

Editorial

Konstruktionssysteme für Kinder

Dirk Fox, Stefan Falk

Im Juni 2005 veröffentlichten Mitchel Resnick und Brian Silverman, die „Väter“ von Scratch, auf der *Conference on Interaction Design and Children (IDC'05)* in Boulder, Colorado, einen gerade einmal fünfseitigen [Beitrag](#). Darin stellten sie 10 Design-Kriterien für Konstruktionssysteme (nicht nur) für Kinder vor – destilliert aus ihrer 20-jährigen Erfahrung mit der Entwicklung solcher „Construction Kits“.

Ziel der von ihnen entworfenen Konstruktionssysteme, zu denen auch die visuelle Programmiersprache für Lego Mindstorms zählt, war es, Kinder zum Entwurf und der Entwicklung von eigenen Lösungen zu motivieren: Modelle, Programme, Roboter.

Mit *Seymour Papert* (1928-2016), Anhänger der [konstruktivistischen Lerntheorie](#), Entwickler von LOGO, Autor von „Mindstorms“ (1980) und Begründer des MIT Media Lab, teilen die Autoren die Auffassung, dass *„the best learning experiences, for most people, come when they are actively engaged in designing and creating things, especially things that are meaningful to them or others around them.“*

Liest man den Beitrag heute, fragt man sich unwillkürlich, ob Artur Fischer 40 Jahre vor der Veröffentlichung bereits die Zukunft vorweggenommen hatte – oder ob Resnick und Silverman fischertechnik kannten. Die Autoren ziehen in vielen Punkten Lego als Beispiel heran (und kritisieren nebenbei die Spezialteile) – tatsächlich wäre fischertechnik häufig die bessere Referenz.

So sollen die Elemente des Systems so einfach sein, dass sie sofort verstanden und ge-

nutzt werden – zugleich aber geeignet, auch komplexe Lösungen umzusetzen. Sie sollen ein breites Einsatzgebiet haben, also insbesondere auf verschiedene Art verwendet werden können – wie z. B. Nuten zum Verbinden von Bausteinen, als Achslager oder für eine verdeckte Kabelführung.

Alle Elemente des Systems sollten so einfach wie möglich gestaltet werden – besser noch einfacher. Keine unnötigen „Features“, die selten genutzt werden und Einsteiger wegen der Komplexität der ersten Schritte abschrecken. Motoren, Kompressoren oder Mikrocontroller dürfen daher „black boxes“ sein, beschränkt auf die eigentliche Kernfunktion. Will man die Funktion der black box vermitteln, sollten Elektromotor oder Kompressor mit anderen Elementen konstruierbar sein.

Schließlich soll das Material dazu anregen, die eigene Entwicklung und Konstruktion wieder und wieder zu analysieren und zu verbessern – das Grundprinzip jeder ingenieurmäßigen Produktinnovation.

Dass das Konstruktionssystem fischertechnik genau das leistet, wisst ihr alle. Wer dennoch Zweifel hat, dem legen wir den Bericht über die BUGA23 Seilbahn ans Herz, den das Team um Tilo Rust verfasst hat.

Und nun – ran an die Kästen: Konstruiert euch eure Träume doch einfach selbst!

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

Konstruktionssysteme für Kinder.....	2
Kugelbahnschienen begradigen	4
400 Jahre Rechenmaschine.....	5
Großprojekt Seilbahn (Teil 8): Und sie bewegt sich doch!	20
ftSwarm (3): Der ftSwarmRS und das Seilbahnprojekt	34
ftPOST – smarter Briefkasten mit Home Assistant	40
fischertechnik und PWM.....	44
Kontaktlose Schalter	49
Alternative Verbindungslösungen für Stecker und Buchsen (Teil 2)	54
Eine zukunftssichere Stromversorgung (Teil 2)	63
Fahrtregler (3): Vom Widerstandsdraht bis zur PWM	70
Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 12).....	81
Elektronischer Würfel	91
Elektronikmodule (Teil 10): Quadratur der Flexibilität	94

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Tag & Nacht des Rechnens	13.10.2023	Mathematikum Gießen
Südconvention 2023	21./22.10.2023	Fördertechnik-Museum Sinsheim
Clubdag Schoonhoven	28.10.2023	Schoonhoven

Impressum

<http://www.ftpedia.de>

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

Autoren: Christian Bergschneider, Axel Chobe, Arnoud van Delden, Stefan Falk, Dirk Fox, Hans-Christian Funke, Stefan Fuss, Christoph Hülsmann, Peter Krijnen, Thomas Püttmann, Tilo Rust.

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.

Tipps & Tricks

Kugelbahnschienen begradigen

Hans-Christian Funke

Das Bild werden alle kennen, die schon einmal eine Kugelbahn oder etwas anderes mit Flexschienen gebaut und das Modell nach einiger Zeit wieder zerlegt haben: Die Schienen behalten die gebogene Form aus dem Modell, lassen sich auf diese Weise kaum bündigen und machen ein ordentliches Wegsortieren kaum möglich. Hier gibt es eine einfache Lösung.

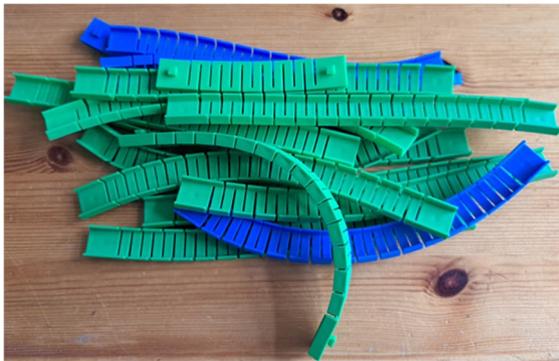


Abb. 1: Verbogene Flexschienen

Fast jeder verfügt über eine Bauplatte 500 ([32985](#)). Hier passen die Schienen genau drauf und werden leicht gespannt (Abb. 2). Auch lassen sich die Schienen so viel leichter reinigen, wenn diese z. B. vom langen Stehen des Modells eingestaubt sind.



Abb. 2: Schienen auf Bauplatte 500 montiert

Auf diese Weise macht man sich den Memory-Effekt der Schienen zu Nutze. Nach einiger Zeit nehmen die Flexschienen wieder die ursprüngliche gerade Form an. Sind ein paar Tage vergangen, kann man die Schienen wieder abnehmen. Jetzt können sie ordentlich einsortiert – oder gleich wieder verbaut werden.

Mechanisches Rechnen

400 Jahre Rechenmaschine

Thomas Püttmann

Im Jahr 1623 erfand Wilhelm Schickard in Tübingen die erste Rechenmaschine. Die Bundesrepublik Deutschland würdigt die Erfindung in diesem Jahr mit einer 20-Euro-Silbermünze und einer 85-Cent-Briefmarke – wir mit einem fischertechnik-Modell.

Wilhelm Schickard

Der Erfinder der Rechenmaschine wurde 1592 in Herrenberg geboren. Seine Mutter war die Tochter eines Pfarrers aus Gärtringen. Sein Vater war Kunstschreiner, sein Großvater Bildschnitzer und sein Onkel *Heinrich Schickardt* (1558-1635) ein berühmter Baumeister der Renaissance. Insofern hatte Wilhelm Schickard sowohl einen theologischen als auch einen handwerklichen familiären Hintergrund.



Abb. 1: Wilhelm Schickard (1592-1635) mit seinem Handplanetarium (Quelle: Wikipedia)



Abb. 2: Herrenberg im 17. Jhd. (Quelle: Wikimedia Commons)

Mit sieben Jahren besuchte er die Lateinschule in Herrenberg. Nach dem frühen Tod des Vaters kam er 1603 nach Güglingen in die Obhut seines Onkels *Philipp Schickhart* (1562-1635), eines Superintendenten. Über den Bruder seiner Mutter, *Wilhelm Gmelin* (1573-1635), den Präzeptor des Klosters Bebenhausen, kam er 1607 an die dortige Klosterschule und wurde in die fürstlichen Alumnen aufgenommen, also Teil einer zielgerichteten und strengen Eliteförderung.

Im Jahr 1610 wechselte er an das Tübinger Stift und die Universität Tübingen zum Studium der Theologie. Ein Jahr später wurde er Magister. Nach Vikariaten in Herrenberg und Kirchheim wurde er 1614 Diakon in Nürtingen, wo er auch heiratete.

1619 wurde er Professor für Hebräisch an der Universität Tübingen; ab dem Jahr 1631 lehrte er dort auch Astronomie.



Abb. 3: Universitätsstadt Tübingen um 1616
(Quelle: Wikimedia Commons)

Im Jahr 1634 kam mit dem Kriegsgeschehen auch die Pest nach Tübingen, an der Schickards Frau und seine drei Töchter verstarben. Ein Jahr später, im Oktober 1635, verstarben dann auch er selbst und sein Sohn an der Pest.

Schickard und Kepler

Während seines Diakonats lernte Schickard im Jahr 1617 in Nürtingen den kaiserlichen Mathematiker und Astronomen *Johannes Kepler* (1571-1630) kennen. Kepler war nach Württemberg gereist, um seine als Hexe angeklagte Mutter *Katharina Kepler* (1547-1622) zu verteidigen.

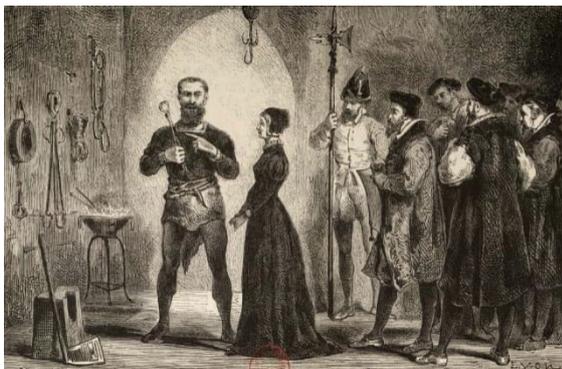


Abb. 4: Der Kerkermeister erklärt Katharina Kepler die Anwendung der Folterinstrumente.
Darstellung aus dem 19. Jahrhundert
(Quelle: Wikimedia Commons)

Hexenprozesse fanden vor allem zwischen 1550 und 1650 statt und zwar fast ausschließlich vor weltlichen Gerichten. Für seine Mutter konnte Kepler letztendlich einen Freispruch erzielen. Sie war aber zuvor 14 Monate in Haft gewesen und hatte

die leichteste Form der Folter erliden müssen: die Erklärung der Instrumente.

Schickard und Kepler verband vieles. Wie Schickard so war auch Kepler zwei Jahrzehnte zuvor Teil der württembergischen Eliteförderung gewesen.

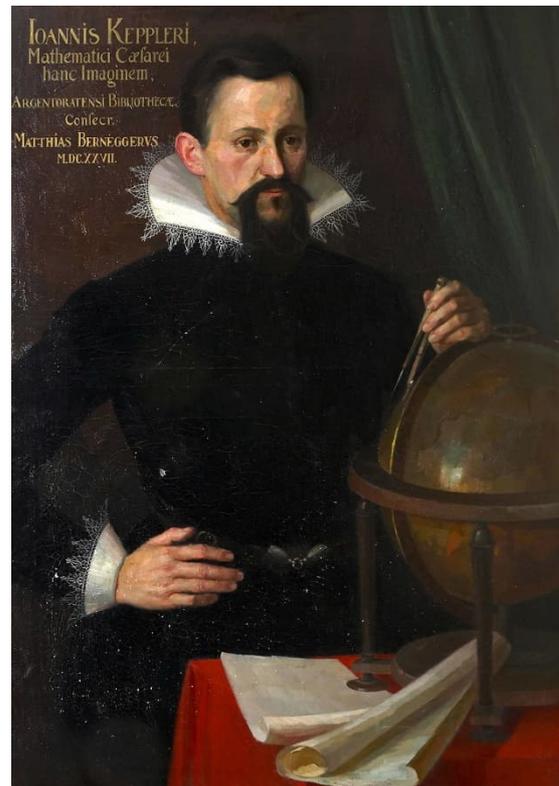


Abb. 5: Portrait von Johannes Kepler
(Quelle: Wikimedia Commons)

Kepler brachte durch die Verwendung von Ellipsen das heliozentrische Weltbild des *Nikolaus Kopernikus* (1473-1543) mit den Beobachtungsdaten in perfekte Übereinstimmung. Schickard fertigte Kupferstiche für Keplers Werke an, insbesondere für die *Weltharmonik* mit dem dritten Planetengesetz, und betreute einen Sohn Keplers während dessen Studiums in Tübingen.

Die Rechenuhr

Schickards Rechenuhr ist nicht erhalten. Hinweise auf seine Erfindung wurden über die Jahrhunderte mehrfach in zwei Briefen an Johannes Kepler wiederentdeckt. Ihre Bedeutung wurde aber der Allgemeinheit erst nach der Rekonstruktion durch *Bruno*

Baron von Freytag-Löringhoff (1912-1996) in den Jahren 1957-1960 bewusst.

Die Rekonstruktion beruht auf zwei Skizzen, die der Wissenschaftshistoriker Franz Hammer (1898-1969) fand und 1957 auf einem mathematikhistorischen Kongress in Oberwolfach im Zusammenhang vorstellte. Die erste stammt aus Keplers in St. Petersburg aufbewahrtem Nachlass. Hammer konnte sie einem Brief aus dem Februar 1624 zuordnen, in dem Schickard Kepler grob die Funktion erklärt und berichtet, dass ein für Kepler gebautes Exemplar der Maschine zwei Tage zuvor verbrannt war.

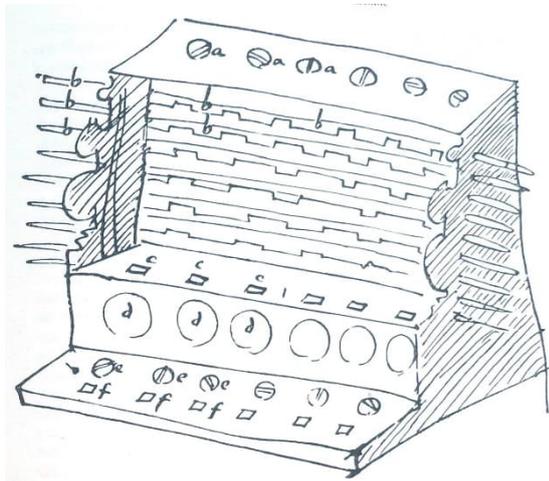


Abb. 6: Skizze zu einem Brief an Johannes Kepler aus dem Jahr 1624 [2].

Schickard erwähnte seine „Rechenuhr“ schon in einem früheren Brief an Kepler vom 20.09.1623. In der Württembergischen Landesbibliothek konnte Hammer in Schickards Nachlass außerdem eine frühere Skizze und einen Zettel mit Anmerkungen zur Mechanik finden.

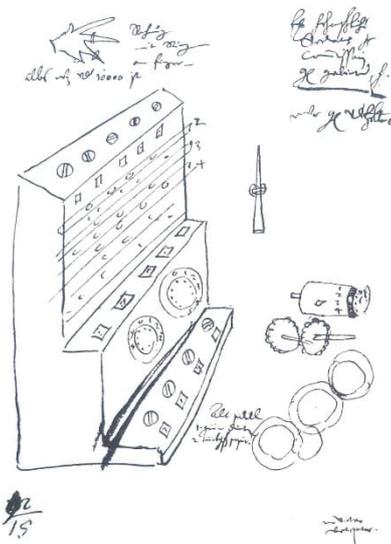


Abb. 7: Frühere Skizze der Rechenuhr [2].

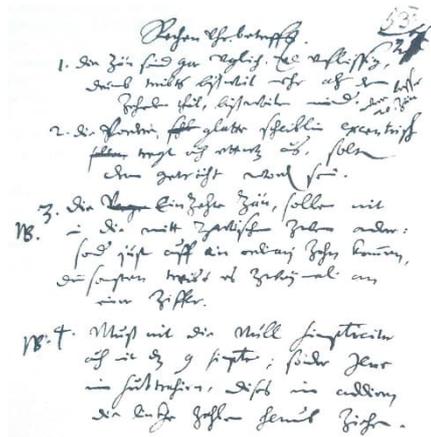


Abb. 8: Schickards undatierte Anmerkungen zur Mechanik, Vorderseite [2]

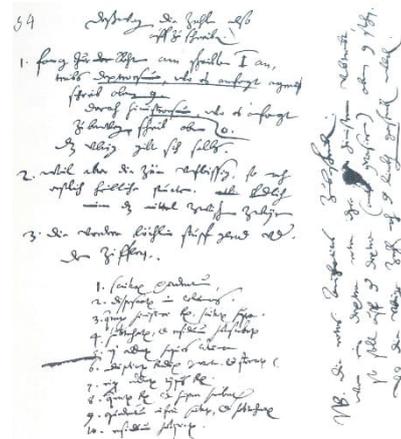


Abb. 9: Schickards undatierte Anmerkungen zur Mechanik, Rückseite [2]

Der Aufbau

Schickards Rechenuhr besteht aus drei Teilen: der mittlere Teil dient zum Addieren und Subtrahieren, der obere enthält Tabellen für die Multiplikation, der untere speichert eine Zahl, siehe Abbildung 10.

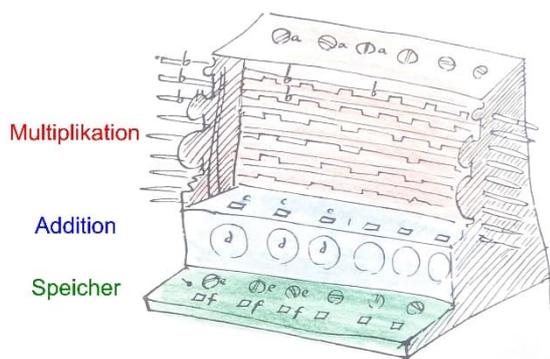


Abb. 10: Aufbau der Rechenuhr

Die Funktion des oberen Teils ist komplett geklärt. In der Maschine aus Abbildung 10 sollten sich sechs vertikale Zylinder befinden. Auf jedem dieser Zylinder ist das komplette Einmaleins tabelliert. Die Zylinder können an den Knöpfen oben gedreht werden. Mit den horizontalen Stangen kann man Sichtfenster so verschieben, dass man die für die Rechnung relevanten Teile der Tabellen sehen kann. Genauer kann man das am besten an unserem Modell verstehen, das aber der Einfachheit halber statt neun horizontalen Schiebern einen einzigen; vertikal verschiebbaren Sichtrahmen besitzt.

Schickard hat in diesem oberen Teil die wenige Jahre zuvor von *John Napier* (1550-1617) erfundenen Rechenstäbchen zylindrisch angeordnet. Das Heraussuchen und Aneinanderlegen der für die Rechnung benötigten Stäbchen dauert deutlich länger als das Drehen der Zylinder. Schickard hat also durch seine Erfindung die Zeit zum Einstellen des Multiplikanden deutlich verkürzt.

Auch über die Funktion des Speichers besteht kein Zweifel. Jeder der sechs Drehknöpfe bewegt eine Scheibe, auf der umlaufend alle Ziffern von 0 bis 9 geschrieben stehen. Durch Drehen kann also eine sechsstellige Zahl in den Sichtfenstern sichtbar gemacht und gespeichert werden. Der Speicher steht mechanisch mit den anderen Teilen in keiner Verbindung.

Der mittlere Teil, das Addierwerk, verrechnet die anfallenden Zehnerüberträge automatisch – und zwar sowohl beim Addieren als auch beim Subtrahieren.

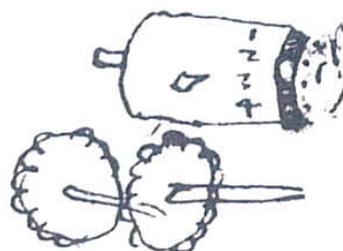


Abb. 11: Darstellung des Übertrags zwischen zwei Stellen. Detail aus Abbildung 7.

Die Grundidee der Zehnerübertragung ist in Abbildung 11 dargestellt. Ein Ein Zahn auf der Trommel dreht beim Übergang von 9 auf 0 die beiden Zahnräder einen Zahn weiter. Das mittlere Zahnrad dient der Richtungsumkehr. Auf der Welle des links dargestellten Zahnrads sitzt vermutlich die Trommel der nächst höheren Stelle.

Die Abschnitte aus den Briefen an Kepler beschreiben grob die Idee, wie der Übertrag funktionieren sollte. Auch die in den Abbildungen 8 und 9 wiedergegebenen Anmerkungen zur Mechanik lassen einigen Interpretationsspielraum. So bleibt insbesondere die zentrale Frage, ob die Ziffernräder gerastet oder ungerastet waren, vollkommen ungeklärt. Rastungen sind in fast allen Rekonstruktionen vorhanden, obwohl sie weder in den Skizzen vorkommen, noch in den Anmerkungen erwähnt werden.

Das Modell

Schickards Beschreibungen und Skizzen erlauben keine in allen Details authentische Rekonstruktion. Ich habe daher zwar sein Konzept übernommen, mir aber in der konkreten Umsetzung Freiheiten genommen und die Maschine so gebaut, dass sie zu einem optimalen Lernspielzeug wird.

Dabei habe ich mich auf das Addierwerk, die Multiplikationswalzen und ihr Zusammenspiel konzentriert. Den mechanisch uninteressanten Speicher habe ich weggelassen. Heutzutage sind Papier und Stifte nicht teuer, und es dauert länger, eine Zahl in den Speicher zu drehen als sie auf Papier zu notieren.

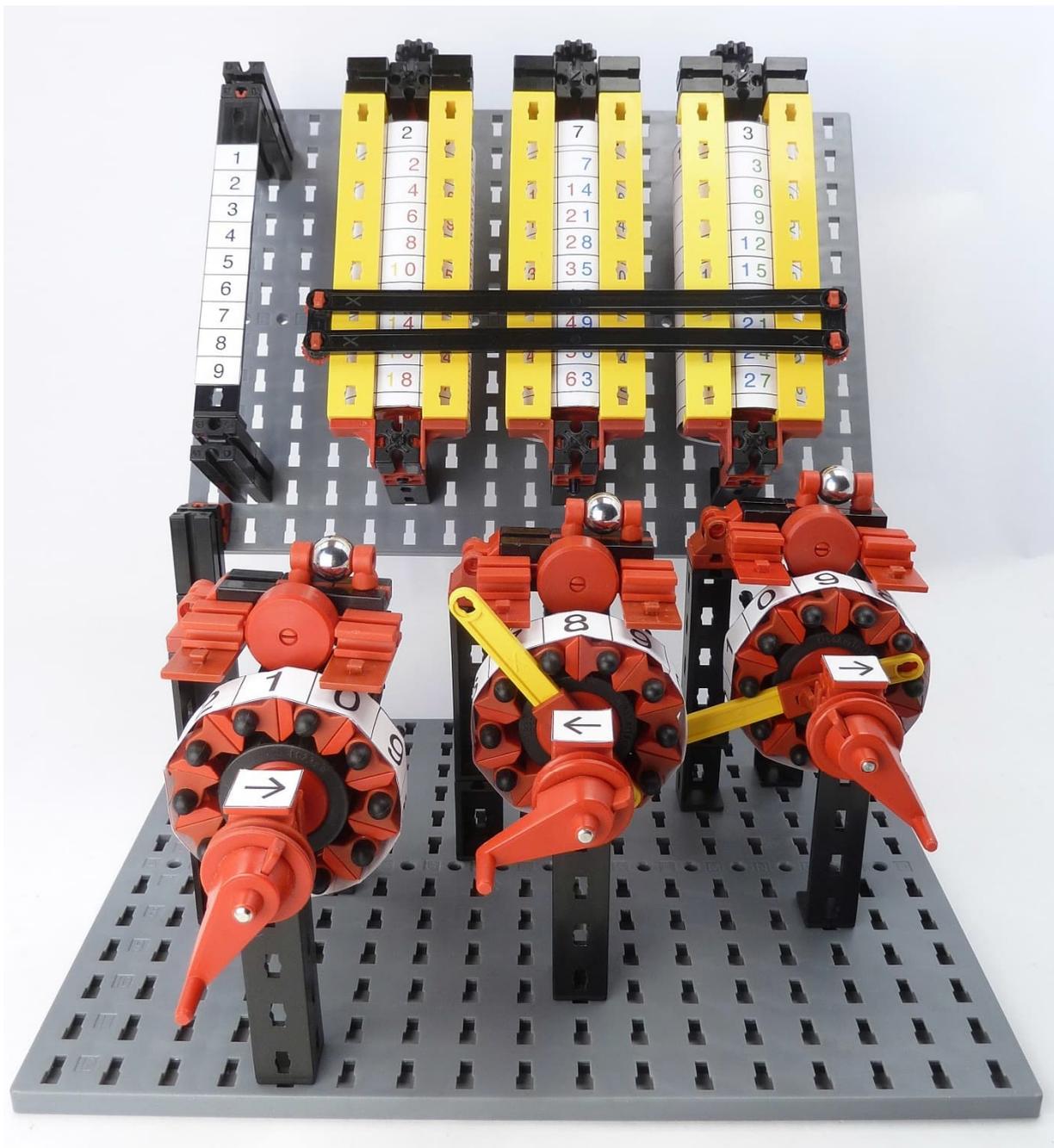


Abb. 12: Eine dreistellige Schickard-Rechenuhr aus fischertechnik

Das Addierwerk

Das Addier-/Subtrahierwerk ist so gebaut, dass der Benutzer die Zehnerüberträge gleichzeitig sieht, hört und fühlt. Die gleichzeitige Rückkopplung über mehrere Sinne unterstützt das kindliche Lernen. Ohne umfangreiche Erklärungen können Kinder mit dem Modell durch reines Ausprobieren zählen, addieren und subtrahieren lernen.

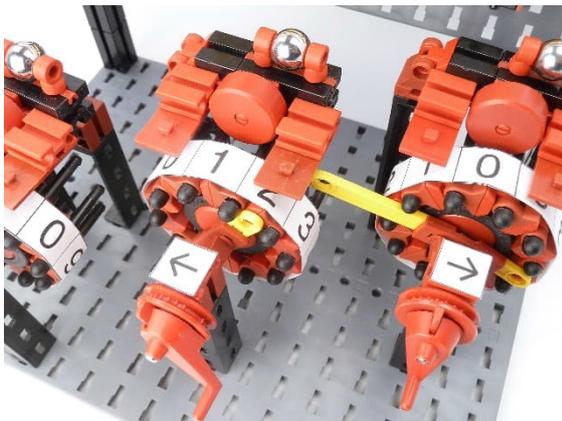


Abb. 13: Dreistelliges Addierwerk

Mit Hilfe der Kurbeln gibt man eine dreistellige Zahl ins Werk ein. Addieren und Subtrahieren erfolgt durch Weiterkurbeln der einzelnen Stellen. Ist zum Beispiel die Zahl 288 im Werk und soll die Zahl 137 addiert werden, so dreht man die rechte Kurbel (Einerstelle) sieben Schritte in Pfeilrichtung, die mittlere Kurbel (Zehnerstelle) drei Schritte in Pfeilrichtung und die linke Kurbel (Hunderterstelle) einen Schritt in Pfeilrichtung.

Befindet sich die Zahl 510 im Werk und soll die Zahl 371 abgezogen werden, so dreht man die rechte Kurbel (Einerstelle) einen Schritt gegen die Pfeilrichtung, die mittlere Kurbel (Zehnerstelle) sieben Schritte gegen die Pfeilrichtung und die linke Stelle (Hunderterstelle) drei Schritte gegen die Pfeilrichtung. Im Werk befindet sich dann die Differenz $139 = 510 - 371$.

Wenn man zum Beispiel $726 + 479$ berechnet, springt die Hunderterstelle zwischendurch von 9 auf 0. Dieser sogenannte Über-

lauf wird nicht buchgeführt. In Abb. 7 oben links erkennt man, dass Schickard sich zumindest zwischendurch vorstellte, die Überläufe durch Anstecken von Ringen an Finger buchzuführen.

Die Multiplikationswalzen

Die Multiplikationswalzen habe ich schon in meinem Buch *Mathematik verstehen mit fischertechnik* [2] ausführlich vorgestellt. Zunächst einmal dienen sie hier wie da zur Multiplikation einer einstelligen Zahl mit einer dreistelligen Zahl.

In Abbildung 14 wird als Beispiel $4 \cdot 273$ berechnet. Der Anzeigerahmen wird vertikal so verschoben, dass der Multiplikator 4 außen links neben dem Sichtfenster erscheint. Die Walzen werden so gedreht, dass die Zahl 273 in der obersten Zeile zu sehen ist.



Abb. 14: Die Multiplikationswalzen

Ziffern entsprechender Farbe gehören zusammen. Die Einerstelle ist grün, die Zehnerstelle blau, die Hunderterstelle rot und die Tausenderstelle gelb eingefärbt. Man liest jetzt das Ergebnis von rechts nach links ab. In unserem Beispiel ergeben sich also 2 Einer, $1 + 8 = 9$ Zehner und $2 + 8 = 10$ Hunderter, also ist $4 \cdot 273 = 1092$.

Im Zusammenspiel mit dem Addierwerk (oder auch mit schriftlicher Addition) können jedoch viel größere Multiplikations- und Divisionsaufgaben mit Hilfe der Multiplikationswalzen berechnet werden.

Die Multiplikationswalzen und das Addierwerk sind in Schickards Skizzen fest in einer Maschine miteinander verbunden. Auch ich habe die beiden Teile meines Modells in den vorigen Abbildungen verbunden dargestellt. Beim Multiplizieren zweier mehrstelliger Zahlen ist allerdings sehr vorteilhaft, wenn man die beiden Teile separat hält. Das werde ich in den folgenden Beispielen zeigen.

Das Produkt $26 \cdot 37$

Um das Produkt $26 \cdot 37$ zu berechnen, stellt man zunächst die Multiplikationswalzen hinter das Addierwerk. Dann stellt man das Addierwerk auf 000, dreht die Multiplikationswalzen auf 037 und verschiebt den Anzeigerahmen auf die Einerstelle 6 des Multiplikators.



Abb. 15: Das Produkt $6 \cdot 37$

Dann dreht man die im Sichtfenster angezeigten Ziffern von rechts nach links ins Addierwerk. Die grüne 2 wird also rechts eingedreht, das mittlere Ziffernrad wird danach zuerst 4 und dann 8 in Pfeilrichtung weitergedreht und das linke Ziffernrad wird abschließend 1 in Pfeil-

richtung weitergedreht. Das Addierwerk zeigt jetzt das Ergebnis der Multiplikation $6 \cdot 37 = 222$ an.



Abb. 16: Mit versetzten Walzen berechnet man das Produkt $26 \cdot 37$

Jetzt verschiebt man die Multiplikationswalzen eine Stelle nach links und den Anzeigerahmen auf 2. Wieder gibt man die im Anzeigerahmen angezeigten Ziffern von rechts nach links ins Addierwerk. Die grüne 4 in die Mitte und die blaue 1 und die blaue 6 links. Im Addierwerk steht jetzt das Produkt $26 \cdot 37 = 962$.

Wenn man zwei dreistellige Maschinen auf diese Weise multipliziert, erhält man ein meist sechsstelliges Ergebnis, dessen höchstwertige drei Stellen nicht ins Addierwerk passen. *Friedrich W. Kistermann* (1928-2016) hat darauf hingewiesen, dass die Schickard Maschine vermutlich zur Anwendung der verkürzten Multiplikation gedacht war [3].

Die verkürzte Multiplikation

Jeder kennt Fließkommazahlen aus der Schule. Statt 4730 schreibt man $4,73 \cdot 10^3$ und statt 0,0217 schreibt man $2,17 \cdot 10^{-2}$. Die Zahlen 4,73 und 2,17 heißen *Mantissen* und die Zahlen 3 und -2 *Exponenten*.

Wenn man zwei dreistellige Fließkommazahlen multipliziert, ist man in der Regel an den ersten drei Stellen der resultierenden Mantisse interessiert und nicht an den nachfolgenden. Den Exponenten des Ergebnisses kann man ohne Maschine durch eine einfache Addition ermitteln.

Genau solche Fließkomma-Multiplikationen setzte Kepler bei seinen astronomischen Rechnungen ein und nutzte dafür auch das Verfahren der verkürzten Multiplikation. Es ist sehr plausibel, dass Schickard genau an diese „Software“ für seine Rechenmaschine dachte, wie Kistermann das bezeichnete.

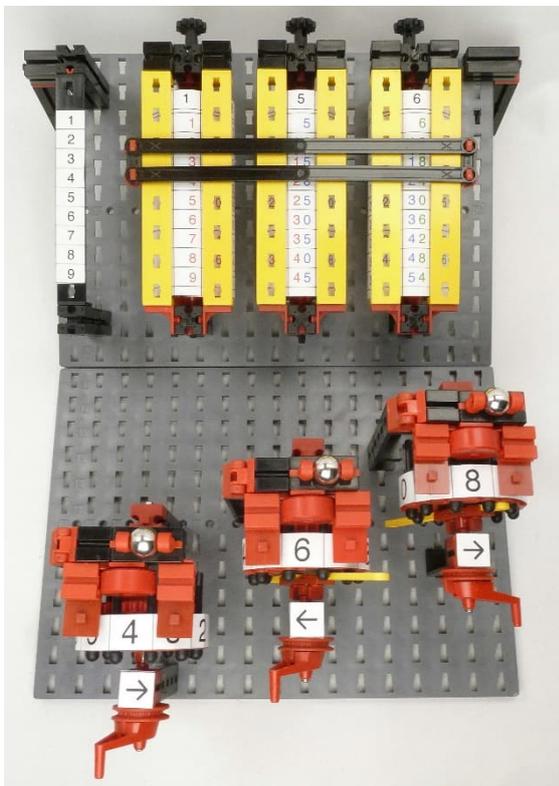


Abb. 17: Erster Schritt in der verkürzten Multiplikation von 1,56 mit 3,74

Wir betrachten als Beispiel das Produkt $1,56 \cdot 3,74$, siehe Abbildung 17-19.

Zunächst stellt man die Multiplikationswalzen ganz normal hinter das Addierwerk, setzt das Addierwerk auf 000 zurück, dreht die Walzen auf 156 und schiebt den Anzeigerahmen auf die 3. Dann liest man die Ziffern im Sichtfenster ab und überträgt

sie in das Addierwerk. Die rote 3 und die rote 1 nach links, die blaue 5 und die blaue 1 in die Mitte und die grüne 8 nach rechts. Das Addierwerk zeigt das Zwischenergebnis $3 \cdot 1,56 = 4,68$ an.



Abb. 18: Zweiter Schritt in der verkürzten Multiplikation von 1,56 mit 3,74

Im zweiten Schritt verschiebt man die Walzen eine Stelle nach rechts und den Anzeigerahmen auf die 7. Wieder überträgt man die Ziffern aus dem Sichtfenster ins Addierwerk. Die roten 7 und 3 in die Mitte, die blauen 5 und 4 nach rechts. Die grüne 2 trägt zur vierten Stelle der Mantisse bei und wird daher nicht berücksichtigt. Das ist der Grund dafür, warum das Verfahren verkürzte Multiplikation heißt. Das Addierwerk zeigt das Zwischenergebnis $1,56 \cdot 3,7 \approx 5,77$ an.

Im dritten Schritt schiebt man die Walzen erneut eine Stelle nach rechts und den Anzeigerahmen auf die 4. Die roten 4 und 2 im Sichtfenster werden beide rechts ins Addierwerk eingegeben. Der Rest der Anzeige wird vernachlässigt. In der Anzeige steht das Endergebnis $1,56 \cdot 3,74 \approx 5,83$.



Abb. 19: Dritter Schritt in der verkürzten Multiplikation von 3,74 mit 1,56

Beim Verfahren der verkürzten Multiplikation wird also alles *von links nach rechts* abgearbeitet. Man erhält ein Ergebnis das so genau ist, wie die Faktoren – in unserem Fall also bis auf drei Stellen. Die $1,56 \cdot 3,74 \approx 5,83$ könnte auch für $156 \cdot 374 \approx 58300$ stehen. Hätte man diese Rechnung wie oben anfänglich beschrieben von rechts nach links aufgebaut, hätten die niederwertigen Stellen 344 in der Anzeige des Addierwerks gestanden und die beiden höherwertigen Stellen 58 wären aus der Anzeige herausgefallen. Für naturwissenschaftliche und astronomische Rechnungen wäre das nutzlos.

Da Schickard die Verschiebung der Walzen gegenüber dem Addierwerk nicht vorgesehen hatte, musste der Benutzer diese Verschiebung selbst durchführen. Meiner Erfahrung nach ist das eine der Hauptfehlerquellen beim praktischen Gebrauch.

Division

Als Beispiel für eine Division behandeln wir die Aufgabe $8,92 : 3,74$ analog zur verkürzten Multiplikation. Bei allen Arten von Divisionen schaut man immer sukzessive, wie oft der Divisor in den Dividen-

den oder in das, was ihm nach Abziehen übrigbleibt, hineinpasst.

Zunächst stellt man das Addierwerk auf 892 und die Walzen auf 374 ein und stellt die Walzen so hinter das Addierwerk, dass die Grundplatten miteinander abschließen. Anschließend scannt man von oben nach unten, welches Vielfache von 3,47 noch in 8,92 hineinpasst (siehe Abb. 20). Dazu kann man den Anzeigerahmen abnehmen oder mitverschieben.

$3 \cdot 3,74$ ist zu groß: die rote 9 und die rote 2 ergeben zusammen 11, also mehr als 8,9. Dagegen passt $2 \cdot 3,74$ noch in 8,2 hinein. Daher schreibt man eine 2 auf. Schickard hätte diese 2 in den Speicher seiner Maschine eingedreht.

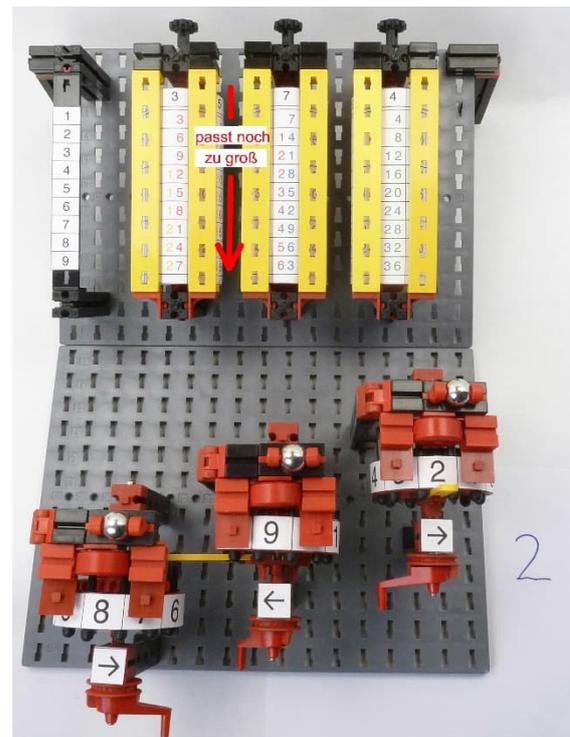


Abb. 20: Erster Schritt von $8,92:3,74$

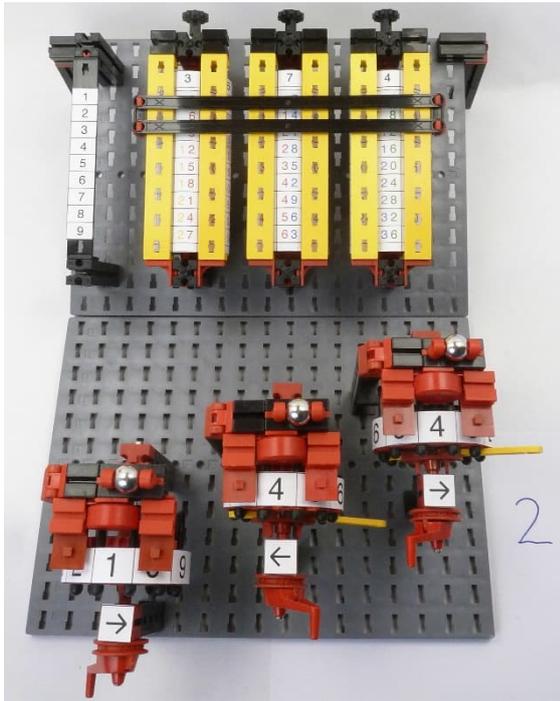


Abb. 21: Zweiter Schritt von 8,92: 3,74

Im zweiten Schritt subtrahiert man alle Ziffern im passend geschobenen Sichtfenster vom Stand des Addierwerks. Man dreht also links $9 + 1$ gegen die Pfeilrichtung, in der Mitte 4 gegen die Pfeilrichtung und rechts 8 gegen die Pfeilrichtung. Das Addierwerk steht nun auf 144 bzw. 1,44.

Im dritten Schritt verschiebt man die Walzen eine Position nach rechts. Dadurch macht man aus der 3,47 eine 0,347. Man scannt, welches Vielfache von 0,347 noch in 1,44 passt. Wie man sieht ist $4 \cdot 0,347$ zu groß, während $3 \cdot 0,347$ noch passt. Man notiert somit eine 3.

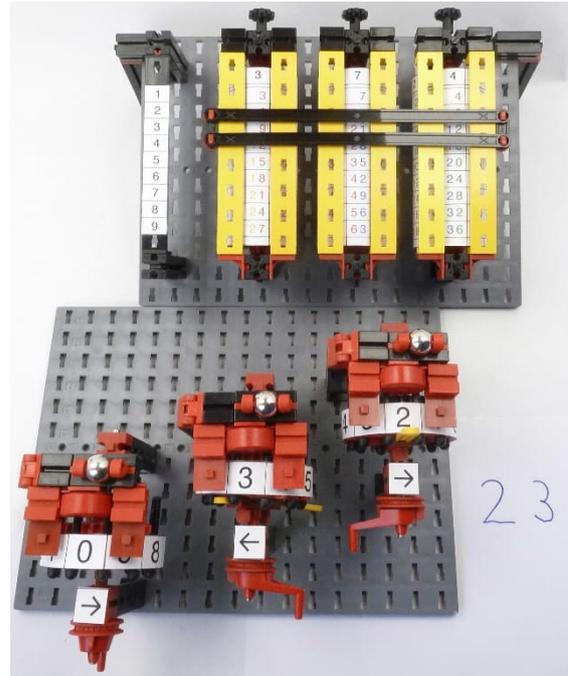


Abb. 23: Vierter Schritt von 8,92: 3,74

Im vierten Schritt zieht man wieder die Ziffern im Sichtfenster ab: in der Mitte $9 + 2$, rechts $1 + 1$. Das Addierwerk steht nun auf 0,32.

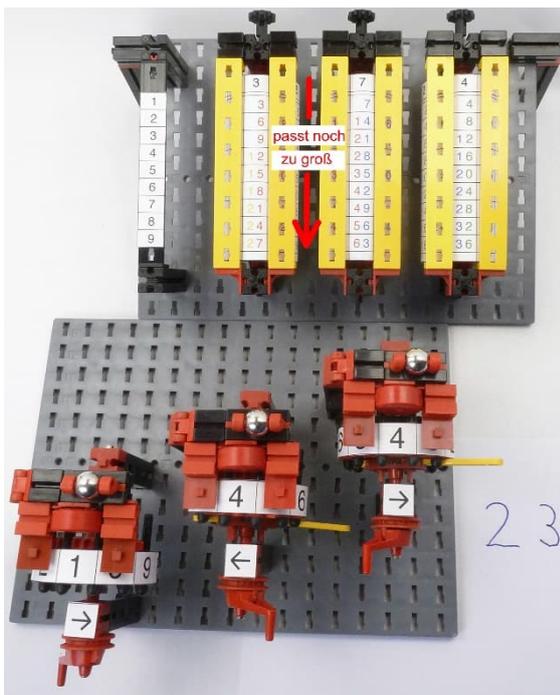


Abb. 22: Dritter Schritt von 8,92: 3,74

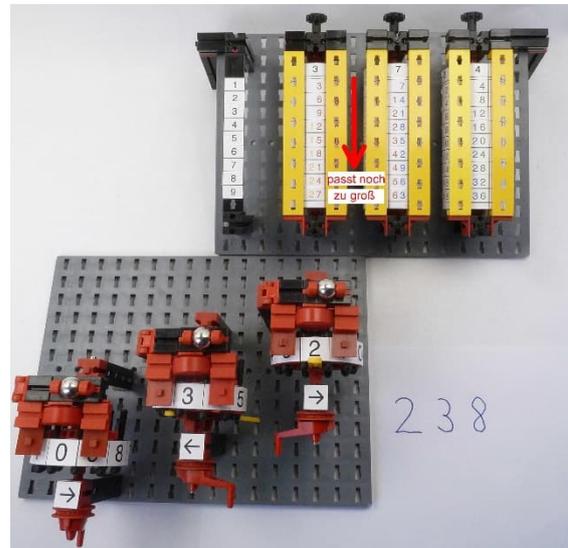


Abb. 24: Fünfter Schritt von 8,92: 3,74

Im fünften Schritt verschiebt man die Walzen erneut eine Position nach rechts. Dadurch wird aus 0,374 eine 0,0374. Man findet, dass $8 \cdot 0,0374$ noch in 0,32 hineinpasst, während $9 \cdot 0,0374$ zu groß ist. Also notiert man eine 8. Das Ergebnis der Rechnung ist somit $8,92 : 3,74 \approx 2,38$.

