgebaut ist. Da der Power-Controller noch im fischertechnik-Sortiment ist, wird klar sein, dass es davon kein Schaltbild gibt.



Abb. 10: Power-Controller ([139778](#))

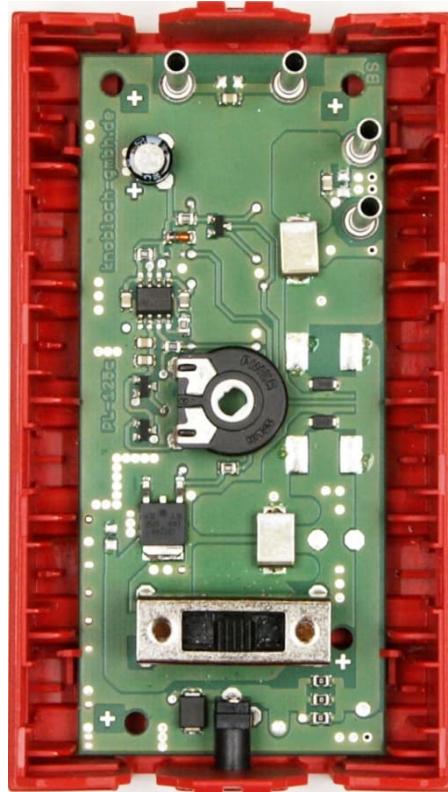


Abb. 11: Power-Controller Platine

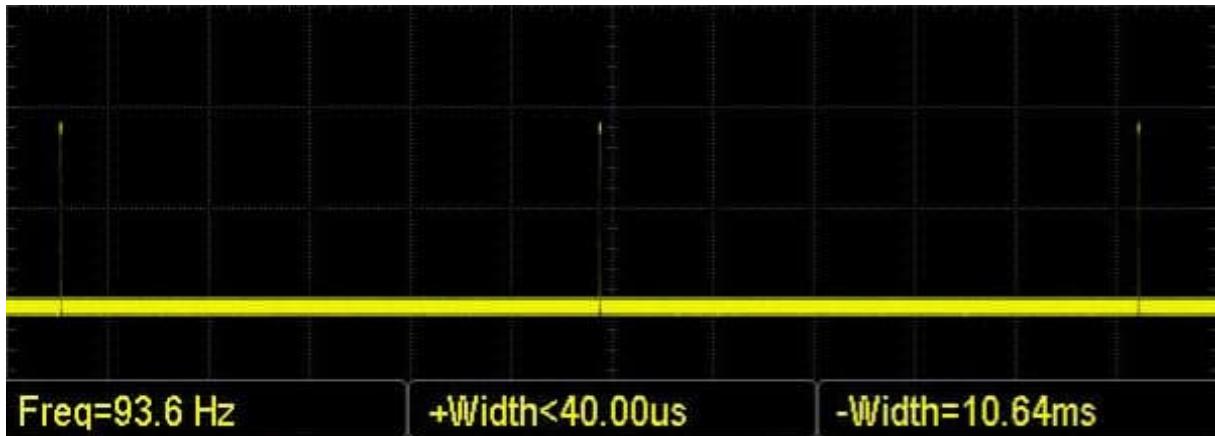
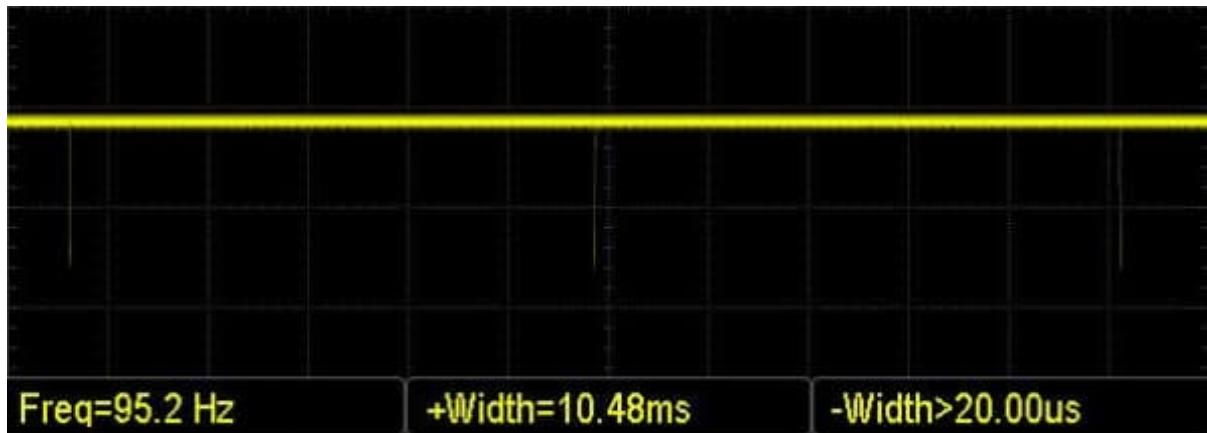


Abb. 12: Power-Controller: Minimale Pulslänge

Abb. 13: Power-Controller: Maximale Pulslänge.
Hier erkennt man drei Spalten – wie in Abb. 12, nur invertiert.

Von einer Reihe von Komponenten ist nicht klar, was für welche es sind: Es gibt keinen Aufdruck darauf.

Nach dem Zeichnen des Schaltbildes habe ich versucht, die Schaltung mit normalen Bauteilen aufzubauen. Das hat auch funktioniert, aber nicht so richtig.

Im Datenblatt des NE555 (heruntergeladen von der Texas-Instruments-Website) kann man lesen, dass mit dem NE555 eine minimale Pulslänge von 10 µS erreicht werden kann. Das erscheint sinnvoll, denn der NE555 dient sowohl als Pulsgenerator als auch als Mono-Flop. Um den NE555 als Pulsgenerator zu verwenden, ist eine Rückkopplung vom Ausgang zum Eingang erforderlich.

In Abb. 12 sehen wir, dass die minimale Pulslänge < 40 µS ist. Dass diese höher als 10 µS ist, liegt teilweise an den Einstellungen meines Oszilloskops (Bandbreite) und den Werten der in der Schaltung verwendeten Bauteile. Zudem kann der Power-Controller nicht vollständig geöffnet werden. Andernfalls würden die Rückkopplung ab und der Pulsgenerator ausfallen. Es bleibt also immer eine kleine Spalte (Abb. 13).

Das bedeutet, dass beim Power-Controller 93 Pulse pro Sekunde erzeugt werden. Obwohl diese Pulse nur etwa 20 µS lang sind, mag ein Elektromotor das nicht und fängt an zu brummen. Deshalb gibt es am Power-Controller einen Schalter mit Mittelstellung. In der Mittelstellung ist der Regler somit vom Ausgang getrennt.

Fernbedienung

Eine andere Form von Fahrtregler sind solche mit Fernbedienung. Ob RC (Radio-Control), IR (Infrarot) oder BT (Bluetooth) – fischertechnik hat sie alle im Programm. In Abb. 14 ist der IR-Empfänger ([503146](#)) zu sehen. Die Ausgänge sind ebenfalls PWM-gesteuert. Das PWM-Signal wird jedoch etwas anders realisiert.



Abb. 14: IR-Empfänger ([503146](#))

Abb. 15 zeigt die grafische Darstellung von Ausgang M1. Die Position des Sticks wird auf dem Sender digitalisiert und als 16 verschiedene Stufen an den Empfänger gesendet. Wir sehen, dass die Frequenz 198 Hz und die minimale Pulslänge 880 µs betragen. Für jede weitere Stufe wird die Pulslänge um 300 µS verlängert. Bei Stufe 16 ist der Ausgang vollständig geöffnet.

ROBO-Pro-Interface

Alles änderte sich mit der Einführung des ROBO-Pro-Interface. Nicht nur die Software, sondern vor allem die Hardware wurde deutlich aufgewertet. Neben dem

RS232-Anschluss war nun auch USB an Bord. Mit einer extra einzubauenden Platine war auch eine WiFi-Verbindung (kein WLAN) möglich; zudem verfügte das Interface über einen IR-Empfänger. Am interessantesten war für viele jedoch die Tatsache, dass auch 128 kByte RAM und 128 kByte Flash-Speicher zur Verfügung standen. Es konnten sogar maximal sieben (!) Erweiterungsmodule angeschlossen werden. Das wurde in der Firmware bereitgestellt und es funktioniert, softwaremäßig ist es jedoch auf drei Module beschränkt. Aber das ist möglicherweise etwas für einen anderen Beitrag. In diesem Beitrag möchte ich noch etwas zur nun ebenfalls möglichen PWM-Steuerung sagen.



Abb. 16: ROBO-PRO Interface

Jeder Ausgang hat einen Fahrtregler, mit dem die Geschwindigkeit in neun Stufen geregelt werden kann, wobei Stufe „0“ „Stopp“ entspricht. Wie beim IR-Empfänger ist die Pulslänge der ersten Stufe länger

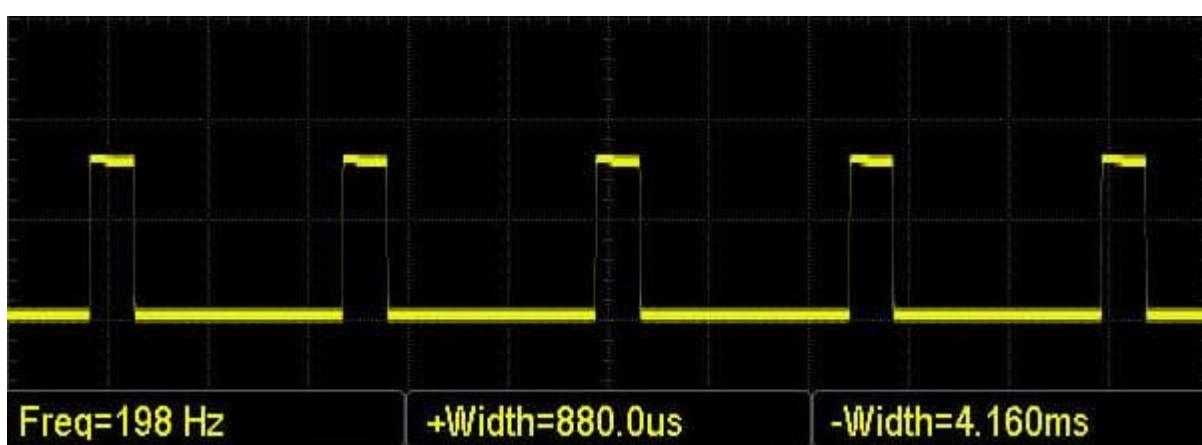


Abb. 15: IR-Empfänger: Minimale Pulslänge

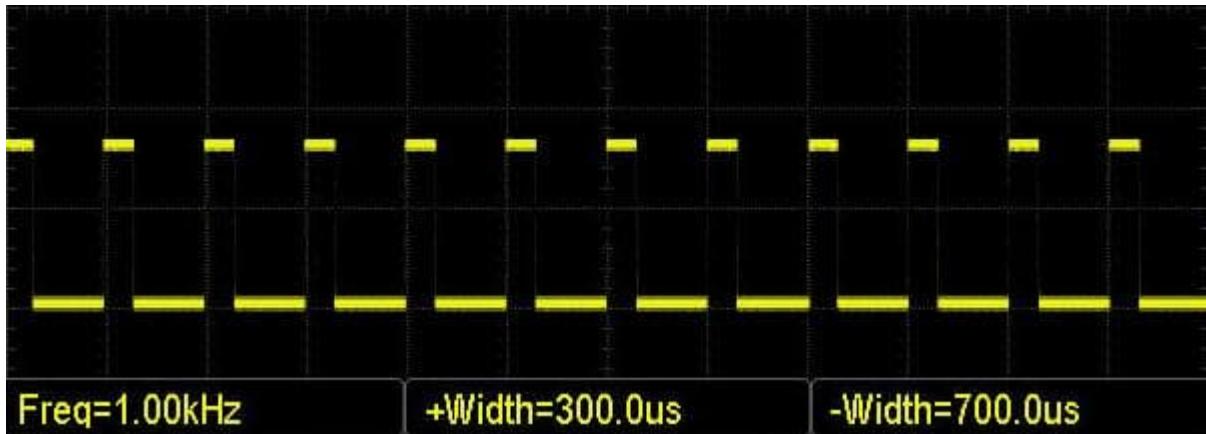


Abb. 17: ROBO-Pro-Interface: Minimale Pulslänge von Stufe I

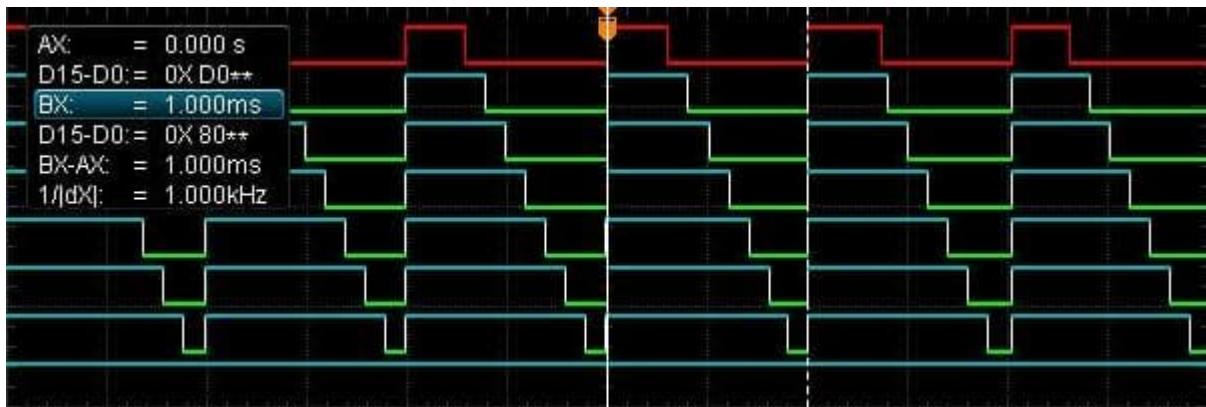


Abb. 18: ROBO-Pro-Interface: Alle Pulslängen von Stufe 1 (OUT1) bis 8 (OUT8) in einem Bild

als die der anderen Stufen. Wie wir in Abb. 17 sehen beträgt die Impulslänge der ersten Stufe 300 μ s. Dann werden mit jeder Stufe 100 μ s hinzugefügt. Das alles passiert 1000-mal pro Sekunde.

In Teil 2 der Beitragsserie werde ich zeigen, wie man den Power-Controller mit Silberlingen baut.

