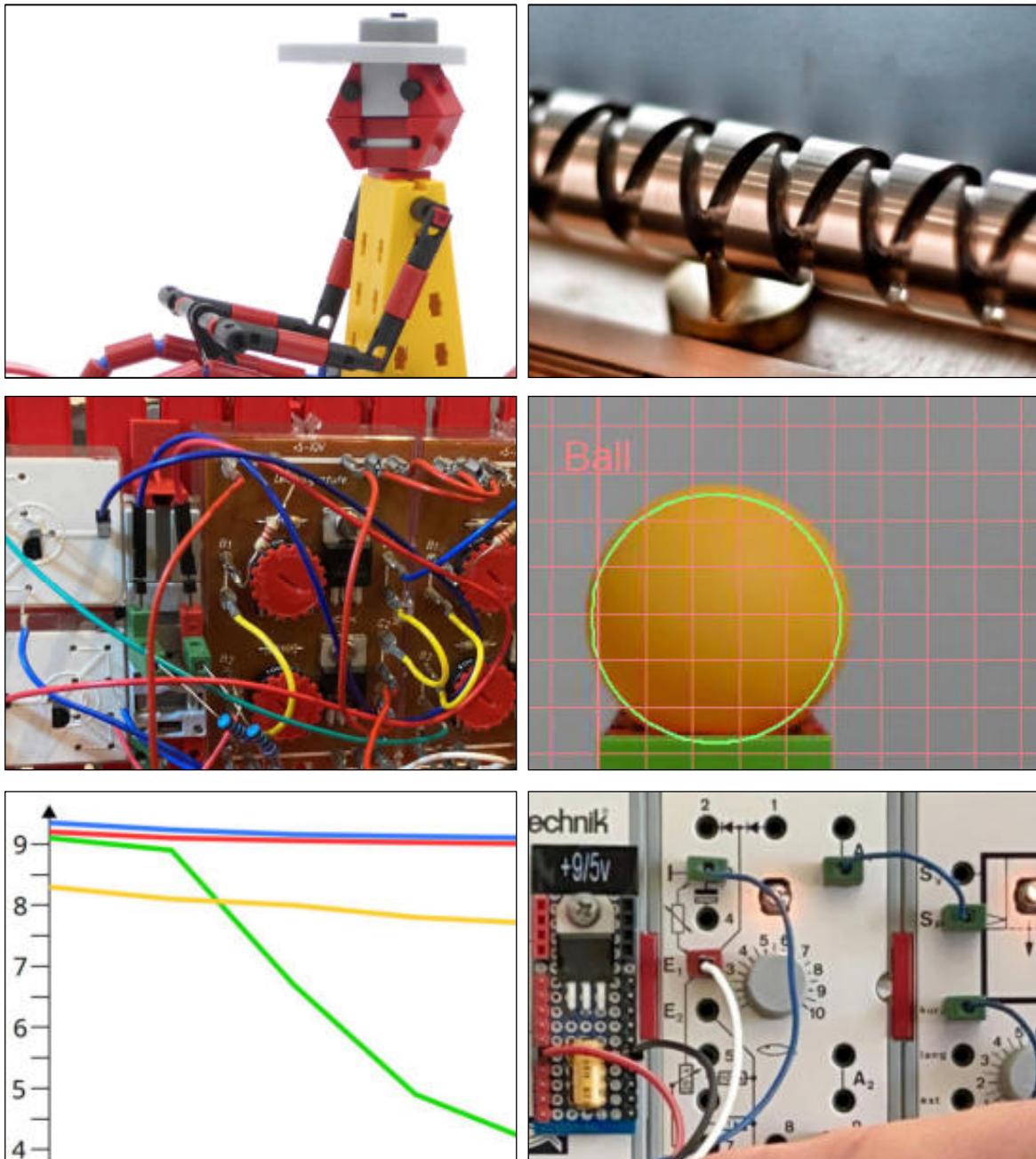


ft:pedia

Heft 2/2022



Herausgegeben von
Dirk Fox und Stefan Falk

ISSN 2192-5879

Editorial

Vom Guten zum noch Besseren

Dirk Fox, Stefan Falk

„Früher war alles...“ – man weiß schon, was folgt, so oft wie dieses Zitat schon fiel. Aber zumindest bei der wissenschaftlichen und technischen Entwicklung war früher natürlich *nicht „alles besser“*. Vor Archimedes kannten wir nicht mal die Hebelgesetze, die spezielle Relativitätstheorie von 1905 bildet die Basis für Navigationssysteme und erst die Quantenphysik („Wozu brauche ich das Zeugs?“) ermöglichte USB-Sticks. Vor 1966 gab es noch nicht mal fischertechnik. Pythagoras' wusste es nicht, aber ohne seinen Satz würden je eine I-Strebe 45, 60 und 75 kein rechtwinkliges Dreieck bilden. Wir stehen alle auf den Schultern von Giganten.

Das gilt nicht nur für Personen und deren Forschung – sondern auch für einzelne fischertechnik-Bauteile. So wird ein Teil der Leserschaft noch den Ur-Gelenkbaustein 45 ([31008](#)) kennen und besitzen. Der war zwar groß, aber er hatte ein 4-mm-Loch genau in der Drehachse, durch die man eine Achse stecken konnte. Sein Nachfolger, der Hubgelenkstein ([38459](#)), war zwar mit 15 mm Länge kompakter, büßte diese Möglichkeit der Achsführung aber ein. Schließlich aber kam der heutige Gelenkwürfel ([31436](#) + [31426](#)). Der hat wieder das überaus nützliche Loch in der Mitte.

Ein anderes Beispiel ist der Baustein 7,5. Als der in den 1970er Jahren herauskam, hatte er nur die beiden Nuten auf den flachen Seiten und war ansonsten praktisch massiv. Die heutige Form aber hat seitlich nochmal zwei als vollständige Achslager ausgeführte Nuten – ganz hervorragend.

Man könnte noch mehr solcher Beispiele anführen, wie die gelochten I-Streben oder

den Baustein 15 mit Bohrung. Aber auch bei Neuteilen gibt es immer wieder überraschende Nutzungsmöglichkeiten. Kugelbahnen aus fischertechnik wurden schon immer gebaut, und mit den Statik-Flachträgern ([36305](#)) konnten Tischtennisbälle schon 1970 sanft um Kurven geführt werden. Die neuere Flexschiene ([143234](#)) kann das nur für eine bestimmte Kugelgröße. Aber: Sie ist das einzige fischertechnik-Bauteil (von Gummis und Federn einmal abgesehen), das sich nicht nur beliebig verbiegen, sondern auch um seine Längsachse *verwinden* lässt. Das konnte der S-Flachträger nicht. Da gilt es also zu erforschen, was man damit außer Kugelbahnen noch alles anstellen kann.

Und selbst Teile mit einem für fischer-Technik-Puristen vielleicht zweifelhaften Existenzgrund, etwa das „Seitenteil“ ([163198](#)), werden kreative Fans auch neuen Einsatzmöglichkeiten zuführen. Eine kluge Evolution der Bauteile ist also nur zu begrüßen. Vorausgesetzt, kaum ersetzbare Bauteile (wie die Statik-[Bogenstücke](#)) bleiben erhalten und neu eingeführte Teile werden mit Weitsicht und nicht inflationär wegen eines einzelnen Baukastens geschaffen. Kommen dabei überschaubar wenige, aber intelligent durchdachte und flexibel einsetzbare neue Teile heraus, ist unser geliebtes System auf dem besten Weg. Zeigen wir's mit tollen Modellen.

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

Vom Guten zum noch Besseren	2
Südconvention: Aus 1 mach 2.....	4
Der Holländer.....	6
Club-Modelle.....	12
Nie mehr schief gewickelt	23
Ein einfach zu bauendes Uhrenpendel.....	32
Kalenderwerk mit Mondphasenanzeige	49
9V-Block-Akkus im fischertechnik-Batteriehalter	61
Ein Labor in Aktion.....	68
Eine zukunftssichere Stromversorgung.....	73
Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 7).....	87
Elektronik-Module (Teil 7): Multimeter.....	101
Die Kunst der H-Brücke: Let's Rock.....	104
Einführung in ftScratch (2): Der Münzautomat	119
ROBO Pro, ftrobopy und ftScratch auf dem TXT 4.0.....	123
Die fischertechnik-Lichterkette	130
ftSwarm (2) – Codierst du noch oder schwärmt du schon? .	134

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Südconvention	01.-02.10.22	Fördertechnisches Museum Sinsheim

Impressum

<http://www.ftpedia.de>

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

Autoren: Florian Bauer, Christian Bergschneider, Arnoud van Delden, Stefan Falk, Dirk Fox, Hans-Christian Funke, Stefan Fuss, Till Harbaum, David Holtz, Peter Krijnen, Thomas Magin, Rüdiger Riedel, Tilo Rust, Torsten Stuehn.

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.

Convention

Südconvention: Aus 1 mach 2

David Holtz, Tilo Rust

Warum wir uns besonders auf die Südconvention 2022 freuen dürfen.

Am Wochenende vom **1. bis 2. Oktober 2022** findet die **3. fischertechnik-Südconvention** (kurz ftc:süd:con) im Fördertechnik-Museum in Sinsheim statt.

Während die ftc:süd:con in früheren Jahren als eintägige Veranstaltung geplant war, wollen wir in diesem Jahr ein neues, zweitägiges Konzept umsetzen.

Dieses lässt Ausstellerinnen und Ausstellern mehr Zeit für einen intensiveren Austausch untereinander und schafft zusätzlichen Raum für unser Rahmenprogramm.

Novum

Im Unterschied zu früheren Conventions wird in diesem Jahr erstmals eine zweitägige Modellausstellung in Sinsheim stattfinden.

Der Wunsch danach kam bereits bei der ftc:süd:con:2019 auf, als wir feststellen mussten, dass die Zeit viel zu kurz war um uns ausreichend auszutauschen. Dieses Jahr kommt uns der Zufall der Terminplanung entgegen: der „Tag der Deutschen Einheit“ am 3. Oktober ist ein Feiertag, der vielen von Euch zur Rückreise und Erholung dienen kann. Und so möchten wir die Chance nutzen und ein großes Event mit euch durchführen – für das wir wiederum EUCH brauchen: als Aussteller!

Lohnt sich für alle

Die zweitägige ftc:süd:con bietet viele Vorteile:

- *Längere Anreisewege lohnen sich* – denn eine zweitägige Ausstellung verbessert das Verhältnis von Anreiseaufwand zu Eventzeit. Daher begrüßen wir unsere Gäste aus dem Ausland recht herzlich.