Schickard und Pascal

Bis 1960 galt *Blaise Pascal* (1623-1662) als Erfinder der Rechenmaschine. Er wurde in dem Jahr geboren, als Schickard seine Rechenuhr konstruierte. Anders als Schickard baute er ab 1642 circa 50 Exemplare der *Pascaline* und verbesserte sie über die Jahre hinweg. Mehrere Exemplare sind gut erhalten.

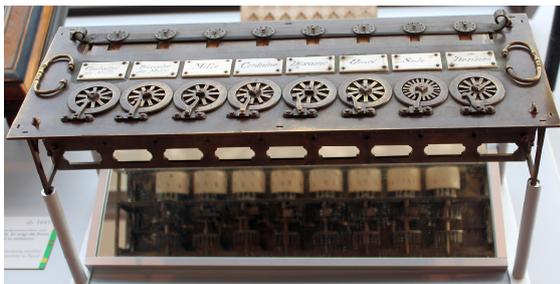


Abb. 25: Eine Pascaline aus dem Jahr 1645, ausgestellt im Arithmeum in Bonn

Pascals Maschine ist eine reine Additionsmaschine. Im Gegensatz zu Schickards Rechenuhr können die Räder des Addierwerks nicht rückwärts gedreht werden. Das liegt an der anderen Mechanik der Zehnerübertragung. Während bei Schickards Rechenuhr die Kraft für den Übertrag beim Übergang von 9 auf 0 aufgebracht werden muss, wird bei der Pascaline die nötige Kraft über einen weiteren Ziffernbereich gesammelt.

Pascals Mechanismus hat den Vorteil, über beliebig viele Stellen hinweg zuverlässig zu funktionieren. Bei Schickards Rechenuhr summieren sich die Kräfte bei einem mehrfachen Übertrag auf. Will man also von 99999 auf 100000 weiterdrehen, ist dafür fünfmal so viel Kraft erforderlich, wie beim Übergang von 9 auf 10.

Die beim mehrfachen Übertrag aus den meist vorhandenen Rastfedern oder Gewichtsrastungen frei werdende Energie ist schwierig zu kontrollieren. Bei praktischen Rechnungen treten solche Überträge über viele Stellen aber selten auf und kündigen sich dem Benutzer vorher an, so dass sie kein echtes praktisches Problem darstellen.

Schickards Idee für die Zehnerübertragung per Einzahn ist sehr geradeaus. Sie gilt trotzdem als schwierig umzusetzen. Baron Freytag-Löringhoff und seine Mitstreiter benötigten drei Jahre für die erste Rekonstruktion. Das Problem ist, dass der Einzahn das nachfolgende Zahnrad beim Übertrag einen Schritt weiterschalten muss, das Drehen des nachfolgenden Zahnrads aber nicht durch den Einzahn blockiert werden darf oder dieser mitbewegt werden darf. Wenn die Zahnräder und die Einzähne Evolventenform haben – wie heute üblich – ist das nicht einfach möglich. Nach meinen Experimenten eignen sich andere Formen jedoch gut.

Welche Zahnform Schickard und sein „Mechanicus“ *Johann Pfister* (1590-1653), der im Zusammenhang mit dem für Kepler bestimmten Exemplar genannt wird, verwendet haben, ist unklar. Die Evolventenverzahnung wurde erst 1754 durch den berühmten Schweizer Mathematiker *Leonard Euler* (1707-1783) erfunden.

Ob Schickards Rechenmaschine einen Einfluss auf die Geschichte des mechanischen Rechnens hatte ist unklar. Die Multiplikationswalzen tauchen mehrere Jahrzehnte später bei *Caspar Schott* (1608-1666) als *Cistula* wieder auf. Über dessen Lehrer *Athanasius Kirchner* (1602-1680) und Kepler wäre ein Zusammenhang zumindest vorstellbar.

Das im Folgenden vorgestellte Modell der Rechenmaschine kann am 13.10.2023 anlässlich der [400-Jahr-Feier im Mathematikum in Gießen](#) in Aktion bewundert werden.

Bauanleitung

Das Addierwerk

Schraube eine Flachnabe sehr fest auf eine Achse 110 und stecke eine Handkurbel auf. Die weiteren Teile in diesem ersten Schritt zeigt Abbildung 26. Auf der anderen Seite des Bausteins 15 mit Bohrung befinden sich ein Abstandsring und eine Klemmbuchse.



Abb. 26: Eine Welle des Addierwerks

Der Einzahn besteht aus einer X-Strebe 42,2 und einer I-Strebe 15, die mit einer Lasche verbunden sind.

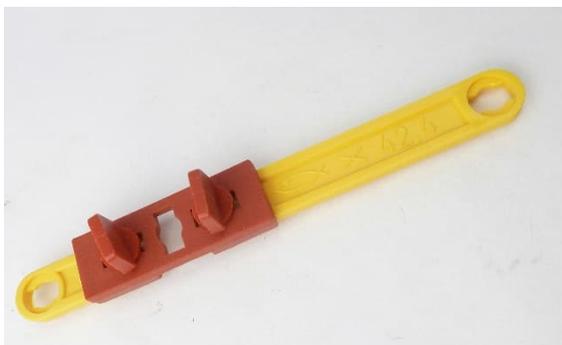


Abb. 27: Einzahn

Schiebe den Einzahn auf die Welle, danach zusätzlich ein Rad 23 mit Reifen 32. Um dieses Rad kommt ein Kranz aus Gelenksteinen, in die jeweils Clipsachsen bis an den Anschlag eingesteckt sind.

Das Rad 23 rutscht zu leicht auf der Welle. Sichere die Position daher mit einem Zahnrad Z30. Zieh' dessen Nabe ganz fest an.

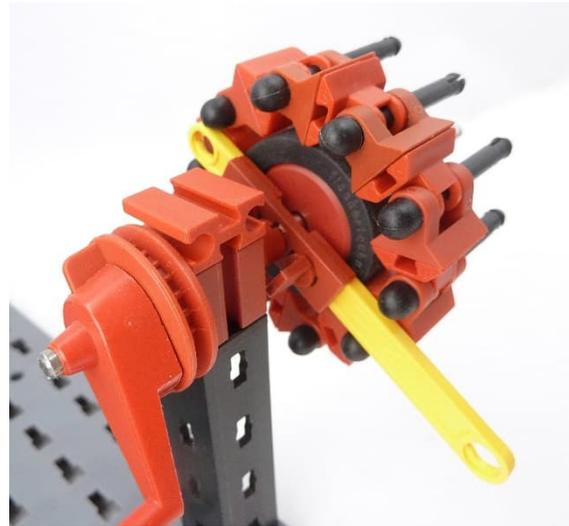


Abb. 28: Das „Zahnrad“ auf der Welle

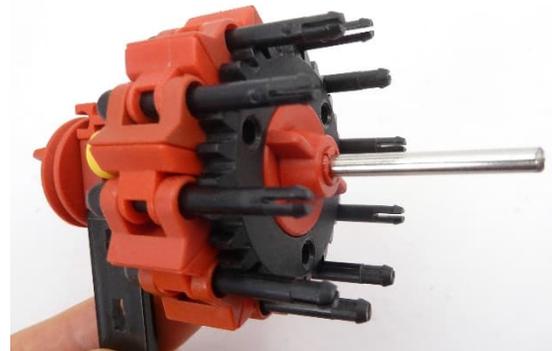


Abb. 29: Arretierung durch Z30

Drucke die Datei Schickard-Druck.pdf in Originalgröße (100%) aus. Schneide die einzelnen Elemente aus und klebe die Ziffernbänder und Multiplikationstabellen zu Ringen bzw. Zylindern zusammen.

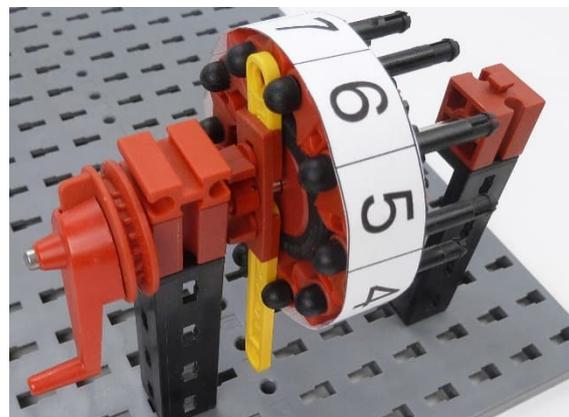


Abb. 30: Die Einerstelle ohne Rastung

Ziehe ein Ziffernband, bei dem die Ziffern gegen den Uhrzeigersinn anwachsen, auf den Kranz aus Gelenksteinen auf.

Baue als nächstes den Rastarm zusammen. Die beiden Bauplatten neben dem Rad 23 dienen als Blende für den Zahlenkranz. Achte darauf, dass sie das Rad nicht berühren, so dass es sich noch frei drehen kann.

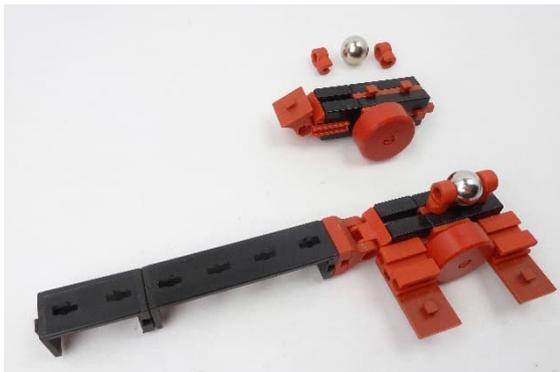


Abb. 31: Rastarm

Baue den Rastarm an. Die Zahlen sollen beim Drehen genau zentriert zwischen den Blenden einrasten.



Abb. 32: Einerstelle mit Rastung

Die Zehnerstelle und die Hunderterstelle werden analog zur Einerstelle gebaut. Die Hunderterstelle benötigt aber keinen Einzahn. Auf dem Ziffernband der Zehnerstelle sind die Ziffern andersherum angeordnet, da sich beim Übertrag der Drehsinn ändert. Schickard hatte Zwischenräder vorgesehen, damit alle Ziffernräder zum

Addieren im gleichen Sinn gedreht werden können.

Kinder verstehen den Übertrag aber ohne Zwischenräder viel besser. Beim Addieren und Subtrahieren auf die Pfeilrichtungen zu achten, fällt ihnen leicht.

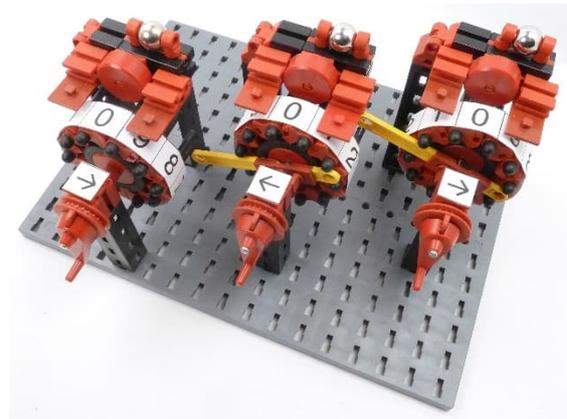


Abb. 33: Das fertige Addierwerk

Die Multiplikationswalzen

Baue zuerst die inneren Teile der drei Walzen zusammen.



Abb. 34: Der Aufbau einer Walze

Ziehe dann den Einmaleins-Zylinder mit den grünen und blauen Ziffern über die Felgen 45 auf und befestige die Walze auf der Grundplatte.

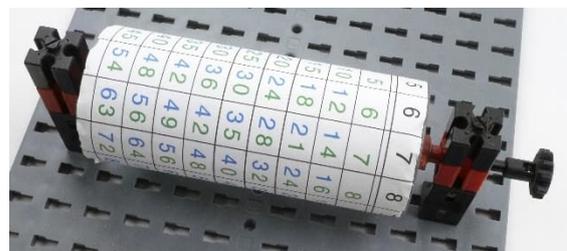


Abb. 35: Das fertige Addierwerk

Baue dann die Blenden zusammen.



Abb. 36: Die Blenden für eine Spalte

Die Zehnerstelle bekommt den Einmaleins-Zylinder mit den blauen und roten Ziffern.

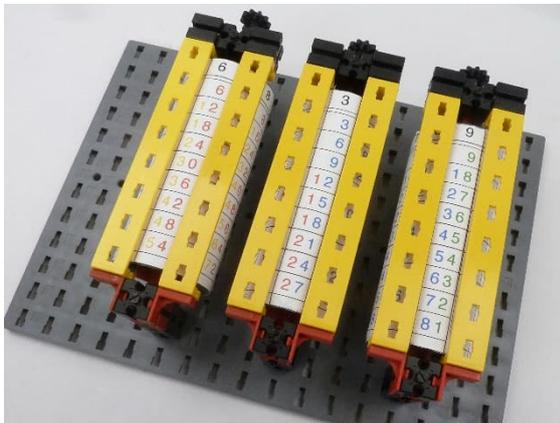


Abb. 37: Alle drei Walzen

Der Anzeigerahmen besteht aus X-Streben 169,6 und I-Streben 15. Der Rahmen wird durch die Riegelscheiben gehalten, die unter die gelben Flachträger greifen.



Abb. 38: Anzeigerahmen und Multiplikatoranzeige

Klebe zum Abschluss noch die Multiplikatorskala so auf, dass sie horizontal mit den Zeilen der Einmaleinstabellen fluchtet.

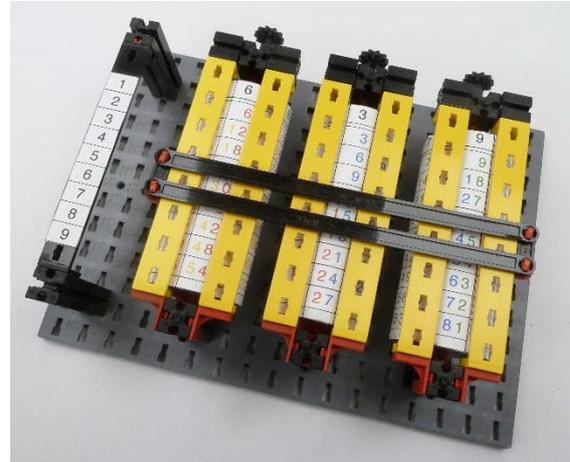


Abb. 39: Die Multiplikationswalzen

Stützen machen die Arbeit mit den Multiplikationswalzen komfortabler.

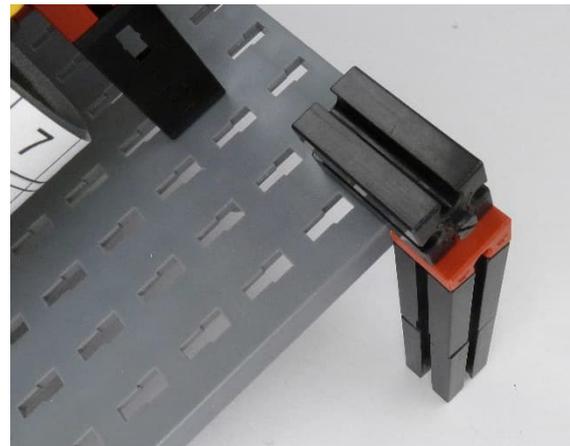


Abb. 40: Eine Stütze

Eine Variante der Multiplikationswalzen mit Reifen 45 statt Felgen 43 findet sich in [4].

Literatur und Links

- [1] Bruno Baron von Freytag gen. Löringhoff: *Wilhelm Schickards Tübinger Rechenmaschine von 1623*, Kleine Tübinger Schriften 4, Kulturamt der Universitätsstadt Tübingen 2002.
- [2] Bruno Baron von Freytag gen. Löringhoff: *Die Rechenmaschine*, in „Wilhelm Schickard (1592-1635) Astronom · Geograph · Orientalist · Erfinder der Rechenmaschine“ (Hrsg. Friedrich Seck), Contubernium 25, J. C. B. Mohr, Tübingen 1978.
- [3] Friedrich Kistermann: *Die Rechen-technik um 1600 und Wilhelm Schickards Rechenmaschine*, in „Zum 400. Geburtstag von Wilhelm Schickard“ (Hrsg. Friedrich Seck), Contubernium 41, Jan Thorbecke Verlag, Sigmaringen 1995.
- [4] Thomas Püttmann: *Mathematik verstehen mit fischertechnik*, dpunkt.verlag, Heidelberg 2022.
- [5] Christian Friedrich Schnurrer: *Biographische und litterarische Nachrichten von ehemaligen Lehrern der hebräischen Litteratur in Tübingen*, Ulm 1792.
- [6] Eberhard Walz: *Die Hexe von Leonberg*, https://zeitreise-bb.de/k_kepler/

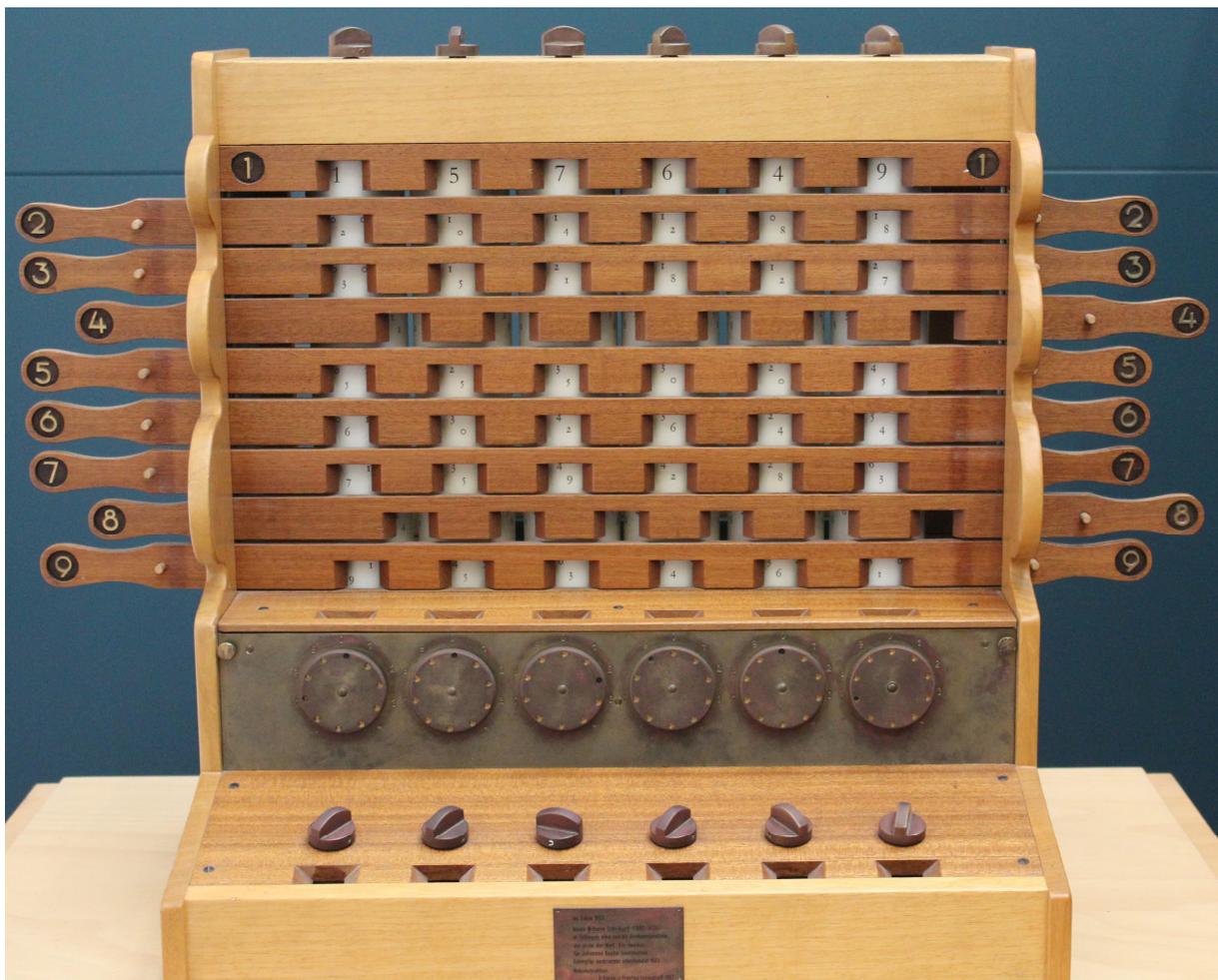


Abb. 40: Rekonstruktion von Baron von Freytag gen. Löringhoff (Technoseum Mannheim)

Modell

Großprojekt Seilbahn (Teil 8): Und sie bewegt sich doch!

Tilo Rust, Stefan Fuss

Dieser Teil der Serie begleitet das Großprojekt „Kuppelbare Einseilumlaufbahn / Doppelmayr (10-MGD)“ im Fördertechnik-Museum Sinsheim von Anfang bis zur Fertigstellung, Ausstellung auf der BUGA23 in Mannheim und darüber hinaus. Er berichtet von einigen Erlebnissen und Hindernissen auf der Bundesgartenschau sowie von Erfolgen des Projektes.

Wie bereits in der letzten Ausgabe der ft:pedia berichtet [1] gab es einige Hindernisse auf der BUGA23 zu überwinden: Diebstahl der Antriebssteuerung, sengende Hitze bis zu 65°C in der Ausstellungshalle und Verwaltungskram. All das verlangsamte unsere Arbeiten am Modell erheblich, und noch immer sind nicht alle Folgeprobleme gelöst.

Dennoch konnten wir fünf Wochen vor Ende der Ausstellung vermelden, dass unsere Fahrzeuge den kompletten Umlauf

schaffen, sich das Seil bewegt und das Ein- und Auskuppeln zuverlässig funktioniert. Mit diesem Meilenstein ist die Seilbahn keineswegs fertig. Es stehen noch einige Arbeiten für Justage, Debugging, Dekoration, Optimierung und die Integration weiterer Module an.

In Abb. 1 ist die Antriebsstation mit Stütze 1 und dem Steuerstand auf der BUGA23 zu sehen. Das Schauband um den Sockel der Station bietet Schutz und Lagerraum und lässt die Anlage professionell glänzen.



Abb. 1: Die Antriebsstation

Heißes Pflaster Mannheim

Dass die Seilbahn in einem Gewächshaus steht, ist uns schon im Vorfeld klar gewesen. Dass es deswegen zu einer „heißen Angelegenheit“ wurde, mussten wir auf der BUGA23 lernen.

Gleich zu Beginn machten uns die sonnigen Monate Mai und Juni massiv zu schaffen. Die Temperatur in der Halle erreichte immer neue Rekordwerte. Ein Weiterbau der Anlage war bestenfalls in den Abendstunden möglich; selbst die Gondelgala musste verkürzt werden. Besucher blieben aus und suchten sich schattigere Plätzchen. Der Kühlschrank im Steuerstand wurde zum wichtigsten Bauteil der ganzen Anlage.

Die Abkühlung im August, einige Reparaturen durch die BUGA23 und der Einsatz der Verschattungen an der Decke ermöglichten uns endlich den Weiterbau an der Anlage.

Der Reifenförderer

Die Reifenförderer hatten wir bereits in Sinsheim vor einem Jahr neu konstruiert, nachdem die erste Versuchsstrecke nicht funktionierte. Dies wurde im Winter an beiden Anlagen umgebaut, aber man lernt bekanntlich nicht aus.

So war es die Frage von Leon – eines der neu auf der BUGA23 gewonnenen Teammitglieder – „Warum macht ihr das mit den Antrieben so kompliziert?“, die uns noch einmal die ganze Sache überdenken ließ.

Tatsächlich, es geht deutlich einfacher. Nun ist der Reifenförderer zuverlässiger, verschleißärmer, ruhiger und besser zu justieren. Das Ganze mit viel weniger Teilen, und es sieht zudem gefälliger aus. Im Original gibt es diese Hilfsantriebe nämlich nicht.

Also entschlossen wir uns, alle 26 Hilfsmotoren so umzurüsten wie beim Prototyp und die Anlage damit deutlich zu verbessern. Während des Umbaus wurde der neue Antrieb noch weiter verbessert.

Doch an den Trennstellen ließ sich der Ansatz nicht umsetzen; Industrieprofile des Grundrahmens waren im Weg. Obwohl 14 Einheiten umgerüstet werden konnten, waren wir schon wieder genervt und enttäuscht von den 12 Motoren an der Trennstelle.

Die simple Frage, warum die Industrieprofile eigentlich oben und nicht darunter montiert sind, brachte die Lösung. Nach nur einer Stunde Arbeit war klar: Umgerüstet geben sie nun den Platz für den Umbau der restlichen Hilfsantriebe frei. Ein Wochenende später schnurrten alle 26 Motoren einwandfrei.

Aber wie wäre es, wenn man in der Anlage vier Hilfsmotoren sparen könnte? Weniger Teile, weniger Verschleiß, und dazu noch einen deutlichen Schritt näher am Vorbild?

Die einzige Herausforderung: Ein Z22 musste erfunden werden. In aufregender Nacharbeit kreierte Arnoud [8] mit Blender und einigen Zusatzmodulen die Druckdaten für das neue Ritzel. Und zwar so, dass trotz der engen Maße und flachen Flanken eine Funktion mit Kette gewährleistet war. Knapp eine Woche später kam von Torsten ein Brief mit 24 wunderbaren Z22 aus dem 3D-Drucker.

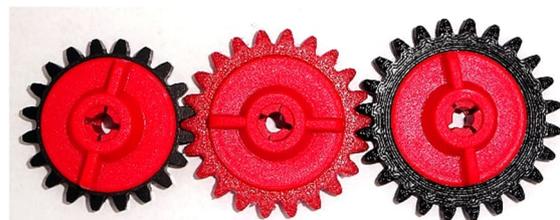


Abb. 2: Zum Vergleich nebeneinander v.l.n.r.: Z20 von fischertechnik, Z22 für die Kuppelstelle und Z24 für die Verzögerungsstrecke (die STL-Dateien können bei uns erfragt werden)

Seit dem darauffolgenden Wochenende dreht sich der Antrieb wie beim Original ganz ohne Motoren. Ein Umbau im Betrieb kann manchmal auch das Gegenteil der Erzeugung von Hindernissen sein.

Einlaufrollen

An der Ein- und Ausfahrt der Stationen befinden sich im Original jeweils vier Rollen, die sogenannten Einlaufrollen. Auf ihnen läuft das Seil und sie positionieren es an der Kupplungsstelle der Klemme exakt in allen drei Dimensionen so, dass der Vorgang möglichst verschleißarm abläuft.

Dazu ist es nötig, dass das Seil und die Reifenförderer, die das Fahrzeug antreiben, exakt gleich schnell laufen.

Unsere Lösung bisher war es, mit einem TXT die Geschwindigkeit der Hilfsmotoren der Reifenförderer zu regeln, damit diese so schnell bzw. so langsam laufen wie das Seil. Dazu hatten wir an den Einlaufrollen und am Reifenförderer mit Lochscheiben und Lichtschranken versucht, die Geschwindigkeiten zu ermitteln.

Die große Seilbahn löst das mechanisch. Dies reduziert den Steuerungsaufwand und

das Risiko von Fehlfunktionen und reduziert die Regelabweichung auf null.

Die Einlaufrollen der echten Seilbahn sind mit den Reifenförderern mechanisch verbunden. Stimmt hier die Übersetzung, herrscht immer die gleiche Geschwindigkeit der beiden Systeme. Warum also nicht auch bei uns?

Also: Kuppelstelle umbauen, neue Einlaufrollen einbauen. Mit Ketten nach oben zu den Reifenförderern verbinden. Damit entfallen pro Seite und Station ein Motor, die Steuerung und hunderte Teile. Unser Modell wird immer authentischer.

Der Prototyp ist eingebaut – die nächsten drei Module werden folgen.

Das zieht allerdings ein Problem nach sich: Da das Seil etwas angehoben wird, läuft es nicht mehr genau in der Spur der Seilscheibe. Unser Vorteil gegenüber dem Original: Wir können die Seilscheibe konstruktionsbedingt um $\pm 7,0$ mm in der Höhe justieren. Leider kommen wir mit der neuen Konstruktion an die Grenze der Einstellbarkeit. Bei einem Test sprang bei voller Geschwindigkeit das Seil von der Seilscheibe. Ein guter Test – denn alle eingebauten Sicherheitsmechanismen griffen.

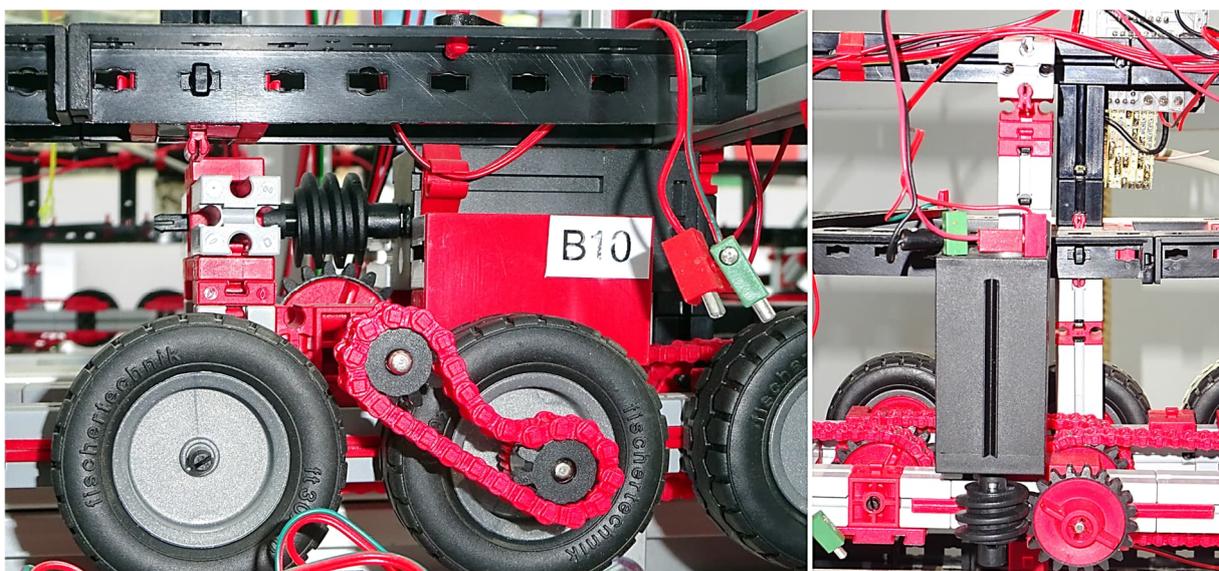


Abb. 3: Die alten Antriebe (links) und die neuen unterscheiden sich deutlich bei gleicher Funktion. Der Umbau hat sich schon beim Anschauen gelohnt.

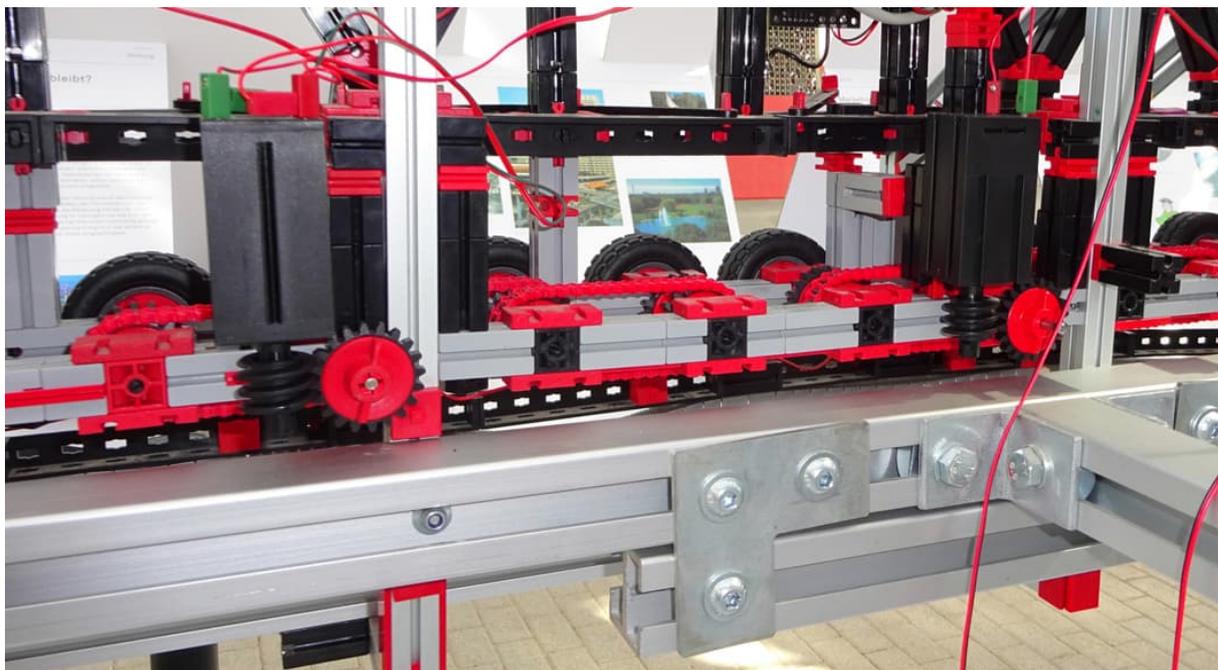
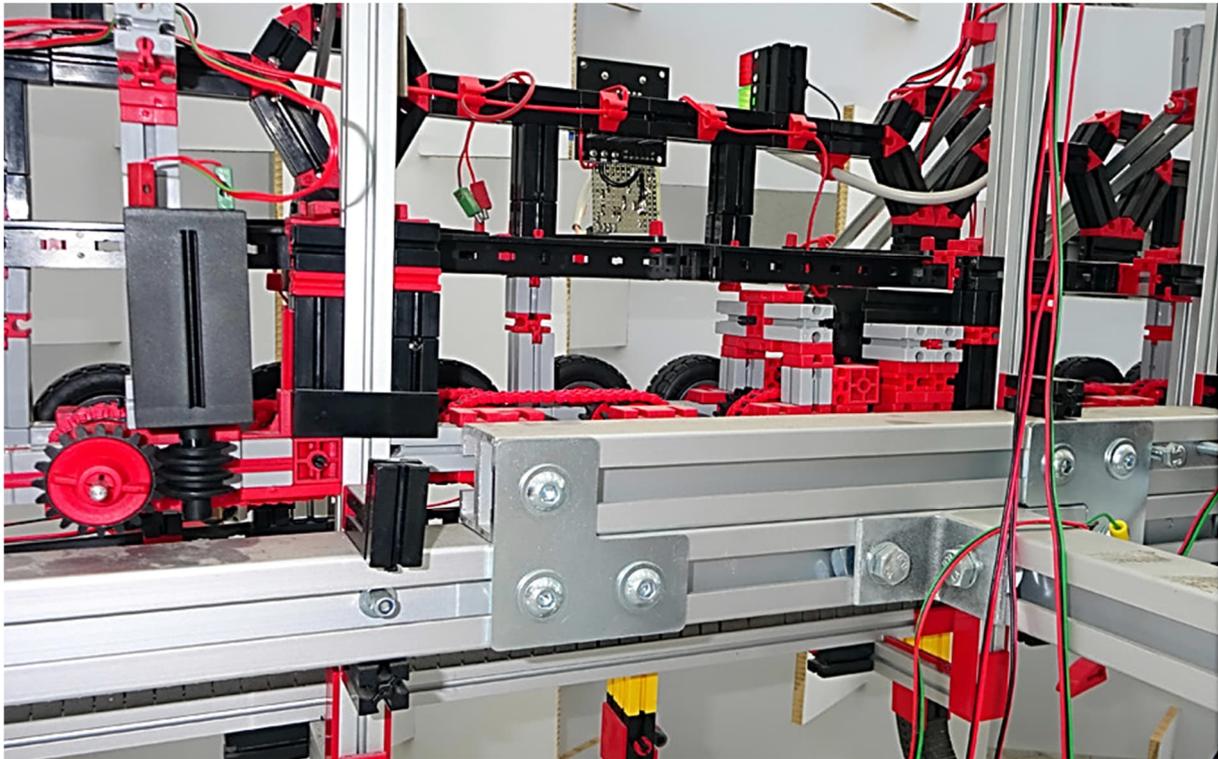


Abb. 4: In der alten Version (oben) ist das gedoppelte Profil über der Leitschiene und damit den Reifenförderern im Weg. Die Antriebe müssen mit vielen Tricks befestigt werden (Antrieb am rechten Rand), waren aber deutliche Schwachstellen. Nun (unten), da die Industrieprofile und Antriebe umgebaut sind, haben alle Antriebe den gleichen Aufbau und sind deutlich verbessert.

Das Seil wurde in den Fangeinrichtungen aufgefangen, die Abweiser verhinderten ein Verklemmen der Rollen, die Fanghaken an der Seilscheibe schnappten sich das Seil.

Keine Gondel stürzte herab, kein einziges Bauteil brach. Wir hätten es wohl nie gewagt, diesen „Gau“ einmal als Test zu provozieren, da wir Angst vor Bruch hatten.

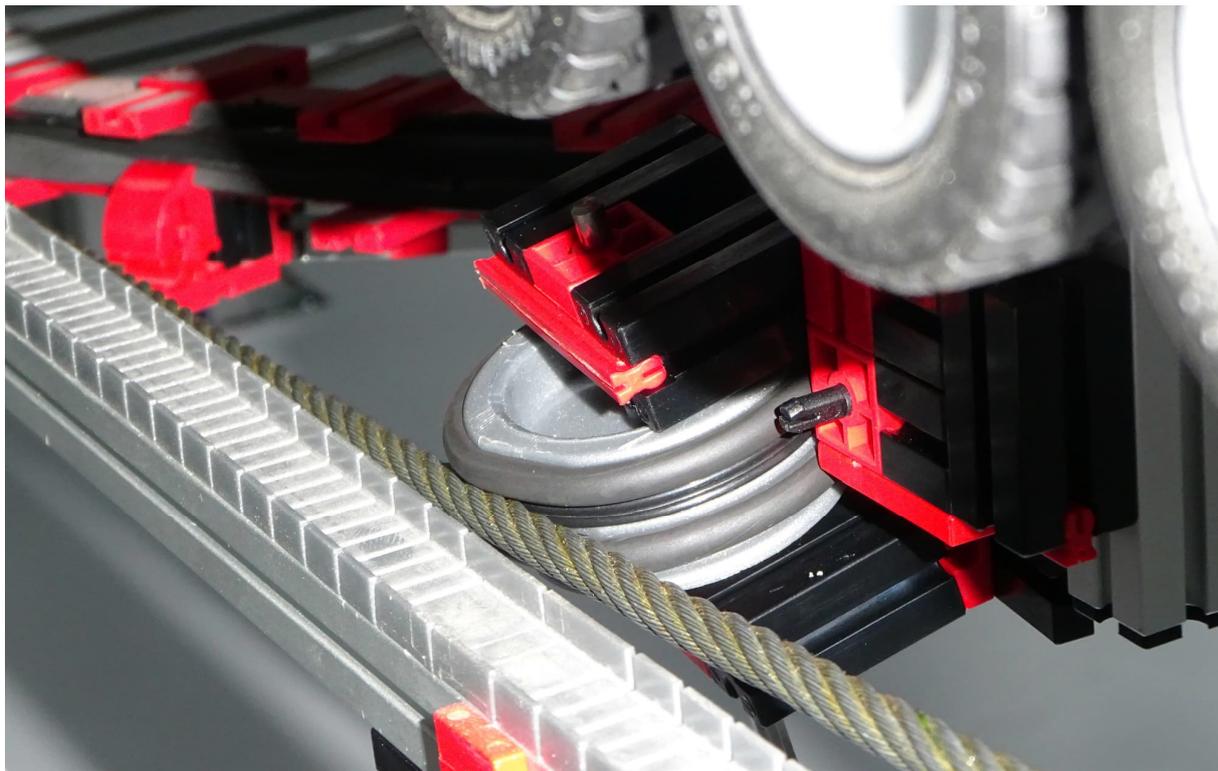


Abb. 5: Die Spurrolle sorgt dafür, dass das einlaufende Seil (hier von rechts unten kommend) genau auf die Seilscheibe geführt wird und das auslaufende Seil auf der anderen Seite der Station wieder exakt fluchtend auf die Kuppelstelle kommt. Dafür muss es in zwei Ebenen um ca. 3,5° gekippt sein.

Dass er aber ausgerechnet vor Publikum und in Anwesenheit des Betriebsleiters der BUGA23 Seilbahn stattfand, war ein Glück, denn wir konnten zeigen, wie die Sicherheitsmechanismen griffen.

Der Betriebsleiter lächelte, beruhigte uns alle und half, das Seil aufzuziehen. In weniger als einer Minute lief die Anlage wieder. Doch damit nicht genug: Rudi, der Betriebsleiter entdeckte den Konstruktionsfehler, zeigte uns genau, an welcher Stelle wir eine Spurrolle einsetzen müssen. Im Original ist diese vorhanden – das wussten wir, dachten aber, es ginge auch ohne... Einen Arbeitstag später liefen die Spurrollen wie empfohlen. Das Seil schnurrt sauber auf der Seilscheibe. Manchmal sollte man einfach mal jemanden fragen, der sich damit auskennt! Danke, Rudi.

Abb. 6 zeigt zum Vergleich ein Foto aus der Luisenpark-Station der BUGA23-Seilbahn während der Bauphase.



Abb. 6: Spurrolle in der Original-Anlage

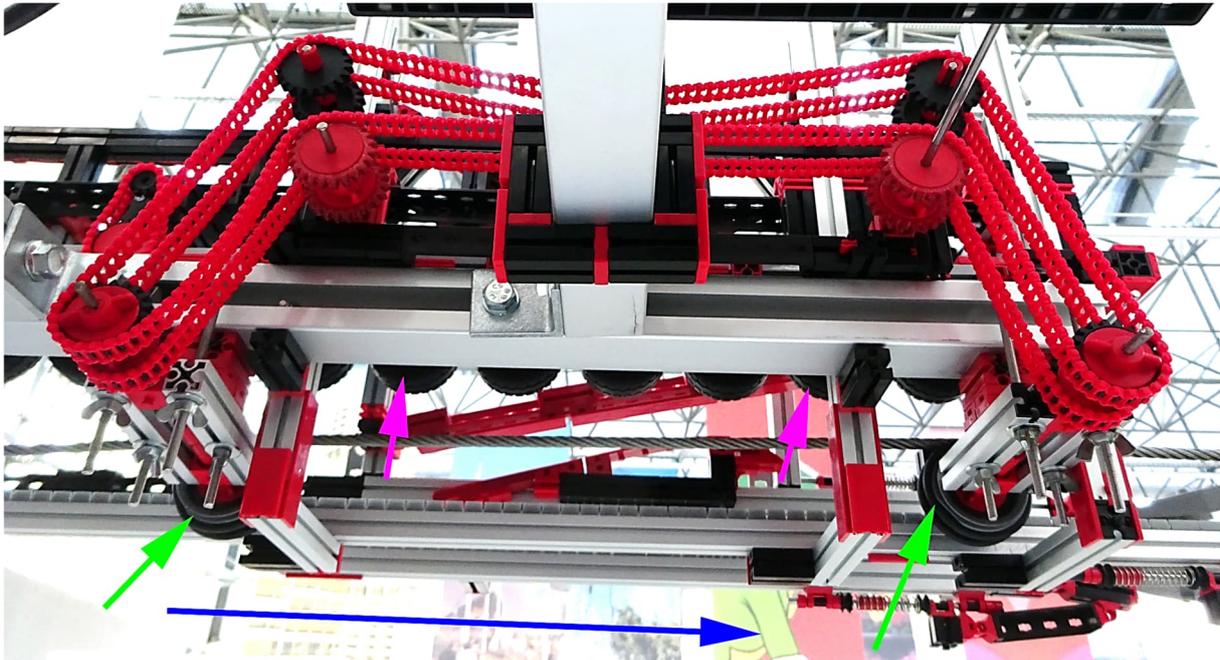


Abb. 7: Die Kuppelstelle auf der auslaufenden Seite der Antriebsstation von unten / innen gesehen. Die Fahrtrichtung verläuft wie der blaue Pfeil. Die Klemme läuft auf den Alu-Schienen und wird an der roten Kulisse im Hintergrund geschlossen. Dazu muss das Seil von unten herangeführt werden und in allen 6 Achsen mit dem Klemmenmaul fluchten. Außerdem müssen die Reifenförderer (violette Pfeile) die gleiche Geschwindigkeit wie das Seil haben, da dieses sonst wie eine Raspel die Klemme zersetzt. Dafür sorgt die neue Konstruktion gemäß dem Vorbild. Die Abtriebsrollen (grüne Pfeile) werden genau justiert und übertragen Drehmoment und Geschwindigkeit über die Ketten mechanisch. Die Ketten sind mit Kettenspanner und freilaufenden Kettenritzeln geführt.