Quellen

- [1] Texas Instruments: [xx555 Precision Timers](#). Datasheet, Rev. I, 9/2014.
- [2] Klaas Robers: *De LGB tuinregelaars*. Auf [adoc.pub](#).



Abb. 19: LGB 5012N [2] in einem grünen Stellwerk

Elektronik

Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 10)

Peter Krijnen

In Teil 9 meiner Beitragsserie hatte ich die Behandlung der Silberlinge abgeschlossen und angekündigt, mit den IC-Digital-Modulen fortzufahren, wobei diese Module natürlich nicht zu den Silberlingen zählen. Dem Versuch, diese Module in einem Silberling-Gehäuse unterzubringen, steht jedoch nichts im Wege.

1979 werden die Kästen „Elektronik-Praktikum“ ([30629](#)) und „IC-Digital-Praktikum“ ([30630](#)) eingeführt. Mit beiden Kästen lassen sich „Halbleiterschaltungen“ bauen. Beide wurden 1981 durch „Elektronik“ ([30253](#)) ersetzt.

IC-Digital-Praktikum



Abb. 290: IC-Digital-Praktikum [30630](#)

Im „IC-Digital-Praktikum“ ([30630](#)) gibt es 2 Module: ein „IC-Baustein 14“ ([38616](#), Abb. 291) und eine „Schaltstufe“, ([38617](#), Abb. 296). Großer Unterschied zu den Silberlingen sind die 1,3-mm-Lötstifte als Ersatz für die Bundhülsen. Die Lötstifte werden in einem Raster von 5×5 mm platziert. Ein zweiter Unterschied ist die Versorgungsspannung von 5 V statt 9 V bei

den Silberlingen. Die im Kasten enthaltenen 14-Pin-ICs sind alle aus der TTL-SN7400-Serie: 7400 (4fach NAND), 7402 (4fach NOR), 7408 (4fach AND) und ein 74121 (Mono-Flop). Diese dürfen mit maximal 5 V Versorgungsspannung betrieben werden.

IC-Baustein 14



Abb. 291: IC-Baustein 14 [38616](#)

Wie der Name schon sagt hat dieses Modul einen IC-Sockel für einen 14-Pin-IC. Im Layout (Abb. 292) und im Schaltbild (Abb. 293) sieht man, dass jeder Pin des IC-Sockels mit zwei Lötstiften verbunden ist. Es gibt auch zwei LEDs für die Anzeige von Ein- oder Ausgangspegeln. Beide LEDs haben einen Vorwiderstand von 220Ω . An

vier Pins liegt die +5 V-Versorgungsspannung und an sechs Pins 0 V an.

Zwischen den Lötstiften können Schilder platziert werden, auf denen die Anschlüsse und Funktionsweise eines ICs abgebildet sind (Abb. 294).

Zum Verbinden der verschiedenen Ein- und Ausgänge benutzt man kurze „IC-Kabel“ mit beidseitig gecrimpter IC-Steckhülse ([36372](#)). Man kann auch Widerstände und Kondensatoren mit Steckhülse verwenden. Um beispielsweise Sensoren anschließen zu können wurden auch IC-Kabel mit nur einer Steckhülse geliefert. Am anderen Ende musste man noch selbst einen Stecker anschrauben.

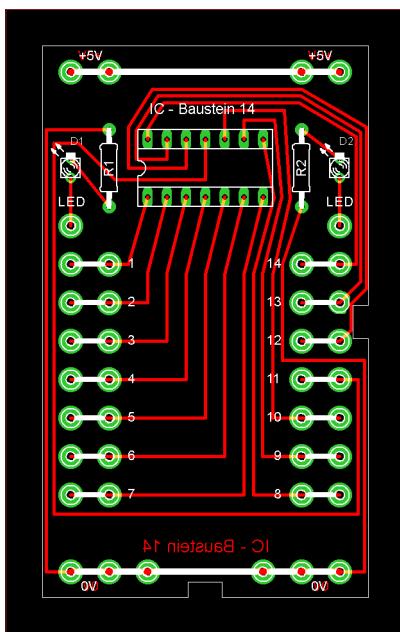


Abb. 292: IC-Baustein 14, Layout

Ich persönlich fand dieses System mit dem Lötstiften immer unpraktisch. Die verwendeten Steckhülsen gaben zu wenig Halt in den Fingern. Auch wollten die Steckhülsen nicht ohne Druck über die Stifte gleiten. Beim Lösen kam es oft vor, dass ich die Lötstifte aus der Platine gezogen habe. Die dabei auftretenden Kräfte sind einfach zu groß. Mehrmals musste ich zwei Zangen verwenden, um die Steckhülsen zu lösen.

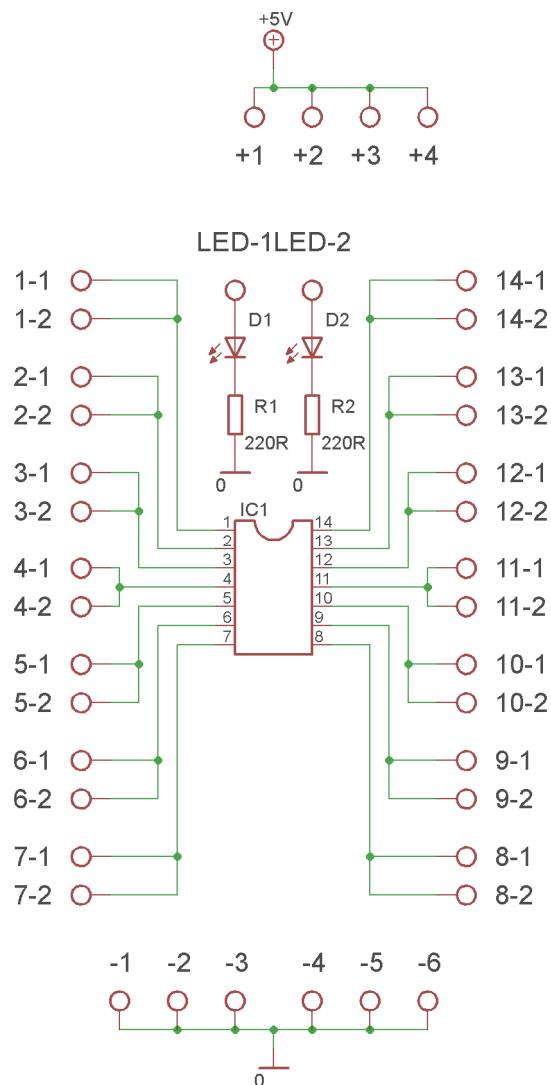


Abb. 293: IC-Baustein 14, Schaltbild

Die Wannen bestehen aus einem zerbrechlichen transparenten Material und sind 15 mm hoch. Die Platine wird knapp unter dem Rand eingespannt.

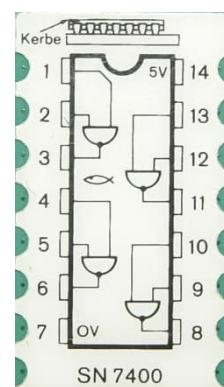


Abb. 294: Deckschild für ein SN7400

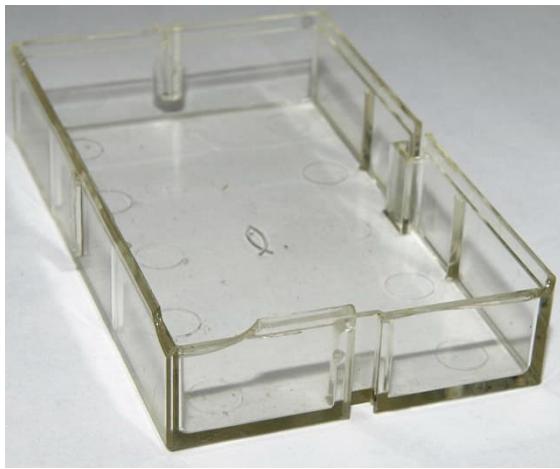


Abb. 295: Die Wannen bestehen aus einem zerbrechlichen Material

Schaltstufe

Um eine Lampe oder einen Motor von einem IC-Kreis aus zu steuern muss ein Leistungsbauteil verwendet werden: eine Schaltstufe. Die Schaltstufe besteht aus einem Relais mit einem kleinen Verstärker. Dieses Modul benötigt eine Versorgungsspannung von +6 V bis +10 V. Es muss dann darauf geachtet werden, dass diese höhere Spannung niemals an den IC angelegt werden kann. Die 0-V-Schienen beider Module müssen natürlich miteinander verbunden werden.



Abb. 296: Schaltstufe (38617)

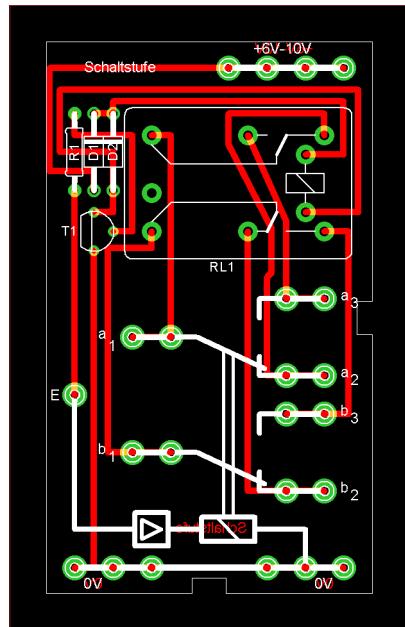


Abb. 297: Schaltstufe, Layout

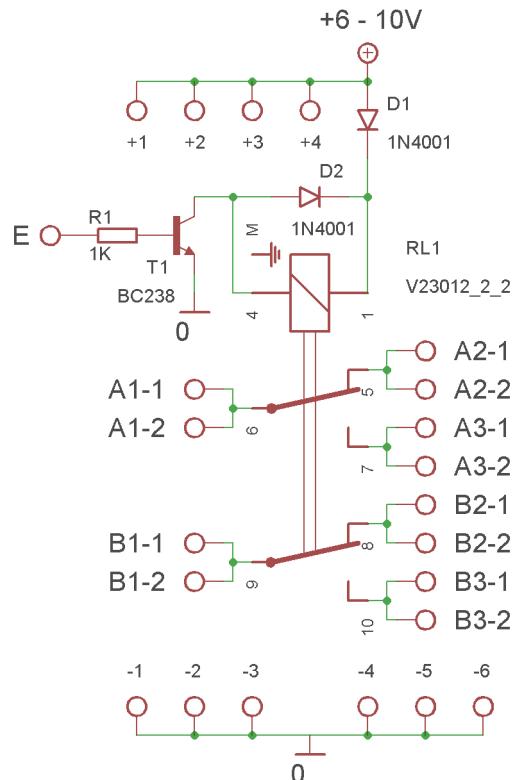


Abb. 298: Schaltstufe, Schaltbild

Elektronik

Im Kasten „Elektronik“ (30253, Abb. 299) finden wir drei Module: „IC Spannungsversorgung“ (35732, Abb. 300), „Schwellenwertschalter“ (36295, Abb. 303) und eine „Leistungsstufe“ (36296, Abb. 306).



Abb. 299: Elektronik 30253

Die IC-Spannungsversorgung (35732) ist, wie der Name schon sagt, um einen IC [3] herum aufgebaut: einen Spannungsstabilisator vom Typ 7805. Die Schaltung besteht neben dem IC noch aus einer Gleichrichterdiode, einem 1000- μ F-Kondensator am Eingang und einem 47- μ F-Kondensator am Ausgang des ICs. Die Anschlüsse sind die 1,3-mm-Lötstifte. Normalerweise wird ein U-förmiger Kühlkörper zum Kühlen des Stabilisator-IC verwendet. Allerdings dient bei diesem Modul eine Kupferfläche auf der Unterseite der Leiterplatte als Kühlplatte. Die Schraube und Mutter, mit der der IC auf die Leiterplatte geschraubt wird, sorgt zusätzlich für die Ableitung der Wärme nach unten.



Abb. 300: Spannungsversorgung (35732)

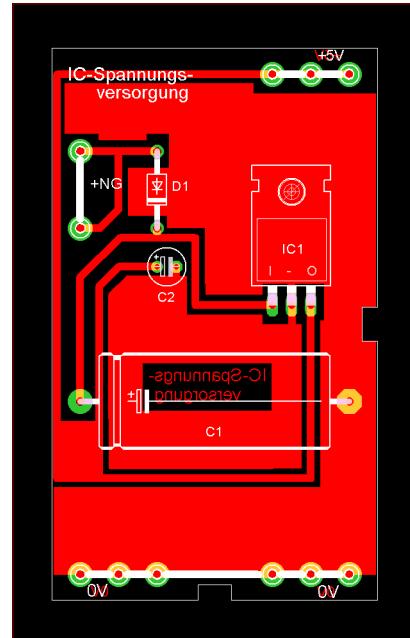


Abb. 301: Spannungsversorgung, Layout

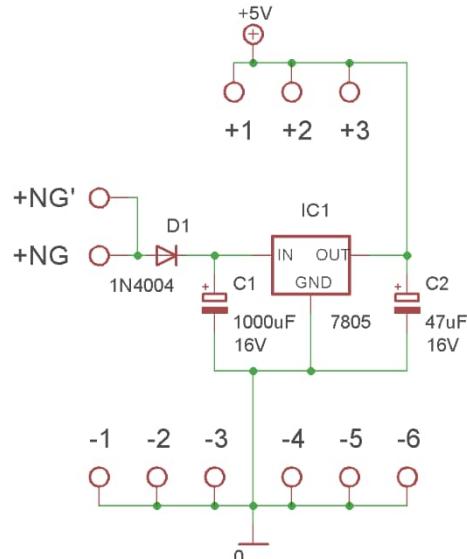


Abb. 302: Spannungsversorgung, Schaltbild

Schwellenwertschalter

Der Schwellenwertschalter ist um den IC SN7414 herum aufgebaut. Dieser IC enthält sechs Schmitt-Trigger-Inverter, von denen pro Schaltung drei verwendet werden. Das bedeutet, dass auf der Platine zwei gleiche Schaltkreise vorhanden sind (Abb. 305).

Als Eingangsverstärker fungiert hier ein NPN-Transistor vom Typ BC238 zusammen mit einem 25-k Ω -Potentiometer. Die Basis des Transistors ist über einen 1-k Ω -

Widerstand mit dem Eingang „E“ verbunden. Die beiden Brücken „Br“ sind normalerweise mit 0 V verbunden, können aber auch als Rückkopplung an einen der Ausgänge Q oder \bar{Q} angeschlossen werden.

Die Inverter im IC dienen hier eigentlich nur als Ausgangsverstärker. Es gibt auch zwei LEDs als Anzeige.



