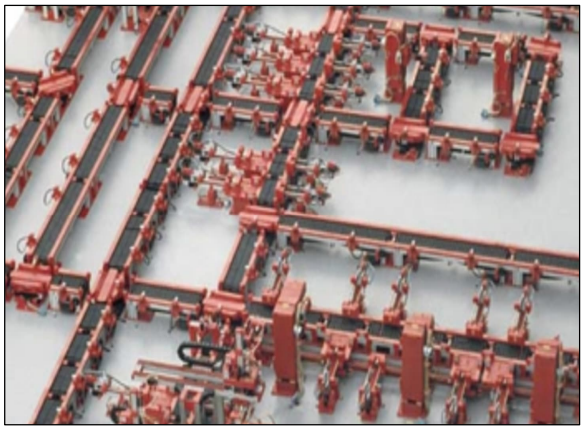
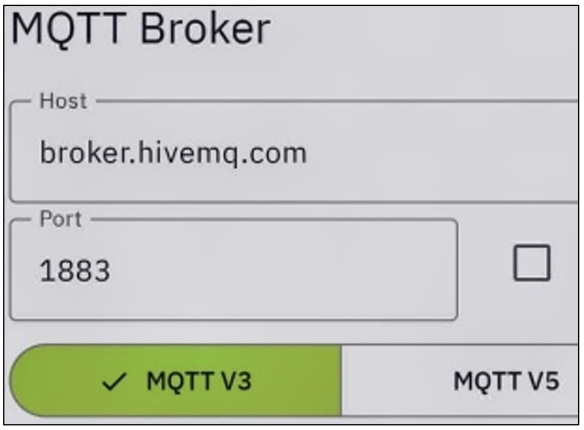
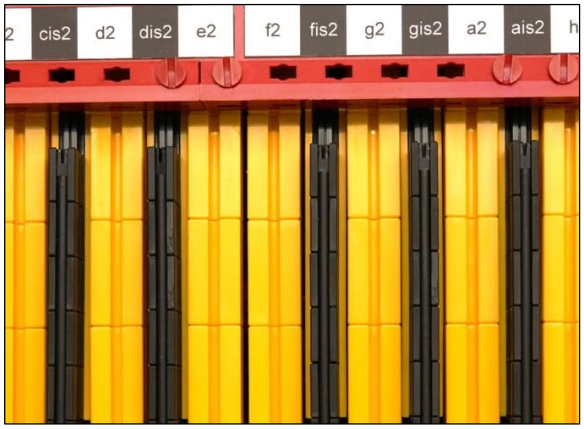
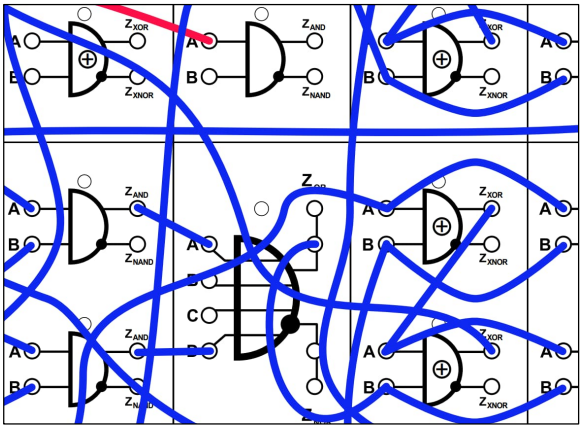
ft:pedia

Heft 3/2025









Herausgegeben von
Dirk Fox und Stefan Falk

ISSN 2192-5879

Editorial

KI für fischertechniker

Dirk Fox, Stefan Falk

KI-Assistenten wie ChatGPT, Gemini oder Claude haben inzwischen Einzug in unser Leben gehalten: Kaum ein Anbieter, der seine IT-Lösungen nicht mit spezialisierten KIs ausstattet, um vom Hype-Kuchen ein Stück abzubekommen. Ob KI-Systeme unser Leben besser, effizienter und glücklicher machen oder in erster Linie nur unfassbare Mengen Energie verbrauchen – darüber kann man trefflich streiten.

Nicht mehr streiten muss man darüber, dass eine intensive Nutzung von KI-Assistenten unser Gehirn „entlastet“ – und uns damit dümmer werden lässt. Am 23.06.2025 veröffentlichte das MIT die Ergebnisse einer Studie, bei der 54 Probanden über vier Monate Aufsätze mit und ohne Hilfsmittel (Google, ChatGPT) verfassten. Wer die Aufgaben ohne Hilfsmittel löste, hatte eine messbar größere Hirnaktivität, konnte die Ergebnisse treffender (Wissensgewinn) und mit kreativerem Sprachgebrauch (Ausdrucksfähigkeit) zusammenfassen und kritischer bewerten (Urteilsvermögen). Und am 18.08.2025 wurde berichtet, dass bei der Nutzung von KIs in der Krebserkennung die Erkennungsrate von Ärzten innerhalb von nur drei Monaten um 20% sank. Das ist wenig überraschend – seit 10 Jahren wissen wir, dass die ständige Nutzung eines Navigationssystems die Entstehung einer „kognitiven Karte“ behindert. Auch unser Gehirn müssen wir trainieren, um dessen Leistungsfähigkeit zu erhalten.

Dennoch: Auch fischertechniker können KIs sinnvoll nutzen – nicht nur, um ihre Bauteilsammlung zu sortieren oder um sich einen ebenbürtigen Gegner für die Carrera-bahn zu erschaffen. Allerdings darf man einen KI-Chatbot nicht mit einer Wissensdatenbank verwechseln – denn das ist er nicht: Wie ein Blender mit Halbwissen überdeckt ein Chatbot seine Wissenslücken mit plausiblen Phantasien.

Behandelt man den Chatbot hingegen wie einen sehr belesenen Gesprächspartner (so viel wie ein LLM kann kein Mensch in seinem Leben lesen – noch dazu ohne etwas zu vergessen), wird er schnell zum Konstruktionsgehilfen: „Ich möchte gerne einen Fensterreinigungsroboter aus fischertechnik bauen. Was sollte ich dabei beachten?“ Oder: „Ich möchte ein großes Kranmodell mit fischertechnik konstruieren. Welche Konstruktionsvarianten gibt es dafür?“

Zugegeben: Auch gegen diese Nutzung lässt sich einwenden, dass man mehr und nachhaltiger lernt, wenn man selbst experimentiert und recherchiert, wenn man auf Probleme stößt und diese ohne Hilfe löst. Doch die konstruktiven Herausforderungen wird auch ein Chatbot nicht beseitigen. Dafür dürfte schon der erste Versuch der Modellkonstruktion auf einem höheren Niveau starten, als ohne die Hinweise des belesenen KI-Assistenten.

Aber jetzt erstmal 'ran an die Kästen – mit oder ohne LLM: Der Herbst ist da, mit langen Abenden für fantastische fischertechnik-Konstruktionen.

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

KI für fischertechniker 2
Auslegerkran.....4
Aufzugssteuerung mit Silberlingen.....11
Es quietscht und pfeift: Wie man eine Orgel baut.....21
XOR – Der Silberling, der nie existierte.....32
Wiederherstellung eines „Plan & Simulation“-Fließbandmodells 44
fischertechnik-Modelle über die Oxocard fernsteuern.....54

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Clubtag De Bilt	18.10.2025	Kultur- und Begegnungszentrum HF Witte

Impressum

http://www.ftpedia.de

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

Autoren: Daniel Canonica, Axel Chobe, Arnoud van Delden, Matthias Dettmer, Stefan Falk, Dirk Fox, Peter Krijnen, Jeroen Regtien.

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

Auslegerkran

Daniel Canonica

Auslegerkrane gehören zu den größten und schwersten Kranen überhaupt. Das motiviert, sie im Modell zu konstruieren und zu erproben.

Hintergrund

Krane mit sogenannten Derrickauslegern sind entweder fest installiert oder bewegen sich auf breiten Raupen, zum Beispiel in einem großen Bergwerk oder auf einer Großbaustelle. Mit großen Ballastgewichten können sie viele hundert Tonnen (und mehr) heben und in mehreren Achsen bewegen. Dies ist ein großes Experimentierfeld für den Modellbau.

Das Kranmodell

Abb. 1: Gesamtansicht des Krans

Die wesentliche Herausforderung beim Entwurf ist, bei einer erheblichen Größe eine stabile Konstruktion und gute Verteilung der auftretenden Kräfte zu gewährleisten [1].

Als erstes schauen wir uns den Kranarm (Mast) an, welcher die Last trägt (Abb. 2).

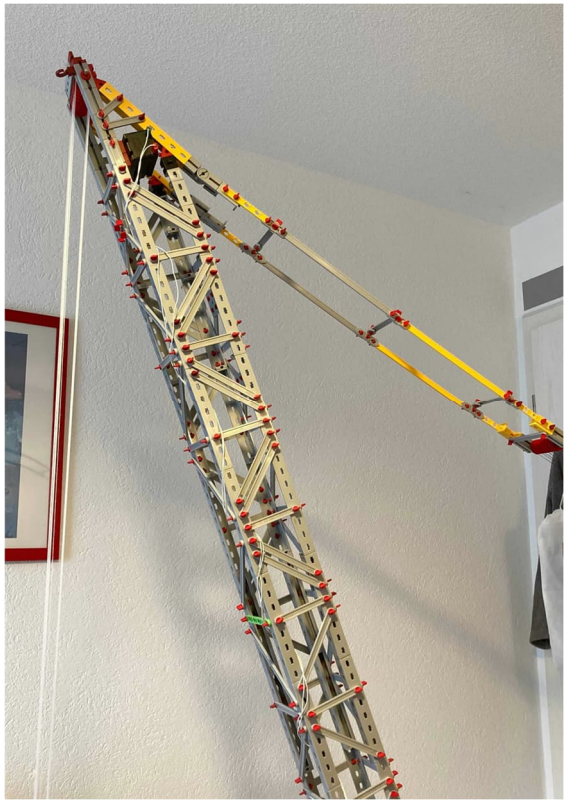


Abb. 2: Lastarm

Der Kran ist aktuell so groß wie ich selbst, der Mast etwa 1,7 m lang. Er ist mit einer langen Metallstange mit dem Unterbau verbunden (Abb. 3).

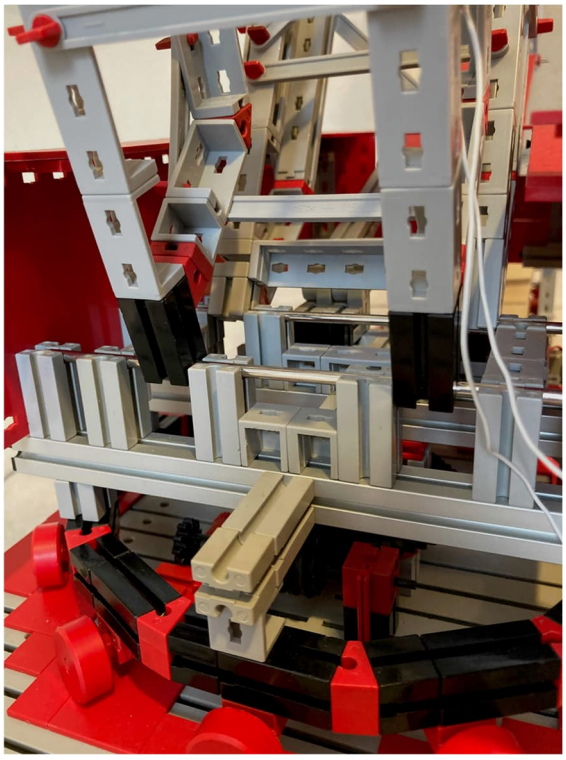


Abb. 3: Die Lagerung des Lastarms

Das Lager wiederum ist stabil auf einem fischertechnik-Alubaustein fixiert, vor allem um seitliche Schwingungen zu vermeiden.

Der Kranarm ist, wie in Abb. 2 ersichtlich, über eine verstellbare Abspannung mit dem sogenannten Ausleger verbunden, der den Ballast trägt.

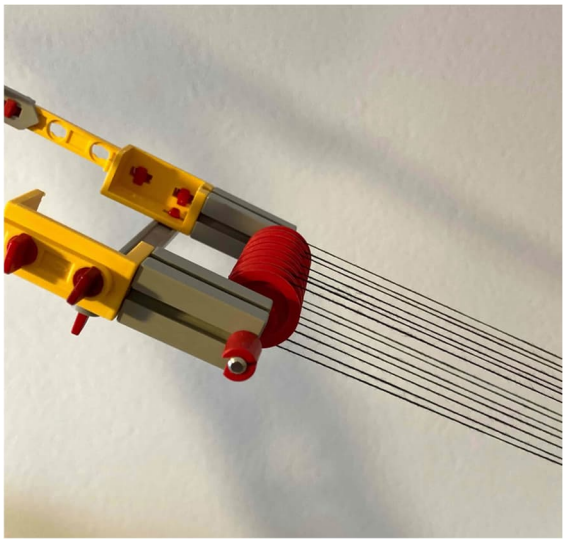


Abb. 4: Flaschenzug zur Neigung des Krans

Abb. 4 zeigt den Flaschenzug zwischen dem Lastarm und dem Derrickausleger. Damit wird die Neigung des ganzen Krans gesteuert. Erstaunlicherweise genügt ein kleiner und relativ schwacher Motor, um den Kranarm zu heben und zu senken (Abb. 5).

Abb. 5: Antrieb des Flaschenzugs

Ich probierte jeweils verschiedene Größen des Flaschenzugs aus; sieben Rollen genügen gut, um den Kranarm auch unter Last wieder anzuheben. Bei mehr als neun Rollen passierte es manchmal, dass der Faden sich verhedderte.

Das Heben der Last

Nun schauen wir uns noch genauer an, wie die Last vom Kran gehoben wird. Aktuell verwende ich ein 1,5 kg schweres Gewicht. Dabei stellte sich mir die Frage, wo das Maximum liegt.

Bei früheren Modellen konnte ich problemlos bis zu 3 oder 4 kg heben. Bei höheren

Gewichten muss nach meiner Erfahrung die ganze Konstruktion z. B. mit Aluteilen wesentlich verstärkt werden, und man braucht natürlich auch stärkere Motoren.

Wie Abb. 6 zeigt, ist der Motor für den Hub direkt oben am Kranmast befestigt.

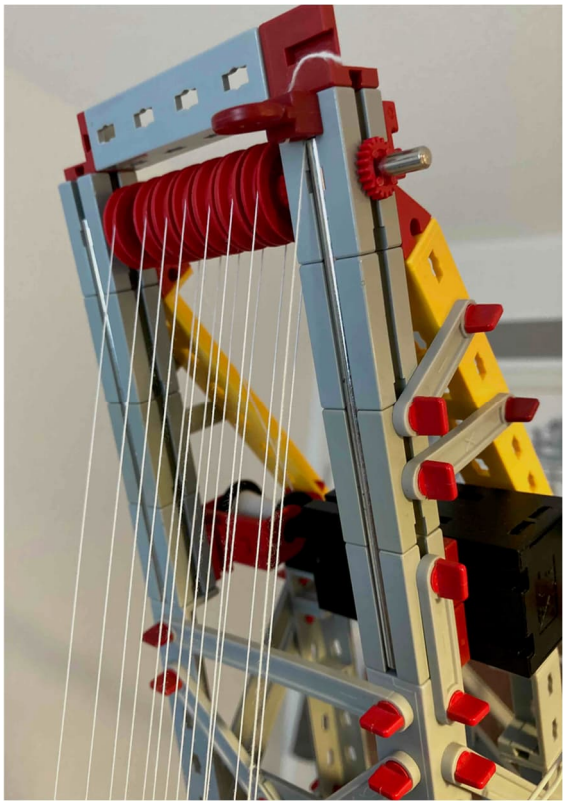


Abb. 6: Hubmotor

Auch hier verwende ich einen Flaschenzug mit sieben Rollen. Abb. 7 zeigt den unteren Teil mit der Aufhängung für die Last.

Der Flaschenzug zieht in diesem Fall tatsächlich eine Flasche. Man könnte die verschiedensten Arten von Gewichten heben und transportieren, aber mit einer oder zwei Wasserflaschen weiß ich genau, wie schwer das Gewicht ist, und die Aufhängung der Flasche ist rasch zusammengebaut (vgl. Abb. 8).

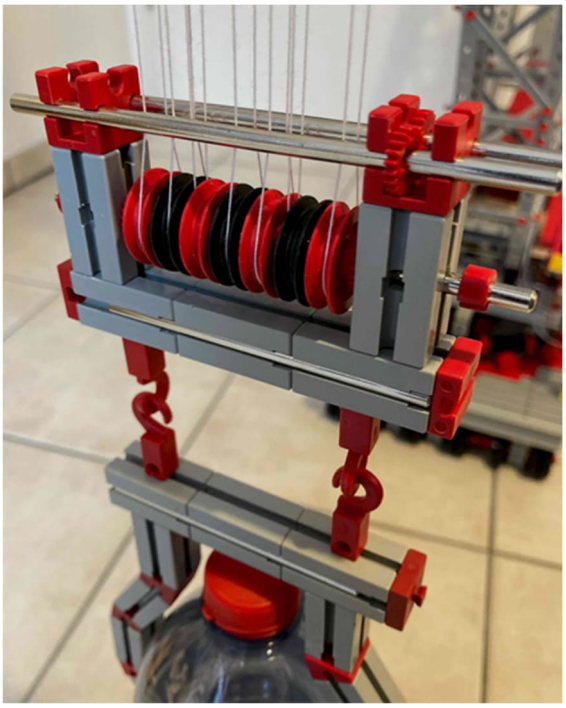


Abb. 7: Befestigung der Last

Abb. 8: Das Gewicht (1.5 kg)

Für den Hin- oder Wegtransport der Last steht natürlich ein leistungsstarker LKW zur Verfügung; man störe sich nicht an der

erst angedeuteten Motorisierung. Im Endausbau sind alle drei Hinterachsen angetrieben (Abb. 9).

Abb. 9: LKW mit Last

Abb. 10: Der Ballast

Der Ballast

Für das Kräftegleichgewicht des ganzen Krans wird ein großes Ballastgewicht mit einem genügenden Abstand zum Schwerpunkt des Krans benötigt (Abb. 10). Aktuell besteht der Ballast aus einigen Büchern; das Gewicht samt Aufhängung ist ungefähr 1 kg schwer. Unten sind Rollen angebracht, um die Drehung des ganzen Krans zu erleichtern.

Der Drehkranz

Anfänglich war der ganze Kran fix auf einer großen Grundplatte montiert. Die nächste Herausforderung war nun, ihn drehbar zu machen. Obwohl das ganze Modell mit Last und Ballast inzwischen wohl mehr als 15 kg wiegt, gelingt die Drehung, wenn die Gewichtsverteilung ausgewogen (in Balance) ist. Dazu wird zuerst der Kranarm langsam nach vorne geneigt und die Last wenige Zentimeter über dem Boden gehalten. An einem bestimmten Punkt beginnt sich der Ballast leicht anzuheben. Nun ist das Kräftegleichgewicht gemäß dem Hebelgesetz erreicht.

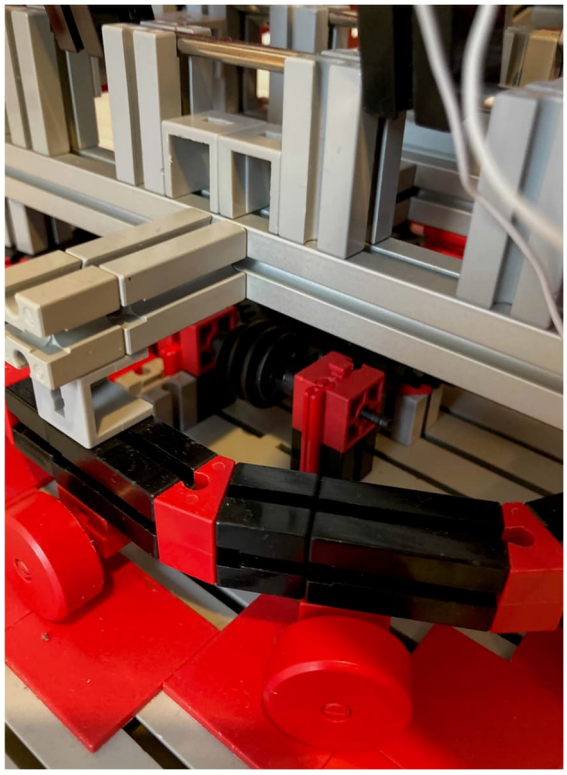


Abb. 11: Drehkranz von vorne

Auch beim Drehkranz genügt ein kleiner Motor mit großer Untersetzung. Letztere ist mit einem zweifachen Schneckengetriebe

realisiert. Die Abb. 11 und 12 zeigen den Drehkranz von vorne und von oben.

Abb. 12: Drehkranz von oben

Die folgende Abb. 13 zeigt den gesamten Unterbau.

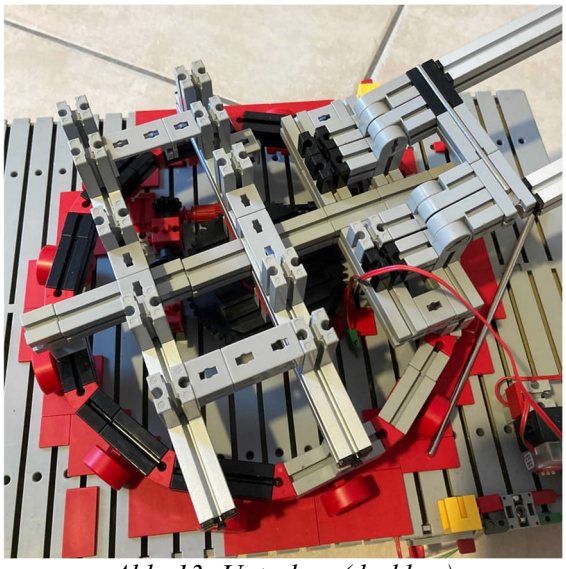


Abb. 13: Unterbau (drehbar)

Man sieht deutlich die Lager des Kranarms und des Auslegers, welche stabil auf den zwei Alus montiert sind. Wichtig ist eine möglichst gute Fixierung in beiden horizontalen Dimensionen, um seitliche Kräfte oder Neigungskräfte des ganzen Krans aufzufangen. Bei früheren Modellen haben seitliche Schwingungen der Last manchmal verheerende Folgen gehabt...

Rechts sieht man die höhenverstellbare Befestigung des Ballasts. Auch hier habe ich Alus verwendet, allerdings wirken nur geringe Kräfte in der Horizontalen.

Schließlich sehen wir in Abb. 14 den Antrieb des Drehkranzes bei weitgehend demontiertem Kran.

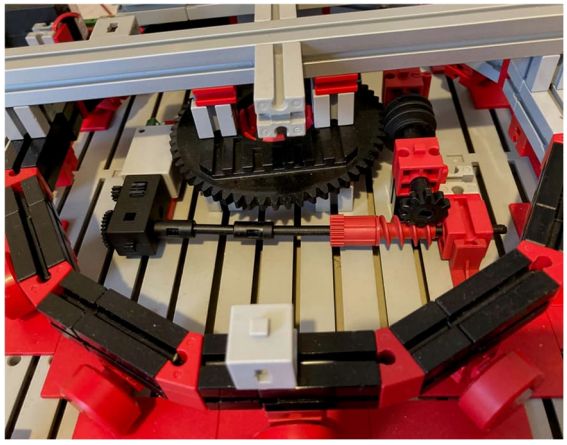


Abb. 14 Antrieb des Drehkranzes

Wie erwähnt treibt ein sehr alter kleiner „Mini-Mot“ den Drehkranz an. Dieser ist ursprünglich für ca. 6,5 Volt ausgelegt und entwickelt bei 9 Volt beachtliche Kräfte. Man sieht, dass der Platz für den Antrieb seitlich begrenzt ist. In der Höhe hat man ungefähr 50 mm zwischen Grundplatte und den Alus zur Verfügung. Bei einem neuen Entwurf würde ich einen größeren Motor verwenden, der auch ruhiger läuft.

Die folgenden Abbildungen geben einige Eindrücke vom ganzen Modell.

Referenzen

[1] Daniel Canonica: *Kran mit Derrickausleger*. ft:pedia 2/2019, S. 21–25.

Abb. 15: Der Kran von vorne

Abb. 16: Der Kranführer hat eine Leiter und ein Geländer

Modell

Aufzugssteuerung mit Silberlingen

Matthias Dettmer

Wenn einen das Zeitreise-Fieber erstmal gepackt hat, dann ist eine schnelle Genesung schwierig. Diesmal soll es zurück zum Anfang der 1970er Jahre gehen. Um das Jahr 1974 herum waren Modelle eines drei- oder viergeschossigen Aufzugs in den Fan-Club News und in Prospekten zu sehen – diese nachzubauen war für viele aber damals nicht erreichbar.

Ab Anfang der 1970er Jahre brachte fischertechnik eine Reihe von Elektronik-Bausteinen heraus – zuerst einen Differenzverstärker als Grundbaustein, Gleichrichter, Relais und einen Kondensator als Mikrofon und Tongeber im Baukasten *hobby 4*, kurz danach Flip-Flop, Mono-Flop, „Dynamisch Und“ sowie die AND-NAND und OR-NOR Bausteine. Mit den vielen möglichen Kombinationen dieser auch „Silberlinge“ genannten Bausteine konnte man deutlich mehr und komplexere Modelle erstellen als mit dem Ende der 1960er Jahre erschienenen „Schaltstab“.

War schon der hobby 4 finanziell eine echte Herausforderung für Eltern, Großeltern und das eigene Taschengeld, so waren die übrigen Silberlinge immer in noch weiter Ferne. Gegen 1978 besaß ich einen Gleichrichter-Baustein, zwei Grundbausteine, ein Mono-Flop, ein Flip-Flop und vier Relais. Aus den Anleitungsheften zum hobby 4 habe ich so interessante Modelle wie Ampelsteuerungen, eine Nachlauf-Regelung und Schrittsteuerungen nachgebaut.

Das gut dokumentierte Huhn aus einem Fan-Club Heft konnte ich wegen eines fehlenden zweiten Mono-Flop schon nicht mehr aufbauen. Ebay gab es damals noch nicht, die Silberlinge verschwanden so langsam aus den Läden, und das Budget war immer noch knapp.

In der ft-community wurde Anfang der 2020er Jahre diskutiert, wer überhaupt noch etwas mit den Silberlingen macht und warum. Gelebte Nostalgie bleibt aus meiner Sicht die einzig schlüssige Begründung. In den zwei Dekaden von den 1970er und den 1980er Jahren haben mir die Relais, der Grundbaustein und das Mono-Flop immer mal wieder gute Dienste in verschiedenen Modellen geleistet. Ja, mein Grundverständnis von logischen Schaltungen habe ich mir auch mit meinen Silberlingen erarbeitet.

Mittlerweile gibt es sehr gut funktionierende, auch mehr oder weniger ähnlich aussehende Nachbauten [1, 2]. Mit ein bisschen Glück konnte ich im vergangenen Jahr „ausreichend“ Flip-Flop-Bausteine und auch einige AND-NAND, OR-NOR und Dynamisch-UND Bausteine erstehen. Das Sonderheft von Dirk Uffmann gab dann den Ausschlag: Der Aufzug soll mit den Original-Silberlingen nachgebaut und auch betrieben werden – wenn es irgend geht auch mit vier Stockwerken. Das Sonderheft [3] konnte ich bei einem Community-Kameraden ausleihen.

Überlegungen zur Umsetzung

Mechanik

Ein einfacher Nachbau des 1973er Aufzugs mit den grauen Bausteinen erschien mir als „zu wackelig“. Statt an zwei Schienen sollte

mein Korb an vier Schienen fahren. Ein Verkanten des Fahrkorbes sollte mit zwei Zugketten statt nur mit einer verhindert werden. Dafür habe ich für das Ausgleichsgewicht nur eine Schiene spendiert. Das ganze Gebilde soll auf Fan-Club-Tagen, Conventions oder anderen Ausstellungen gezeigt werden. Wer häufiger mal etwas größere Modelle transportiert, auf- und wieder abbaut, kann verstehen warum ich „etwas Massives“ haben wollte.