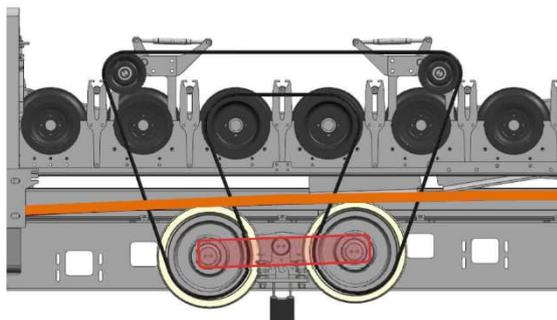


Abb. 8: Ausschnitt aus den Doppelmayr-original-Wartungsunterlagen

Am linken Bildrand ist die Fahrschiene mit der blauen Kuppelschiene zu sehen, am unteren Bildrand die stehende Abtriebsrolle (vgl. die grünen Pfeile in Abb. 7), mittig die Spurrolle und rechts die Seilscheibe. Das Seil ist hier noch ein Zugseil aus dem unvollständigen Seilzug; die Reifenförderer

fehlen noch, sie wären genau in der Himmelslücke.

Abb. 8 zeigt eine Zeichnung aus den Original-Wartungsunterlagen von Doppelmayr (mit Dank) – sie veranschaulicht, wie es funktioniert. Unsere Umsetzung ist noch etwas unelegant, aber die Technik läuft. Einige kleinere Verbesserungen folgen in den nächsten Wochen.

Unser Schwarm

Für die Anlage wurde extra eine neue Serie von ftSwarm-Controllern aufgelegt [7]. Diese sind über die ganze Anlage verteilt und kommunizieren über ein 100 m langes Kabel. Im Modell sind mittlerweile 13 ftSwarmRS-Controller verbaut. Allein vier Geräte werden benötigt, um alle Signale des originalen Doppelmayr-Steuerpults aufnehmen zu können.

Sie bilden außerdem die Brücke zur Fahrsteuerung, dem Not-Halt (s. u.) und vielen Deko-Elementen, die aus trockener Technik und etwas Pling-Pling das Modell einfach schöner machen: Bahnsteigbeleuchtungen, Fahrzustandsanzeigen oder Temperaturüberwachung.

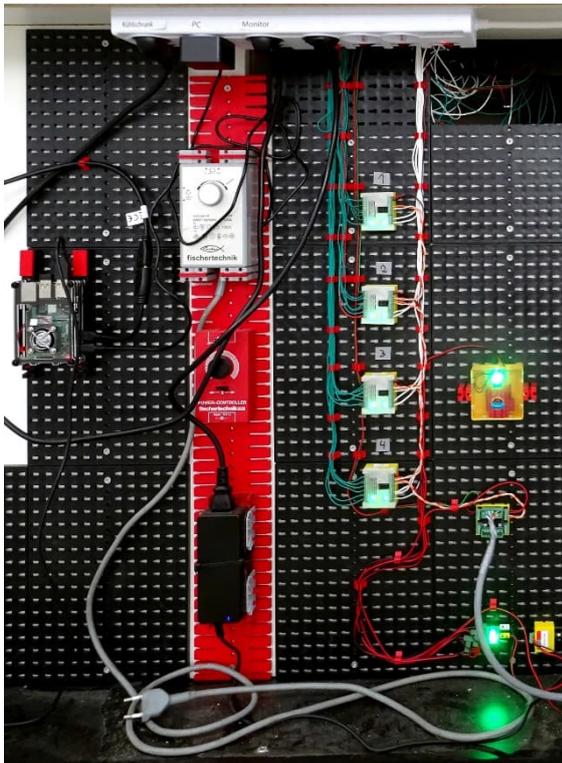


Abb. 9: ftSwarms im Steuerstand

Der Swarm kommuniziert mit einem Raspberry Pi, der den Systemzustand grafisch in einer Oberfläche darstellt, die der Doppelmayr Connect Software nachempfunden wurde. Danke an die Grafikabteilung von Doppelmayr für die Zusendung der Originaldaten. Nun sieht die Oberfläche nicht nur so aus, sondern *ist* die gleiche!

Die ftSwarms (Abb. 9) stellen die Signalumsetzung zwischen dem Doppelmayr-Bedienpult (mit den grünen Litzen angeschlossen) und der Anlage her und übermitteln die Daten an den Raspberry Pi (links oben in Abb. 9). Rechts mittig sieht man den überwachten Reserveschlüssel für den Not-Halt, darunter die Übergabestelle und die Betriebsüberwachung.

Die grafische Bedienoberfläche (Abb. 10) entspricht der Doppelmayr Connect und spiegelt sowohl wichtige Betriebsdaten als auch alle Serviceeinstellungen und das Fehlerhandling wider. Aktuell suchen wir übrigens noch einen kleinen Sponsor, der uns den Raspberry Pi, Tastatur und Maus finanziert, da wir uns aktuell noch aus unseren privaten „Materiallagern“ bedienen.

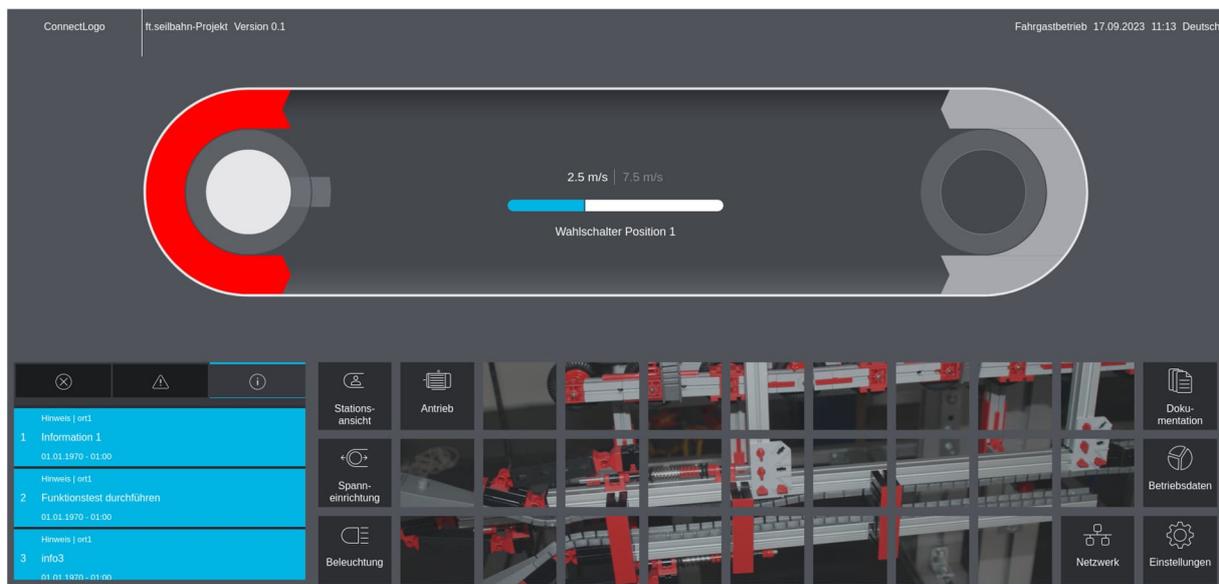


Abb. 10: Die grafische Bedienoberfläche entspricht dem Original der Doppelmayr Connect.

80er-Jahre-Technik

Technologisch gesehen am genau gegenüberliegenden Ende befindet sich die Not-Halt-Schaltung. Ein eigenständiges, vollkommen autarkes und abgeschirmtes System zieht sich wie ein Nervenstrang durch die ganze Anlage, vom Steuerpult über die Antriebsstation und alle Stützen bis zum gegenüberliegenden Ende der Umkehrstation. Kontakte, Schalter und robuste Sensoren überwachen dieses Rückgrat und damit essenzielle, sicherheitsrelevante Stellen in der Seilbahn (ausführlicher Beitrag und Video folgen). So können an verschiedenen Stellen Sicherheitsschlüssel gezogen werden, wenn ein Tüftler an der Anlage arbeitet und er ein unbeabsichtigtes Inbetriebsetzen verhindern will. Eine Notfall-Reißleine, ein Not-Aus-Buzzer am hintersten Eck und die zugehörigen Not-Taster im Steuerpult hängen ebenfalls auf dem System. All das gibt es im Original an den gleichen Stellen ebenfalls. Zukünftig sollen auch Sensoren für Seilentgleisung, nicht eingekuppelte Fahrzeuge, offene Türen oder ausgehängte Rollen folgen. Über die ftSwarms wird zudem die Software überwacht.

Bei einer Auslösung fällt ein Hauptschütz ab und zwingt den Hauptantrieb zu einer schnellen Bremsung. Danach verriegelt sich das Schütz und kann erst nach Fehlerbehebung manuell zurückgesetzt werden. Gleichzeitig werden detaillierte Fehlermeldungen auf der Connect-Oberfläche ausgegeben und Handlungsanweisungen für nicht so erfahrene Bedienpersonal angezeigt.

Erst wenn auch hier alle Meldungen abgearbeitet wurden, kann das System freigegeben werden und erlaubt ein Wiederanlaufen der Antriebe. Einen überwachten Ersatzschlüssel mit Passwortschutz haben wir auch integriert, ebenso einen Override gewisser Sicherheitsfunktionen (sogenannte „Personalfahrt“) und Bedienung in reduzierter Geschwindigkeit für Auf- und

Abbau sowie Ausfall des Steuerpults (sog. Servicebetrieb) – getreu dem Vorbild.



Abb. 11: Das Not-Halt-Panel ist ein eigenständiges, diskret aufgebautes Modul. Robuste Technik im Stil der 80er Jahre – nur nicht in grau. Das Hauptschütz links oben signalisiert den Zustand mit internen LEDs. Diese Information ist failsafe überall auf der Strecke abrufbar.

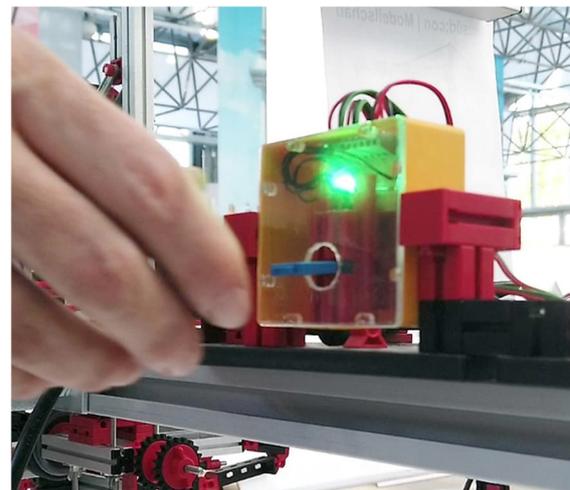


Abb. 12: Der Sicherheitsschlüssel ist mehr als nur ein S-Riegelschlüssel: Kleine Neodym-magnete geben ihm Funktion und stellen sicher, dass nicht einfach ein Stück Plastik eingeschoben wird, um die Sicherheits-schaltung zu umgehen.

Rollis welcome

Seilbahnen sind barrierefreie Verkehrsmittel. Unser Modell sollte das auch sein.

Die Antriebsstation unserer Seilbahn steht auf einem zwei Meter hohen Metallgestell, so dass man sich die Technik von unten anschauen und aus der Subjektiven erleben kann. Das Gestell wurde von der BUGA23 gesponsort.

Leider hat es eine für Rollstuhlfahrer und Rollatorenbenutzer unüberwindliche Querstrebe auf dem Boden. Es ist die Arbeit eines neuen Team-Mitgliedes, das uns nun das Herz erleichtert: Danke an Harald, der in Heimarbeit eine wunderbare, tragfähige, schöne sowie sichere Rollstuhlrampe und Bodenplatte fertigte und nachträglich in das Gestell integrierte. So können wir nun sagen, dass unser Modell ebenso barrierefrei ist wie die Seilbahnen von Doppelmayr und die Kabinen von CWA.

Ingenieure und Tüftler wissen: Form follows function!



Abb. 13: Rolli auf Rampe.

Bei unserer Umkehrstation kann man die Technik von unten, aus der Perspektive eines Fahrgasts betrachten. Nun auch barrierefrei und sicher.

Botschafter urbaner Seilbahnen

Einer der wichtigsten Beweggründe für uns Tüftler (und ich spreche hier ohne Zweifel für die komplette fischertechnik-Szene) ist das „Wie funktioniert sowas – genau?“ zu ergründen, es zu verstehen und so lange die Details zu erforschen, bis wir die interessante Technik nachgebaut haben. Stimmt's?

Für ein so komplexes und großes Modell wie unsere Seilbahn ist daher auch viel Recherche und ein sehr großes Wissen über Technik, Details und allgemeine Zusammenhänge bei Seilbahnen nötig. Die Beschäftigung mit dem Thema hat jeden von uns mehr oder minder zu einem kleinen Experten gemacht. Die Fragen der Besucher, aber auch die Gespräche mit den Doppelmayr-Technikern lassen uns mehr als nur die Technik an sich verstehen.

Wir haben gelernt, wie effektiv und energiesparend eine Seilbahn ist: Ein Tesla auf der Autobahn verwendet mehr Energie als die BUGA23-Seilbahn im Normalbetrieb. Wir haben gesehen und durften beobachten, wie schnell eine Seilbahn aufgestellt werden kann: in acht Monaten; eine Stütze kann – vom Absperren der Baustelle bis zur Funktionsabnahme – in drei Wochen direkt neben einer ICE-Trasse aufgebaut werden). Und wir haben gelernt, wie gering der Fußabdruck ist (vor allem im Vergleich zur Alternative Bahn / Bus / Brücke). Wir verstehen, dass [Seilbahnen eine notwendige Ergänzung auf der „Plus-Eins-Ebene“ im Nahverkehr sind](#) und es aktuell nur an der Politik und der Akzeptanz der Bevölkerung hängt, dass sie gebaut werden.

Sicherheit, Nachhaltigkeit und Kosten sind Themen, die an uns herangetragen wurden und über die wir uns informiert haben. Zum Beispiel, dass die BUGA23-Seilbahn pro Stunde 2.600 Personen pro Richtung befördern kann, die neue Tri-Line sogar 8.000 – und damit 26 bzw. 80 vollgestopfte Gelenkbusse im Dauereinsatz ersetzt.

Das bedeutet nicht nur weniger Spritverbrauch, sondern 70 Busfahrer weniger (Zweischichtbetrieb, Urlaub und andere Ausfälle, Aufwand des Anlernens und spätere Entlassungen), kein zusätzlicher Verkehr in der Stadt, kein Feinstaub, kein Lärm, keine Unfallgefahr, keine Bereitstellung der Busse, keine Reparaturen, keine Parkfläche und statt 30 Minuten Fahrzeit lediglich acht Minuten mit großartiger Aussicht über den Dächern bei kontinuierlicher Förderung (statt Ausstiegsverzögerung in den Bussen).

Und so wurden wir mehrfach als „Botschafter urbaner Seilbahnen“ bezeichnet, was uns richtig stolz macht und die Begeisterung für unser Modell bei uns selbst weiter steigert.

Seilbahntag

Das war auch der Grund, warum wir zum Seilbahntag, einer internationalen Fachtagung mit über 200 Teilnehmenden im Luisenpark eingeladen wurden – für uns eine Art Ritterschlag. Hier ging es um Rahmenbedingungen und Machbarkeit von urbanen Seilbahnen (vor allem in Deutschland). Dort erfuhren wir, dass erst in diesem Jahr die Gesetzgebung vom Verkehrsministerium so geändert wurde, dass Seilbahnen nahtlos in den Regionalverkehr eingebunden werden können. Länder wie Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz gehören zu den ersten Unterzeichnern, und Mannheim hat bereits ein Budget für Seilbahnen bereitgestellt. Machbarkeitsstudien und Trassenfindungen sind am Laufen – sehr interessant, was alles zu beachten ist.

Aber auch die Technik der Seilbahnen wurde bei dieser Konferenz vorgestellt. Und so nahmen alle Teilnehmenden an Führungen an unserem Modell teil und konnten Details genau betrachten, zu denen sie kurz darauf im Original der Umkehrstation etwas Abstand halten mussten.

Nette Begegnungen

Natürlich gab es auf der BUGA23 auch sehr nette Begegnungen mit Besuchern unserer Ausstellung und interessante Gespräche.

Ein Running Gag war „Guck mal – eine Seilbahn aus Lego!“ Schade, dass wir da keine Strichliste geführt haben. Andererseits: Würden wir jeden, der das sagt, gleich korrigieren, hätten wir viel zu tun. Doch springen wir darauf natürlich an: Wir haben extra zwei funktionsgleiche Kleinmodelle beider Baukastensysteme bereitgehalten, um daran Unterschiede zu zeigen und klarzustellen: Will man Technik begreifen, ist fischertechnik ohne Zweifel die deutlich bessere Wahl. Zitat aus unserer Führung: „Dies ist das 1:10-Funktionsmodell der BUGA23-Seilbahn. Wir zeigen hier, wie diese technisch funktioniert – wollten wir zeigen, wie eine Seilbahn aussieht, hätten wir bunte Bausteine zusammengeklebt.“

Dann gab es die Kategorie „fischertechnik – damit habe ich als Kind gespielt – dass es das noch gibt.“ Und „Wow, das ist ja gigantisch. Welchen Bausatz muss man kaufen, um das zu bauen? Kann ich das mit der Advanced Cable Car auch bauen?“

Und natürlich „Mit so Technik kenne ich mich gar nicht aus, des macht mein Mann – aber sagen Sie mal, wie geht denn das, dass die Gondeln anhalten, wenn man aussteigen will?“ Und schon waren wir im Gespräch und die nächste Runde der Vorführung startete, nicht selten in wenigen Momenten mit über 50 Zuschauern.

„Wie groß ist das Fundament der Stützen?“ (80 m³) „Wie stark wird das Seil gespannt?“ (280 t) und „Was passiert mit der Seilbahn nach der BUGA23?“ (wird abgebaut und in Modulen in anderen Seilbahnen wieder eingesetzt) „Wieso? Wär’ doch schön, wenn die bleibt?“ (ja, macht aber keinen Sinn, weil Spinelli ein freies Feld und der Luisenpark eine kostenpflichtige Parkanlage ist – fernab einer Anbindung zum Nahverkehr – aber in Mannheim wäre an anderen Stellen

eine Seilbahn sinnvoll) „Aber was das alles kostet...“ (s. o.).

Und immer wieder leuchtende Kinderaugen (bis ins Alter von weit über 60 Jahren), wenn Spielzeug mal so richtig groß ist und mehr kann als nur gut aussehen (s. o.).

Menschen, die sich in der Seilbahn vor 50 Jahren das Ja-Wort gaben; Mitleidende der Hitze, die uns spontan ein Eis besorgten; Menschen, die nach einer lustigen Führung und dem Hinweis, dass uns „die Sponsoren alles finanzieren – außer dem Kaffee – den muss ich mir in unserer Maschine in der Werkstatt immer noch selbst machen und in die Kaffeekasse einzahlen“ einen frischen Cappuccino und Kuchen aus dem Restaurant hinstellen. Bis hin zu den Betriebsangestellten der BUGA23-Seilbahn, die sich nach Feierabend über den Fortschritt unseres Modells erkundigen, uns darauf hinweisen, dass „wenn ihr das Ding umdreht, dann sieht das so aus, wie im Original“ und schließlich nach Erfolg auch das Feierabendbierchen aus unserem Steuerstand-Kühlschrank mit uns öffneten und als Gegenleistung uns mit weiteren technischen Details versorgten.

Wir werden größer

Ein wunderbarer Effekt der BUGA23 und den Gesprächen war es, mit interessierten Menschen ausführlich in Kontakt zu kommen. Und daraus ergaben sich fünf neue Mitglieder für unser Team, vom Jüngsten bis zum Ältesten. Das hat einige Vorteile gebracht, denn so konnten wir durch Einheimische auch auf der Ausstellung gut weiterbauen, hatten ausreichend Personal für Führungen und neue Spezialisten dazu erhalten.

Bald, wenn wir ins Museum umgezogen sind, werden wir mit diesen neuen Spezialkräften in der Lage sein, viele tolle Erweiterungen an der Anlage zu bauen und das Modell noch attraktiver zu gestalten. Rollstuhlrampe, Deko und verbesserte Antriebe sind nur einige Resultate aus den neuen Mitgliedschaften.

Nach der BUGA23 ist vor der Convention

Wir wussten schon weit vor der BUGA23, dass diese eine wichtige Veranstaltung sein wird, auf der wir unsere Sponsoren würdig vertreten wollten und Neukunden für fischertechnik und das Museum, aber auch



Abb. 14: Führung mit vollem Publikum. Bisher haben wir in über 1.100 Stunden den Stand auf der BUGA23 betreut, an manchen Wochenenden 600 Besucher in bis zu 40 Führungen begrüßen können – und währenddessen noch an der Anlage weitergebaut. Ein starkes Team!



Abb. 15: Zwei neue Team-Mitglieder in unseren Polo-Shirts, Jannis und Niklas, hängen sich mächtig in das Projekt. Vielen Dank für Euer Engagement, mit Eurer Hilfe sind wir mächtig weitergekommen.

die Community akquiriert werden können (was uns beides nachweislich gelang). Wir wussten aber auch, dass die BUGA23 nur eine Zwischenstation wird, die Vorrunde, in der wir Ausstellungserfahrung sammeln sowie die Präsentation erproben und verbessern konnten. Eine Zwischenstation auf dem Weg zu Fachmessen wie der Cable Car World am 4./5. Juni 2024 in Essen, auf der unser Modell zu sehen sein wird. Eine Zwischenstation vor vielen anderen „Firmenreisen“, auf die nicht nur das Modell, sondern auch wir mitgehen und ferne Länder erkunden dürfen. Sie war eine Zwischenstation, die unseren Zeitplan mit einem Zwischenziel versah, das wir, wenn auch im letzten Moment, erreicht haben, aber mehr auch nicht, denn fertig wird die Anlage erst an dem Tag, an dem die Welt untergeht.

Wie das Original wird sie aber nach der BUGA23 abgebaut, in Module zerlegt und ins Fördertechnik-Museum [4] nach Sinsheim gebracht. Diesmal mit besserer

Logistik und Transportverschalung (s. u.). Doch der Zeitplan ist eng: Letzter Tag der BUGA23: Sonntag, 08.10.2023. Verpacken der Anlage: 10./11.10., Transport: 15./16.10., Wiederaufbau: 18./19.10., Debugging 20.10. und schließlich: ftc-Süd-Convention 2023 am 21./22.10.2023, auf der die Seilbahn dann zum ersten Mal in vollem Glanz, der Originalgröße wie auf der BUGA23 und mit allen bis dahin fertiggestellten Features in Betrieb gehen wird. Vorführungen, Preisausschreiben und vieles mehr werden dann auf der Convention wie in den letzten beiden Jahren, in denen unser Modell weitaus kleiner zu sehen war, für Highlights sorgen.

Für alle fischertechnik-Modellbauer vom kleinsten Modell, als jüngste Tüftler bis zu den Nerd-Anlagen der alten Hasen sei gesagt, dass die Anmeldung online bereits in vollem Gange ist und dass wir auch dieses Mal ein zweitägiges Event haben werden. Für alle Besucher, die uns auf der BUGA23 verpasst haben oder uns in

unserer Homepage, der „Wohlfühl-Umgebung“ (wieder)sehen möchten, der Hinweis: Ein Besuch der Modellausstellung lohnt sich – da gibt es super viel zu sehen! [5]

Preisausschreiben

Die größte Freude aber haben wir daran, dass sich die Anlage dreht und alles läuft. An diesem Erfolgstag haben wir ein kleines Maskottchen, einen Plüsch-Hasen, geschenkt bekommen. Und daraus machen wir ein Preisausschreiben, mit dem wir allen begeisterten Kinderaugen danken möchten:

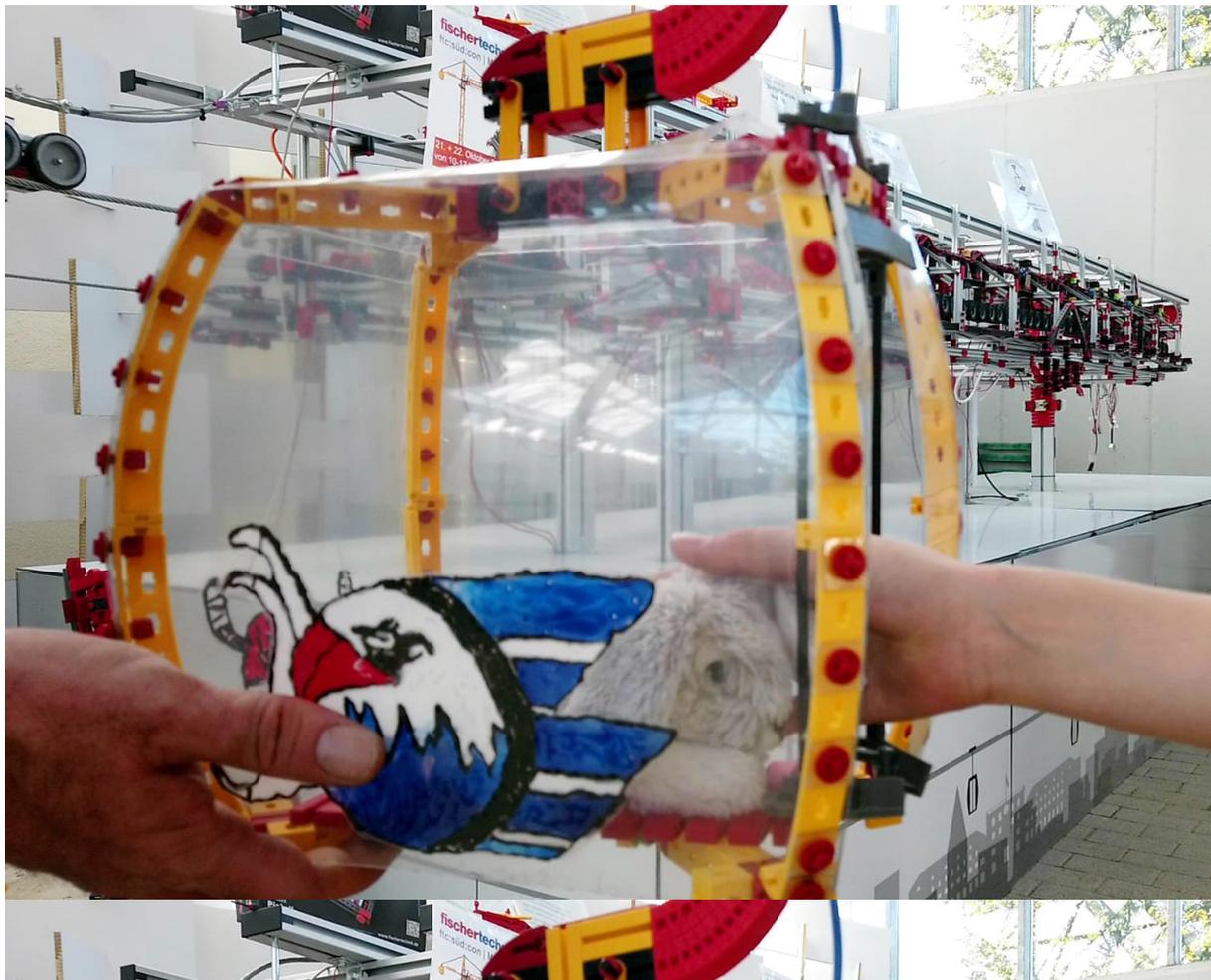
Fertigt Fotos und Videos von unserem Modell (am besten in Bewegung) und veröffentlicht dieses auf Social-Media-Kanälen. Schickt uns per E-Mail [6] einen Link darauf mit dem Vorschlag eines Namens für

das Häschen. Aus den Einsendungen bis zum 01.12.2023 wählt unser Team den Namen; und der Einsender erhält von uns den fischertechnik-Baukasten „Advanced Cable Car“ – signiert.

Kleine Sponsoren gesucht

Wie mehrfach berichtet haben wir aufgrund der BUGA23 mehrmals aus eigenem Budget ungeplante Leistungen finanziert. Gleichzeitig haben wir durch die Einschränkungen der BUGA23 unseren Sponsoren leider nicht die Präsentationsmöglichkeiten bieten können, die wir geplant hatten. Das wollen wir in Zukunft besser machen.

So suchen wir nun unter der Leserschaft „kleine“ Sponsoren, Unternehmen, die unser Budget für zusätzliche Elemente jenseits von fischertechnik aufstocken könnten. So benötigen wir eine eigene Leiter /



Arbeitsplattform. Wir wollen den Kühlschrank refinanzieren. Wir benötigen noch ein paar Polohemden für die neuen Mitglieder. Die Rollstuhlrampe und andere Elemente sind ebenfalls noch nachträglich finanziell auszugleichen.

Wir bieten dafür eine Gondel-Kabine an, die vom Sponsor gestaltet werden kann. Wie im Original, bei dem die Sponsoren der BUGA23 eine eigene Kabine folieren durften. Bei uns geht sogar noch mehr: Auch der Innenraum darf gefüllt werden. Dazu fertigen wir ein Video, um diese Unterstützung zu zeigen und den Sponsor ins Rampenlicht zu stellen, und haben eine Sponsorentafel. Möglichkeiten gibt es viele – bei Interesse bitte direkt melden [6].

Übrigens: Einem privaten Sponsor haben wir es zu verdanken, dass wir für den Rücktransport der Anlage in das Museum eine weitere Stütze und ein Modul der Antriebsstation mit einer Transportverschalung schützen können. Hierfür schon einmal vielen Dank.

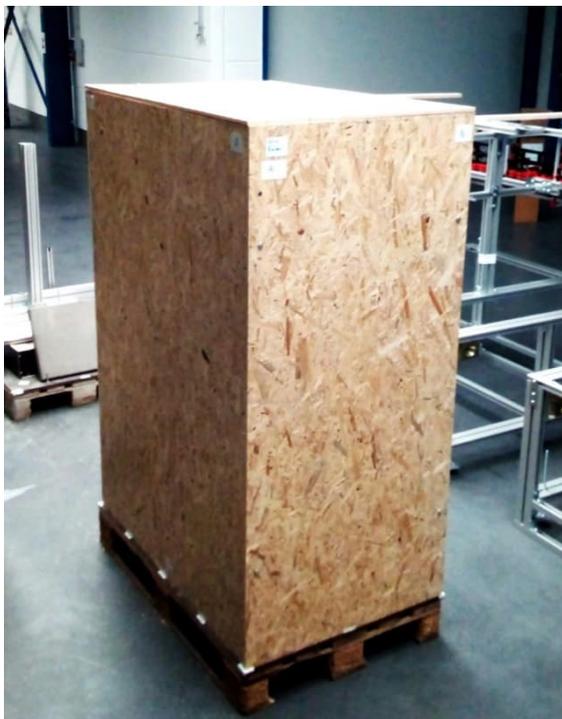


Abb. 17: Transportverschalung einer Stütze

Quellen

- [1] Tilo Rust: *Großprojekt Seilbahn (Teil 7): Zusammenspiel*. [ft:pedia 2/2023](#), S. 4–11.
- [2] BUGA23 – [Bundesgartenschau in Mannheim](#)
- [3] [YouTube-Kanal](#) des Seilbahn-Projekts
- [4] [Fördertechnik-Museum Sinsheim](#), Untere Au 4, 74889 Sinsheim (direkt neben dem Technik-Museum)
- [5] ft Community, *ftc:süd:convention 2023 – Modellschau am 21./22. Oktober 2023 im Fördertechnik-Museum Sinsheim*: [Anmeldung für Aussteller](#) und [Foren-Thread](#).
- [6] Kontakt zur Projektgruppe „Seilbahn“, Projektleiter Tilo Rust, Schifferstadt, E-Mail: ft.seilbahn@gmail.com
- [7] Christian Bergschneider, Stefan Fuss: *ftSwarm (3): Der ftSwarmRS und das Seilbahnprojekt*. In dieser Ausgabe der ft:pedia.
- [8] Arnoud van Delden: [Whizzbizz](#).

Computing

ftSwarm (3): Der ftSwarmRS und das Seilbahnprojekt

Christian Bergschneider, Stefan Fuss

Die ftSwarm-Familie hat Nachwuchs bekommen – den ftSwarmRS. Bei den zusätzlichen Funktionen ist für jeden etwas dabei. Für alle Controllertypen gibt es außerdem eine neue Firmwareversion, eine zweisprachige Webseite und die lange angekündigte Python-Integration. Zum Schluss wird noch etwas gespoilert – der schnelle Leser kann einen Preis gewinnen.

Als die Anfrage aus dem Seilbahnprojekt nach einer größeren Menge Controller kam, war die Urversion des ftSwarm [1, 2] bereits fast ausverkauft. Da eine neue Charge produziert werden musste, konnten einige zusätzliche Funktionen ergänzt werden.

Der ftSwarmRS

Von außen fällt zunächst das etwas höhere und geschlossene Gehäuse auf (Abb. 1). Der transparente Deckel schützt die sonst offenliegenden Bauteile. Der zwischen den beiden RGB-LEDs liegende Reset-Taster ist gut zugänglich.



Abb. 1: ftSwarm und ftSwarmRS

Die JST-Stecker wurden durch Schraubklemmen ersetzt; aus dem bisherigen Micro-USB wurde ein moderner USB-C-Anschluss.

Im Gehäuse arbeitet nun ein ESP32-S3-Microcontroller. Dieser ist etwas leistungsfähiger, erreicht bessere WLAN-Standards und verfügt über mehr IO-Pins für zusätzlichen Funktionen.

Wie der alte Controller verfügt der ftSwarmRS über zwei Motorausgänge. Es kommen zwei zusätzliche Eingänge hinzu, so dass der Controller nun über stolze sechs Eingänge verfügt. Die Anzahl der Servoanschlüsse wurde auf zwei erhöht. Da die meisten ftSwarm-Bestellungen inklusive Gyro waren, bringt der neue Controller bereits einen Gyro ‚on board‘ mit.

Der Namensgeber für den neuen Controller ist der RS485-Anschluß mit einem Durchsatz von bis zu 5 Mbit/s. Über diesen kabelgebunden Bus kann die komplette Swarm-Kommunikation abgewickelt werden. Das zu nutzende Medium (WLAN oder RS485) wird einfach in der Firmware eingestellt.

Der RS485-Bus ist somit überall dort eine gute Alternative, in denen kein stabiles WLAN vorhanden ist oder genutzt werden soll. Die maximale Kabellänge nach RS485-Standard ist abhängig vom verwendeten Kabel, der Baudrate und der Teilnehmeranzahl [3, 4]. Bei Kabellängen bis 10 m reicht in der Regel normale Litze aus, für Kabellängen darüber sind verdrehte Litzen notwendig.

	ftSwarmRS	ftSwarm
CPU	esp32-S3	esp32-Wrover
Speicher	2 MB RAM, 4MB Flash	2 MB RAM, 4MB Flash
Anschlüsse	Schraubklemmen	JST
Motor Ausgänge	2 DC Motoren oder Lampen, 9V, max. 1A pro Ausgang	2 DC Motoren oder Lampen, 9V, max. 1A pro Ausgang
Sensor Eingänge	6 x analoge oder digitale Sensoren	4 analoge oder digitale Sensoren
Servo Ausgänge	2 x 6V Servo	1 x 6V Servo
RGB LEDs	2 onboard LEDs, bis zu 16 externe ftPixel	2 onboard LEDs, bis zu 16 externe ftPixel
Gyro	onboard LSM6 Gyro	optional MPU6040 Gyro
I²C Interface	3.3V Interface	3.3V Interface, sofern kein Gyro angeschlossen.
Kommunikation	wifi oder RS485	wifi
USB-Anschluss	USB-C	Micro-USB

Tab. 1: Technische Daten der beiden Controller im Vergleich

Die drei Controllertypen ftSwarm, der neue ftSwarmRS und die ftSwarmControl-Fernbedienung sind zu 100% zueinander kompatibel und können im WLAN-Betrieb ohne Einschränkungen in einem Swarm eingesetzt werden.

Fertige Controller können bei Björn im Shop bezogen werden [5].

Endlich Python

Die Firmware der ftSwarm-Familie ist in C++ geschrieben; wer eine eigene Steuerung auf seiner Kelda [1] programmieren wollte, war bislang ebenfalls auf C++ angewiesen.

Bei der Python-Integration [6] arbeiten alle Controller im Swarm mit einer Standard-firmware. Das Python-Programm selbst läuft auf einem PC und spricht den Swarm über die USB-Schnittstelle an.

Das Programm in Listing 1 schaltet die Drehrichtung am Motorausgang im Sekundenabstand hin und her. Zur Programmierung stehen die gleichen Funktionen wie in der C-API zur Verfügung.

```
from swarm import FTSwarm
import asyncio

async def main():
    ftswarm =
    swarm.FtSwarm(port="COM4")
    motor = await
    ftswarm.get_motor("motor")
    while True:
        await motor.set_speed(255)
        await asyncio.sleep(1)
        await motor.set_speed(-255)
        await asyncio.sleep(1)

if __name__ == '__main__':
    asyncio.run(main())
```

Listing 1: Beispielprogramm in Python

Firmware Version 0.5

Ab Version 0.5 wird der ftSwarmRS vollständig unterstützt und die Python-Integration ist auch mit den „alten“ Controllertypen möglich.

Das WEB-UI der ftSwarm (Abb. 2) wurde überarbeitet. Neben dem schlanken und schnellen Design wird jetzt im WEB-UI eines jeden Controllers der komplette Swarm angezeigt.

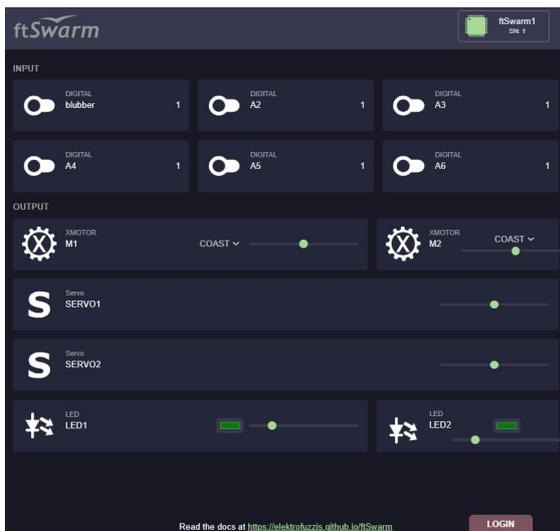


Abb. 2: Die neue WEB-UI

Für alle Controllertypen gab es einige Stabilitätsverbesserungen.

Die neue Webseite

Die Webseite des ftSwarm-Projektes (Abb. 3) wurde komplett überarbeitet. Auf Wunsch vieler Benutzer ist die Dokumentation jetzt sowohl in englischer und deutscher Sprache verfügbar. Die Dokumentation ist in drei Bereiche gegliedert:

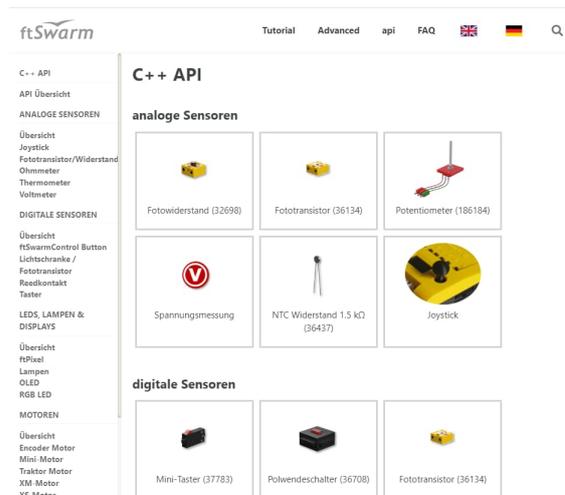


Abb. 3: Verbesserte Dokumentation

- *Das Tutorial* erklärt die Benutzung und Programmierung der Controller anhand vieler Praxisbeispiele.
- Im Bereich *Advanced* werden weiterführende Themen für den fortgeschrittenen Benutzer erklärt.
- *API* beschreibt je Aktor- bzw. Sensortyp die zur Verfügung stehenden Funktionen.

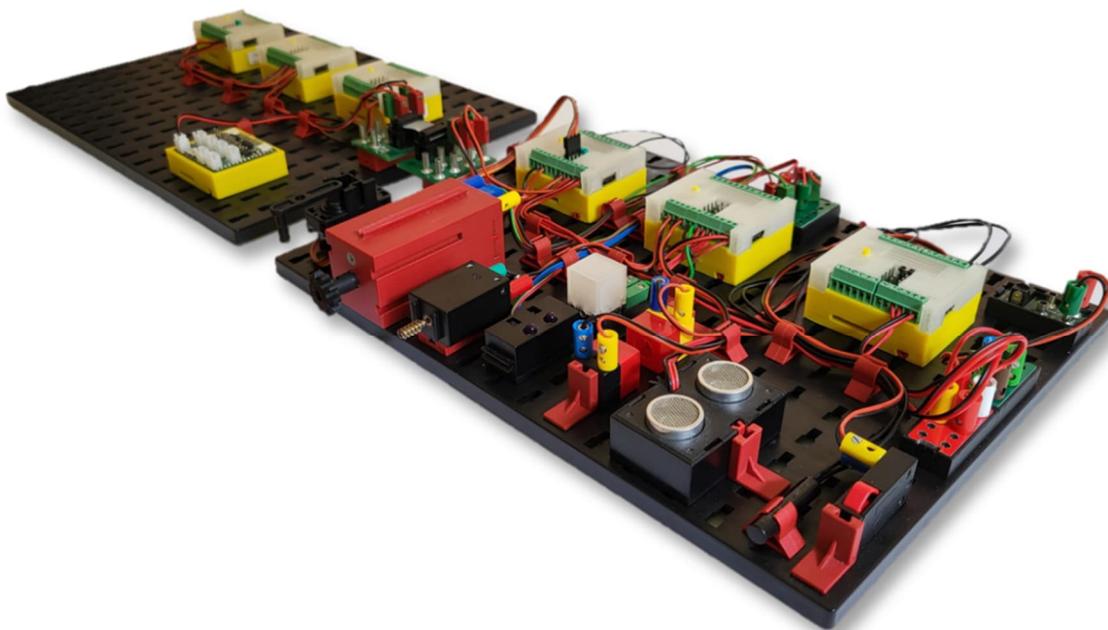


Abb. 4: Für das Seilbahnprojekt wurde extra eine umfangreiche Testumgebung zur Protokollentwicklung aufgebaut.

Das Seilbahnprojekt

Es ist das Paradebeispiel für den Einsatz eines Swarms: Über das ganze Seilbahn-Modell verteilt gibt es viele Sensoren und Aktoren, die gemeinsam gesteuert werden sollen. Auf den zweiten Blick zeigte sich jedoch, dass so große Modelle eine Welt für sich sind und besondere Anforderungen an Hard- und Software stellen.

In der „großen“ BUGA23 Seilbahn werden die Antriebsmodule, die für die Sicherheit der Passagiere relevant sind, vom Rest der Anlage getrennt.

Dementsprechend sind die ftSwarmRS beim kleinen Bruder aus fischertechnik für den ganzen Rest zuständig. Bislang wurden in der Anlage 13 Controller verbaut; im Endausbau werden es um die 30 Geräte sein.

Da für die Steuerung aus Sicherheitsgründen komplett auf WLAN verzichtet werden sollte, wurde für die Kommunikation im Swarm ein RS485-Bus konzipiert. Die normalen Protokolle benötigen aber immer einen Busmaster – die ftSwarm-Architektur setzt jedoch auf gleichberechtigte Netzwerkgeräte. So wurde extra ein kooperatives Protokoll für den ftSwarmRS entwickelt.

Die maximale Anzahl der Controller im Swarm war zu gering und musste auf 32 erhöht werden. Dies hat Folgen für die Infrastruktur: Ein so großer Swarm benötigt bereits 1 Mbit/s Bandbreite für den reinen Statusabgleich zwischen den Controllern.

Da das Testen am echten Seilbahnmodell sehr zeitaufwendig ist, wurde für die Protokollentwicklung eine Testumgebung aus sechs Busteilnehmern aufgebaut (Abb. 4).

Wegen der hohen Anschlussdichte im Bereich des Steuerpultes wurden mehr Eingänge je Controller benötigt. Trotz der sechs Eingänge je Controller werden nur für

das Doppelmayr-Steuerpult bereits vier ftSwarmRS benötigt (Abb. 5).

Das Modell soll über mehrere Jahre mit wenig Wartungsaufwand betrieben werden. Um Wackelkontakte durch Oxidation zu vermeiden, wurden die JST-Stecker durch Schraubklemmen ersetzt.

Um wie beim großen Bruder den Status der Anlage auf einem Bildschirm zu visualisieren musste eine Schnittstelle zu einem PC hergestellt werden. Im kleinen fischertechnik-Modell wird hierfür die Python-Integration genutzt.