(Übrigens: für Aussteller und deren Angehörige mit langer Anreise ist sicher auch ein Besuch in der Therme oder dem benachbarten Technikmuseum interessant – nur wenige Gehminuten entfernt.)

- *Mehr Zeit zum Aufbau*: Zusätzlich bietet die Location die Möglichkeit auch einige Tage vorher aufzubauen oder danach abzubauen. So können auch größere Projekte ohne Hektik präsentiert werden.
- *Teilnahme auch eintägig möglich*: Zwar hoffen wir auf viele Aussteller an beiden Tagen, aber bieten auch die Möglichkeit, dass ihr nur an einem Tag ausstellt. Das gibt all jenen die Chance auf Teilnahme, die zum Beispiel am Samstag verhindert sind.
- *Mehr Zeit für Vorträge*: wir werden parallel zur Ausstellung auch (wieder) Vorträge, Podiumsdiskussionen und erstmals Workshops zu unterschiedlichen Themen anbieten. Um möglichst vielen Zuhörern die Chance zur Teilnahme zu geben und dabei nicht zu überfordern, bietet sich an, diese an beiden Tagen laufen zu lassen.

- *Mehr Zeit zum Austausch:* Nicht nur die doppelte Ausstellungsdauer bietet dazu mehr Zeit, sondern auch die Zeit danach: am Freitag nach dem Aufbau, am Samstag nach Hallenschluss für die Besucher – und das, ohne dass wir abbauen müssen und Drang zur Abreise entsteht.
- *Come-Together:* Mit einer „After-Show-Party“ am Samstagabend versuchen wir die Community für alle Aussteller und Angehörige erlebbar zu machen. Wir werden im Museum zu Abend essen und feiern.
- *Mehr Zeit für Frühstück:* Da das traditionelle Ausstellerfrühstück einer der Höhepunkte bei der Convention ist, habt ihr diesmal Zeit, das zweimal zu genießen. Und wir fahren kulinarisch auf. (Mittagessen ist als Selbstversorgung im Museum auf dem Fest möglich, Kaffee & Kuchen gibt's auch, am Freitagabend ist wieder Pizza angedacht.) Und da am Sonntag bereits alles steht, gibt es mehr Zeit zum Frühstücken.
- *Mehr Besucher:* In Kombination mit dem zweitägigen Museumsfest des Fördertechnik-Museums (Jubiläum: 10 Jahre!) werden viele Besucher erwartet. Attraktionen des Rahmenprogramms locken auch Besucher, die nicht nur für Technik zu begeistern sind.
- *Mehr Zeit zum Verkauf:* Wir bieten wieder unsere Flohmarktmöglichkeiten an. Dazu haben wir bewusst alle uns bekannten Händler und die fischertechnik-Werke direkt eingeladen, um euch die Möglichkeit zum Kaufen und Verkaufen zu bieten.
- *Mehr Interesse für die Presse:* Je größer das Event, desto größer ist das Medieninteresse.

Anmeldung: Dabei sein!

Ihr wollt bei der ftc:süd:con:2022 als Aussteller dabei sein?

Idealerweise könnt ihr an beiden Tagen Modelle präsentieren, alternativ ist eine Teilnahme auch nur am Samstag bzw. Sonntag möglich. Egal ob du totaler Einsteiger bist und „nur“ ein kleines Modell hast – zeig' es uns! Wir würden dieses Jahr gerne Rekorde in der Kategorie Ausstellerzahl und Zahl der Modelle brechen – hilf mit, sei dabei!

Besonders herzlich laden wir Schulen mit fischertechnik-AGs oder -Projekten ein.

Dann sendet uns eine unverbindliche Voranmeldung unter Angabe eures Namens an suedconvention@ftcommunity.de.

Ende August werden wir einen Link zu einem Aussteller-Fragebogen an Euch schicken, über den ihr eure Anmeldung bestätigen könnt.

Gleichermaßen lebt die Vortragsreihe von euren Beiträgen. Habt ihr bereits eine Idee für einen Vortrag oder Workshop, den ihr anbieten möchtet?

Dann sendet uns gerne eine kurze Themenbeschreibung an unsere E-Mail Adresse.

Anregungen? Wünsche? Inspirationen? Was soll noch dabei sein? Schreibt uns – noch können wir die Vorschläge aufgreifen und umsetzen, damit die ftc:süd:con:2022 ein echtes Event-Highlight wird.

Modell

Der Holländer

Rüdiger Riedel

Mein Vater hat mir von seinen Kindheitserinnerungen erzählt. Beliebt war ein Fahrzeug mit einem Stangenantrieb wie bei einer Draisine auf Schienen.

Entdeckt

Kürzlich habe ich in Weinheim dieses Kinderfahrzeug entdeckt:



Abb. 1: Die Vorlage für den Holländer

Von vornherein war klar: Der fischertechnik-Holländer muss den Original-Stangenantrieb haben, Lenkung, einen Fahrer und Fernsteuerung.

Wie es damals war

Damals, das war vor fast 90 Jahren; mein Vater ist jetzt 95. Er hatte keinen Holländer, das konnte sich die Familie nicht leisten. Sie waren zwar nicht arm, aber nur sein Vater hat auf seine „Stulle“ Wurst bekommen. Gekauft wurde 1/8 Pfund. Für das Pfund ($\frac{1}{2}$ Kilogramm) gab es ein eigenes Zeichen:

tb

Onkel und Tante arbeiteten bei der Sparkasse. Sie bekamen gelegentlich eine (!) Apfelsine, die in der Familie geteilt wurde, für jeden ein Stückchen. Ab und zu warf die Tante ein in Zeitungspapier gewickeltes 10-Pfennigstück (10 ₯ ist ein Groschen) herunter, davon kauften sich mein Vater und seine Schwester zwei Stück Kuchen, das war ein Fest. Ebenso, wenn es Blaublickes gab, einfache Bonbons, aus dem Glas vom Krämer in ein Tütchen gefüllt.

Der fischertechnik-Holländer

Woher der Name stammt, habe ich nicht herausgefunden. Angetrieben wurde er mit den Händen, gelenkt wurde mit den Füßen an der Vorderachse.



Abb. 2: Der erste Entwurf

Zunächst probierte ich die Metall-Kurbelwelle 120 KR20 ([31080](#)). Der Hub des Antriebshebels wurde mir aber zu groß. Also brauchte ich einen kleinen Trick mit zwei Rastkurbeln KR12 Z10 m1 ([35071](#)), zwei Klemmbuchsen 10 ([31023](#)), einer Gelenkwürfelklaue 7,5 ([31436](#)) und einer Lagerhülse 15 ([36819](#)) – siehe Abb. 6.



Abb. 3: Der Fernlenkbare

XS-Motor und Getriebe sind ebenfalls zu erkennen. Übersprungen haben wir den Aufbau des Hecks, das holen wir jetzt nach in den Abb. 4 und 5.

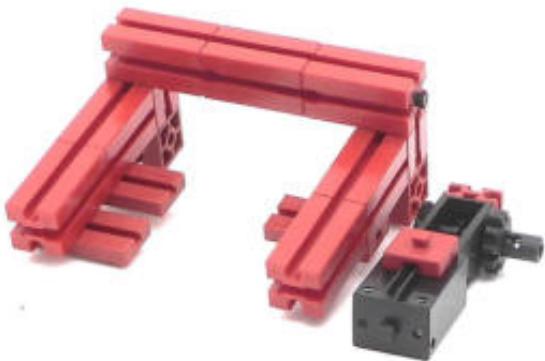


Abb. 4: Das Heck, daneben
Motor und Getriebe

Anhand der Abbildungen sollte der Bau Schritt für Schritt keine Schwierigkeiten bereiten.

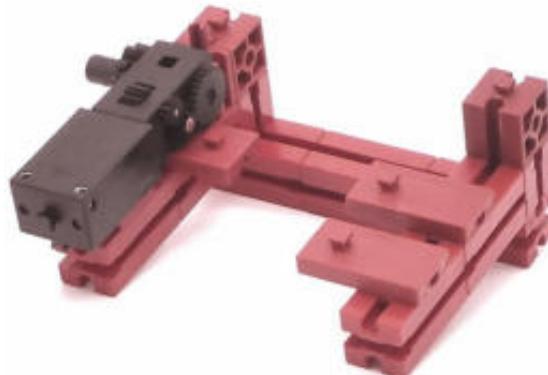


Abb. 5: Ansicht von unten, Motor eingebaut



Abb. 6: Kurbelwelle und Antrieb

Der Einbau der Fernsteuerung erfolgt nach Abb. 7.



Abb. 7: Fernsteuerung hinzugefügt
Dahinter sitzt der Batteriehalter ([135719](#)).

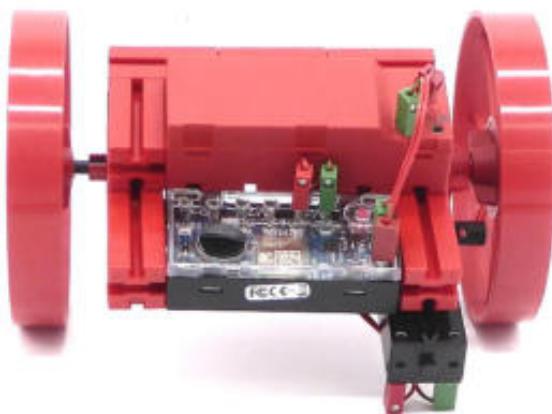


Abb. 8: Batteriehalter und Fernsteuerung von oben gesehen

Der Vorderwagen kann separat aufgebaut werden.



Abb. 11: Kabelführung

Das Kabel des Servos ist recht lang, es wird nach Abb. 11 mit einer Schlaufe verlegt.

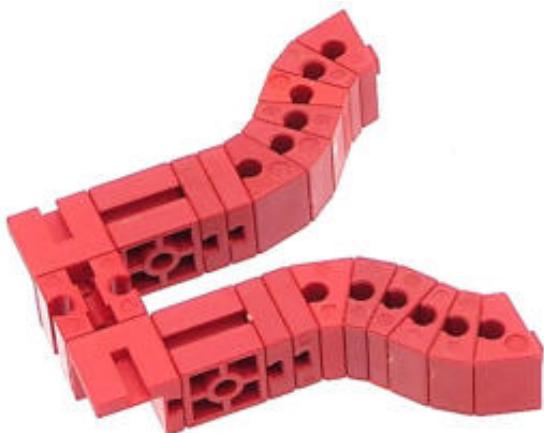


Abb. 9: Gerüst des Vorderwagens

Das Servo wird nach Abb. 10 an den Baustein 15 angebaut.