Verdrahtung

Auf der Rückseite von Dirk Uffmanns Sonderband kann man sowohl an und über den Silberlingen als auch in jedem Stockwerk des Aufzuges einen ziemlichen „Drahtverhau“ erkennen. Dirk gibt auch an, dass er teilweise „Kettenkabel“ empfiehlt, um Stecker zu sparen. Dazu kommen zwei abisolierte Kabelenden in nur einem Stecker zusammen, und das teilweise über mehrere Stecker hinweg. Der Tipp ist praktisch gedacht, ich habe in der Vergangenheit aber häufig schlechte Erfahrungen damit gemacht.

Um es ein wenig zu verdeutlichen: Die Anzeigelämpchen für die Stockwerke sind für jedes Stockwerk (jeweils vier Stück) in Reihe geschaltet, laufen dann jeweils zu dem „Positionstaster“ und zum Rücksetzeingang des jeweiligen Flipflops. Das ist schon beim Aufbau eine ziemliche Fummelei, für eine Fehlersuche erst recht.

Also wollte ich sowohl für die Stockwerksanzeige als auch für die Richtungsanzeige eine Art von „modularer“ Verkabelung umsetzen – fast schon wie ein Bussystem.

Erweiterbarkeit

Die Verkabelung zwischen Aufzug auf der einen Seite und der Steuerung auf der anderen Seite wollte ich über möglichst wenige Steckverbindungen umsetzen, um die Steuerung und das Fahrstuhlmodell getrennt transportieren zu können. Auch der spätere Test und die Inbetriebnahme sollten damit erheblich vereinfacht werden.

An der Steuerlogik für den Aufzug ist es schon bewundernswert, wie mit nur elf Elektronik-Bausteinen (und natürlich einem Gleichrichter) eine komplette und gut funktionierende, „analoge“ Steuerung gelingt. Für ein viertes Stockwerk werden nur drei weitere Bausteine verwendet, und gleichzeitig eine Priorisierung der Fahrtrichtung umgesetzt. Insgesamt soll das Modell in einer späteren Aus- bzw. Umbauphase mal komplett mit einer SPS angesteuert werden.

Handbetrieb

Aus meiner Zeit als Prüfstandsbauer erinnere ich, dass meine Kunden für jedwede Steuerung beinahe immer einen „Handbetrieb“ angefordert hatten. So etwas hilft bei der Suche nach Fehlern in einem komplexen System.

Dieser einfache Handbetrieb soll zuschaltbar sein – entweder soll die automatische Steuerung den Motor steuern oder die Ansteuerung geschieht über zwei Taster hinauf oder hinunter.

Zudem sollen direkt wirkende Endlagentaster den Motor an den Endpunkten „Korb oben“ und „Korb unten“ direkt abschalten. Diese Standardschaltung führt dazu, dass der Korb nach Betätigung eines dieser Endlagentaster nur in die sinnvolle Richtung gefahren werden kann: aufwärts bei „Korb unten“ und abwärts bei „Korb oben“.

Türsicherung

Die bei Dirk Uffmann beschriebenen und sicher ebenso gut wie die übrige Steuerung funktionierenden Schiebetüren habe ich meinem Modell und mir erspart. Hintergrund hierfür war, dass ich zunächst keine „mitfahrende Elektronik“ mit der dazugehörigen Verkabelung des Korbes umsetzen wollte. Die im Sonderheft beschriebene Umsetzung braucht das zwar nicht, so etwas ist aber mechanisch und elektronisch ein nicht unerheblicher Aufwand. Aus diesem Grunde gibt es in meinem Modell auch keine „Zieltasten“ im Korb, sondern nur die Ruftasten außen auf jeder Etage.

Auch wenn in diesem Artikel häufig Bezug darauf genommen wird: Dieser Artikel kann und will das Sonderheft von Dirk Uffmann nicht ersetzen. Die Schaltung der Silberlinge selbst wird hier also nicht oder nur in Teilen erklärt.

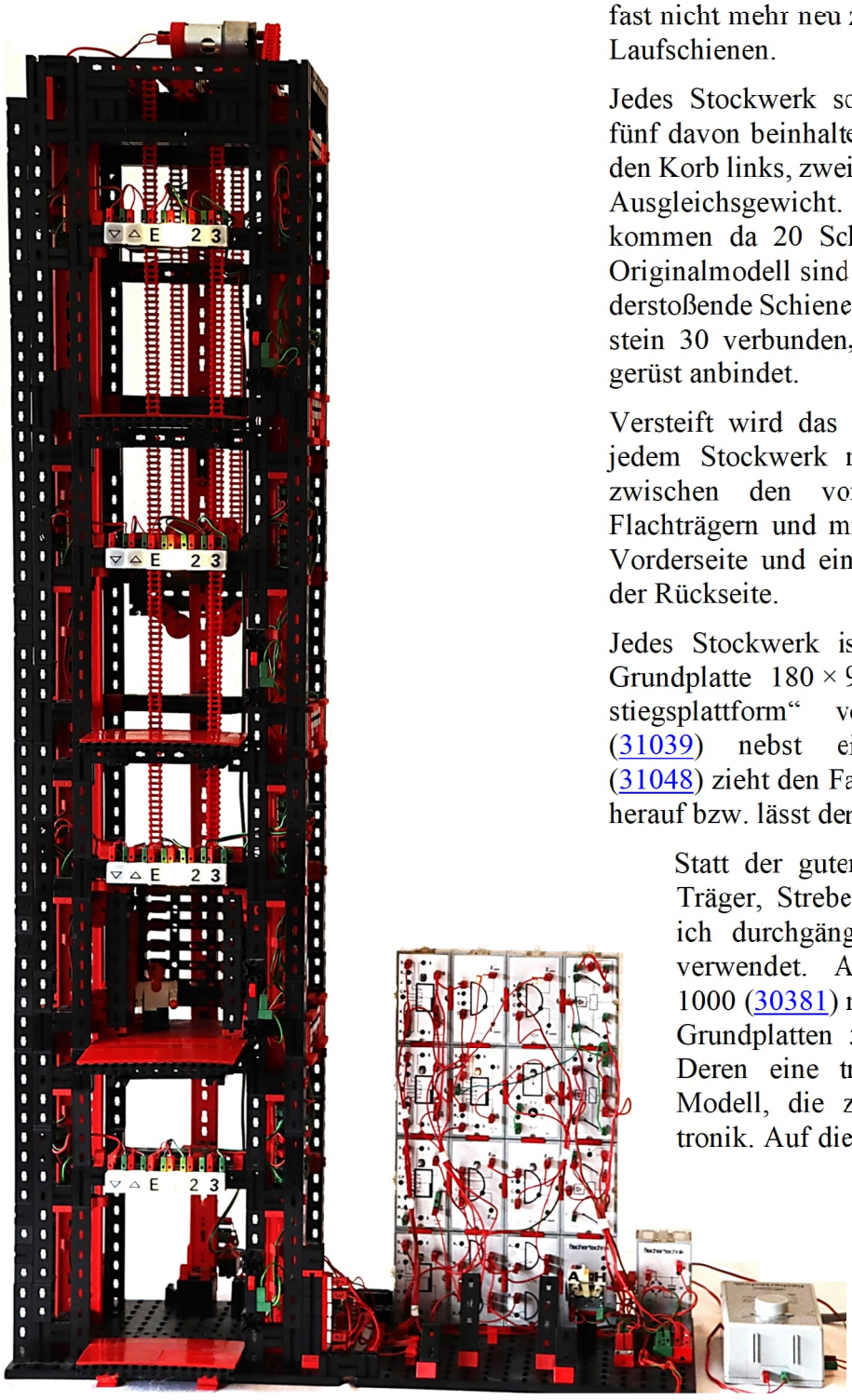


Abb. 1: Viergeschossiger Aufzug

Der Aufbau

Mechanik

Die Materialschlacht beginnt mit den heute fast nicht mehr neu zu beschaffenden roten Laufschienen.

Jedes Stockwerk soll in meinem Modell fünf davon beinhalten – zwei Schienen für den Korb links, zwei rechts und eine für das Ausgleichsgewicht. Für vier Stockwerke kommen da 20 Schienen zusammen. Im Originalmodell sind jeweils zwei aufeinanderstoßende Schienen mit nur je einem Baustein 30 verbunden, der dann am Grundgerüst anbindet.

Versteift wird das Ganze im Original in jedem Stockwerk mit seitlichen Streben zwischen den vorderen und hinteren Flachträgern und mit einer Strebe auf der Vorderseite und einem Streben-Kreuz auf der Rückseite.

Jedes Stockwerk ist da mit einer roten Grundplatte 180 × 90 (31001) als „Ausstiegsplattform“ versehen, ein Motor (31039) nebst einem Winkelgetriebe (31048) zieht den Fahrkorb über eine Kette herauf bzw. lässt den Korb herunterfahren.

Statt der guten alten grauen Statik-Träger, Streben und Bausteine habe ich durchgängig schwarze Bauteile verwendet. Auch die Grundplatte 1000 (30381) musste zwei schwarzen Grundplatten 500 (32985) weichen. Deren eine trägt das mechanische Modell, die zweite die Steuerelektronik. Auf diese Weise kommen beide Teile etwas besser zur Geltung, und das hat auch Vorteile beim Zerlegen, dem Transport und beim Wiederaufbau.

Statt einer Trägerbreite von nur

15 mm ist ein Seitenträger des Gerüsts bei mir 45 mm breit – zwei Träger mit 15 mm Abstand zwischen den beiden sowie massiven Versteifungen (ganze Bausteine statt Streben).

Die Schienenübergänge zwischen zwei Stockwerken sind in meinem Modell im Vergleich zum Original deutlich massiver mit dem Grundgerüst verbunden, und zwar nicht nur dort, wo zwei Schienen aufeinanderstoßen, sondern je einzelner Schienenlänge noch weitere zwei Male.

Die jeweiligen Ausstiegsplattformen bestehen je Stockwerk nur aus je einer Grundplatte 120 × 60 (35129).

Der Fahrkorb ist nach Festlegung des Abstandes der zwei Fahrschienen „eingepasst“ worden. Auch dadurch ist „mein“ Fahrkorb um einige Millimeter breiter als der im Original.

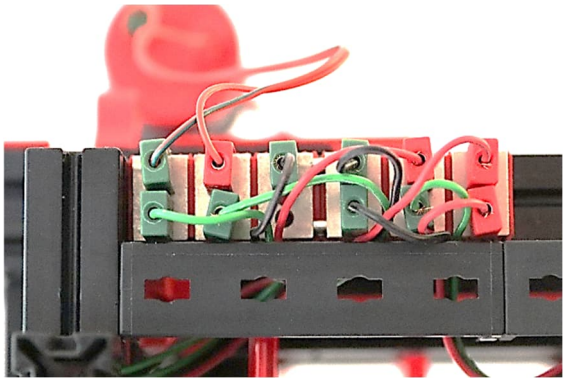


Abb. 2: Verkabelung, im Hintergrund der Power-Motor

Als Motor kommt ein Powermotor mit einem 50:1 Getriebe (104574) zum Einsatz. Dieser Motor treibt die beiden Ketten an, die den Fahrkorb entlang der Schienen auf und ab befördern. Das Gegengewicht fährt auf seiner eigenen Schiene entgegengesetzt, also ab und auf.

Der Motorblock mit den Umlenkrollen für die Ketten ist abnehmbar. Das ist wiederum der Transportmöglichkeit geschuldet. Der Kofferraum in meinem Auto hat nämlich eine lichte Weite von genau 102 cm, das Modell hat ohne den Motorblock eine Höhe von 99,7 cm. Mit einem knapp 48 mm hohen Motorblock passt das also gerade nicht mehr.

Während auf der Vorderseite die Grundplatten und etliche schwarze Bausteine 30 (32879) für Stabilität sorgen, sind die Träger auf der Rückseite auch durch Streben versteift. Dabei kommen nur alte, auch fast nicht mehr erhältliche Verschlussriegel 4 (37232) zum Einsatz. Ich finde, dass die sehr viel professioneller aussehen als die sonst üblichen S-Riegel 4 (36323) – genau wie beim „schwarz vs. grau“ ist das aber reine Geschmackssache.

Verdrahtung

Im mechanischen Aufbau gibt es folgende Hauptteile der elektrischen Verkabelung: Die Anbindung des Motors nebst Richtungsanzeige, die Anzeige des gerade angefahrenen Stockwerkes und die vier Ruf- und vier Positionstaster.

Tatsächlich kann der erste Teil, die Anbindung des Motors und die komplette Richtungsanzeige, mit nur drei Adern umgesetzt werden. Eine Ader ist direkt mit Masse verbunden, die beiden anderen Adern sind die beiden Zuleitungen zum Motor. Die Verkabelung auf jedem Stockwerk ist dadurch einfach.

Für die Richtungs-Anzeigelämpchen in den Stockwerken wird die dritte Leitung gar nicht benötigt. Die Masse Verbindung wird für die betätigten Endlagen-Taster benötigt.

Deren Prinzip ist schnell erklärt: Im jeweiligen Ruhezustand, also wenn der Taster nicht betätigt ist, wird eine der beiden Zuleitungen von der Steuerung mit einer der beiden Zuleitungen zum Motor verbunden. Wird der Taster betätigt, dann wird dieser Pol des Motors mit Masse verbunden. Der andere Taster, also der auf der anderen Seite, bekommt die zweite Zuleitung von der Steuerung für die Zuleitung zum Motor und wird ansonsten gleich beschaltet.

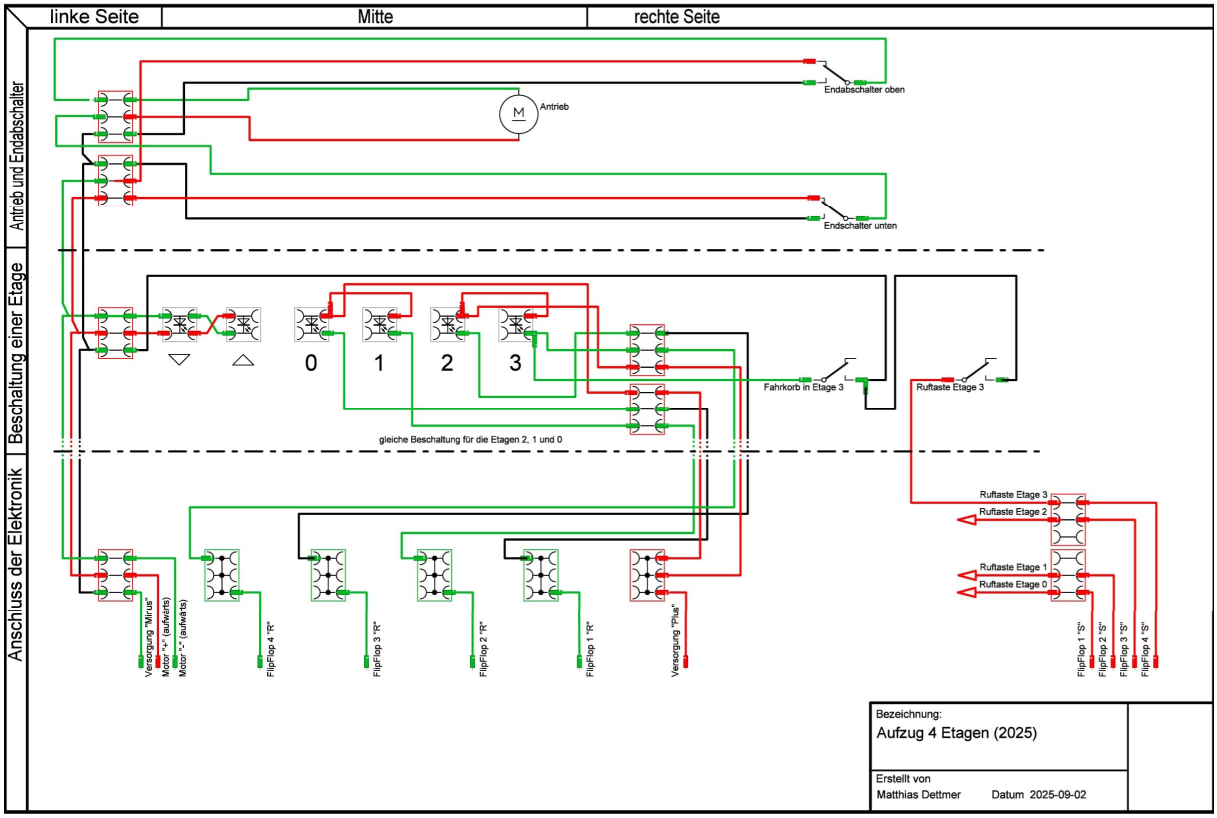


Abb. 3: Schaltplan der „mechanischen“ Seite

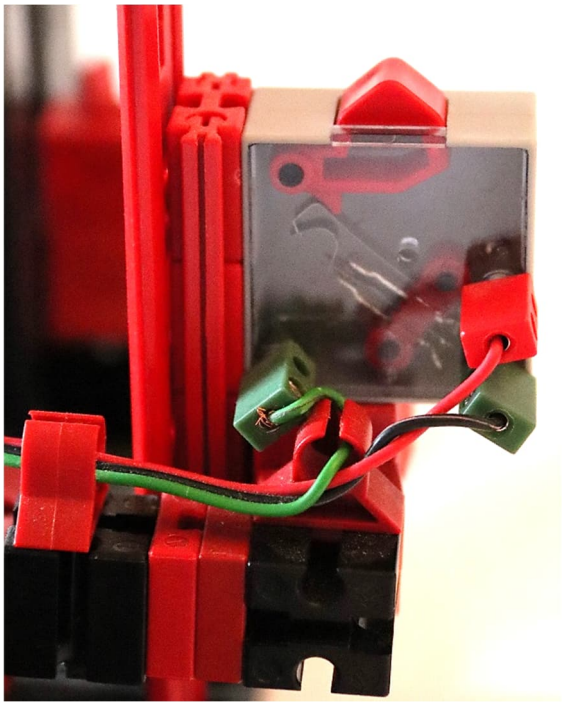


Abb. 4: Endlagentaster unten

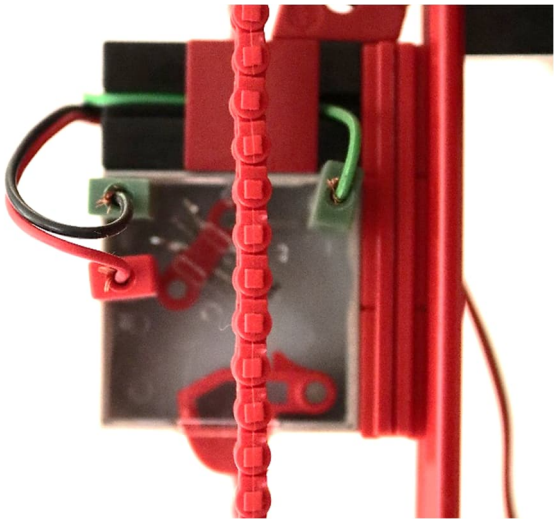


Abb. 5: Endlagentaster oben

Nun muss man nur noch aufpassen, dass die „richtungsrichtige“ Zuleitung auch an den richtigen Endlagentaster angeschlossen wird.

Machen wir das an einem Beispiel fest: Der Korb fährt nach oben. Die Zuleitung zum zugehörigen Endlagentaster führt Masse-

potential. Was wird bei Betätigung des Tasters passieren?

Antwort: Ein Crash, weil ein Schalten von Massepotenzial auf Massepotenzial nichts bewirkt. In diesem Fall ist der Taster falsch angeschlossen, der Endlagentaster schaltet den Motor nicht aus, es kommt zum Crash.

Natürlich kann man jetzt die gesamte Schaltung zurückverfolgen und den Taster von Anbeginn an richtig anschließen. Da so etwas aber schnell zu Fehlern führt, habe ich in der Nähe des Motorblocks eine „Umsteck-Möglichkeit“ mit zwei Verteilerplatten rot (31328) aufgebaut (siehe Abb. 2).

Die ist auch praktisch, um den Motorblock einfach abzubauen, ohne groß mit der Verkabelung herumzufummeln. Hier kommen sowohl die drei Versorgungs-Zuleitungen „von unten“ als auch die zweimal drei Zuleitungen zu den Endlage-Tastern an.

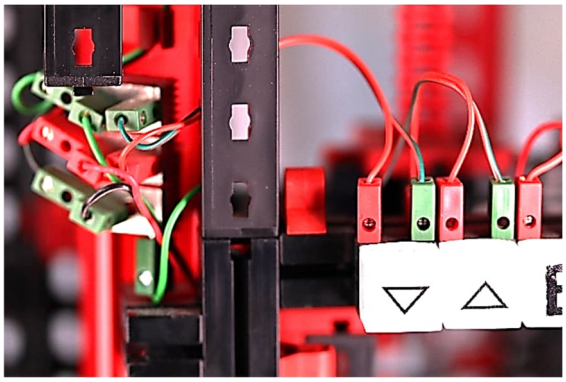


Abb. 6: Anzeige der Fahrtrichtung

Kommen wir nun zur Fahrtrichtungsanzeige, den Positionsanzeigern und den Tastern. In Abb. 6 sind Teile des Stützgerüstes herausgenommen, so dass die drei Kabel und ihre „Weiterverwendung“ sichtbar sind. Praktisch: Weil die Richtungsanzeiger aus LEDs bestehen, braucht man nur das Kabel für die andere Richtung (hier „aufwärts“) über Kreuz anzuschließen.

Für die Positionsanzeige (auf welcher Etage der Fahrkorb gerade hält) braucht man auch nur fünf Adern: je eine pro Stockwerk und eine für den positiven Zweig „Plus“ der Betriebsspannung. Auch hier zeigt sich die Genialität des Originals. Egal welcher Taster, alle schalten nach „0 Volt“, also dem negativen Zweig, „Minus“ der Betriebsspannung. Das ermöglicht einen weiteren Trick bei der Verkabelung. Von unten herauf kommen diese fünf Adern, also vier Stockwerke und „Plus“.

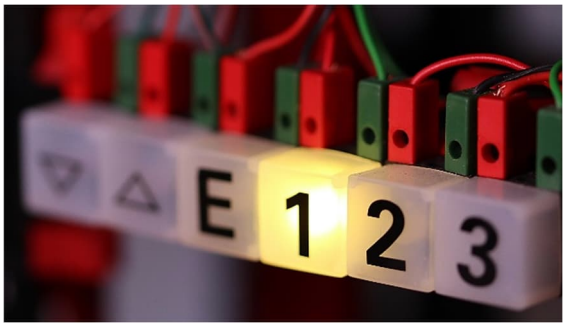


Abb. 7: Anzeige der aktuellen Fahrkorb-Position

Auf jedem Stockwerk sitzen zwei der oben erwähnten Verteilerplatten. Von dort wird „Plus“ zum Pluspol aller Stationspositionslämpchen geführt. Der jeweilige Minuspol der LED wird an der dem Stockwerk entsprechenden Ader angeschlossen.

Und nun der Trick: Auf jedem Stockwerk gibt es einen (von mir mal so genannten) „Positionstaster“.

Der Schaltkontakt dieses Tasters wird über einen Draht von der „Motorsteuerungsseite“ des Aufzugs her mit „Minus“ verbunden. Der Mittenkontakt des Schalters wird mit dem Minuspol der „stockwerkrichtigen“ LED verbunden. Da „Plus“ an allen Lampen dauerhaft anliegt, wird die Lampe des gerade angefahrenen Stockwerks mit „Minus“ versorgt, und beginnt zu leuchten. Gleichzeitig ist die „stockwerkrichtige“ Leitung jetzt mit „Minus“ verbunden. Der Reset des zugehörigen Flipflops kann also betätigt werden (vielleicht erinnern wir uns: negative Logik; „Minus“ ist in dieser Logik eine logische „1“). Die Verdrahtung der „Positionstaster“ geschieht also nur auf dem jeweiligen Stockwerk, und wird über die „stockwerkrichtige“ Ader zur Steuerung geleitet.

Nun werden zwischen zwei Stockwerken und zwischen dem untersten Stockwerk und der Steuerung nur jeweils acht Adern gebraucht, drei für die Richtungsanzeige und fünf für die Positionsanzeige.

Zu guter Letzt versorgen wir die vier Ruftaster ebenfalls direkt auf dem Stockwerk mit „Minus“, wie auch schon den Positionstaster. Der Mittenkontakt muss leider doch einzeln aus jedem Stockwerk zur Steuerung heruntergeführt werden.

Aufbau der Steuerung

Die Versorgung der Steuerung soll laut Sonderheft mit bis zu zwei Netzteilen und vier Gleichrichterbausteinen erfolgen. Die Silberlinge sind auf dem originalen Datenblatt sehr gut in ihren Eigenschaften beschrieben. Rechnen wir also anhand der Datenblätter einmal aus, wie viel Strom wir theoretisch brauchen:

Der Gleichrichterbaustein liefert bis zu	800 mA
Fünf FlipFlop je 28 mA	*-140 mA*
Drei Relais je max. 70 mA	*-210 mA*
Ein OR/NOR und drei AND/NAND je 27 mA	*-108 mA*
Zwei DYN-AND je 21 mA	*-42 mA*
Ein Mono-Flop	*-26 mA*
Theoretisch übrig	274 mA

Eine Messung des tatsächlich benötigten Stromes ergab allein für die Steuerung, also ohne LEDs und Motor, einen maximalen Strom von 750 mA. Das ist insofern erstaunlich, als das dritte Relais nur bei Handbetrieb eingeschaltet ist, also gar keinen Strom „beiträgt“. Da dieser Stromverbrauch aber immer noch unterhalb der im Datenblatt angegebenen 800 mA liegt, ist das so akzeptabel. Sollten jedoch noch weitere Gatter, etwa für weitere Etagen hinzukommen, dann müsste danach geschaut werden.

Bei Verwendung von Glühlämpchen würden zusammen 4 (Etagen) × 2 (aufwärts, abwärts, Etage 0 bis Etage 3) = 8 Lampen je 110 mA satte 880 mA verbrauchen. Hinzu käme noch ein Powermotor mit 450 mA.

Deswegen werden entsprechend dem Tipp aus dem Sonderheft nur LED-Lampen verwendet. Dadurch sinkt der Strombedarf rechnerisch auf 8 × 12 mA = 96 mA. Ohne den Motor würden jetzt ein Gleichrichter und ein Netzteil ausreichen.

Wieso jetzt acht Lämpchen? Nun, auf jedem der vier Stockwerke leuchtet entweder „Aufwärts“ oder „Abwärts“, und bei Ankunft des Korbes jeweils eine Lampe für das jeweils gerade angefahrene Stockwerk.

H4GL Nummer 2	800 mA
8 Anzeigelämpchen je 12 mA	*-96 mA*
1 Powermotor	*-450 mA*
Übrig	254 mA

Auch für den Leistungsteil ergab die Strommessung Erstaunliches. So braucht der Powermotor nur etwa 150 mA für das Heraufziehen des Korbes, beim Herablassen sogar nur etwa 80 mA. Hinzu kommen ca. 60 mA für die Richtungsanzeige sowie bei Durchlaufen einer Etage weitere 60 mA. Daraus lässt sich schließen, dass eine LED eher 15 mA statt wie zuerst angenommen 12 mA verbraucht. Dafür braucht der Powermotor weniger als die Hälfte des zunächst angenommenen Stroms.

Im Modell gibt es also wie im Sonderheft aufgezeigt eine strenge Trennung zwischen Steuerung und Leistungsteil.

Die Funktion der Schaltung ist so einfach wie genial. Jedes Stockwerk hat ein RS-FlipFlop, eine Ruftaste für das Setzen des betreffenden Flipflops und eine Positionstaste für das Rücksetzen des Flipflops.

Jeder Q-Ausgang der vier Stockwerks-Flipflops gibt über ein Oder-Gatter an, ob der Fahrkorb jetzt fahren soll.

Zusammen vier Dynamisch-Und-Gatter (für jedes Stockwert eines) sorgen dafür, dass der Fahrkorb bei Erreichen eines Stockwerks nicht weiterfährt und eine kurze Pause macht – aber nur, wenn das betreffende Stockwerk-Flipflop nicht zurückgesetzt wird.