Abb. 303: Schwellenwertschalter ([36295](#))

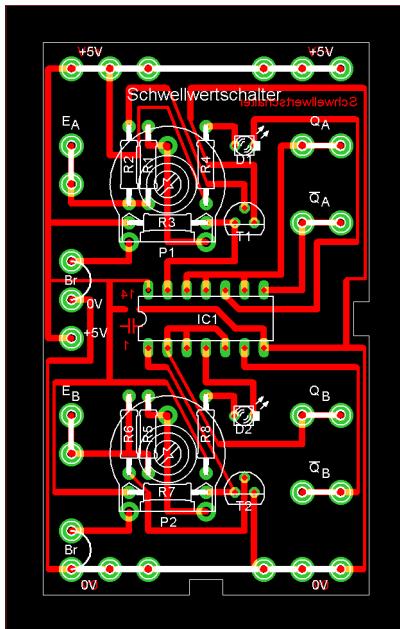


Abb. 304: Schwellenwertschalter, Layout

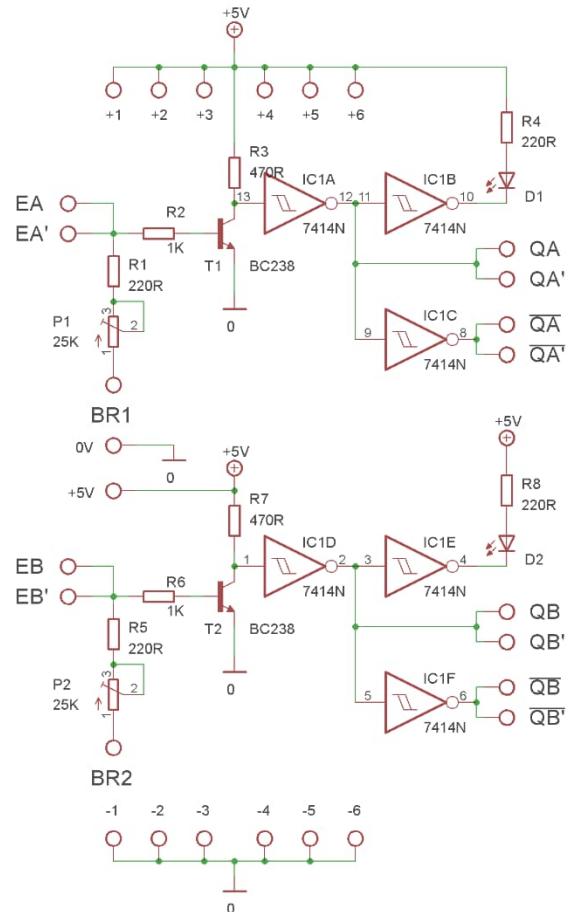


Abb. 305: Schwellenwertschalter, Schaltbild

Leistungsstufe



Abb. 306: Leistungsstufe ([36296](#))

Die Leistungsstufe besteht wie der Schwellenwertschalter aus zwei gleichen Schaltungen. Das ist jedoch nicht ganz richtig: Der

untere Stromkreis enthält nämlich auch zwei „Br“-Brücken. Auch der Emitter „E“ ist mit einem eigenen Lötstift versehen.

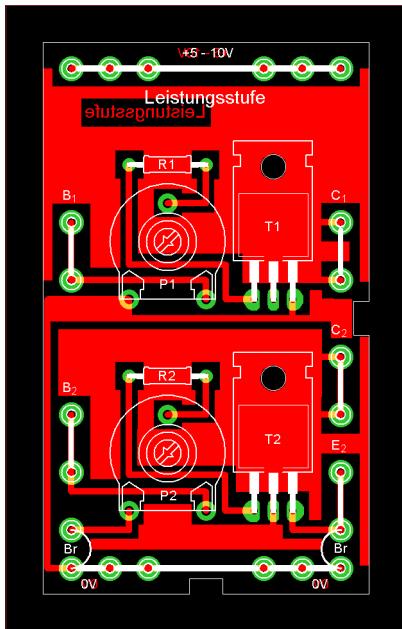


Abb. 307: Leistungsstufe, Layout

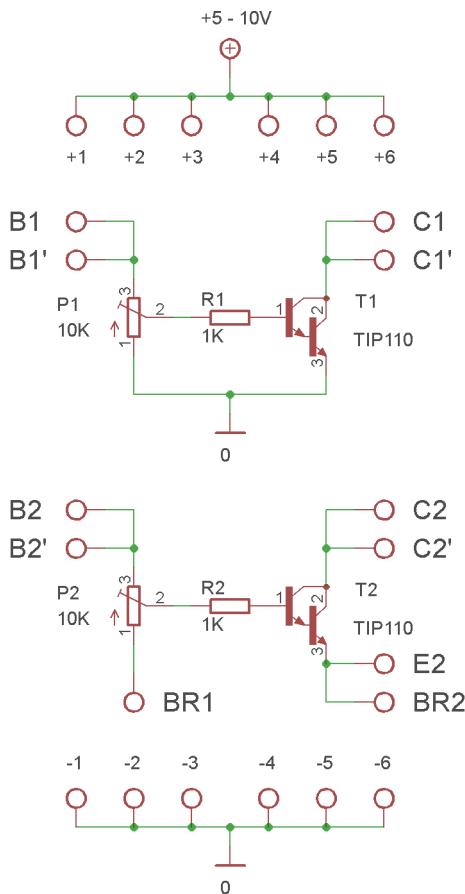


Abb. 308: Leistungsstufe, Schaltbild

Normalerweise werden „Br“ und „E“ mit 0 V verbunden. Die Last, eine Lampe oder ein Motor, muss zwischen „C“ und der positiven Versorgungsspannung angeschlossen werden. Wird jedoch der untere Stromkreis verwendet, kann die Last auch zwischen „E“ und 0 V angeschlossen werden. „C“ muss dann mit +5 V bis +10 V verbunden werden

Wie weit der Darlington-Transistor Typ TIP110 geöffnet wird, wird mit dem 10-k Ω -Potentiometer bestimmt. Am Eingang der Basis „B“ muss dazu eine positive Spannung anliegen. Wie bei der Spannungsversorgung (Abb. 300) wird der Kühlkörper des Transistors mittels Schraube und Mutter mit der Kupferfläche auf der Unterseite der Platine verbunden.

Nachbau

Ein Nachbau des IC-Baustein halte ich für überflüssig. Alternativ gibt es die Breadboards, wie ich sie in Teil 9 [1] vorgeschlagen habe. Dies gilt auch für die Schaltstufe, die ich in Teil 4 [2] besprochen habe. Zur Spannungsversorgung möchte ich auf Teil 2 [3] verweisen.

Allerdings habe ich eine Silberling-Version der Leistungsstufe gemacht. Es gibt für die originalen Silberlinge keine Abdeckung/Frontplatte für zwei Potentiometer. Da für die beiden Potentiometer plus die zwei TIP110 nicht genug Platz ist, konnte ich nur ein einziges Set auf der Platine unterbringen. Dies hatte ich bereits bei der Entwicklung der Universalplatine berücksichtigt. Auf den Abb. 309 bis 317 kann man sehen, wie das aussieht.

Da der Potentiometer-Baustein aus dem „hobbylabor“ mit zwei Potentiometern bestückt ist, kam der Wunsch auf, zu versuchen, die Leistungsstufe und den Schwellwertschalter in diesem Silberling-Gehäuse unterzubringen.

Für die Leistungsstufe war das kein großes Problem. Alle Komponenten könnten auf der Platine untergebracht werden. Auch musste ich aufgrund einer höheren Versorgungsspannung keine Bauteile tauschen.

Dies war jedoch für den Schwellenwertschalter notwendig. Wie bereits erwähnt, darf der SN7414 nur mit 5 V Versorgungsspannung betrieben werden. Da die Silberlinge für 9 V ausgelegt sind, ist es daher notwendig, den SN7414 durch einen anderen IC zu ersetzen. Ein IC, das sowohl funktions- als auch Pin-kompatibel ist, ist der CD40106. Dieser IC darf mit maximal 18 V betrieben werden; 9 V sind also kein Problem.

Eine Aussage eines weltberühmten holländischen Fußballspielers lautet: Jeder Vorteil hat auch einen Nachteil. Das gilt auch für die Verwendung des CD40106.

Der SN7414 kann Ströme bis zu 16 mA liefern. Der CD40106 kann jedoch nur 2,6 mA liefern. Das bedeutet, dass ich jeden Ausgang noch mit einer Leistungsstufe versehen musste. Für die Leistungsstufe habe ich die Ausgänge der Silberlinge übernommen. Das bedeutet, dass für jeden Ausgang drei Widerstände und ein Transistor auf der Platine platziert werden mussten. Das hat mir etwas Kopfzerbrechen bereitet. Noch mehr Kopfzerbrechen bereitete mir die Tatsache, dass die Ausgangsstufe invertierend wirkt. Das lässt sich schnell lösen, indem man die Namen der Ausgänge ändert. Aber deswegen musste ich auch die Position der Ausgänge ändern. Autsch...

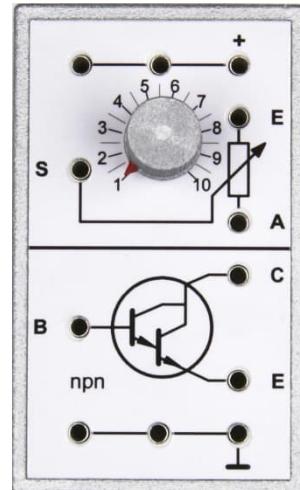


Abb. 309: Nachbau 2: Halbe Leistungsstufe in einem Silberling-kompatiblen Gehäuse

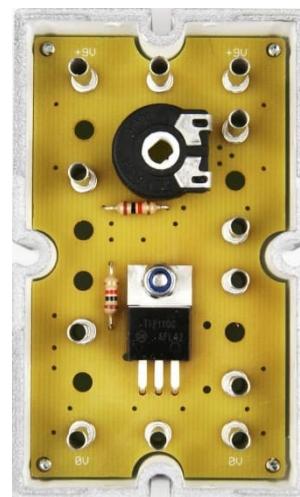


Abb. 310: Nachbau 2: Leistungsstufe in meinem 45×75-Gehäuse

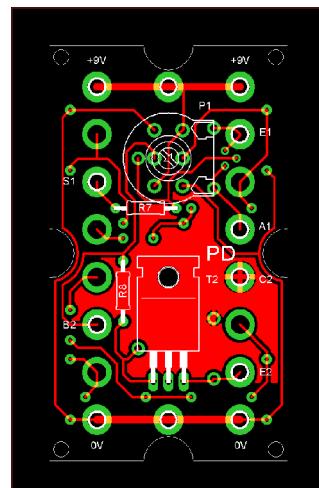


Abb. 311: Nachbau 2: Layout 45×75

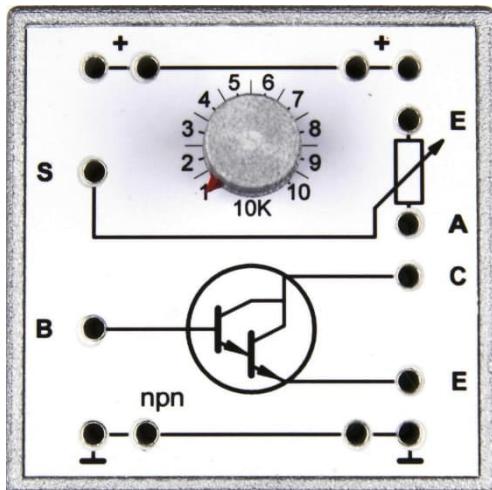


Abb. 312: Nachbau 3: Halbe Leistungsstufe
60×60



Abb. 315: Nachbau 4: Halbe Leistungsstufe
30×60

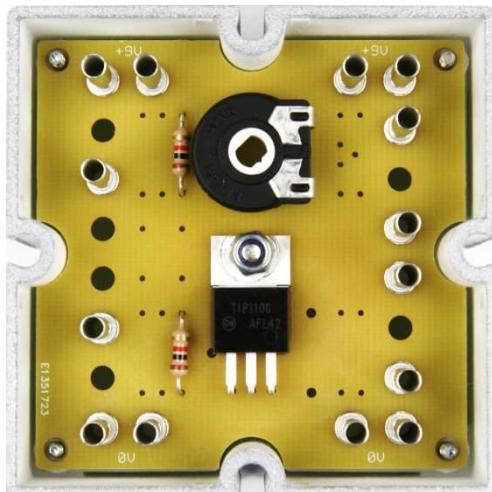


Abb. 313: Nachbau 3: Leistungsstufe in
meinem 60×60-Gehäuse



Abb. 316: Nachbau 4: Leistungsstufe im
Batteriegehäuse ([32263](#))

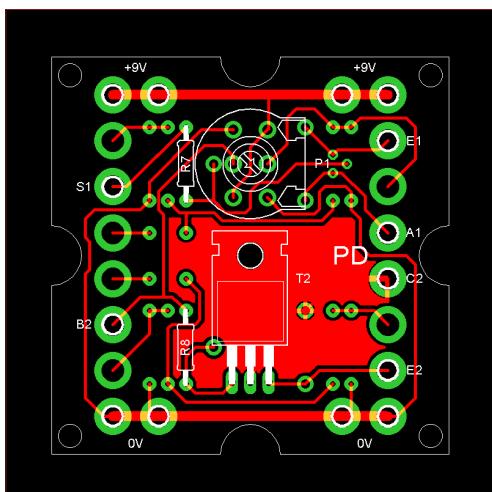


Abb. 314: Nachbau 3: Layout 60×60

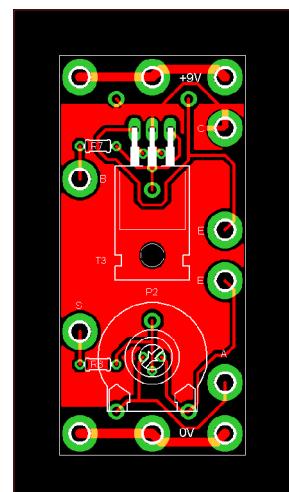


Abb. 317: Nachbau 4: Layout 30×60



Abb. 318: So hätte die Leistungsstufe in einem Silberling-Gehäuse aussehen können.