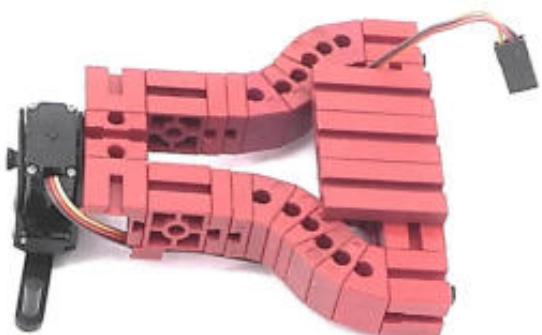


Abb. 10: Anbau des Servos

Das Durchrutschen des Servos nach unten wird durch einen Baustein 5 verhindert, siehe Abb. 11. Oben erfolgt die Abdeckung mit einer Bauplatte 15×45 2Z ([38242](#)).



Abb. 12: Das Antriebsgestänge

Der Stangenantrieb besteht aus zwei S-Streben 90 L ([38543](#)), einer Rastachse 45 ([35064](#)), einer Rastachse 90 ([35066](#)), zwei Rastadapters 20 ([36227](#)), zwei Rast-Seilrollen ([136775](#)), zwei Klemmbuchsen 5 ([37679](#)), einem Rollenlager 15 ([37636](#)) und einer V-Achse 20 ([31690](#)).

Der Einbau in den Wagen ist auf den Abb. 13 und 14 zu sehen. Für die Vorderachse brauchen wir zwei Speichenräder 90×15 ([19317](#)), zwei Freilauf-Flachzangen ([68535](#)), zwei Nabennuttern ([31058](#)), zwei Rastaufnahmehachsen 22,5 ([130593](#)), zwei Rast-Seilrollen ([136775](#)), zwei Bausteine 30, zwei Bausteine 15, zwei Bausteine 15 Bohrung ([32064](#)), zwei Bauplatten

15×30×3,75 1N ([32330](#)), eine V-Achse 34 Clipachse ([32870](#)), eine Klemmbuchse 5 ([37679](#)), einen roten Baustein 15, zwei Bausteine 5 ([37237](#)) und einen Baustein 5 15×30 3N ([38428](#)).



Abb. 13: Vorder- und Hinterwagen miteinander verbunden

Für die Lenkung brauchen wir auf der Unterseite einen S-Strebenadapter ([31848](#)) und als Auflage für die Füße des Fahrers zwei Winkelsteine 30° ([31011](#)) und zwei Federnocken ([31982](#)). Eine S-Strebe 42,4 X ([36315](#)) verbindet die Vorderachse mit dem Lenkhebel des Servos.



Abb. 15: Die Vorderachse



Abb. 14: Das eingebaute Antriebsgestänge von unten



Abb. 16: Die Vorderachse von unten

Nun brauchen wir noch ein Kind, das fährt und lenkt. Für den Körper nehmen wir zwei S-Winkelträger $7,5^\circ$ ([35052](#)), vier Winkelsteine $7,5^\circ$ ([32071](#)), zwei S-Riegelsteine ([32850](#)) und den Hals bildet eine V-Aufnahmearchse ([31124](#)).

Der Kopf besteht aus Winkelsteinen 30° rechtwinklig ([31012](#)), die gibt es z. B. bei fischerfriendsman [2]. Verbunden werden sie mit zwei Bausteinen 15 Bohrung ([32064](#)), hinten zusammengehalten von einer Bauplatte $15 \times 30 \times 3,75\text{ 1N}$ ([32330](#)) und zwei Federnocken.

Augen: Zwei S-Verbindungsstopfen 6 ([32316](#)). Gesicht: V-Bauplatte 15×15 grau ([32366](#)). Mund: Kunststofffachse 15 Seilklemmstift ([38226](#)).

Die graue V-Bauplatte 15×15 gibt es kaum noch, Alternativen wären rote, gelbe oder schwarze Platten. Auch den grauen Seilklemmstift gibt es kaum noch, hier kann ein Stück Silikonschlauch helfen.

Abb. 2 zeigt die Figur mit Zylinder, aber das ist natürlich unpassend. Wir wollen ein Kind fahren lassen, also bekommt es eine Kappe aus einer Nockenscheibe KR20 35 ([31038](#)), einem V-Rad 23×10 ([146535](#)) und einer Radachse ([172541](#)).

Schulter und Arme bestehen aus einer Rastachse 45 ([35064](#)), vier Rastachsen 30 ([35063](#)), acht Rastkardangabeln 15 ([35971](#)), vier Rastkardanwürfeln 4,5 ([35972](#)), vier Hülsen 15 ([31983](#)) und zwei Rastadapters 20 ([36227](#)) als Hände.



Abb. 17: Das Kind auf seinem Fahrzeug



Abb. 18: Frontansicht

Dann können wir auch gleich das Lenkrad zusammensetzen aus einer Rastachse 75 ([35087](#)), zwei Rastkupplungen 15 ([35073](#)), zwei Lagerhülsen 15 ([36819](#)) und zwei Abstandsringen 3 ([31597](#)).

Zwei Stücke Silikonschlauch ([122363](#)), je 10 cm lang, werden zusammen mit zweimal sechs Hülsen 15 ([31983](#)) zu den Beinen mit vier Pneumatik-T-Stücken ([31642](#)) an den Enden. Die Füße bilden zwei Bausteine 5 $15 \times 30\ 3N$ ([38428](#)).

Referenzen

- [1] Rüdiger Riedel: *Der fahrende Holländer*. Auf [YouTube](#), 2022.
- [2] Winkelstein 30° rechtwinklig bei [fischerfriendsman](#)



Abb. 19: ...und nun fährt er davon

ft-Geschichte

Club-Modelle

Hans-Christian Funke

Seit 1968 gibt es eine Veröffentlichung von fischertechnik in Form einer Zeitschrift für Mitglieder des fischertechnik-Clubs. Die Club-Zeitung verbreitet seitdem Informationen, Modelle und Neuigkeiten an die Club-Mitglieder. Von 1991 bis heute werden die Neuigkeiten rund um fischertechnik ohne Unterbrechung über die „Fan Club News“ veröffentlicht.

Überblick

Vor kurzem hatte ich mal wieder eines der alten Club-Hefte in der Hand und beim Durchsehen fand ich auch das Club-Modell aus jenem Heft. Da kam ich auf die Idee, mir auch einmal die Modelle aus den anderen Club-Heften anzusehen, und so reihte sich eine Frage an die nächste:

- Wann erschien das erste Club-Heft?
- Gab es in jedem Club-Heft ein Modell mit Anleitung zum Nachbauen?
- Wie sahen die ersten Modelle aus?
- Kann man die Modelle mit den Teilen von heute noch nachbauen?

Also fing ich an zu recherchieren und habe erst einmal nicht viel gefunden. Natürlich war mein erstes Ziel die Seite der fischertechnik-Community. Dort bin ich in der Datenbank mit dem Suchwort „Club-Modell“ fündig geworden [1].

Mit der letzten Ausgabe von 1979 hörte die Veröffentlichung weiterer Club-Hefte schlagartig auf. Erst Ende der 1980er-Jahre gab es einen neuen Anlauf, der aber 1989 wieder eingestellt wurde. Seit 1991 gibt es die „Fan-Club News“, die einen Versuch darstellen, an die alten Club-Hefte anzuschließen. Leider hat die neue Version der Club-Zeitung nicht das Niveau und den Informationsgehalt der alten Club-Hefte erreicht, was sehr schade ist.

Nachbau von Club-Modellen

Das Club-Heft diente anfänglich der Vorstellung von Neuheiten. Ab 1971 gab es unter der Rubrik „Aktuelles zum Nachbauen“ auch Modelle mit Bauanleitungen. Außerdem wurden Modelle von Club-Mitgliedern veröffentlicht, manche ebenfalls mit einer Nachbauanleitung. Seit 1974 gab es immer ein Modell zum Nachbauen (Club-Modell), allerdings mussten die Bauanleitungen hierzu bei fischertechnik angefordert werden – zu dieser Zeit in der Regel auf dem Postweg. In Tab. 1 habe ich einmal einen Überblick über sämtliche Club-Hefte vor 1980 zusammengestellt.



1968/1



1968/2

Abbildung
Mondroboter



1969/1
Abbildung
Sattelschlepper



1969/2
Abbildung
Mondfähre



1969/3
Abbildung mit
Beschreibung
Zeichenmaschine



1970/1
Abbildung
Barbara-Kran
Kranwagen mit Ausleger



1970/2
Abbildung
Radioteleskop



1970/3
Abbildung
Kran auf Schienen



1971/1
Aktuelles zum Nachbauen
Automatisches Garagentor
Abbildung
Stempelmaschine



1971/2
Aktuelles zum Nachbauen
Montagemaschine
Abbildung
Baukran (Titelseite)



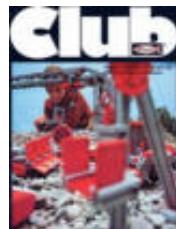
1971/3
Aktuelles zum Nachbauen
fischertechnik-
Warenautomat
Abbildung
Hafenkran auf Schienen



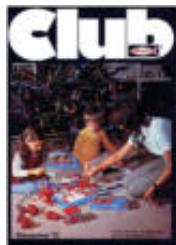
1972/1
Aktuelles zum Nachbauen
Reaktionszeitmesser
Abbildung
Fahrstuhl



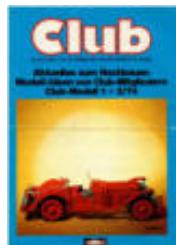
1972/2
Aktuelles zum Nachbauen
Elektrisiermaschine
Abbildung
Schwerlastkran auf Rollen



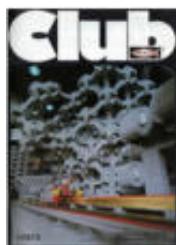
1972/3
Aktuelles zum Nachbauen
Potentiometer; Dimmer
Abbildungen
Diesellok mit Kipptore
Fahrrad

**1972/4**

Aktuelles zum Nachbauen
 Autotrainer¹
Abbildungen
 Magnetbahnmodell

**1974/1+2**

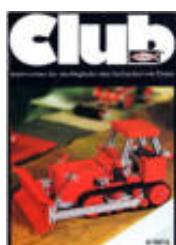
Club-Modell
 1. Die Adler
 2. Schaufellader
Aktuelles zum Nachbauen
 Achterbahn
 Scheibenwischer¹