Diesen Trick habe ich zuerst nicht verstanden. Die Dynamisch-UND-Gatter wechseln den Zustand aber nur bei einem dynamischen Signal – das heißt, wenn eine 0-1-Flanke am Eingang ankommt. Ist ein betreffendes Flipflop nicht gesetzt (weil zuvor keine Ruftaste gedrückt wurde) dann gibt es keinen Reset; der Fahrkorb fährt einfach weiter.

Wechselt eines der vier Dynamisch-UND-Gatter seinen Zustand, dann wird das Mono-Flop getriggert, über das Monoflop und ein AND-Gatter wird dann die Fahrt für die am Monoflop eingestellte Zeit unterbrochen.

Soll dann kein weiteres Stockwerk angefahren werden, dann bleibt der Fahrmotor einfach stehen.

Das fünfte Flipflop steuert zusammen mit zwei weiteren UND-Gattern die Fahrtrichtung.

Erweiterbarkeit

Das Modell sollte von Anfang an auf zwei Grundplatten aufgebaut werden, eine für das mechanische Modell mit Motor, Lämpchen und Tastern, und eine für die Steuerung.

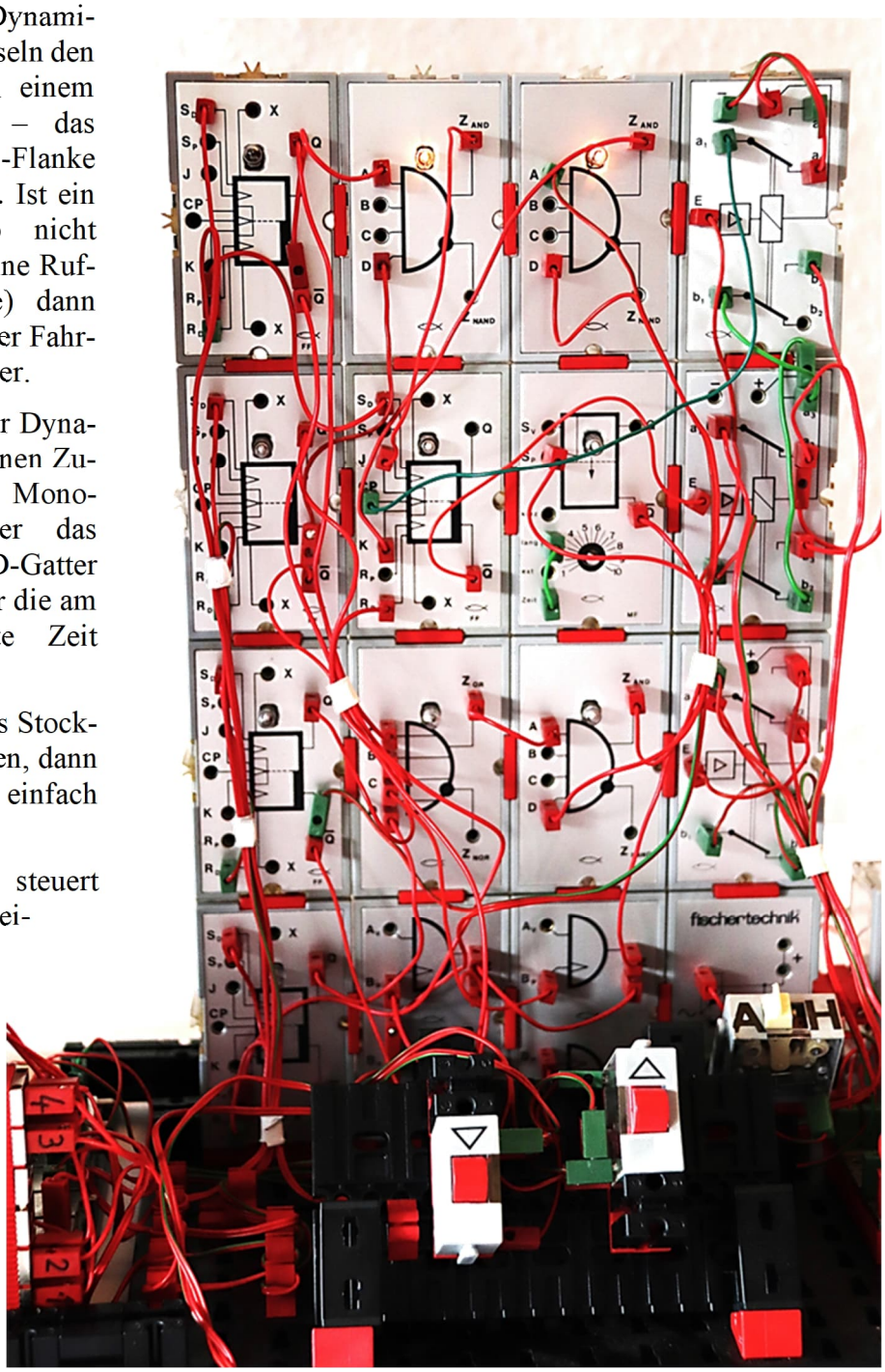


Abb. 8: Steuerung mit Silberlingen

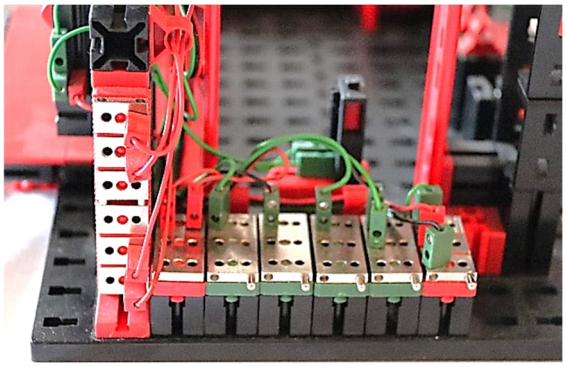


Abb. 9: Übergabepunkte

Hier kommen die vier Adern aus den vier Etagen auf jeweils einer grünen Verteilerplatte an. Zur Erinnerung: hier liegt „0 Volt“ (eine „1“ in fischertechnik-Logik) an, wenn der Fahrkorb in der betreffenden Etage steht oder an ihr vorbeifährt.

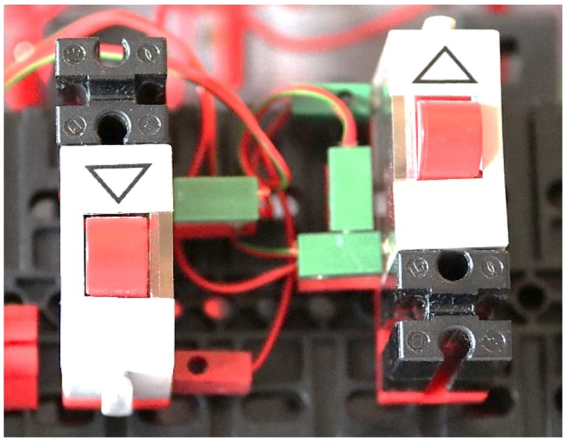


Abb. 11: Taster für abwärts und aufwärts

Die rote 3 × 2-Verteilerplatte rechts im Bild versorgt die zwei Leitungen für den Antriebsmotor sowie das „0 Volt“-Potenzial für die 4 × 2 Taster (Position und Ruftaster).

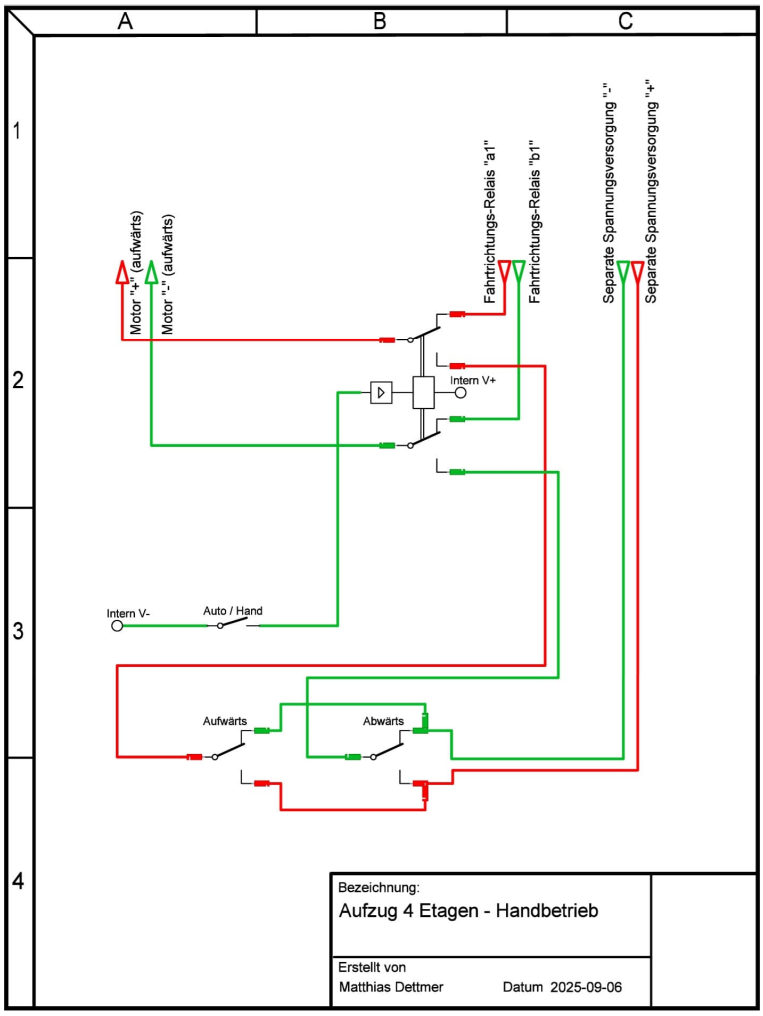


Abb. 10: Handbetriebsschaltung

An den senkrecht stehenden Verteilerplatten links im Bild kommen die Mittenkontakte der Ruftaster an. Die rote Verteilerplatte links neben den grünen Platten versorgt die 16 Positionsanzeige-LEDs mit der Versorgungsspannung (Plus).

Insgesamt werden zwischen den beiden Platten nur zwölf Steckverbindungen bzw. Adern gebraucht:

- 2 Adern Versorgung (Minus / 0 Volt und Plus / Versorgungsspannung)
- 2 Adern Motor-Zuleitung
- 4 Adern Positionsmeldung (Mittenkontakt Position je Stockwerk und LED)
- 4 Adern Ruftasten

Handbetrieb

Der Handbetrieb ist ebenfalls so einfach wie möglich aufgebaut. Mit einem Polwendeschalter wird das Handbetrieb-Relais geschaltet.

Ist dieses Relais abgefallen, dann wird der Motor von der Steuerung versorgt. Bei angezogenem Relais übernehmen zwei Taster für „Aufwärts“ und „Abwärts“ die Versorgung.

Die hier verwendeten Schaltungsprinzipien für Endlagentaster und Handbetriebssteuerung sind tatsächlich Standards, wie sie in verschiedenen elektromechanischen Baukästen (em-1 und em-2, hobby 3) von fischertechnik beschrieben wurden.

Manöverkritik

Wie sind die ganzen Abweichungen von einem originalgetreuen Aufbau zu erklären? Die Konstrukteure der originalen fischertechnik-Modelle versuchen immer, mit möglichst wenigen Bauelementen auszukommen. Auf der rein mechanischen Seite hätte das ein verhältnismäßig wackeliges Konstrukt ergeben. In der Tat wird bei Messemodellen gerne mal Gebrauch von Schnellkleber gemacht.

So wurden im beschriebenen Modell erheblich mehr Bausteine verwendet als im mehr als 50 Jahre alten Original – geschätzt etwa drei Mal so viele. Inzwischen wurde das Modell auf zwei Maker-Faires und beim diesjährigen Fan-Club-Tag ausgestellt. Mechanische Schäden waren nicht zu verzeichnen, herausgefallene Stecker in der Steuerung waren das Höchste der Gefühle. Ab- und Aufbau sind in weniger als fünf Minuten zu bewerkstelligen.

Der Aufbau von größeren Modellen erfordert eigentlich eine sorgfältige Planung. Auf der mechanischen Seite habe ich zuerst „einfach darauf los“ und am Original orientiert gebaut, und tatsächlich bei jedem Stockwerk etwas dazugelernt. Das führte dann schnell dazu, die Stockwerke darunter wieder abzureißen und neu aufzubauen. Nimmt man diesen „Learning by doing“-Ansatz, dann wird dieses eine letztlich dastehende Modell mindestens zweimal, tatsächlich eher viermal komplett aufgebaut.

Auf der elektrischen Seite wäre man wahrscheinlich mit deutlich weniger Steckern ausgekommen. Zudem erhöht jeder einzelne Stecker das Risiko von fehlerhaften Kontakten. Hier spielten meine schlechten Erfahrungen mit mehr als einem Kabelende in einem Stecker die bestimmende Rolle. Die gewählte, zugegeben aufwendige Verkabelung erleichtert dagegen die Fehlersuche und gegebenenfalls auch die Fehlerbehebung.

Von den eingesetzten Silberlingen hat bisher keiner Ausfallerscheinungen gezeigt – ein Riesenkompliment an fischertechnik. Wie auf verschiedenen Ausstellungen angemerkt: Keiner der verwendeten Elektronik-Bausteine ist jünger als 45 Jahre, von den meisten ist die Verwendungsgeschichte unbekannt. Will sagen: Wer weiß, wie stark die Teile in diesen 50 Jahren gequält worden sind!

Eine Erweiterung um eine SPS-Anbindung funktioniert grundsätzlich schon. Hier ist die negative Logik aber ein ziemliches Hindernis, und auch die Ansteuerung von Motor und Lämpchen ist nicht ohne Herausforderungen. Im Moment bin ich noch unschlüssig, ob nicht eher ein komplett neu aufgebautes weiteres Modell schneller zum Ziel führt.

Quellen

[1] Arnoud van Delden: *Produktentwicklung*. Originalgetreue Silberling-Nachbauten, auf whizzbizz.com.

[2] Franz Santjohanser: *FUNKE-Module*. Elektronikmodule, von den Funktionen her vielfältiger als die Originale, aber mit anderem Formfaktor.

[3] Dirk Uffmann: *fischertechnik hobby Experimente und Modelle*. Im Selbstverlag.

Modell

Es quietscht und pfeift: Wie man eine Orgel baut

Peter Krijnen

Während der Fußball-Weltmeisterschaft 1974 machte Familie Krijnen Urlaub in Mülheim an der Donau. An einem sonnigen Dienstagmorgen wollten meine Eltern das schöne Städtchen Freudenstadt besuchen. Wir Kinder fanden das lustig, wollten aber durch das Waldachtal fahren, denn die fischertechnik-Werke befanden sich in Tumlingen. Meine Eltern hatten nichts dagegen, und wir Kinder legten sofort eine Route auf der Karte fest. Wir haben die Fischerwerke tatsächlich gefunden und wurden sogar eingeladen, den großen Ausstellungsraum zu besichtigen. Was gab es dort zu sehen?

Natürlich all die großen Modelle, die man in den Anfangsjahren auf der Spielwarenmesse ausgestellt hatte. Die große Brückenbaumaschine von 1970 [1], die mit fischergeometric aufgebaute Stadt mit Magnetkissenbahn, die Züge und das Sägewerk von 1973 [2], der Hafen von 1972 [3], die Baustelle und der Bauernhof von 1974 [4] und die Schweißstraße [5]. Und noch vieles mehr.

Auf einem kleinen Tisch, an einem der großen Modelle angelehnt, stand eine Klaviertastatur mit einem ganzen Haufen Silberlingen. Da mein Vater Organist war, musste er natürlich darauf spielen. Und das durfte er auch.

Allerdings stellte sich schnell heraus, dass er damit große Schwierigkeiten hatte, da die Tasten zu weit auseinander lagen. Normalerweise sind die weißen Tasten breiter als die schwarzen. Bei diesem Modell war alles gleich breit. Ich kann mich nicht mehr genau erinnern, wie die Tasten aussahen. Ich weiß nur noch, dass es monophon war. Und Fotos konnten wir leider nicht machen, weil die Kamera im Auto war.

Zum Abschied bekam jeder von uns noch eine Zusatzpackung. Nachdem wir uns herzlich für den Empfang und die Geschenke bedankt hatten, fuhren wir nach Freudenstadt. Es war ein Tag, den ich nie vergessen werde. Dass ich ihn auch nach 51 Jahren nicht vergessen habe, zeigt dieser Beitrag.

Es war schon lange klar, dass ich die Orgel nachbauen wollte. Da ich nicht so viele Silberlinge besitze und auch nie besitzen werde, war das lange Zeit keine Option. Nachdem ich jedoch alle Silberlinge für die ft:pedia neu erstellt hatte, änderte sich das schlagartig. Denn nun konnte ich alle notwendigen Module selbst bauen.

Dass dieses Projekt allerdings so viele Probleme mit sich bringen würde, hatte ich nicht erwartet.

Problem 1: Die Elektronik

Ich habe zwei Jahre lang bei Eminent Orgel in Bodegraven, Niederlande, gearbeitet. Das war in den 80er Jahren. Ich weiß also, wie ein Keyboard und seine Elektronik funktionieren.

Die Tonerzeugung mit den Silberlingen ist viel einfacher als mit einer großen Orgel. Pro Ton wird ein Oszillator benötigt. Für eine volle Oktave braucht man also insge-

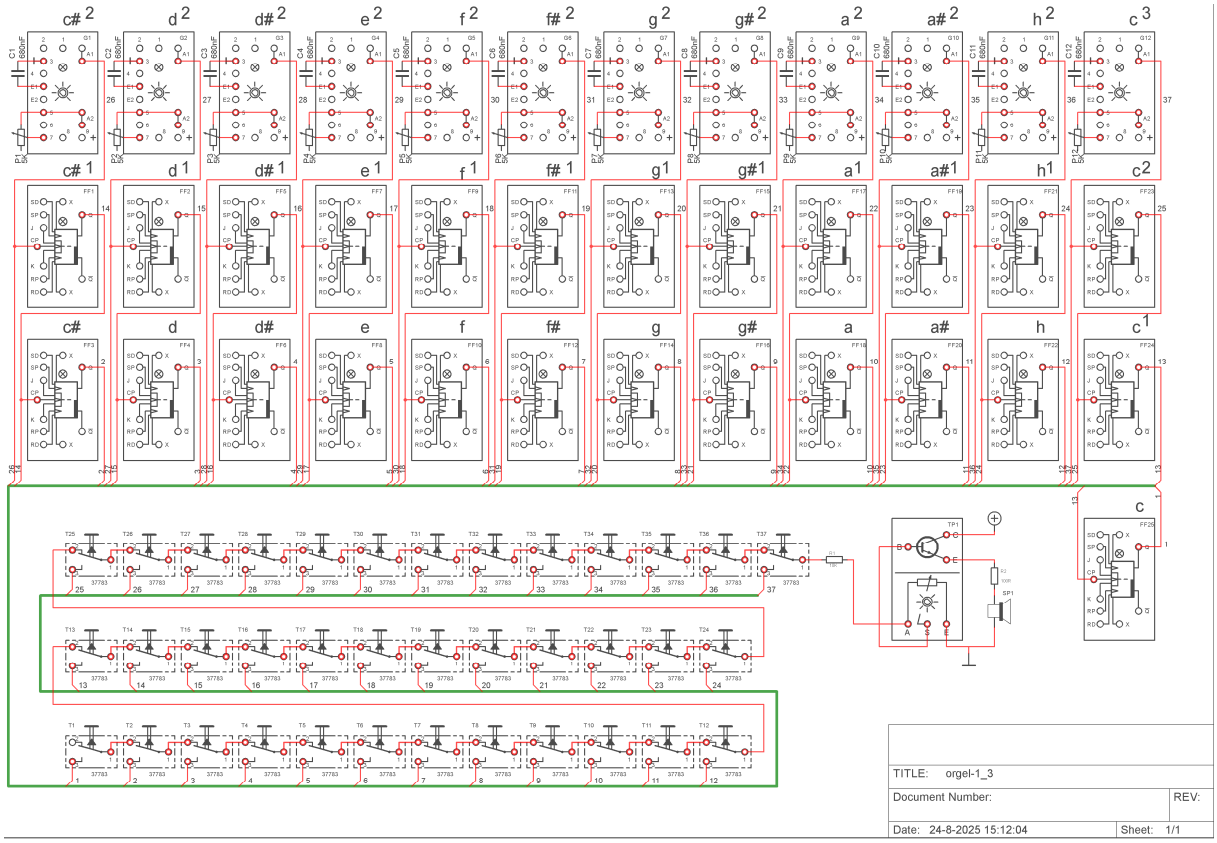


Abb. 1: Das Schaltbild meiner Tastatur

samt zwölf. Dies ist die oberste Oktave. Für die Oktaven darunter (links) müssen diese Töne geteilt werden. Für eine tiefere Oktave muss diese ebenfalls geteilt werden. Ich entschied mich für ein Keyboard mit drei Oktaven, also mit insgesamt 37 Tasten. Abb. 1 zeigt das gesamte Schaltbild: Zwölf Grundbausteine zur Erzeugung der höchsten Oktave und 25 Flipflops zur Division. Unter jeder Taste befindet sich ein Minischalter. Alle Schalter sind so verbunden, dass immer die höchste gedrückte Taste gespielt wird. Zusätzlich habe ich als Verstärker einen Transistor/Potentiometer-Baustein hinzugefügt: einen 10-kΩ-Widerstand am Eingang und einen weiteren 100-Ω-Widerstand in Reihe mit dem Lautsprecher.

Soweit lief alles gut. Auch das Einstellen der Frequenzen war kein Problem. Als ich ein bisschen herumspielen wollte, stellte ich fest, dass die Frequenzen zu hoch waren. Also musste ich alle Oszillatoren um eine Oktave absenken. Auch das war kein Problem.

Das eigentliche Problem war der Klang. Er war nicht rein. Er schien zu variieren und zu vibrieren. Außerdem stellte sich heraus, dass die zweite Oktave mit der obersten Oktave übereinstimmte, was natürlich nicht stimmen konnte.

Dass dies tatsächlich möglich war, wurde klar, nachdem ich mein Frequenzmessgerät an A1 des Oszillators für „A“ angeschlossen hatte: Es hätte 880 Hz ergeben sollen. Und das stimmte auch. Anschließend schloss ich das Frequenzmessgerät an A2 an: 1760 Hz. Dann schloss ich das Oszilloskop an, A1 an Kanal 1 und A2 an Kanal 2.

Es war nichts Ungewöhnliches zu sehen, bis ich das Oszilloskop auf 1 µs/div einstellte. Erst da fiel auf, dass die steigende Flanke an A1 betroffen war und eine Delle aufwies. Da A2 das Signal von A1 invertiert, tritt dies an der fallenden Flanke von A2 auf. Da

die Schaltung für A2 es jedoch auch verstärkt, ist dies deutlich schlimmer als bei A1.

Es würde den Rahmen dieses Artikels sprengen, genau zu erklären, was passiert und wie man es löst. Daher werde ich dieses Problem in einem anderen Beitrag näher erläutern. Ich habe es jedoch gelöst.

Problem 2: Instabile Frequenzen

Nicht die Frequenzen selbst sind instabil, sondern die Schaltung, die sie erzeugt. Die Potentiometer tragen dazu bei. Da die Kapazität des eingebauten 47-µF-Kondensators viel zu hoch ist, musste ich zusätzlich einen externen Kondensator verwenden. Anfangs dachte ich, ich käme mit 1 µF aus. Da ich jedoch nicht so viele hatte, nahm ich stattdessen 680 nF.

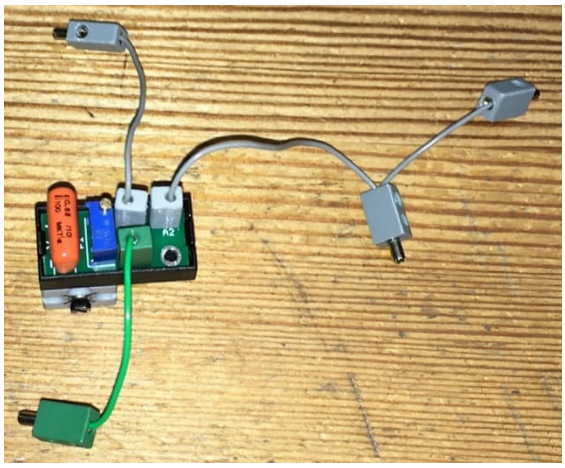


Abb. 2: Die kleine Platine mit dem 680-nF-Kondensator und dem 5-kΩ-Trimmer

Zusammen mit einem 25-Gang-5-kΩ-Spindeltrimmer [6] platzierte ich die Kondensatoren auf kleinen Leiterplatten, die ich in das Elektronikgehäuse 152059 einbaute (Abb. 2). Leider erwiesen sich die 5 kΩ in Kombination mit den 680 nF als zu niedrig. Deshalb schaltete ich das eingebaute Potentiometer mal wieder in Reihe.

Abb. 3 zeigt den Anschluss: Der Kondensator an Bus 3 und E1 und das Potentiometer an A2 + 5 und an 7. Beim Einstellen stelle ich zuerst den Trimmer auf die Mittelstellung, drehe dann das interne Potentiometer grob auf die gewünschte Frequenz und drehe dann am Trimmer, bis die richtige Frequenz erreicht ist.

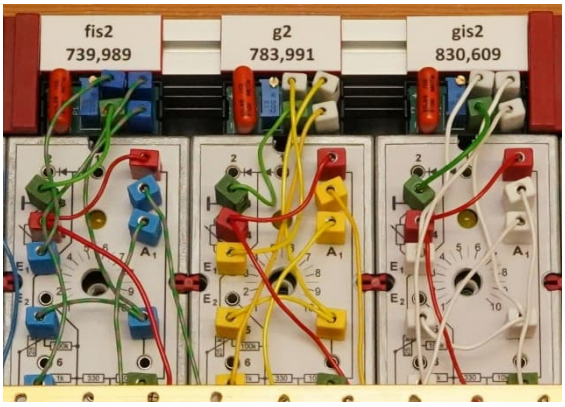


Abb. 3: So sind Kondensator und Trimmer angeschlossen

Problem 3: Stromversorgung

Es dürfte jedem klar sein, dass ein 812er oder 814er Trafo nicht ausreicht. Die Schaltung braucht 820 mA Strom. Ich verwende ein Profi-Netzteil von RIGOL.

Da das Anschlusskabel vom Netzteil zur Elektronik mit 60 cm kurz ist, habe ich es links an der Elektronik angeschlossen und alles eingestellt. Nachdem ich die Elektronik mit der Klaviatur und alle Tasten mit der Elektronik verbunden hatte, wollte ich ein bisschen herumspielen. Mir fiel sofort auf, dass die Töne nicht mit der eingestellten Tonhöhe übereinstimmten. Was war passiert? Eigentlich nicht viel: Ich hatte die Elektronik nur in der Mitte an das Netzteil angeschlossen. Das sollte kein Problem sein. Ist es aber.

Jeder Stecker hat einen Übergangswiderstand. Und da es in einer kompletten Elektronik so viele Stecker mit dünnen Drähten gibt, gibt es auch viele Übergangswiderstände.

Wenn ich an allen Modulen ganz links 9 V anschloss, blieben mir rechts nur noch 7,5 V übrig. Nachdem ich die Spannungsversorgung in der Mitte angeschlossen hatte, stellte sich heraus, dass sich die Ver-

sorgungsspannung für jeden Oszillator geändert hatte. Dies wiederum beeinflusste die erzeugte Frequenz.