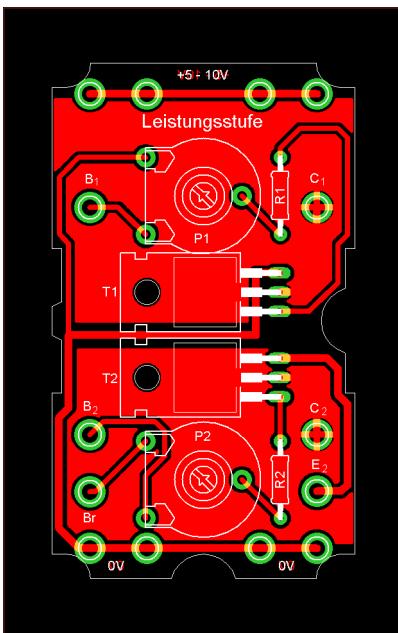


Abb. 319: Leistungsstufe, Layout

Es hat mich erleichtert, dass es mir gelungen ist, dass es mir gelungen ist. Wie man sieht, habe ich auf die doppelten Anschlüsse verzichtet. Dafür war nicht genug Platz. Auch eine Frontplatte habe ich gezeichnet und für das Fotoshooting einfach auf das Experimentierfeld gelegt (Abb. 318 und 321). Allerdings ist die Größe der Zeichen etwas zu klein geraten.

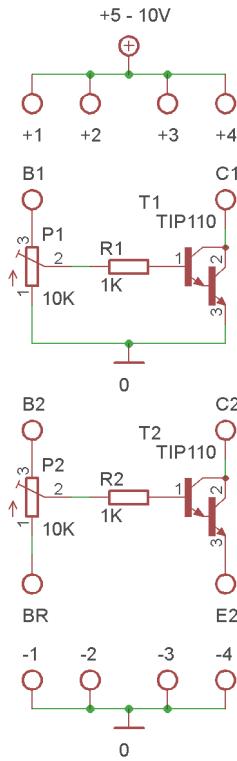


Abb. 320: Leistungsstufe, Schaltbild

Auf Abb. 323 sind die Änderungen gegenüber dem Original (Abb. 305) zu erkennen.



Abb. 321: So hätte der Schwellenwert-Schalter in einem Silberling-Gehäuse aussehen können.

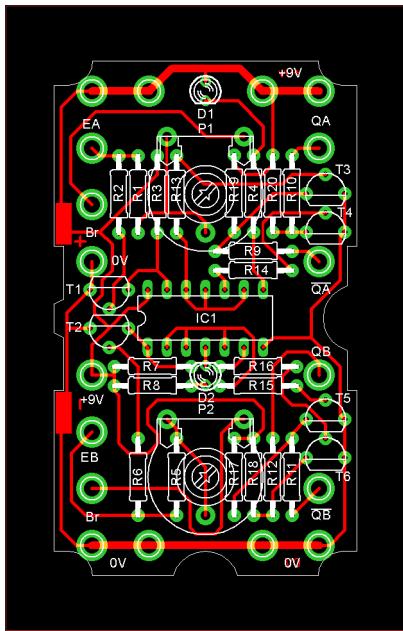


Abb. 322: Schwellwertschalter, Layout

Und schon sind wieder 10 Seiten mit Texten, Bildern und Zeichnungen gefüllt.

Der nächste Beitrag dieser Reihe handelt von den Industriemodulen: Neben den vereinfachten Versionen des Schwellenwertschalters und der Leistungsstufe gibt es auch ein Taktgeber- und ein Zählermodul.

Quellen

- [1] Peter Krijnen: *Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 9)*. [ft:pedia 4/2022](#), S. 74–79.
- [2] Peter Krijnen: *Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 4)*. [ft:pedia 3/2021](#), S. 38–48.
- [3] Peter Krijnen: *Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 2)*. [ft:pedia 2/2021](#), S. 80–89.
- [4] fischertechnik: *Elektronik. Anleitung zum Baukasten*, Fischer-Werke, 1981. Auf docs.fischertechnikclub.nl.

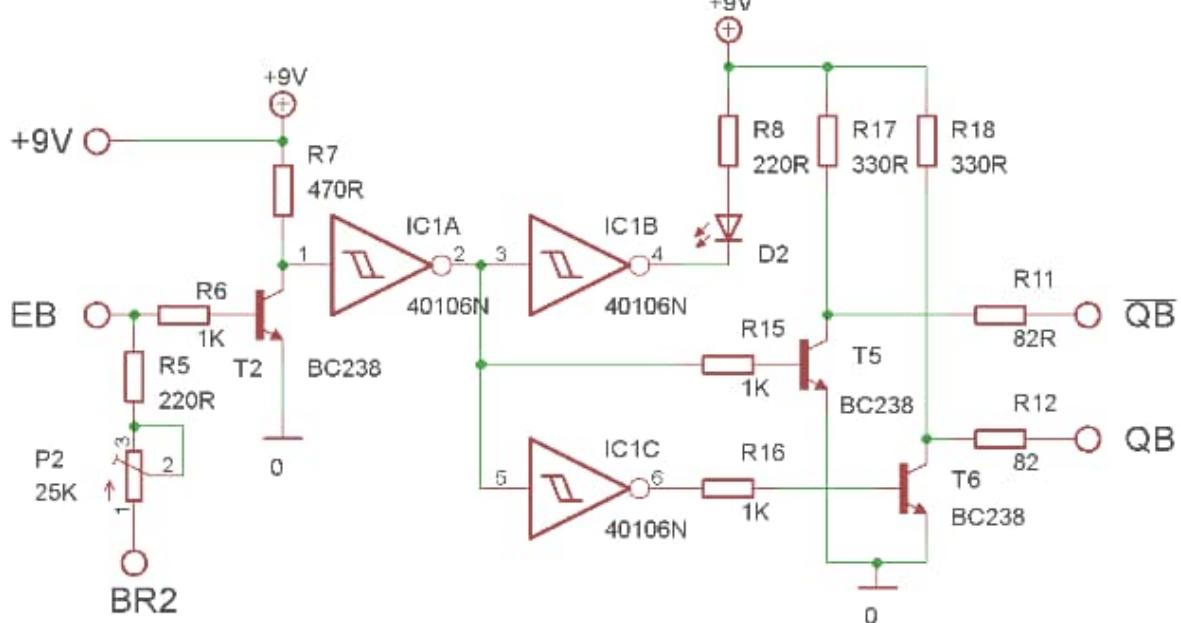


Abb. 323: Schwellenwertschalter, Schaltbild, jetzt mit CD40106 und zusätzlichem Ausgangsstufen.

Computing

V. I. P. – Ein I²C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 4)

René Trapp

Ein Interface fürs Interface.

Nachdem nun alle Schaltungsteile der alten Interfaces genau bekannt sind und die Unterschiede sowie Gemeinsamkeiten offenliegen, kommt sie hier nun endlich: Die Beschreibung des eigentlichen VINTAGE INTERFACE PROJECT. Ein Interface, mit dem ein altes fischertechnik-Computing-Interface an den I²C-Bus angeschlossen werden kann.

Viel ist es nicht, was sich auf dem Schaltplan (Abb. 44) versammelt hat und auf gerade einmal 57 x 33 mm² Platinenfläche passt (Abb. 45). Ein einziger IC beherbergt heutzutage den kompletten Computer und ein paar diskrete Bauteile helfen da, wo die Möglichkeiten des Mikrocontrollers alleine nicht ausreichen. Auf integrierte I²C-Level-Shifter habe ich bewusst verzichtet, um mögliche Beschaffungsprobleme zu umgehen. Außerdem habe ich anstelle von SMD-Bauteilen die altgedienten bedrahteten Bauformen gewählt, um die Lötarbeiten zu erleichtern.

Vor der Schaltungs- und Funktionsbeschreibung seien hier zuerst noch die wichtigsten Eigenschaften von V. I. P. erwähnt:

- arbeitet als I²C-Bus-Slave bis max. 400 kHz Bustakt
- automatische Anpassung an die Busspannung durch Level-Shifter
- I²C-Fast-Modus (400 kHz) ist in bestimmten Fällen bis herunter zu 1,8 V möglich

- keine Störung des Restbusses, wenn die eigene Versorgung abgeschaltet ist
- im I²C-Standard-Modus (100 kHz) wird kein clock-stretching verwendet
- vier verschiedene Slave-Busadressen auswählbar
- automatische Anpassung ans Computing Interface
- Interfaces können im Slave-Betrieb kaskadiert werden

Stromversorgung

Die Stromversorgung ist der wohl allereinfachste Schaltungsteil. Um die im Computing Interface enthaltenen CMOS-Schaltkreise optimal zu bedienen, wird V. I. P. auch aus der dort vorhandenen 5 V-Versorgung gespeist. Die Logikpegel stimmen dann automatisch. Den Strombedarf der Schaltung kann der im Interface verwendete 7805 problemlos bereitstellen.

Lediglich C1 gehört daher zur Stromversorgung des V. I. P. Er schließt die hochfrequenten Stromspitzen aus dem Mikrocontroller kurz. Im Interface ist die 5V-Versorgung an geeigneter Stelle abzuzapfen.

Busanschluss

Der Steckverbinder I²C ist für den Anschluss an einen beliebigen I²C-Master vorgesehen. Die Belegung ist so gewählt, dass eine 1:1 Verbindung zum Anschlussstecker des fischertechnik TX Controllers ([500995](#))

möglich ist. Die Anschlussbelegung hat Dirk Fox in der ft:pedia 3/2012 beschrieben [1]. Für den Anschluss an einen fischertechnik TXT Controller ([153513](#)) ist ein entsprechender Adapter nötig. Die Anschlussbelegung des TXT-Steckers findet sich in der ft:pedia 4/2015 [2]. Allerdings ist die dort angegebene Belegung an Pin 9 nicht ganz im Sinne des Erfinters: Es liegen zwar meist 3,3V an diesem Pin an, der ist aber die Sendeleitung (TxD) der seriellen Konsole und daher ist dieser Anschluss nicht zur direkten Versorgung der Level-Shifter geeignet [64].

Erfreulicherweise stellt der TX Controller seine I/O-Spannung zur Verfügung. Durch ist es möglich, dass sich der Pegelanspanner (= Level-Shifter) für den I²C-Bus automatisch auf die verwendete Busspannung einstellen kann. Auf der Platine des V. I. P. reicht der verfügbare Platz nur für den 6-poligen Stecker passend zum TX. Im Falle des TXT Controllers muss eine eigene 3,3V-Versorgung bereitgestellt werden.

Generell ist darauf zu achten, dass V. I. P. die verwendete Busversorgung zur Verfügung steht. Beide Level-Shifter zusammen belasten die Versorgungsspannung des Busses (VCC) mit etwa 2 mA bei 5V. Bei 3,3V sind es nur noch etwa 1,3 mA. Und bei 1,8V reduziert sich der Strombedarf auf etwa 0,8 mA.

Diskreter Level-Shifter

Beide Leitungen des I²C-Busses (SCL und SDA) haben ihren eigenen Level-Shifter. Die Schaltungen sind baugleich und identisch in ihrer Funktion.

Entgegen der üblicherweise verwendeten MOS-FETs sind hier bipolare Transistoren im Einsatz. Dadurch lässt sich die Schaltungsfunktion auch für VCC bis herunter zu 1,8V bereitstellen.

Bekanntlich werden auf dem I²C-Bus die beiden Leitungen mit Open-Collector- bzw. Open-Drain-Stufen dominant auf „0“ gesteuert. Über Widerstände wird der „1“-Pegel rezessiv erzeugt [1].

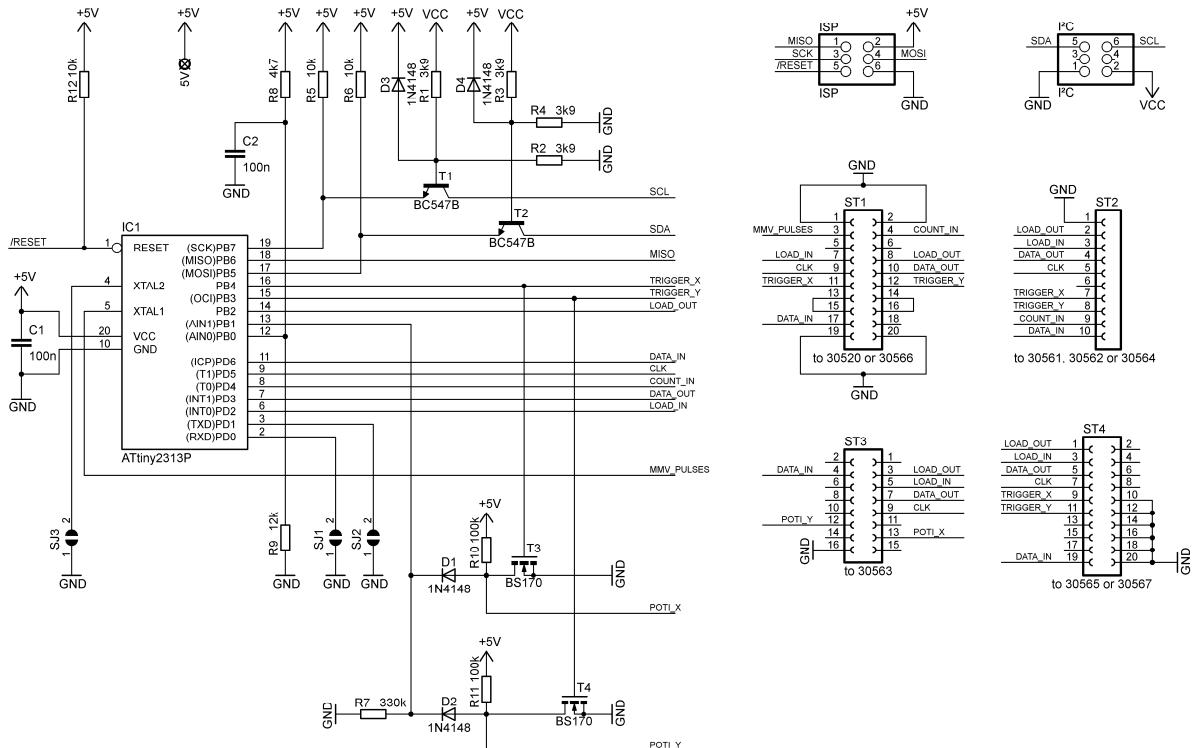


Abb. 44: Schaltplan V. I. P.

Der Level-Shifter für SCL besteht nun aus R1, R2, R5, T1 und D3. R1 und R2 bilden einen Spannungsteiler, der, bei rezessivem Pegel auf beiden Seiten, die Basis des Transistors T1 auf VCC/2 einstellt. R5 zieht den internen SCL-Zweig auf 5V hoch. Daher liegen am Emitter 5V an, an der Basis aber maximal 2,5V. In diesem Zustand fließt kein Basisstrom und der Transistor sperrt. Der externe SCL-Zweig verfügt über seine eigenen Pull-Up-Widerstände und wird von dort auf die verwendete VCC hochgezogen. D3 ist in diesem Zustand strom- und wirkungslos.