**1973/1**

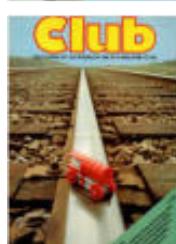
Aktuelles zum Nachbauen
 Gleichstrommotor
 Elektronische Uhr
 (Version 1)¹
Abbildungen
 Verladeanlage für
 Container
 Verladekran

**1974/3**

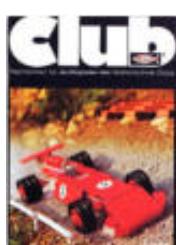
Club-Modell
 Schaufelradbagger
Aktuelles zum Nachbauen
 Radar¹

**1973/2**

Aktuelles zum Nachbauen
 Blumengießanlage¹
 Schlauchpumpe

**1975/1**

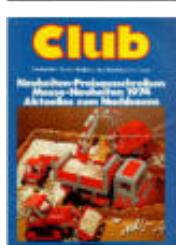
Club-Modell
 Morsegerät
Aktuelles zum Nachbauen
 Schiffsschaukel
 Kranantrieb

**1973/3**

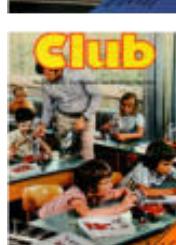
Aktuelles zum Nachbauen
 Horizontalbohrwerk
 Elektronisches Huhn¹

**1975/2**

Club-Modell
 Spielautomat (Version 1)¹
Aktuelles zum Nachbauen
 Tankwagen
 Würfellinie

**1974 Neuheiten**

Aktuelles zum Nachbauen
 Portalkran für Container
Abbildungen
 Schweiß-Transferstraße
 Dampflok mit Tender

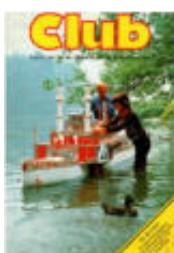
**1975/3**

Club-Modell
 Autolift
Aktuelles zum Nachbauen
 Porsche 908/03

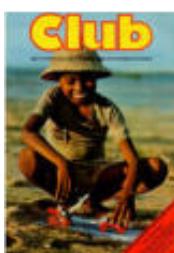
¹ In diesem Modell wurden Elektronik-Bausteine (Silberlinge) verwendet.



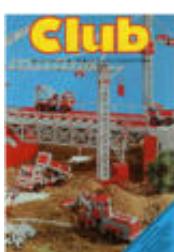
1975/4
Club-Modell
 Rotor-Antenne
Aktuelles zum Nachbauen
 Kopiergerät¹
 Schnecke



1976/1
Club-Modell
 Ablaufbahn
Aktuelles zum Nachbauen
 Vogelstimmenimitator¹
 Blitzlicht



1976/2
Club-Modell
 Looping-Bahn
Aktuelles zum Nachbauen
 Kraftfahrzeuglenkung
 Leuchtturm



1976/3
Club-Modell
 Kartengeber,
 Kartenmischer
Aktuelles zum Nachbauen
 Die Durstpumpe
Abbildungen
 Wuppertaler Schwebebahn



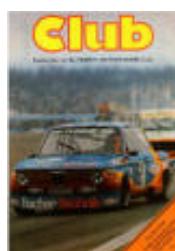
1976/4
Club-Modell
 Selbststeuerndes Auto¹
Aktuelles zum Nachbauen
 Türeinbruchsicherung¹
 Gurtschlitten
 Klapsmühle



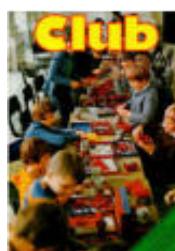
1977/1
Club-Modell
 Roboter
Aktuelles zum Nachbauen
 Drehbank
 Schaukelstuhl
 Waage



1977/2
Club-Modell
 Elektronische Uhr
 (Version 2)¹
Aktuelles zum Nachbauen
 Motorrad
 Tieflader mit Raupe
 Getriebe



1977/3
Club-Modell
 Tresor¹
Modellnachbau
 Unimog
 Traktor
 Ballenpresse



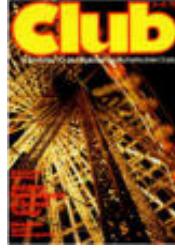
1977/4
Club-Modell
 Warenautomat¹
Modellnachbau
 Ruhige Hand¹
 Periskop
 x-y Schreiber



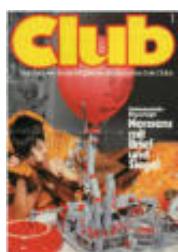
1978/1
Club-Modell
 Viertaktmotor
Modellnachbau
 Fahrsimulator¹
 Ampelanlage¹



1978/2
Club-Modell
 Radargerät¹
Modellnachbau
 5 Modelle rund um den Flughafen



1978/3+4
Club-Modell
 Auto-Scooter
Modellnachbau
 7 Kleinmodelle
 5 Modelle Fahrgeschäft¹
 Radaranlage¹

**1979/1**Club-ModellKKSKW '79¹

Klingel-Klapper-Spritz-Knall-Wecker

Modellnachbau

Fünf Nonsense-Modelle

**1979/4**Club-Modell

Containerkran

Modellnachbau

Laufdrehkran

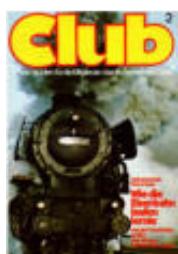
Berliner Funkturm

Turmdrehkran

Lemniskatenkran

selbst aufrichtender

Baukran

**1979/2**Club-ModellVerladeanlage mit Förderband¹Modellnachbau

10 Kleinmodelle rund um die Eisenbahn

**1979/3**Club-ModellSpielautomat (Version 2)¹Modellnachbau

Erschreck-Automat

Blumen-gieß-Automat¹Elektronische Waage¹

Aufprall-Auto (Version 2)

*Tab. 1: Übersicht über die Clubhefte**¹ Im Modell wurden Elektronik-Bausteine (Silberlinge) verwendet*

Die Anleitungen der Club-Modelle (1974 bis 1979) konnte ich alle in der ft-Datenbank finden. Bei älteren Modellen bin ich nicht fündig geworden, aber dank eines Hinweises habe ich bei den holländischen fischertechnik-Freunden weiteres Material gefunden [2]: In deren Bibliothek sind sämtliche Club-Heft-Ausgaben vom Beginn 1968 bis 1979 digitalisiert erfasst, und so konnte ich meine Recherchen fortsetzen.

*Abb. 1: Sattelschlepper aus dem Club-Heft 1969/1*

In einigen Club-Heften gab es auch Fotos von Großmodellen aus der fischertechnik Werkstatt, die dann häufig auf Ausstellungen zu bewundern und zu bestaunen waren. Viele dieser Fotos sind ein reiner Augenschmaus und ziehen einen regelrecht in den Bann. Das eine oder andere Modell kann durchaus zum Nachbau anregen oder Ideen für eigene Modelle liefern. Es lohnt sich daher, die alten Club-Hefte wieder einmal anzusehen – Abb. 1 bis 7 zeigen eine kleine Auswahl an Modellen, die mich beim Durchsehen der Club-Hefte beeindruckt haben.

Seit 1977 gab es auch so genannte Dekorationsmodelle, die speziell für die Händler konzipiert waren, um die Aufmerksamkeit der Kunden im Laden auf fischertechnik zu lenken. Für diese Modelle gab es beim Händler (oder über fischertechnik) die Bauanleitung.

In den 1980er-Jahren kehrte erst einmal Ruhe ein, weil keine weiteren Club-Hefte mehr erschienen. Die Geschäftsübergabe von Artur Fischer an seinen Sohn führte zu diesen Veränderungen. Erst in den späteren 1980ern erfolgte ein erneuter Anlauf: Im Jahr 1987 gab es endlich wieder ein Club-Heft. Die Autoren versuchten an das Niveau der ersten Hefte anzuschließen, was allerdings nicht so recht gelang. Gleiches gilt auch für die folgenden Ausgaben; ab 1988 erschienen vier Ausgaben – diese und alle weiteren unter dem Titel „Fan-Club News“. 1989 erschienen nach meinen Recherchen nur noch zwei Ausgaben, bevor die Zeitung wieder einschlief. An dieser Stelle vielen Dank an Holger Bernhardt, der mich mit Informationen und Material zu den 1980er-Jahren versorgt hat.

In den 1980ern wurden unabhängig von den Club-Heften mehrere Bauanleitungen veröffentlicht. Die Anleitungen sind beim fischertechnik-Club Niederlande zu finden [2]. Ein genaues Datum, wann die einzelnen Bauanleitungen veröffentlicht wurden, konnte ich leider nicht ermitteln.

- Radarschirm
- Laufrad
- Baukran²
- Fahrrad
- Leuchtturm
- Auslegerkran
- Ladebaum
- Hubschrauber (Version 1)
- Kranwagen
- Hubschrauber (Version 2)
- 3-6 Riesenrad
- Riesenrad
- Turner
- Roboter
- Knetmaschine
- Schneeräumer
- Tieflader
- Lichtkreis
- Container Verladeanlage
- Gabelstapler
- Radargerät BBC³
- Karussell
- Draisine
- Abschleppwagen
- Spaghetti Wickler
- Fingernagelputzmaschine
- Stecknadelnsuchgerät
- Blumengießmaschine⁴
- Sparschweinfütterer³
- Klopapier-Nachshubautomat

Für diese Modelle stehen Bauanleitungen und Teilelisten unter [2] zur Verfügung.

² Bei diesem Modell kommt die RC-Fernsteuerung zum Einsatz.

³ In diesem Modell wurden Elektronik-Bausteine (Silberlinge) verwendet.

⁴ In diesem Modell wurden Elektronik-Bausteine aus dem IC-Digital Praktikum verbaut.



Abb. 2: Triebwerk aus dem Club-Heft 1977/1

Mit Sicherheit gab es noch weitere Veröffentlichungen. So entdeckte ich noch ein Bild eines Modells, zu dem ich jedoch nur die Titelseite und keine vollständige Bauanleitung finden konnte:



Abb. 3: Astronomische Nachführung für Kleinbildkameras



Abb. 4: Dampflok

Es wird wieder Zeit für unsere Conventions, auf denen immer wieder wunderbare Fan-Modelle aus fischertechnik zu bestaunen sind. Hier ein paar Modelle von Fans aus den 1970er-Jahren, die ordentlich was her machten (Abb. 5 bis 7):



Abb. 5: Tenderlok – Club-Heft 1974 Neuheiten



Abb. 6: Mähdrescher

Alte Modelle im neuen Gewand

Nachdem ich mir die Beiträge und Modelle angesehen hatte, kam mir der Gedanke, dass es doch schön wäre, wenn man das eine oder andere Modelle wieder aufleben lassen würde.