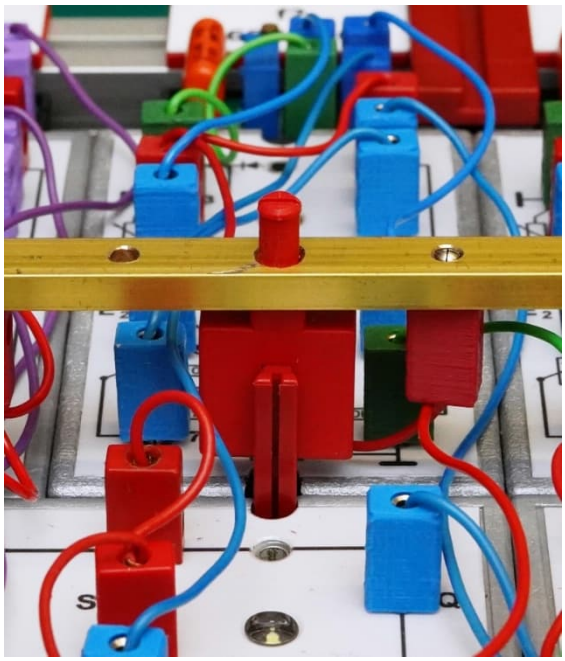


Abb. 4: Die Schienen werden mit Radachse und Verbinder 45 befestigt

Was konnte ich dagegen tun? Ich kaufte für einen stattlichen Betrag zwei Meter 4 mm × 7 mm Messingprofile. Ich schnitt sie zu Hause auf 580 mm Länge zu und bohrte alle 15 mm Löcher mit 2,5 mm Durchmesser. Um diese beiden Spannungsschienen an der Elektronik zu befestigen, bohrte ich vier Löcher mit je 4 mm Durchmesser.

Ich verwendete vier Radachsen (36586) und vier 45 mm lange Verbinder (31330), die ich zwischen die Module steckte (Abb. 4). Alle Module sind direkt mit dieser Schiene verbunden. Wenn ich nun links 9 V anschließe, verliert die rechte Seite nur 70 mV. Natürlich musste ich alle zwölf Oszillatoren neu justieren. Abb. 5 zeigt das Ergebnis.

Problem 4: Abweichende Flipflops

Abb. 5 zeigt, dass ich auch fünf eigene Module verwendet habe. Genauer gesagt: Ich habe meine eigenen Flipflops basierend auf der Schaltung 70007 von Hans-Christian Funke gebaut. Diese basiert auf einem Dual-Flipflop-IC 4027. In dieser Schaltung werden nur die beiden Q-Ausgänge verwendet. Die beiden $\overline{Q}$-Ausgänge werden dann mit Invertern eines 4049 erzeugt. Ich habe nicht verstanden, warum Hans-Christian das so gemacht hat. Anstelle des 4049 habe ich einfach zwei nicht-invertierende Ausgangsstufen erstellt und diese sowohl mit den Q- als auch mit den $\overline{Q}$-Ausgängen des 4027 verbunden. Normalerweise verbinde ich den Q-Ausgang mit dem CP-Eingang des nächsten Flipflops. Bei meinem Aufbau musste ich jedoch den $\overline{Q}$-Ausgang für den Durchgang verwenden.

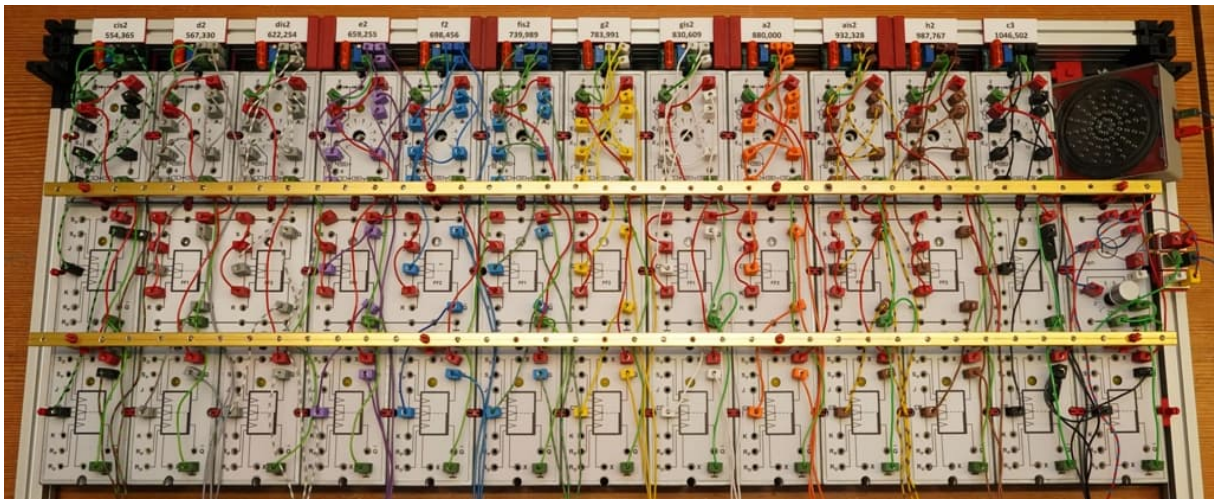


Abb. 5: Das Ergebnis – die beiden Spannungsschienen sind deutlich zu erkennen

Problem 5: Die Klaviatur

Eine Klaviatur besteht aus zahlreichen Tasten. In meinem Fall wollte ich eine Klaviatur mit einem Tonumfang von drei Oktaven bauen.

Durch meine Arbeit bei Eminent kenne ich die Form einer Taste. Daher wollte ich auch dieser Form für meine Orgel verwenden. Das war allerdings nicht so einfach wie erwartet. Das Problem lag in der Feder, die die Taste oben halten sollte. In meinem Beispiel wird die Taste hinter dem Drehpunkt von einer Feder nach unten gezogen. Leider fand ich im fischertechnik-Sortiment keine passende Feder, die ich dafür hätte verwenden können. Schließlich verwendete ich die blaue Kunststofffeder (31892) und den dazugehörigen Sockel (31981) als Druckfeder.

Schnell stellte sich heraus, dass dies nicht ausreichte. Deshalb verlängerte ich die Taste hinter dem Drehpunkt und bestückte sie mit zusätzlichen Bausteinen, um ein Gegengewicht zu schaffen (Abb. 6). Auch das reichte nicht aus, also fügte ich acht 30-mm-Achsen hinzu. Und auch das reichte nicht aus. Wie auf Abb. 7 zu sehen ist, erwies sich die gesamte Klaviatur zudem als viel zu groß.

Abb. 6: Die verlängerten Tasten mit dem zusätzlichen Gegengewicht. Die blauen Federn haben nicht genügend Druck.

Dafür fand ich eine gute Lösung. Statt der 31892 als Druckfeder habe ich sie nun als Zugfeder verwendet. Und zwar für die weißen Tasten. Da die schwarzen Tasten schmaler sind, passten die Federn nicht zwischen die der weißen Tasten. Deshalb habe ich die Druckfeder für die schwarzen Tasten verwendet (Abb. 8).

Abb. 7: Mit den verlängerten Tasten ist die gesamte Tastatur viel zu groß geworden

Um zu verhindern, dass die Tasten zu hoch gezogen werden, musste ich natürlich eine hakenartige Struktur an der Unterseite der Tasten schaffen.

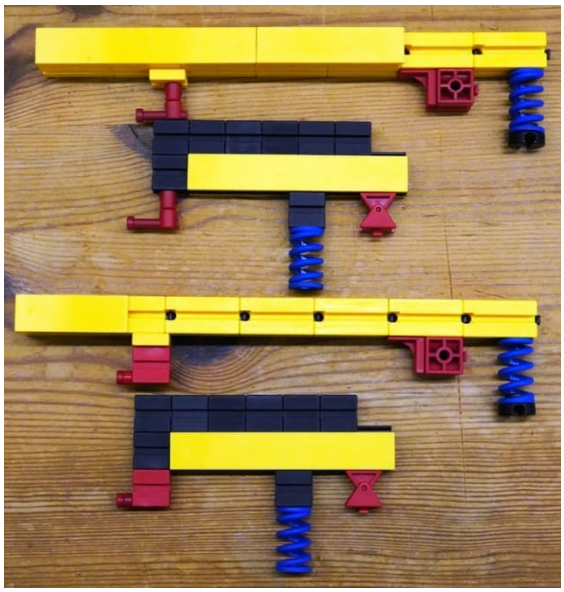


Abb. 8: Oben der instabile Haken, unten die stabilere Variante

Dieser Haken musste auch den Mini-Taster (37783) unter den Tasten drücken (Abb. 6). Abb. 8 zeigt, dass der Haken der oberen Taste aus zwei Klemmhülsen (35980) und einer Rastachse 20 (31690) besteht. Diese Konstruktion erwies sich als instabil, sodass keine Taste waagerecht lag. Dies ist in Abb. 9 deutlich zu erkennen. Um dies zu verbessern, habe ich anstelle der Klemmhülse einen 7,5-mm-Baustein verwendet.

Da der Kopf der Rastachse etwas zu kurz ausfiel, habe ich ihn durch Hinzufügen eines Distanzrings (31597) verlängert.

Problem 6: Die Breite der Tasten

Da die grau-weißen Bausteine zu Beginn des Baus meiner Klaviatur noch nicht verfügbar waren, habe ich gelbe als Ersatz verwendet. Gleiches gilt für die schwarzen Tasten, die ich mit roten Bausteinen hergestellt habe. Später habe ich aber noch 250 Stück der schwarzen Version gekauft.

Die Breite einer weißen Taste beträgt 21,7 mm und die einer schwarzen Taste 12,5 mm. Da sich die schwarzen Tasten zwischen den weißen Tasten befinden, müssen die weißen dort auch schmaler sein: ebenfalls 12,5 mm. Die Gesamtbreite über 37 Tasten beträgt 510 mm. Die weißen bzw. gelben Tasten konnte ich nicht schmaler als 15 mm machen – die Breite eines Bausteins und die Länge von sieben Bausteinen (30), also 210 mm. Mit einem Baustein 5 und einer 15 × 45-Bauplatte kam ich mit 22 mm einigermaßen nahe an 21,7 mm heran (Abb. 10).

Nur die D-Tasten sind jetzt zu schmal; 2 mm + 15 mm + 2 mm = 19 mm ist 3 mm zu schmal.

Hätte ich sie rot oder schwarz gemacht, hätte ich die 15 × 30 × 3,75-Bauplatte mit Nut verwenden können. Sie wären zwar etwas zu breit, aber der Abstand zwischen ihnen und den benachbarten Tasten wäre kleiner gewesen. Bei den schwarzen Tasten sah es etwas anders aus. Durch den kompletten Bau aus Bausteinen 7,5 und einigen Verbindungsstücken (30 und 45) konnte ich die benötigte Länge erreichen. Allerdings war die Stabilität nicht ausreichend. Durch das Auflegen einer Bauplatte 15 × 90 auf jeder Seite und Ausfüllen der oberen Nut mit Rastachsen 90 mm konnte ich die nötige Stabilität erreichen. Da keine schwarzen 15 × 90-Bauplatten verfügbar sind, habe ich die gelben verwendet. Diese befinden sich ohnehin zwischen den gelben Tasten.

Da zwischen den Tasten etwas Platz sein muss, habe ich mit zwei 5-mm-Klemmringen und einem Distanzring einen Abstand von 13,75 mm zwischen den gelben Tasten geschaffen. Zwischen den h- und c-Tasten befindet sich ein Kupplungsstück 30 mit 2 mm Breite.

Abb. 9: Oben die verlängerten Tasten, in der Mitte die kurzen Tasten mit der Klemmhülse, unten die endgültige Version mit den 7,5er Bausteinen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Tasten nun alle auf einer Ebene liegen.

Abb.10: Die Tasten der obersten Oktave

Stelle ich mein Keyboard nun neben mein Arturia Keylab61 MKII, stellt sich heraus, dass es nun zu breit ist: 540 mm statt 510 mm. Dies ist in Abb. 11 deutlich zu erkennen.

Abb. 11: Das Keyboard ist etwas zu breit geworden

Problem 7: Die Klaviaturkonstruktion

Nachdem alle Tasten geformt und gefertigt waren, mussten sie zu einer Einheit zusammengefügt werden.

Um die gelben Tasten möglichst stabil zu bekommen, habe ich sie mit einem 15-mm-Baustein mit Loch als Drehpunkt versehen. Für zusätzliche Sicherheit habe ich einen Winkelstein 10 × 15 × 15 und ein 15-mm-Verbindungsstück hinzugefügt (siehe Abb. 8).

Für die schwarzen Tasten musste ich mir etwas anderes einfallen lassen. Hier besteht der Drehpunkt aus einer Gelenkklaue (38446) und einer Gelenkzunge (37280).

Abb. 12 zeigt, dass der Drehpunkt der schwarzen Tasten 30 mm vor dem der gelben Tasten liegt. Der Grund hierfür liegt darin, dass ich die schwarzen Tasten nicht länger als 105 mm bekommen habe. Beim Spielen fällt dies allerdings nicht auf.

Abb. 12 zeigt außerdem, dass der Drehpunkt der schwarzen Tasten 5 mm tiefer liegt als der der gelben Tasten. Der Grund dafür ist, dass die schwarzen Tasten nur etwa 10 mm über den gelben liegen mussten. Man erkennt außerdem, dass aus dem Baustein 15 mit Loch ein Messingrohr herausragt. Dieses Rohr ist etwa 580 mm lang und bildet den eigentlichen Drehpunkt.

Die Tastatur ist auf drei 258 mm × 186 mm großen Grundplatten aufgebaut. Vorne sind mehrere Bausteine in zwei Lagen übereinandergestapelt. Darauf sind sechs Bauplatten 30 × 90 montiert, die auch die Höhe der Tasten bestimmen. In der Mitte der beiden Bausteinlagen befindet sich ein weiterer Baustein 5. Dieser ist leider notwendig, da sich herausstellt, dass jede Bauplatte etwas größer ist, als sie sein sollte. In diesem Fall liegen drei 90-mm-Platten nebeneinander und benötigen 2,5 mm mehr Platz als neun 30-mm-Bausteine. Seitlich sind 600 mm lange Aluminiumprofile angebracht, die das Tastenfeld mit der Elektronik verbinden.

Problem 8: Die Kontakte

Bei einer Standardtastatur wird der elektrische Kontakt durch eine Feder hergestellt, die gegen eine Kontaktschiene gedrückt wird. Dieses Prinzip konnte ich nicht anwenden, da ich nur ein monophones Instrument bauen konnte. Wie auf dem Schaltbild zu sehen ist, kann nur ein Ton gespielt werden. Wird eine Taste gedrückt, müssen die Tasten links davon gesperrt werden.

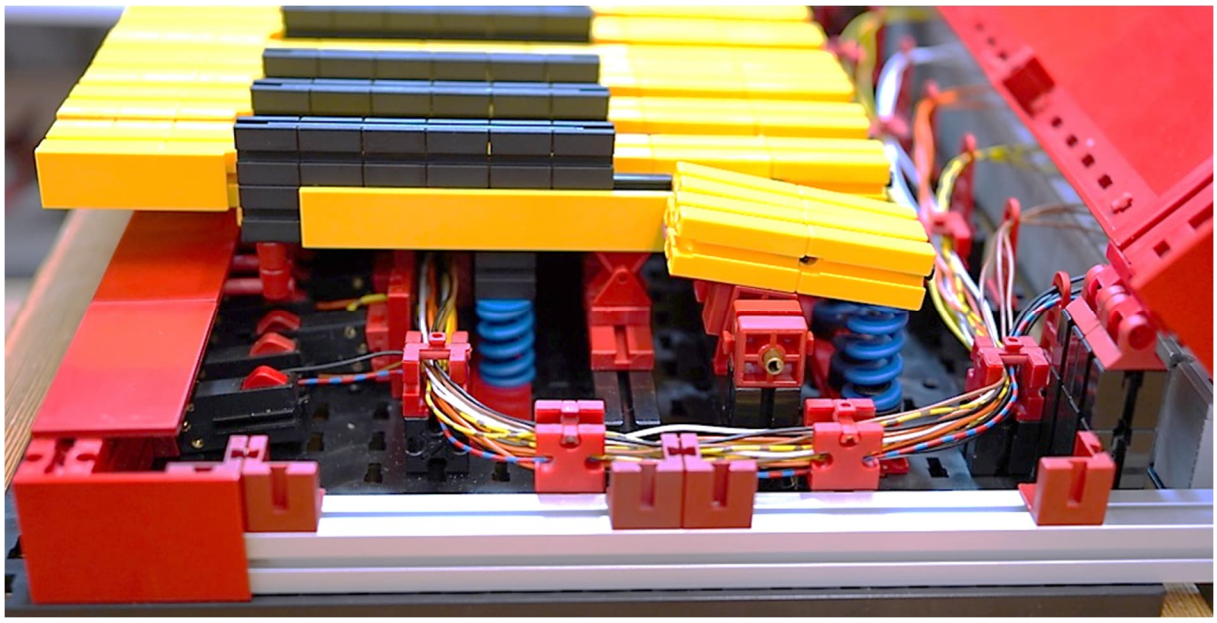


Abb. 12: Da die schwarzen Tasten nur 10 mm über den gelben liegen konnten, wurde der Drehpunkt 5 mm tiefer angebracht

Die Platzierung der Taster war kein großes Problem, auch nicht deren spätere Ausrichtung, sodass sie genau unter der richtigen Taste zu liegen kamen. Problematisch war jedoch der begrenzte Platz zwischen den Tastern: Die Verwendung der fischertechnik-Stecker war nicht möglich.

Also sägte ich 10 mm lange Stücke aus einem 2,5 mm starken Messingrundprofil ab. Anschließend schleifte ich an beiden Enden eine kleine Nut ein. Ein Ende diente zum Anlöten eines Drahtes, das andere erleichterte das Einschieben in die Buchsen der Taster. Dies ist in Abb. 14 deutlich zu erkennen.

Problem 9: Verkabelung

Ich hätte für das gesamte Instrument nur eine Kabelfarbe verwenden können. Das war aber nicht möglich, da ich von jeder Farbe nur wenige Meter vorrätig hatte. Also habe ich mehrere Meter mehradriges Kabel verwendet. Nachdem ich die Isolierung sorgfältig abgeschnitten hatte, erhielt ich jeweils 15 Kabelstücke in verschiedenen Farben und Farbkombinationen.

Neben Rot und Grün für die Stromversorgung hatte ich so genug Kabel, um jeder Note eine eigene Farbe zu geben. Leider gibt es die Stecker nur in zehn verschiedenen Farben. Das war aber kein allzu großes Problem.

Nach der Verkabelung konnte ich endlich spielen. Zuerst musste ich alle Tasten wieder anbringen, da sie vor der Verkabelung entfernt werden mussten. Schnell stellte sich heraus, dass irgendwo etwas nicht stimmte. Die linke Hälfte des Instruments reagierte nicht.

Ich habe also alle Tasten auf der linken Seite ausgebaut und den Taster an der betroffenen Taste ausgetauscht. Nun funktionierten die linken Tasten. Ich habe dann alles wieder zusammengebaut und musste feststellen, dass das Problem an derselben Stelle weiterhin bestand. Es stellte sich heraus, dass das Kabel an einem selbstgebauten Stecker nicht richtig verlötet war. Nachdem dieses Problem behoben war, funktionierte alles einwandfrei. Allerdings war der Klang nicht gut, aber das hatte ich ja schon bei Problem 1 angesprochen.

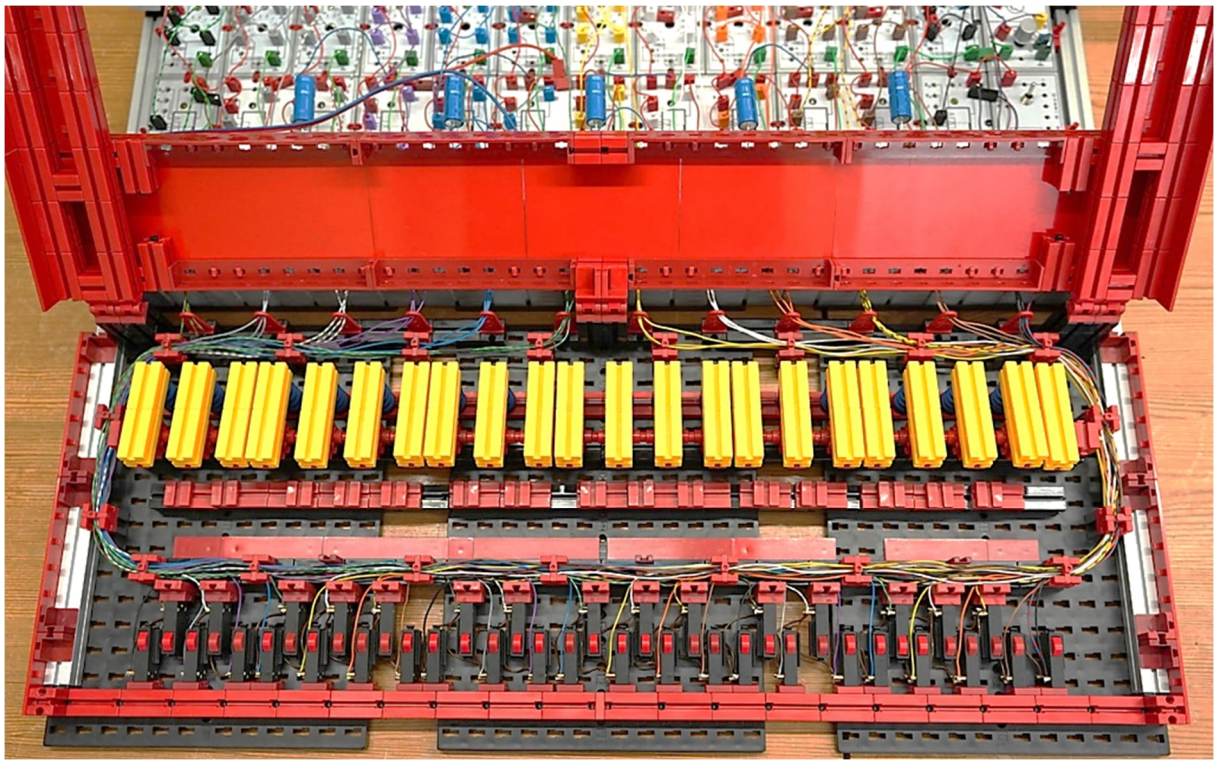


Abb.13: So sieht es unter den Tasten aus: 37 × Mini-Taster (37783) sowie Rollenlager (37636) als Kabelkanal

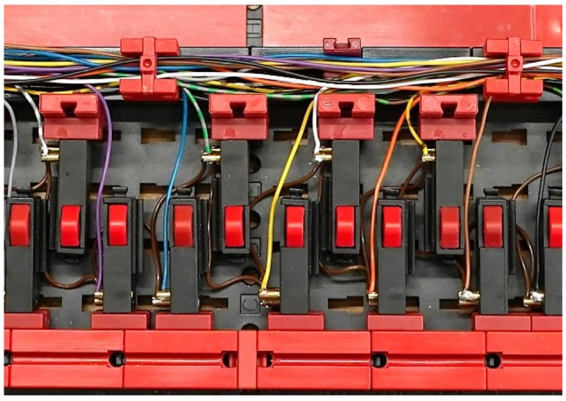


Abb. 14: Begrenzter Platz zwischen den Tastern: Anschlüsse aus 2,5 mm Messingrundprofil

Problem 10: Gehäuse

Ich wollte, dass mein Instrument wie ein Instrument aussieht. Dafür hätte ich die Elektronik unter der Tastatur verbauen können, aber das war nicht die Absicht. Die Elektronik sollte sichtbar bleiben: Genau darum geht es ja in diesem Projekt.

Die Verbindung zur Elektronik erfolgt über die bereits erwähnten 600-mm-Aluminium-profile. Da die Module größer als erwartet ausfielen, konnte ich sie nicht richtig an den 258 mm × 186 mm großen Grundplatten befestigen. Vielleicht montiere ich das Ganze auf einem Holzbrett, um es transportabler zu gestalten.

Wie in Abb. 13 und 16 zu sehen habe ich einen Deckel hergestellt, um das Ganze um die Tasten herum abzudecken.

Problem 11: Lautsprecher

Ich hatte noch keinen Nachbau des Mikrofon-Lautsprecher-Moduls (36394). Ich hätte natürlich das Original einbauen können, aber das würde deplatziert wirken. Auch die Lautsprecherkassette (36936) 60 × 60 × 30 passt nicht, da sie zu breit ist.

Also habe ich meine eigene Version angefertigt: Ein leicht modifiziertes Gehäuse und eine neu gestaltete Abdeckung mit vielen Löchern. Die Leiterplatte und das Gehäuse ließ ich von der chinesischen Firma JLCPCB herstellen.

Ich verwende einen kleinen Breitbandlautsprecher VISATON BF 37 – 8 Ω. Er erwies sich als etwas zu groß. Deshalb musste ich das Gehäuse leicht modifizieren. Der Lautsprecher ist mit acht m2-Schrauben und vier Abstandshaltern an der Leiterplatte befestigt. Da dieser Lautsprecher auch zu hoch war, musste ich ein großes Loch in die Platine schneiden. Das haben die Chinesen aber für mich erledigt. Abschließend habe ich noch eine Frontplatte gefertigt – oder besser gesagt, zwei kleine Frontplatten.

Abb. 15: Der Lautsprecherbaustein. Vier unscharfe Kreise: Der VISATON-Lautsprecher passte nicht ganz. Ich musste sowohl das Gehäuse als auch den Deckel modifizieren.

Zur Lautstärkeregelung benutze ich einen Transistor-Potentiometer-Baustein 36735. Um die Silberlinge nicht zu überlasten, habe ich vor dem Potentiometer einen 10-kΩ-Widerstand eingebaut. In Reihe zum Lautsprecher liegt ein 100-Ω-Widerstand, wie im Handbuch der Elektronik 30253 beschrieben.

Fazit

Ist der Traum wahr geworden? Nein, denn ich weiß nicht mehr genau, wie das Instrument aussah oder aufgebaut war, das ich 1974 bei dem Fischerwerken gesehen habe. Falls jemand etwas weiß, bitte melden und zeigen.

Ich habe hier nur elf Probleme beschrieben, aber man könnte sie durchaus in mehrere kleinere zerlegen.

Mein Instrument lässt sich spielen. Allerdings sollte man kein absolutes Gehör haben: Die Frequenzen, die ich mit den Grundbausteinen erzeugen kann, sind nicht stabil und lassen sich nicht präzise einstellen. Außerdem verzerren alle Lautsprecher, die ich verwendet habe. Wahrscheinlich müsste ich irgendwo ein Filternetzwerk um die Lautsprecher herum aufbauen. Aber wie? Ich habe keine Ahnung…

Auch das Spielen ist ein Erlebnis. Das liegt zum Teil an den verwendeten Tastern. Von den 37 haben keine zwei genau den gleichen Auslösepunkt: Man muss den einen tiefer drücken als den anderen. Dadurch hat man beim schnellen Spielen das Gefühl, einen Ton zu verpassen. Einfache Melodien sind aber durchaus spielbar.

Wie geht es weiter?

In meinem nächsten Beitrag möchte ich zeigen, dass es auch andere Möglichkeiten zur Tonerzeugung gibt. Ich versuche außerdem noch immer herauszufinden, was genau mit dem Grundbaustein nicht stimmt. Es ist komplizierter als gedacht. Obwohl ich eine Lösung gefunden habe, bleibt mir die Ursache ein Rätsel.