Abb. 5: Das Doppelmayr-Steuerpult ist an vier Controller angeschlossen

Die Anlage wird zum Transport in mehrere Module zerlegt. Kabel an den Trennstellen müssen einfach gelöst und nach dem Transport fehlerfrei wieder zusammengesteckt werden können. Da die ftSwarm über ein 100 m langes KAT-Kabel untereinander verbunden sind, ermöglichen Rundkabeladapter an den Trennstellen ein einfaches Auftrennen der Leitung (Abb. 6).

Ein weiterer Beitrag zu den Fortschritten des Seilbahnprojektes findet sich in [8].

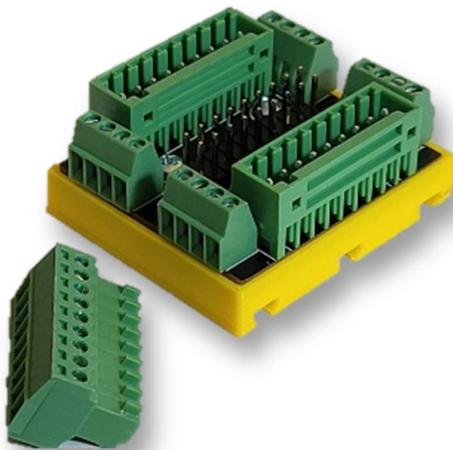


Abb. 6: Rundkabeladapter wurde für das Seilbahnprojekt speziell entwickelt.

Der Spoiler und das Rätsel

Zum Schluss gibt es noch den versprochenen Spoiler: Das Objekt (Abb. 7) wird auf der Convention im Oktober '23 vorgestellt. Wer erkennt schon jetzt die Funktion des unbekanntes Objektes?

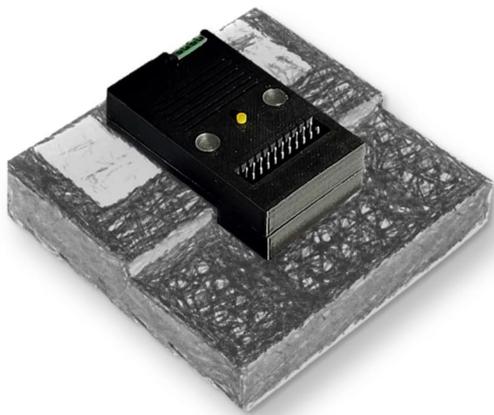


Abb. 7: Wer erkennt den Erlkönig?

Schicke Deinen Lösungsvorschlag via E-Mail an info@elektrofuzzis.dev. Der erste Einsender, der die Funktion errät, erhält das unbekannte Objekt auf der Südconvention in Sinsheim. Nur für Selbstabholer – der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

Quellen

- [1] Christian Bergschneider, Stefan Fuss: *ftSwarm – Das Prinzip Heinzelmännchen*. [ft:pedia 2/2021](#), S. 107–111.
- [2] Stefan Fuss, Christian Bergschneider: *ftSwarm (2) – Codierst du noch oder schwärmst du schon?* [ft:pedia 2/2022](#), S. 134–137.
- [3] Wikipedia: [EIA485](#)
- [4] MaxLINEAR: *SP3490/SP3491*, Datasheet.
- [5] Bezugsquelle ftSwarm: Gundermann
- [6] Christian Bergschneider: [„ftSwarm.py – Help and Reference“](#)
- [7] Christian Bergschneider, Stefan Fuss: [„Das ftSwarm Projekt“](#)
- [8] Tilo Rust, Stefan Fuss: *Großprojekt Seilbahn (8): Und sie bewegt sich doch!*, in dieser Ausgabe der ft:pedia.



Die Influencerin Hildegard testet während der Gondel-Gala des Seilbahnprojektes auf der BUGA23 den Unterschied zwischen Seil- und Gondelbahnen.

Computing

ftPOST – smarter Briefkasten mit Home Assistant

Christoph Hülsmann

In diesem Artikel beschreibe ich, wie mit „Home Assistant“ die Anzeige „ftPOST“ gesteuert wird. Wenn Post in meinem Briefkasten eingeworfen wurde, wird dies optisch und akustisch mit „ftPOST“ angezeigt. „Home Assistant“ ist eine Smart-Home-Anwendung, die mich in der letzten Zeit sehr beschäftigt.



Ich bin begeistert vom Open-Source-Projekt „Home Assistant“, welches auf der GitHub-Plattform zu den größten Projekten gehört. GitHub ist ein webbasierter Dienst für Programmierer. Viele Entwickler beteiligen sich hier an der Weiterentwicklung von Home Assistant.

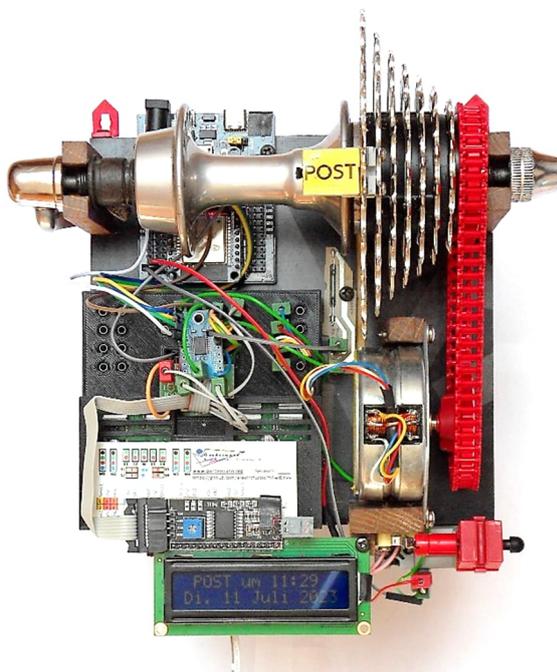


Abb. 1: Das Einwurfschild „POST“ ist vorne positioniert

„ftPOST“ hat wenig fischertechnik – sorry. Mir fiel bei meiner Suche nach einer

Modellmöglichkeit, die nur die Aufgabe hat, „POST“ anzuzeigen, eine Fahrrad-Hinterradnabe in die Hand. Die Fahrradnabe war schon in vielen Gegenden in vielen Ländern. Den Motor aus einem defekten Kodak „Ektapro“-Diaprojektor wollte ich entsorgen; ich konnte damals mit vier Anschlussdrähten nichts anfangen. Doch ich wollte verstehen, was ein Schrittmotor ist und wie er funktioniert. Der Motor bedeutet mir also auch etwas. Den ftPwrDrive-Controller [9] finde ich gut und besitze ihn zweifach, der sollte auch unbedingt ins Modell. So kam es zu dieser seltsamen Zusammenstellung...

„ftPOST“ befindet sich im Wohnungsflur an der Wand. Ein Posteinwurf wird draußen erkannt, weil ich am Briefkasten einen Vibrationssensor angebracht habe. Sobald eine Vibration erkannt ist, passiert folgendes:

- *Akustisches Signal:* Der Zahnkranz dreht mit seinem natürlichen Freilaufgeräusch.
- *Optisches Signal:* Das Anzeigeschild „POST“ wird nach vorne positioniert; eine LED blinkt.
- *Anzeige:* Das LC-Display zeigt bei gedrückter Taste „Hintergrund Licht“ die Einwurfzeit.
- *Nachricht:* Home Assistant sendet eine Benachrichtigung zum Mobiltelefon.

Nachdem der Briefkasten geleert worden ist, wird die Anzeige „POST“ mit Tastendruck quittiert; „POST“ dreht daraufhin zurück nach hinten.

Hier werden Themen nur benannt und kurz beschrieben. Viele Dokumentationen aus dem Netz haben mir geholfen, auch viele Erklärvideos – am Ende des Artikels sind einige gelistet.

Die Kommunikation zwischen Home Assistant und „ftPOST“ erfolgt über WLAN.

Hardware

Home Assistant Server

- 1 Raspberry Pi 4, „Home Assistant OS“
- 1 USB-Zigbee-Adapter

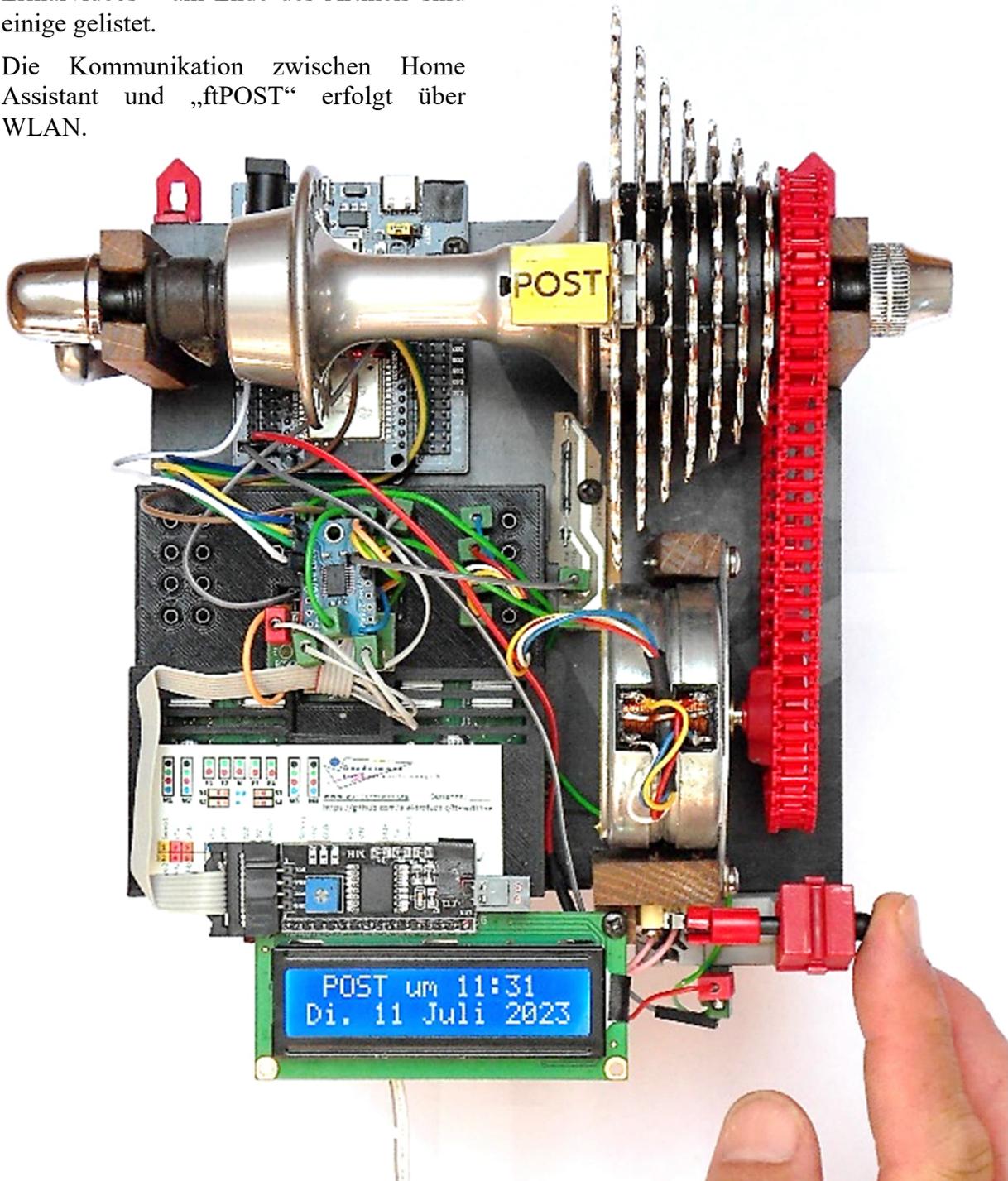


Abb. 2: Ein Tastendruck zeigt die Ereigniszeit „Posteinwurf“

Konstruktion „ftPOST“

- 1 ESP32-Controller
- 1 ftPwrDrive [9]
- 1 Reedkontakt
- 1 Pegelwandler (hat 8 Kanäle)
- 1 LC-Display mit I²C-Busplatine
- 2 Taster

Briefkasten

- 1 Zigbee-Vibrations-Sensor

Außerdem ist mein Telekom-Speedport-Router beteiligt.

Umsetzung

Home Assistant ist auf einem Minicomputer Raspberry Pi4 als Server im Heimnetzwerk installiert. Die Software „Home Assistant OS“ gibt es direkt von Raspberry Pi und kann mit der Anwendung „Raspberry Imager“ auf die Micro-SD-Karte geflasht werden.

Ein externer Zigbee-Adapter ist auf einen USB-Port des Raspberry Pi gesteckt. Bei mir ist das ein „Sonoff Zigbee 3.0 USB“. Zigbee ist ein drahtloser Mesh-Netzwerkstandard mit niedrigem Stromverbrauch. Als Sensor verwende ich einen Aqara-Zigbee-Vibrationssensor. Der ist von der Home-Assistant-Umgebung (nämlich Zigbee2MQTT) erkannt worden und mit ihr verbunden. Zustandsänderungen wie „Vibration“ werden in die Datenbank des MQTT-Servers (Broker) aufgenommen. MQTT ermöglicht die Übertragung von Telemetriedaten – den „Topics“. Die Knopfzelle soll den Sensor über ein Jahr lang betreiben können. Wenn keine Ereignisse stattfinden, befindet sich der Vibrations-Sensor im Energiesparmodus.

Den ESP32 habe ich mit der Arduino-IDE programmiert. Im Sketch wurde der „ESP32-Host“ konfiguriert. Home Assistant sendet/empfangt MQTT-Nachrichten (Telemetriedaten) zum/vom „ESP32-Host“. In dieser Konstellation ist es mit Home Assistant möglich, dass Sensoren

fernsteuern und Aktoren ferngesteuert werden – fischertechnik-Konstruktionen können in Home Assistant eingebunden werden und mit Ereignissen im Haus und auch außerhalb, wie z. B. Wetter oder Sonnenstand, automatisiert werden. Auch im Haus anwesende Personen könnten über ihr Mobiltelefon erkannt werden. Die Möglichkeiten sind vielfältig.

Mit einem fischertechnik-Taster in der Konstruktion kann das Schild „POST“ bewegt werden: nach vorne und beim nächsten Tastendruck nach hinten (toggle). Die Steuerung des Schrittmotors übernimmt der ftPwrDrive-Controller [9]. Er ist mit dem I²C Bus des ESP32 verbunden. Wegen der unterschiedliche Logikpegel ist ein Pegelwandler notwendig: 3,3 V am ESP32 und 5 V am ftPwrDrive. Ich habe den Pegelwandler „TXB0108“ verbaut; die Pins SCL und SDA sind über den Pegelwandler verbunden.

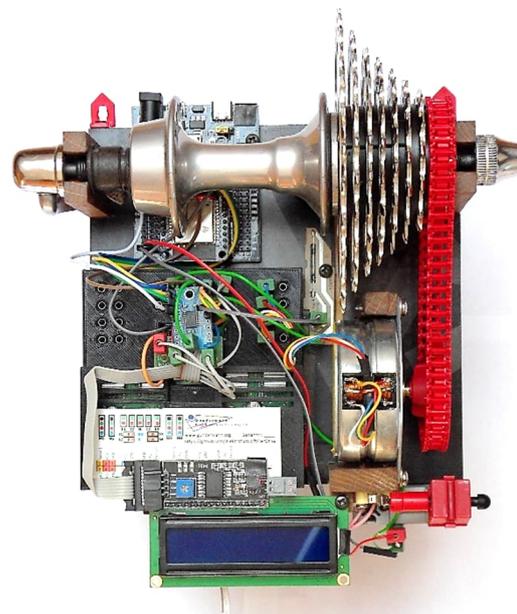


Abb. 3: Quittiert: Das Schild „POST“ ist hinten positioniert und nicht mehr sichtbar

Für das Ereignis „Vibration“ habe ich in Home Assistant eine Automation erstellt. Die Toggle-Funktion des fischertechnik-Tasters im Sketch „ftPOST“ ist mit dieser Automation fernsteuerbar und wird mit dem Ereignis „Vibration“ getriggert. Das bedeu-

tet, dass, sobald die Automation ausgelöst ist, zwei Aktionen ablaufen, die ich der Automation zugewiesen habe:

1. Home Assistant sendet eine Benachrichtigung „Post!“ zum Mobiltelefon (Home Assistant App).
2. Eine MQTT-Topic-Nachricht wird gesendet/empfangen. Sie veranlasst die Ansteuerung des Schrittmotors. Der Toggle-Zustand des Tasters wird umgekehrt.

In der Konstruktion dreht der Zahnkranz zunächst langsam, dann schnell und wird wieder langsam. Ein Referenzpunkt (Reedkontakt) wird erkannt, und das Schild „POST“, montiert am Zahnkranz, dreht vom Referenzpunkt nach vorne. Das dabei entstehende Freilaufgeräusch ist das akustische Signal in meiner Wohnung. Eine LED blinkt. Die Ereigniszeit „Posteinwurf“ kann mit Tastendruck angezeigt werden.

Die Briefkastenleerung wird mit Tastendruck quittiert, die LED ist dann wieder aus, das Schild dreht zurück nach hinten (klick, klick, klick...).

Am Briefkasten passiert nicht viel; meine Kommentare: „Leider wieder nur Werbung im Briefkasten“, „Interessant, die Dorfzeitung wird um 23:00 eingeworfen“, „Endlich mal wieder eine Postkarte“.

Ist also alles eine Spielerei? Ja – doch auch mehr! Home Assistant ist professionell, verblüfft mich und macht mir Freude, insbesondere Home Assistant mit fischertechnik!

ESP32-Libraries

Ohne die folgenden Libraries wäre es für mich überhaupt nicht möglich gewesen, den Sketch für „ftPOST“ zu schreiben. Hier die von mir verwendete Libraries aus der Arduino-IDE:

- `#include <PubSubClient.h>`: MQTT
- `#include <ArduinoOTA.h>`: Over the Air – WLAN

- `#include <WiFi.h>`: ESP32 only
- `#include <time.h>`: NTP-Zeitserver für die Post-Einwurfzeit
- `#include <ftPwrDriveESP.h>`: Schrittmotor-Controller. Björn Gundermann, hat mir an dieser Stelle sehr geholfen – vielen Dank! Die Library musste etwas angepasst werden, damit sie mit einem ESP32-Board kompiliert werden kann. Ich stelle diese Änderung natürlich jedem, der sie anfragt, zur Verfügung.

Quellen

- [1] Home Assistant Homepage: <https://www.home-assistant.io>
- [2] Home Assistant MQTT: <https://www.home-assistant.io/integrations/mqtt>
- [3] simon42: *Home Assistant auf Raspberry Pi installieren (2022)*. Auf [YouTube](#), 2022.
- [4] Thomas Edlinger: *MQTT in 7 Minuten einfach erklärt*. Auf [YouTube](#), 2019.
- [5] Thomas Edlinger: *MQTT – Praktisches Beispiel*. Auf edistechlab.com, 2021.
- [6] simon42: *Mit Home Assistant ZigBee Geräte steuern über Zigbee2MQTT*. Auf [YouTube](#), 2022.
- [7] Thomas Edlinger: *Home Assistant – Automationen, einfach erklärt!* Auf edistechlab.com, 2021.
- [8] Thomas Edlinger: *Datum und Zeit von einem NTP-Server abrufen!* Auf edistechlab.com, 2023.
- [9] Dirk Wölffel, Christian Bergschneider, Stefan Fuss, Björn Gundermann, Christian Lauff: *Der ftPwrDrive-Controller für Schrittmotoren und Servos – Teil 1*. [ft:pedia 4/2018](#), S. 67–70.

Computing

fischertechnik und PWM

Axel Chobe

Angeregt von einem Artikel von Stefan Brunner [1] soll hier ein kurzer Überblick über die grundlegende Funktionsweise der PWM-Technik gegeben werden. Die spielen an zwei Stellen im fischertechnik-Controller eine Rolle, ohne dass sich die meisten dessen bewusst sind.

Motoren und Lampen

Die fischertechnik-ROBO-Controller verfügen über acht Ausgänge, die von Leistungs-MOSFETs gesteuert werden. Die Spannung entspricht in etwa der Eingangsspannung von 8,4 V.

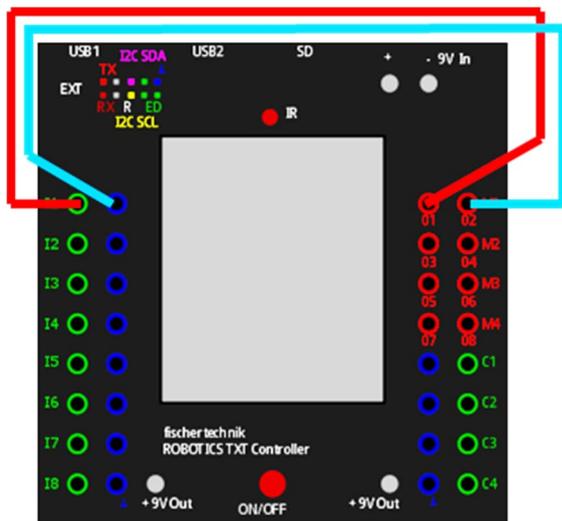


Abb. 1: Der Versuchsaufbau

Die Anschlüsse sind dabei mit 200 Hz PWM-gesteuert (Pulsweitenmodulation). Diese Steuerung entspricht im Ergebnis einer Änderung des Spannungspegels, um bei Motoren die Geschwindigkeit oder bei Lampen die Helligkeit zu steuern. Bei Änderungen der Spannungswerte mit einem Potentiometer kann die überschüssige Energie nicht genutzt werden, sondern wird in Wärme umgesetzt. Ein PWM-Regler hingegen ändert nicht den Spannungspegel, sondern schaltet diese sehr schnell an und

aus. Entscheidend ist dabei das Tastverhältnis, also das Verhältnis zwischen der Zeit, in der die Stromquelle ein- und ausgeschaltet wird. So ist bei einem Tastverhältnis von 100% die Stromquelle permanent eingeschaltet und bei 0% die ganze Zeit ausgeschaltet.

Versuchsaufbau

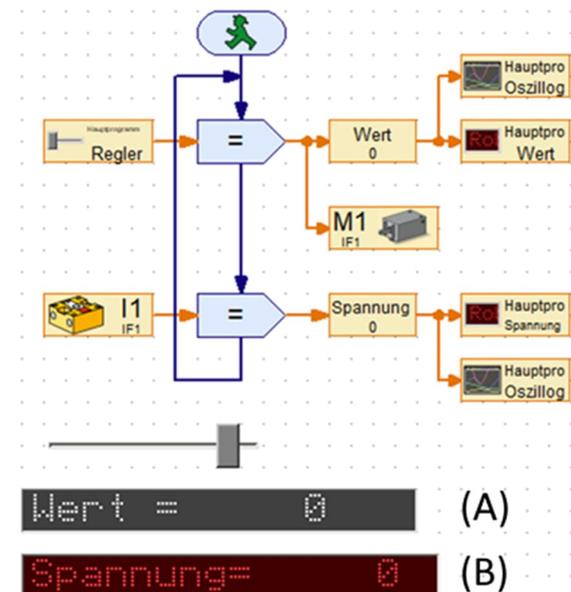


Abb. 2: RoboPro-Programm und -Ausgabe

Um die PWM-Signale im Vergleich darzustellen, wird zum einen der direkte Ausgang als Spannungswert (A in Abb. 2) gemessen und auf einem Oszilloskop dargestellt. Durch Rückführung des Motorausgangs 1 auf den Eingang 1 (10 V) wird zum anderen die Spannung (B in Abb. 2) in Form eines PWM-Signals auf einem Oszilloskop

dargestellt. Als Oszilloskop wurde sowohl das in ROBO Pro enthaltene virtuelle Gerät benutzt, wobei die gelbe Linie für den

gemessene Wert am Ausgang (A) steht und die grüne Anzeige in etwa das gemessene PWM-Signal darstellt, als auch für eine



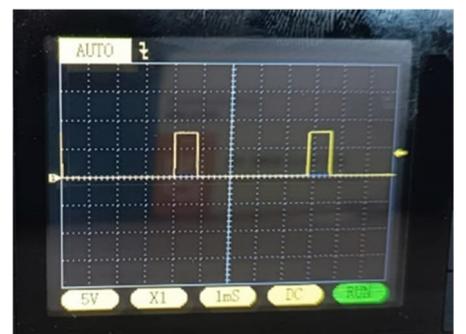
Regler-Einstellung 0



Genau 0 V



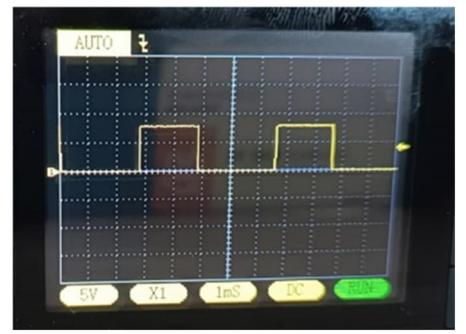
Regler-Einstellung 2



Ca. 1,4 V



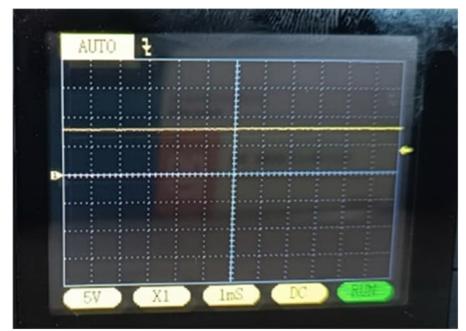
Regler-Einstellung 6



Ca. 4,7 V



Regler-Einstellung 8



Ca. 8,4 V

Abb. 3: Bilder auf dem RoboPro-Oszilloskop (links) und dem DSO-Oszilloskop (rechts). Der rote Bereich zeigt den aktuellen Spannungswert ab der Nulllinie.

besserer Erkennbarkeit der PWM-Signale das Oszilloskop DSO 152 [2] eingesetzt.

Berechnung der Spannung

Um die Spannung rechnerisch zu ermitteln, sind zwei Werte von Bedeutung:

- *Periodendauer*: Sie ist die Zeit zwischen zwei identischen Punkten auf zwei aufeinander folgenden Schwingungszügen einer periodischen Wellenbewegung [3].
- *Pulsdauer (Pulsbreite)*: Sie bezieht sich auf die Zeitdauer eines Pulses, von der ansteigenden bis zur fallenden Pulsflanke [3].

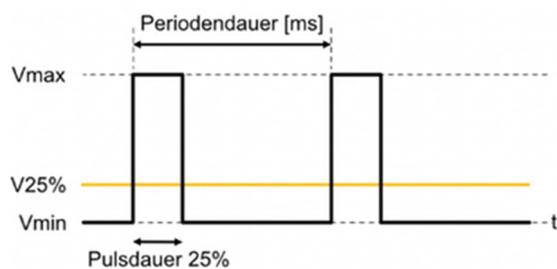


Abb. 4: Periodendauer und Pulsdauer

Als erste Berechnungsgrundlage wird der Tastgrad benötigt. Er gibt das Verhältnis der Pulsdauer zur Periodendauer an. Im Beispiel beträgt das Verhältnis 1 zu 4, was 25% oder 0,25 entspricht.

$$\begin{aligned} \text{Tastgrad} &= \frac{\text{Pulsdauer}}{\text{Periodendauer}} \\ &= \frac{1}{4} \end{aligned}$$

Das arithmetische Mittel (U_m) errechnet sich dann aus dem Produkt der Spannung und des Tastgrads.

$$\begin{aligned} U_m &= U_{max} \cdot \text{Tastgrad} \\ &= 8,4V \cdot \frac{1}{4} = 2,1V \end{aligned}$$

Es gibt dann noch die Effektivspannung (U_{Eff}). Dabei wird die Wurzel des Tastgrads in die Berechnung eingesetzt.

$$U_{Eff} = U_{max} \cdot \sqrt{\text{Tastgrad}}$$

$$= 8,4V \cdot \sqrt{\frac{1}{4}} = 8,4V \cdot \frac{1}{2} = 4,2V$$

Besonderheit

In Abb. 5 werden die gemessenen Werte als Diagramm dargestellt.



Abb. 5: Gemessene Werte als Diagramm

Dabei ist zu erkennen, dass die Kurve nicht linear ist. Somit ist es möglich, einen Motor im langsamen Bereich feiner zu steuern. Ein Motor unter Last benötigt jedoch viel mehr Energie und beginnt eventuell erst bei Stufe 6 zu drehen. Deshalb gibt es bei ROBO Pro die Möglichkeit, die Anzahl der Stufen auf 512 umzustellen.

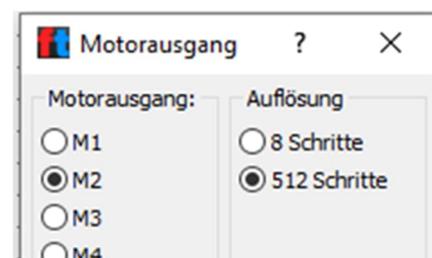


Abb. 6: Einstellung der Schritt-Auflösung in RoboPro

Servomotoren

Der Servomotor verfügt über eine Elektronik, die das Signal interpretiert und die Stellung des Motors dem Signal anpasst. Das Signal wird ebenfalls über Pulsweitenmodulation erzeugt und hat eine Frequenz von 50 Hz. Die Pulslänge bleibt immer dieselbe, 20 ms. Der positive Impuls hingegen wird zwischen 1 ms und 2 ms moduliert.

Servomotoren werden bei fischertechnik hauptsächlich zur Lenksteuerung einge-

setzt, zuerst bei den Control Sets von 2008 und 2022 und nun auch im TXT 4.0 Controller. Servomotoren kann man aber auch über den I2C-Bus ansteuern [4]. Als Beispiel seien hier der Servo-Driver PCA9685 von Adafruit (Abb. 8, [5]) und der Mini-I²C-Servo-Adapter von Peter Habermehl genannt (Abb. 9, [6, 7]).



Abb. 8: fischertechnik-Servo



Abb. 9: Adafruit PCA9685 16-Kanal-Servo-Treiber

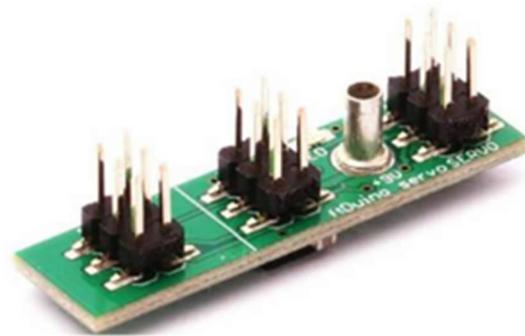


Abb. 10: Servo-Adapter von Peter Habermehl

Eigenes PWM-Signal erstellen

Für wenig Geld (ca. 5 €) kann man z. B. bei Ebay einen PWM-Generator erwerben, um eigene Experimente durchzuführen.

Abb. 11 zeigt das *Signal Generator PWM pulse Frequency Duty Cycle Adjustable LCD Module 3.3V-30 Gx*.



Abb. 11: PWM-Signalgenerator

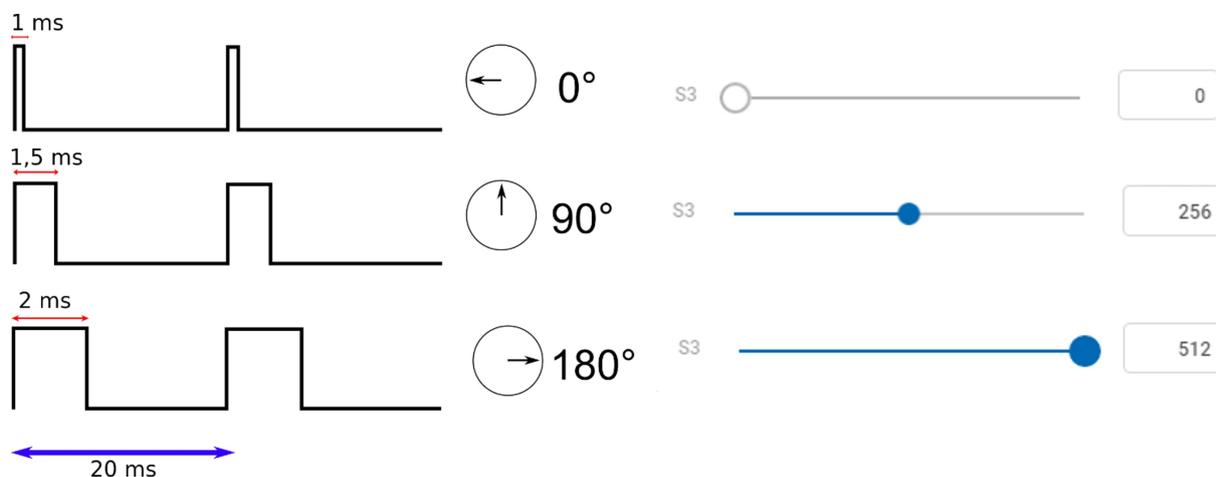


Abb. 7: Position des Schiebereglers im Schnittstellen-Tester von ROBO Pro Coding

Quellen

- [1] Stefan Brunner: *Eight Mosfet Driven Power Outputs*. Auf stefanbrunner.com.
- [2] DSO-152-Oszilloskop, auf amazon.de.
- [3] DATACOM Buchverlag GmbH: ITWissen.info.
- [4] Axel Chobe: *I²C fischertechnik*. PDF-Download auf chobe.info, 2023.
- [5] Dirk Fox: *I²C mit dem TX(T) – Teil 16: Servo-Driver*. ft:pedia 2/2017, S. 41–47.
- [6] Peter Habermehl: *Servo-Ansteuerung mit servoShield und servoDuino*. ft:pedia 1/2019, S. 83–86.
- [7] Till Harbaum: *Der Mini-Servo-Adapter*. ft:pedia 3/2019, S. 27–31.

Elektronik

Kontaktlose Schalter

Arnoud van Delden

Sensoren sind die Augen und Ohren einer Prozesssteuerung. Während in den hobby4-Bänden noch hauptsächlich mit Lichtschranke und Tastern gearbeitet wurde, haben heute diverse Zusatzkomponenten Einzug in das offizielle fischertechnik-Programm gehalten. Technische Tüftler haben bereits verschiedene Möglichkeiten hinzugefügt. In diesem Beitrag stelle ich ein Anwendungsbeispiel vor, bei dem ein kontaktloser Berührungssensor in einer Schaltung mit den traditionellen Silberlingen eingesetzt wird.

Hintergrund

In der digitalen Elektronik ist eine synchrone Schaltung eine digitale Schaltung oder Komponente, deren Zustandsänderungen durch ein Taktsignal synchronisiert werden. Ein gutes Beispiel dafür sind die fischertechnik-Klassiker Flipflop (30815) und Monoflop (36480). Der erforderliche „Takt“ ist nichts anderes als ein Signal mit einem sehr steilen Potentialübergang. Wenn ein Sensor oder Taster in einem Modell oder einer Steuerung als solches Steuersignal verwendet werden muss, ist es wichtig, dass dieser Übergang, das Schaltmoment, ausreichend „entprellt“ wird.

Dieses Phänomen wurde bereits in den fischertechnik-Hobbybüchern erklärt [1]. Das Rauschen der Kontakte im Schaltmoment kann leicht fälschlicherweise als eine Reihe schnell aufeinanderfolgender Taktimpulse interpretiert werden und daher zu unvorhersehbaren Ergebnissen führen. Um einen Taster oder Schalter als nutzbaren Takt für den CP-Eingang des Flipflops zu nutzen, empfiehlt sich die Entstörung mit einem 100 nF-Kondensator. Der Kondensator entfernt Störungen aus dem Signal um den Schaltzeitpunkt herum, der Pegelübergang wird jedoch nicht steiler. Allerdings ist der Signalsprung beim Umschalten zwischen Plus- und Minuspol mit einem

Taster wie in Abb. 1 so groß, dass Störungen auf diese Weise ausreichend unterdrückt werden können. Bei der Verwendung eines Sensors mit langsamerem Verlauf um den Schaltzeitpunkt (z. B. eines lichtempfindlichen Widerstands oder eines Temperatursensors) bietet die Vorschaltung eines Differenzverstärkers eine Lösung. In den hobby4-Büchern wird in diesen Fällen der Elektronik-Grundbaustein G (30813) eingesetzt, um steile Signalfanken ohne störendes Schaltgeräusch zu erzielen.

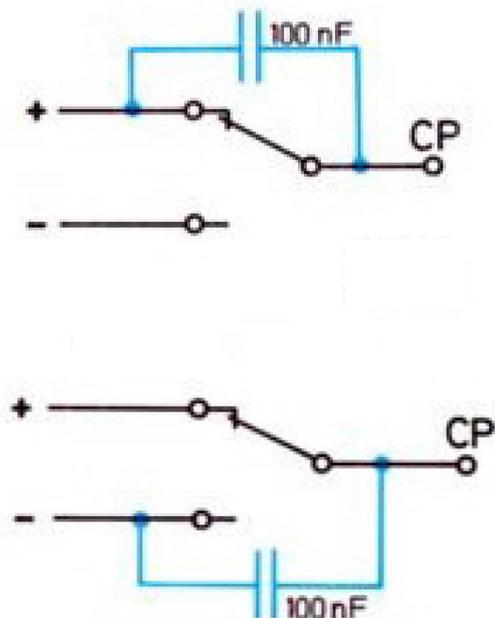


Abb. 1: Störschutz durch Kondensator aus hobby4 Band 3, Seite 66 [1]



Abb. 2: Drucktaster mit Kondensatoren

Seitdem das Experimentieren mit Mikrocontrollern wie dem Raspberry und dem Arduino auf dem Vormarsch ist, ist das Angebot an erschwinglichen, interessanten Sensoren und Aktoren enorm gewachsen. Es gibt sogenannte ‚Breakout-Boards‘ mit Sensoren zur Hindernis- oder Vibrationserkennung sowie zur Neigungs-, Beschleunigungs-, Temperatur-, Magnetismus- oder Helligkeitsmessung. Viele dieser Boards benötigen jedoch eine Stromversorgung von 5 Volt. Im ursprünglichen fischertechnik-Programm erschien 1981 die Spannungsversorgung SPV ([35732](#)) als Teil des Elektronik-Baukastens ([30253](#)); mittlerweile haben aber auch viele Bastler hierfür eigene DIY-Lösungen gefunden [2, 3].



Abb. 3: Einige Sensormodule verfügen über einen Signalausgang, der als Taktgeber verwendet werden kann

Eine schöne Entwicklung ist, dass die meisten modernen Sensorboards selbst bereits mit einem Differenzverstärker oder Schmitt-Trigger ausgestattet sind, sodass das Ausgangssignal dieser Boards direkt und störungsfrei in synchronen Schaltkreisen verwendet werden kann. In der Software (z. B. bei Verwendung eines Arduino, TX- oder TXT-Controllers) ist beim Erkennen eines stabilen Signalpegels keine Wartezeit nach dem Signalwechsel erforderlich, wie es beim Auslesen eines normalen Tasters üblich ist. Auch beim Anschluss an Hardware, wie in der hier besprochenen Anwendung, bei der die klassischen Silberlinge zum Einsatz kommen, ist es nicht notwendig, etwaige Schaltgeräusche zu „entprellen“: Der Ausgang kann direkt als Taktsignal für beispielsweise ein Flipflop verwendet werden.

Der Berührungssensor TTP223

Die Module in Abb. 3 mit Sensoren für Hindernisse, Feuchtigkeit, Bewegung oder Magnetismus können daher ohne Störerschutz direkt in digitalen Schaltkreisen eingesetzt werden. Heute werden Hall- und Hindernissensoren zunehmend als moderner, „kontaktloser“ Ersatz für herkömmliche Drucktaster eingesetzt. Eine Alternative zu von Menschen zu betätigende Schalter oder Taster können Berührungssensoren sein. Im Internet finden sich viele [Informationen über verschiedene Arten von Sensoren und deren Erkennungsmethoden](#).

Das kleine Sensorboard mit dem TTP223 (11x14 mm) ist für wenig Geld erhältlich. Nach dem Anlöten eines dreipoligen Dupont-Steckers und ggf. der Eigenfertigung eines dreipoligen Dupont-Anschlusskabels ist dieser kontaktlose Schalter einsatzbereit. Wird ein Finger auf die Sensoroberfläche (mit „TOUCH“ gekennzeichnet) gelegt, entspricht das I/O-Ausgangssignal der Versorgungsspannung, die zwischen 2,5 und 5,5 Volt liegt.



Abb. 4: TTP223 "Touch Switch Sensor"

Die Funktion des Berührungssensors kann angepasst werden: Beispielsweise kann die Empfindlichkeit durch den Einbau eines zusätzlichen (SMD-)Kondensators begrenzt werden. Für die Anwendung, bei der der Sensor in einem 3D-gedruckten Baustein untergebracht ist, hielt ich das nicht für notwendig; bei einer leichten Berührung des Sensors (oder auch nur einer starken Annäherung an den Sensor) leuchtet sofort die LED auf der Unterseite der kleinen Platine auf. Darüber liefert der Sensor selbst eine nützliche Rückmeldung über die Erkennung. Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass die Steuerung, die den Sensor verwendet, kein visuelles Feedback bereitstellen muss.

Ich hatte in der Vergangenheit bereits mit dem Radar RCWL-0516 und dem und Human-Body-Sensor experimentiert; dieser erwies sich jedoch aufgrund seiner viel zu großen Empfindlichkeit als unbrauchbar. Als ich im [ft:c-Forum](#) von Experimenten mit dem Touch-Switch-Sensor TTP223 gelesen hatte, befürchtete ich, dass auch dieser Sensor „eingestellt“ werden müsste. Beispielsweise hat Jan Hanson auf seinen Sensorplatinen einen 22pF-Kondensator hinzugefügt, weil er die Empfindlichkeit als zu hoch empfand. Für mich war die einzige Anforderung, dass mehrere dieser Touch-Sensoren nahe beieinander immer noch mit der richtigen Präzision bedient werden können. Die Empfindlichkeit war für diese Anwendung auch ohne zusätzlichen Kondensator hervorragend. Mit den Original-

modulen lässt sich mit wenig Aufwand ein kompaktes Bedienfeld, eine Tastatur oder sogar eine Musiktastatur erstellen, mit der sich auf kleinem Raum vieles steuern lässt.

Konfigurierbare Funktionalität

Die kleine Platine bietet jedoch noch mehr Möglichkeiten. Die Lötbrücke A (Abb. 3) kann geschlossen werden, um die Signallogik von positiv auf negativ umzuschalten. Durch Schließen dieses Jumpers beträgt der Signalausgang nach dem Einschalten und ohne Berührung 5 V und sinkt bei erkannter Berührung auf 0 V. Dieser Modus macht den Signalausgang noch nützlicher, wenn er an die „negative Logik“ der Silberlinge angeschlossen wird.

Möglicherweise ist Lötbrücke B sogar noch interessanter: Beim Schließen dieses Jumpers verhält sich der Signalausgang wie ein T-Flipflop. So lässt sich etwas mit einer Berührung einschalten und mit einer zweiten Berührung wieder ausschalten. Dies ist eine Variable und Testbedingung weniger in der Software, wenn der Sensor mit einem Mikro-, TX- oder TXT-Controller, oder ein komplettes Flipflop-Modul weniger, wenn er mit den Silberlingen oder anderen Elektronikmodulen verwendet wird.

Um den Einsatz der Touch-Schalter in fischertechnik-Projekten zu erleichtern, habe ich zwei Varianten kleiner Bausteine dafür [entworfen und gedruckt](#) (Abb. 5). Die Inspiration dazu habe ich [aus dem ft:c-Forum](#) erhalten. Der dünne (5 mm) aus transparentem Material gedruckte Baustein fungiert als Diffusor für das Licht der LED an der Unterseite der Platine. Ich habe auch eine dickere Bausteinvariante erstellt, bei der die Sensoroberfläche sichtbar bleibt. Das Licht der (roten) LED auf der Unterseite des Sensors ist bei Aktivierung in der Öffnung unter der kleinen Platine sichtbar. Für diese Sensorbausteine habe ich die Farbe Rot für das normale Touch-

Verhalten und Schwarz für die abwechselnd schaltenden Sensoren gewählt.

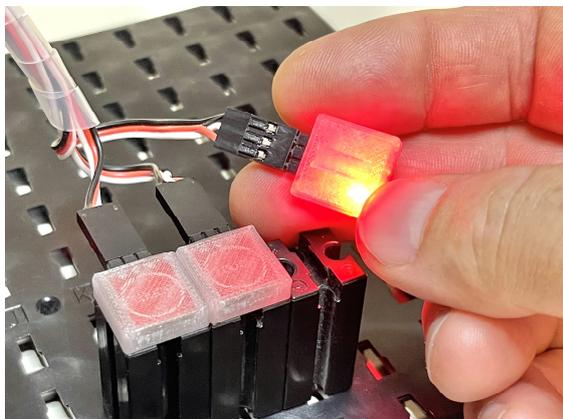


Abb. 5: Transparenter Baustein mit Sensor

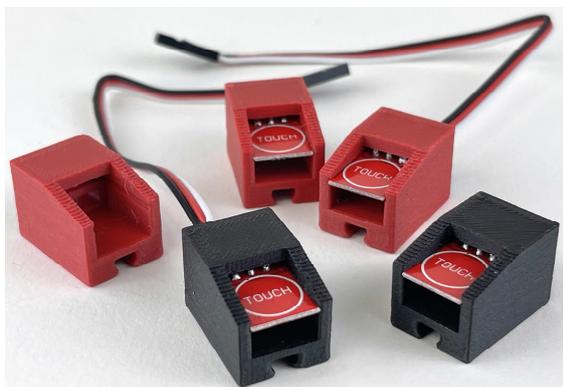


Abb. 6: Berührungssensor in 3D-gedruckten Bausteinen

Zur Veranschaulichung habe ich die Schaltung in Abb. 8 aufgebaut, bei der ein Berührungsschalter über ein Flipflop abwechselnd zwischen zwei Lampen schaltet. Der aufmerksame Leser erkennt das an anderer Stelle in dieser ft:pedia beschriebene Stromversorgungsmodul mit Anschlussmöglichkeiten für Sensoren mit dreipoligem Dupont-Stecker wieder [3]. Weitere Informationen findet ihr auf der von mir hierfür erstellten [Projektseite](#).