Mein Thema ist die Elektronik, daher habe ich beschlossen, in der ft:pedia eine Reihe von Beiträgen zu veröffentlichen, in denen ich eine Auswahl alter Modelle aus den Club-Heften vorstellen werde. Dabei möchte ich die Modelle im neuen Gewand, also mit neuen, aktuell verfügbaren Teilen aufbauen und einen Schaltplan präsentieren, in dem die Elektronikmodule als Ersatz für die Silberlinge zum Einsatz kommen.

Bevor ich aber in dieses Thema einsteigen und das erste Modell vorstellen kann, möchte ich in diesem Beitrag erst noch ein paar Grundlagen schaffen. So kam im Modell „Autotrainer“ aus dem Heft 1972/4 der Schaltstab aus dem Baukasten l-e 1 von 1969 zum Einsatz. In der Modellbeschrei-

bung wurde auch schon eine Ersatzschaltung mit Silberlingen für den Schaltstab gezeigt. Aus diesem Grund folgt hier die Beschreibung des Schaltstabes mit einer Ersatzschaltung aus Elektronikmodulen. Den Originalschaltplan habe ich auf den Seiten der fischertechnik-Community gefunden [3].

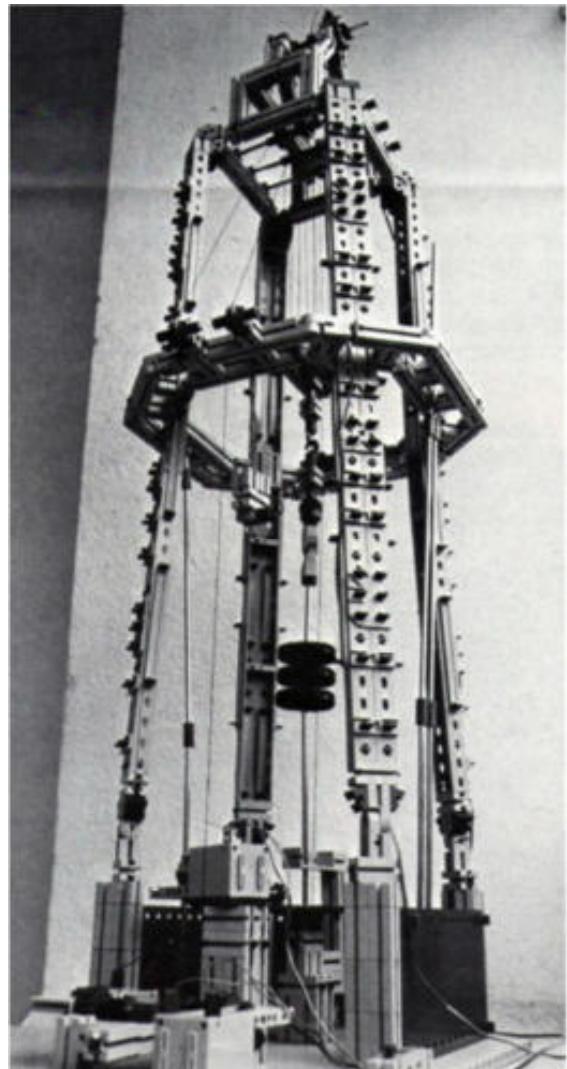


Abb. 7: Bohrturm



Abb. 8: Schaltstab von 1969 aus dem Baukasten l-e 1 [4]

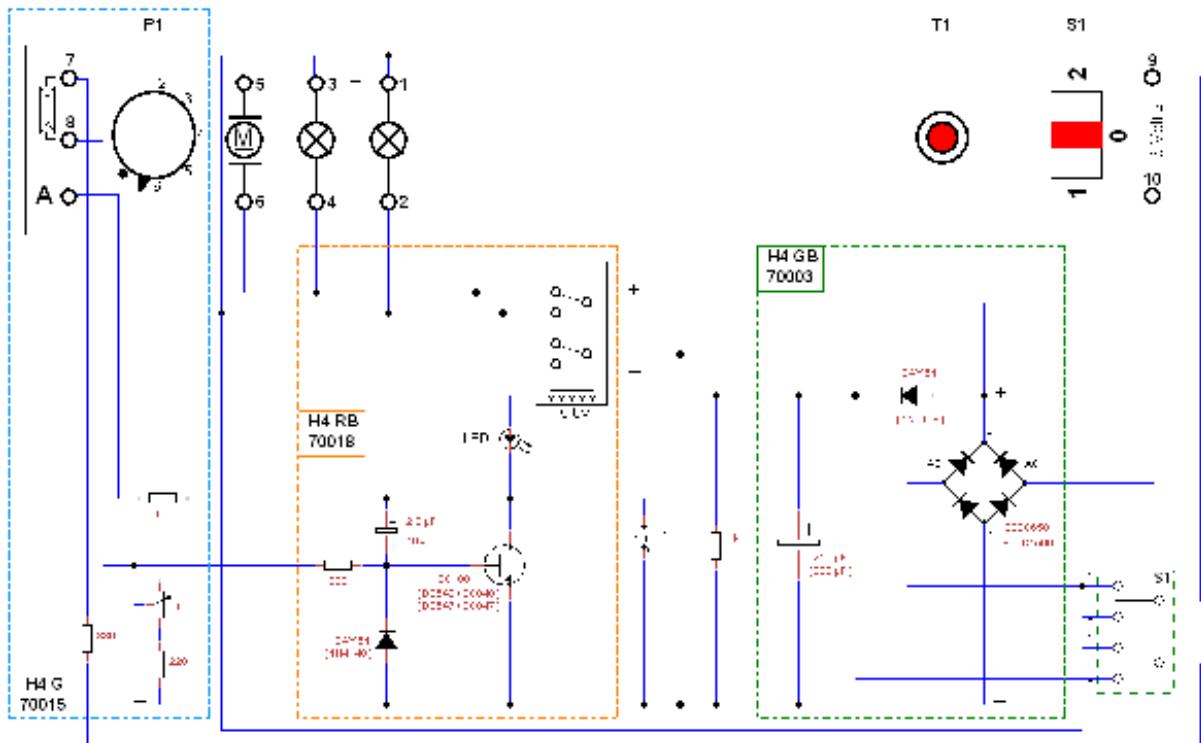


Abb. 9: Schaltplan des Schaltstabs [3]

Die Schaltung des Schaltstabs habe ich noch einmal mit aktuellen bzw. noch erhältlichen Bauteilen neu erstellt (Abb. 9). Gleichzeitig habe ich zur besseren Übersicht die Teile anders angeordnet; ansonsten ist diese Darstellung identisch mit dem Schaltplan der fischertechnik-Community.

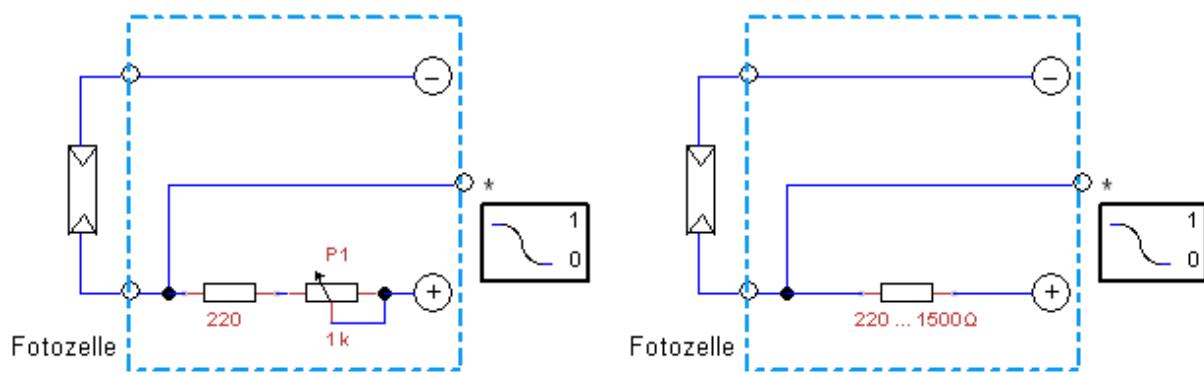
Ein Hinweis: Die Schaltung weist keine Freilaufdiode [7] auf. Der Stromstoß, den das zusammenbrechende Magnetfeld der Relaispule beim Abschalten erzeugt, kann andere Bauteile beschädigen. Wer die Schaltung nachbauen oder einen Schaltstab reparieren will, sollte diese nachrüsten.

Der Schaltstab besteht aus drei Bereichen. Jeder Bereich hat eine farbige Umrandung und entspricht einem Elektronikbaustein (Silberling; H4G, H4RB und H4GB) oder Elektronikmodul (70015, 70018 und 70003). Allerdings ist im Schaltstab bereits eine feste Verdrahtung der Relaisanschlüsse vorgesehen, die bei Verwendung von Silberlingen oder Elektronikmodulen erst herzustellen ist.

Die Schaltung des Schaltstabs

Der Bereich mit der grünen Umrandung dient der Versorgung des Schaltstabs mit Spannung. Als der Schaltstab entwickelt wurde, gab es noch den Trafo mot. 4 mit einem seitlichen 6 V~-Wechselspannungsanschluss. Die Wechselspannung muss erst in eine Gleichspannung umgewandelt werden – dies übernimmt der Gleichrichterbaustein (H4GB) oder das Versorgungsmodul (70003).

Das Herzstück des Schaltstabs ist der orange umrandete Bereich bestehend aus einem Verstärker (Transistor), der zur Ansteuerung des Relais dient – dafür kann der Relaisbaustein mit Verstärker (H4RB) bzw. das Relaismodul (70018) als Ersatz verwendet werden. Im blau umrandeten Bereich ist eine Schwellenwertschaltung untergebracht, wie sie im Grundbaustein (H4G) oder Multifunktionsmodul (70015) vorhanden ist. Allerdings enthalten sowohl der Grundbaustein als auch das Multifunktionsmodul zusätzlich einen Verstärker.



* Zum Anschluss E vom H4 RB oder zum Anschluss IN eines 70018.

Abb. 10: Ersatzschaltung für einen Schwellenwertregler statt Einsatz eines H4G oder 70015

In den Modellen wird nur ein Schwellenwertregler für die Fotozellen benötigt, den man auch aus einem festen Widerstand mit Fotozelle oder einem Vorwiderstand mit Potentiometer und Fotowiderstand herstellen kann. Abb. 10 zeigt eine entsprechende Ersatzschaltung.