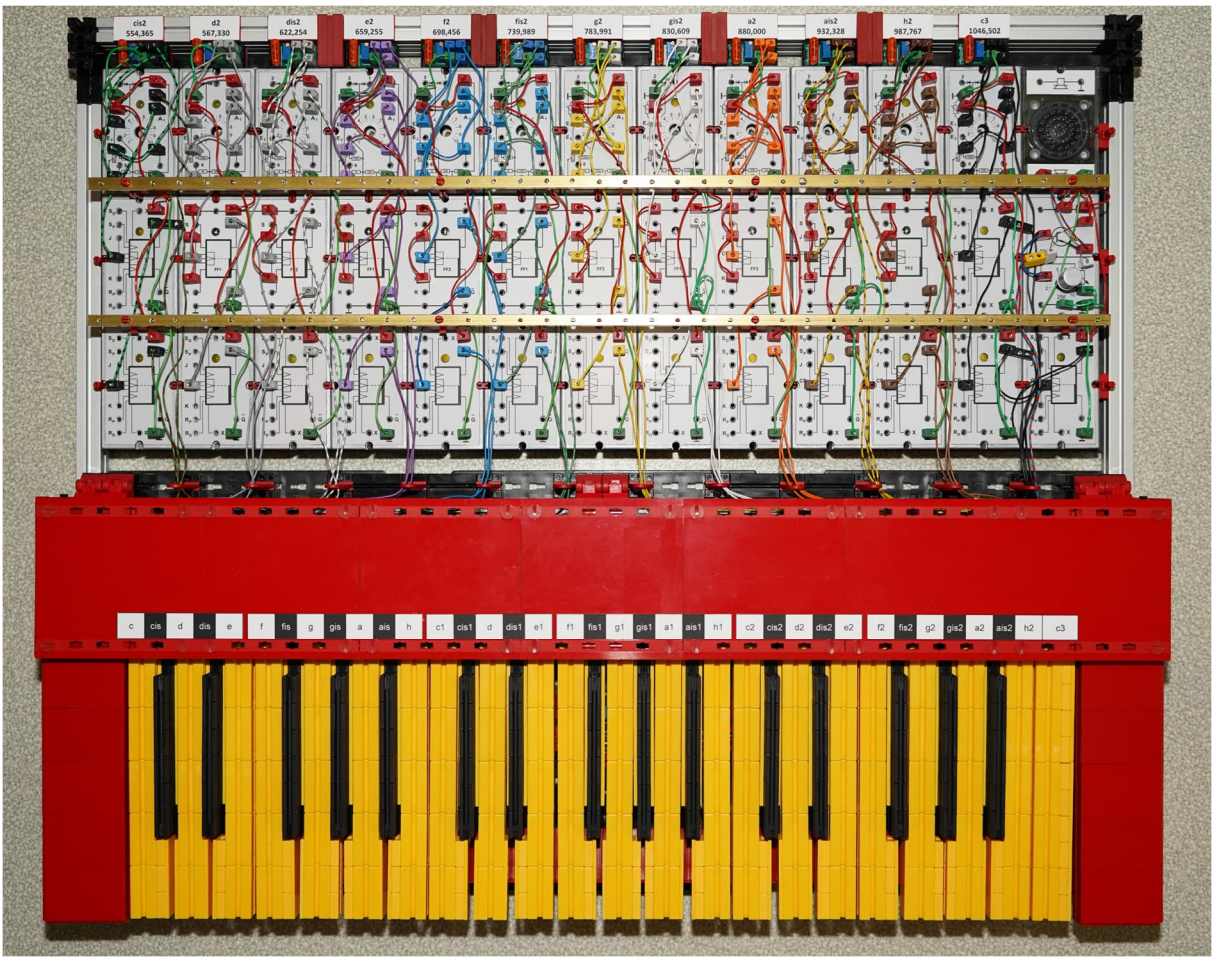


Abb. 16: Endlich fertig: drei Oktaven Musik. Obwohl monophon, bin ich trotzdem froh, dass es geklappt hat

Quellen

[1] fischertechnik: *Clubheft April 1970*.

[2] fischertechnik: *Clubheft 1/1973*.

[3] fischertechnik: *Clubheft 2/1972*.

[4] fischertechnik: *Clubheft 1/1974*.

[5] fischertechnik: *Clubheft 2/1974*.

[6] Conrad Electronic: *Weltron 001045026338 WEL3296-W-502-LF Spindeltrimmer 25-Gang, in-line linear 0.5 W 5 kΩ 9000*.

Elektronik

XOR – Der Silberling, der nie existierte

Arnoud van Delden

Logische Funktionen wie AND und OR sind aus der digitalen Prozesstechnik nicht wegzudenken. Obwohl sie heutzutage einfach in Software umgesetzt werden, regt ihre hardwaretechnische Verwirklichung mit traditionellen Elektronikmodulen weiterhin die Fantasie an. Die von fischertechnik Anfang der 1970er Jahre herausgebrachten Elektronikbausteine mit Logikgattern sind daher regelmäßig in den vielen Prozesssteuerungen in den verschiedenen hobby4-Büchern zu finden. Eine andere, recht spezifische, aber nicht weniger nützliche Boolesche Funktion blieb damals jedoch unerwähnt. Die XOR-Funktion wurde scheinbar als zu wenig universell einsetzbar und zu exzentrisch angesehen und schaffte es nie zu einem eigenen „Silberling". Jetzt, rund fünfzig Jahre später, ist es höchste Zeit, die Silberling-Familie zu vervollständigen!

Wenn wir die integrierten Schaltkreise in modernen Computersystemen ausreichend stark vergrößern, sehen wir, dass sie aus einer Handvoll digitaler Grundfunktionen bestehen. Komplexere Funktionen werden durch die intelligente Verbindung mehrerer, heutzutage zahlreicher, dieser funktionalen Grundbausteine aufgebaut.

Die sieben Grundgatter in der Digitaltechnik sind AND, OR, XOR, NOT, NAND, NOR und XNOR. Es handelt sich um elektronische Bauteile, die auf der Grundlage des Musters von logischen Nullen oder Einsen an ihren binären Eingängen ein einziges binäres „aktives" (1) oder „inaktives" (0) Ausgangssignal erzeugen. Sie bilden die Bausteine für komplexere digitale Schaltungen wie Latches, Flip-Flops und Addierer.

Die Basis bilden drei logische Gatter:

- AND-Gatter: gibt nur dann 1 aus, wenn alle Eingänge 1 sind.
- ODER-Gatter: gibt 1 aus, wenn mindestens einer der Eingänge 1 ist.
- NICHT-Gatter (Inverter): kehrt den Eingang um; gibt 0 aus, wenn der Eingang 1 ist, und 1, wenn der Eingang 0 ist.

Darüber hinaus erwies es sich unter anderem für binäre Rechenoperationen als sinnvoll, diese durch eine logische Funktion zu ergänzen, die dem OR-Gatter sehr ähnlich ist, sich jedoch davon unterscheidet:

- XOR-Gatter (Exklusives ODER): gibt bei zwei Eingängen nur dann 1 aus, wenn diese unterschiedlich sind. Bei mehreren Eingängen kann das Verhalten abweichen (dies wird weiter unten in diesem Artikel erläutert). Siehe Tabelle in Abb. 3.

In der sogenannten Booleschen Algebra, die mit den Gattern betrieben werden kann, ist es manchmal praktischer, über Gatter zu verfügen, deren Ausgangssignal invertiert ist. Oder anders gesagt: Bereits am Ausgang ist ein zusätzliches NOT-Gatter eingebaut:

- NAND-Gatter: Das Gegenteil des AND-Gatters; gibt nur dann 0 aus, wenn beide Eingänge 1 sind.
- NOR-Gatter: Das Gegenteil des OR-Gatters; gibt nur dann 1 aus, wenn beide Eingänge 0 sind.
- XNOR-Gatter (Exclusive NOR): Das Gegenteil des XOR-Gatters; gibt 1 aus,

wenn die Eingänge gleich sind. Siehe Tabelle in Abb. 3.

Diese logischen Funktionen bilden die Grundlage aller digitalen Systeme. Durch die intelligente Verknüpfung vieler dieser Basis-Gatter lassen sich nahezu alle komplexen Funktionen realisieren.

Elektronisch ausgeführt ermöglichen sie einfache Taschenrechner bis hin zu komplexen Computern. Aber wir finden die Funktionen auch in einfacher Schalttechnik und sogar mechanisch realisiert. In der ft:pedia wurden bereits mechanische Varianten dieser Logikgatter beschrieben [1, 4].

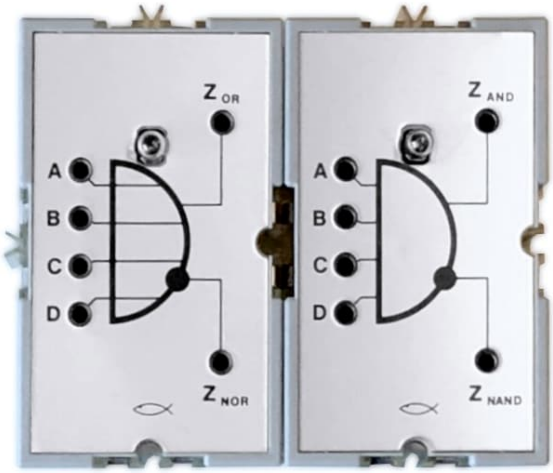


Abb. 1: „Silberlinge“ h4 ON und h4 AN

Diese Grundfunktionen finden sich auch in Schaltplänen mit Relaiskontakten oder einfachen Tastern, wie in Abb. 2 dargestellt [16]. Wenn wir eine Lampe mit zwei Tastern in Reihe anschließen, entsteht eine UND-Funktion, denn beide Taster müssen geschlossen sein, bevor die Lampe leuchtet. Wenn wir die Schalter parallel schalten, wird die Lampe nach einer ODER-Funktion gesteuert. Die XOR-Funktion ist uns allen bekannt: Denkt nur an die beiden Taster, mit denen wir in einem Treppenhaus eine einzige Lichtquelle bedienen können.

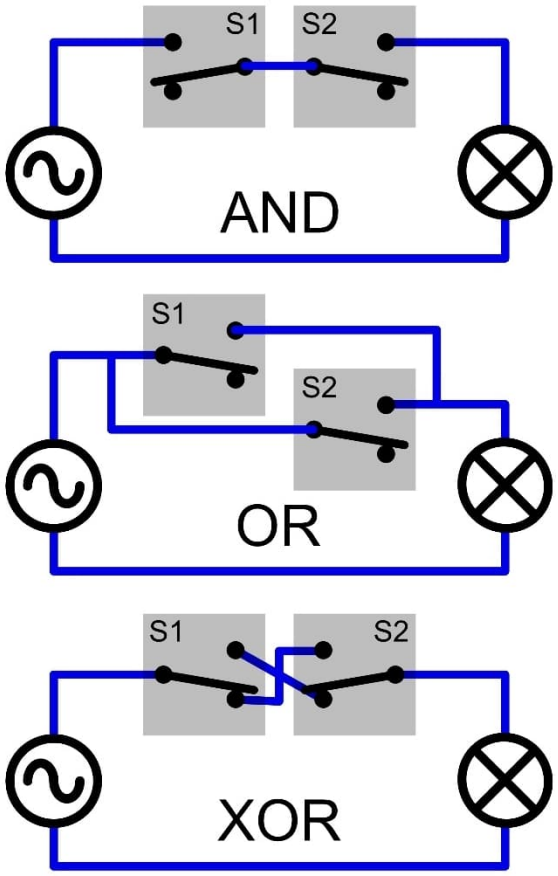


Abb. 2: AND-, OR- und XOR-Funktion mit Tastern

Anfang der 1970er Jahre brachte fischertechnik zwei digitale Funktionen als Elektronikmodule auf den Markt. In Abb. 1 sind der „h4 ON Elektronik-Baustein“ (OR/NOR, 36481 [2]) und der „h4 AN Elektronik-Baustein“ (AND/NAND, 36482 [3]) zu sehen. Bei beiden handelt es sich um Logikgatter mit vier Eingängen in sogenannter negativer Logik. Praktisch ist, dass das AND auch ein NAND ist und das OR auch als NOR verwendet werden kann, da sowohl der normale als auch der invertierte Ausgang (NOT) zur Verfügung stehen. Dadurch war nie ein separater NOT-„Silberling“ erforderlich. Durch die Anwendung der De-Morgan-Gesetze lässt sich nämlich immer die gewünschte digitale Funktion erzielen, selbst wenn eigentlich lieber die komplementären Eingangssignale verwendet würden [4].

Das wundersame XOR

Ein XOR-Silberling wurde von fischertechnik nie hergestellt, obwohl er bei der elektronischen Regelschaltung für Ampeln, wie in hobby4, Band 3 beschrieben [5] (näher erläutert in hobby4, Band 5 [6]), gute Dienste geleistet hätte. Die Ausgänge beider Grundbausteine durchlaufen dabei vier einzigartige Ausgangskombinationen. Ein XOR-Gatter hätte sich hervorragend dazu geeignet, die Phasen zu erkennen, in denen die gelben Lampen leuchten sollten [7].

A	B	XOR	XNOR
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Abb. 3: Wahrheitstabelle der XOR- und XNOR-Funktion für zwei Eingangssignale A und B

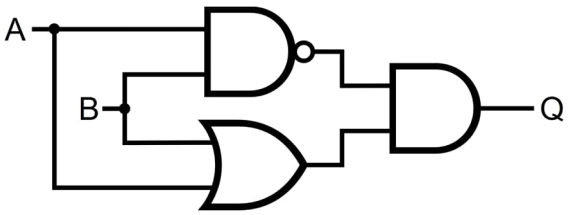
Allgemeiner lässt sich feststellen, dass die XOR-Funktion im Bereich der Prozessautomatisierung nützlich ist, um mögliche Unterschiede zwischen zwei Signalen zu erkennen. Beispielsweise kann ein Alarm ausgelöst werden, wenn ein Sensor eine Abweichung von der konfigurierten Einstellung feststellt.

In der Digitaltechnik wird die XOR-Funktion sowohl elektronisch als auch in Software häufiger verwendet und hat verschiedene Anwendungsbereiche. Hier einige Beispiele:

- Fehlererkennung und -korrektur: XOR-Gatter werden in Algorithmen zur Fehlererkennung und -korrektur verwendet, beispielsweise zur Ermittlung von Paritätsbits von Prüfsummen.
- Verschlüsselung: XOR-Gatter werden, aufgrund ihrer Eigenschaft dass *(a XOR b) XOR b = a* gilt, für Verschlüsselung verwendet. Das bedeutet, dass die ursprünglichen Daten *(a)* wiederhergestellt werden können, indem die verschlüsselten Daten *(a XOR b)* erneut mit dem Schlüssel *(b)* XOR-verknüpft werden. Diese symmetrische Eigenschaft macht XOR zu einer effizienten und häufig verwendeten logischen Operation für die Ver- und Entschlüsselung.
- Arithmetische Operationen: XOR-Gatter können verwendet werden, um bestimmte arithmetische Operationen auszuführen, wie z. B. die Berechnung der Summe zweier Binärzahlen (ohne Berücksichtigung des Übertrags).

Das zusammengesetzte XOR

Abb. 4 zeigt eine der Möglichkeiten, wie die XOR-Funktion aus anderen Logikgattern aufgebaut werden kann. Es werden ein NAND-Gatter (oder ein AND-Gatter gefolgt von einem NOT/Inverter), ein OR-Gatter und ein AND-Gatter verwendet.



$$Q=(A+B)\cdot(\bar{A}+\bar{B})$$

Abb. 4: XOR aufgebaut aus NAND, OR und AND (dargestellt mit ANSI-Symbolen)

Da kein XOR-Silberling existiert, können wir die XOR-Funktion einfach aus diesen drei Silberlingen aufbauen, wie in Abb. 5 dargestellt. Der Aufbau, bei dem die beiden Eingangssignale mit Polwendeschalter (31331) eingegeben werden können, ist in Abb. 6 zu sehen.

Obwohl die XOR-Funktion also mit vorhandenen Bauteilen aus dem (ehemaligen) fischertechnik-Programm hergestellt werden kann, ist dies in Schaltungen, in denen mehrere XOR-Gatter erforderlich sind, natürlich nicht sehr effizient. Dieser Mangel veranlasste mich zu untersuchen, welche

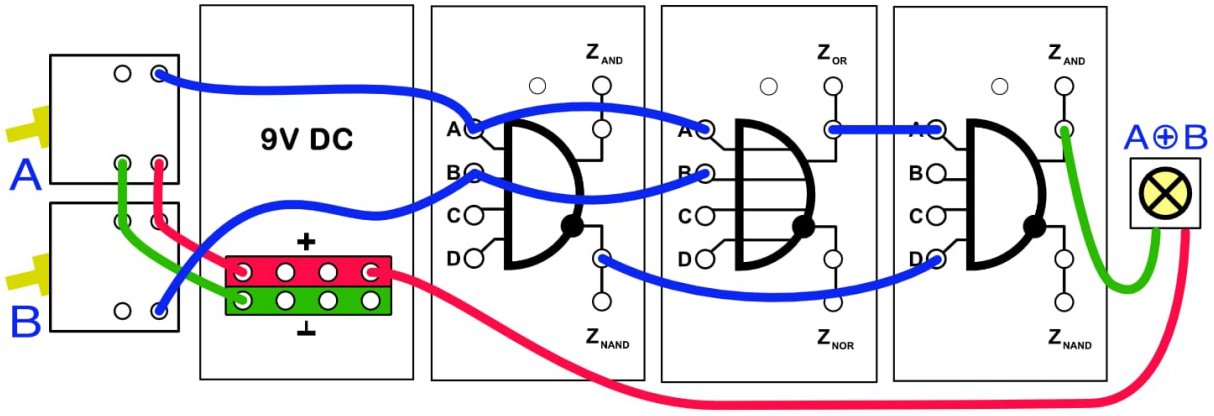


Abb. 5: XOR/XNOR aus drei anderen grundlegenden Logikgattern

Möglichkeiten es gibt, das bekannte klassische Silberling-Arsenal um diese nützliche logische Funktion zu erweitern.

Ein XOR mit vier Eingängen

Wenn wir wirklich einen XOR-Silberling erschaffen wollten, der so gut wie möglich zu den bekannten AN- (AND-NAND) und ON- (OR-NOR) Elektronikbausteinen passt, würden vermutlich folgende Anforderungen gestellt werden:

- Das Modul müsste, genau wie die AN- und ON-Module, mit sogenannter negativer Logik arbeiten (der Versorgungsspannungspegel gilt als logisch „inaktiv“

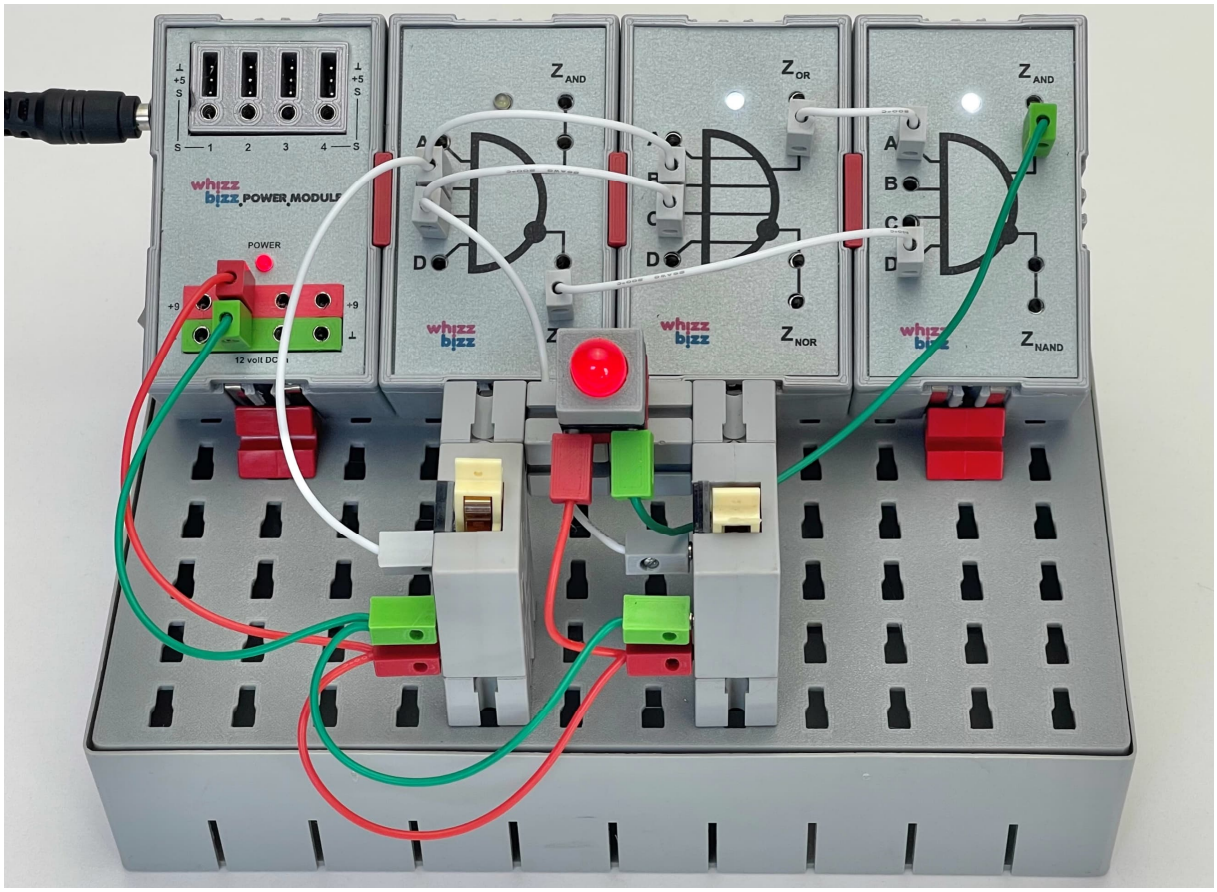


Abb. 6: XOR-Gatter aus drei Silberlingen

und der Nullpegel als logisch „aktiv“) und die Ausgänge müssten elektrisch kompatibel sein, damit es nahtlos mit den originalen fischertechnik-Silberlingen zusammenarbeiten kann.

- Analog zu den AN- und ON-Logikgattern müsste es neben dem normalen XOR-Ausgang auch das komplementäre (entgegengesetzte) Ausgangssignal bieten.
- Das Modul muss aus diskreten Bauteilen wie Widerständen, Dioden und Transistoren aufgebaut sein, entsprechend dem elektronischen Aufbau der traditionellen Module.
- Es sollte in das bekannte Silberling-Gehäuse eingebaut sein, wobei die Versorgungsspannung mit dem roten Durchgangsclip (36380) durchgeschleift werden kann, damit es zusammen mit den klassischen Silberlingen verwendet werden kann.
- Um historisch korrekt zu sein, sollte als Symbol auf der Vorderseite das damals übliche Symbol (deutsche Norm DIN 40700) für das XOR verwendet werden und nicht das spätere ANSI- oder das noch modernere IEC-Symbol.
- Es ist abzuwägen, ob dieses Modul entsprechend den AN- und ON-Logikgattern vier Eingänge haben sollte oder ob zwei Eingänge ausreichen.

Der letzte Punkt bedarf möglicherweise einer Erläuterung, da sich die XOR-Funktion von den elektronisch leicht mit mehreren Eingängen erweiterbaren AND- und OR-Silberlingen unterscheidet. Solange ein XOR nur zwei Eingänge hat (siehe Tabelle in Abb. 3), ist die Funktion eindeutig definiert. Anders verhält es sich, wenn ein XOR-Gatter mehr als zwei Eingänge hat. Dann gibt es nämlich mehrere Möglichkeiten für das logische Verhalten:

- Durch die Verwendung des Ausgangs eines XOR-Gatters mit zwei Eingängen als Eingang eines nachfolgenden XOR-Gatters kann pro zusätzlichem XOR-Gatter in dieser Kette jeweils ein XOR-Eingang hinzugefügt werden. Diese serielle Schaltungsweise bildet ein sogenanntes Paritäts- oder „ungerades“ XOR. Der Ausgang ist aktiv, wenn eine ungerade Anzahl von Eingängen aktiv ist, und inaktiv bei einer geraden Anzahl von aktiven Eingängen. Das Elektronikmodul (152063) von „Profi Electronics“ (152981) kann beispielsweise als ein solcher XOR mit drei Eingängen verwendet werden.
- Ein weniger gebräuchliches Verhalten, das meiner Meinung nach jedoch dem Begriff „exklusiv“ besser entspricht, ist, dass das XOR nur dann ein aktives Ausgangssignal hat, wenn nur genau ein Eingangssignal aktiv ist. Sobald zwei oder mehr Eingangssignale aktiv sind, ist nämlich kein Eingangssignal mehr als einziges (exklusiv) aktiv, und der Ausgang müsste daher inaktiv werden. Diese Art von XOR ist in manchen Situationen tatsächlich sinnvoll und wird als „One-Hot“-XOR bezeichnet.

Um gut zu den klassischen AND- und OR-Silberlingen zu passen müsste das Design idealerweise vier Eingänge haben. Es ist jedoch schwierig zu bestimmen, welches der oben beschriebenen Verhaltensweisen vorzuziehen ist, um das Modul universell einsetzbar zu halten. Das Verhalten ist nämlich später nicht mehr konfigurierbar. Hinzu kommt, dass das elektronische Design eines XOR-Gatters mit vier Eingängen in Bezug auf den elektronischen Aufbau eine ganz andere Herausforderung darstellt als die AN- und ON-Logikgatter von fischertechnik. Denn diese Module lassen sich durch Dioden für die „Wired Logic“ [8] am Eingang leicht und unbegrenzt um zusätzliche Eingänge erweitern. Die Realisierung einer XOR-Funktion mit mehreren Eingängen ist jedoch elektronisch wesentlich komplizierter.

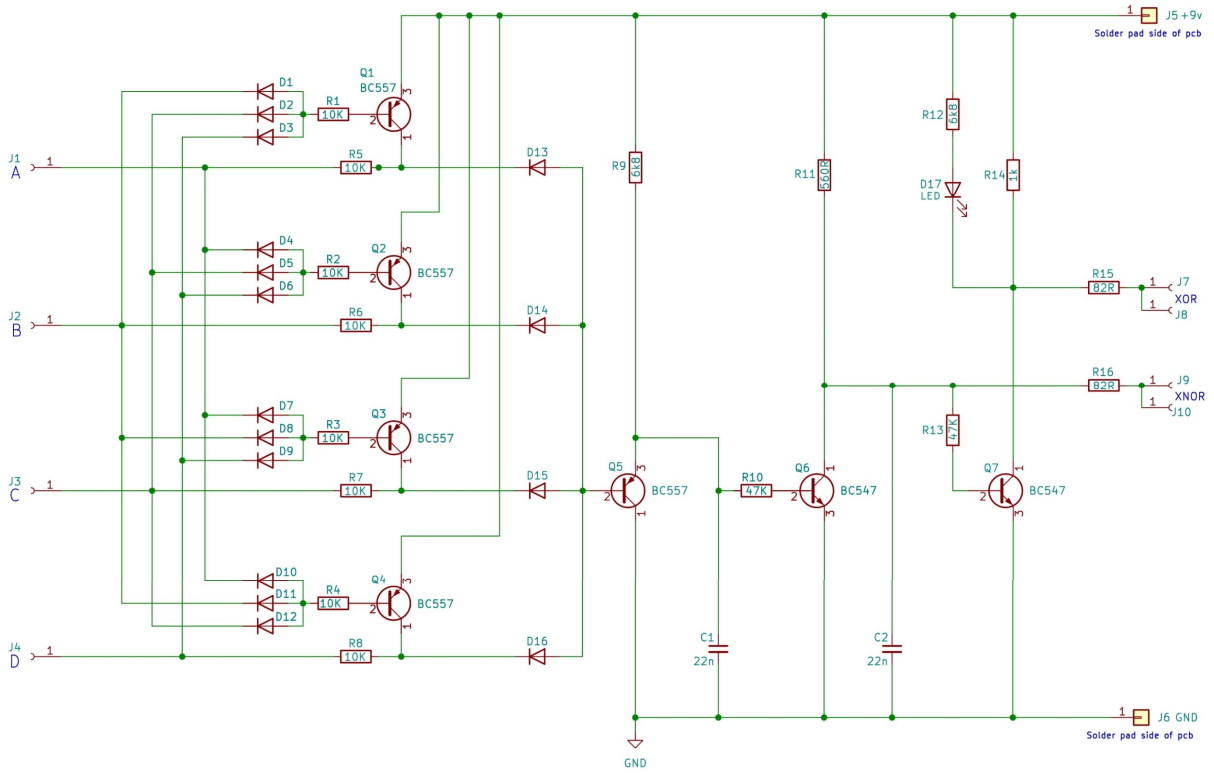


Abb. 7: Schaltplan eines „One-Hot“-XOR mit vier Eingängen

Abb. 8: Ein XOR-Silberling mit vier Eingängen kann bestimmt hergestellt werden!