Schlussbemerkungen

Technisch am robustesten ist es, wenn der Pluspol dieser Sensorplatinen als mittlerer Anschluss-Pin ausgeführt ist. Bei den Sensoren in Abb. 3 ist dies jedoch nur beim Feuchtigkeitssensor der Fall. Beim TTP223 gibt es auch eine andere Reihenfolge für die drei Anschluss-Pins. Darauf ist bei der Konfektionierung der dreipoligen Dupont-Kabel oder beim Verlöten der Anschlussdrähte unbedingt zu achten. Die gute Nachricht ist, dass mein TTP223 nicht sofort abstürzte, als ich ihn versehentlich falsch anschloss. Und sollte das doch einmal passieren, ist das bei einem Kaufpreis von ca. 20 Cent pro Stück nicht so tragisch.

Für wen die notwendige 5 V-Versorgungsspannung kein Problem darstellt, ist dieser Touch-Schalter eine wunderbare Alternative zum herkömmlichen fischertechnik-Taster in Steuerungen mit Elektronikmodulen oder Controllern. Damit ist der TTP223-Sensor eine schöne Ergänzung zu den verschiedenen Detektoren und Sensoren, die uns bereits zur Verfügung stehen.

Quellen

- [1] Fischer-Werke: *fischertechnik Experimente + Modelle*, hobby4, Band 3; Seite 66: Störschutz durch Kondensator. Waldachtal, 1974.
- [2] Arnoud van Delden: *Eine zukunfts-sichere Stromversorgung*. [ft:pedia 2/2022](#), S. 73–86.
- [3] Arnoud van Delden: *Eine zukunfts-sichere Stromversorgung (Teil 2)*. In dieser Ausgabe der ft:pedia.

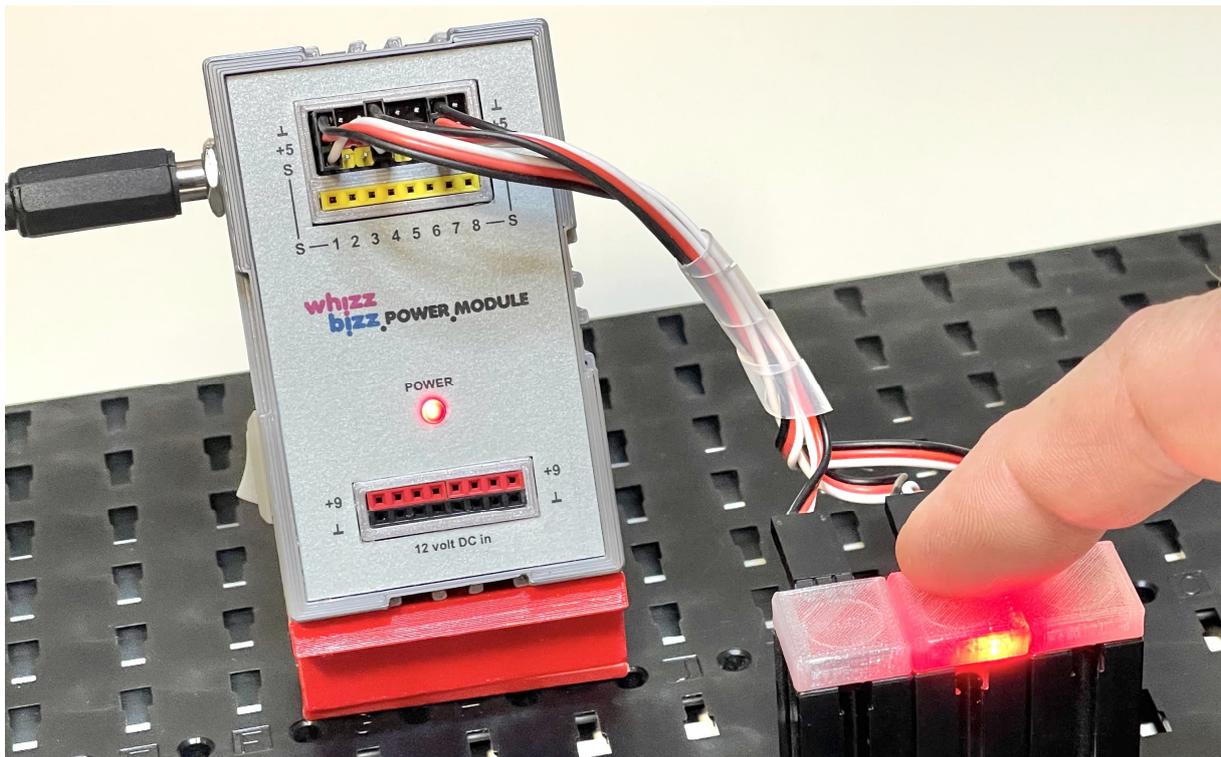


Abb. 7: Flache Steuereinheit mit den transparenten Touch-Sensoren

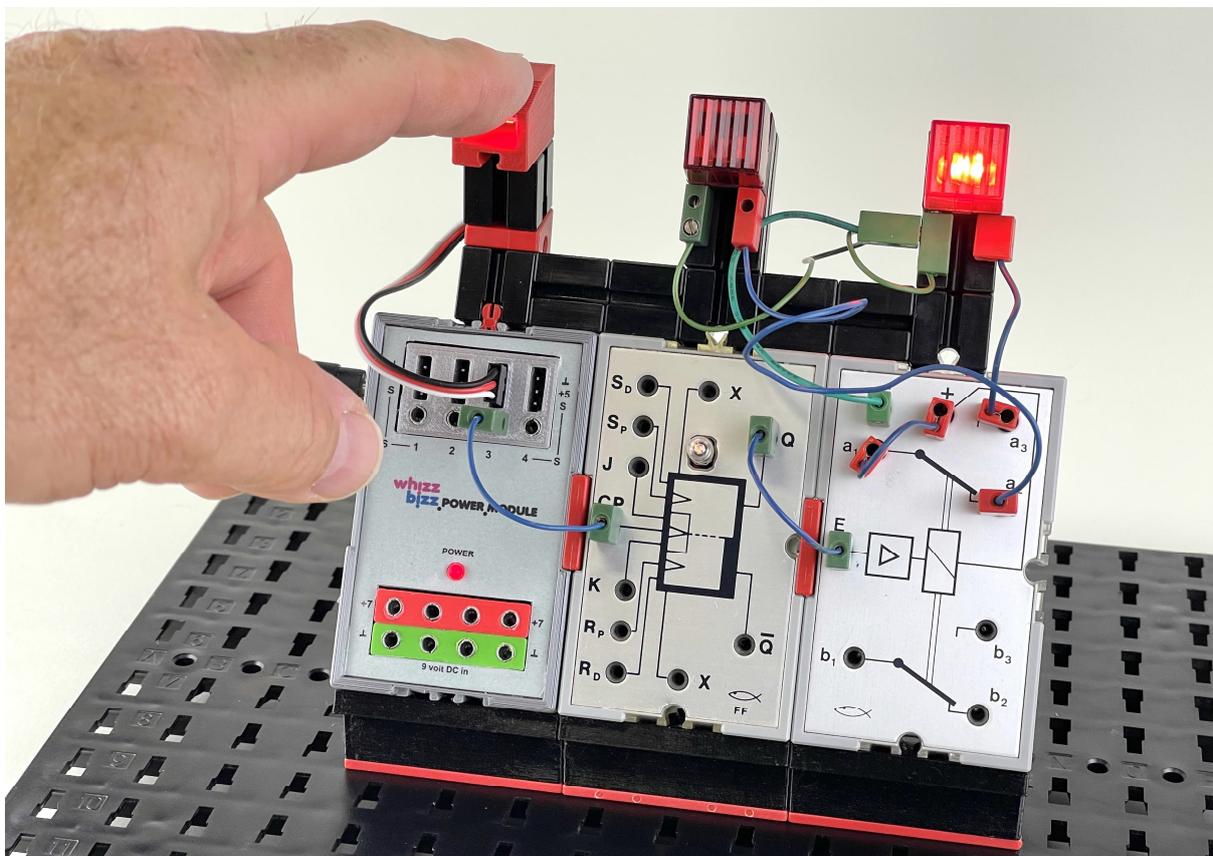


Abb. 8: Anwendungsbeispiel, bei dem zwei Lampen abwechselnd geschaltet werden

Tipps & Tricks

Alternative Verbindungslösungen für Stecker und Buchsen (Teil 2)

Arnoud van Delden

Ein immer wiederkehrendes Thema für Elektronik- und Computertüftler ist die Wahl des Stecker- und Verkabelungssystems, mit dem der selbstgebaute Mikrocontroller oder das Elektronikmodul am besten elektrisch mit den Komponenten aus dem fischertechnik-Programm verbunden werden kann. Im Forum wurden bereits einige sehr kreative Lösungen diskutiert, denen ich mit diesem Beitrag einige sinnvolle Alternativen hinzufügen möchte.

Hintergrund

Obwohl sich einige fischertechniker, darunter auch ich, zunehmend für die sogenannten Dupont-Stiftleisten mit einem Pinabstand von 2,54 mm entscheiden, bleibt es für manche DIY-Projekte attraktiv, die bekannten 2,5 mm fischertechnik-Stecker anschließen zu können. Hierfür wurden in der Vergangenheit in der ft:pedia verschiedene kreative Lösungen vorgeschlagen [1]. Bevor wir aber auf Alternativen zum bekannten 2,5-mm-Steckersystem von fischertechnik eingehen, könnte es sinnvoll sein, zunächst eine sehr bewährte und platzsparende Alternative in Betracht zu ziehen.

Dupont Connectors

Grundsätzlich können in einem Projekt natürlich auch unterschiedliche Verbindungssysteme nebeneinander eingesetzt werden. Für ein DIY-Modul mit Dupont-Stiftleisten können die einfachen und günstig erhältlichen Breadboard-Experimentierkabel verwendet werden. Wenn ein herkömmlicher fischertechnik-Sensor, Taster oder Motor angeschlossen werden muss, kann einfach ein originaler fischertechnik-Stecker auf den „männlichen“ Stift eines solchen Kabels geschraubt werden, wie in Abb. 1 gezeigt.

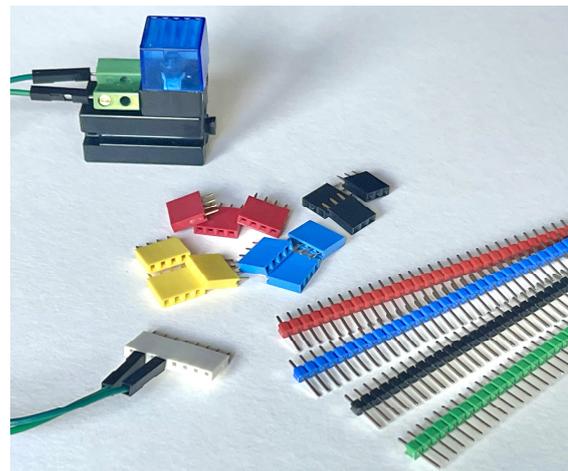


Abb. 1: Mehrfarbige Dupont-Header

Ich hoffe die fischertechnik-Puristen nicht zu verärgern, wenn ich zunächst einige (meiner Meinung nach) starke Vorteile der Verwendung der sogenannten Dupont 2,54-mm-Pin-Leisten aufführe:

- Die benötigte Fläche für einen Anschlussstift beträgt nur 2,54 x 2,54 mm. Dadurch lassen sich viele Anschlussmöglichkeiten auf einer relativ kleinen Leiterplatte und Frontfläche unterbringen und mehrere Anschlüsse nebeneinander herstellen.
- Sowohl die „männlichen“ als auch die „weiblichen“ Dupont-Stiftleisten sind (für diejenigen, die ein bisschen online

suchen) in verschiedenen Farben erhältlich, sodass Spannungsschienen oder bestimmte Signale klar und deutlich gekennzeichnet werden können, ohne dass Beschriftungen auf einer abdeckenden Frontplatte erforderlich sind.

- Für den Anschluss an die meisten Mikrocontroller-Boards und das Experimentieren mit Elektronik auf einem Steckbrett sind die Messleitungen von Dupont auf jeden Fall die nächstliegende Wahl [2].
- Wer konsequent entwirft, kann sich beispielsweise dafür entscheiden, Eingänge immer als „männliche“ (M) Pins und Ausgänge als „weibliche“ (F) Buchse zu bestücken. Die Experimentierkabel M-M, F-M und F-F sind fertig konfektioniert in vielen Farben und Längen erhältlich. Die farbliche Kennzeichnung erleichtert sicherlich die Fehlersuche bei Problemen oder Störungen.
- Aufgrund des geringeren Platzbedarfs auf der Leiterplatte und der Frontplatte des Selbstmontagemoduls können mit diesen Stiftleisten mehrere Ein- und Ausgänge sehr platzsparend aufgebaut werden. Es ist möglich, auf relativ kleiner Fläche beispielsweise Versorgungsspannungsschienen zum Anschluss von Sensoren oder Servos zu erstellen.
- Der dreipolige Dupont-Stecker (mit dem Pluspol in der Mitte) ist für den Anschluss von Servos mehr oder weniger standardisiert. Einige Sensoren werden auch mit dieser Verkabelung geliefert. Zwar lassen sich maßgeschneiderte Kabel zum Anschluss nicht mit Schraubverbindungen anfertigen, diese lassen sich aber relativ einfach ohne Löten mit einer „Dupont-Crimpzange“ selbst herstellen. Dies ist eine Spezialzange zum Festklemmen des Stifts am Draht. Mehrere so angeordnete Stifte können in einen Steckerschuh

zusammengeschoben werden, um Mehrleiterstecker zu erstellen.

- Abschließend und für den Selbstbauer sicherlich nicht unwichtig: Diese „Pin Header“ sind relativ günstig und in vielen Farben erhältlich. Die „männlichen“ Stiftleisten lassen sich leicht zuschneiden, die „weiblichen“ Stiftleisten sind etwas schwieriger zu kürzen, aber in vielen Längen fertig konfektioniert erhältlich.



Abb. 2: Prototyp eines Zauberlings mit 2,5 mm gebohrten Hohlbohrungen

Die oben genannten Punkte sind nicht unbedingt in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit aufgeführt, aber das erstgenannte Argument hat für mich persönlich ziemlich viel Gewicht, besonders bei Selbstbauprojekten, die in fischertechnik-Kassetten oder 3D-gedruckten Gehäusen mit den Abmessungen der traditionellen Silberlinge untergebracht sind. Zur Veranschaulichung: Während der erste „Zauberling“ (Abb. 2, [3]) noch mit Buchsen zum Anschluss von fischertechnik-Steckern ausgestattet war,

gab es beim späteren Modell (Abb. 3, [4]) nur noch „Pin Header“ von Dupont zur Unterbringung aller Anschlussmöglichkeiten auf der Frontplatte. Selbst auf der Vorderseite des Bausteins „h11 EF Experimentierfeld“ ([37140](#)), auf dem dreiundvierzig 2,6-mm-Buchsen zusammengeführt sind, benötigt jede Buchse noch 7,5 x 7,5 mm Fläche. Eine solche Oberfläche bietet Platz für 9 Dupont-Pins, die auf Wunsch auch farblich gekennzeichnet werden können.

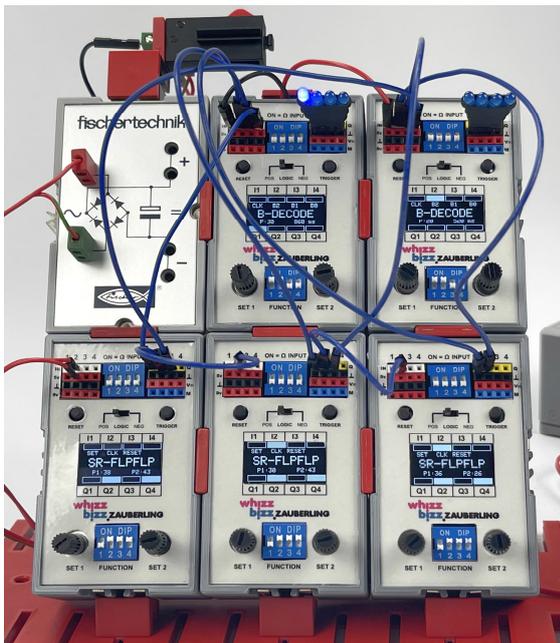


Abb. 3: Selbstbaumodule mit Dupont-Buchsen und -Kabeln

Meiner Meinung nach ist der letzte Punkt in der obigen Liste nicht der unwichtigste. Die Dupont-Stiftleisten sind zu einem sehr günstigen Preis erhältlich und kosten einen Bruchteil des Preises, der für die sogenannten „Bundhülsen“ (lötbare Rohre mit einem Innendurchmesser von 2,6 mm, die

in verschiedenen Längen erhältlich sind) gezahlt werden müssen.

Zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Beitrags konnte ich nur wenige Bestelladressen für dieses einfache passive Bauteil finden.¹ Wer jedoch eine große Anzahl dieser Buchsen für ein Projekt benötigt, wird für Bundhülsen mit einem Stückpreis zwischen 0,30 und 0,50 € schnell mehr ausgeben als für jedes andere aktive elektronische Bauteil auf der Platine, inklusive Mikrocontroller! Das ist natürlich sehr überraschend und erklärt die Kreativität vieler Selbstbauer, die ihr Selbstbaumodul mit alternativen Anschlussmöglichkeiten zu den herkömmlichen fishertechnik-Steckern ausstatten möchten.

Stecker ohne 2,6-mm-Buchsen anschließen

Eine Option, die wir der Vollständigkeit halber unbedingt in Betracht ziehen sollten, ist der Anschluss der fishertechnik-Stecker komplett ohne Metallbuchsen. Kreative ft:community-Anwender wie David Holz² oder Jan Hanson³ haben bereits mit Lösungen experimentiert, die 2,5 mm-fishertechnik-Flachsteckverbinder in selbstgebauten Steuerungen oder Modulen mit Schaltlogik einzusetzen.

Davon inspiriert habe ich Anschlusskappen für die Motoren⁴ ZGB25RP und JGA25-370 entworfen und gedruckt (Abb. 4). Sowohl die Motorgehäuse als auch die Abdeckungen sind 3D-gedruckt.⁵ Im eingesteckten Zustand haben die fishertechnik-Stecker direkten Kontakt mit den Lötflipsen auf der Rückseite des Motors.

¹ Bundhülsen sind immer noch online verfügbar, allerdings für einen (für ein so passives und einfaches Teil) relativ hohen Stückpreis, bei [Santjohanser](#) und [fischerfreindsman](#).

² Eine Methode zum direkten Aufstecken von fishertechnik-Steckern auf Dupont-Pins findet ihr im [Bilderpool der ft:community](#).

³ Printbuchse: Alternative Connector Socket for fishertechnik Cables, [thingiverse](#).

⁴ [Youtube-Video](#) in niederländischer Sprache; wenn ihr in den Einstellungen die automatische Übersetzung wählt, kann es in jeder Sprache mit Untertiteln versehen werden.

⁵ [STL-Dateien](#) zum Download.

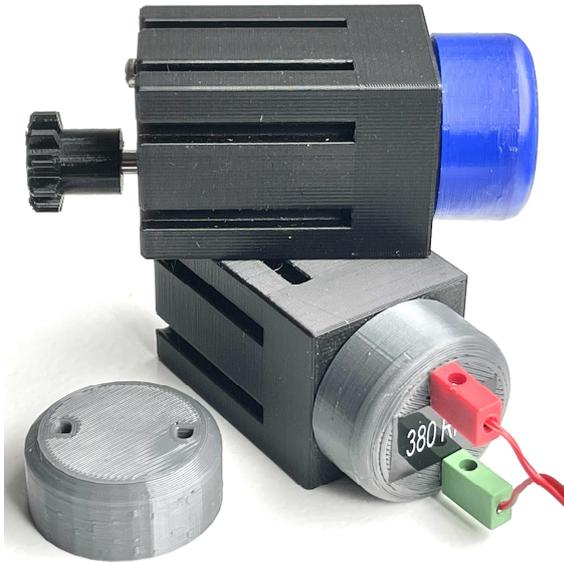


Abb. 4: Motorabdeckung zum direkten Anschluss von fischertechnik-Steckern

M3-Abstandshalter

Auf der Suche nach brauchbaren Buchsen mit einem Innendurchmesser von ca. 2,6 mm bin ich auf die sechseckigen M3-Abstandshalter aus Kupfer gestoßen. Werden die Lamellenfinger des fischertechnik-Steckers mit einem Messer leicht auseinandergedrückt, können diese sogenannten „M3 Hex Brass Spacer“ ohne Arbeitsschritte verwendet werden.



Abb. 5: M3-Abstandshalter

Ein Vorteil besteht darin, dass diese Abstandshalter problemlos in dünnen Kunststoff, eine Plexiglasfront oder einen flachen Baustein eingeschraubt werden können. Mit einem Flachstein 30 mit V-Riegel ([31013](#))

lässt sich beispielsweise ganz einfach ein praktischer Ein-/Ausschalter realisieren. Die Anschlussdrähte können innen oder auf der Rückseite an eine Lötfläche angelötet werden. Sie können auch ganz einfach in eine vorgebohrte Front eingeschmolzen oder eingeklebt werden und anschließend kann die Leiterplatte direkt auf die Rückseite der Front gelötet werden. Ich habe diese Methode für ein DIY-Flip-Flop in einer fischertechnik-Kassette ([35359](#)) verwendet.

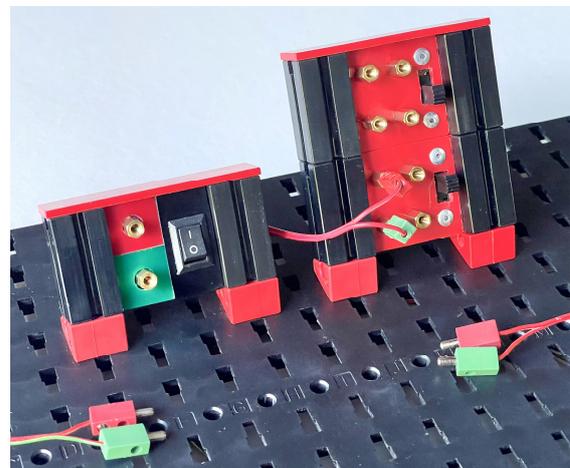


Abb. 6: Ein-/Ausschalter mit M3-Abstandshaltern aus Kupfer

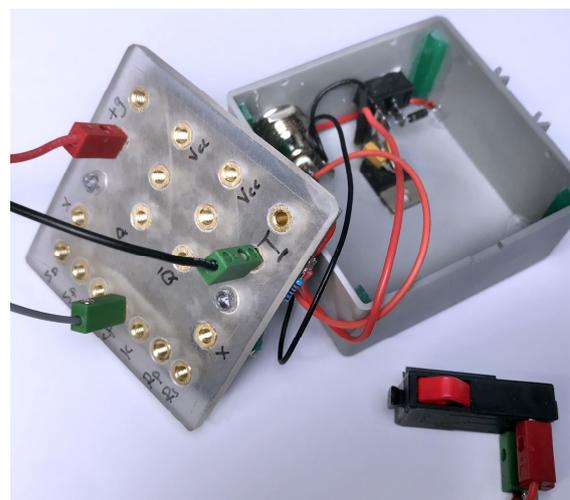


Abb. 7: Plexiglas-Frontplatte mit eingeklebten M3-Abstandshaltern

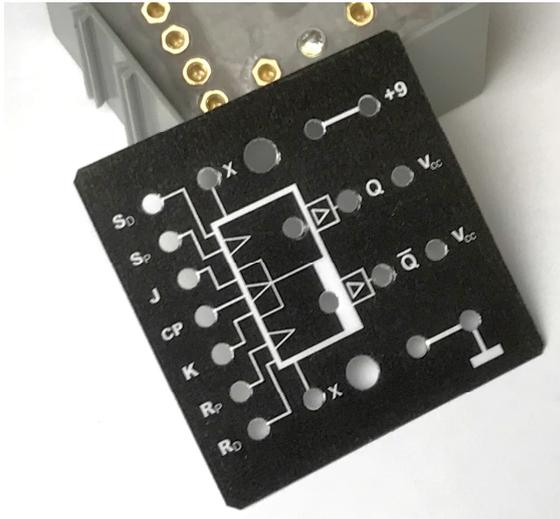


Abb. 8: Die Frontplatte verbirgt die Buchsen in der Plexiglasfront

Aderendhülsen

Eine Lösung, mit der mehrere fischertechniker experimentiert haben, ist die Verwendung sogenannter Aderendhülsen oder Ferrulen. Der Typ der Hülsen ohne Farbisolierung ist den originalen Bundhülsen sehr ähnlich und lässt sich leicht löten; es fehlt offenbar nur der Steg, mit dem die Hülse auf der Leiterplatte aufliegt. Diese Hülsen können, genau wie die Bundhülsen, auf einer großen Lötinsel⁶ auf der Leiterplatte verlötet werden (Abb. 9).



Abb. 9: Am nützlichsten ist die Aderendhülse für 2,5-mm²-Leiter

Ein großer Vorteil ist die Erschwinglichkeit. Die Hülsen kosten selten mehr als ein paar Cent pro Stück. Ein großer Nachteil besteht jedoch darin, dass die Innendurchmesser dieser Hülsen auf die gängigsten Querschnittsflächen mehradriger Montagedrähte abgestimmt sind. Der Innendurchmesser dieser Hülsen für 2,5-mm²-Draht beträgt ~2,4 bis 2,5 mm, ist also zu klein für die 2,5-mm-Stecker von fischertechnik. Die Aderendhülsen für 4-mm²-Leitungen sind mit ihrem Innendurchmesser von ~3,2 mm leider (viel) zu breit für die fischertechnik-Stecker. Diese lassen sich aber vielleicht vorsichtig oval zusammendrücken, damit die fischertechnik-Flachstecker fest an ihrem Platz bleiben.

Eine passgenauere Verbindung erhält man jedoch, wenn man 2,5-mm²-Hülsen vorsichtig mit einem Torx-T-10-Schraubenbit auf einen etwas größeren Durchmesser hämmert. Wenn ihr einen Bohrständer mit Maschinenklemme habt, könnt ihr die Hülsen mit einem 2,5-mm-Metallbohrer aufbohren. Alle diese Vorgänge werden natürlich vorzugsweise vor dem Löten durchgeführt, um eine zu große Krafteinwirkung auf die Lötinseln der Leiterplatte zu vermeiden.

Hohlrieten aus Kupfer

Den oben genannten Aderendhülsen sehr ähnlich sind die Kupferhohlrippel, die es in unterschiedlichen Längen für wenige Cent pro Stück gibt. Ausgangspunkt für die Dimensionierung dieser Hülsen sind jedoch wiederum die gängigen Leitungsquerschnitte, sodass wiederum nur die 2,5-mm²-Variante in Frage kommt. Wie bei der Aderendhülse mit diesen Abmessungen muss sie „vorbereitet“ werden, indem eine der Seiten mit einem 2,5-mm-Bohrer aufgebohrt wird. Nach diesem Vorgang sitzen die fischertechnik-Stecker sehr gut.

⁶ In dem von mir verwendeten Designprogramm Kicad kann der Footprint von „MountingHole:

MountingHole_2.7mm_Pad_Via“ mit einer 2,7-mm-Bohrung verwendet werden.



Abb. 10: Originale und gebohrte M3-Hohlknoten

Die vorverarbeiteten Hohlknoten können leicht in etwas zu klein gebohrte Löcher oder 3D-gedruckte Rohre an der Vorderseite eingeschmolzen werden, wodurch sie sehr festsitzen. Die Fotos zeigen sowohl die Montageart, bei der die trompetenartige Rohrseite (Abb. 2, 12), als auch die Montage, bei der das gerade Rohrende der Hohlknoten aufgebohrt wurde (Abb. 10, 11).

Bei beiden Methoden kann die Buchse letztendlich komplett hinter der Frontplatte verschwinden.



Abb. 11: Hohlknoten zu einer 3D-gedruckten Vorderseite verschmolzen

Die Rohrenden können auf verschiedene Arten hinter der Front mit der Leiterplatte verbunden werden, beispielsweise durch direktes Auflöten auf die hinter der Front hängende Leiterplatte. Dies hat den Vorteil, dass keine zusätzliche Befestigung mit Schrauben erforderlich ist. Ein Nachteil kann sein, dass relativ große Lötinseln auf der Leiterplatte eingespart werden müssen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die

Buchsen mithilfe von Drähten an der Leiterplatte zu befestigen. Das ist aufwändiger, spart aber schnell viel Fläche auf der Platine, wenn Anschlüsse wie z. B. Versorgungsspannungen oder Masseanschlüsse mehrfach als Schienen ausgeführt werden, denn identische Buchsen können mit einem unisolierten Stück Montagedraht hinter der Front direkt miteinander verbunden werden und benötigen dann nur noch eine Lötinsel.

Die Bundhülsen sind meist verzinkt, die Kupferhohlhülsen weisen jedoch oft eine Oxidschicht auf, die das Löten erschweren kann. Ein kurzes Polieren mit der Polier- oder Trennscheibe des Multitools oder der Handbohr-/Schleifmaschine wirkt in diesem Fall wahre Wunder. Bei mir ließen sich die Drähte durch das Einschleifen eines kleinen Schlitzes leicht anlöten. Vorsicht bei Hitzeentwicklung, die dazu führen kann, dass sich die Hülse löst. Vor allem 3D-Filament wird bei höheren Temperaturen schnell weich. Der gleiche Tipp gilt natürlich auch für die M3-Distanzbuchsen oder andere Kupferbuchsen, die ihr ohne Lötflächen richtig verlöten möchtet.

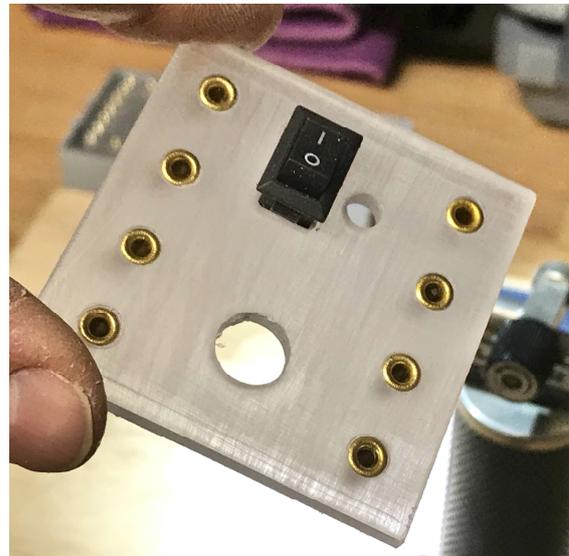


Abb. 12: In eine vorgebohrte Plexiglasfront eingeklebte Hohlknoten



Abb. 13: DIY-Stromversorgungsmodule mit Kupferhohlkabeln ausgestattet

Lötbare Kabelschuhe

Vor einiger Zeit bin ich auf der Suche nach möglichen brauchbaren Anschlussalternativen auf den Kabelschuh PTN2-10 („Crimpklammer“) gestoßen. In der Online-Anzeige standen die Spezifikationen der Abb. 14. Dieses Modell schien einige klare Vorteile zu haben. So endet die Buchse in einem relativ dünnen lötbaren Stift, der nur eine 1,6-mm-Leiterplattenbohrung erfordert. Obwohl der angegebene Innendurchmesser von 2,5 mm für unsere Anwendung durchaus ideal wäre, schien es mir, dass diese Rundbuchse aufgrund der gefalteten Metallfinger bei Bedarf recht einfach breiter gemacht werden könnte.

Beim Erhalt stellte sich jedoch heraus, dass es sich um nicht zertifizierte Spezifikationen aus China handelte. Der tatsächliche Innendurchmesser dieser Kabelschuhe fiel mit ca. 2,7 mm eher groß aus.

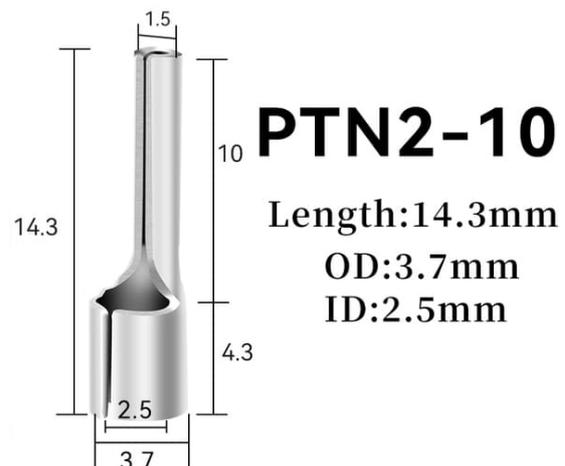


Abb. 14: Leider ist diese Angabe des „ID“ (Innendurchmesser) nicht ganz korrekt

Die Passform ähnelt den M3-Abstandshaltern, daher schienen sie zunächst nur für Stecker mit breiter gebogenen Lamellenfinger geeignet zu sein. In der Praxis stellte sich jedoch heraus, dass mit ein wenig Vorbearbeitung eine hervorragende Passform erzielt werden konnte. Nach dem Anpressen der mit einer dünnen Schleifscheibe⁷ leicht geschliffenen Verschlussnaht ist die Passung der fischertechnik-Stecker wirklich gut.



Abb. 15: Original PTN2-10 Pins, aufgeschnitten und passgenau zusammengepresst

Abb. 15 zeigt die verschiedenen Phasen der Vorbearbeitung: Links die Original-Kabelschuhe, hinten in der Mitte einige Exemplare, bei denen die Verschlussnaht aufgeschliffen wurde, und unten diejenigen

⁷ Ich habe eine Dremel-Trennscheibe („Cut Off Wheel“) Nr. 409 mit einer Dicke von 0,6 mm verwendet; siehe Abb. 18.

Exemplare, bei denen diese Öffnung sorgfältig verschlossen wurde. Wie ganz rechts zu sehen ist, passen die fischertechnik-Stecker dann perfekt.

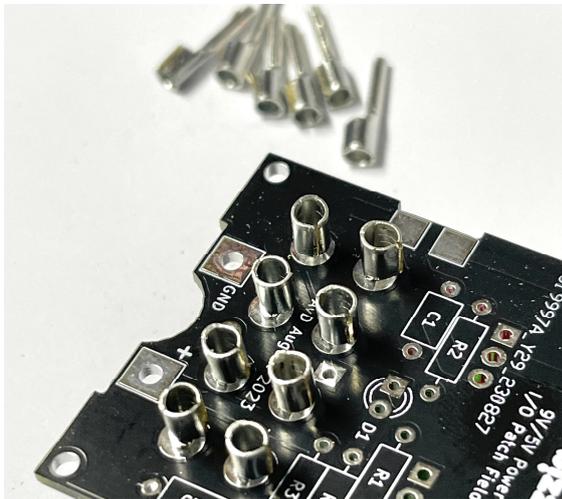


Abb. 16: Die PTN2-10-Pins eignen sich auch ideal für die direkte Montage auf der Leiterplatte

Wie in Abb. 16 dargestellt können die Buchsen direkt auf der Leiterplatte montiert werden. Aufgrund der geringen Länge dieser Buchse können diese jedoch nicht zu weit hinter der Frontplatte des Moduls platziert werden. Allerdings können die Buchsen aufgrund des relativ langen Lötstifts auf Wunsch natürlich auch etwas höher montiert werden. Mit einem 3D-gedruckten Buchsenhalter ist das ganz einfach (Abb. 17). Ein Vorteil hierbei ist, dass die Farben zur Verdeutlichung der Verbindungsfunktion genutzt werden können.

Diese Montageart hat sich bei dem an anderer Stelle in dieser Ausgabe beschriebenen einfachen Energieversorgungs-Modul im „Silberling-Gehäuse“ bewährt. Das Video, das ich von diesem Projekt⁸ gemacht habe, zeigt auch die Anpassung dieser Kabelschuhe. Was in diesem Beitrag

besprochen wurde habe ich auf meiner Website⁹ zusammengefasst.

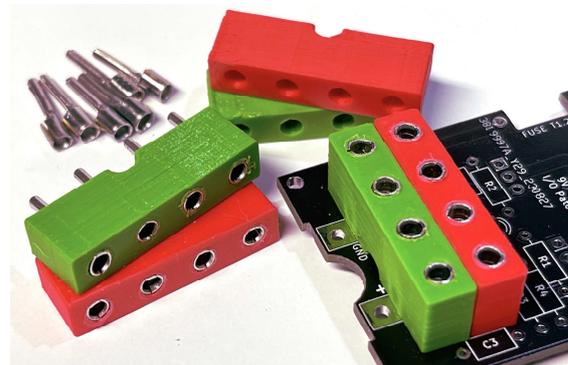


Abb. 17: 3D-gedruckte Anschlussstreifen zur stabilen Leiterplattenmontage in Farbe

Fazit

Der 2,5 mm-Flachstecker, 1967 von fischertechnik eingeführt, ist noch lange nicht verschwunden. Obwohl das Dupont-System für die meisten Anwendungen ein hervorragender Ersatz sein kann, ist es gut zu wissen, dass die Kompatibilität mit klassischen Verbindungsmethoden in mehrfacher Hinsicht gewährleistet ist. Die besprochenen Kabelschuhe PTN2-10 scheinen einfacher zu verwenden zu sein als Aderendhülsen und Hohlkneten. Sie nehmen weniger Platz auf der Leiterplatte ein, da sie eine viel kleinere Lötinsel benötigen. Unter Kostengesichtspunkten lassen sie mit einem Preis von etwa 3 Cent pro Stück die traditionellen Bundhülsen (die locker 15-mal so teuer sind!) deutlich hinter sich. Und obwohl für viele Projekte (besonders in relativ kleinen Gehäusen oder mit Mikrocontrollern) die Dupont-Stiftleisten vorzuziehen sind, kann man dennoch den Schluss ziehen, dass die herkömmlichen fischertechnik-Flachstecker auch in Zukunft weiterhin verwendet werden können, ohne einen erheblichen Teil des Bastelbudgets für Bundhülsen aufzuwenden.

⁸ Weitere Informationen zum Anpassen und Verwenden der PTN2-10-Kabelschuhe findet ihr im Video, das über die Projektseite des „[Simple Power Module](#)“ zugänglich ist.

⁹ [Projektseite](#) zu lötbaren Leiterplattenbuchsen für fischertechnik-Stecker.

Quellen

- [1] Jan Hanson: *Alternative Verbindungslösungen für Stecker und Buchsen*. [ft:pedia 1/2020](#), S. 21–29.
- [2] Arnoud van Delden: *Die Praktika von fischertechnik im Jahr 2022*. [ft:pedia 3/2022](#), S. 36–44.
- [3] Arnoud van Delden: *Der Zauberling (Teil 1): Der Zauberstab*. [ft:pedia 3/2021](#), S. 56–66.
- [4] Arnoud van Delden: *Der Zauberling (Teil 4): Die Weiterentwicklung*. [ft:pedia 1/2022](#), S. 71–79.

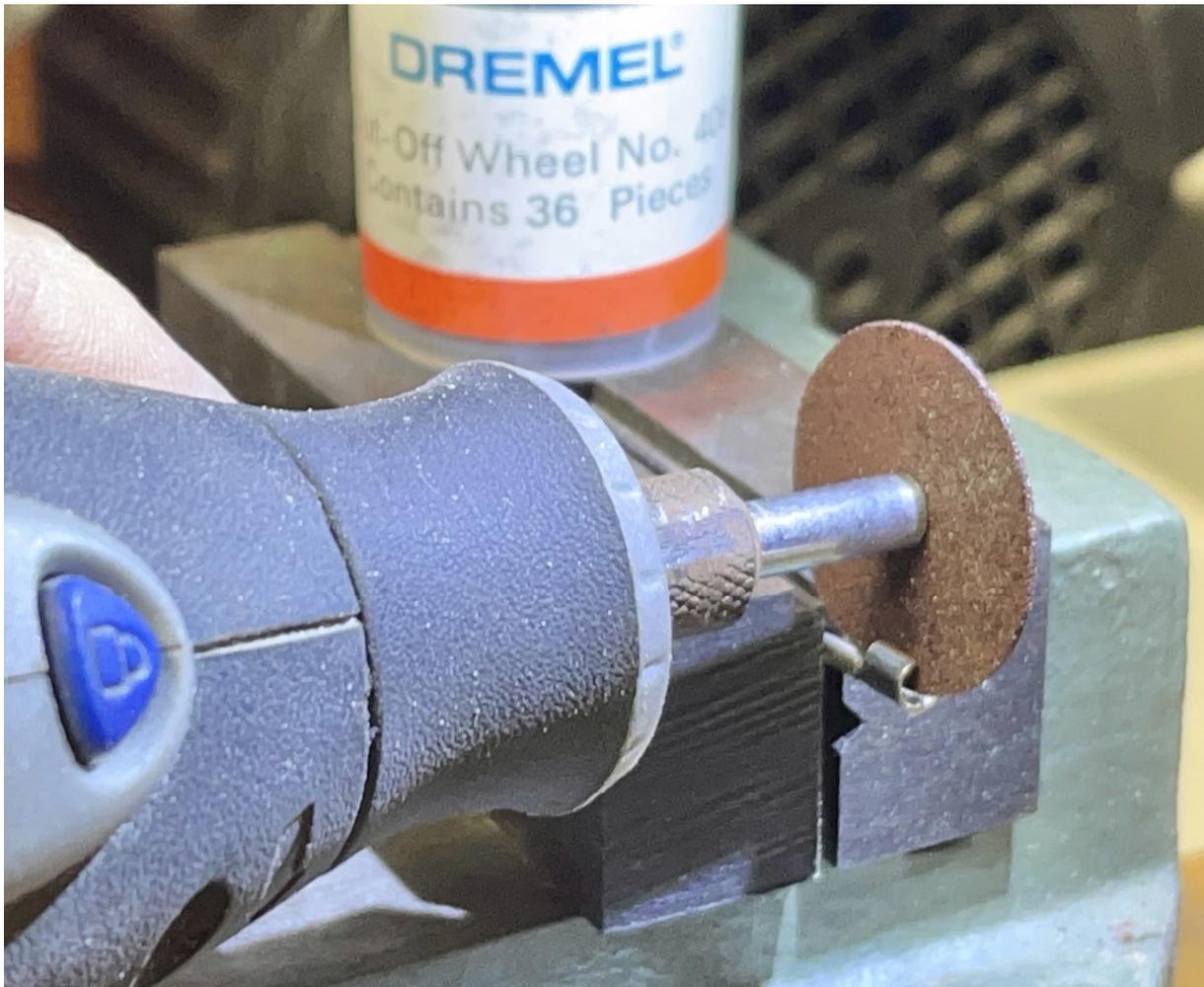


Abb. 18: Verbreiterung der Schließnaht mit einer kleinen Schleifscheibe

Elektronik

Eine zukunftssichere Stromversorgung (Teil 2)

Arnoud van Delden

Vor einiger Zeit habe ich meine Bastelreise beschrieben, die zu einem Modul mit mehreren Spannungsausgängen (12, 9, 5 und 3,3 V) und einer Anzeige der pro Ausgang verbrauchten Leistung und Stromstärke führte [1]. Die Stromanzeige und die einstellbare Sicherung des Moduls sind besonders nützlich bei Elektronikexperimenten sowie bei der Dimensionierung und Konstruktion neuer Modelle. Bei fertig entwickelten Modellen, die über einen längeren Zeitraum zusammengebaut bleiben, ist diese „Laborfunktionalität“ jedoch nicht unbedingt notwendig. Da bald alle von mir gebauten Module dieses Typs im Einsatz waren, hielt ich es für sinnvoll, auch eine günstigere und einfacher zu bauende Alternative zu diesem Modul zu entwickeln.



Abb. 1: Das „erweiterte“ Modul mit Display und vier Ausgangsspannungen

Abb. 1 zeigt das im ersten Teil des Beitrags besprochene Modul [1]. Die Stromversorgung des Moduls erfolgt über einen universellen 12 V-Gleichstromadapter mit dem üblichen Gleichstromstecker mit einem Durchmesser von 5,5 mm (mit 2,5-mm-Stift für den Pluspol). Die Entwicklung dieses Moduls stellte mich vor eine ziemliche Herausforderung. Letztlich waren zwei gestapelte Leiterplatten mit SMD-Technik nötig, um die gesamte Funktionalität in das

selbst 3D-gedruckte Silberling-Gehäuse zu bringen.