Wird der interne SCL-Zweig von IC1 her auf GND gezogen (,0‘), so fließt nun Strom von der Basis zum Emitter von T1. T1 steuert auf und zieht mit seinem Kollektor so auch den externen SCL-Zweig auf ,0‘. Der Summenstrom fließt in den SCL-Anschluss des Mikrocontrollers IC1.

Wird dagegen der externe SCL-Zweig vom Restbus aus auf ,0‘ gezogen, so fließt nun ein Strom von der Basis zum Kollektor von T1. T1 wird auch hierdurch aufgesteuert, allerdings im sogenannten Inversbetrieb [67]. Kollektor und Emitter tauschen ihre Rollen. Die erzielte Stromverstärkung des Transistors ist zwar erheblich geringer, aber das ist für den gewünschten Zweck völlig unerheblich. Wichtig ist nur, dass nun Strom vom Emitter zum Kollektor fließt und das halbe Milliampere über R5 zum externen SCL-Zweig abfließen muss. Der interne SCL-Zweig wird so auch sicher auf ,0‘ gezogen.

Liegt keine VCC vom externen Bussystem an, so ist auch keine Basisvorspannung vorhanden. T1 bleibt immer gesperrt und der interne SCL-Zweig bleibt durch R5 zuverlässig auf ,1‘.

Ist das Interface (also das fischertechnik-Computing-Interface) ausgeschaltet, so wird über D3 die Basis von T1 gegen GND gezogen. Die verbleibende Restspannung

an der Basis ist zu gering, um T1 durchzusteuern, falls Emitter oder Kollektor auf GND gezogen werden. T1 bleibt auch in diesem Fall immer gesperrt und beeinflusst den externen SCL-Zweig nicht. Das Interface ist über den Bus zwar logisch nicht mehr zu erreichen, das ist aber auch alles.

Rein theoretisch ist die Interface-Schaltung durch dieses Verhalten sogar hot-plug-fähig – im laufenden Betrieb kann V. I. P. mit dem I²C-Bus verbunden oder vom I²C-Bus getrennt werden. Eine zugesicherte Eigenschaft ist das aber ausdrücklich nicht.

Der Rest der I²C-Buslogik ist in IC1 und dem darin enthaltenen Programmcode verborgen.

Mikrocontroller

IC1, ein ATtiny2313, ist der Mikrocontroller, in dem sich alles abspielt. Er enthält unter anderem eine rudimentäre Hardware zur Ankopplung an den I²C-Bus (USI), eine Timer-Capture-Einheit zur Erfassung von Impulslängen (T1), einen zweiten Timer, der auch Ereignisse zählen kann (T0), und einen analogen Komparator (AC) [69]. Die vorhandene SPI-Unterstützung (USI) kann nicht genutzt werden, da sie im I²C-Modus arbeitet.

Warteschleife: clock-stretching

Der im V. I. P. verwendete Mikrocontroller ATtiny2313 bietet von Hause aus eine gute Unterstützung für den Anschluss an den I²C-Bus. Das Hardwaremodul ‚USI‘ benötigt allerdings etwas Hilfestellung durch die Software; deswegen gibt es Situationen mit kurzer Verzögerungszeit:

- Adressdekodierung und Reaktion
- Umschaltung zwischen Datenbyte und ACK-Bit
- Transfer vom/zum Interface während Bustransfer

In diesen Situationen wird das sogenannte clock-stretching von der Hardware (USI)

ausgelöst, bis die Software im Mikrocontroller die jeweilige Aktion abgeschlossen hat. Es liegt an der Geschwindigkeit des Busmasters, ob das clock-stretching auf dem Bus sichtbar wird.

Clock-stretching bezeichnet die Möglichkeit, die Leitung SCL für einen Busteilnehmer im Zustand „0“ festzuhalten, bis eigene Aktionen abgeschlossen sind. Dann erst wird SCL freigegeben und der Bus-Master kann weiterarbeiten.

Bei Produkten, die für die Verwendung am I²C-Bus angeboten werden, sollte man eigentlich erwarten, dass der grundlegende Standard [66] eingehalten wird. Bei einem universell verwendbaren Busmaster zählt das clock-stretching (nach Meinung des Autors) ganz ausdrücklich dazu.

Leider ist das bei einigen auf dem Markt erhältlichen Produkten nicht der Fall, sei es durch Fehler bei der Hardwareentwicklung oder durch eine unzureichende Softwareunterstützung. Auch selbstgestrickte I²C-Busmaster aus dem Hobbybereich vergessen das clock-stretching gerne. V. I. P. gehört allerdings zu den Bus-Slaves, die clock-stretching bei 400 kHz benutzen. Bei 100 kHz sind dagegen die Reaktionszeiten von V. I. P. kurz genug, um unauffällig in der vorgesehenen minimalen Low-Zeit von 4,7 µs des SCL zu verschwinden.

Um also jeglichen Ärger mit Busmastern ohne Unterstützung des clock-stretching zu vermeiden, wird dringend empfohlen, diese nur mit einem maximalen Bustakt von 100 kHz, quasi mit angezogener Handbremse, auf V. I. P. loszulassen.

Insbesondere dürfen der Transfer der Adresse mit dem R/W-Byte und das anschließende ACK-Bit in solchen Fällen generell nur mit 100 kHz übertragen werden. Wird V. I. P. nicht adressiert, kann der weitere Datentransfer eventuell mit 400 kHz stattfinden.

Ist der Busmaster hingegen gemäß der I²C bus specification so gebaut, dass er das

clock-stretching unterstützt, darf der Bustakt immer und überall bis zu 400 kHz betragen. V. I. P. bremst an bestimmten Stellen dann durch clock-stretching den Bus um bis zu 4 Mikrosekunden aus. Der TXT Controller aus dem Hause fischertechnik unterstützt das clock-stretching [10]. Beim fischertechnik TX dürfte das auch genauso zuverlässig funktionieren. Gibt es mit 400 kHz Probleme, dann kann die Übertragung immer noch auf 100 kHz (oder sogar darunter) reduziert werden. Außer dem clock-stretching können aber auch ein zu langes Kabel (kapazitive Last) oder eine falsche Terminierung der Leitungen SCL und SDA eine mögliche Ursache für Probleme bei 400 kHz Bustakt sein.

V. I. P. DIY

Ja, die Anglizismen! DIY = Do It Yourself = mach's selber. Das V. I. P. ist kein fertig erhältlicher Bausatz. Es ist, trotz der bedrahteten Bauteile und der Maker-Tauglichkeit, nicht unbedingt ein Anfängerprojekt. Es werden Kenntnisse im Umgang mit dem Lötkolben vorausgesetzt und auch das Grundwissen, in welcher Reihenfolge die Bauteile auf einer Platine sinnvoll bestückt werden.

Für den ATtiny2313 wird ein 20poliger Sockel empfohlen; alle anderen Bauteile werden direkt in die Platine eingelötet. Es gilt der obligate Hinweis bei gepolten Bauteilen (alle Halbleiter), dem IC-Sockel sowie allen Steckverbindern auf die richtige Ausrichtung zu achten. Warum der IC-Sockel die richtige Orientierung („Polung“) braucht? Technisch ist es in der Tat egal wie herum der reinkommt. Nicht nur Profis orientieren sich jedoch an dessen Kerbe, um das IC einzusetzen. Wehe, wenn die Kerbe im Sockel auf der falschen Seite liegt; der ATtiny ist dann beim ersten Einschalten sofort defekt, weil wahrscheinlich verpolt.

Die Steckverbinder zum Interface werden jetzt noch nicht bestückt. Das kommt im nächsten Schritt.

Anschlussmöglichkeiten

Je nach vorhandenem Interface wird die Platine entweder über ST1, ST2, ST3 oder ST4 elektrisch und mechanisch mit dem Interface verbunden. Die Position dieser Steckverbinder im Layout ist genau auf die Interfaces abgestimmt. Die Platine lässt sich so mit minimalem Aufwand im Interface einbauen und befestigen. Gleichzeitig ist automatisch die richtige Verdrahtung ans Interface sichergestellt. Lediglich ein extra Draht ist zur 5V-Versorgung zu legen.

Für den direkten Einbau der V. I. P.-Platine ins Interfacegehäuse ist allerdings das Interface selbst mehr oder weniger umzubauen. Wer das nicht mag, kann die Platine auch per vorhandenem Flachkabel anstelle des ursprünglich vorgesehenen Computers anschließen, sollte sie allerdings zum Schutz dann in ein eigenes Gehäuse setzen. Die 5V-Versorgung muss zusätzlich vom Interface zur Platine geführt werden.

Zu Beginn dieses Kapitels knapp erwähnt habe ich die Idee, das Platinchen des V. I. P. direkt im Interface unterzubringen. Darauf ist die Anordnung und Belegung der Kontakte für ST1 bis ST4 ausgelegt. Bei den älteren Interfaces mit einseitigem Layout ist es recht gut möglich, die Steckverbinder zum Computer auszulöten; das erfordert allerdings eine gute Entlötpumpe und Entlötlitze zusätzlich zum Lötkolben. Für die Interfaces mit doppelseitigem Layout ist eine erheblich speziellere Ausrüstung erforderlich, da die Lötstellen durchkontakte sind. Wenn der Steckverbinder beseitigt ist und die Lötaugen in der Platine wieder schön frei sind, wird anstelle dieses Steckverbinder das V. I. P. mittels langer Stiftleisten im Interface verlötet. Wer es edel mag setzt hier auch trennbare Stift- und Buchsenleisten ein, um das V. I. P. wieder entfernen zu können. Was wo hinkommt liegt im Ermessen des Anwenders. Wichtig ist, dass die Polung korrekt ist und der richtige Stecker des V. I. P. verwendet wird. Die Bestückungsseite des V. I. P.

zeigt in die gleiche Richtung wie die Bestückung des Interface: Nach oben zum Klarsichtdeckel! Zum Abschluss der Aktion wird noch ein Draht vom Vcc-Anschluss des V. I. P. zu den 5V im Interface verlegt. Im Falle eines Acorn-Interfaces 30564 wird der auf dem Interface ebenfalls vorhandene Anschluss CO für Commodore verwendet und wie beim 30562 mit ST2 verbunden.

Wer sein Interface lieber nicht umbauen möchte, muss irgendwie das Originalkabel mit dem V. I. P. verheiraten. Aufgrund der vielen verschiedenen Steckverbinder an den beteiligten Computern kann hier keine allgemeine Empfehlung zur optimalen Vorgehensweise gegeben werden. Exemplarisch sei der Anschluss eines 66843 mit dem originalen Flachkabel erklärt. Beim 66843 (und einigen seiner Kollegen) gehört eine spezielle Adapterplatine an das computerseitige Kabelende, um es vom einheitlichen Interface-Stecker an den des Computers anzupassen – sowohl elektrisch als auch mechanisch. V. I. P. wird anstelle dieser Adapterplatine installiert. Gemäß Stecker am Kabel (es ist eigentlich eine Buchse, genauer eine doppelreihige Wannenbuchse mit 20 Kontakten und 1/10 Zoll Raster) wird am V. I. P. der Steckplatz ST1 verwendet. Und passend zur Steckbuchse am Kabel ist es ein 20poliger Wannenstecker.

ABER ACHTUNG: Der Wannenstecker kommt regulär auf die Bestückungsseite des V. I. P., jedoch um 180° gedreht! Seine Pin-1-Markierung gehört auf die Seite, die im Layout Pin 20 des ST1 entspricht. Das Geheimnis? Nun ja: Im Interface ist am eingelöteten Kabelkontakt eine Nummerierung angegeben. Diese ist in allen Schaltplänen übereinstimmend referenziert, auch beim V. I. P. Das 66843 des Autors hat sein Flachkabel allerdings mit der markierten Ader an Pin 20 verbaut. Es ist davon auszugehen, dass das kein Einzelfall ist. Gemäß Konvention ist das die Pin-1-Markierung des Wannensteckers (bzw. der Wannensteckbuchse).

Entsprechend ist die Wannensteckbuchse auch auf das Kabel aufgepresst und so stimmen die Pin-Nummern der Wanne nicht mehr mit der Nummerierung im Interface überein. Pin 1 des Interface-Anschlusses liegt auf Pin 20 des Wannensteckers, Pin 2 vom Interface auf Pin 19 der Wanne und so weiter. Daher ist der mechanisch codierte Wannenstecker um 180° nach ST1 des V. I. P. zu löten, um diesen Verdreher wieder auszugleichen.

Andere IF als das 66843 sind vom Autor nicht untersucht worden. Im V. I. P.-Schaltplan sind an den Steckverbindern ST1 bis ST4 exakt die Anschlussnummern des zugehörigen Verbinders im Interface-Gehäuse angegeben, da die V. I. P.-Platine anstelle des Kabelsteckers direkt eingelötet werden soll(te). Jedem Interessenten sei daher nahegelegt, sein Kabel und dessen Stecker genauestens auf die korrekte Anschlussfolge hin zu untersuchen. Im Bedarfsfall können Adern auch einzeln richtig sortiert und in die Lötaugen der Steckplätze verlötet werden. Eine Anschlussreihe ist zu diesem Zweck mit entsprechender Beschriftung versehen, siehe Abb. 45.

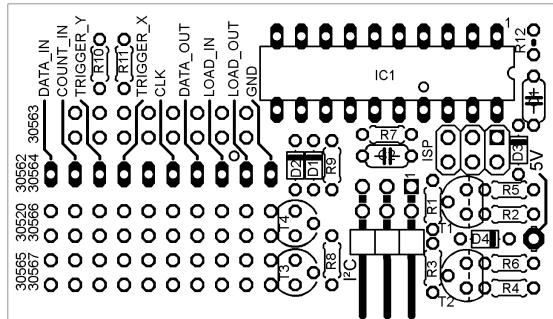


Abb. 45: PCB Bestückungsdruck

Zu den Zeiten, als die alten Interface entwickelt und gefertigt wurden, war RoHS (Restriction of Hazardous Substances) noch mehr als nur ein Fremdwort. Demzufolge sind sie mit dem damals üblichen bleihaltigen Lot verlötet worden.