Den Regler (Poti) findet man im Potentiometer-Baustein (H4PB) bzw. beim Messmodul (70022). Bitte den Vorwiderstand von $220\ \Omega$ beim Potentiometer nicht vergessen, der als Schutz dient. Wird das Potentiometer auf einen Widerstandswert von $0\ \Omega$ gestellt, wird durch den Vorwiderstand verhindert, dass es zum Kurzschluss oder zur Beschädigung der Fotozelle oder des Potentiometers kommt.

Fällt Licht auf die Fotozelle, wird diese leitend und die Spannung am Ausgang (in Abb. 10 mit * markiert) wird geringer. In diesem Fall erfolgt am Ausgang ein Wechsel von high auf low. Wird eine umgekehrte Logik am Ausgang benötigt, kann entweder ein Inverter nachgeschaltet werden oder man vertauscht die Beschaltung von Plus und Minus am Schwellenwertregler.

Anmerkung: Das Messmodul 70022 wird in Kürze im Online-Shop erhältlich sein [5]. Wer schon dazu ein paar Information vorab haben möchte, hält bitte nach dem Artikel zum Messmodul Ausschau.

Schlussbemerkung

Damit sind erst einmal alle Voraussetzungen für die neue Reihe und den ersten Modellnachbau geschaffen, der in der nächsten ft:pedia erscheinen wird.

Gerne könnt ihr mir auch eure Schaltungen oder Modelle zukommen lassen, wenn es darum geht, die Schaltung mit Elektronikmodulen anstatt mit Silberlingen zu realisieren – schickt die Anfrage bitte an elektronik@funke4you.de.

Quellen

- [1] FTDB, fischertechnik-Datenbank: <https://ft-datenbank.de>
- [2] fischertechnik-Club NL: [Clubmodelle](#).
- [3] [Schaltplan des 1-e 1](#) Elektronik-Schaltstabs auf der ftc-Website
- [4] Stefan Falk: *Perlentauchen (Teil 4)*. [ft:pedia 2/2013](#), S. 18–30.
- [5] *santjohanser Spielen. Lernen. Technik*. Der autorisierte fischertechnik-Fachhändler, <https://santjohanser.de>.
- [6] Dirk Fox, Stefan Falk: *Die Clubheft-Modelle (1969 – 2011)*. [ft:pedia 4/2011](#), S. 4–5.
- [7] Wikipedia: [Freilaufdiode](#).

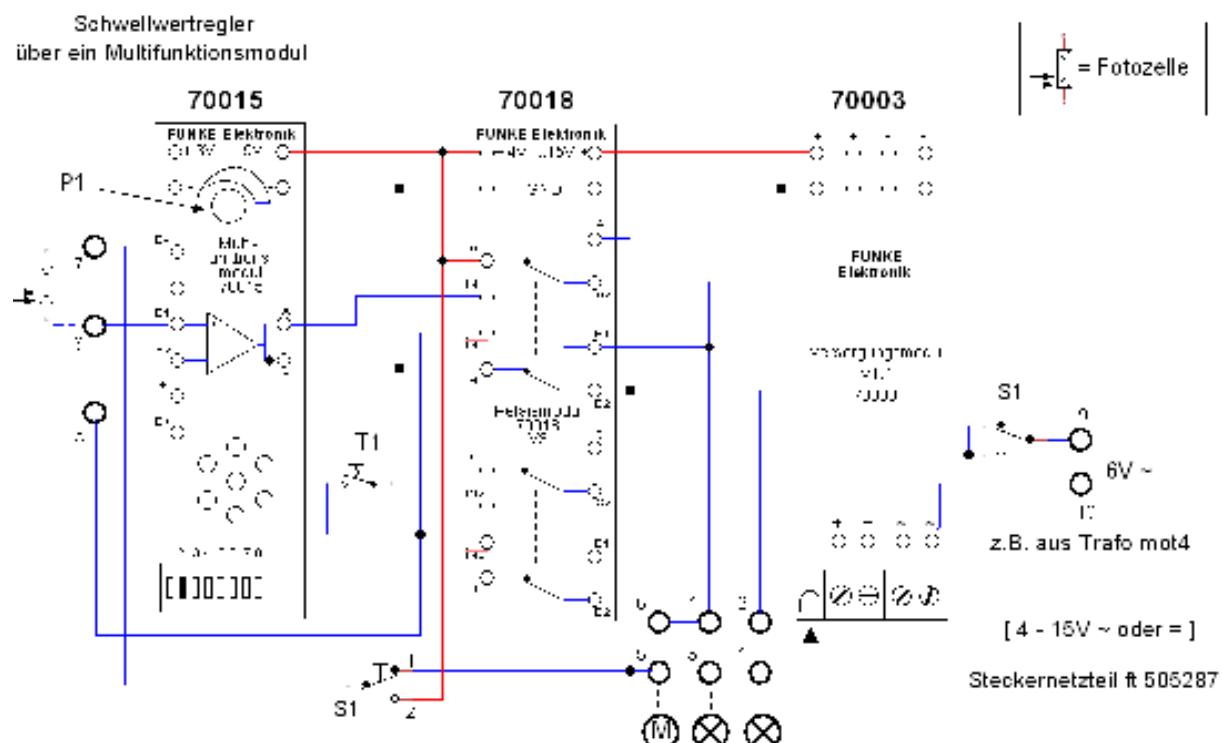


Abb. 11: Vollständige Nachbildung des Schaltstabs mit Elektronikmodulen – der Schwellenwertregler wird mit einem Multifunktionsmodul realisiert.

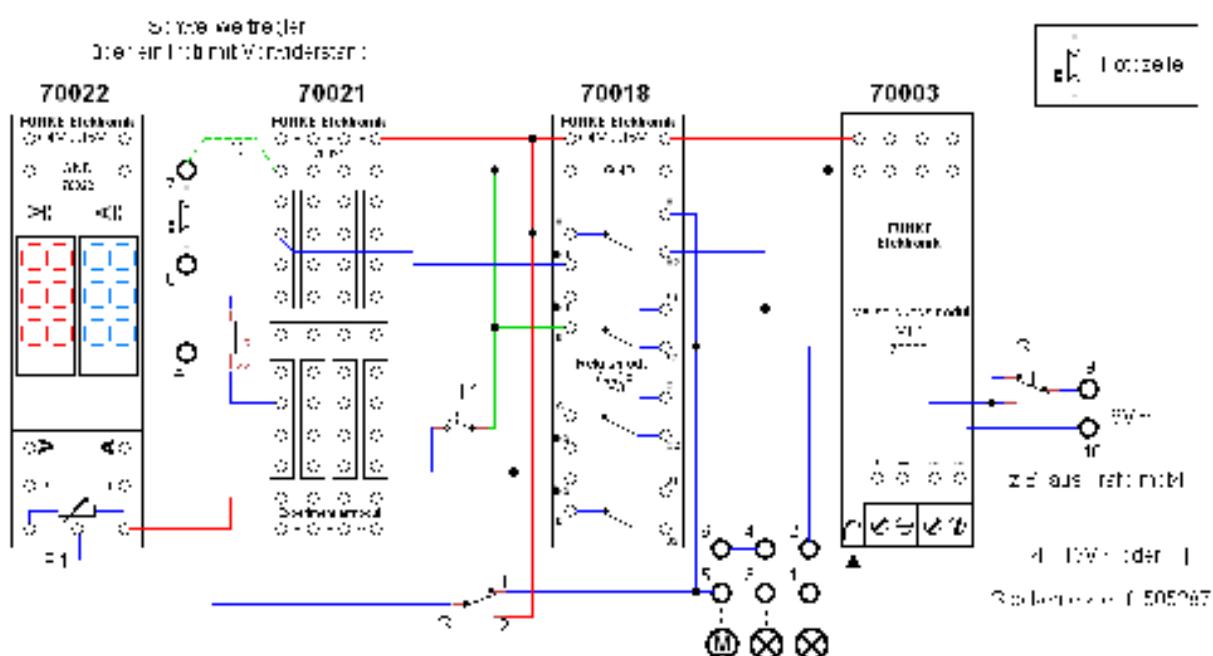


Abb. 12: Vollständige Nachbildung des Schaltstabs mit Elektronikmodulen – der Schwellenwertregler wird mit einem Potentiometer realisiert.

Mechanik

Nie mehr schief gewickelt

Florian Bauer

In diesem Beitrag geht es um verschiedene Seilführungs-Systeme mit fischertechnik.

In diesem Beitrag werden fischertechnik-Modelle vorgestellt, mit denen man Fäden und Seile sauber aufwickeln kann:

- Modell 1: Einlagige Seilführung mit fischertechnik-Schnecke
- Modell 2: Auto-Reverse für Linearantrieb mit mechanischer Umschaltung
- Modell 3: Seilführung für mehrlagiges Wickeln mit separatem elektromechanisch gesteuertem Seilführungs-Antrieb
- Modell 4: Mehrlagige Seilführung mit Kreuzgewindespindel

Einleitung

Bei Kränen, Hub- und Containerbrücken kommen Winden für Seile zum Einsatz. Die Seile werden auf Motor betriebene Trommeln aufgewickelt.

Für die meisten Fälle im Modellbau kommt es nicht darauf an, dass die Seile 100 % ordentlich aufgewickelt werden. In der realen Welt ist es aber wichtig, dass Seile sauber aufgewickelt werden, denn durch unordentliches Aufspulen kommt es zu größerer Beanspruchung von Seilen oder Kabeln und ungleichmäßiger Seilbelegung der Trommel pro Umdrehung, die sich mit steigender Zahl der „Fehlwicklungen“ verschlechtert. Dies ist vor allem dann problematisch, wenn mehrere Seile synchron gewickelt werden sollen.

Ein anderes Einsatzgebiet ist die Wicklung von elektronischen Spulen, wo man eine möglichst gleichmäßige Wicklung benötigt.

Es gibt verschiedene Ansätze um Seile ordentlich auf eine Winde aufzuwickeln:

- a) Wenn ein Seil in einem kleinen Winkel auf die Windentrommel aufläuft, legt es sich oft schon von selbst richtig an. Dies kann man beim Umspulen von Fäden von Nähgarn auf die Spule der Nähmaschine sehr gut beobachten.
- b) Für dickere Seile kommt in der Praxis die sog. LEBUS®-Rille zum Einsatz, ein Rillenmuster, das der Windentrommel eingeprägt ist. Die Breite der Rillen entspricht dem Durchmesser des aufzuwickelnden Seils. Von fischertechnik gab es die Seilwinden-Halbschalen mit der Artikelnummer [32086](#) (grau) bzw. [32973](#) (rot), die dieses Prinzip realisieren.