Auf jeden Fall erfüllte dieses Modul den Wunsch, neben der üblichen fischertechnik 9 V-Verbraucherspannung auch die vielen interessanten und heutzutage spottbillig erhältlichen „Breakout-Boards“ zur Steuerung von Modellen nutzen zu können. Viele dieser 5 V-Sensorplatinen, wie zum Beispiel die LDR-, IR-Hindernis- und Hall-Effekt-Sensoren, verfügen über einen einfachen Logikausgang, der sogar mit den klassischen Silberlingen-Modulen verwendet werden kann. Allerdings stellt die 5 V-Versorgungsspannung für diese Platinen im klassischen fischertechnik-Biotop noch eine kleine Hürde dar.

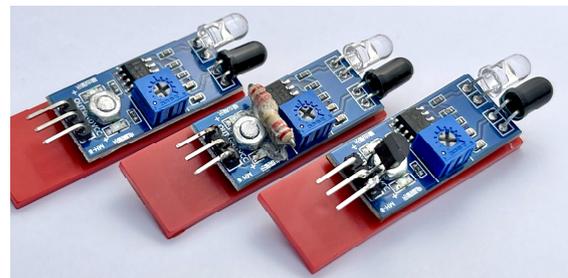


Abb. 2: Original und zwei modifizierte IR-Hindernissensoren

Manchmal können die Module nach einer geringfügigen elektronischen Modifikation mit 9 V betrieben werden (Abb. 2, [2]). Einfacher ist es jedoch, eine 5 V-Versorgungsspannung zur Verfügung zu haben. Bei der Verwendung der traditionellen Flipflop- und Monoflop-Silberlinge, aber auch bei nachgebauten Silberlingen mit CMOS-Technologie bei 9 V, kann das Ausgangssignal dieser Platinen, das zwischen 0 und 5 V wechselt, problemlos als logisches digitales Eingangssignal verwendet werden.

Spannung für die Silberlinge

Meine DIY-CMOS-Silberlinge sind hinsichtlich der Versorgungsspannung sehr nachsichtig. In der Praxis ist es sogar kein Problem, sie mit 5 V zu betreiben. Da ich mich aber bereits für ein separates Anschlussfeld mit dreipoligen Steckern für Sensorplatinen entschieden hatte, mit denen diese direkt mit 5 V versorgt werden können, entschied ich, eine höhere Versorgungsspannung für die Übertragung über die Metallstreifen an den Seiten des Silberlings beizubehalten. Daher sollte das Modul idealerweise in der Lage sein, zwei Spannungen zu liefern: 5 V bzw. eine „Arbeitsspannung“ von 6,8 ~ 9 V.



Abb. 3: Rückseite mit Öffnung für Kühlkörper und optionaler Durchschleifmöglichkeit

Da ich wie beim Zauberling (Abb. 3, [3]) eine Durchschleifmöglichkeit für die Eingangsspannung auf der Rückseite des

Moduls realisieren wollte, wäre es schön, wenn je nach Gegebenheit sowohl ein 9 V- als auch ein 12 V-Anschluss vorhanden wären. Dabei kann ein Volt-DC-Adapter verwendet werden. Obwohl für rein logische Experimente mit den digitalen Silberlingen eine niedrige Versorgungsspannung ausreicht, ist es schön, eine höhere Versorgungsspannung zur Verfügung zu haben, für eine Verstärkerstufe oder H-Brücke zum Beispiel, wenn an anderer Stelle im Modell größere Verbraucher wie Motoren oder Glühlampen eingesetzt werden.

Naheliegender ist die Bestückung des Moduls mit den gängigen linearen Spannungsreglern der LM-Serie (LM = „linear monolithic“). Allerdings verfügen diese Regler über eine sogenannte „Drop-Out-Spannung“: Die stabile Ausgangsspannung liegt immer um diesen Spannungsschwellenwert (ca. 1,7 bis 2 V) niedriger als die Eingangsspannung. Wenn für die Eingangsspannung zusätzlich ein 9 V-Gleichstromadapter verwendet werden muss, ist die Ausgangsspannung des Moduls daher auf etwa 7 bis 7,5 V begrenzt. Abgesehen davon, dass es keinen LM7807 gibt, der diese feste Ausgangsspannung direkt erzeugt, kann es bei der Versorgung dieses Spannungsreglers mit einem 12 V-DC-Adapter bereits bei geringen Strömen zu erheblicher Wärmeentwicklung kommen. Das liegt daran, dass der Spannungsabfall von 5 V bei durchschnittlichen Strömen bereits eine beträchtliche Leistung erzeugt, die als Wärme abgeführt werden muss.

Eine effizientere Wahl könnte ein sogenanntes DC-DC-Aufwärtsleistungsmodul mit beispielsweise einem XL6009- oder LM3577-Regler sein. Obwohl es von den Abmessungen her durchaus möglich wäre, zwei dieser Module in einem Silberling-Gehäuse unterzubringen, gibt es noch weitere Nachteile: Beispielsweise ist die Ausgangsspannung dieses sogenannten Step-up/down (Boost/Buck) Wandlers nicht

so stabil wie herkömmliche LM-Regler; sie erzeugen daher mehr elektromagnetische Störungen (EMI). Insbesondere bei digitalen Schaltungen mit Taktsignal kann das bei unzureichender Filterung störend sein. Ein häufig genanntes Problem ist, dass diese „Boost-Module“ ohne angeschlossene Verbraucher recht warm werden können. Wegen des komplett verlöteten Gehäuses ist die Montage eines Kühlkörpers bei diesem Regler kaum möglich.

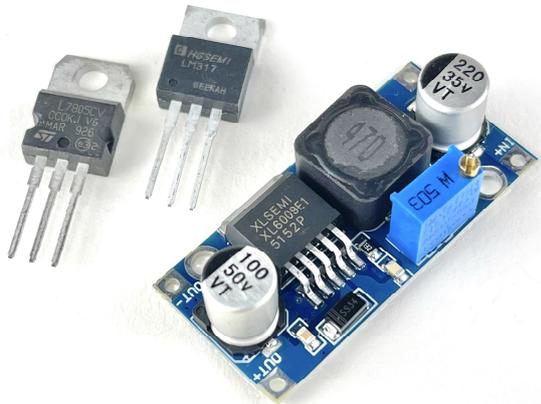


Abb. 4: Linearregler und Modul mit XL6009
Aufwärts-Abwärtswandler

Die Wünsche kommen

Das neu entwickelte Modul soll vor allem dazu dienen, die digitale Logik und vielleicht gelegentlich auch die ursprünglichen fischertechnik-Silberlinge in Modellen zu versorgen. Dennoch ist es schön, wenn sowohl ein 9 V- als auch ein 12 V-Gleichstromadapter verwendet werden können und die Eingangsspannung des Adapters auf der Rückseite durchgeschleift wird. Manchmal können externe Verbraucher oder andere Module diese höhere Eingangsspannung sinnvoll nutzen (z. B. ein H-Brückenmodul zur Steuerung von Motoren). Die speziell für Mikrocontroller benötigte Spannung von 3,3 V des Power Modules aus Teil 1 kann in jedem Fall entfallen [1]. Strommessung und automatische Sicherung sind bei diesem einfacheren Stromversorgungsmodul natürlich auch keine Voraussetzung.

Zusammengefasst sind die Anforderungen an ein neu zu entwickelndes Stromversorgungsmodul:

- Das Modul muss 5 V-Schienen zum einfachen Anschluss von Sensorplatinen mit einem 3-poligen Kabel mit Dupont-Stecker bereitstellen. Dies ist der ziemlich verbreitete Servostecker mit dem +-Anschluss in der Mitte (um eine Verpolung zu verhindern, wenn der Stecker falsch herum eingesteckt wird).
- Das Modul muss eine einfache Durchsteckmöglichkeit für die anzuschließenden Sensorplatinen bieten, damit der Ein- oder Ausgang auf die zugrunde liegende Logik der Silberlinge durchgesteckt werden kann. Dieses Signal ist ein Ausgang für viele Sensorplatinen, aber das gleiche Signal wird von einigen Aktuatorplatinen (z. B. dem ein-/ausschaltbaren Lasermodul oder dem PWM-Steuereingang eines Servos) als Eingang verwendet.
- Das Modul muss mit den handelsüblichen Netzteilen mit DC-Stecker (5,5 mm Durchmesser und einem Mittelstift von 2,5 mm) funktionieren.
- Auf Wunsch sollte es problemlos möglich sein, die Adapter-Eingangsspannung (nach dem Ein-/Ausschalter) an zwei JST-XH-Anschlüssen auf der Rückseite zur Verfügung zu stellen, sodass diese zu anderen Verbrauchern oder Modulen mit eigenem Spannungsregler durchgeschleift werden kann.
- Es muss ein Ein-/Ausschalter mit deutlicher Einschaltanzeige (LED) vorhanden sein, damit keine Kabel herausgezogen werden müssen, wenn ein Modell oder ein aufgebauter Stromkreis ausgeschaltet werden sollen.

Letztlich kam ich zu dem Schluss, dass die zu entwickelnde Modulleiterplatte vorzugsweise so einheitlich gestaltet werden sollte, dass Module zusätzlich zu den festen 5 V

für die Sensorplatinen mit Ausgangsspannungen von 7,5 oder 9 V hergestellt werden können. Die niedrigere Ausgangsspannung von 7,5 V ist ausreichend, wenn eine Logikschaltung, die hauptsächlich aus Silberlingen besteht, mit Strom versorgt wird. Wie oben erwähnt wird ein Sensorausgang mit einem 5 V-Signalpegel ausreichend als logisch „HIGH“ (oder in der negativen Logik der traditionellen Silberlinge als logisch „LOW“) erkannt. Die Verwendung eines 12 V-Gleichstromadapters ist sinnvoll, wenn schwerere Verbraucher wie Motoren zum Einsatz kommen. In diesem Fall stellt die 12 V-Adapterspannung eine 9 V-Arbeitsspannung für das Modul bereit; die 12 V können auf der Rückseite des Moduls zu anderen selbstgebauten Silberlingen oder externen Verbrauchern durchgeschleift werden.

Schaltbild

Um die 5 V „Sensorboard“-Spannung zu erzeugen, liegt die Verwendung eines LM7805 nahe. Zur Erzeugung der Ausgangsspannung von 7,5 oder 9 V wurde der LM317 gewählt. Genau wie der LM7805 handelt es sich um einen sogenannten linearen Spannungsregler, allerdings bietet der LM317 im Gegensatz zu einer festen eine über ein Widerstandsverhältnis einstellbare Ausgangsspannung. Obwohl dies für dieses Projekt nicht sehr wichtig ist, besteht ein kleiner Vorteil des „rauscharmen“ LM317 gegenüber einem LM-Regler mit fester Ausgangsspannung darin, dass er etwas weniger Rauschen und Welligkeit in der Ausgangsspannung verursacht und auch bei höheren Strömen (>1,5 A) verwendet werden kann.

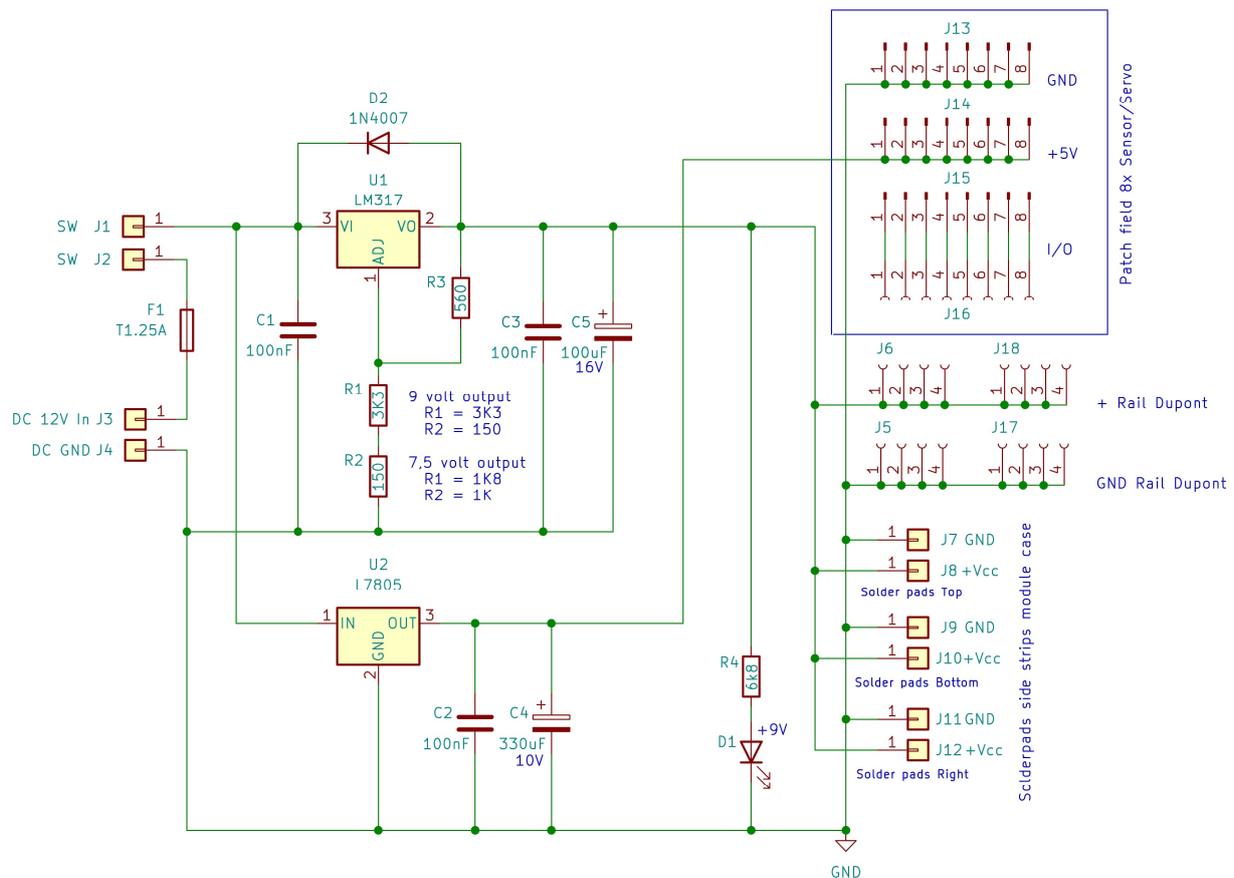


Abb. 5: Schaltbild mit LM7805 und einstellbarem LM317

Abb. 5 zeigt das Schaltbild. Mit den dargestellten Widerstandswerten für R1 und R2 wird die Ausgangsspannung des LM317 auf 9 V eingestellt. Durch Ändern von R1 auf $1K8\Omega$ und R2 auf $1K\Omega$ sinkt die Ausgangsspannung auf 7,5 V. Die Eingangsspannung darf maximal 35 V betragen; in der Praxis sollte sie jedoch möglichst niedrig gewählt werden, auf jeden Fall jedoch 2 V über der vorgesehenen Ausgangsspannung.

In der Praxis kann das 7,5 V-Modul auch mit einem 12 V-Gleichstromadapter betrieben werden. Allerdings kann es abhängig von der Stromstärke zu einer etwas stärkeren Wärmeentwicklung kommen. Im Notfall könnte das 9 V-Modul sogar mit einem 9 V-Gleichstromadapter versorgt werden. Aufgrund der sogenannten „Drop-Out-Spannung“ liefert dieses Modul jedoch nur eine Ausgangsspannung von etwa 7 V, vergleichbar mit dem 7,5 V-Modul, wenn es über einen 9 V-Gleichstromadapter betrieben wird. Zwar wird die Ausgangsspannung des Reglers unter diesen Bedingungen nicht optimal stabil sein, jedoch 9 V nicht überschreiten, so dass es bei vorübergehendem Einsatz zu keinen größeren Problemen kommt.

Unterschiedliche Stecker und Ausgangsspannungen

Durch den Einsatz des LM317 ist es grundsätzlich möglich, die Ausgangsspannung des Moduls auf der Frontplatte umschaltbar zu machen. Dennoch habe ich mich nicht dafür entschieden. Ich dachte, es wäre einfacher, verschiedene Versionen desselben Moduls mit demselben PCB-Design herzustellen. Da ich etwa zur gleichen Zeit auf die an anderer Stelle in dieser Ausgabe der ft:pedia beschriebenen lötbaren Kabelschuhe für fischertechnik-Stecker stieß [4], beschloss ich, auch zwei verschiedene Leiterplatten-Designs anzufertigen: eines für Dupont-Steckerleisten und eines, auf dem die klassischen 2,5-mm-

fischertechnik-Stecker verwendet werden können.

Da ich bereits beschlossen hatte, Module mit zwei Ausgangsspannungen zu bauen (7,5 V bei Verwendung eines 9 V-Gleichstromadapters und 9 V Ausgangsspannung bei Verwendung mit einem 12 V-Gleichstromadapter), sind vier verschiedene Modultypen entstanden. Weil die Buchsen für die fischertechnik-Stecker mehr Platz auf der Frontplatte einnehmen als die Dupont-Stiftheuten kann auf diesem Modul die Anschlussmöglichkeit für maximal vier Sensoren sowie vier rote +9 und vier grüne „Erde“-Anschlüsse realisiert werden, während auf das mit den Dupont-Headern ausgestattete Modul acht solcher Anschlussmöglichkeiten passen.



Abb. 6: Vorder- und Rückseite der Leiterplatte zur Montage im 3D-gedruckten Gehäuse

Konstruktion

Die Module sind in einem 3D-gedruckten, Silberling-kompatiblen Gehäuse verbaut. Diesmal konnte das Design im Gegensatz zum vorherigen „Power Module“ vollständig auf einer Leiterplatte untergebracht werden. Dadurch passen die Kühlkörper der Spannungsregler ins Gehäuse. Eine Öffnung auf der Rückseite sorgt für ausreichende Luftkühlung. Die beiden optionalen JST-XH-Anschlüsse zur Verkettung der eingehenden Stromversorgung sind auf einer kleinen, optional montierbaren separaten Leiterplatte untergebracht. Nicht jedes Modul benötigt diese Anschlüsse auf der

Rückseite und in einem solchen Fall kann einfach ein Gehäuse ohne diese beiden Öffnungen gedruckt werden.



Abb. 7: Netzteilmodul mit Dupont-Headerleisten



Abb. 8: Stromversorgungsmodul mit 2,6 mm fischertechnik-Buchsen

Die Steckerleisten für die PTN2-10 Kabelschuhe wurden in Farbe gedruckt. Sie sorgen für eine stabile Montage und eine minimale Belastung der Lötinseln auf der Leiterplatte beim Einstecken und Entfernen der Stecker. Die Anschlussblöcke ragen durch die Frontplatte. Für die Gestaltung der Frontplatte wurden die Positionen der verschiedenen Frontelemente direkt aus dem „Silk Screen“-Design aus dem Design-

programm (KiCad) in das Zeichenprogramm (Affinity Designer 2) übernommen. Dieses Design wurde dann auf einem Laserdrucker gedruckt und anschließend mit einer matten Laminatfolie laminiert. Nach dem Schneiden und Stanzen ist die resultierende Frontplatte bereit zum Aufkleben auf den Gehäusedeckel. In Abb. 9 sind beide Steckervarianten nebeneinander zu sehen.



Abb. 9: Zwei der vier Modultypen, eingebaut und einsatzbereit

Fazit

Sämtliche Modultypen sind mittlerweile gebaut und funktionieren zu meiner vollsten Zufriedenheit. Mehrere der in [1] besprochenen, umfangreich programmierbaren „Power Modules“ konnte ich aus Modellen „zurückgewinnen“ und gegen diese einfachere Variante austauschen.

Ich denke darüber nach, eine kleine Menge dieser Module für Dritte zu bauen. Aber für alle, die solche Module selbst bauen möchten, stelle ich gerne alle für den Bau erforderlichen Informationen zur Verfügung. Die für die Stromschienen verwendeten [3D-STL-Dateien](#) findet ihr online, weitere Informationen und den Link zu einem Video zur Entstehung auf meiner [Projektseite](#). Für Anregungen bin ich wie immer offen und jeder, der sich für das Modul interessiert, kann sich gerne an mich wenden.

Quellen

- [1] Arnoud van Delden: *Eine zukunftssichere Stromversorgung*. [ft:pedia 2/2022](#), S. 73–86.
- [2] Arnoud van Delden: *Der Zauberling (Teil 3): Ein erster Trick*. [ft:pedia 4/2021](#), S. 52–57.
- [3] Arnoud van Delden: *Der Zauberling (Teil 4): Die Weiterentwicklung*. [ft:pedia 1/2022](#), S. 71–79.
- [4] Arnoud van Delden: *Alternative Verbindungslösungen für Stecker und Buchsen (Teil 2)*, in dieser Ausgabe.



Abb. 10: Die Stromversorgungsmodule sind betriebsbereit

Elektronik

Fahrtregler (3): Vom Widerstandsdraht bis zur PWM

Peter Krijnen

Die Idee zu dieser kleinen Beitragsserie zum Thema Fahrtregler war meine Suche nach einer einfachen elektronischen Steuerung für meine analogen Modelleisenbahnen. Diese Suche endete, als ich Elektor 10-93 [5] durchlas und fand, wonach ich suchte: Modellbahn-Controller.

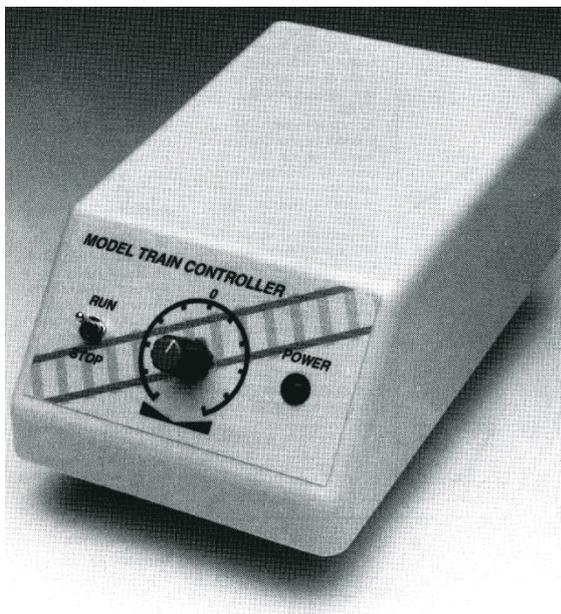


Abb. 29: Model Train Controller aus Elektor 10-93[4]

Im Gegensatz zu den Reglern mit dem bekannten NE555 ist dieser Regler (Abb. 30) um einen Vierfach-OpAmp vom Typ TL074 herum aufgebaut. Den Leistungsteil bildet ein TIP147 und die Polaritätsumkehrung ein Relais. Nachdem ich diese Schaltung auf einem Steckbrett aufgebaut hatte, fand ich bald heraus, dass das Schema nicht richtig funktionieren wollte. Ich habe daher mein Oszilloskop angeschlossen, um herauszufinden, was die Ursache sein könnte. Es stellte sich schnell

heraus, dass die Spannung am Potentiometer P2 zu niedrig war. Die Werte der Widerstände R13, R14 und R15 erwiesen sich als zu niedrig, sodass der TIP147 erst dann geöffnet wurde, wenn P2 fast bis zum Links- oder Rechtsanschlag gedreht war.

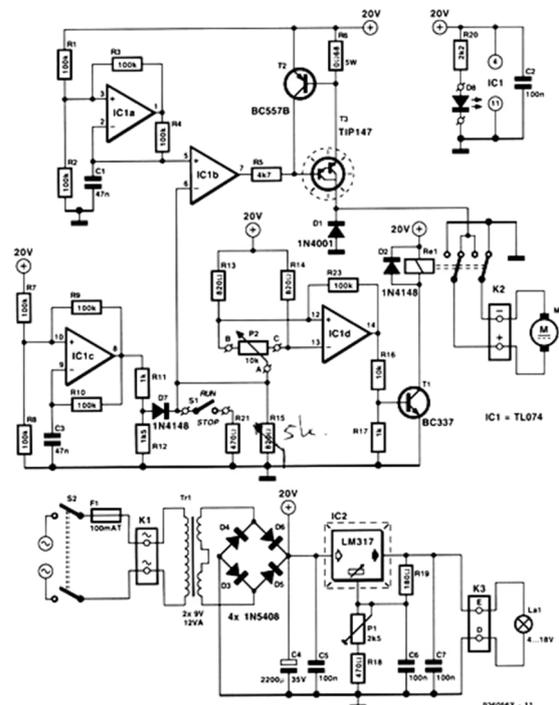


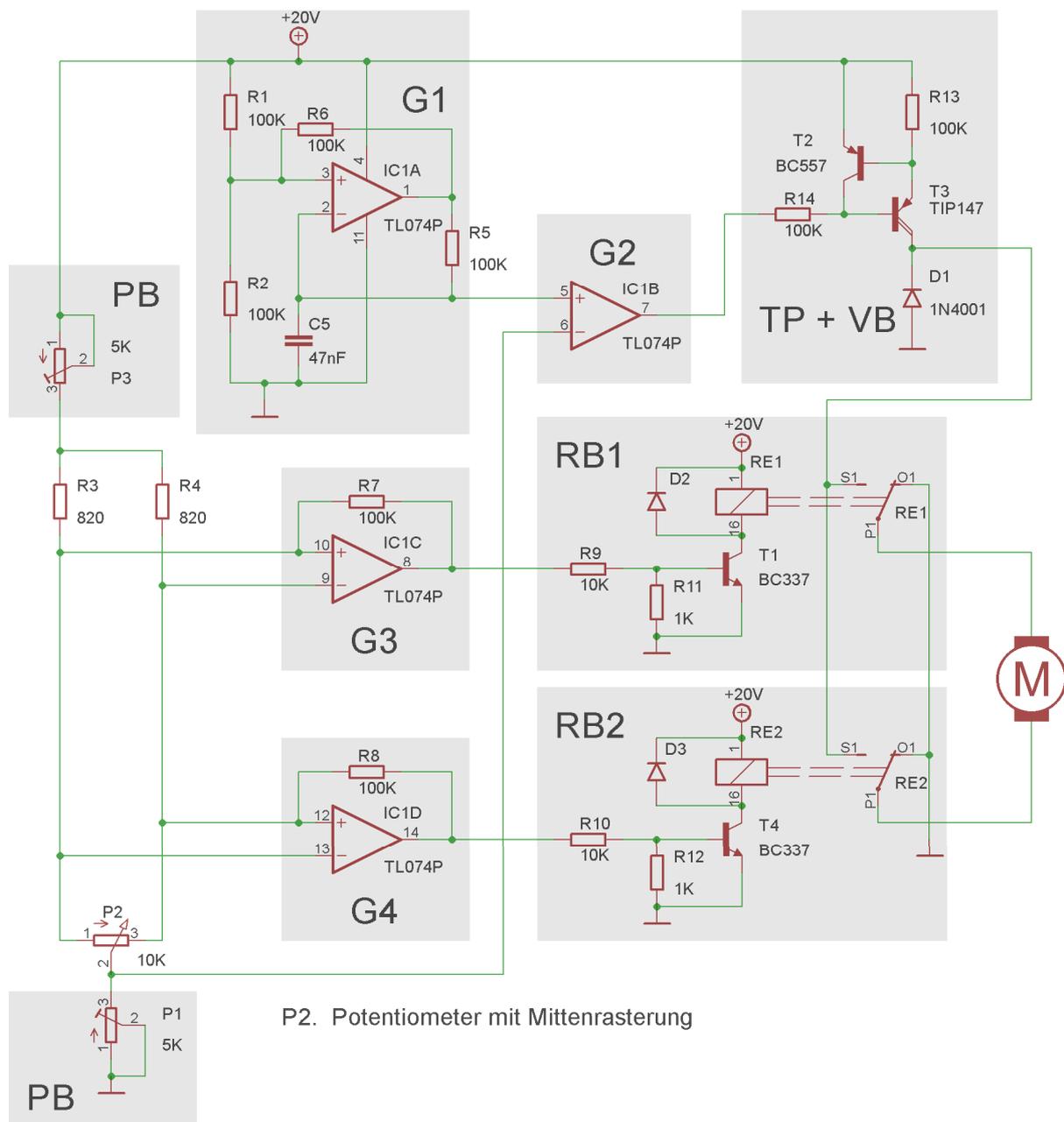
Abb. 30: Schaltbild des Model Train Controllers aus Elektor 10-93 [4]

Ich habe daher R15 durch ein 5-kΩ-Potentiometer ersetzt. Ich habe R13 und R14 durch 1 kΩ ersetzt und dann mit einem

zweiten Potentiometer an die 20 V angeschlossen. Das Einstellen der beiden 5-k Ω -Multiturn-Potentiometer hat einige Zeit gedauert, aber am Ende habe ich den Regler dazu gebracht, über den gesamten Bereich des Potentiometers P2 zu arbeiten.

Die Idee des mit IC1c gebauten Oszillators war es, bei langsamer Fahrt zusätzliche Impulse zu erzeugen. Dies war jedoch ein Störfaktor für meine Lokomotiven: Sie

ruckelten nun auf dem Gleis. Also habe ich diesen Oszillator wieder entfernt. Ich habe auch den Schalter S1 weggelassen. Auch beim Zurückdrehen von P2 von „rückwärts“ in die Mittelstellung stellte sich heraus, dass das Relais nicht abfallen wollte. Erst als ich P2 weiter nach „vorwärts“ drehte, fiel das Relais ab. Ich löste dieses Problem einfach, indem ich den freigewordenen IC1c zur Steuerung eines zweiten Relais verwendete (Abb. 31).



P2. Potentiometer mit Mittenrasterung

Abb. 31: Schaltbild nach all den Änderungen

Allerdings habe ich die Anschlüsse + und – gegenüber IC1d vertauscht. Die Umpolung bzw. das Einschalten des Ausgangs wird nun auf beide Relais verteilt. Dies hängt von der Drehrichtung von P2 ab.

Bauen mit den Silberlingen

Das fertige Schaltbild des mit den Silberlingen gebauten Reglers ist auf Abb. 32 zu sehen und auf Abb. 33 sehen wir das Endergebnis meiner harten Arbeit. Es ist klar, dass das GB-Modul für die Gleichrichtung einer angeschlossenen Versorgungsspannung sorgt [1]. Für die Experimente habe ich meinen GB, umgebaut mit einem

7809-Stabilisator, verwendet, um eine stabilisierte Versorgungsspannung für den Regler zu erhalten.

G1 ist der Taktgenerator. Für diese Schaltung verwende ich nicht die Ausgänge A1 oder A2, sondern das Signal, das an E1 anliegt. Dieses Signal in Form eines Sägezahns oder Dreiecks (Abb. 34) wird durch den Kondensator bestimmt, der zwischen 0 V und E1 angeschlossen ist. Auf den Bildern sieht man, dass ich den eingebauten Kondensator von 47 µF verwendet habe. In der Tabelle 1 ist jedoch auch ein 68-µF-Kondensator enthalten. Das ist der tatsächliche Wert des eingebauten Kondensators.

Obwohl dieser Kondensator mit dem Text „47 µF“ bedruckt ist, stellt er sich bei der Messung als 68 µF heraus. Weiterhin wird die Anschlussbuchse 7 mit A2 verbunden, wobei das Potentiometer auf Linksanschlag bleibt. A2 ist auch mit Buchse 6 verbunden: nicht mit einer Leitung, sondern mit Widerstand R1. In diesem Fall mit einem Wert von 22 kΩ. Tab. 1 zeigt, dass dies eine Amplitude von 1 V verursacht. Zusammen mit dem eingebauten Kondensator von 68 µF ergibt das eine Frequenz von ca. 89 Hz (Abb. 34).

In der Tabelle sehen wir, dass die Frequenz vom Wert von C1 abhängt. Da eine

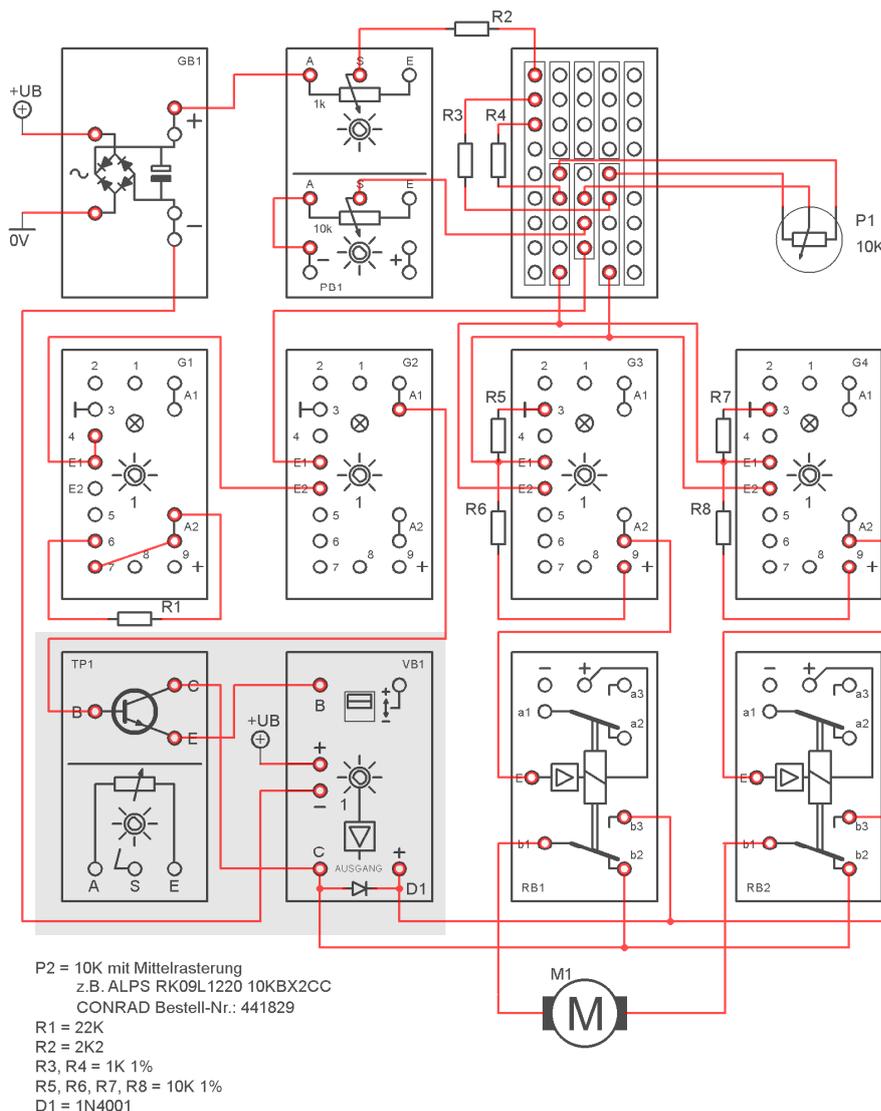


Abb. 32: Schaltbild mit den Silberlingen

geringere Kapazität schneller geladen und entladen wird, ist die Frequenz höher. Es fällt auch auf, dass der Wert von R1 die Amplitude der Dreiecksspannung bestimmt. Ein höherer Wert ergibt eine kleinere Amplitude.

C1	R1	Hz	V
68 µF	1 + 0	8	6,24
	1 + 4,7	27	2,80
	1 + 10	45	1,84
	1 + 15	65	1,32
	1 + 22	89	1,00
	1 + 27	112	0,80
	100 + 0	409	0,28
47 µF	1 + 0	12	6,30
	1 + 4,7	35	2,96
	1 + 10	58	1,84
	1 + 15	78	1,52
	1 + 22	109	1,12
	1 + 27	128	0,96
	100 + 0	394	0,20
22 µF	1 + 0	27	6,24
	1 + 4,7	79	2,88
	1 + 10	131	1,84
	1 + 15	178	1,36
	1 + 22	250	1,00
	1 + 27	302	0,96
	100 + 0	977	0,36
10 µF	1 + 0	61	6,24
	1 + 4,7	178	2,88
	1 + 10	312	1,84
	1 + 15	417	1,36
	1 + 22	555	1,00
	1 + 27	670	0,96
	100 + 0	1998	0,32
4,7 µF	1 + 0	118	6,24
	1 + 4,7	357	2,88
	1 + 10	588	1,84
	1 + 15	833	1,36
	1 + 22	1110	1,00
	1 + 27	1337	0,96

C1	R1	Hz	V
	100 + 0	3785	0,48

Tab. 1: Relation C1 und R1

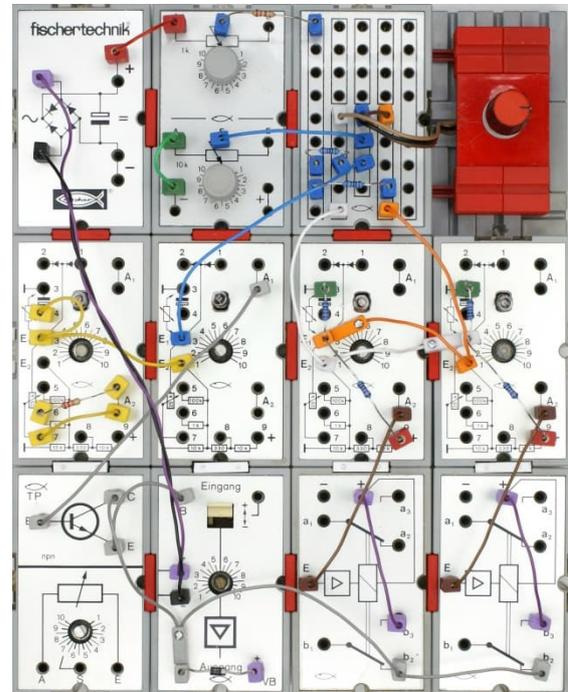


Abb. 33: Das kam schließlich heraus

Je nach Motor kann es besser sein, eine höhere Frequenz zu wählen. Ich habe das mit einem XM-Motor getestet: bei 1110 Hz fängt er schon bei 70mV an flüssig zu laufen. Bei 90 Hz läuft er erst ab 0,45V flüssig. Man würde erwarten, dass es keine Rolle spielt, ob Sie einen 1 ms breiten Impuls 100-mal pro Sekunde oder 1000 mal 0,1 ms erhalten. Der Durchschnitt bleibt gleich. Entscheidend ist in diesem Fall allerdings die deutlich höhere Wiederholrate.

Das von G1 erzeugte Dreieckssignal wird mit E2 von G2 verbunden. Die Spannung, die an E1 von G2 anliegt, wird teilweise durch das Potentiometer P1 bestimmt. Bei einer Versorgungsspannung von 9 V beträgt das Maximum des Dreiecks 4,9 V und das Minimum 3,8 V. P1 muss verwendet werden, um zwischen diesen beiden Niveaus zu regulieren. Wenn P1 in Mittelstellung ist (ich verwende einen 10 kΩ ALPS mit Mittenrastrung), sollten an E1

3,8 V anliegen. Wird P1 auf Links- oder Rechtsanschlag gedreht, müssen 4,9 V zugeführt werden. Um beide Spannungen einstellen zu können, verwende ich die beiden Potentiometer im Potentiometer-Baustein PB1. Die 10 k Ω für die minimale Spannung und die 1 k Ω für die maximale Spannung. Da die 1 k Ω zu niedrig ist, habe ich einen weiteren 2,2-k Ω -Widerstand R2 in Reihe geschaltet. Dies wird dann durch zwei 1-k Ω -Widerstände R3 und R4 geteilt und mit beiden Enden von P2 verbunden. Es ist wichtig, dass beide Widerstände gleich sind. Daher habe ich dafür 1%-Widerstände verwendet. Die 3,8 V sind mit dem Schleifer von P1 verbunden. Die Steuerspannung, die durch Drehen von P1 zwischen 3,8 V und 4,9 V variiert, wird vom Schleifer abgenommen und an E1 von G2 angeschlossen.

G2 ist als Komparator geschaltet und vergleicht das Signal von G1 mit der von P1 kommenden Steuerspannung. Ist der Pegel an E1 niedriger als an E2, passiert am Ausgang A1 von G2 nichts (Abb. 34).

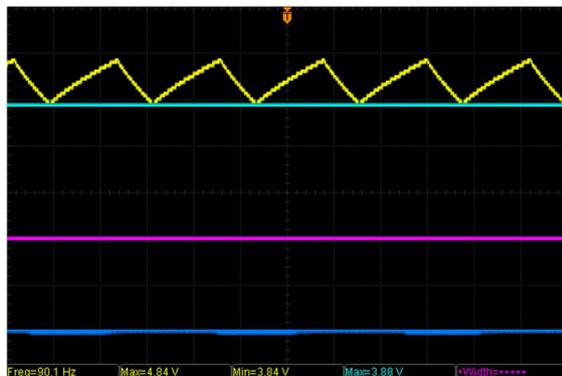


Abb. 34: Gelb = Signal auf E1 von G1,
Hellblau = Niveau auf E1 von G2

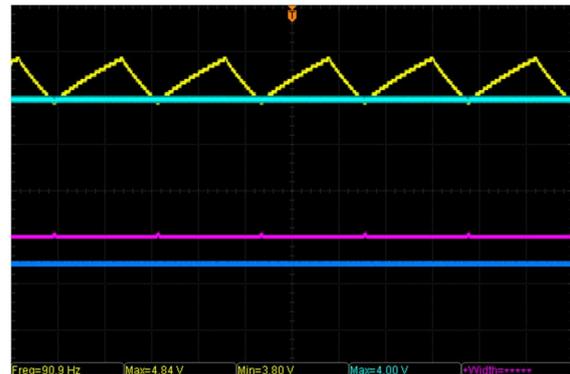


Abb. 35: Rot = Niveau auf A1 von G2, Blau = Niveau auf dem Kollektor der VB: Eines der Relais zieht an

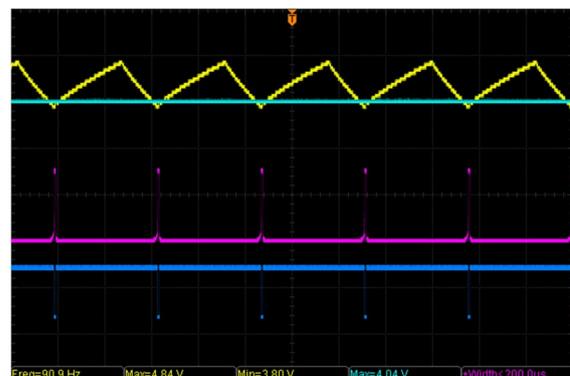


Abb. 36: Die Pulsbreite ist kürzer als 200 μ s

Sobald jedoch der Pegel an E1 ansteigt, wird ein Teil des Signals an E2 zu A1 durchgelassen (Abb. 35). Wir sehen, dass dies nicht in Form eines Dreiecks, sondern in Form eines Rechtecks ist: Der Komparator regelt nicht, sondern schaltet, wenn E1 höher als E2 ist. Die dann auf A1 liegenden Impulse werden also breiter, je weiter wir P1 drehen (Abb. 36 bis 38). Wenn P1 auf Links- oder Rechtsanschlag eingestellt ist, ist der Regler vollständig geöffnet (Abb. 39). Ergo: Pulsbreitenmodulation oder PCM.

Leistungsstufe

Um mit diesem PCM beispielsweise einen Motor ansteuern zu können, benötigen wir eine Leistungsstufe. Dies wird mit einem Transistor-Potentiometer Baustein TP1 und einem Verstärker-Baustein VB1 erreicht. Die Transistoren in beiden Modulen sind hier als Darlington [2] verschaltet. Da der Emitter des Transistors im VB1 mit 0 V

verbunden ist, muss eine Last zwischen Kollektor und + geschaltet werden. Die Diode D1 sorgt dafür, dass die vom Motor verursachten Störimpulse unterdrückt werden. Wichtig ist, dass der Schalter am VB1 auf „+“ steht. Andernfalls bleibt der Transistor offen. Außerdem können die Transistoren vom Typ BC108 im TP und im VB jeweils nur 200 mA verarbeiten. Deshalb habe ich in meine VB den BC108 durch einen BC517 ersetzt. Diese sind Pin-kompatibel und können 400 mA verarbeiten.

Damit die zu regelnde Last keinen Einfluss auf die Regelung hat, habe ich eine andere Versorgungsspannung verwendet. Dies ist nicht die interne 9-V-Spannung, sondern die 15 V, die auch das GB1 speist. Ich habe mir deshalb ein paar weiße Isolierstecker selbst angefertigt, um TP1 und VB1 vom Rest zu isolieren. Man erkennt sie in Abb. 33 zwischen den beiden unteren Reihen von Silberlingen, wo normalerweise die roten Verbindungsstücke sitzen.

Wir können jetzt den Motor steuern, wobei ich gleich anmerken muss, dass die grauen Motoren ([31039](#)) diesen Regler überhaupt nicht mögen. Das gilt leider auch für alle M-, S- und XS- sowie die Igarachi-Motoren. Die aktuellen XM-Motoren lassen sich aber einigermaßen gut steuern. Aber das hatte ich bereits früher in dieser Geschichte beschrieben.