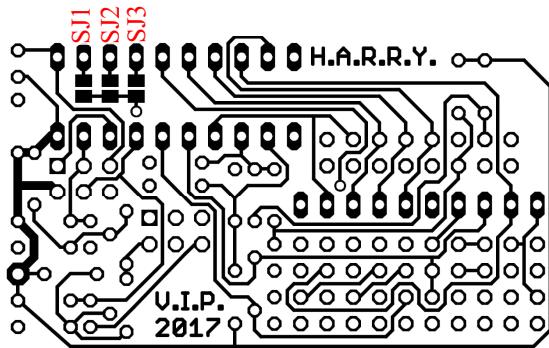


Abb. 46: PCB Lötseite und Lötbrücken

Wer mit einem modernen bleifreien Lot an die alten Lötstellen herangeht, wird wegen der Mischung der Lote kein zufriedenstellendes Ergebnis erhalten. Bei Umbauten oder Reparaturen an den Interfaces ist daher stets bleihaltiges Lot zu verwenden. Empfohlen wird ein gutes Sn60Pb38Cu mit Seele aus hochwertigem Flussmittel. Auch im Jahre 2023 ist bleihaltiges Lot immer noch allgemein erhältlich.

Kommunikation

Wer noch keine Erfahrung mit dem I²C-Bus hat, sollte sich zuerst die Grundlagen anschauen. Dirk Fox hat sie ausführlich in einer älteren ft:pedia beschrieben [1]; auch die I²C bus specification ist einen Besuch wert [66].

Per I²C-Bus wird V. I. P. über eine von vier Basisadressen angesprochen. Die Basisadresse ist per Lötbrücken gemäß Tab. 1 festgelegt. Dadurch lassen sich bis zu vier V. I. P.s gleichzeitig im gleichen I²C-Bussegment ansprechen. Abb. 46 gibt die Position der Lötbrücken auf der Lötseite der Platine preis.

SJ2	SJ1	Basisadresse
Offen	Offen	0x24
Offen	Brücke	0x26
Brücke	Offen	0x3C
Brücke	Brücke	0x3E

Tab. 1: Adressraum V. I. P.

Dabei werden absichtlich die Adressbereiche der beliebten PCF8574 und PCF8574A teilweise mitbenutzt [70].

Die Lötbrücke SJ3 (Abb. 46) ist derzeit ohne Funktion und bleibt immer offen.

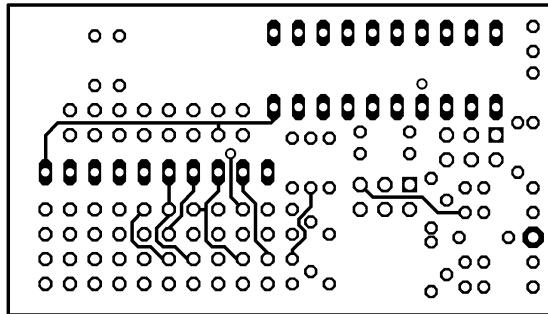


Abb. 47: PCB Bestückungsseite

Je nachdem, welche Unteradresse man per Bus anspricht, werden unterschiedliche Daten übertragen. Eine derartige Unteradresse heißt Register. Tab. 2 zeigt die Adresslagen der beiden Register relativ zur Basisadresse.

Register 0 auf der Basisadresse steht direkt mit den Motorausgängen und den Schaltereingängen in Verbindung.

Analogeingänge und den Interfacetyp kann man über Register 1 auf der Basisadresse+1 abfragen.

Offset	Write	Read
0	M1..M4	E1..E8
1	Command	Result

Tab. 2: Register V. I. P.

Initialisierung

Nach dem Anlegen der Versorgungsspannung ans Interface benötigt zunächst der im Mikrocontroller enthaltene Oszillator etwas Zeit, um anzulaufen und sich zu stabilisieren. Danach startet das Programm und versucht, das angeschlossene Interface zu identifizieren. Zu diesem Zweck wird TRIGGER_X auf „0“ gepulst und die Reaktion vom Interface ausgewertet. Die Kennung IF-Type wird entsprechend gesetzt und die Rücklesewerte für EX und EY werden auf 0 voreingestellt.

Dieser Vorgang benötigt insgesamt bis zu 100 ms. Danach ist V. I. P. betriebsbereit und über den I²C-Bus erreichbar.

Register 0

Jeder Schreibvorgang auf Register 0 schiebt die gerade geschriebenen 8 Bit zu den Motorausgängen. Das passiert im Hintergrund, ohne den I²C-Bus nennenswert aufzuhalten. Abb. 48 zeigt die Zuordnung der I²C-Bits zu den Motorausgängen des Interfaces.

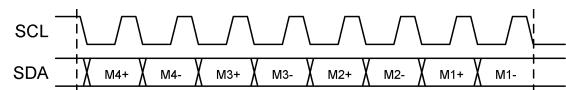


Abb. 48: Motorbyte

Eine Schutzlogik verhindert bei den Interfaces mit den diskreten Endstufen den verbotenen Zustand der Motorausgänge (Tab. 3).

Bus	M-	M+	Motor
00	∞	∞	Aus
01	V+	GND	↻
10	GND	V+	↺
11	∞	∞	Aus

Tab. 3: Schutzlogik für diskrete Endstufen

Dabei wird individuell je Motorenendstufe das verbotene Bitmuster im Byte vom Bus erkannt und entsprechend geändert, bevor es zum Interface übertragen wird.

Handelt es sich um ein Interface mit integrierten Endstufen wird keine Umkodierung vorgenommen (Tab. 4).

Bus	M+	M-	Motor
00	GND	GND	Stop
01	GND	V+	↻
10	V+	GND	↺
11	V+	V+	Stop

Tab. 4: Schaltverhalten integrierte Endstufen

Sind mehrere Interfaces als Slave-Kette verschaltet, wandert das zuerst übertragene Byte in den am weitesten entfernten Slave,

das zeitlich zuletzt übertragene Byte geht in das unmittelbar angeschlossene Interface. Wie viele Slaves in der Kette angeschlossen sind, bestimmt ausschließlich das Steuerprogramm im TX(T). Erst mit einem Bus-Restart- oder Stop-Zyklus wird der LOAD_OUT-Impuls erzeugt und die Motorausgänge schalten gemäß des gerade eingeschobenen Bitmusters um.

Bei den Interfaces 30561, 30562, 30563, 30564, 30565 und 30567 ist regulär nur ein 30563 als Slave möglich. Hier muss die Schutzlogik für die Motorenstufen sinngemäß auf alle Interfaces angewendet werden.

Bei den Interfaces 30520 und 66843 sind als Slave die Interfaces 30520, 66843 sowie 30566 oder 39319 möglich; hier wirkt die Schutzlogik für die Motorenstufen nicht.

Als Problemzone erweisen sich damit 30566 und 39319. Sie werden als 30520 erkannt und bedient. Als Slave kommen aber nur 30563 mit diskreten Endstufen zum Einsatz. In diesem speziellen Fall ist die Schutzlogik für die Motorenstufen an den Slaves nicht wirksam und die Programmierung im TX- oder TXT-Controller muss diesem Umstand Rechnung tragen.

Konnte die automatische Erkennung das unmittelbar angeschlossene Interface nicht identifizieren, werden sicherheitshalber diskrete Motorenstufen angenommen.

Jeder Lesevorgang auf Register 0 holt 8 Bit vom Interface ab. Der LOAD_IN-Impuls wird dabei nur für den ersten Lesevorgang in der Kommandosequenz ausgelöst.

Da – ohne den Bus aufzuhalten – jetzt erst die Schaltereingänge vom Interface abgeholt werden müssen, wird zunächst ein Füllbyte zurückgeliefert.

Zwischen dem Lesekommando, also der Bussequenz mit der Adresse sowie dem R/W-Bit auf ‚Read‘, und dem ersten Byte benötigt der Mikrocontroller rund 20 µs um 8 Schaltereingänge abzulesen. Wegen der

bekannten Probleme mit einigen I²C-Bus-mastern scheidet Clock-Stretching (die Blockade des Busses mit SCL = ,0‘, bis das Byte vom Interface abgeholt wurde und für den I²C-Bus bereitsteht) als nächstliegende Lösung aus [7]. Ersatzweise wird als erstes Byte beim Lesen lediglich ein Füllbyte mit dem festen Wert 0xFF (alle Datenbits sind ,1‘) auf den Bus gesendet. Während dieser Busübertragung kümmert sich der Mikrocontroller des V. I. P. um das Lesen der Schaltereingänge vom Interface. Alle weiteren Bytes werden nach dem gleichen Prinzip im Hintergrund vom Interface abgeholt und verzögern den Bus nicht nennenswert.

Das zweite auf dem Bus übertragene Byte stammt nun vom direkt angeschlossenen Interface; alle weiteren Bytes von den in der Kette dahinter liegenden Slaves. Das zuletzt abgeholt Byte stammt also von dem am weitesten entfernten Slave. Wie viele Slaves in der Kette angeschlossen sind, bestimmt das Steuerprogramm im Busmaster.

In Abb. 49 ist die Zuordnung der Eingänge zu den I²C-Signalen dargestellt.

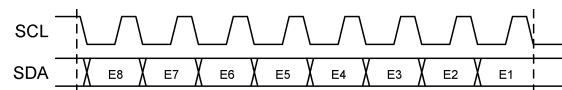


Abb. 49: Schalterbyte

Im Falle der erkannten Interfaces 30565 oder 30567 wird das vom Interface gelesene Bitmuster invertiert, bevor es zum I²C-Bus ausgegeben wird. Ein offener Schaltereingang zeigt so immer eine ,0‘, unabhängig vom angeschlossenen Interface.

Konnte die automatische Erkennung das Interface nicht identifizieren, so wird immer ein nichtinvertiertes DATA_IN angenommen.

Register 1:

Über dieses Register werden Zusatzfunktionen gesteuert. Zunächst ist ein einzelnes

Kommandobyte nach Register 1 zu schreiben. Der Mikrocontroller führt dann die nötigen Aktionen aus und stellt die Antwort an der gleichen Adresse zum Lesen bereit. Tab. 5 listet die derzeit definierten Kommandos auf.

Kommando	Schreiben	Lesen
GET_IF	0xFF	IF-Type
GET_EX	0x80	EX
GET_EY	0x40	EY

Tab. 5: Definierte Kommandobytes

Schreibt der Busmaster mehrere Bytes in einem Zugriff ins Register, wirkt ausschließlich das zuletzt geschriebene Byte als Kommando. Alle vorherigen Bytes werden ignoriert. Nach einem undefinierten Kommando liefert jeder Lesezugriff auf Register 1 den Wert 0.

Nach dem GET-IF-Kommando gibt jeder folgende Lesezugriff auf Register 1 Auskunft über das angeschlossene Interface gemäß Tab. 6.

Wert	IF-Type
0	Interface nicht erkannt
1	30561
2	30562 oder 30564
3	30563
5	30565 oder 30567
6	30566, 39319, 30520 o. 66843

Tab. 6: Interfacekennung

Die nicht genannten Werte werden gegenwärtig nicht benutzt und sind für zukünftige Erweiterungen reserviert.

V. I. P. verabschiedet sich nach einem GET_E...-Kommando für bis zu 50 ms vom Bus. Während dieser Zeit wird die Potistellung über eine Impulsdauermessung oder Impulszählung erfasst. Je niedriger der Widerstand zwischen EX bzw. EY und COM, desto schneller ist die Wandlung

beendet. Für 5 kΩ liegt der Wert um die 3 ms.

Ist die Wandlung beendet, kann mit einem Lesezugriff auf Register 1 das Ergebnis abgeholt werden. Das gelesene Byte enthält die gewünschte Information. Tab. 7 zeigt die möglichen Werte.

Wert	Bedeutung
0	Kein Wandlungsergebnis
12..254	0 kΩ .. 5 kΩ
255	Überlauf (Widerstand zu groß)

Tab. 7: Analogwerte V. I. P.

Der Wert 0 wird nach der Initialisierung zurückgeliefert. Kann aus irgendwelchen Gründen keine Wandlung erfolgen, so wird ebenfalls 0 als Fehlerwert abgelegt. Das ist typischerweise der Fall, wenn die automatische Interface-Erkennung fehlschlägt.

Der Wert 255 (0xFF) wird zurückgeliefert, wenn der an EX oder EY angeschlossene Widerstand zu hochohmig ist.

Dazwischen liegende Werte entsprechen der jeweiligen Potistellung. In der Praxis wird sich der gelesene Wert meist auf den Bereich 18 bis 232 beschränken. Wo die Grenzen genau liegen, hängt von diversen Bauteiltoleranzen ab.

Das Lesen des letzten Ergebnisses kann jederzeit, auch wiederholt, erfolgen. Dabei wird immer das Ergebnis des letzten Kommandos zum Bus geschickt. Nur ein Kommando-Schreibzugriff erzeugt ein neues Ergebnis!

Offen für Änderungen

V. I. P. kann als quelloffene Hard- und Softwareplattform selbstverständlich auch für eigene Experimente und Erweiterungen genutzt werden.

Über den Steckverbinder ISP lässt sich der Mikrocontroller direkt in der Schaltung (um)programmieren. Die Verbindung zum

I²C-Bus ist dafür aus Sicherheitsgründen allerdings zu trennen.

Je nach verwendetem Programmieradapter kann V. I. P. eventuell sogar im Interface verbleiben.

Abschließende Gedanken

Jeder Besitzer eines alten Interfaces findet bereits in den ersten drei Teilen der Reihe [41, 54, 63] alle nötigen Informationen über sein „Schätzchen“ – sei es, um spezielle Eigenschaften besser zu verstehen, oder um eine nötige Reparatur vorzunehmen. Die historischen Bauteile sind, bis auf die Motortreiber TLE4201, auch Anfang 2023 noch alle beim einschlägigen Elektronikfachhandel erhältlich.

Die Möglichkeit, ein Oldtimer-Interface an den I²C-Bus anzuschließen, eröffnet diesem möglicherweise einen neuen Lebensabschnitt, nicht nur als I/O-Erweiterung eines vorhandenen fischertechnik-Controllers.

Ab sofort sind alle Dateien zu V. I. P. (Schaltpläne, Layouts, Software, Dokumentationen, ...) im Netz zu finden [71]. Viel Spaß beim (Nach-) Bauen!

Zum Schluss noch eine Anmerkung in eigener Sache: Manchmal spielt uns das Leben einen Streich und wirft einige Planungen gar heftig über den Haufen. So auch beim Autor, der im Jahre 2018 plötzlich und unerwartet die Arbeiten mit fischertechnik und auch am V. I. P. einstellen musste. Das Thema soll nun aber endlich mit dem erreichten Entwicklungsstand abgeschlossen werden. Aus diesem Grunde gibt es keine Fotos eines fertig aufgebauten Gerätes. Die veröffentlichte Software ist aus dem nämlichen Grunde auch nie vollständig getestet worden. Teifunktionen wurden in anderen Projekten oder auf einem Steckbrett verifiziert; insbesondere die Funktion der eigenwilligen Level-Shifter. Wer denen nicht traut, kann auch gerne seine eigenen Schaltungen verwenden, mit deren eigenen Eigenschaften. Da

das V.I.P. bei github eingestellt ist, können notwendige oder wünschenswerte Änderungen weiterhin vorgenommen werden. Das ist auch einer der Gründe, warum es nicht statisch auf der ftc-Seite abgelegt wurde.