Kann man nicht sicherstellen, den Anlaufwinkel des Seils auf die Trommel in einem Bereich zwischen $0,25^\circ$ und $1,5^\circ$ zu halten, sollte man ein Seilführungs-System einsetzen, das das Seil entsprechend der Auf- oder Abwicklung mitführt [3].

Wickeln einlagiger Spulen

In diesem Abschnitt wird eine einfache Seilführung für einlagige Wicklungen vorgestellt. Sie ist geeignet für Seil-Roboter (*cable bots*), bei denen es darauf ankommt, dass bei jeder Umdrehung der Windentrommel genau die gleiche Seillängenänderung erfolgt.

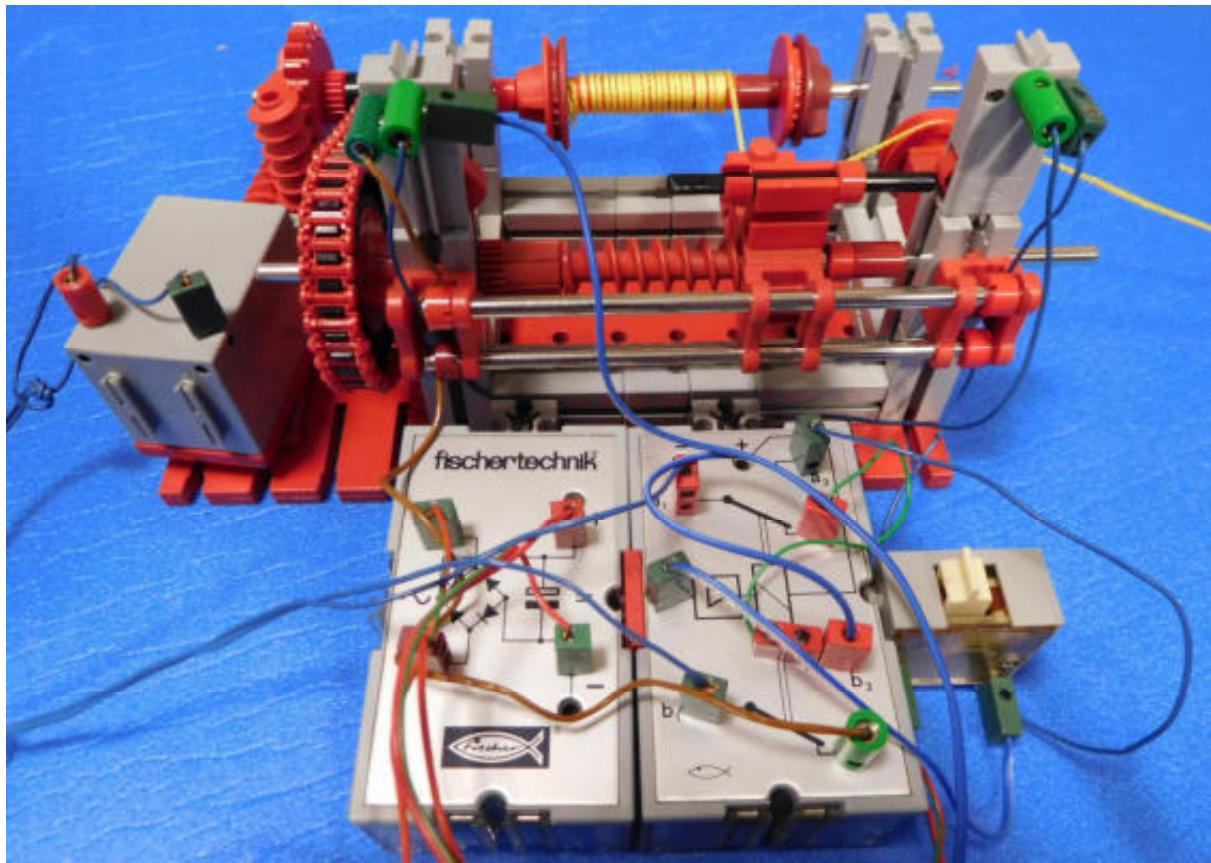


Abb. 1: Modell 1 – einfache Seilführung für einlagige Wicklung. Die Endschalter und das Relais sorgen dafür, dass die Winde an den Endpunkten der Seilführung abgeschaltet wird.

Abb. 1 zeigt das Modell, Abb. 2 den zugehörigen Schaltplan. Die Windentrommel wird von einem Getriebemotor angetrieben. Die Seilführung ist über einen fischertechnik-Schneckenantrieb realisiert, der über eine Zahnrad-Übersetzung 10:30 bewegt wird. Bei einer Umdrehung der Winde verschiebt sich der Läufer auf der Schnecke um $5/3$ mm, was etwas mehr als eine Fadenbreite des gelben Fadens ist. Die Spule ist 4 cm lang und wird nur einlagig mit 24 Windungen gewickelt. Damit lässt sich eine Seillänge von 57 cm aufwickeln.

Wickeln mehrlagiger Spulen

In Fällen, in denen mehrlagige Wicklungen von Seilen, Kabeln, Schläuchen, Fäden oder Drähten gefordert sind, ist eine Seilführungs-Mechanik notwendig, bei der die Seilführungsrolle beim Erreichen der Spulen-Enden die Richtung umkehrt. Die

Vorrichtung muss folgende Anforderungen erfüllen:

1. Die Seilführung soll das Seil senkrecht auf die Windentrommel leiten, und zwar so, dass es gleichmäßig, ohne Lücke oder Überlappung gewickelt wird. Dazu muss sich die Seilführungsvorrichtung synchron zur Wicklung parallel zur Windenachse bewegen.
2. Die Seilführung soll das Seil bei einer Umdrehung der Winde um eine Seilbreite nachführen.
3. Die Wickelrichtung muss umgekehrt werden, wenn das Seil ein Ende der Winde erreicht.
4. Wenn zwischen Auf- und Abspulen umgeschaltet wird, muss sich auch die Wickelrichtung umkehren.
5. Der Zustand der Seilführungsrichtung darf beim Ausschalten nicht verloren gehen.

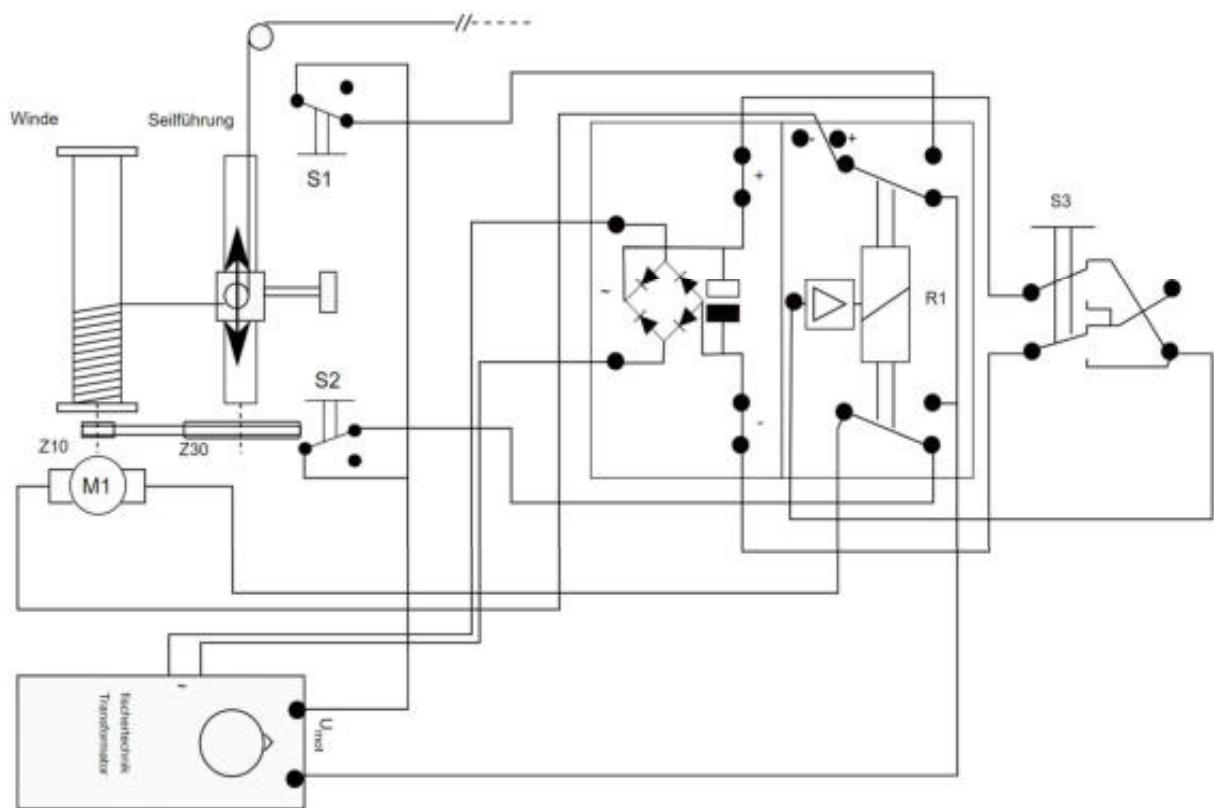


Abb. 2: Schaltplan für Modell 1: Erreicht die Seilführung einen der Endschalter S1 oder S2, wird der Motor abgeschaltet und kann durch Umpolen von S3 wieder in die andere Richtung gestartet werden.

6. An den Umschaltpunkten sollte die Seilführung kraftschlüssig sein. Es soll keinen Totpunkt geben, an dem die Seilführung nicht greift.
7. Nahe der Umkehrpunkte soll die Seilführung weitgehend linear arbeiten, sodass es nicht zu dichten Aufwicklungen an den Enden kommt.

Mechanische Wende-Vorrichtung

Die rein mechanische Realisierung einer Umschalt-Vorrichtung für eine Seilführung ist eine kleine Herausforderung.

Eine Idee besteht darin, jeweils an den Wendepunkten den Gang mittels eines schaltbaren Zwischenzahnrades zu reversieren. Abb. 3 zeigt ein Modell für eine mechanische Umkehrvorrichtung mit einem federbetriebenen Umschalt-Mechanismus.