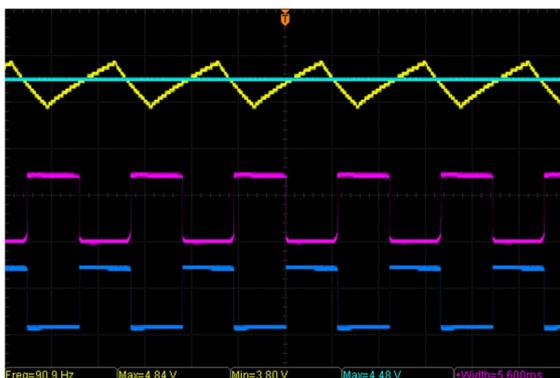


Abb. 37: Pulsbreite 5,6 ms

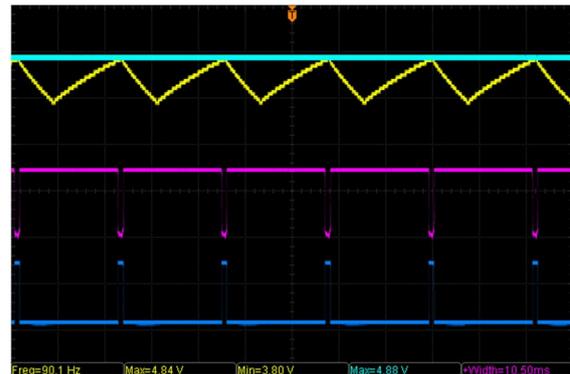


Abb. 38: Pulsbreite 10,5 ms, aber noch nicht ganz geöffnet

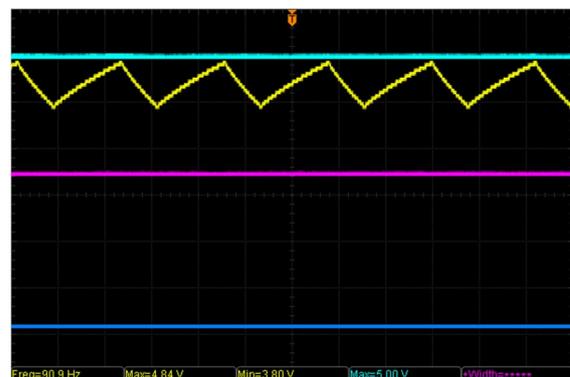


Abb. 39: Vollständig geöffnet

Pole wenden

Allerdings drehen die Motoren nur in eine Richtung. Wir brauchen also noch eine Schaltung, mit der wir die Ausgangsspannung umpolen können. Ich habe das durch zwei weitere Grundbausteine GB3 und GB4 gelöst. Diese sind auch als Komparator geschaltet.

Allerdings ist darauf zu achten, dass beide Grundbausteine gleich sind. In Teil 3 meiner Beitragsserie über die Silberlinge, [1] habe ich bereits angedeutet, dass es zwei Versionen des Grundbausteins gibt: eine mit einem 25-k Ω -Potentiometer und eine mit einem 50-k Ω -Potentiometer. Da die Potentiometer in G3 und G4 nicht verwendet werden und daher nicht angeschlossen sind, sollte dies kein Problem darstellen.

Es ist aber doch ein Problem. Von den mir vorliegenden Grundbausteinen haben drei ein 25-k Ω -Potentiometer und einer eines mit 50 k Ω . Die Ansteuerung der Relais

habe ich erst mit zwei gleichen Grundbausteinen mit je einem 25-k Ω -Potentiometer hinbekommen.

Dazu vergleiche ich die Pegel an den Enden von P1. Wenn sich P1 in der mittleren Position befindet, gibt es zwischen den beiden Enden keinen Potenzialunterschied. Wenn ich P1 gegen den Uhrzeigersinn drehe, wird die Spannung an E2 von G3 niedriger als an E1 von G3. Der Pegel an E2 muss nur 80 mV niedriger sein als an E1, um zu schalten. Der Pegel an E1 wird teilweise durch die als Spannungsteiler geschalteten 10-k Ω -Widerstände R5 und R6 bestimmt. Dies sind wiederum 1%-Versionen. A2 von G3 ist mit Eingang E von Relais RB1 verbunden.

Die obige Geschichte gilt auch, wenn P1 im Uhrzeigersinn gedreht wird. Dann wird die Spannung an E2 von G4 niedriger als an E1 von G4. Der Pegel an E1 wird wiederum teilweise durch zwei 10-k Ω -Widerstände R7 und R8 bestimmt. Dies sind wiederum 1%-Versionen. A2 von G4 ist mit Eingang E von Relais RB2 verbunden.

Das ist schön beschrieben, will aber nicht funktionieren. Abb. 32 und 33 zeigt, dass es auch eine Verbindung zwischen E1 von G3 mit E2 von G4 (orangefarbene Adern) und eine Verbindung von E1 von G4 mit E2 von G3 (weiße Adern) gibt. Der Spannungsteiler R5/R6 bei dieser Verbindung geht also auch über E2 von G4. Umgekehrt gilt der Spannungsteiler R7/R8 nun auch für E2 von G3. Mit beiden Anschlüssen wollen nun die Relais schalten. An die Klemmen b1 beider Relais wird eine Last, z. B. ein Motor, angeschlossen.

Ist jetzt alles ok?

Dies ist nicht das Ende der Geschichte. Beim weiteren Experimentieren, wenn ich einfach ein paar Dinge änderte, um zu sehen, was passiert, stellte sich heraus, dass die beiden Widerstandsteiler R5/R6 und R7/R8 nicht notwendig waren – dachte ich.

Einen Tag später stellte sich jedoch heraus, dass beim Anschließen der Stromversorgung immer noch eine zu große Differenz zwischen G3 und G4 bestand, sodass bereits ein Relais geschaltet hatte. Nach ca. 15 Sekunden war dieser Unterschied weg und das Relais wurde wieder freigegeben. Einen Tag später, bevor ich die Stromversorgung anschloss, habe ich die beiden Widerstandsteiler wieder angeschlossen. Um sicher zu gehen, habe ich diese vier Widerstände zuerst mit einem Ohmmeter gemessen: Alle vier haben ungefähr 9,98 k Ω .

Wenn wir uns noch einmal den Schaltplan des Grundbausteins in Teil 3 meiner Beitragsserie über die Silberlinge [1], ansehen, sehen wir, dass E2 bereits in der Mitte eines Widerstandsteilers steckt. Diese besteht aus den Widerständen: R7 in Reihe mit R5 auf + und R2 auf 0. R7 und R2 haben beide 10 k Ω , aber da R5 mit 330 Ω auch auf der +-Seite liegt, ist die Spannung an E2 etwas niedriger als die Hälfte der Versorgungsspannung: 4,48 V. An E1 liegt eine Spannung von 6,84 V an.

Indem man nun E2 von G3 mit E1 von G4 (weiße Drähte) verbindet, wird die Spannung an beiden Anschlüssen gleich: 4,45 V. Das bedeutet, dass die Verbindung E2 von G4 zu E1 von G3 (orangefarbene Adern) auch eine Spannung von 4,45 V an diesen beiden Anschlüssen verursacht. Schließe ich dann noch Potentiometer P1 an, liegt an allen vier Anschlüssen eine Spannung von 5,45V an.

Drehe ich P1 bis zum Linksanschlag, liegt an E2 von G3 und damit auch an E1 von G4 eine Spannung von 4,93 V an. E1 von G3 und E2 von G4 bleiben auf 5,45 V. Umgekehrt, wenn ich P1 bis zum rechten Anschlag drehe, liegen an E2 von G4 und E1 von G3 eine Spannung von 4,93 V an und daher liegen E1 von G4 und E2 von G3 auf 5,45 V.

Etwas anderes

Da ich annahm, dass das Anziehen eines Relais die Versorgungsspannung zu stark beeinflussen könnte, habe ich die Relais an die gleiche Stromversorgung wie die Leistungsstufe angeschlossen. Es stellte sich heraus, dass diese Annahme unbegründet war. Also habe ich die Relais mit den roten Zwischensteckern mit der restlichen Steuerung verbunden.

Wie bereits angedeutet, habe ich während des Experiments mehrfach etwas verändert. Das Schaltbild auf Abb. 32 ist jedoch die neueste Version. Schließlich habe ich farbige Stecker verwendet, um die Funktionsweise der verschiedenen Gruppen hervorzuheben. Ich hatte die neuen 3D-gedruckten Stecker von Stefan Roth gekauft. Diese sind jedoch zu kurz und wollten daher nicht an Ort und Stelle bleiben. Infolgedessen verursachte ich jedes Mal eine Fehlfunktion, wenn ich irgendwo im Stromkreis etwas berührte.

Darf es etwas mehr sein?

Aber natürlich. Aber was?

In Teil 1 [3] meiner Beitragsserie zum Thema Fahrregler habe ich bereits erwähnt, dass die meisten Motoren erst bei einer Mindestspannung anlaufen wollen.

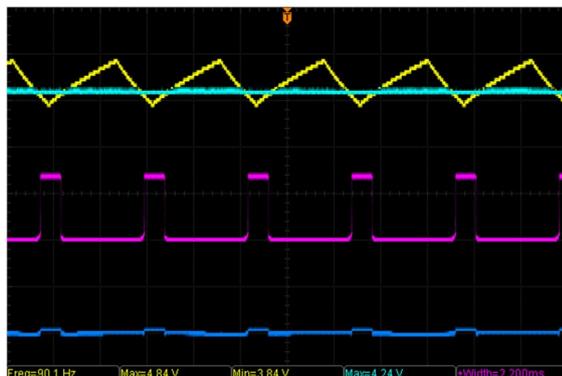


Abb. 40: Pulsbreite ist bereits 2,2 ms

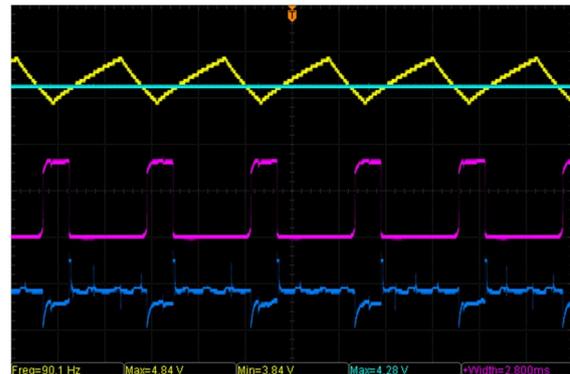


Abb. 41: Pulsbreite ist 2,8 ms. Eines der Relais ist angezogen und der angeschlossene XM-Motor läuft bereits.

Bei den Transformatoren 812 und 814 wurde dies gelöst, indem man schon die halbe Ausgangsspannung von der ersten Wicklung erhielt. Beim ROBO PRO Interface ist die Impulsbreite der ersten Fahrstufe bereits auf 30 % eingestellt. Und mit dem Regler in den Abb. 9 und 10 wird dies gelöst, indem der erste Widerstand im Spannungsteiler höher gewählt wird als der Rest.

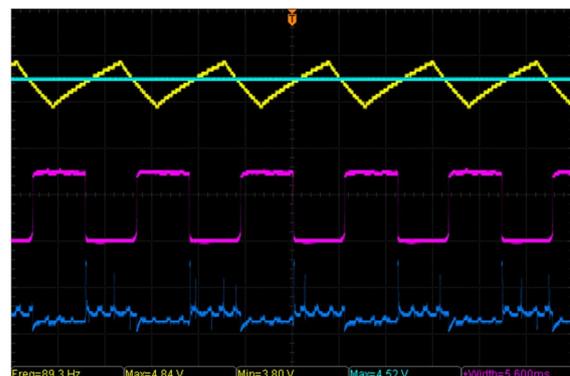


Abb. 42: Pulsbreite ist 5,6 ms

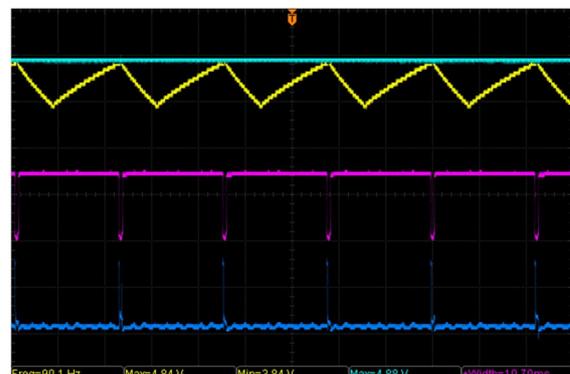


Abb. 43: Pulsbreite ist 10,5 ms

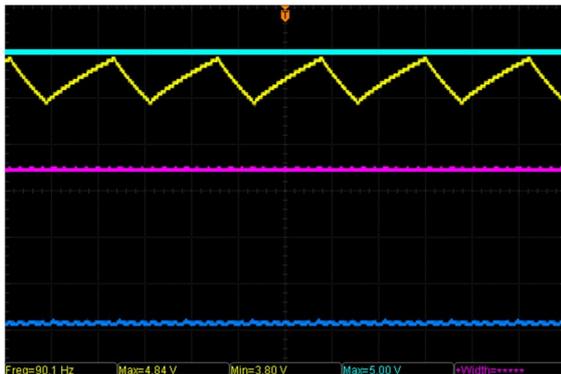


Abb. 44: Vollständig geöffnet

Bei der in diesem Beitrag beschriebenen Steuerung kann dies gelöst werden, indem die minimale Spannung am Schleifer von P1 erhöht wird. Abb. 40 zeigt, dass die Impulsbreite bereits bei 2,2ms liegt. Die Relais sind jedoch noch nicht geschaltet.

Der Vorteil ist, dass der Regler an den Motor angepasst werden kann. Der Nachteil ist, dass der Regler dann nicht mehr universell einsetzbar ist.

1000 Hz

Jetzt wollte ich wissen, wie die Schaltung mit einer viel höheren Frequenz als 90 Hz funktionieren würde.

Die Tabelle zeigt, dass bei Verwendung eines 4,7- μ F-Kondensators anstelle der internen 68 μ F eine Frequenz von 1100 Hz erzeugt werden kann. Das Ergebnis ist in Abb. 45 zu sehen. Die Zeitbasis ist die gleiche wie in Abb. 34 bis 44: 5 ms/Div.

Ab Abb. 46 habe ich die Zeitbasis auf 500 μ s eingestellt.

Allerdings erwiesen sich 1000 Hz für meine Lokomotiven als viel zu hoch. Bei niedrigeren Geschwindigkeiten war deutlich ein Pfeifen zu hören. Ich bleibe daher bei den 90 Hz eines 68- μ F-Kondensators.

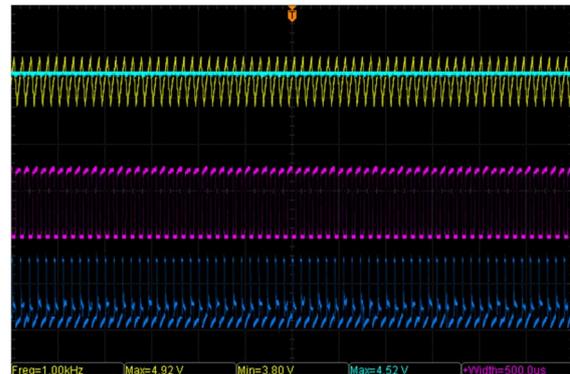


Abb. 45: So sieht es bei 1000 Hz aus. Die Zeitbasis beträgt hier immer noch 5 ms/Div

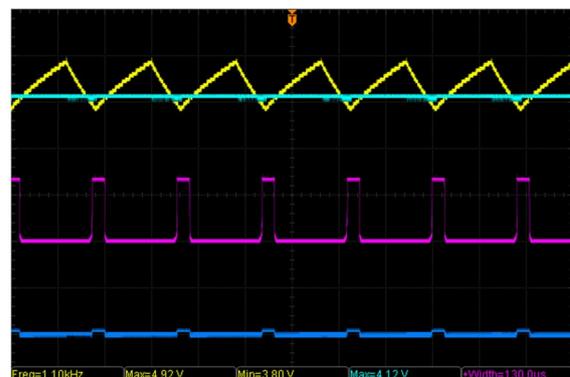


Abb. 46: Wie Abb. 40, aber bei 1000 Hz und 500 μ s/Div

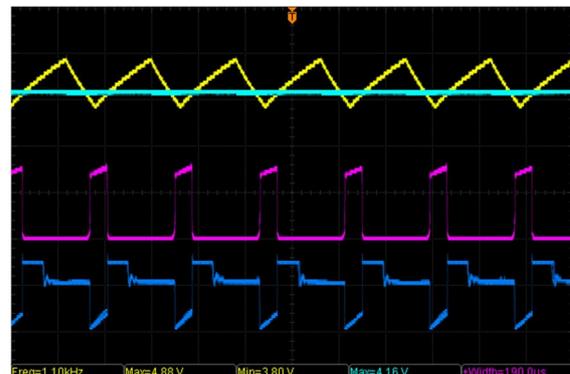


Abb. 47: Wie Abb. 41

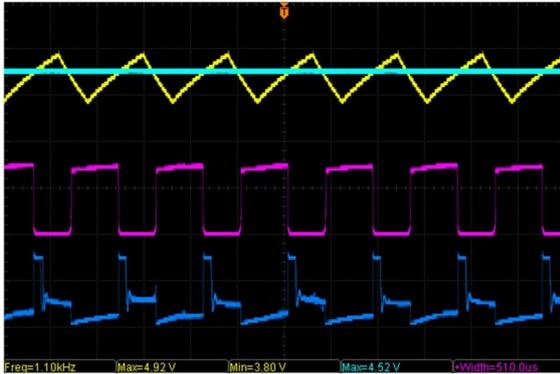


Abb. 48: Wie Abb. 42

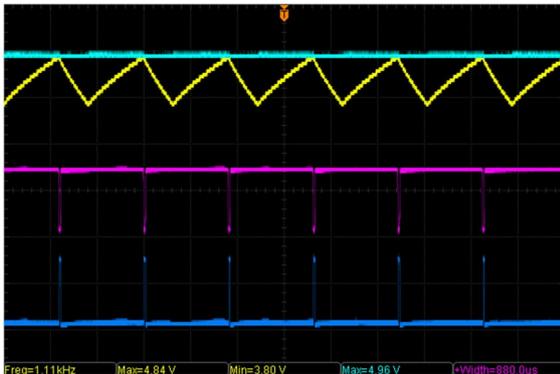


Abb. 49: Wie Abb. 43

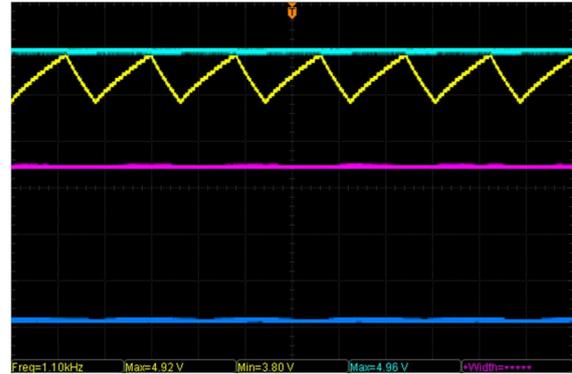


Abb. 50: Wie Abb. 44

Meine digital gesteuerten Lokomotiven verfügen alle über 28 oder 128 Fahrstufen. Dann ist kein Pfeifen zu hören.

Fazit

Bin ich mit meinem Regler zufrieden?

Ja und nein. Ja, denn nach viel Zeit und Mühe habe ich es geschafft, mit den Silberlingen einen funktionierenden Regler zu bekommen.

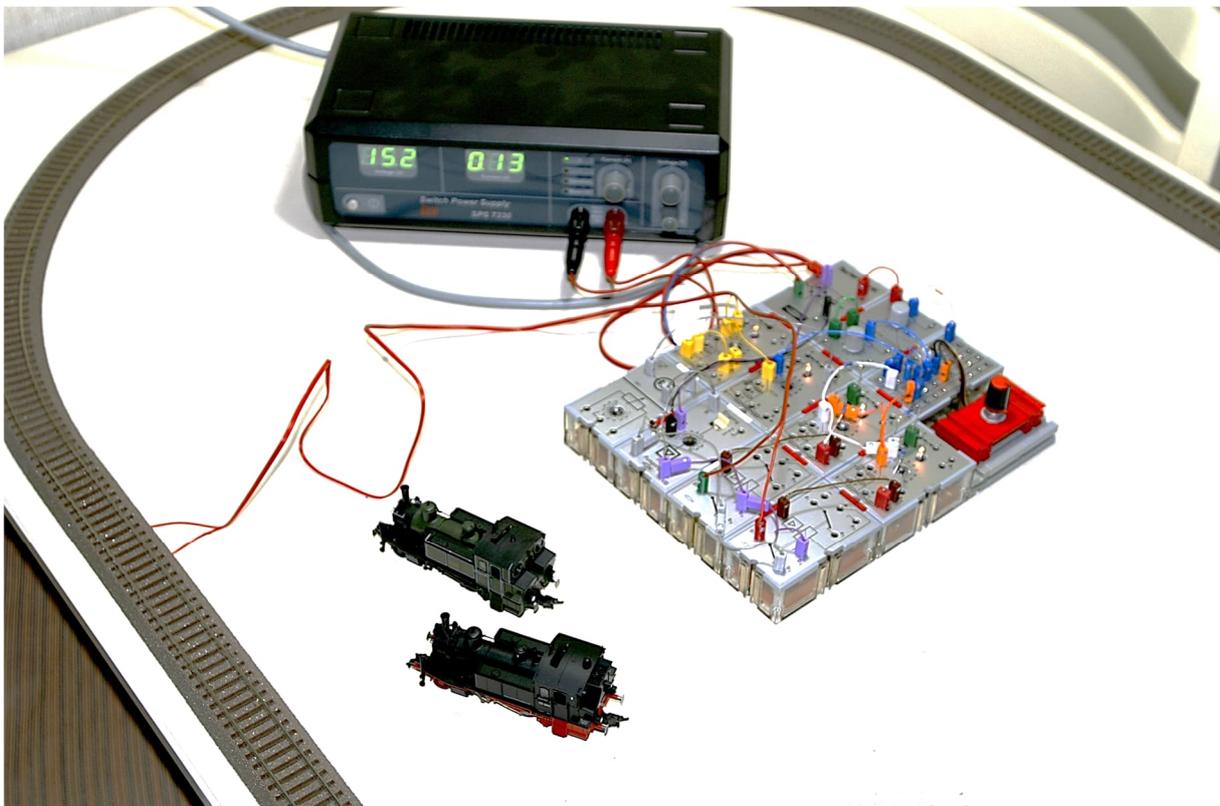


Abb. 51: Der Regler im Einsatz mit einem grünen bayerischen Pt2/3 und einer DRG BR 70

Nein, da die losen Stecker den Betrieb erheblich beeinträchtigen. Die originale Elektor-Schaltung habe ich nun so modifiziert, dass ich sie in eine 60×60-Kassette einbauen kann. Außerdem kaufe ich nur noch Digitallokomotiven, die mit meinem ECoS von ESU fahren.

In Teil 4 zeige ich deshalb, wie man mit Silberlingen eine komplette Modellbahnsteuerung bauen kann. Ich habe selbst nur drei Grundbausteine, aber dank der bereitwilligen Unterstützung von Jeroen Regtien konnte ich einige Module von ihm ausleihen. Danke dafür.

Quellen

- [1] Peter Krijnen: *Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 3)*. [ft:pedia 2/2021](#), S. 90–100.
- [2] Fischer-Werke: *fischertechnik u-t4 Beschreibung und Anwendung der Bauelemente des Elektronikbaukastens*. Auf docs.fischertechnikclub.nl.
- [3] Peter Krijnen: *Fahrtregler (1): Vom Widerstandsdraht bis zur PWM*. [ft:pedia 1/2023](#), S. 93–100.
- [4] Peter Krijnen: *Fahrtregler (2): Vom Widerstandsdraht bis zur PWM*. [ft:pedia 2/2023](#), S. 47–52.
- [5] Elektor Verlag GmbH: www.elektormagazine.de

Elektronik

Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 12)

Peter Krijnen

Dieser Beitrag war ursprünglich für Teil 11 gedacht. Da der Text zum Universal-Zähler jedoch zu umfangreich wurde, habe ich beschlossen, dem Universal-Zähler einen eigenen Beitrag zu widmen.

Universal-Zähler

Bei der Auflistung der Module in Teil 11 habe ich angegeben, dass es zwei Versionen des Universal-Zählers gibt. Das ist nicht ganz richtig, zumindest dann nicht, wenn man eine Version mit Fehler (Abb. 343) und eine ohne Fehler (Abb. 344) als eins sieht. Man erkennt deutlich, dass an der Unterseite der Platine ein Draht angelötet wurde.

Was ist da los? Dazu müssen wir uns zunächst das Schaltbild (Abb. 342) ansehen. Das zentrale Element dieses Moduls ist ein IC vom Typ SN74192 [1]. Dies ist ein „Synchronous 4-Bit up/down Counter (Dual Clock with Clear)“. Ein „Synchrone 4-Bit-auf/ab-Zähler“. Der SN74192 ist eine „BCD“-Version, was bedeutet, dass dieser IC von 0 bis 9 zählt bzw. umgekehrt von 9 bis 0. Dieser IC verfügt über zwei Takteingänge: Einen zum Aufwärtszählen „UP“ (Pin 5) und einen zum Abwärtszählen „DOWN“ (Pin 4).

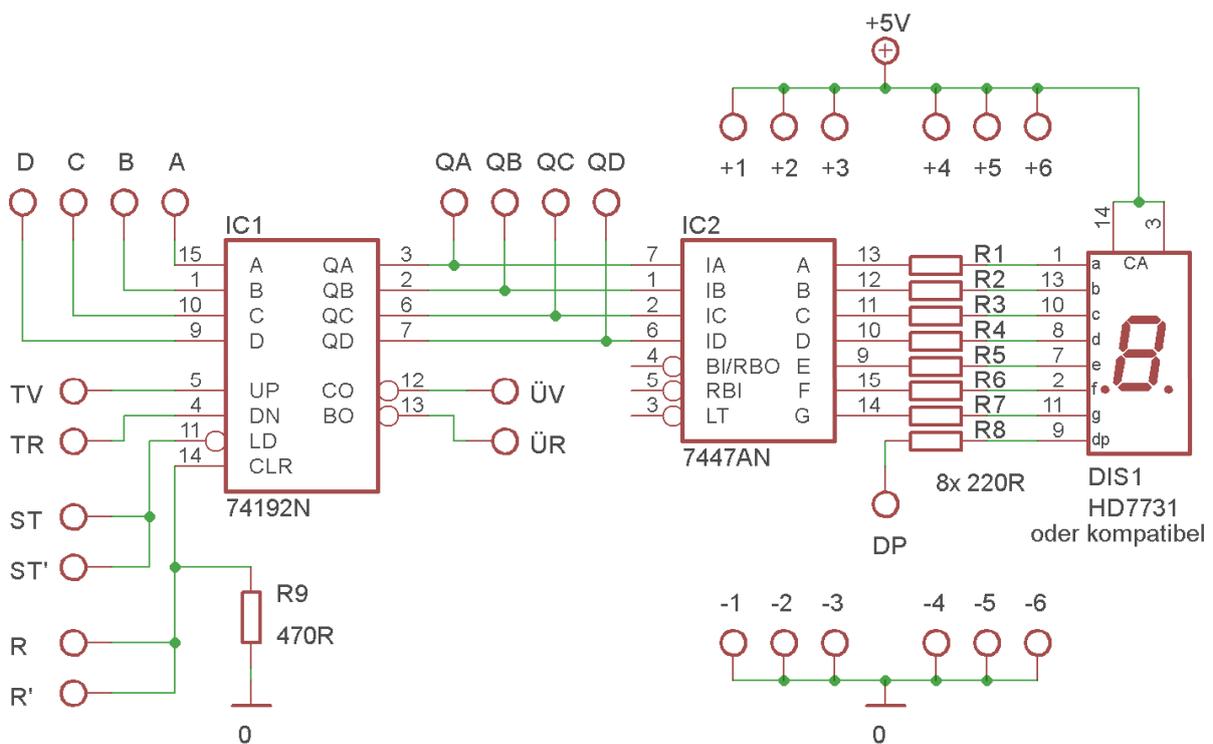


Abb. 342: Universal-Zähler – Schaltbild



Abb. 343: Universal-Zähler –
Alte Version mit Fehler

Wir sehen, dass Pin 5 des IC mit dem „TV“-Eingang, was „Takt vorwärts“ bedeutet, verbunden ist. Pin 4 ist mit „TR“, was „Takt rückwärts“ bedeutet, verbunden. Folgen wir auf Abb. 345 und 347 der Leiterbahn vom „TV“-Pin zum IC, dann sehen wir sie links vom „TR“-Pin verlaufen, dann rechts und unter dem „Stellen“-Pin zum Pin 4 des IC.

Das ist also falsch. Denn „TV“ muss an Pin 5 und „TR“ an Pin 4 angeschlossen werden.

Dies wurde durch die Unterbrechung beider Leiterbahnen unter den beiden „Stellen“-Pins gelöst (Abb. 346 und 348). Mit einem Tropfen Lötzinn wurde die Leiterbahn von „TR“ mit Pin 4 und „TV“ mit einem Draht mit Pin 5 verbunden. Auf dem Layout in Abb. 351 sehen wir, dass dieser Fehler in einer Neuproduktion der Platine korrigiert wurde.

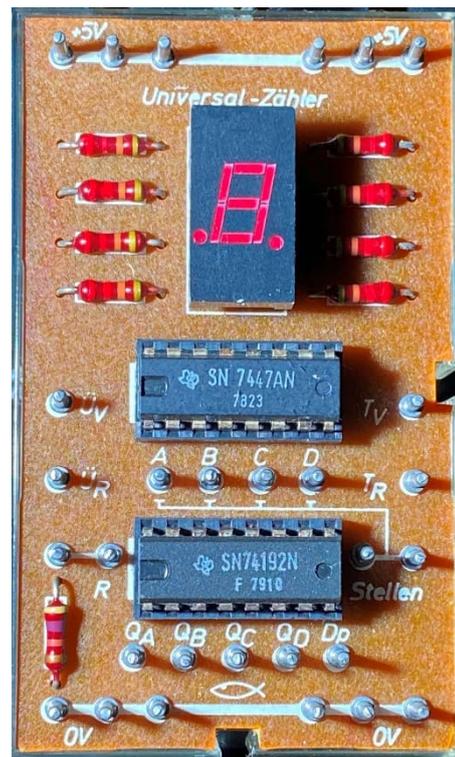


Abb. 344: Universal-Zähler –
Neuere Version ohne Fehler

Wie funktioniert der Universal-Zähler?

Ich kann natürlich sagen: ganz einfach. Das stimmt aber nicht. Neben den bereits erwähnten TV- und TR-Eingängen gibt es noch viele weitere Anschlüsse. Die wichtigsten sind ÜV, ÜR und R. Es ist klar, dass „R“ (Reset, Pin 14) den Zähler zurücksetzt. Der SN74192 kann nur eine Dekade zählen: von 0 bis 9. Beim nächsten Takt auf „TV“ muss also etwas passieren.

Wie wir sehen, befindet sich auf dem Modul eine 7-Segment-LED-Anzeige. Der SN74192 kann dies nicht direkt ansteuern. Hierzu werden die Ausgänge QA bis QD mit dem Displaytreiber SN7447A [2] verbunden. Dieser IC kann nur Zahlen von 0 bis 9 ausgeben, die dann vom Display angezeigt werden: nur eine Ziffer. Wenn wir mehr Ziffer anzeigen wollen, müssen wir mehrere Module miteinander verknüpfen. Ein zweites Modul muss dann links vom

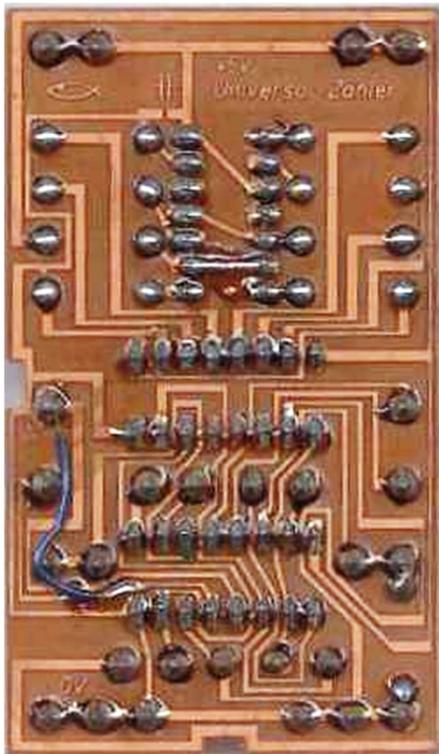


Abb. 345: Universal-Zähler – Leiterbahnseite mit Draht, um den Fehler zu beheben

ersten Modul platziert werden. Ein Drittes links davon und ein Viertes...

Zu diesem Zweck verfügt der SN74192 über die beiden Ausgänge „ÜV“ (Carry Out, Pin 12) und „ÜR“ (Borrow, Pin 13).

Beim zehnten Impuls auf „TV“ zeigt der SN74192 nur die „0“ an. Die „1“ wird dann über „ÜV“ (Carry) an „TV“ des zweiten Moduls weitergeleitet. Bei „20“ wird die „2“ also an das zweite Modul weitergegeben.

Sollten mehr als 99 angezeigt werden, zeigen das erste und zweite Modul „00“ und das dritte Modul z. B. bei 100 „1“ an.

Bisher habe ich nur vom Vorwärtszählen gesprochen. Allerdings kann der SN74192 auch rückwärts zählen. Dafür gibt es die Pins „TR“ und „ÜR“. Wenn wir nun von 100 bis 0 zurückzählen, wird die „1“ des dritten Moduls entfernt (Borrow). $100 - 1 = 099$. Das passiert auch beim zweiten Modul,

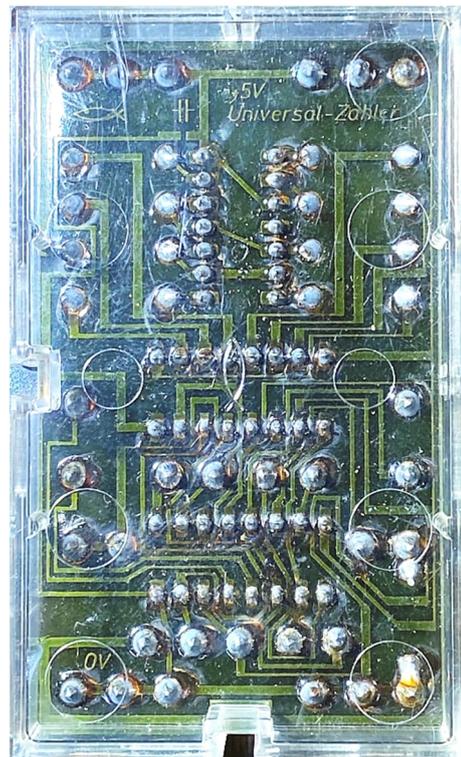


Abb. 346: Universal-Zähler – Leiterbahnseite ohne Draht und ohne Fehler

wenn wir von 10 auf 9 gehen müssen: $010 - 1 = 009$.

Es ist normal, dass sich die Eingänge auf der linken Seite eines Moduls befinden. Beim Universal-Zähler wurde darauf bewusst verzichtet.

Würde man „TV“ und „TR“ auf der linken Seite und „ÜV“ und „ÜR“ auf der rechten Seite platzieren, müssten die Überbrückungsdrähte über zwei Module verlegt werden.

Der Übersichtlichkeit halber befinden sich beide Takteingänge auf der rechten Seite und die Transferausgänge auf der linken Seite des Moduls. Dann werden nur zwei kurze Drähte benötigt.

Bisher handelt diese Geschichte vom Zähler selbst. Dieser Zähler hat jedoch noch etwas Besonderes: programmierbare oder „Preset“-Eingänge.

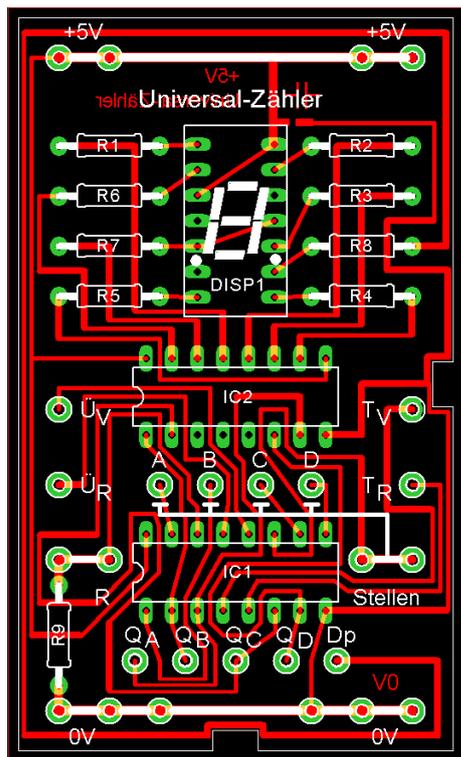


Abb. 347: Universal-Zähler –
Layout mit Fehler

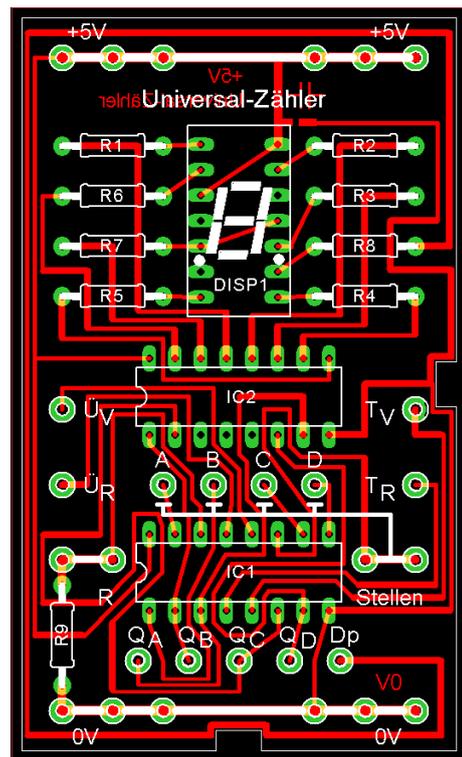


Abb. 348: Universal-Zähler –
Layout ohne Fehler

Auf Seite 5 des Datenblatts ist der folgende Ablauf dargestellt:

1. Ausgänge auf null zurücksetzen
2. Laden (Preset) auf BCD sieben
3. Zählen bis acht, neun, Übertragen, null, eins und zwei
4. Zähle herunter bis eins, null, Ausleihen, neun, acht und sieben

Die Pins A, B und C sind mit + verbunden. Dies ist die Zahl 7 im BCD- oder Binärcode. Nachdem der $\overline{\text{LOAD}}$ -Anschluss kurzzeitig auf Low geschaltet wird, gehen die QA-, QB- und QC-Ausgänge auf High.

Bei weiteren Impulsen auf „TV“ wird sofort weitergezählt: acht, neun usw.

Für noch mehr Universalität haben die Ausgänge QA, QB, QC und QD zusätzlich einen eigenen Anschluss-Pin erhalten. Daran kann ein IC-Baustein 14/16 angeschlossen werden, der z. B. ein AND/NAND enthält oder ein OR/NOR oder eine andere Art von

Logik-IC. Mit einem Relaisbaustein kann dann ein Motor angesteuert werden.

Wichtig zu wissen ist, dass beim Vorwärtszählen der Pin „TR“ „Hoch“ sein muss und beim Rückwärtszählen „TV“ „Hoch“.

Nachbau

Aufgrund der vielen Anschlussbuchsen, die auf der Platine untergebracht werden mussten, hat es mich viel Zeit gekostet, ein optimales Layout hinzubekommen. Für das Layout habe ich wieder die hobby-labor Module verwendet (Abb. 349).

Als Ersatz für den SN74192 gibt es den CD40192 [3]. Dieser ist pin-kompatibel zum SN74192 und hat auch die gleiche Funktion. Von der SN7447A habe ich keine CMOS-Version gefunden. Stattdessen habe ich mich für einen CD4511 [4] entschieden.

Allerdings gibt es einen großen Unterschied. Wenn wir beide Schaltbilder vergleichen, sehen wir, dass der SN7447A für die Ansteuerung eines 7-Segment-Displays

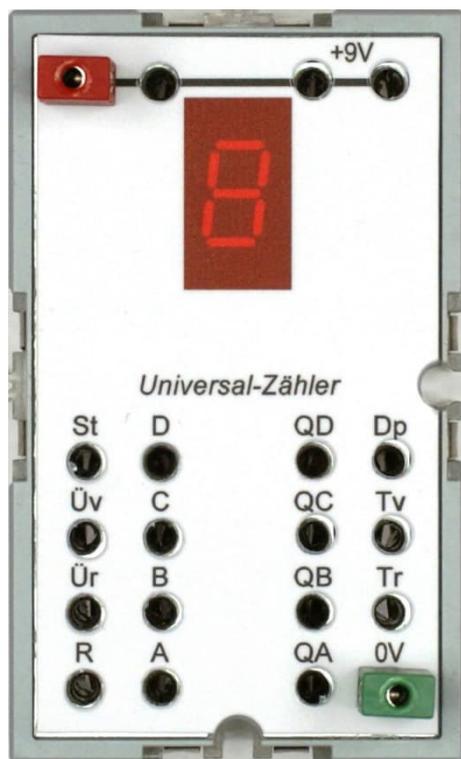


Abb. 349: Nachbau: Universal – Zähler, (natürlich ohne Fehler)

mit „CA“-Anschluss gedacht ist, und der CD4511 für eine mit „CC“. Daher ist es nicht vollständig kompatibel. „CA“ = gemeinsame Anode und „CC“ = gemeinsame Kathode.

Bei den IC-Modulen sind die Anschlusspins im 5×5-mm-Raster angeordnet: maximal 8 horizontal und 14 vertikal. Daher ist, in diesem Fall gerade noch, genügend Platz für die Unterbringung der Schaltung vorhanden. Die Anschlussbuchsen des Hobby-Labor-Moduls sind im Raster von 7,5×7,5 mm angeordnet: 5 horizontal und 9 vertikal. Auch der Platzbedarf der Bundhülsen ist größer, was letztendlich deutlich weniger Platz für eine Schaltung lässt. Die ft-Stecker sind viel größer als die „Steckhülsen“. Nur durch Drehen des CD40192 konnte ich alle Anschlussbuchsen auf der Platine platzieren.

Auffällig ist auch, dass die Anschlüsse „TV“, „TR“ und „ST“ einen Widerstand von 10 kΩ haben. Im Gegensatz zum

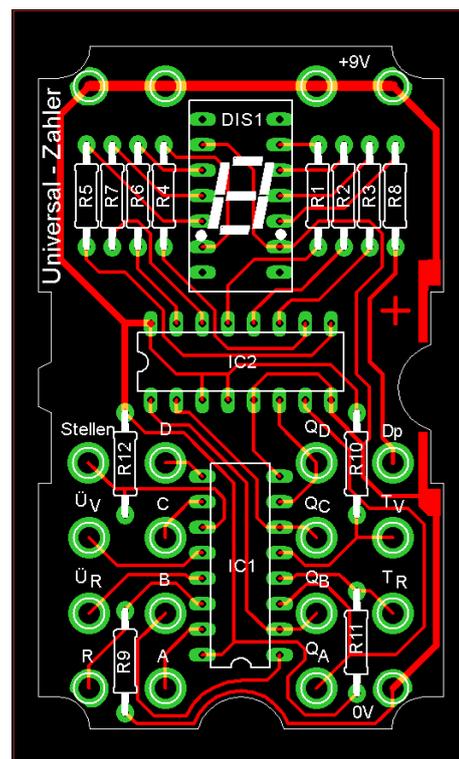


Abb. 350: Nachbau: Universal-Zähler – Layout

SN74192 erfordert der CD40192, dass diese Anschlüsse einen definierten „High“-Pegel haben.

Der CD4511 ist auch etwas anders angeschlossen als der SN7447A. Beim SN7447A ist es nicht notwendig, dass die Pins 3, 4 und 5 mit + oder - verbunden werden. Beim CD4511 müssen Pin 3 und 4 mit + und Pin 5 mit - verbunden werden, sonst funktioniert es nicht.

Wenn ich die Preset-Option nicht nutzen möchte, muss ich trotzdem alle Anschlussbuchsen installieren? Nein, die Eingänge A bis D, ST und Dp können einfach weggelassen werden. Dies gilt auch für QA bis QD, solange diese mit dem CD4511 verbunden bleiben.

Einfache Alternative?

Wenn Sie jedoch nur einen Zähler haben möchten, gibt es eine einfachere und platzsparende Alternative: den CD40110.