Quellen

- [1] Dirk Fox: *I²C mit TX und Robo Pro – Teil 1: Grundlagen.* [ft:pedia 3/2012](#), S. 32
- [2] Dirk Fox: *I²C mit dem TX(T) – Teil 12: Temperatursensor.* [ft:pedia 4/2015](#), S. 44
- [3] Jens Lemkamp: *Parallel-Interface durch Arduino gesteuert (1).* [ft:pedia 1/2014](#), S. 24
- [4] Dirk Uffmann: *Nutzung des Universal-Interfaces 30520 als Port-Erweiterung an einem Mikrocontroller.* [ft:pedia 2/2014](#), S. 30
- [5] Dirk Uffmann: *Altes FT Universal-Interface (Parallelschnittstelle) gesteuert durch AVR Mikrocontroller.*
- [6] Thomas Kaiser: [C-64 Interface an RoboPro](#).
- [7] Forumsdiskussion: [PC clock stretching am TXT](#).
- [8] Forumsanfrage an fischertechnik: [Unterstützung von i2c clock stretching beim TXT controller?](#)
- [9] Erneute Forumsanfrage an fischertechnik: [Unterstützung von i2c clock stretching beim TXT controller?](#)
- [10] Forumsdiskussion: [TXT und clock-stretching](#).
- [11] J. P. M. Steeman: *Robotik mit dem Homecomputer.* Aachen: Elektor, 1987
- [12] Klaus Merkert: [Zwei Schaltpläne](#).
- [13] Holger Howey: [Kombi-Schaltplan](#).

- [14] Klaus Merkert: [Umbau Apple II-Interface auf PC](#).
- [15] Ulrich Müller: [Übersicht der Interfaces](#).
- [16] fischertechnik-Datenbank: [30561 \(Interface CBM\)](#).
- [17] fischertechnik-Datenbank: [30562 \(Interface Commodore\)](#).
- [18] fischertechnik-Datenbank: [30563 \(Interface Apple\)](#).
- [19] fischertechnik-Datenbank: [30564 \(Interface Acorn\)](#).
- [20] fischertechnik-Datenbank: [30565 \(Interface Schneider\)](#).
- [21] fischertechnik-Datenbank: [30567 \(Interface IBM\)](#).
- [22] fischertechnik-Datenbank: [30566 \(Interface Centronics\)](#).
- [23] fischertechnik-Datenbank: [39319 \(Centronics Schul-Interface CVK\)](#).
- [24] fischertechnik-Datenbank: [66843 \(Universal Schul-Interface CVK\)](#).
- [25] fischertechnik-Datenbank: [30520 \(Interface Universal\)](#).
- [26] Fischertechnikclub Nederland: *Twee robotarmen om je fantasie te prikkelen*. [Clubblad 2/1992](#), S. 6
- [27] Gerhard Bader: *Fischer-Technik und Computer: Programme für Atari ST, Commodore 64/128, Schneider CPC, IBM PC u. Kompatible*. [CHIP-SPECIAL 1987](#), Vogel Verlag, Würzburg, 1987
- [28] CPC Wiki: [Foto eines 30562](#).
- [29] CPC Wiki: [Foto eines 30567](#).
- [30] C. Hehr: [Platine eines 30566](#). fischertechnik community.
- [31] Fischertechnikclub Nederland: [Computing Dozen](#).
- [32] fischertechnik: [CVK-fischertechnik Schul-Interface \(67319\)](#).
- [33] C64 Wiki: [C64 Userport](#).
- [34] A2wiki: [Apple II Game-IO](#).
- [35] Chris Whytehead: [Acorn Pinouts](#).
- [36] Larry Davis: [PC Parallel Port Pin-Out](#).
- [37] CPC Wiki: [CPC Printerport](#).
- [38] fischertechnik-Datenbank: [32680 \(Stecker-Netzgerät 220V:6,8V 1,5A Computing Experimental\)](#).
- [39] alldatasheet: [Datenblatt IN4001 \(NXP\)](#).
- [40] Texas Instruments Incorporated: [Datenblatt 7805](#).
- [41] René Trapp: *V. I. P. – Teil 1*. [ft:pedia 2/2017](#), S. 63
- [42] alldatasheet: [Datenblatt BD135 \(NXP\)](#).
- [43] alldatasheet: [Datenblatt BD136 \(NXP\)](#).
- [44] alldatasheet: [Datenblatt BC547 \(NXP\)](#).
- [45] alldatasheet: [Datenblatt TLE4201 \(Siemens\)](#).
- [46] Stefan Falk: *Motorsteuerungen (Teil 1)*. [ft:pedia 1/2011](#), S. 4
- [47] Dirk Uffmann: *PWM-Motorsteuerung am fischertechnik-Universal-Interface*. [ft:pedia 4/2015](#), S. 30
- [48] wikipedia: [Induktion](#).
- [49] wikipedia: [Freilaufdiode](#).
- [50] alldatasheet: [Datenblatt IN4148 \(Vishay\)](#).
- [51] alldatasheet: [Datenblatt 4011 \(NXP\)](#).
- [52] alldatasheet: [Datenblatt 4081 \(NXP\)](#).
- [53] alldatasheet: [Datenblatt 4094 \(NXP\)](#).
- [54] René Trapp: *V. I. P. – Teil 2*. [ft:pedia 3/2017](#), S. 57

- [55] alldatasheet: [Datenblatt 4014 \(NXP\)](#).
- [56] fischertechnik-Datenbank: [39485 \(Interface Commodore Computer\)](#).
- [57] U. Tietze, C. Schenk: *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1993, 10. Auflage, S. 215
- [58] alldatasheet: [Datenblatt 4050 \(NXP\)](#).
- [59] alldatasheet: [Datenblatt 4071 \(NXP\)](#).
- [60] alldatasheet: [Datenblatt 556 \(ON\)](#).
- [61] H. Camenzind: [Designing Analog Chips](#).
- [62] Wikipedia: [IEEE_1284](#).
- [63] René Trapp: *V. I. P. – Teil 3*. [ft:pedia 4/2017](#), S. 36
- [64] Forumsdiskussion: [I²C-Expander](#).
- [65] Dirk Fox: *I²C mit dem TX(T) – Teil 13: Farbsensor*. [ft:pedia 1/2016](#), S. 79
- [66] NXP Semiconductors: [UM10204 I²C-bus specification and user manual, Rev. 6.](#)
- [67] wikipedia: [Bipolartransistor, Inversbetrieb](#).
- [68] Analog Innovation: [Inverted Transistors \(Hunter\)](#).
- [69] Atmel Corporation: [Datasheet ATtiny2313](#).
- [70] NXP Semiconductors: [Datenblatt PCF8574\(A\)](#).
- [71] [V.I.P.](#) bei Github.com

Computing

Einführung in ftScratch (5): Der Malroboter

Dirk Fox

Scratch ist eine für Einsteiger und Schulen besonders geeignete Programmiersprache. Die Entwicklungsumgebung [ftScratch3](#) unterstützt mit entsprechenden Erweiterungen die fischertechnik-Controller TXT und BT Smart [1]. In dieser Serie führen wir in die Programmierung mit ftScratch ein – mit kleinen Modellen und Aufgaben.

Ein Malroboter

Die Fernsteuerung kleiner Fahrzeuge ist immer faszinierend – und mit ftScratch auch ganz ohne eine IR- oder Bluetooth-Fernsteuerung möglich, sowohl mit dem TXT als auch mit dem BT Smart Controller.

Für den Einsatz im Unterricht soll unser Malroboter aus möglichst wenigen Bauteilen bestehen. Da weder der TXT noch der BT Smart Controller einen Servo-Motor ansteuern können, beschränken wir uns auf einen einfachen, wendigen, dreirädrigen Buggy⁴, den wir um eine Stifthalterung erweitern und auf dem wir den Controller befestigen (Abb. 1).

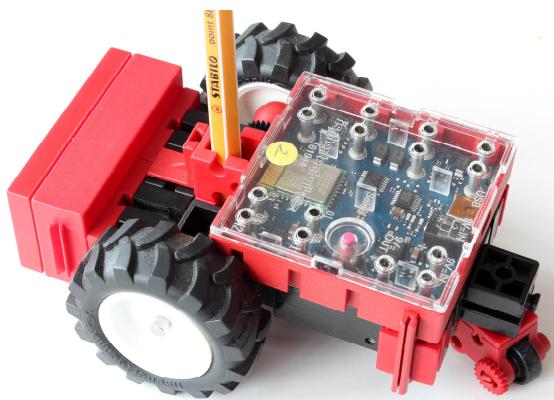


Abb. 1: Malroboter

Unsere Konstruktion des Malroboters lehnt sich an das Modell aus [2] an. Die beiden seitlichen Räder aus je einer Felge 30 ([78727](#)) und einem Traktorreifen 50 ([106767](#)) werden von je einem XS-Motor mit U-Getriebe ([31078](#)) angetrieben; gelenkt wird der Buggy über unterschiedliche Geschwindigkeiten der beiden Motoren.

Das Fahrgestell bilden die beiden XS-Motoren, die vorne und hinten über je drei BS 15 miteinander verbunden werden (Abb. 2).

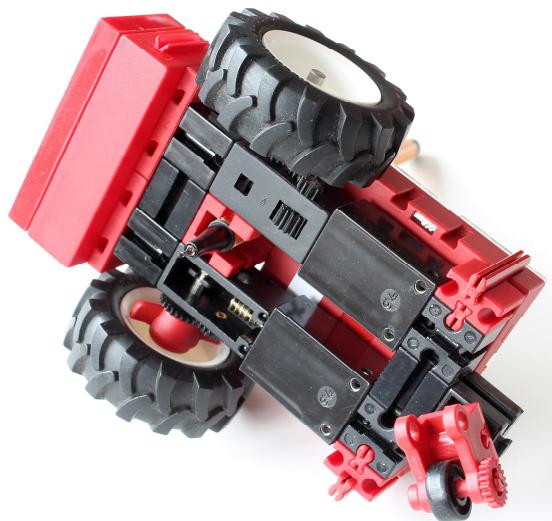


Abb. 2: Ansicht des Malroboters von unten

⁴ In einer Einführung in die Steuerung von fischertechnik-Modellen darf ein Buggy-Modell ohnehin nicht fehlen. Denn historisch zählt der Buggy zu den allerersten Modellen von fischertechnik,

die über ein Interface vom Computer gesteuert wurden. Eine ausführliche Geschichte des Buggy findet sich z. B. in [2, 3].

Der BT Smart Controller wird über zwei seitliche BS 7,5 mit je einem Verbindungsstück 30 ([31061](#)) oberhalb der Motoren aufgesteckt (Abb. 3). Für den Abstand zum Getriebe sorgen die beiden Nuten auf den Motoren und die Zapfen der BS 15.



Abb. 3: Fahrgestell des Malroboters von oben

Das dritte, schwenkbare Rad ist ein Rad 14 ([36573](#)), das mit einer Rastachse 20 ([31690](#)) in einem Rollenbock ([32085](#)) befestigt und mit einer Riegelscheibe ([36334](#)) gesichert wird. Oben auf den Rollenbock kommt eine Aufnahmearmehse ([31124](#)), mit der das Rad in einem BS 15 mit Ansenkung ([32321](#)) drehbar gelagert wird (Abb. 4).

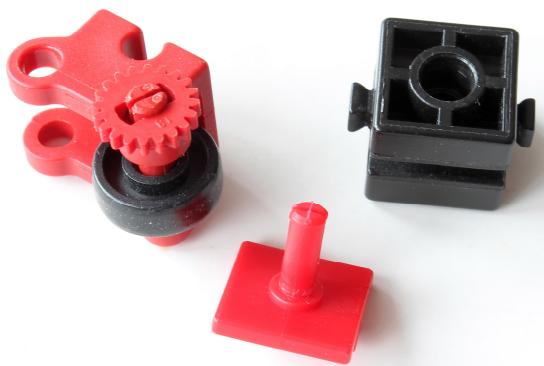


Abb. 4: Schwenkbares drittes Rad

Als Stromversorgung verwenden wir einen Batteriehalter mit einem 9V-Blockakkumulator [4], der über zwei Bauplatten 15·30·5 ([38428](#)) vorne am Fahrgestell befestigt wird (Abb. 5).

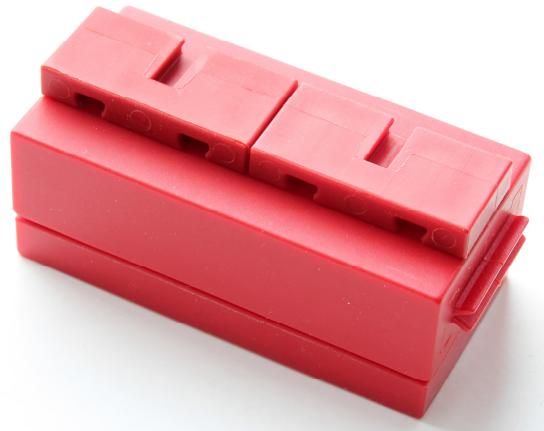


Abb. 5: Batteriehalter

Die Lücke zwischen den beiden Antriebsachsen nutzen wir, um dort einen Stift in zwei Rollenlagern ([37636](#)) einzuklemmen (Abb. 6). Achte darauf, dass der Stift senkrecht und mittig zwischen den Antriebsachsen sitzt.

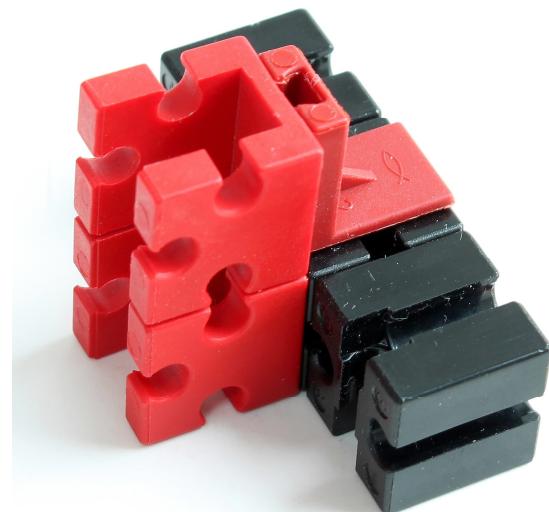


Abb. 6: Stifthalterung

Wird statt des BT Smart Controllers der TXT verwendet, muss dieser wegen seiner Größe auf mehreren BS 15 mit zwei Zapfen plus je einem BS 7,5 montiert werden, damit er die beiden Reifen nicht berührt (Abb. 7). Ansonsten ist der Aufbau des Malroboters identisch. Bei der Befestigung des TXT ist darauf zu achten, dass er nicht über die Stifthalterung ragt.