Nach einigem Tüfteln, Simulieren [9] und Experimentieren sowie dem Testen von (Teil-)Schaltungen auf einem Steckbrett gelang es mir schließlich, funktionierende Schaltungen mit beiden XOR-Schaltverhalten zu entwickeln. Dabei stellte sich heraus, dass der Entwurf eines Paritäts-XOR etwa genauso komplex war wie der Entwurf eines „One-Hot“-XOR mit vier Eingängen.

Das Paritäts-XOR hat dabei ein eher sequenzielles Schaltbild aus gleichen XOR-Skalierungen mit zwei Eingängen. Das „One-Hot“-XOR besteht dagegen aus einer Reihe parallel geschalteter OR-Gatter, die jeweils alle anderen OR-Gatter blockieren, wenn der betreffende Eingang aktiv wird.

Es fehlt hier der Platz, um ausführlich auf alle Entwicklungsschritte und Schemata einzugehen. Deshalb beschränke ich mich (für die Interessierten) auf das Schema des „One-Hot“-XOR aus Abb. 7, das zu dem in Abb. 8 gezeigten XOR-Silberling mit vier Eingängen führte. Sobald dieser jedoch entwickelt war, wurden auch die Einschränkungen erkennbar. Zunächst einmal scheint der Nutzen von zwei zusätzlichen Eingängen begrenzt zu sein. Aber noch wichtiger ist vielleicht, dass man sich dadurch für eines der beiden verschiedenen XOR-Prinzipien entscheiden muss. Bei einem XOR-Gatter mit nur zwei Eingängen muss diese

Entscheidung nicht getroffen werden. In der Praxis werden daher XOR-Gatter mit nur zwei Eingängen universeller einsetzbar sein.

Binäre Bits addieren

Wenn wir die (zwei) Eingangssignale des XOR als binäre „Bits“ [10] betrachten, können wir mit der XOR-Funktion Zahlen addieren. Dazu erstellen wir einen sogenannten „Half Adder“ („Halbaddierer“), mit dem die „Bits“ A und B addiert werden können. Das Ergebnis ist das Ausgangssignal S.

A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Abb. 9: Wahrheitstabelle eines Halbaddierers

Wenn sowohl A als auch B jeweils den Wert 1 (die Dezimalzahl 1) haben, passt die Antwort (die Zahl 2) nicht mehr in ein einzelnes Binärzeichen. Dann wird ein zweites Binärbit (der Übertrag) benötigt. Dies ist das Ausgangssignal C, das das sogenannte *Carry-Bit* darstellt. Diese Addition von zwei Bits zu Summe und Übertrag ist in der Tabelle in Abb. 9 dargestellt. Darin ist leicht zu erkennen, dass die S-Antwort mit einem XOR-Gatter erzeugt werden kann, während für das Übertragsbit ein AND-Gatter ausreicht. Dies können wir (mit den sogenannten ANSI-Symbolen) wie in Abb. 10 darstellen.

Mit einem Halbaddierer können wir jedoch nur die beiden Bits an einer Binärposition addieren. Besser wäre es, wenn wir auf der Eingangsseite auch das Übertragsbit nutzen könnten. Dann wäre es möglich, mehrere dieser Addierer miteinander zu verbinden und jedes Mal das ausgehende Übertrag-Bit als zusätzliche Eingabe für die nächste Bitposition zu verwenden. Einen solchen natürlich etwas umfangreicheren Addierer bezeichnen wir als Volladdierer.

Schematisch ist dieser in Abb. 11 dargestellt. Wer weitere Informationen zum Addieren von Binärzahlen sucht, findet online zahlreiche Informationen dazu [11, 12].

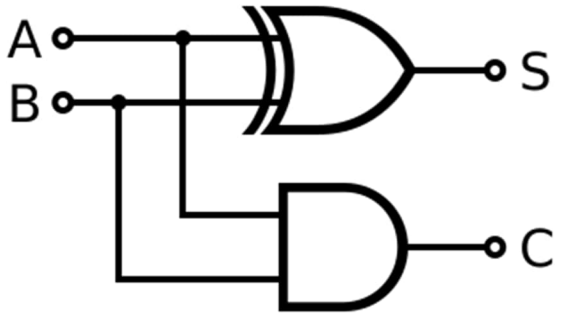


Abb. 10: Halbaddierer aus einem XOR- und einem AND-Gatter

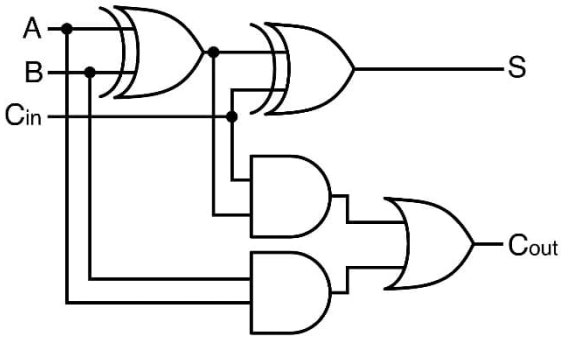


Abb. 11: Binärer Volladdierer mit zwei XOR-, zwei AND-Gattern und einem OR-Gatter

Nur zwei Eingänge erforderlich

Wenn wir mehr Bitpositionen addieren möchten, beispielsweise zwei Vier-Bit-Zahlen, benötigen wir die Schaltung aus Abb. 11 mehrfach. Beim Addierer für die niedrigstwertige erste Bitposition wird C_{in} nicht verwendet, daher reicht hierfür ein Halbaddierer (Abb. 10) aus. Die folgenden drei Volladdierer, die die drei höherwertigen Bitpositionen darstellen, werden jeweils mit dem C_{out} jedes vorangehenden niedrigwertigen Addierers als C_{in} verbunden. Vom letzten und höchstwertigen Volladdierer wird der C_{out} einfach als fünftes Bit interpretiert.

Mit jeder vierstelligen Eingangszahl können Binärwerte von 0 (binär 0000) bis einschließlich 15 (binär 1111) dargestellt werden. Für die maximale Antwort, die Dezimalzahl 30 (binär 11110), sind also fünf Bitpositionen erforderlich: die vier S-Bits und das letzte C_{out}.

Wenn wir für einen Vier-Bit-Addierer einen Halbaddierer und drei Volladdierer verwenden, wären dafür sieben XOR-Gatter, sieben AND-Gatter und drei OR-Gatter erforderlich. Dabei reichen bei jedem dieser Module zwei Eingänge aus.

Hätten wir das XOR aus Abb. 8 als „Paritäts-XOR“ mit vier Eingängen ausgeführt, hätten wir dieses verwenden können, doch die beiden AND-Gatter lassen sich nicht durch ein AND-Gatter mit vier Eingängen ersetzen. Auch hier sind XOR- und AND-Module mit nur zwei Eingängen am flexibelsten.

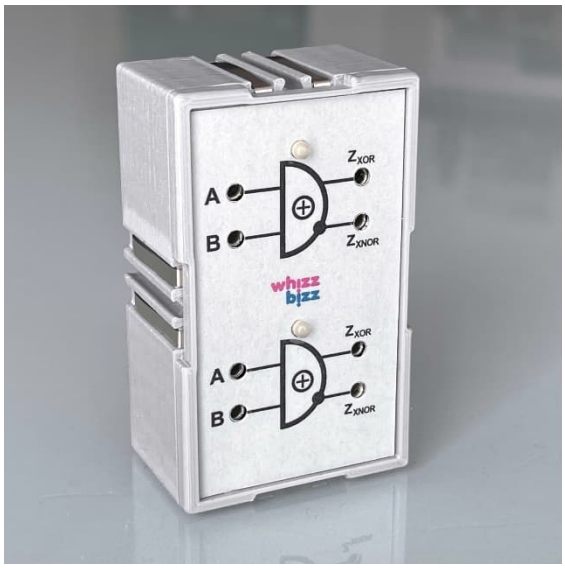


Abb. 12: Ein doppelt ausgeführtes XOR mit zwei Eingängen

Abb. 12 zeigt das Ergebnis des Eigenbaus gemäß dem Schaltplan in Abb. 14. Und wenn wir schon dabei sind, wäre es vielleicht eine gute Idee, auch eine Variante des AND-Moduls zu haben, bei der zwei AND-Gatter mit jeweils zwei Eingängen in einem Silberling-Gehäuse untergebracht sind.

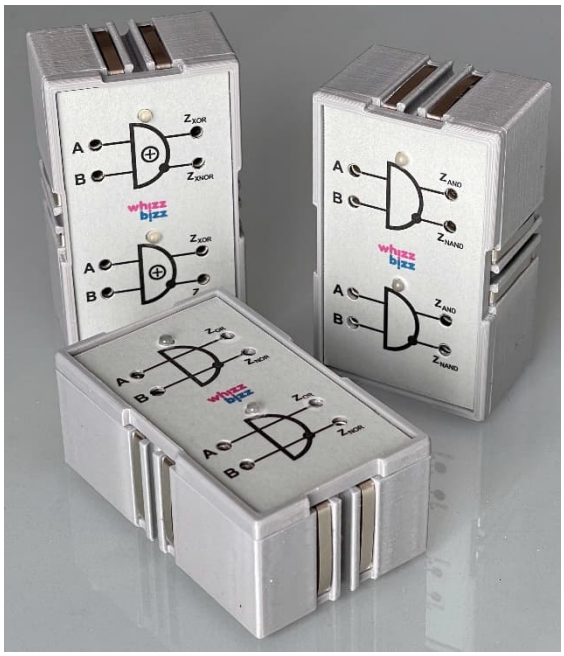


Abb. 13: Doppelt ausgeführte Logikgatter mit jeweils zwei Eingängen

So gedacht, so gemacht. Unter idealen Bedingungen wären daher die stehenden Selbstbaumodule in Abb. 13 sehr gut geeignet, um mit einer minimalen Anzahl von Modulen einen Vier-Bit-Zähler zu bauen. Das liegende doppelte OR-Gatter mit zwei Eingängen ist nicht unbedingt erforderlich. Schließlich können auch zwei Eingänge des originalen fischertechnik-OR-Moduls verwendet werden. Sobald jedoch eine Leiterplatte für das doppelte AND-Modul entwickelt wird, ist dies ein schöner „Nebeneffekt“, der sich immer wieder als platzsparend erweisen kann. Denn auch für die meisten Modelle aus den hobby4-Büchern reichen Logikgatter mit nur zwei Eingängen aus.

Für den Schaltplan der doppelten OR- und AND-Module wird auf die vorhandene Dokumentation verwiesen [13]. Die Schaltung ist einfach doppelt aufgebaut und in einem Silberling-Gehäuse untergebracht. Abb. 14 zeigt den Schaltplan des doppelten XOR-Gatters, zu dem ich nach einigen Experimenten gelangt bin. Die doppelte Ausführung ist hier schematisch deutlich zu erkennen.

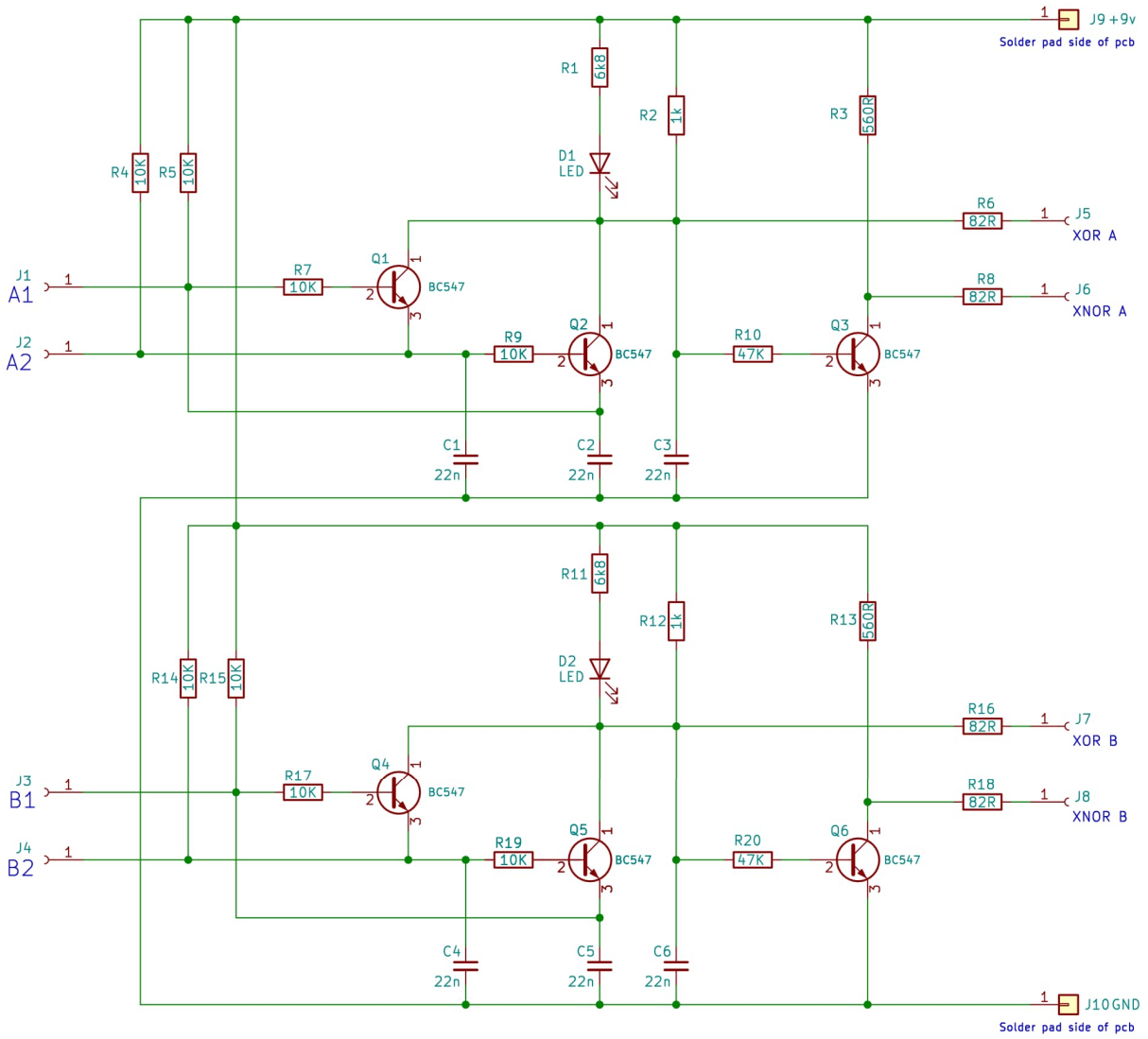


Abb. 14: Schaltplan des doppelt ausgeführten XOR

Ein 4-Bit-Volladdierer

Nachdem genügend Module gebaut waren, durfte natürlich ein ausführliches Experiment nicht fehlen. Deshalb baute ich den zuvor erwähnten Volladdierer für vier Bits. Die „Bits“ der beiden Zahlen werden mit acht Polwendeschaltern eingegeben. Die binäre „Ausgabe“ der addierten Zahl erfolgt über fünf große LEDs im Standard-Leuchtstein (38217). Ich habe dafür „Störlichtkappen“ mit der richtigen Öffnung (10 mm) gedruckt. In Abb. 15 ist der komplette Schaltplan dargestellt, in dem die neu entwickelten Silberlinge eine wichtige Rolle spielen.

Der realisierte Vier-Bit-Volladdierer ist in Abb. 17 zu sehen. Von den ersten beiden Modulen (dem Halbaddierer) werden nicht alle Eingänge verwendet. Um die Kontroll-LED des ungenutzten AND-Eingangs zu löschen, genügte es, die Versorgungsspannung an einen Eingang davon anzulegen.

Für den Anschluss der Versorgungsspannung habe ich mit einer alten Idee experimentiert. Durch die Aufnahme der Federkontakte aus einem Drehschalter (31312) in einen 3D-gedruckten Baustein (Abb. 16) lassen sich alle Silberlinge auf der Bauplatte einfach mit Strom versorgen und die Verteilung der Versorgungsspannung auf

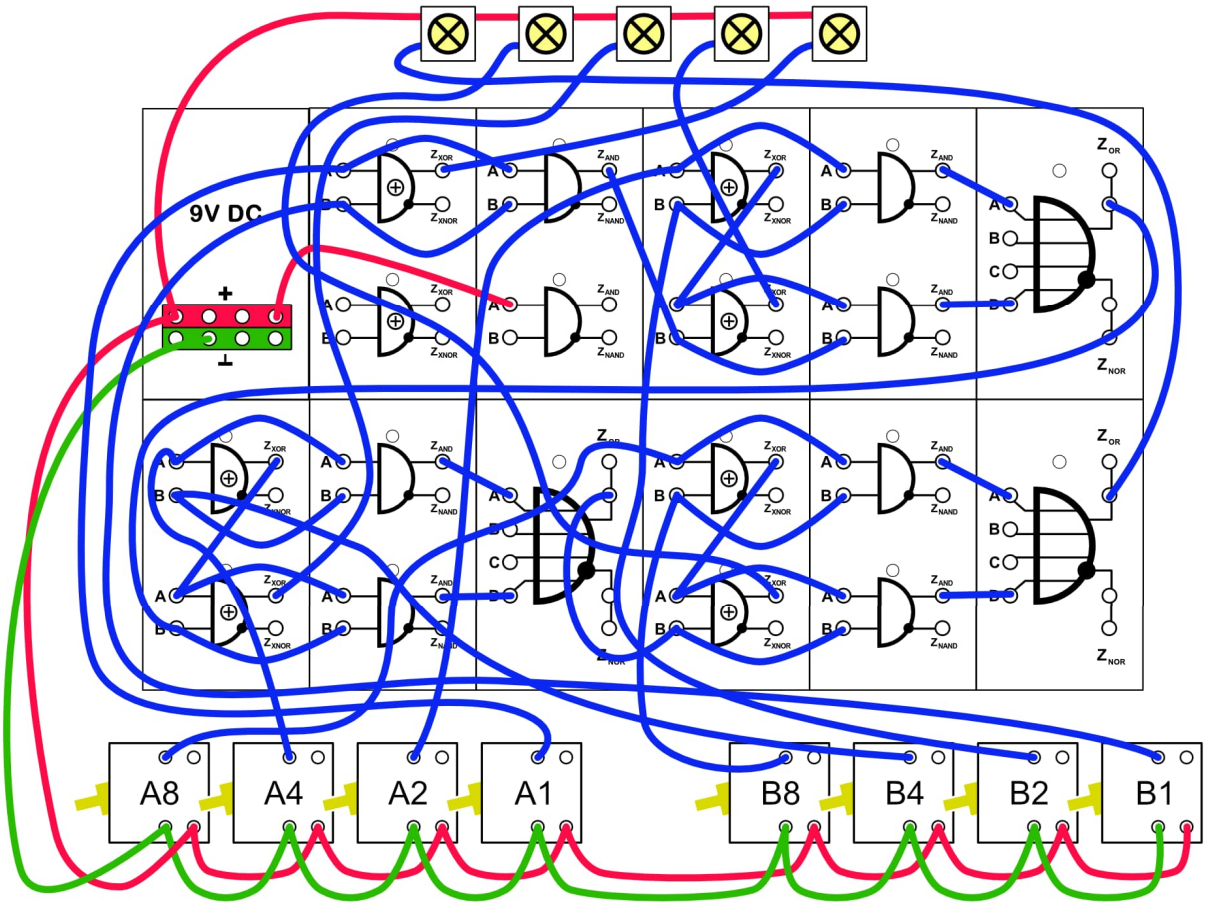


Abb.15: Ein Vier-Bit-Volladdierer, aufgebaut aus Silberlingen, die fischertechnik nie hergestellt hat

Abb. 17: Volladdierer, mit dem zwei Vier-Bit-Zahlen addiert werden können

die LEDs und Schalter optimieren. Dennoch neigen solche Silberlingen-Panels natürlich genauso dazu, wie ein Teller Spaghetti auszusehen.

Abb. 16: Minimalistische DC-Anschlüsse für Silberlinge auf Bauplatten

Fazit

Es war interessant, die faszinierende XOR-Funktion zunächst aus vorhandenen fischertechnik-Silberlingen aufzubauen und später als selbstgebautes Modul endgültig in das „Arsenal“ aufzunehmen. Wer, wie ich, noch immer eine Vorliebe für das Experimentieren mit Elektronikmodulen hat, kann damit interessante und lehrreiche Projekte realisieren.

Weitere Informationen findet ihr auf den Projektseiten meiner Website [14, 15]. Bei ausreichendem Interesse an den neuen Silberlingen werde ich diese sicherlich in die Reihe der funktionalen Nachbau-Bausätze der originalen Silberlinge aufnehmen, die über meine Website erhältlich sind.

Wer viele Silberlinge besitzt (oder selbst baut), hat schnell zu wenige rote Verbin-

dungsclips (36380). Nach einigen fehlgeschlagenen Experimenten habe ich inzwischen eine sehr brauchbare Methode gefunden, diese selbst herzustellen. In Abb. 17 wurde (unsichtbar, denke ich) eine Mischung aus Original- und selbstgebauten roten Clips verwendet. Wer sich die Mühe machen möchte und einen 3D-Drucker (sowie 3 mm breite und 0,1 mm dicke Metallstreifen) besitzt, lade ich ein, meine Idee einmal auszuprobieren [17].

Quellen

[1] Thomas Püttmann: *Konrad Zuses mechanische Logikgatter*. ft:pedia 1/2023, S. 8–12.

[2] fischertechnik: *Elektronik-Baustein h4ON OR-NOR*. ft-datenbank.de.

[3] fischertechnik: *Elektronik-Baustein AN AND-NAND*. ft-datenbank.de.

[4] Arnoud van Delden: *Logikgatter – elektronisch und mechanisch*. ft:pedia 4/2022, S. 25–37.

[5] fischertechnik: *Steuerung einer Verkehrsampel.* In *hobby4 Band 3*, S. 58.

[6] fischertechnik: *Elektronische Taktgeber.* In *hobby4 Band 5*, S. 70.

[7] Arnoud van Delden: *Ampelschaltungen*. ft:pedia 3/2024, S. 49–62.

[8] Wikipedia: *Wired logic connection*. Englischsprachige Seite mit Erläuterungen zur Erstellung logischer Funktionen mit Dioden.

[9] EveryCircuit: Um Schaltungen während der Entwicklungsphase schnell zu simulieren, nutze ich häufig den Online-Simulator auf https://everycircuit.com/.

[10] Wikipedia: *Dualsystem*.

[11] Wikibooks: *Digitale Schaltungstechnik/Addierer*.

[12] Wikipedia: *Volladdierer*.

[13] Peter Krijnen: *Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 7)*. ft:pedia 2/2022, S. 87–100.

[14] Arnoud van Delden: *The logical XOR function*.

[15] Arnoud van Delden: *Adding bits*.

[16] Stefan Falk: *Motorsteuerungen (5): Schrittschaltwerke mit Wechselschaltung oder: Die Macht des XOR*. ft:pedia 1/2019, S. 37–46.

[17] Arnoud van Delden: *Connection clip for vintage fischertechnik modules*. thingiverse.com.

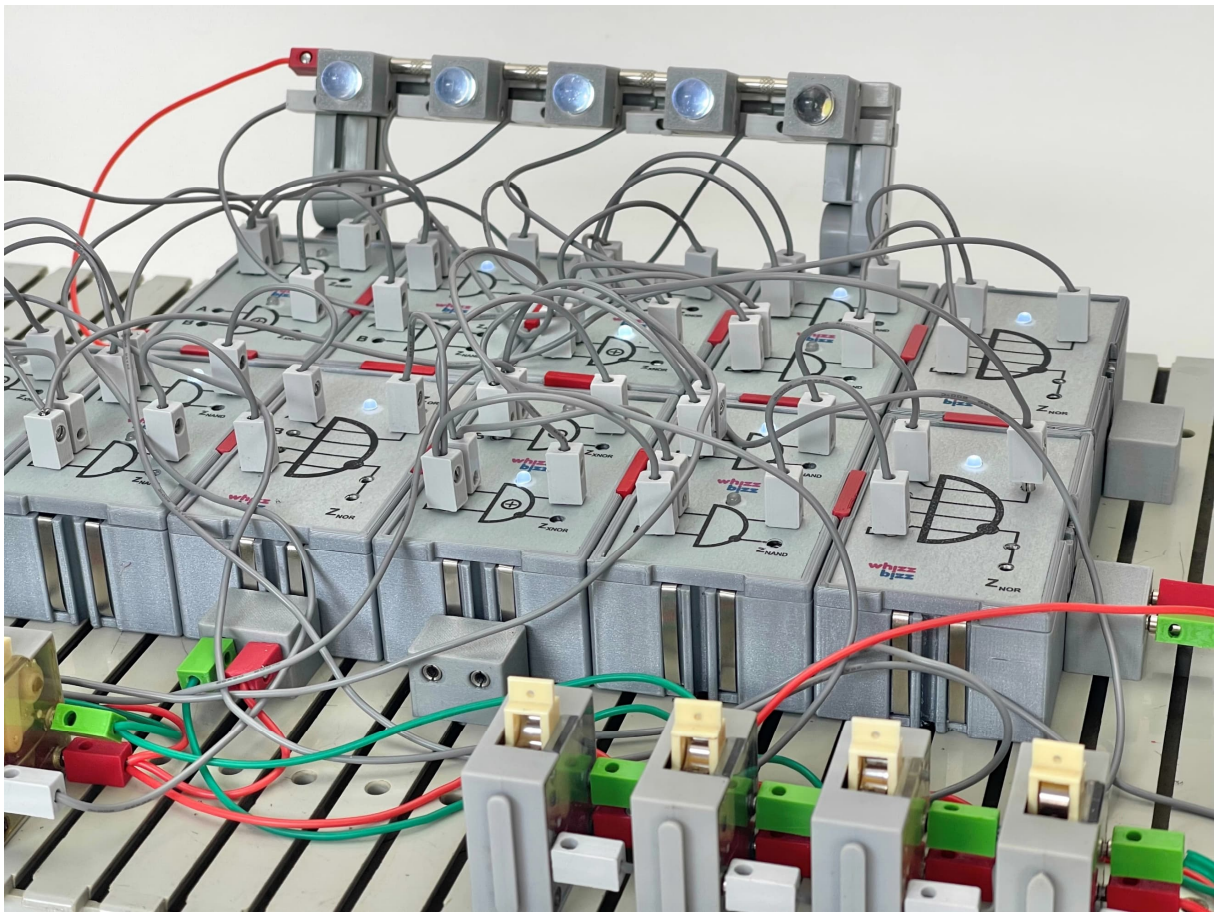


Abb. 18: Die maximale Summe der beiden Eingangswerte (15) wird angezeigt: binär 11110 (30)

Modell

Wiederherstellung eines „Plan & Simulation“-Fließbandmodells

Jeroen Regtien

Dieser Beitrag beschreibt die Wiederherstellung eines alten fischertechnik „Plan & Simulation“-Fließbandmodells, das Teil eines Konvolut-Ankaufs war. Es besteht aus einer Zuführstation, die mit zwei parallelen Bändern ausgerüstet ist, gefolgt von einer Bohrmaschine, einer Mehrspindelmaschine und einer Fräsmaschine. Am Ende befindet sich ein Drehteller, der die Werkstücke herausdrehen kann. Oben befindet sich ein Portalkran, um die Werkstücke mit einem Magneten aufzunehmen und zurück zum Anfang der Produktionslinie zu transportieren.

Einleitung

In den 1980er Jahren entwickelte fischertechnik eine Produktlinie namens „Plan & Simulation“, die sich an die Fertigungsindustrie richtete. Bevor eine Investitionsentscheidung für den Bau einer großen Fabrik oder Produktionsstätte getroffen wird, sollte ein Unternehmen das Risiko der Investition verringern, indem es prüft, ob die Fabrik in der beabsichtigten Weise funktionieren wird, beispielsweise ob Produktionslinien und Ressourcenallokation optimiert sind. Heutzutage wird dies oft durch digitale 3D-Simulationsmodelle, sogenannte digitale Zwillinge, erledigt, aber vor vierzig bis fünfzig Jahren war dies unmöglich, und die einzige realistische Lösung bestand darin, maßstabsgetreue Modelle zu entwickeln.