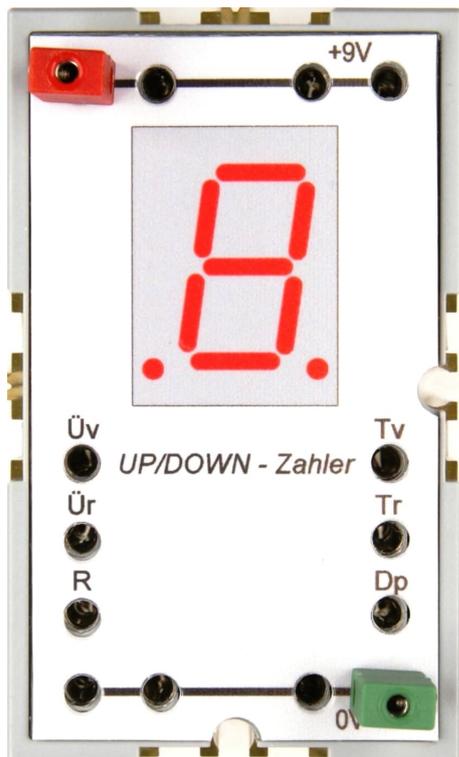


Abb. 354: Alternative: Frontplatte für eine mögliche Silberling-Version

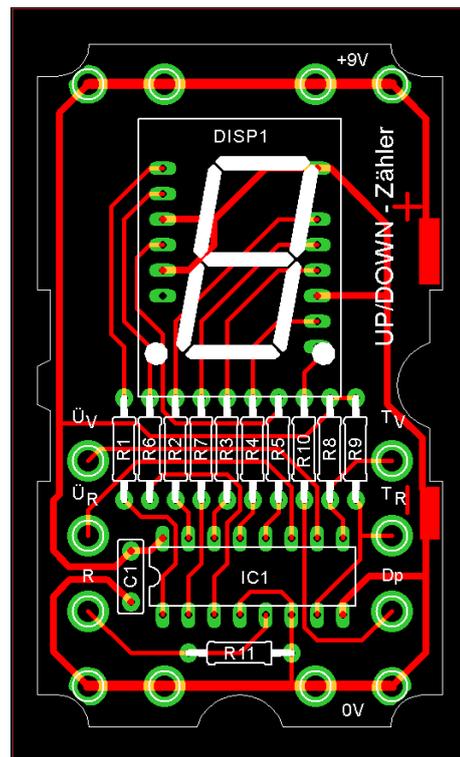


Abb. 355: Alternative: Layout für eine mögliche Silberling-Version

Silberling

Da im Titel meiner Beiträge noch immer „Silberlinge“ steht, habe ich natürlich auch eine Variante im Silberling-Gehäuse entworfen. Wie man auf Abb. 354 und 355 sehen kann, habe ich \overline{TE} und LE weggelassen und die Eingänge an 0 V angeschlossen. Da die Platine tiefer im Gehäuse sitzt, muss das Display auf Füße gestellt werden. Dadurch wurde Platz frei für die Platzierung der Widerstände unter dem Display.

Widerstände?

Hat sich jemals jemand gefragt, warum es einen Widerstand pro Segment gibt? Das frage ich mich schon seit einigen Jahren. Da ich mich nun mit Displays beschäftige, habe ich gleich ein paar Messungen vorgenommen.

Ich wollte wissen, wie viel Strom durch ein Segment fließt und wie viel von „CC“ nach 0 V fließt. Ich wollte auch wissen, ob es möglich ist, einen Widerstand zwischen „CC“ und 0 V anstelle eines Widerstands pro Segment zu platzieren. Die Ergebnisse aller Messungen habe ich in sechs Tabellen zusammengestellt.

Ich habe dafür zwei Messaufbauten verwendet. Abb. 356 stellt die Messung dar, bei der es einen Widerstand pro Segment gibt. In Abb. 357 sehen wir den Aufbau, bei der „CC“ mit einem Widerstand an 0 V angeschlossen ist.

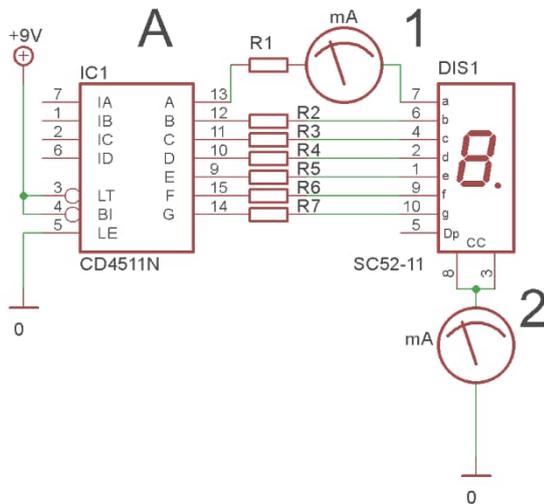


Abb. 356: Messung A

Segmente	1 (mA)	2 (mA)
1	8,67	8,71
2	8,62	17,29
3	8,59	25,77
4	8,56	34,11
5	8,51	42,21
6	8,47	50,32
7	8,43	58,21

Tab. 1: Messung A mit 270 Ω bei 5 V

Die Tabellen zeigen:

- Spalte 1: Die Anzahl der Segmente, die gleichzeitig gesteuert werden
- Spalte 2 ist Messung 1, der Strom durch Segment „a“
- Spalte 3 ist Messung 2, der Gesamtstrom durch „CC“

Da ich einen Mangel an 220-Ω-Widerständen hatte, habe ich für diese Messungen 270-Ω-Widerstände verwendet.

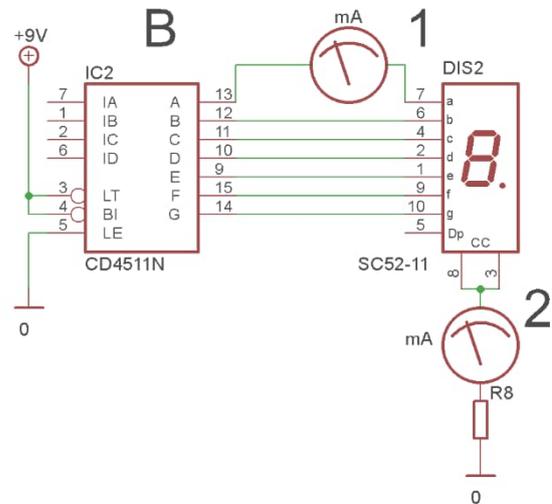


Abb. 357: Messung B

Segmente	1 (mA)	2 (mA)
1	8,46	8,45
2	4,30	8,72
3	2,91	8,85
4	2,17	8,96
5	1,75	9,02
6	1,49	9,08
7	1,28	9,12

Tab. 2: Messung B mit 270 Ω bei 5 V

Tabelle 1, Messung A1

Je Segment ein Widerstand von 270 Ω.

Wenn nur Segment „a“ geschaltet wird, fließen 8,67 mA durch dieses Segment. Werden mehrere Segmente verbunden, werden diese alle parallel geschaltet. Allerdings wird der Strom durch Segment „a“ jedes Mal etwas geringer.

Tabelle 1, Messung A2

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Strom ansteigt, wenn mehrere Segmente parallelgeschaltet werden.

Tabelle 2, Messung B1

Ein Widerstand von 270 Ω (R8) zwischen „CC“ und 0 V für alle Segmente.

Wir sehen das Gegenteil von dem, was in Tab. 1 gezeigt wird: Durch die Parallelschaltung mehrerer Segmente nimmt der Strom pro Segment ab.

Tabelle 2, Messung B2

Der „Gesamtstrom“ durch R8 bleibt gleich.

Wenn alle 7 Segmente parallelgeschaltet sind, beträgt der Strom nur 1/7 des Stroms durch nur ein Segment. Es ist also deutlich zu erkennen: Die „1“ leuchtet heller als die „8“.

Tabelle 3, Messung B2

Ein Widerstand von $39\ \Omega$ (R8) zwischen „CC“ und 0 V für alle Segmente.

Um wieder auf den Gesamtstrom von 58 mA für 7 Segmente zu kommen, dachte ich, dass ich das mit einem Widerstand von $39\ \Omega$ erreichen könnte: $270\ \Omega / 7 = 39\ \Omega$. Und das stimmt.

Tabelle 3, Messung B1

Es stellte sich jedoch das Problem heraus, dass der Strom durch nur ein Segment dann auf 42 mA ansteigt. Das ist viel zu hoch.

Segmente	1 (mA)	2 (mA)
1	41,88	41,67
2	24,59	50,16
3	17,53	53,59
4	13,17	55,37
5	10,76	56,34
6	9,37	57,18
7	8,01	57,67

Tab. 3: Messung B mit $39\ \Omega$ bei 5 V

Tabelle 4, Messung B1

Um wieder auf 20 mA pro Segment zu kommen, habe ich $100\ \Omega$ für R8 verwendet. Da mindestens zwei Segmente (bei „1“ nämlich), aufleuchten, wird der Strom 10,5 mA nicht überschreiten. Wenn alle 7 Segmente (die „8“) aufleuchten, sind das

nur 3,26 mA pro Segment. Auch der Helligkeitsunterschied fällt deutlich weniger auf.

Tabelle 4, Messung B2

Der Strom durch R8 und „CC“ bleibt zwischen 20,8 und 23,6 mA.

Segmente	1 (mA)	2 (mA)
1	20,64	20,82
2	10,58	22,27
3	7,29	22,92
4	5,44	23,28
5	4,43	23,43
6	3,79	23,62
7	3,26	23,67

Tab. 4: Messung B mit $100\ \Omega$ bei 5 V

9 Volt statt 5 Volt

Bisher wurden alle Messungen mit einer Versorgungsspannung von 5 V durchgeführt. Wie sieht es mit 9 V aus?

Segmente	1 (mA)	2 (mA)
1	15,94	15,92
2	7,86	16,20
3	5,29	16,32
4	3,92	16,40
5	3,23	16,44
6	2,71	16,49
7	2,31	16,51

Tab. 5: Messung B mit $390\ \Omega$ bei 9 V

Tabelle 5, Messung B1

9 Volt ist fast zweimal so hoch wie 5 Volt. Für den Widerstand R8 hätte ich also $200\ \Omega$ wählen können. Auch weil ich die Helligkeit reduzieren wollte, habe ich mich für $390\ \Omega$ entschieden.

Tabelle 5, Messung B2

Der Strom durch R8 bleibt bei etwa 16 mA.

Segmente	1 (mA)	2 (mA)
1	6,49	6,51
2	6,48	12,99
3	6,48	16,42
4	6,48	25,84
5	6,47	32,18
6	6,46	38,55
7	6,45	44,83

Tabelle 6: Messung A mit 1 k Ω bei 9 V

Tabelle 6, Messung A1

Je Segment ein Widerstand von 1 k Ω .

Durch die Verwendung eines Widerstands pro Segment kann sichergestellt werden, dass jedes Segment die gleiche Helligkeit aufweist. Der Vorteil liegt auch beim Zeichnen der Leiterbahnen für eine Platine.

Tabelle 6, Messung A2

Allerdings erhöht sich der Gesamtstromverbrauch auf 45 mA.

Damit ist es möglich, mit nur einem Widerstand den Strom durch eine Anzeige zu begrenzen.

Das Ende?

Dieser Beitrag ist etwas länger geworden als ursprünglich vorgesehen. Ob ich einen nächsten Teil zusammenstellen kann, ist noch nicht klar.

Da ich selbst nicht über die Industriemodule verfüge, bin ich für Bilder auf andere angewiesen.

Micha Etz war so freundlich, ein paar Fotos von seinen Modulen zu machen. Dank dafür. Für diesen Beitrag sind das Abb. 344 und 346.

Die Abb. 343 und 345 habe ich aus dem ftc-Bilderpool übernommen.

Quellen

- [1] Texas Instruments: *Synchronous 4-Bit Up/Down Counters (Dual Clock with Clear)*. Datenblatt auf [ti.com](https://www.ti.com).
- [2] Texas Instruments: *BCD-to-Seven-Segment Decoders/Drivers*. Datenblatt auf [ti.com](https://www.ti.com).
- [3] Texas Instruments: *CMOS Presettable Up/Down Counters (Dual Clock with Reset)*. Datenblatt auf [ti.com](https://www.ti.com).
- [4] Texas Instruments: *CMOS BCD-to-7-Segment Latch Decoder Drivers*. Datenblatt auf [ti.com](https://www.ti.com).
- [5] Texas Instruments: *CMOS Decade Up-Down Counter/Latch/Display Driver*. Datenblatt auf [ti.com](https://www.ti.com).
- [6] Kingbright: *20.32mm (0.8inch) Single Digit Numeric Display*. Datenblatt auf [conrad.com](https://www.conrad.com).

Modell

Elektronischer Würfel

Hans-Christian Funke

Der Sommer geht zur Neige und es kommen vermehrt die kälteren und nassen Tage auf uns zu. Also die Zeit, in der man entweder seine fischertechnik-Kästen herausholt und kreativ wird oder gemeinsam Brettspiele spielt.

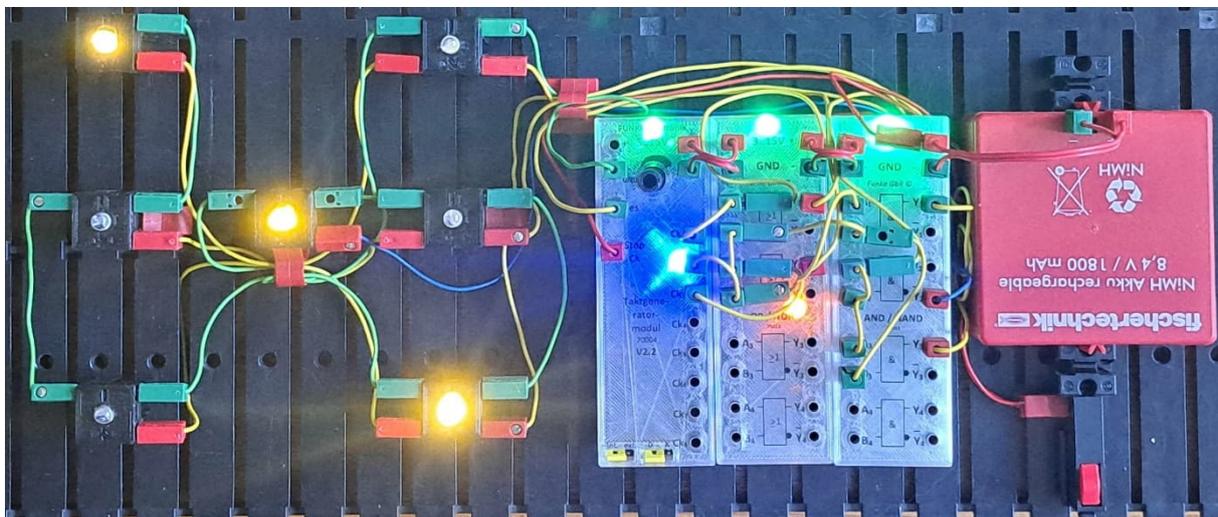


Abb. 1: Der elektronische Würfel¹⁰

Bei den Brettspielen werden häufig die kleinen Glücksbringer oder Würfel benötigt. Aber was tun, wenn sie sich nicht in der Schachtel befinden und auch woanders keine zu finden sind?

Der fischertechniker weiß Rat – man kann sich aus Elektronikmodulen und ein paar Lämpchen mal eben einen Würfel zusammenbauen.

Das Rezept

Was wird benötigt, um einen elektronischen Würfel herzustellen? Man nehme drei

Elektronikmodule, LED-Bausteine¹¹, einen Taster, ein Akku-Pack und ein paar Kabel.

Diese Zutaten gilt es nun nach einer besonderen Art und Weise zu verarbeiten – die Art der Mixtur ist in Abb. 2 zu sehen.

Die Schaltung

Für die Ansteuerung eines elektronischen Würfels gibt es zahlreiche Varianten. Grundlage ist allerdings bei allen elektronischen Würfeln ein Zähler. Manchmal wird ein Johnson-Zähler [1] verwendet, der nur sechs Zustände kennt, aber wie in

¹⁰ Die Anzeige besteht aus LED-Baustein in warmweiß ([71035](#)).

¹¹ Die Ausgänge der Elektronikmodule können zwei LED-Bausteine ansteuern. Wer lieber die guten alten Lämpchen verwenden möchte, muss diese über einen Relaisbaustein (ein Relais ist allerdings etwas zu träge für den Würfel) oder besser über das Inverter-Plus-Modul ansteuern.

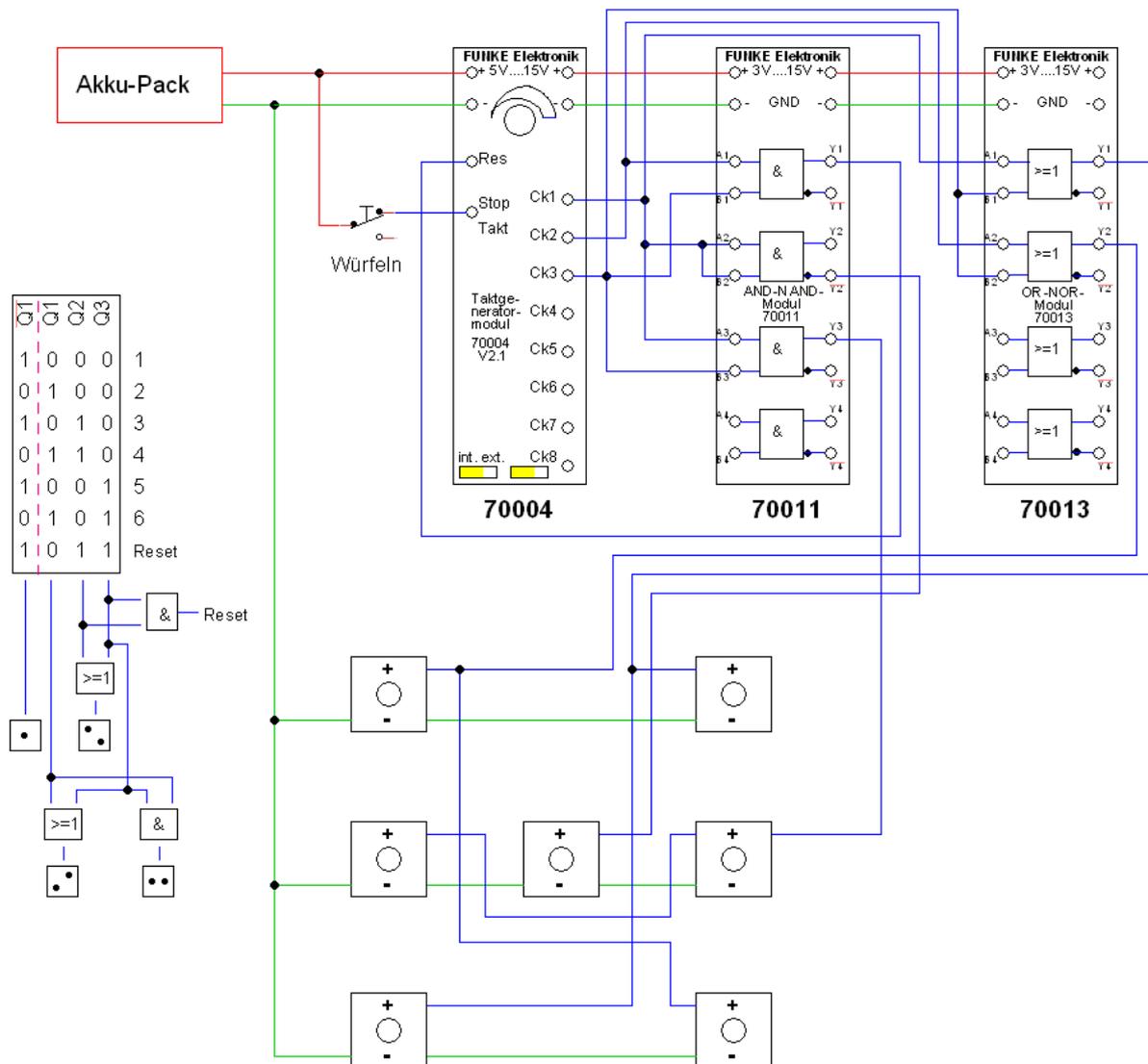


Abb. 2: Schaltplan des elektronischen Würfels

diesem Beispiel gezeigt, geht es auch mit einem ganz einfachen Binärzähler.

Dafür kommen der Taktgenerator 70004 sowie einige Logik-Gatter (AND-NAND 70011 und OR-NOR 70013) zum Einsatz. Im Schaltplan wird eine Wahrheitstabelle gezeigt, aus der die einzelnen logischen Zustände abgelesen werden können. Dort sieht man auch, welche Lampen wann leuchte müssen. Es gibt vier Grundbilder (Abb. 3).

Die Grundbilder werden einfach kombiniert, um die Zahlen 1 bis 6 zu erzeugen. Eine „3“ entsteht aus a und c, eine „4“ aus b

und c, eine „5“ aus a, b und c, die „6“ wird aus den drei Grundbildern b, c und d gebildet.

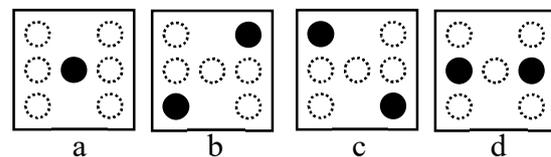


Abb. 3: Die vier Grundbilder

Unter der Wahrheitstabelle in Abb. 2 sieht man die notwendigen logischen Verknüpfungen, damit die entsprechenden Kombinationen zum Leuchten gebracht werden.

Wird der siebte Zählerzustand erreicht, dann wird der Zähler auf null zurückgesetzt und der Würfel beginnt von neuem zu zählen.

Drückt man den Taster, läuft der Zähler; lässt man ihn los, hält er an. Die Geschwindigkeit vom Zähler sollte am besten auf die schnellstmögliche eingestellt werden (Drehregler des Taktgenerators ganz nach links drehen). Jetzt kann man die einzelnen Würfelzahlen während des Laufs nicht mehr erkennen.

Zur Überprüfung der Schaltung bzw. Verdrahtung – werden auch alle Zahlen korrekt angezeigt? – sollte man eine kleine Geschwindigkeit wählen.

Quellen

- [1] Electronics Tutorials: *Johnson Ringzähler*. Auf electronics-tutorials.de.
- [2] santjohanser Spielen. Lernen. Technik. [Autorisierter fischertechnik-Fachhändler](#).

Elektronik

Elektronikmodule (Teil 10): Quadratur der Flexibilität

Hans-Christian Funke

Die bisherigen Elektronikmodule beinhalten einfache Grundfunktionen wie Gatter und Speicher. Mit dem neuesten Elektronikmodul werden nun die Grundfunktion um ein Vielfaches erweitert.

Schaltungen zur Messung von sehr kleinen Messbereichen, den Aufbau einer galvanischen Trennung oder einfach nur einen Open-Collector-Ausgang kann man jetzt mit dem neuen IC-Modul 70023 (Abb. 1-3) relativ einfach realisieren. Außerdem können analog-digital- (AD) oder digital-

analog-Wandler (DA) zum Einsatz kommen – kombinierbar mit den Elektronikmodulen, den Silberlingen oder einem Controller.

Für die aufgeführten Beispiele und viele weitere gibt es schon fertige Schaltungen in Halbleitern, die einen Controller oder die

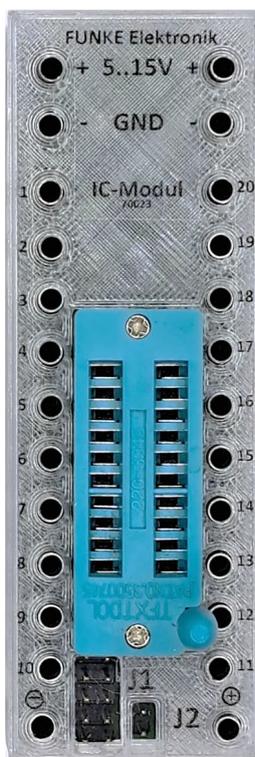


Abb. 1: IC-Modul 70023 im Standard-Modus



Abb. 2: IC-Modul 70023 im Komfort-Modus

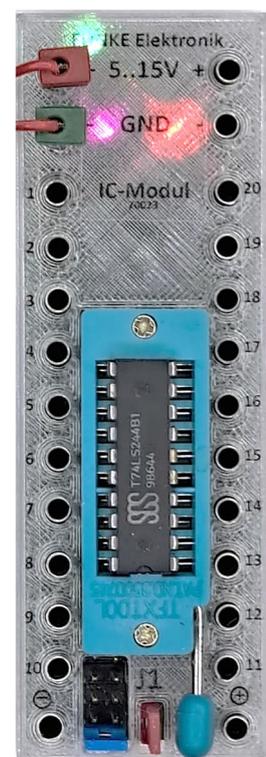


Abb. 3: IC-Modul 70023 – Strombegrenzung erreicht

Elektronikmodule sinnvoll unterstützen, erweitern und entlasten können. Aber schon die Handhabung dieser Halbleiter und die Verbindung mit der fischertechnik-Welt ist ohne eine entsprechende Aufnahme- und Anschlussmöglichkeit eine Herausforderung. Von fischertechnik gab es schon mit dem IC-Digital-Praktikum einen Vorstoß in diese Richtung. Jetzt kann man diese Lücke wieder durch das neue IC-Modul schließen.

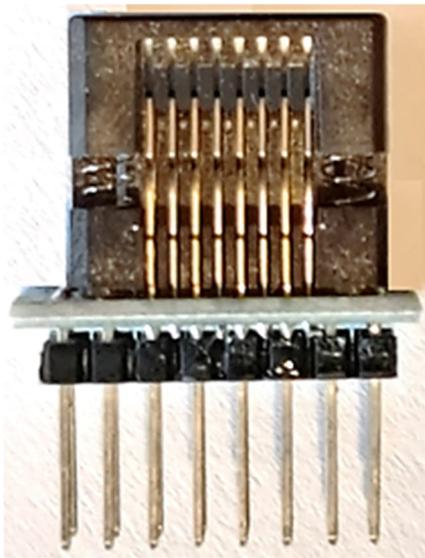


Abb. 4: Spezialssocket zur Aufnahme von SMD-Teilen



Abb. 5: SMS-Socket auf dem Modul

Über einen Nullkraftsocket können Halbleiter mit bis zu 20 Pins und einer Breite bis 11 mm eingesetzt werden. Die Halbleiter

müssen somit in einem DIL-Gehäuse (Dual In Line) verbaut sein. Es können auch SMD-Halbleiter über einen zusätzlichen Adapter (Abb. 4 und 5) eingesetzt werden.

Funktion

Das IC-Modul verfügt über zwei Betriebsarten: den Standard- und den Komfort-Modus.

Standard-Modus

Im Standard-Modus kann das IC-Modul ohne Versorgungsspannung betrieben werden. Der IC im Sockel muss über die Bundhülsen mit einer geeigneten Betriebsspannung versorgt werden (siehe Datenblatt des Herstellers). Es könnten sogar zwei achtpolige ICs gleichzeitig im Sockel eingesetzt und beschaltet werden (Abb. 7).

Komfort-Modus

Für diese Betriebsart wird das IC-Modul an eine Versorgungsspannung angeschlossen und es ist erforderlich, dass der IC oben bündig eingesetzt wird (Abb. 6).



Abb. 6: IC im Sockel

Bei der Auswahl der Versorgungsspannung muss darauf geachtet werden, dass die Vorgaben des Herstellers des verwendeten ICs eingehalten werden. ICs werden in der Regel mit Gleichspannung betrieben.

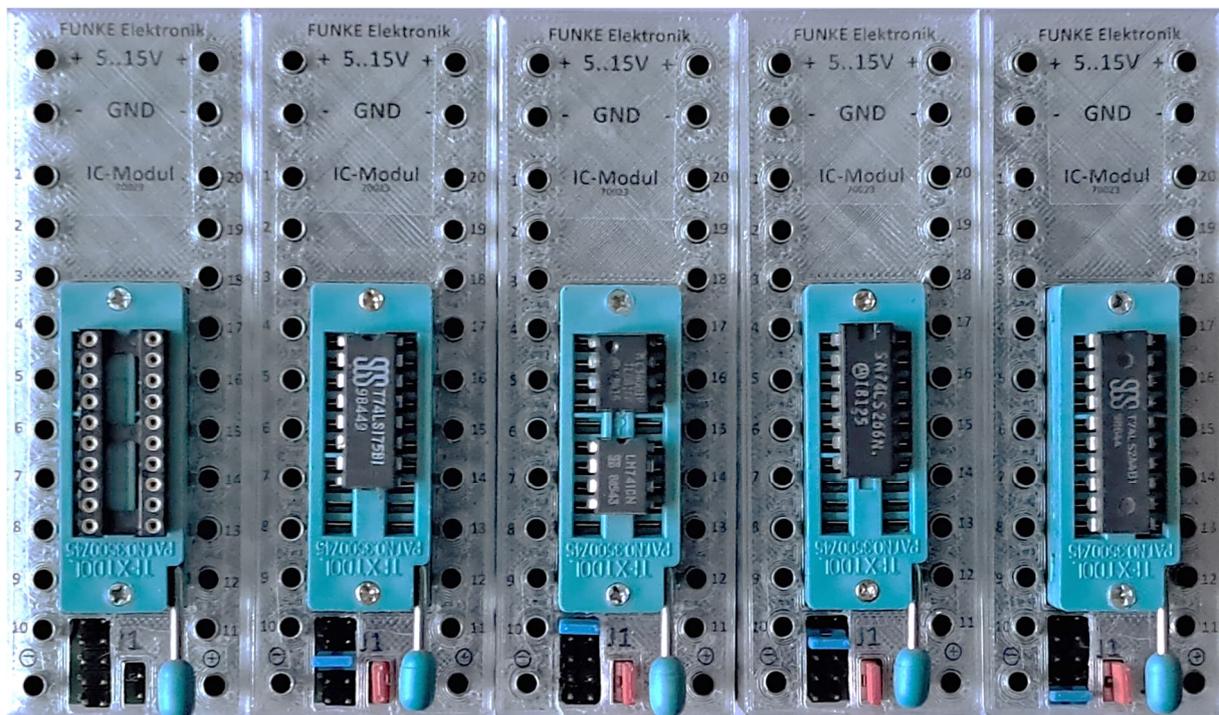


Abb. 7: Verschiedene Größen von ICs können in den Sockel eingesetzt werden

Benötigt ein IC beispielsweise +5 V, dann muss die Versorgungsspannung für das IC-Modul ebenfalls +5 V betragen. Über das große Jumper-Feld J1 kann mit dem blauen Jumper der IC mit GND verbunden werden. Je nach Position des Jumpers wird von oben Pin 4, 7, 8, 9 oder 10 des Sockels mit dem Minuspol (GND) verbunden. Ist der rote Jumper J2 gesteckt, wird V_{CC} mit dem Pin oben rechts im Sockel (Pin 20) verbunden. Liegen die Anschlüsse für GND oder V_{CC} auf anderen Pins, müssen der entsprechende Jumper entfernt und stattdessen die Anschlüsse \ominus und \oplus ganz unten auf dem IC-Modul mit Hilfe von Drahtbrücken zu den entsprechenden Anschlüssen des ICs geführt werden.

Sind der IC eingesetzt und der Hebel des Sockels heruntergedrückt, sodass der IC fest mit den Bundhülsen in Kontakt ist, signalisiert eine pinkfarbene LED, dass der IC korrekt mit der Betriebsspannung verbunden wurde (Abb. 2).

Wurde der IC nicht korrekt verdrahtet oder fehlt eine Spannung, leuchtet keine LED.

Wurde der IC verkehrt herum eingesetzt oder die Versorgungsspannung falsch angeschlossen, signalisiert dies eine rote LED.

Stromflussdetektor

Über den Anschluss \ominus bzw. den Jumper J1 wird ermittelt, ob Strom durch den IC fließt (IC eingesetzt = pinkfarbene LED leuchtet).

Werden CMOS-ICs mit einer Betriebsspannung unter 6 V betrieben, beträgt der Ruhestrom (IC nicht beschaltet) nur wenige μA . Bei Strömen $< 20 \mu\text{A}$ kann es sogar vorkommen, dass die pinkfarbene LED erlischt, obwohl der IC korrekt eingesetzt ist und mit Spannung versorgt wird. In diesem Fall wird ein derartig geringer Strom benötigt (unterer μA -Bereich), dass die interne Schaltung den Stromfluss nicht mehr eindeutig identifizieren kann. Schon beim bloßen Berühren des IC-Gehäuses mit dem Finger werden die Ströme auf unserer Haut von der Schaltung erfasst, die sich ebenfalls im unteren μA -Bereich bewegen, und durch ein Flackern oder helleres Leuchten der pinkfarbenen LED angezeigt.

Überlastanzeige

Die rot leuchtende LED signalisiert eine Überlast oder einen Kurzschluss (Abb. 3). Der maximale Strom am Sockel über den Jumper oder den separaten Anschluss ist begrenzt auf 142 mA. Für leistungsstarke ICs mit höherem Strombedarf muss der Standard-Modus verwendet werden. Dabei ist zu beachten, dass die Leiterbahnen zu jedem einzelnen Pin maximal 1 A durchleiten können.

Empfehlung

Es wird empfohlen, sich das passende Datenblatt zum verwendenden IC zu besorgen, um so die richtige Beschaltung und Funktion zu gewährleisten.

Schaltungsbeschreibung

In Abb. 8 ist zu sehen, dass es zwei Schaltungsteile im Modul gibt. Der rot umrandete Schaltungsteil ist die Strombegrenzung, mit der die rote LED angesteuert wird. Der blau umrandete Schaltungsteil ist für die Erkennung des Stromflusses und die Ansteuerung der pinkfarbenen LED zuständig.

Wie man dem Schaltbild entnehmen kann, sind alle Pins des Sockels direkt und 1:1 mit den Bundhülsen verbunden. Nur wenn man den blauen Jumper J1 verwendet, erfolgt der Anschluss an \ominus über einen 1- Ω -Widerstand. Entsprechend erfolgt mit dem roten Jumper J2 die Spannungsversorgung über die gezeigte Schaltung; der Strom wird auf 142 mA begrenzt.

Misst der Operationsverstärker über den 1- Ω -Widerstand eine Spannung, dann bedeutet das, dass hier Strom fließt. Nach dem Ohm'schen Gesetz $U = R \cdot I$ gilt hier also $I = \frac{U}{1\Omega}$. Die gemessene Spannung ist proportional zum Stromfluss.

Der Widerstand R ist mit 1 Ω so klein, dass der Spannungsverlust minimal ist und kaum eine Beeinflussung darstellt. Bei einer Betriebsspannung von 5 V beträgt bei einem CMOS-IC mit einem Betriebsstrom von 100 μ A der Spannungsverlust gerade einmal 100 μ V. Bei einem TTL-IC mit einem Strombedarf von 20 mA entspricht das einem Spannungsverlust von 20 mV oder 0,02 V, sodass $V_{CC} = 4,98$ V wird.

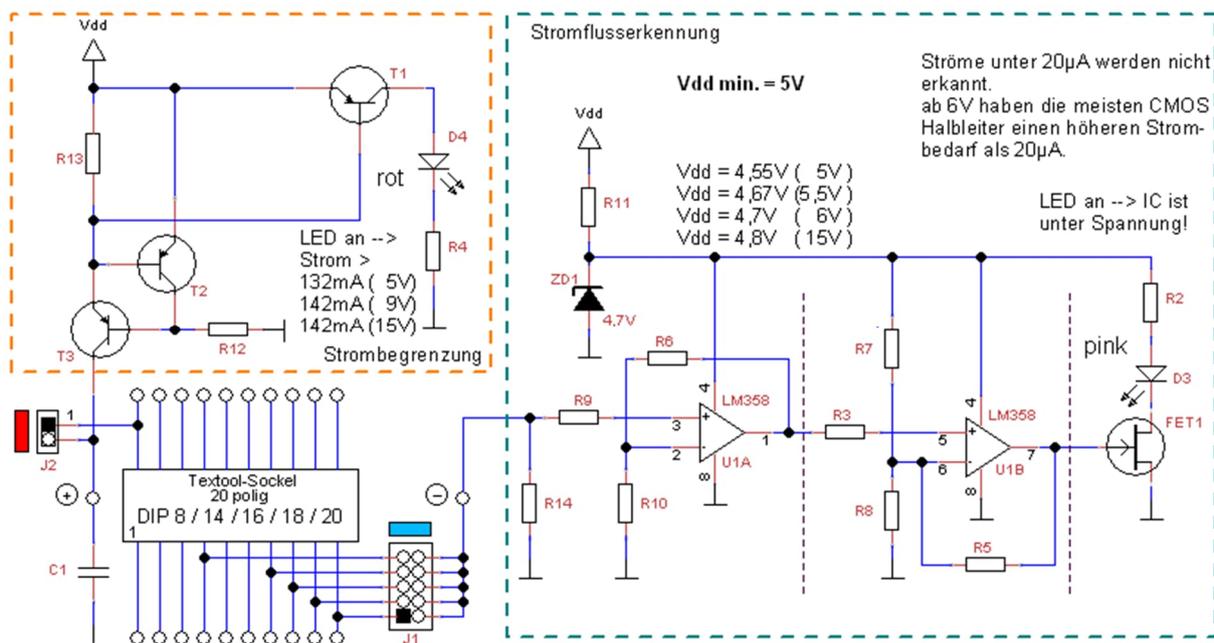


Abb. 8: Teilschaltplan des IC-Moduls 70023

Anwendungen

Viele ICs, z. B. TTLs, benötigen eine Versorgungsspannung von +5 V. Hierfür kann das Ergänzungsset „Versorgung“ (75003; Abb. 9) aus dem Laborbereich eingesetzt werden. Das Set liefert über ein USB-Steckernetzteil konstante +5 V (bis 1 A). Das mitgelieferte USB-Kabel ist am anderen Kabelende mit zwei fischertechnik-Steckern ausgestattet und kann somit direkt an das IC-Modul angeschlossen werden.



Abb. 9: Das USB-Kabel mit fischertechnik-Steckern aus dem Ergänzungsset „Versorgung“ 75003 liefert 5 V Gleichspannung z. B. von einem Notebook oder PC

Es hat sich auch als sehr hilfreich erwiesen, Verteilerplatten neben dem IC-Modul aufzubauen. Häufig müssen mehrere Pins des eingesetzten ICs mit V_{CC} oder GND beschaltet werden. Noch besser eignet sich das Experimentiermodul 70021, weil dieses sowohl Anschlüsse für V_{CC} und GND bereitstellt und gleichzeitig die Möglichkeit bietet, kleine Schaltungen aufzubauen. So kann man schnell einen Taktgenerator, ein AND- oder OR-Gatter aus Dioden oder die notwendigen Widerstände für einen Operationsverstärker bereitstellen.

Die Praxis hat auch gezeigt, dass bei der Dichte der Kontakte mehr als ein Stecker nicht sinnvoll ist und die Beschaltung schnell unübersichtlich wird. Dafür bieten sich ebenfalls eine Verteilerplatte bzw. die Felder des Experimentiermoduls an.

Schaltungsbeispiel

In diesem Abschnitt wird die Anwendung des IC-Moduls anhand eines Operationsverstärkers (OpAmp) gezeigt. Dieser wird im Komfort-Modus betrieben. Da er seine Versorgungsspannung an Pin 7 erwartet, muss für die \oplus -Versorgung eine Drahtbrücke eingesetzt werden, während der GND-Anschluss (Pin 4) über den blauen Jumper J1 versorgt werden kann.

Aus Abb. 10 kann man entnehmen, dass hier der OpAmp genutzt werden soll, um eine Eingangsspannung U_e zu verstärken. Es handelt sich um eine nicht invertierende Verstärkerschaltung. Als OpAmp wurde ein LM741 gewählt, aber es gehen auch andere OpAmps wie der LM358 oder LM324, die sehr häufig für solche Zwecke zum Einsatz kommen. Die Verstärkung V wird bestimmt durch die Widerstände R_1 und R_2 . Der OpAmp verstärkt in diesem Fall die Eingangsspannung U_e um den Faktor 10.

Über einen Spannungsteiler wird eine kleine Eingangsspannung U_e bereitgestellt (die Anzeige kann den Wert nicht vollständig auflösen und rundet den Messwert von ca. 0,17 V zu 0,2 V auf). In Abb. 11 werden die Eingangs- und Ausgangsspannung angezeigt. Hier sieht man auch sehr gut, dass sich für solche Zwecke ein Experimentiermodul hervorragend eignet. Die eingesetzten Widerstände sind alle im

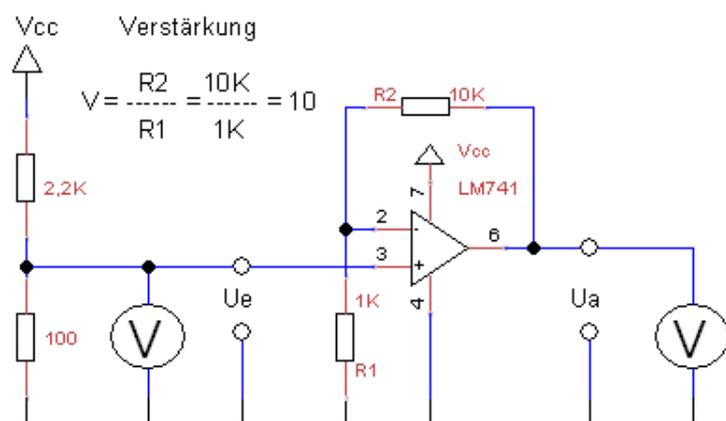


Abb. 10: Schaltplan zum Schaltungsbeispiel

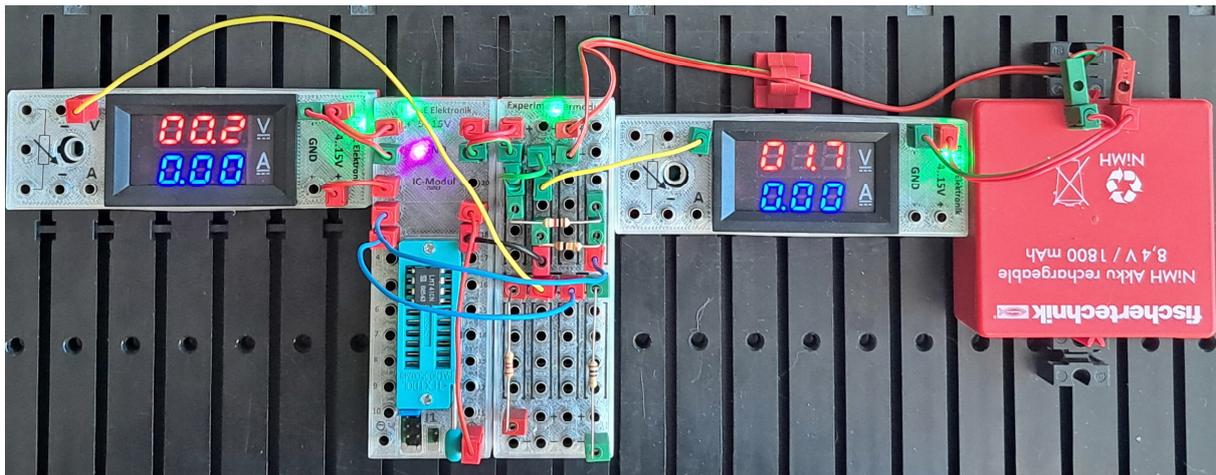


Abb. 11: Schaltungsaufbau zum Schaltungsbeispiel

Widerstandsset 71047 enthalten, inklusive zweier Stecker mit Schraube (das Set gehört mit zum Experimentiermodul).

Anmerkung

Das Experimentiermodul und das IC-Modul dürfen nur an Versorgungsspannungen bis 15 V angeschlossen werden (oben an der Einspeisung über die Bundhülsen „+“ und „-“). Die Kontakte zu den Pins beim IC-Modul und die Felder beim Experimentiermodul können durchaus mit Spannungen bis 36 V oder ± 18 V beschaltet werden.

Ausblick

Es wäre möglich, dass mit dem IC-Modul so etwas wie ein „IC-Digital-Labor“ entsteht. Allerdings muss ich hierfür erst noch ein paar Ideen sammeln.

Auf jeden Fall wird mit dem IC-Modul das Tor zur gesamten Elektronikwelt aufgestoßen und man erhält Zugang zu tausenden von Halbleitern. In der Modellwelt erweitert sich damit die Zahl der neuen Varianten und Möglichkeiten explosionsartig.

Informationen zu den Elektronikmodulen, den Zusatzmodulen, Laboren und Zubehör sind über den Online-Shop von Franz Santjohanser erhältlich [1]. Für dieses Jahr ist eine Herbstaktion geplant: Vom 01.10. bis 31.10.2023 sind sämtliche Elektronikmodule mit einem Preisnachlass von 10% im Online-Shop erhältlich.

Quellen

- [1] santjohanser Spielen. Lernen. Technik. Autorisierter fischertechnik-Fachhändler: <https://santjohanser.de>



21. + 22. Oktober 23
von 10-17 Uhr

Fördertechnik Museum

Untere Au 4
74889 Sinsheim



ftcommunity.de

ftc

fischertechnik community