Abb. 7: Fahrgestell des Buggy mit TXT-Anbau

Im [Downloadbereich der ft:pedia](#) findest du eine fischertechnik-Designer-Datei, mit der der Nachbau des Modells sehr einfach gelingt.

In die Stifthalterung passen zahlreiche Blei- und Filzstifte; besonders gut klemmt ein Fineliner darin. Für die folgenden Aufgaben benötigst du außerdem ein großes Blatt Papier (z. B. einen Bogen Flipchartpapier). Für die ersten Experimente darf das Blatt schon beschriftet sein, oder du verwendest ein großes Blatt Zeitungspapier. Damit der Filzstift nicht auf den Boden oder die Tischoberfläche durchschreibt, solltest du sicherheitshalber mehrere Blätter übereinander legen.

Sensoren und Aktoren

Der Malroboter kommt ganz ohne Sensoren aus. Als Aktoren benötigen wir zwei XS-Motoren, die an den beiden Motorausgängen des Controllers angeschlossen werden: der (in Fahrtrichtung) linke Motor an M1, der rechte an M2.

Aufgaben

Die folgenden Aufgaben können sowohl mit dem TXT als auch mit dem BT Smart Controller gelöst werden.

Aufgabe 1

Programmiere eine Fernsteuerung für den Malroboter. Dabei sollen die Pfeiltasten der Tastatur die Fahrtrichtung vorgeben („vorwärts“, „rückwärts“, „links drehen“, „rechts

drehen“) und die Leertaste die Motoren stoppen. Drehen soll der Malroboter dabei auf der Stelle, sodass der Stift dabei auf derselben Position verharrt.

Jetzt kannst du den Malroboter über die Tastatur erste Bilder malen lassen. Passe erforderlichenfalls die Geschwindigkeit der Motoren an.

Aufgabe 2

Dein Programm wird deutlich übersichtlicher, wenn du die Bewegungen als eigene Blöcke definierst.

Aufgabe 3

Damit der Malroboter Winkel und Linien vorgegebener Länge abfahren kann, musst du die dafür erforderlichen Zeiten kennen. Bestimme dafür jeweils die Zeit, die dein Malroboter für eine Drehung um 90°, um 120° und für eine Geradeausfahrt um 20 cm benötigt.

Schreibe ein kleines Programm, das dir die Dauer einer Bewegung bis zum Stoppen des Malroboters misst und anzeigt.

Tipp: Verwende die Stoppuhr von Scratch.

Aufgabe 4

Lass' den Malroboter nun ein Dreieck und ein Quadrat zeichnen. Definiere dafür jeweils eigene Blöcke.

Tipp: Verwende Variablen für die jeweiligen Zeitangaben.

Aufgabe 5

Lass' den Malroboter das „Haus vom Nikolaus“ in einem Zug malen. Kannst du dafür einen Teil der Lösung aus Aufgabe 4 verwenden?

Tipp: Verwende Blöcke mit Eingabefeldern, um das Programm zu vereinfachen.

Lösungsbeispiele

Die folgenden Lösungsbeispiele wurden für den BT Smart Controller programmiert. Die Anpassung an den TXT gelingt leicht.

Aufgabe 1

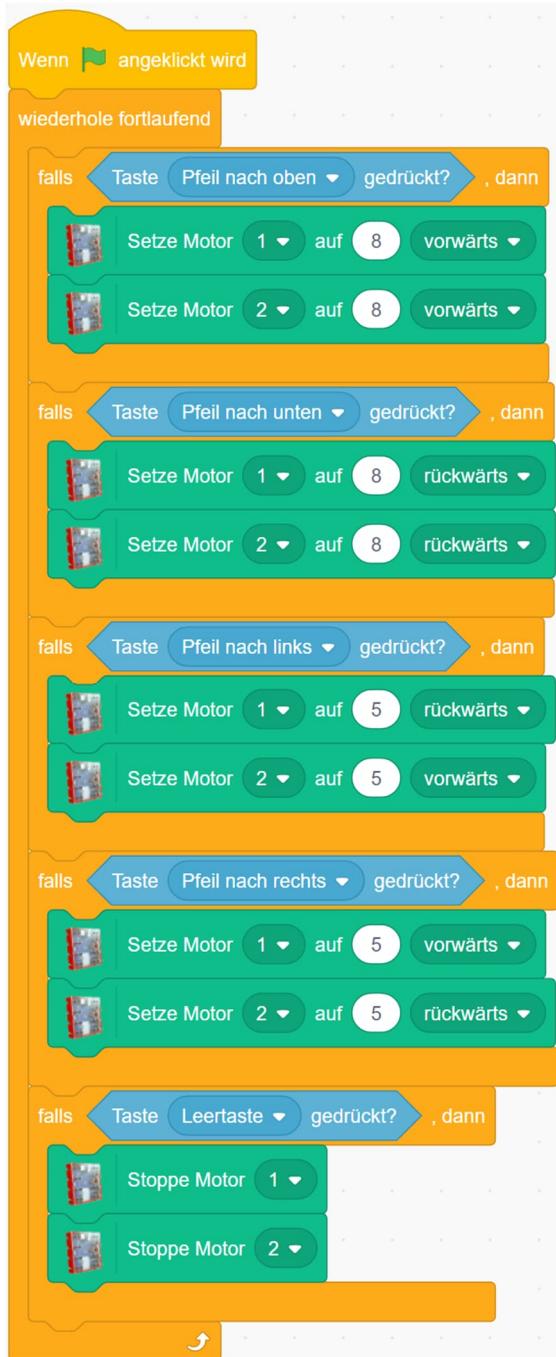


Abb. 8: Fernsteuerung für den Malroboter

Beim Drehen sollte die Geschwindigkeit der Motoren etwas gedrosselt werden, um präziser steuern zu können – die Übertragung der Befehle via Bluetooth benötigt ein wenig Zeit.

Aufgabe 2

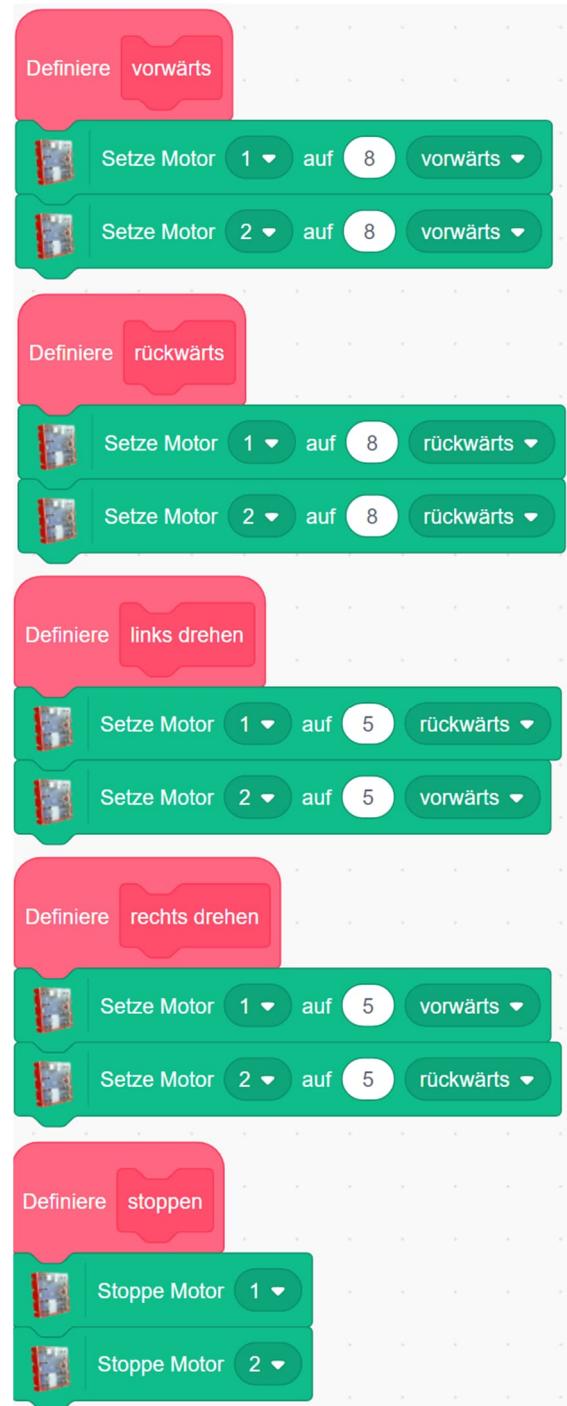


Abb. 9: Bewegungsbefehle für den Malroboter

Die Blöcke „vorwärts“, „rückwärts“, „links drehen“, „rechts drehen“ und „stoppen“ können wie in Abb. 9 gezeigt definiert werden. Das Fernsteuerungs-Programm wird dann sehr übersichtlich (Abb. 10).



Abb. 10: Fernsteuerung für den Malrobooter

Aufgabe 3

Die Fernsteuerung aus Aufgabe 3 kannst du mit wenigen zusätzlichen Befehlen zu einer „Stoppuhr“ machen. Zunächst aktivierst du die Scratch-Stoppuhr mit einem Häkchen, damit ihr Wert auf der Bühne angezeigt wird.

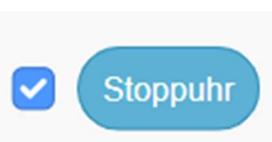


Abb. 11: Aktivieren der Stoppuhr

Anschließend musst du lediglich vor jedem der Bewegungsbefehle in der Fernsteuerung die Stoppuhr neu starten und den Wert der Stoppuhr nach dem „stoppen“-Befehl in eine eigene Variable (im Lösungsbeispiel „Messergebnis“) übernehmen, die du auf der Bühne anzeigen lässt (Abb. 12).



Abb. 12: Auszug des Programms zur Messung der Fahrzeiten

Die Werte werden umso genauer, je länger du den Malrobooter während einer Messung fahren lässt. Lass‘ ihn zum Beispiel zehn Mal um sich selbst drehen und teile den Wert durch 40, um die Zeit für eine 90°-Drehung zu erhalten.

Die Messergebnisse hängen nicht nur von der Motorgeschwindigkeit, sondern auch von deinen Motoren ab und sind daher in der Regel nicht auf einen anderen Malrobooter übertragbar.

Aufgabe 4

Die in Aufgabe 3 gemessenen Zeiten kannst du zu Programmbeginn in Variablen speichern, z. B. „20 cm“, „120°“ und „90°“. Dann lassen sich die Werte leicht anpassen, sollte sich das als erforderlich erweisen.

Die Blöcke für das Dreieck und das Quadrat lassen sich nun durch Schleifen sehr einfach gestalten (Abb. 13).



Abb. 13: Blöcke „Dreieck“ und „Quadrat“

Das Hauptprogramm verwendet dann diese beiden neuen Blockbefehle sowie die Messergebnisse aus Aufgabe 3 und wird dadurch sehr kurz (Abb. 14). Wenn die Formen nicht gelingen, musst du die Zeiten ggf. etwas anpassen.



Abb. 14: Hauptprogramm Dreieck, Quadrat

Aufgabe 5

Es gibt mindestens 88 verschiedene Möglichkeiten, das „Haus vom Nikolaus“ ohne Absetzen des Stifts zu zeichnen.

Die folgende Variante lässt sich sehr einfach umsetzen, da sie bspw. unter Verwendung von zwei Quadraten gezeichnet werden kann und ausschließlich Rechtsdrehungen benötigt.



Abb. 15: Lösung für das „Haus vom Nikolaus“

Die beiden Quadrate haben verschiedene Seitenlängen, daher erweitern wir zunächst den Block „Quadrat“ und den Block „vorwärts“ um den Parameter „Seitenlänge“; der Block „rechts drehen“ bekommt ebenfalls einen Parameter („Winkel“, Abb. 16).



Abb. 16: Blöcke für das „Haus vom Nikolaus“

Jetzt kannst du das Haus in den folgenden Schritten zeichnen (Abb. 17):

- ein Quadrat (bspw. mit einer Seitenlänge von 20 cm)
- eine Drehung um 45°
- eine Geradeausfahrt von $\sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 20 \text{ cm}$
- einem weiteren Quadrat mit der Seitenlänge $\sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 20 \text{ cm}$
- eine Drehung um $3 \cdot 90^\circ$
- einer letzten Geradeausfahrt von $\sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 20 \text{ cm}$.



Abb. 17: Das „Haus vom Nikolaus“

Alternativ kannst du das „Haus vom Nikolaus“ auch aus Dreiecken zusammensetzen. Allerdings sind das rechtwinklige und keine gleichseitigen Dreiecke wie in Aufgabe 4, daher lässt sich der Block „Dreieck“ nicht so elegant wiederverwenden wie der Block „Quadrat“ in der hier vorgeschlagenen Lösung.

Weiterentwicklung des Modells

Die Ergebnisse sind (vor allem bei einer Bluetooth-Verbindung) nicht besonders genau, da die Steuerung der Motoren über die Zeit keine immer gleiche Bewegung garantiert.

In der nächsten Folge der Reihe werden wir zeigen, wie der Buggy mit wenigen Bau teilen um einen „Encoder“ erweitert werden kann. Damit werden etwas präzisere Steue rungen des Roboters möglich.

Referenzen

Die Skripte der Lösungsbeispiele zu den Aufgaben finden sich im [Download-Bereich zu dieser Ausgabe der ft:pedia](#).

- [1] Dirk Fox: *Scratch mit fischertechnik – Update 2022*. [ft:pedia 1/2022](#), S. 86–92.
- [2] Dirk Fox, Thomas Püttmann: [*fischertechnik-Roboter mit Arduino*](#). dpunkt-Verlag, 2020.
- [3] Dirk Uffmann, Roland Enzenhofer: *Wiederbelebung eines fischertechnik-Buggy-Modells von 2002*. [ft:pedia 2/2016](#), S. 73–80.
- [4] Till Harbaum: *9V-Block-Akkus im fischertechnik-Batteriehalter*. [ft:pedia 2/2022](#), S. 61–67.