Diese Produktlinie erwies sich zunächst als sehr erfolgreich und große Unternehmen wie BMW, Volkswagen, IBM und Siemens begannen mit dem Bau von Großmodellen [1]. Drei Beispiele sind in Abb. 1 zu sehen. Die Firma Staudinger wurde strategischer Partner von fischertechnik für die Produktlinie „Plan & Simulation“ und entwickelte diese weiter [2].

Um das Jahr 2000 herum begannen Computermodelle die Oberhand zu gewinnen und die Produktlinie verschwand. Im Rahmen der „Plan & Simulation“-Linie waren auch einige Spezialteile eingeführt worden, die normalen Verbrauchern nicht zur Verfügung standen, wie z. B. ein Initiator, ein Zweileiter-Näherungssensor und Spezialteile für den Initiator wie Hubgetriebe (32462) und Impulsscheibe (32461). Weitere Teile sind spezielle IC-Bausteine mit Relais (38616, 38617), 24V-Aktoren und -Sensoren, Alu-Profile in großen Längen, Energieketten etc. Eine Suche in der ft-Datenbank [3] mit „Plan & Simulation“ zeigt die meisten dieser Spezialprodukte und Teile.

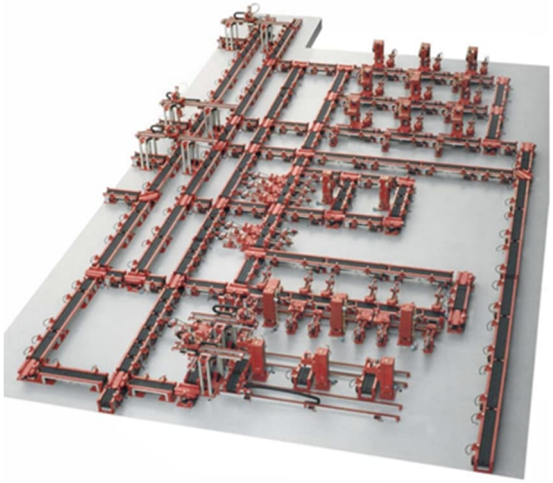


Abb. 1a: Beispiel eines großen industriellen Plan- und Simulationsmodells

Abb. 1b: Hochregallager als Plan- und Simulationsmodell

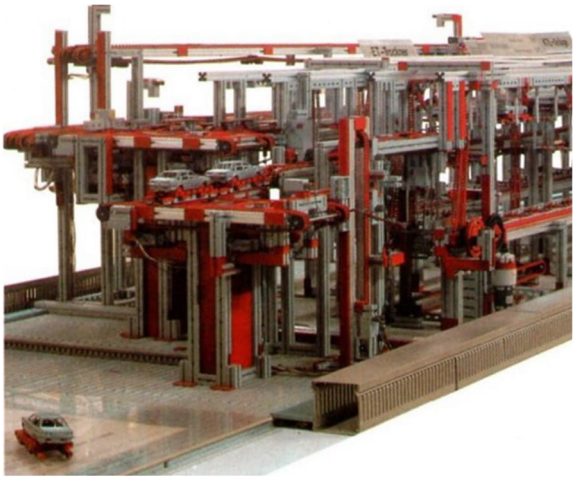


Abb. 1c: Produktionsstraße als Plan- und Simulationsmodell

Das Modell

Vor einem Jahr verkaufte ein fischertechnik-Enthusiast der Anfangszeit den größten Teil seines Lagerbestandes und ich konnte unter anderem zwei dieser „Plan & Simulation“-Modelle erwerben (Abb. 2).

Bei dem ersten handelte es sich um eine Montagelinie mit einem Portalkran, der wie eine Kombination der Modelle 30815 und 30811 aussah und separat als 30851 bezeichnet wurde [4]; bei dem zweiten handelte es sich um den 5-Achs-Lehrroboter (30822). Teil des Kaufs waren mehrere Ordner mit „Plan & Simulation“-Mappen, Korrespondenz mit Staudinger, Verkabelungstabellen und Datenblätter. Das Fließbandmodell wurde auf vier Grundplatten 1000 (30381) montiert, die wiederum auf einem Stück Schichtholz befestigt waren.

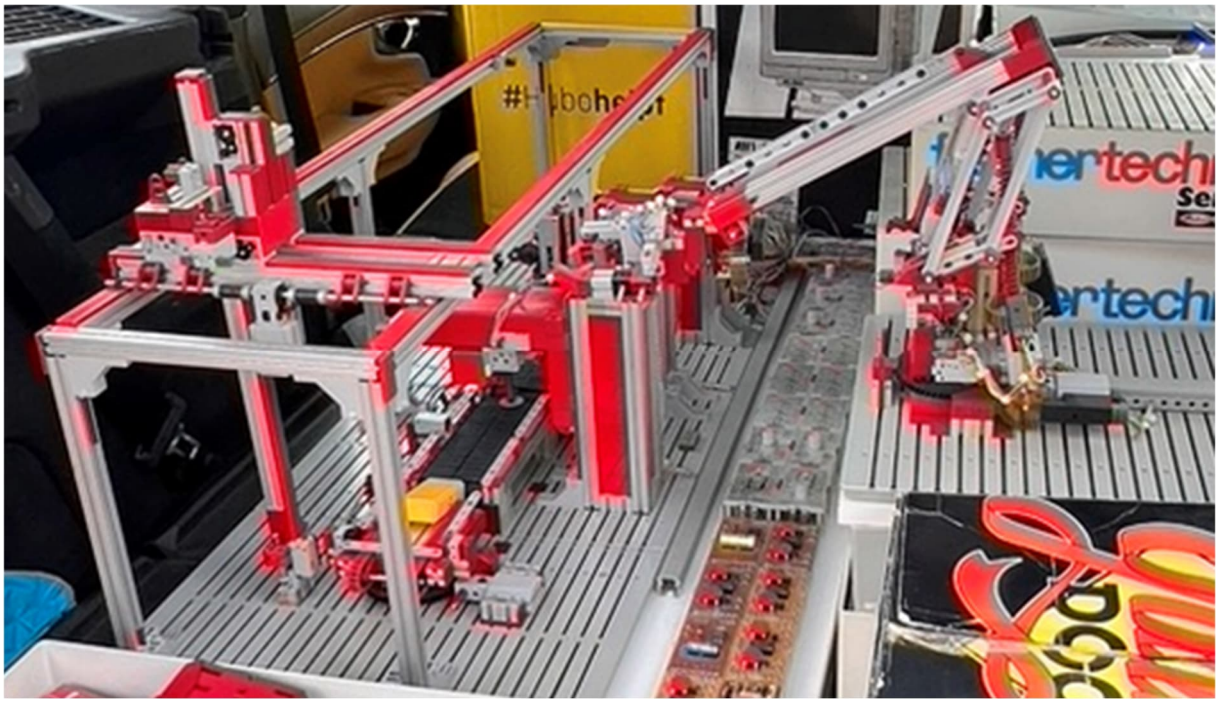
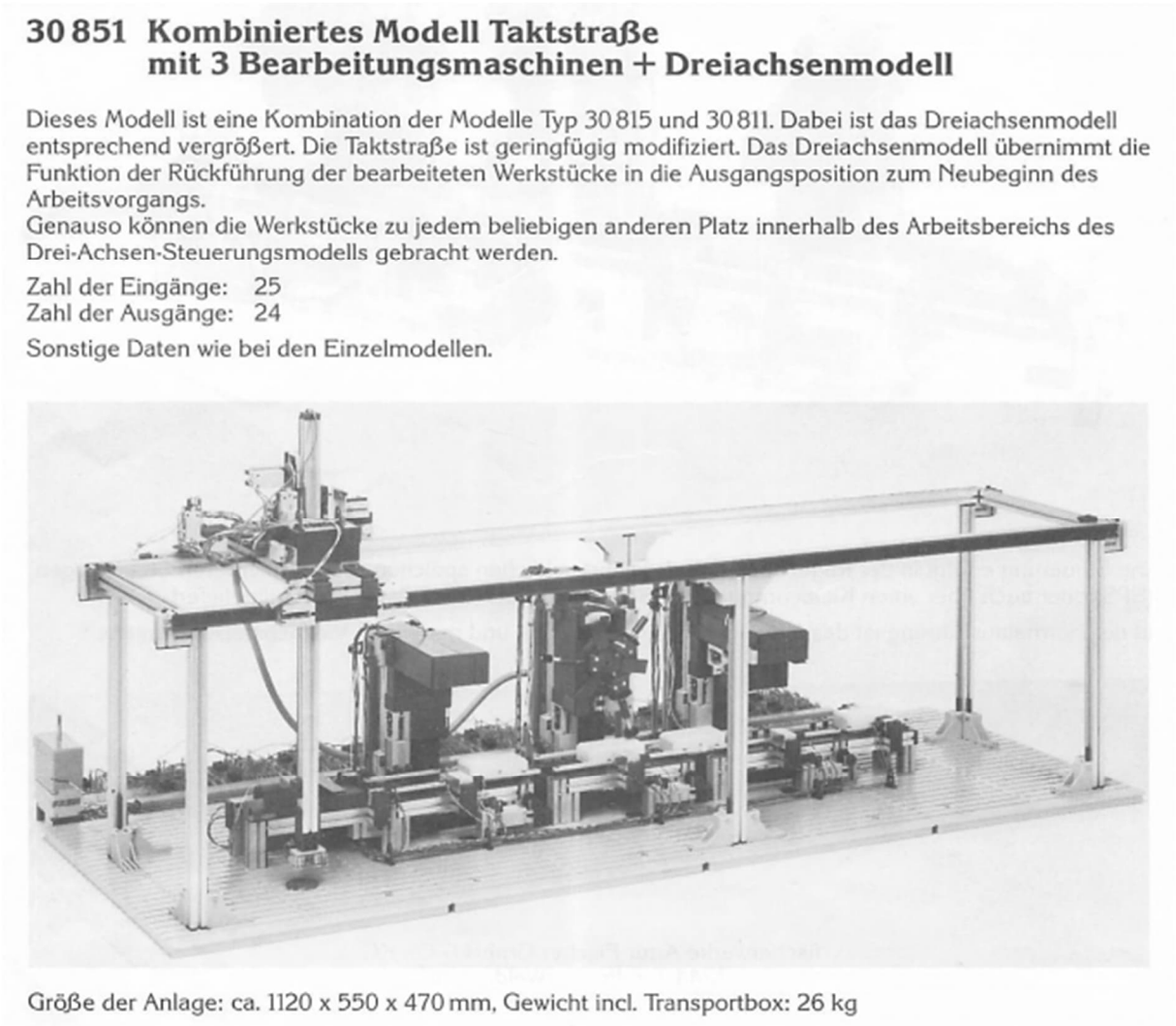


Abb. 2: Zwei Plan & Simulation Modelle nach dem Kauf im Kofferraum des Autos



30 851 Kombiniertes Modell Taktstraße mit 3 Bearbeitungsmaschinen + Dreiachsenmodell

Dieses Modell ist eine Kombination der Modelle Typ 30 815 und 30 811. Dabei ist das Dreiachsenmodell entsprechend vergrößert. Die Taktstraße ist geringfügig modifiziert. Das Dreiachsenmodell übernimmt die Funktion der Rückführung der bearbeiteten Werkstücke in die Ausgangsposition zum Neubeginn des Arbeitsvorgangs.
Genauso können die Werkstücke zu jedem beliebigen anderen Platz innerhalb des Arbeitsbereichs des Drei-Achsen-Steuerungsmodells gebracht werden.

Zahl der Eingänge: 25
Zahl der Ausgänge: 24

Sonstige Daten wie bei den Einzelmodellen.

Größe der Anlage: ca. 1120 x 550 x 470 mm, Gewicht incl. Transportbox: 26 kg

Abb. 3: Ausschnitt aus einer Plan & Simulation-Broschüre, die das Modell 30851 zeigt [1]

Das Modell bestand aus einer Zuführstation, die das Werkstück auf das Band in Richtung einer Bohrmaschine verschiebt, dann einer Mehrspindelmaschine mit einem zweiten Band, gefolgt von einer Fräsmaschine mit einem dritten Band, schließlich einem kombinierten Drehteller mit Band und oben auf der Montagelinie einem Portalkran, der sich in drei Richtungen bewegen kann, mit einem Elektromagneten an der Unterseite des vertikalen Arms.

Mehrere Teile waren verklebt und an einigen Stellen sind originale fischertechnik-Komponenten so verändert worden, dass sie passten oder besser aussahen.

In Abb. 2 ist zu erkennen, dass eine Reihe von Silberlingen und elektronischen Modulen auf der Platine hinter der Montagelinie montiert waren, aber auch dort sind keine Kabelverbindungen zu erkennen. Die Dokumentation enthielt keine Schaltpläne für die Steuerelektronik, sondern nur eine Tabelle, in der der Farbcode der Kabel für jeden der Sensoren und Aktoren der Montagelinie angegeben war.

Fließband

Beim Studium des Modells zeigten sich einige Besonderheiten. Es sah sehr ähnlich aus wie Modell 30851 (Abb. 3) [4], aber es gab einige offensichtliche Abweichungen, die beim Vergleich von Abb. 2 und 3 erkennbar sind: Der Portalkran wurde anders konstruiert, die Zahnstangen beim Modell 30851 befinden sich seitlich an den

oberen Trägern, in Abb. 2 an der Oberseite. Das Modell 30851 hat ein Förderband mit einfacher Breite, in Abb. 2 sind zwei parallele Bänder zu sehen, während die gelben Werkstücke für ein einzelnes Band ausgelegt sind. Das Modell 30851 endet kurz nach dem zweiten Bohrer, in Abb. 2 ist ein kompakter Drehteller hinzugefügt. In Abb. 3 ist unter dem Magneten eine 25- oder 30-mm-Metallscheibe aus dem Computing-Kit (39497) zu sehen. Das steht im Gegensatz zu den rechteckigen Werkstücken auf dem Förderband.

Die vier Fließbandmaschinen, der Vorschub, die Bohrmaschine und die beiden Oberfräsen sehen den Dokumentationen für 30851 und 30815 [4] sehr ähnlich. Diese Versionen sind wahrscheinlich Vorläufer der späteren Staudinger-Baukasten-Baureihe von Plan- und Simulationsmodellen [2], bei denen Drehtisch, Bohrer und Oberfräsen als Module zu einer maßgeschneiderten Montagelinie kombiniert werden können.

Das Fließband zeigte keine Anzeichen, dass es jemals benutzt wurde. Obwohl die meisten Sensoren und Aktoren an den Montagemaschinen verkabelt waren (Abb. 4), war das andere Ende ein Bündel isolierter Kabel ohne Anschlüsse. Der Portalkran war nicht verkabelt. Darüber hinaus ergab die Platzierung einiger Sensoren am Portalkran keinen Sinn.

Als Aktuatoren stehen 16 graue Mini-Motoren (31062), ein grauer S-Motor (32240) und zwei Lampen mit jeweils 9V zur Verfügung. Das Modell scheint daher unterdimensioniert zu sein und in späteren Modellen der „Plan & Simulation“-Linie wurden 24V-Motoren und -Lampen verwendet, auch um die Kompatibilität mit der Spannung zu verbessern, die im Allgemeinen für SPS/PLC verwendet wird. Auf der Sensorseite (Eingang) befinden sich drei Initiatoren, zwei Photozellen und 20 Minitaster. Es funktionierten glücklicherweise alle Taster bis auf einen.

Steckerbelegungsplan — Bez.: Taktstrasse mit 3 WKZ-Maschinen; Art-Nr.: 30 815

lfd. Nr.	Pin cod.	Kabel farbe	Funktion
1	A	br-w	Motor Schieber Einlegestation
2	B	br-sw	Motor Schieber Einlegestation
3	C	sw	Motor Bohrmasch. Hub
4	D	sw	Motor Bohrmasch. Hub
5	E	bl	Motor Bohrmasch. WKZ-Antrieb
6	F	rt	Motor Bohrmasch. WKZ-Antrieb
7	H	br	Motor Mehrspindelmasch. Hub
8	J	br	Motor Mehrspindelmasch. Hub
9	K	or	Motor Mehrspindelmasch. Revolverdrehung
10	L	ws-gn	Motor Mehrspindelmasch. Revolverdrehung
11	M	tp	Motor Mehrspindelmasch. WKZ-Antrieb
12	N	gn-ws	Motor Mehrspindelmasch. WKZ-Antrieb
13	P	bg	Motor Fräsmasch. Hub
14	R	gr-gn	Motor Fräsmasch. Hub
15	S	bl	Motor Fräsmasch. Querschlittenantrieb
16	T	bl	Motor Fräsmasch. Querschlittenantrieb
17	U	vio	Motor Fräsmasch. WKZ-Antrieb
18	V	vio-sw	Motor Fräsmasch. WKZ-Antrieb
19	W	vio-w	Motor Band Bohrmasch.
20	X	vio-gn	Motor Band Bohrmasch.
21	Y	bl-w	Motor Band Mehrspindelmasch.
22	Z	ge-sw	Motor Band Mehrspindelmasch.
23	a	bl-rt	Motor Band Fräsmasch.
24	b	bl-ge	Motor Band Fräsmasch.
25	c	rt-gn	Lichtschrankenlampen
26	d	rt	Lichtschrankenlampen max. 6V~
27	e		
28	f	w	gemeinsames Potential aller Taster (Endtaster)

lfd. Nr.	Pin cod.	Kabel farbe	Funktion
29	h	or-w	Endtaster Belegtmeldung Einlegestation
30	j	ge-rt	Endtaster Schieber Ausgangslage Einlegestation
31	k	ge-w	Endtaster Schieber Bandpos. Einlegestation
32	l	bl-sw	Endtaster Bohrmasch. Hubeinheit oben
33	m	rt-sw	Endtaster Bohrmasch. Hubeinheit unten
34	n	w-sw	Endtaster Mehrspindelmasch. Hubeinheit oben
35	p	or-sw	Endtaster Mehrspindelmasch. Hubeinheit unten
36	r	ge	Endtaster Mehrspindelmasch. Revolverpositionsmelder
37	s		
38	t	br-gn	Endtaster Fräsmasch. Hubeinheit oben
39	u	or-gn	Endtaster Fräsmasch. Hubeinheit unten
40	v	gr	Endtaster Fräsmasch. Querschl. Bandpos.
41	w	rs	Endtaster Fräsmasch. Querschl. Ständerpos.
42	x	br-rt	Fotowiderstand Bandstart vor Bohrmasch.
43	y	rt-ge	Fotowiderstand Bandstart vor Bohrmasch.
44	z	or-rt	Fotowiderstand Ausschleußbahn
45	AA	rt-gn	Fotowiderstand Ausschleußbahn
46	BB	w-rt	Initiator (+) Bohrmasch. Werkstückpos.meldung
47	CC	ge-gn	Initiator (-) Bohrmasch. Werkstückpos. meldung
48	DD	gn	Initiator (+) Mehrspindelmasch. Werkstückpos.meldung
49	EE	gn-sw	Initiator (-) Mehrspindelmasch. Werkstückpos.meldung
50	FF	rt-w	Initiator (+) Fräsmasch. Werkstückpos.meldung
51	HH	gn-rt	Initiator (-) Fräsmasch. Werkstückpos.meldung
52	JJ		
53	KK		
54	LL		
55	MM		
56	NN		

Anmerkung:

Alle Endtaster sind als Öffner verdrahtet.

Abb. 4: Originaler Steckerbelegungsplan

Das Modell 30851 verwendet rechteckige gelbe Steine mit Metallschrauben an den Seiten, die von den Initiatoren erkannt werden, aber diese Formen sind viel zu schwer für den Elektromagneten im Portalkran, und es gibt keine Metallteile an der Ober- oder Unterseite der Formen, an denen der Magnet ansetzen könnte, was die Unvereinbarkeit zwischen der Verwendung von gelben Formen und dem Portalkran demonstriert. Das ursprüngliche Modell 30815 verwendet eine Ausfahrt am Ende, in Abb. 2 ist ein Drehteller zu sehen, jedoch

hat ein Drehteller keine sinnvolle Funktion, wenn ein Portalkran verwendet wird.

In den nächsten Schritten waren zahlreiche Entscheidungen zu treffen: die Verkabelung des Portals, die Herstellung eines neuen Werkstücks, das schwer genug ist, um die Zuführstation auszulösen, auf das Doppelförderband passt, an den Eingangssensoren stoppt und leicht genug ist, um vom Portalkran angehoben zu werden. Dann die Automatisierung der Montagelinie: Welche Lösung mit möglichst vielen fischertechnik-Komponenten gibt es und welche bevorzuge ich?

Automatisierung

Unter Berücksichtigung der Ära, aus der das Fließband stammte, sind moderne Steuerungen wie der TX oder der TXT Controller weniger naheliegend. Silberlinge, die braunen Elektronik-Steine, das Parallel oder das Serial Interface schienen mir besser zu passen. Bevor diese Entscheidung getroffen wurde, nahm ich eine Bestandsaufnahme der Anzahl der Kontrollpunkte und der Anzahl der Ein- und Ausgangsverbindungen vor. Neben den Fließbandmodulen habe ich auch drei Steuertaster hinzugefügt, einen zum Starten, einen zum sofortigen Stoppen und einen zum Zurücksetzen (*reset*) der Maschinen.

Tabelle 1 zeigt die Gesamtzahl der Anschlüsse für die verschiedenen Arten von Sensoren und Aktoren. M steht für einen Motor, der sich in zwei Richtungen drehen soll, O steht für Ausgang (entweder ein in eine Richtung laufender Motor oder eine Lampe). T gibt die Anzahl der Taster an, I die Anzahl der Initiatoren und P die Anzahl der Photozellen. Da ein Motor zwei Anschlüsse benötigt und alle anderen Aktuatoren nur einen, ist es möglich, die Anzahl der benötigten SPS/PLC oder Interfaces zu berechnen. Die Tabelle zeigt insgesamt 29 Eingänge und 29 Ausgänge.

Artikel	M	O	T	I	P	In	Out
Beladen	1	1	3		1	4	3
Bohren	1	1	2			2	3
Band 1		1		1		1	1
Fräse 1	1	2	3			3	4
Band 2		1		1		1	1
Fräse 2	2	1	4			4	5
Band 3		1		1		1	1
Rotieren	1	2	1		1	2	4
Portal-Kran	3	1	8			8	7
Steue-rung			3			3	
Gesamt	9	11	24	3	2	29	29

Tab. 1: Übersicht über die Verbindungen

Da ein typisches fischertechnik-Interface über acht digitale Ein- und acht digitale Ausgänge (vier Motoren oder acht Einzelausgänge) verfügt, ist es klar, dass mindestens vier Interfaces erforderlich wären.

Zwar möchte ich das Modell irgendwann in der Zukunft mit Silberlingen, Operationsverstärkern, braunen IC-Bausteinen und Relais automatisieren, zunächst habe ich mich aber für die alten seriellen fischertechnik-Interfaces entschieden, die mit einem Arduino Mega verbunden wurden.

Auch das Schreiben, Testen und Debuggen von Software gelingt viel schneller als Hunderte von Kabelverbindungen mit Silberlingen, TTL-Logikbausteinen und Relais. Schließlich wäre dieses komplizierte Modell auch ein guter Test für die von mir entwickelte FTlegacy-Softwarebibliothek, um die alten Parallel-, Seriell-, Universell- und Intelligent-Interfaces als I/O-Shields für Arduino-Mikrocontroller zu verwenden.

Die Aufteilung der einzelnen Montagemaschinen auf die Interfaces ist nicht trivial. Es ist darauf zu achten, dass die einzelnen Ausgänge so auf die Motoranschlüsse

verteilt sind, dass nie zwei Ausgänge für einen Motoranschluss gleichzeitig aktiv sind. Dies ist ein Merkmal der fischertechnik-Interfaces. Wenn zum Beispiel jeweils zwei Lampen angeschlossen sind, sagen wir an M2 eines Interfaces, mit der anderen Verbindung zur Masse, können niemals beide Lampen gleichzeitig eingeschaltet sein.

Die Zuordnung der verschiedenen Ein- und Ausgänge auf die vier Interfaces habe ich in Abb. 5 veranschaulicht.

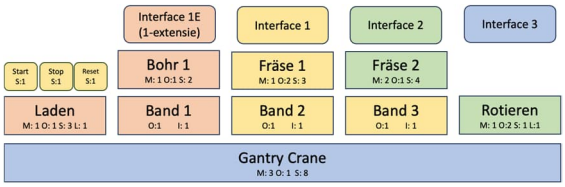


Abb. 5: Belegung der Interfaces

Verkabelung des Modells

Nach der Planung ging es an die Anbindung der Ein- und Ausgänge an die Interfaces. Für die Fließbandeinheiten bedeutete dies, die Kabel auf die richtige Länge zu bringen und mit den Interface-Anschlüssen oder gemeinsamen Verteilern zu verbinden (Abb. 6, 7). Eine Seite aller Taster hatte einen gemeinsamen Anschluss, sodass Verteiler eingeführt wurden, um die Anzahl der Kabel zu reduzieren, die zum Interface führen. Für den Portalkran wurde zusätzlich eine Energiekette genutzt.

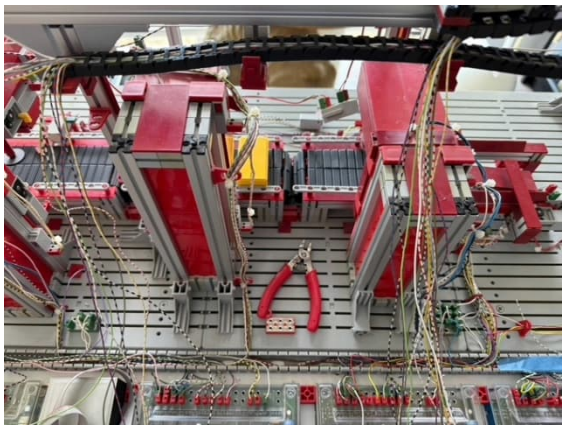


Abb. 6: Verkabelung des Modells

Abb. 7: Anschuss der Taster und Interfaces

Drei der vier Interfaces werden über ein speziell angefertigtes Shield mit LP10-Steckerleiste über handelsübliche Kabel mit dem Arduino Mega verbunden. Das vierte ist eine Extension.

Initiatoren

In der Montagelinie kommt ein Zweileiter-Metall-Näherungssensor (auch bekannt als NAMUR-Sensor) zum Einsatz, der von fischertechnik speziell für die Produktlinie „Plan & Simulation“ entwickelt wurde: Der „Initiator“ (36237, Abb. 8).

Abb. 8: Initiator

Die Montagelinie verwendet drei davon, um die Ankunft des Werkstücks an der Montagestation festzustellen. Der Initiator reagiert auf Impedanzänderungen. Die Impedanzänderung wird so verstärkt, dass sie von einem Operationsverstärker oder einer SPS bzw. einem Computer-Interface erkannt werden kann. Es gibt ein gutes Datenblatt [5], dass die technischen Details, das Bedienfenster und die Anschlussmöglichkeiten beschreibt. Die fischertechnik-Initiatoren waren ursprünglich für den Einsatz in Kombination mit einem Silberling-Grundbaustein gedacht, können aber auch an einen digitalen Eingang des Intelligent Interface angeschlossen werden, sofern ein Pull-up-Widerstand verwendet wird, wie in Abb. 9 gezeigt.

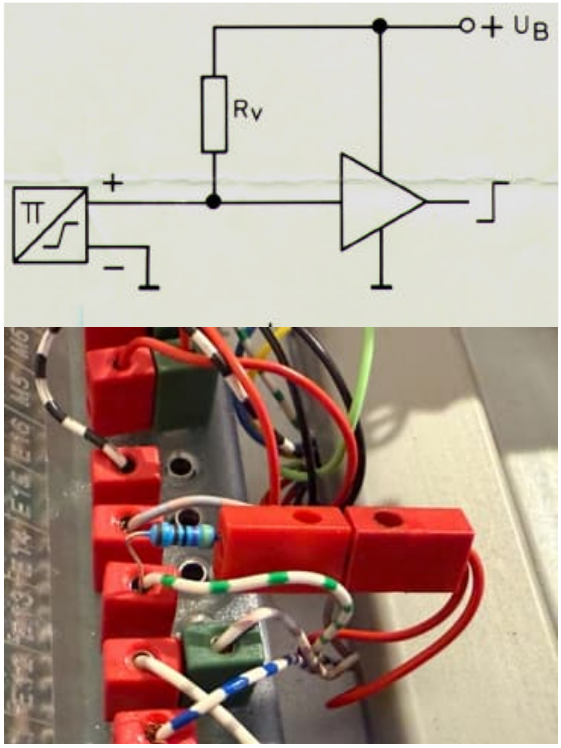


Abb. 9: Anschlussplan und Anschluss des Initiators über einen Pull-up-Widerstand

Das Datenblatt schlägt ~2 kOhm für ein 9V-Netzteil vor; ich habe 4k7 Ohm verwendet, was gut funktioniert. Beachtet, dass der Minuspol des Initiators mit GND verbunden ist, nicht mit dem gemeinsamen Verteiler für die Taster am Interface.

Der Initiator-Pluspol wird mit dem digitalen Eingang des Interface und über den Pull-up-Widerstand Rv mit +9V verbunden. Solange sich das Metallteil im Abstand von bis zu 5 mm von der Frontplatte des Sensors befindet, wird ein Impuls gegeben, der vom Interface als Schließen eines Tasters interpretiert wird.

Werkstück

Die Werkstücke, die mit dem Modell geliefert wurden, sind 75×30×15 mm große Formen aus grauen 30 mm-Steinen mit gelben Platten an der Außenseite. An den Längsseiten wurden Schrauben angebracht, um die Initiatoren auszulösen. Es wird sofort klar, dass es keine Möglichkeit gibt, diese Gegenstände mit dem Portalkran durch einen von oben kommenden fischertechnik-Elektromagneten anzuheben. Dies erzwang auch eine Entscheidung in der Frage von Doppel- und Einzelfördergurten: Sollte ich der offiziellen Beschreibung des Modells 30815 entsprechend zum ursprünglichen Einzelband zurückkehren und die gelben Steine verwenden oder das doppelte Förderband behalten und ein anderes Werkstück entwerfen? Wäre ich zu einer einfachen Montagelinie zurückgekehrt, wäre der Portalkran immer noch nicht in der Lage, das Werkstück zu heben, daher entschied ich, das Förderband so zu belassen und nach einem neuen Werkstück zu suchen.

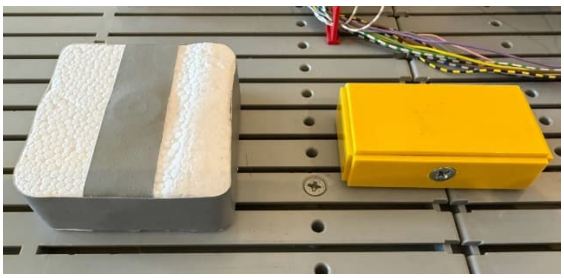


Abb. 10: Neues (l) und altes (r) Werkstück.

Es war klar, dass ein deutlich leichteres Objekt benötigt wurde, das oben Metallflächen für den Magneten und an den Seiten für den Initiator haben sollte. Eine Lösung fand ich mit dem Bausatz Hobbywelt 1

(30870): Aus einem Stück Styropor schnitt ich quadratische Blöcke der Größe 66×66×25 mm, setzte Schrauben an den Seiten ein, um die Initiatoren auszulösen, und klebte eine Metallscheibe für den Magneten des Portalkrans auf. Dann deckte ich das Ganze mit einem Stück Isolierband ab (Abb. 10). Das Klebeband erleichtert auch das Lösen des Objekts nach dem Ausschalten des E-Magneten: Ohne eine Isolationsschicht neigen die Objekte dazu, am Magneten zu kleben, auch wenn dieser bereits ausgeschaltet ist. Obwohl das neue Werkstück optisch weniger ansprechend ist als das Original, macht es die Arbeit perfekt.

Stromversorgung

Jedes der Interfaces und der Arduino benötigen eine 9V-Stromversorgung. Ich habe zuerst mit zwei 9V-Netzteilen und ein paar Y-Splittern angefangen, und obwohl ich sichergestellt habe, dass die Massen der Interfaces, die mit den verschiedenen Netzteilen verbunden sind, korrekt angeschlossen sind, habe ich Fehlfunktionen festgestellt. Mit einem einzigen 9V-3A-Netzteil und mehreren Y-Splittern funktionierte alles fehlerfrei. Die Nennleistung des Netzteils sollte über 2,5 A liegen. Das Modell würde zwar auch mit einer Nennstromversorgung von 1 A funktionieren, aber die Motoren würden weniger Leistung erhalten als gewünscht.

Testen & Debuggen

Sobald das Modell angeschlossen war, konnte der Funktionstest beginnen. In der Arduino IDE schrieb ich mehrere Testprogramme in C++, um das Modell Schritt für Schritt zu testen und zu debuggen. Um dies zu erleichtern, schloss ich ein LCD-Display über das I2C-Protokoll an den Arduino Mega an und ließ mir die Testergebnisse darauf ausgeben.

Die ersten Tests wurden an allen Eingängen durchgeführt (Abb. 11). Der Arduino durchlief die vier Interfaces und überwachte, welcher der 29 Eingänge offen oder geschlossen war. Alle Taster offen zu sehen war einer der gewünschten Zustände des Modells.

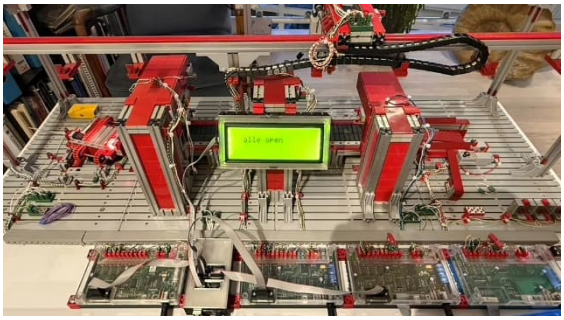


Abb. 11: Ein- und Ausgangsprüfung.

Dann wurden nacheinander die Taster, Initiatoren und Photozellen ausgelöst, um sicherzustellen, dass sie korrekt funktionierten, aber auch, dass der Schaltplan und die Softwarebeschriftung korrekt waren. Dann wurden die bidirektionalen Motorausgänge mit den zuvor getesteten Eingängen getestet, sodass sich die Bohr- und Fräsköpfe auf und ab bewegten, wenn sie auf Endlagentaster trafen. Dies geschah, um sicherzustellen, dass die Motoren in die richtige Richtung liefen. Das Gleiche wiederholte ich mit dem Portalkran. Er lief erfolgreich auf und ab, hin und her und von links nach rechts. Schließlich wurden die unidirektionalen Motoren und Lampen getestet, indem sie in der Software mit ihrem permanenten oder temporären Auslösetastern verbunden wurden.

Schließlich begann die eigentliche Arbeit: das Schreiben der Steuerungssoftware, um die Montagelinie und den Portalkran zum Leben zu erwecken. Nach den üblichen Höhen und Tiefen und mehreren Stunden Arbeit funktionierte es zufriedenstellend.

Software

Seit einigen Jahren entwickle und erweitere ich mit Unterbrechungen eine Arduino C++ Softwarebibliothek [6], die eine High-Level-API für fischertechnik-Anwendungen erstellt, wobei eine Vielzahl von Interfaces oder Motor Shields als Hardware

unterstützt werden, um Aktuatoren zu steuern oder Eingaben von Sensoren auszuwerten. Bisher läuft die Library auf dem Arduino Uno, Mega, Nano und dem Uno R4 und arbeitet mit folgenden Interfaces und Shields: fischertechnik Parallel-Interfaces, insbesondere Universal (30520) und CVK (66943) inklusive Extension, fischertechnik Serial/Intelligent Interface (30402) inkl. Extension (16554), fischertechnik Robo Interface (im Online-Serial-Modus), Didacta Uno und Mega Shield, dem Adafruit Motor Shield und dem ftnano.

Wie in meinem Beitrag über kommerzielle Shields für den Arduino in der vorherigen Ausgabe der ft:pedia [7] erwähnt, wird diese C++-Softwarebibliothek im 4. Quartal 2025 auf Github verfügbar gemacht, wenn ich das umfangreiche Testprogramm mit vielen verschiedenen Konfigurationen und Modellen abgeschlossen habe. Die Bibliothek werde ich auch in einem ft:pedia-Beitrag ausführlicher beschreiben.

Dieses Modell zum Laufen zu bringen war Dank der Komplexität und der Verwendung mehrerer Interfaces ein idealer Testfall. Auch wurde einen Software-Not-Aus hinzugefügt. Die Funktionen zur Bedienung der verschiedenen Maschinen sind so geschrieben, dass beim Drücken der „Stop“-Taste alle Vorgänge sofort angehalten werden, unabhängig davon, welcher Vorgang gerade ausgeführt wird. Mit der Taste „Reset“ gehen alle Maschinen in ihren Ausgangszustand und die Taste „Start“ startet den Ablauf der Vorgänge.

Fazit

Nach den mechanischen Verbesserungen, den hinzugefügten elektrischen Anschlüssen, den umfangreichen Funktionstests und dem üblichen Debugging der Fließbandsteuerungssoftware erhielt ich ein funktionierendes Modell!

Ein YouTube-Video zeigt eine Zusammenfassung dieses Projekts und das Modell in Aktion [8].

Abb. 12: Das fertige Modell

Referenzen

[1] fischertechnik: *Der Schritt vor der Realität* (39891).

[2] Staudinger: *Plan & Simulation*. Broschüre.

[3] ft-community: *ft-datenbank*.

[4] fischertechnik: *Plan & Simulation* (30815 / 30851). Broschüre.

[5] fischertechnik: *Produktinformation – Zweidraht-Initiator*.

[6] Jeroen Regtien: *Controlling parallel (universal) and serial (intelligent) interfaces with an Arduino*. ft:pedia 4/2023, S. 69–80.

[7] Jeroen Regtien: *Kommerzielle Arduino-Shields*. ft:pedia 2/2025, S. 43–50.

[8] Jeroen Regtien: *fischertechnik Plan & Simulation*. YouTube-Video.

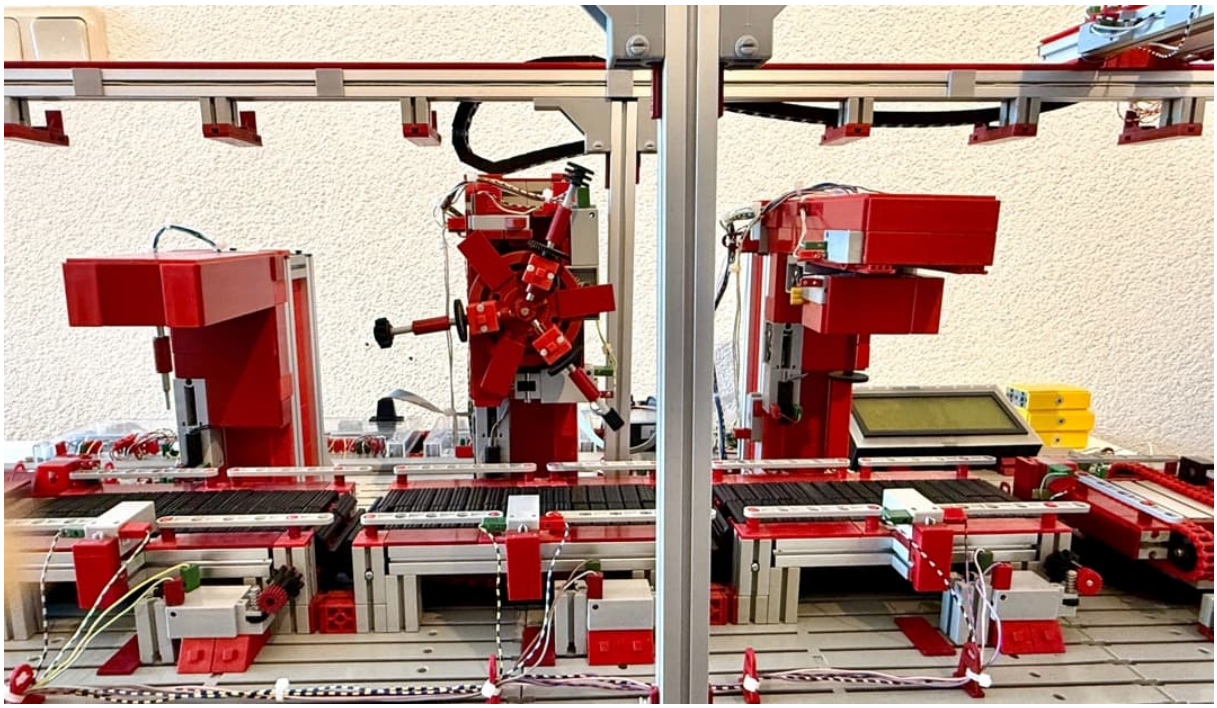


Abb. 13: Detailansicht des Simulationsmodells

Computing

fischertechnik-Modelle über die Oxocard fernsteuern

Axel Chobe

Nachdem ich in der letzten Ausgabe der ft:pedia die Oxocard vorgestellt habe, soll es diesmal darum gehen, eine Fernsteuerung mit der Oxocard für ein fischertechnik-Modell über MQTT zu realisieren. Ich zeige, wie WS-LEDs über ein Handy oder ein MQTT-Dashboard geschaltet werden und wie der Zustand von zwei an der Oxocard angeschlossenen Tastern abgefragt wird. Auf dieselbe Weise kann auch ein Fahrzeug gesteuert werden. Der Beitrag stellt eine Lösung für eine Smartphone-App mit Node-RED und dem Dashboard des TXT 4.0 vor.

Definitionen

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

Node-RED ist ein von IBM entwickeltes grafisches Entwicklungswerkzeug. Die Software ermöglicht es, Anwendungsfälle im Bereich des Internet der Dinge mit einem einfachen Baukastenprinzip umzusetzen.

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

Material

Neben der Oxocard werden noch einige Hard- bzw. Softwarekomponenten benötigt. Ich habe meine Oxocard über die Expansion Cartridge auf eine Lochrasterleiterplatte aufgelötet (Abb. 1), auf der sich mehrere Komponenten für Testzwecke befinden (siehe Pin-Beschreibung).

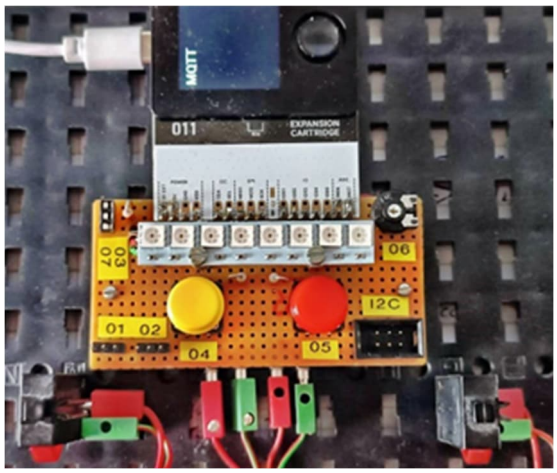


Abb. 1: Oxocard mit Lochrasterplatine

Um die Kompatibilität mit fischertechnik herzustellen wurden zwei Grundbausteine (37237) angeschraubt, deren Zapfen vorher entfernt wurden.

Pinbelegung:

- Pin 1 und 2: für fischertechnik-Servos
- Pin 3: WS-LED Streifen mit 8 LEDs
- Pin 4 und 5: für zwei Taster

Parallel sind diese Eingänge über Bundhülsen für fischertechnik-Taster nutzbar.

- Pin 6: Poti (10kΩ) für Mess- und Regelungszwecke
- Pin 7: hier können Temperatur- oder Helligkeitssensoren aufgesteckt werden
- I²C: Ausgang für entsprechende Sensoren oder Aktoren

Der TXT 4.0 ist unter der Adresse 127.0.0.1 als MQTT-Broker erreichbar. Doch ich musste einen anderen Broker suchen, da ich die Oxocard nicht mit dem TXT verbinden konnte. Gewählt habe ich den freien MQTT-Broker von HiveMQ.

Programmierung

Die Programmierung mit Node-RED konnte dagegen mit dem TXT 4.0 unter 192.168.x.x (.x.x muss entsprechend der IP-Adresse des TXT 4.0 gewählt werden) über den Port 1880. Das Dashboard kann über http://192.168.x.x:1880/ui/ aufgerufen werden.

Um die Steuerung mit dem Smartphon durchzuführen wird eine entsprechende App benötigt. Viele geeignete Apps sind entweder kostenpflichtig oder sehr komplex. Deshalb habe ich mich für die sehr intuitiv zu bedienende App MyMQTT entschieden. Für einfache Aufgaben zur Steuerung reichte sie völlig aus.

Oxocard als Sender

Das Zusammenspiel von Oxocard und MQTT-Broker zeigt Abbildung 2.

```
initGPIO(C_PIN_04, INPUT)
initGPIO(C_PIN_05, INPUT)
uri = "mqtt://broker.hivemq.com"
username = ""
password = ""
def onDraw()
    if readGPIO(C_PIN_04)
       if connectMQTT(uri, username,
password):
          publishMQTT("Knopf", "gelber
Taster")
          delay(500)
    if readGPIO(C_PIN_05)
       if connectMQTT(uri, username,
password):
          publishMQTT("Knopf", "roter
Taster")
          delay(500)
```

Listing 1: Programmcode für das Senden von der Oxocard in NanoPy

Zunächst werden die beiden Eingänge initialisiert. Dann werden die Variablen für den Broker sowie, bei Bedarf, der Benutzername und das Passwort festgelegt. Mit `onDraw` wird eine Dauerschleife gesetzt. Im Anschluss wird abgefragt, ob Taste 4 oder 5 gedrückt wurden. Im Erfolgsfall wird dann getestet, ob eine Verbindung zum MQTT-Broker besteht. Daraufhin wird die Nachricht veröffentlicht. Dabei werden der Name des Topics („Knopf“) und die eigentliche Nachricht („gelber Taster“ oder „roter Taster“) gesendet.

Abb. 2: Zusammenspiel von Oxocard und MQTT-Broker

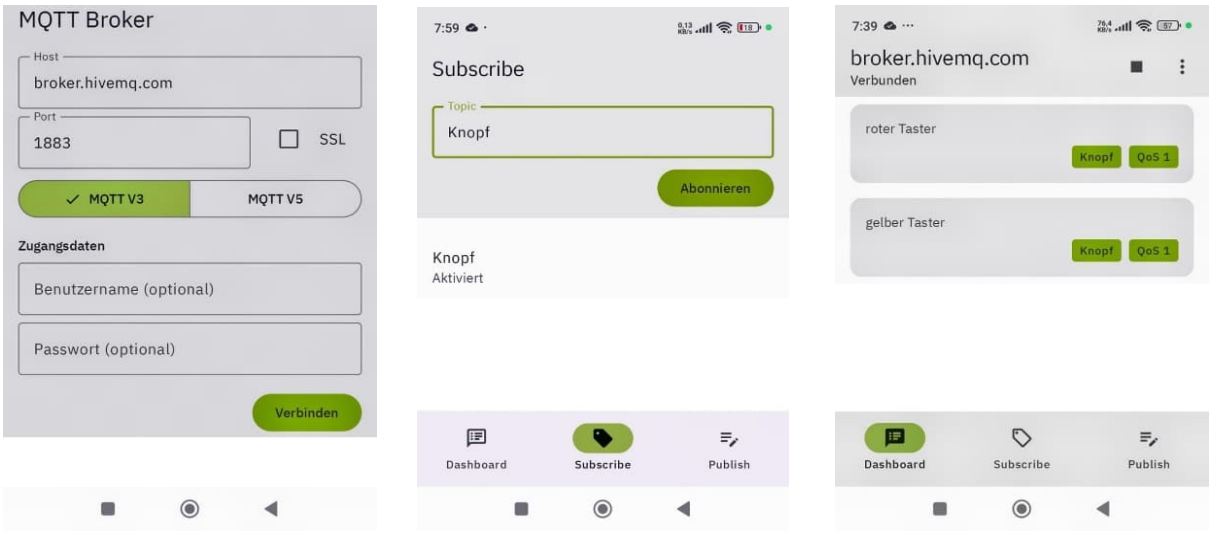


Abb. 3: Empfang auf dem Smartphone

Empfang auf dem Smartphone

Nach dem Öffnen der App MyMQTT müssen als erstes der entsprechende Broker und der Port eingestellt werden. Anschließend wird unter dem Punkt Subscribe der Name des Topic festgelegt. Es gibt die Möglichkeit, mehrere verschiedene Nachrichten zu benennen, die jeweils aktiviert oder deaktiviert werden können. Unter dem Punkt Dashboard werden nun alle Nachricht angezeigt, bei denen das Topic aktiviert ist. In den grünen Feldern werden noch das Topic und der QoS angezeigt (Abb. 3)

Empfang über Node-RED

Wie eingangs erwähnt wird hier Node-RED vom TXT 4.0 benutzt, der für diesen Vorgang eingeschaltet sein muss. Den Umgang mit Node-RED habe ich schon in der ft:pedia vorgestellt [2].

Nach dem Zusammenstellen der Nodes wird das Ergebnis im Debug-Fenster angezeigt. Eleganter ist die Anzeige allerdings im Dashboard.

Oxocard als Empfänger

Das Zusammenspiel mit der Oxocard als Empfänger zeigt Abb. 4. Das zugehörige Programm für die Oxocard ist das NanoPy-Skript in Listing 2. Darin wird zuerst der Pin für die WS-LED initialisiert. Dann werden die Variablen für den Broker sowie, bei Bedarf, der Benutzername und das Passwort festgelegt. Nach der Verbindungsabfrage wird der zu empfangende Name des Topic definiert. In der Dauerschleife wird der Inhalt vom Topic ausgelesen und in eine Variable geschrieben.

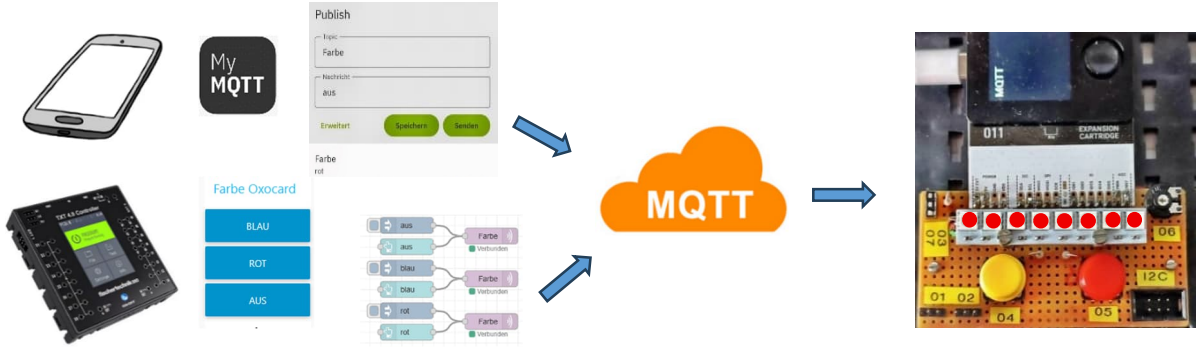


Abb. 4: Ablauf mit der Oxocard als Empfänger

```
initDigitalLeds(C_PIN_03,8,C_LED_TYPE_WS281
2)
uri = "mqtt://broker.hivemq.com"
username = ""
pass = ""
if connectMQTT(uri, username, pass):
    subscribeMQTT("Farbe")
def onDraw():
    if hasMQTTMessage():
        a = getMQTTData()
        if isEqual(a,"rot")
            for i in [0..7]:
                setDigitalLed(i, 0,255,0)
                applyDigitalLeds()
        elif isEqual(a,"blau")
            for i in [0..7]:
                setDigitalLed(i, 0,0,255)
                applyDigitalLeds()
        elif isEqual(a,"aus")
            for i in [0..7]:
                setDigitalLed(i, 0,0,0)
                applyDigitalLeds()
```

Listing 2: Programmcode für den Empfang auf der Oxocard in NanoPy

Diese Variable wird mit einem Stringvergleich abgefragt, um entsprechende Aktionen auszulösen. Die jeweilige for-Schleife wird nun achtmal durchlaufen, um alle LEDs auf die entsprechende Farbe zu setzen.

Senden vom Smartphone

In der App können unter dem Punkt Publish das Topic und die Nachricht eingetragen werden (Abb. 5). Wird der Eintrag gespeichert, erscheint er im darunterliegenden Fenster und kann jederzeit erneut ausgeführt werden.

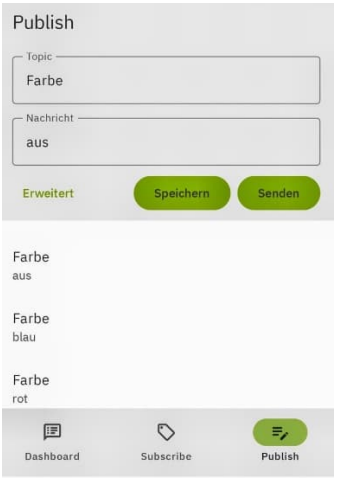


Abb. 5: Senden einer Nachricht aus der App

Senden über Node-RED

Wie bereits beim Empfang über Node-RED habe ich auch für das Senden die einzelnen Schritte schon beschrieben [2].

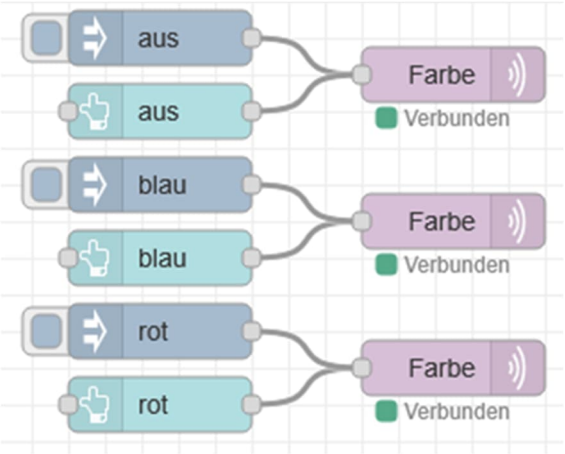


Abb. 6: Nodes-Verbindungen in Node-RED

Nach dem Zusammenstellen der Nodes (Abb. 6) ergibt sich auf dem Dashboard die Darstellung in Abbildung 7. Über die drei Taster kann nun die Farbinformation als Topic auf dem Broker hinterlegt werden. Die Oxocard ruft diese Information ab und setzt die Farben der WS-LEDs entsprechend.

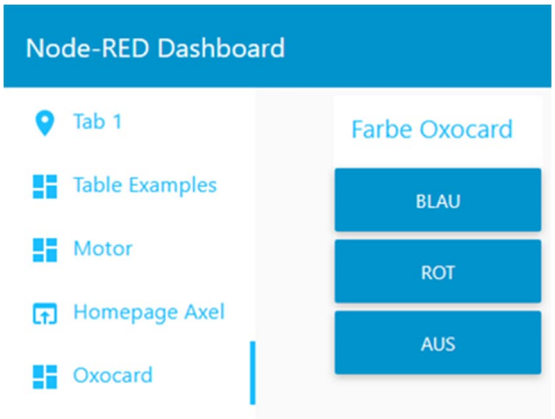


Abb. 7: Darstellung im Node-RED-Dashboard

Fazit

Das Protokoll MQTT bietet vielfältige Möglichkeiten, um Daten zwischen verschiedenen Geräten auszutauschen. Zur Fernsteuerung von fischertechnik-Modellen ist es eine Erweiterung der bereits vorhandenen Möglichkeiten. Nicht be-

schrieben wurde hier die Variante der Programmierung über Robo Pro Coding: Die Reaktionszeit war langsamer und daher für den Einsatz als Fernbedienung nicht unbedingt geeignet. Eine Beschreibung mit Robo Pro Coding gibt es in der ft:pedia 2/2024 [2].

Ein Beispielvideo habe ich auf meiner Webseite veröffentlicht.

Referenzen

[1] Axel Chobe: *fischertechnik-Modelle mit der Oxocard steuern*. ft:pedia 2/2025, S. 51–66.

[2] Axel Chobe: *IoT mit MQTT und Node-RED*. ft:pedia 2/2024, S. 78–81.