Das Modell besteht aus einer fischertechnik-Schnecke mit Läufer, der über ein

schaltbares Getriebe mit Vor- und Rückwärtsgang angetrieben wird. Der Läufer bewegt bei seiner Fahrt den Hebel eines bistabilen Feder-Umschalt-Mechanismus, der jeweils an den Wendepunkten umschlägt, die Schaltachse (unten) verschiebt und dadurch zwischen Vor- und Rückwärtsgang umschaltet.

Nachteile dieses Modells:

Die Umschaltung erfolgt nicht instantan, da der Schaltmechanismus eine gewisse Zeit (ca. 0,5 – 1 s) braucht. Während dieser Zeit ist die Seilführung „ausgekoppelt“, was Bedingung 6 verletzt.

Am problematischsten ist aber die Verletzung der Bedingung 3: Wird zwischen Auf- und Abwicklung umgeschaltet, kehrt sich zwar die Seilführungsrichtung um, jedoch befindet sich dann die Schaltachse in der falschen Position, um noch geschaltet zu werden.

Man müsste also bei der Umkehrung des Windenantriebs auch die „Auslöserichtung“ des Schnappmechanismus umkehren. Dafür ist mir noch keine gute Idee gekommen und ich wäre an Vorschlägen der Leserschaft interessiert.

Ein Seilführungssystem mit dem vorgestellten Modell wäre also nur für eine einlagige Aufwicklung geeignet.

Elektromechanische Lösung mit „Hilfsmotor“

Im Netz gibt es einige interessante und nützliche Modelle von Elektronik-Bastlern, die Mikrocontroller-gesteuerte Spulmaschinen für mehrlagige Spulen mit fischertechnik gebaut haben [4, 5]. In diesen Modellen gibt es neben dem Winden-Antrieb einen weiteren für die Seil- bzw. Drahtführung. Die Modelle arbeiten computergesteuert und erlauben deshalb eine flexible Anpassung der Spulenparameter. Im fischertechnik-Forum wurde kürzlich auch ein beeindruckendes Modell eines Containerbrückenkrans vorgestellt, in dem eine Seilführung mit Hilfsmotor verwendet wird [8].

Im Folgenden beschreibe ich eine Abwandlung von Modell 1 mit einem zusätzlichen „Hilfsantrieb“ für die Seilführung (siehe Abb. 4). Der Aufbau ist im Wesentlichen

der gleiche wie bei Modell 1. Es müssen lediglich die Kette entfernt und die Seilführungsschnecke mit einem Mini-Motor angetrieben werden.

Die Umschaltung der Seilführung erfolgt über End-Taster, die jeweils beim Erreichen der Wendepunkte eine Relais-Schaltung umschalten (toggeln). Da der Winden- und der Seilführungsmotor von der gleichen Spannungsquelle (Umot) versorgt werden, fahren beide Antriebe immer synchron. Das Geschwindigkeitsverhältnis der beiden Motoren muss durch Getriebe so angepasst werden, dass der Vorschub das Seil dicht an dicht aufwickelt.

Der Motor für die Seilführung wird über die Relais-Schaltung umgepolzt, wenn ein End-Taster ausgelöst wird. Beide End-Taster sind parallelgeschaltet.

Die Schaltung hat folgende Elemente:

- M1: Winden-Motor
- M2: Seilführungs-Motor
- S1, S2: parallel geschaltete Taster für die Wende-Erkennung
- R1: Persistentes RS-Relais (Schrack RT424F-06), Schaltspannung 5 V
- R2: fischertechnik-Relais als UND-Glied für R und Q

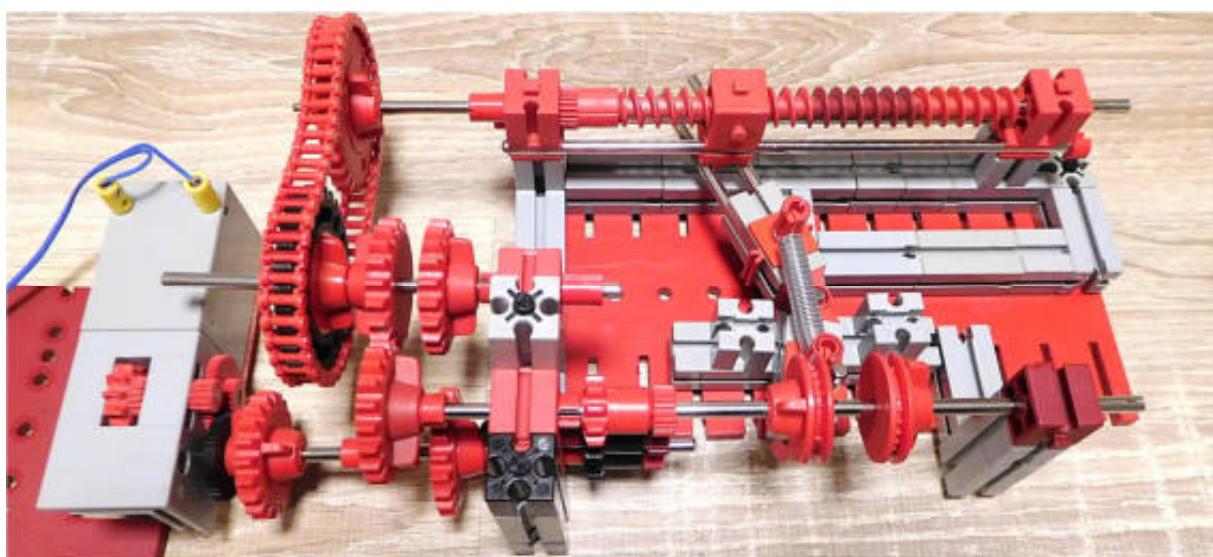


Abb. 3: Modell 2 – Auto-Reverse für Linearantrieb – Model mit mechanischer Umschaltung

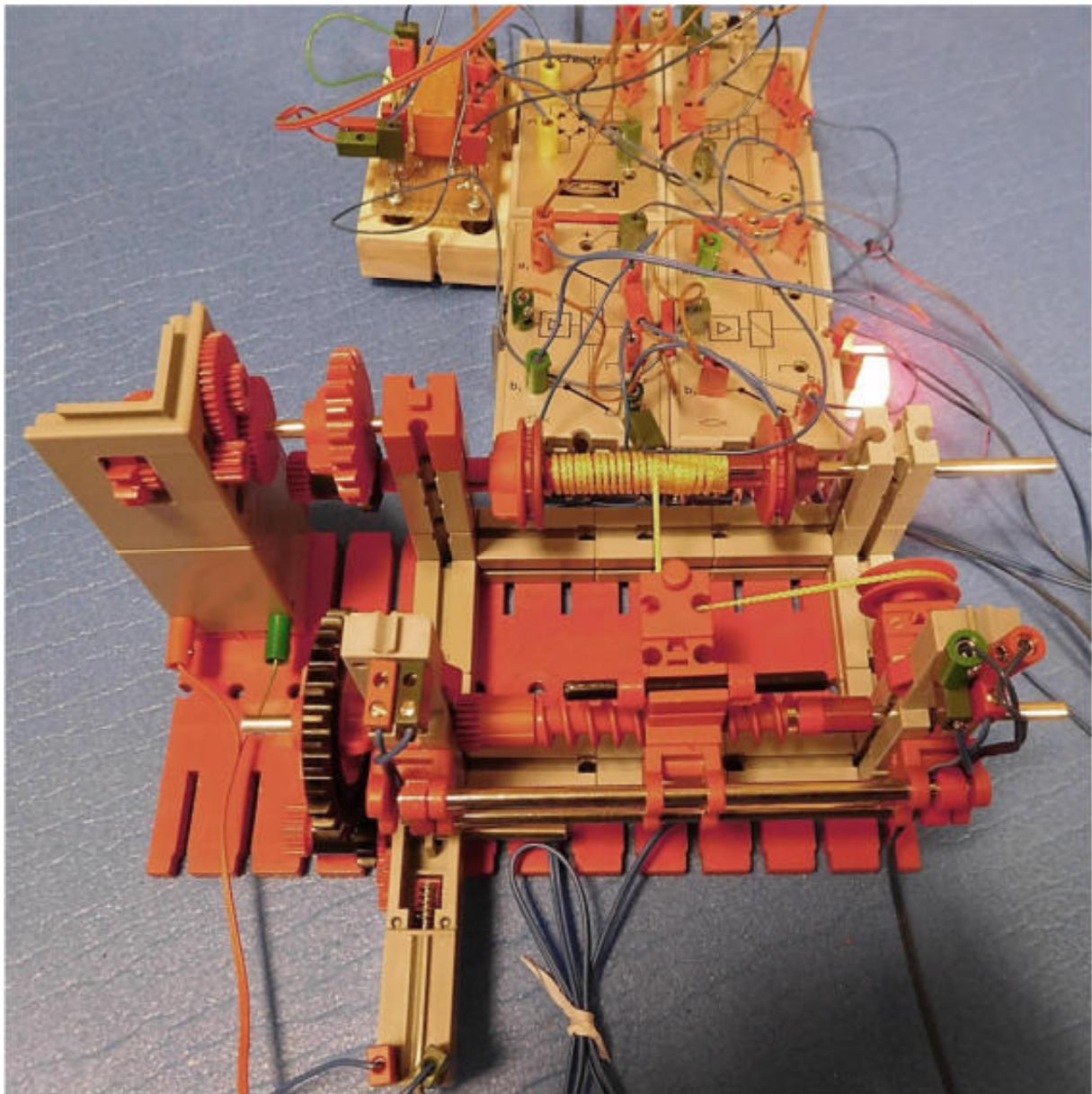


Abb. 4: Modell 3 – Seilführung mit Hilfsmotor und elektromechanischer Wende-Schaltung

- R3: fischertechnik-Relais als UND-Glied für S und $\sim Q$
- R4: fischertechnik-Relais für die Umpolung des Seilführungsmotors

R1 wirkt mit der Beschaltung über R2 und R3 als persistentes T-Flip-Flop [9] und wird beim Drücken eines Tasters durch einen negativen Stromimpuls über den Kondensator umgeschaltet. Durch die magnetische Persistierung des Relais' wird die Anforderung 5 sichergestellt.

Nicht eingezeichnet ist der Gleichrichter-Baustein für die Spannungsversorgung der Relais.

Der Königsweg – Seilführung mit Kreuzgewindespindel

Sowohl die mechanische als auch die elektromechanische Lösung erfordern einen erheblichen Aufwand und sind fehleranfällig. Daher wäre eine robuste, rein mechanische Realisierung von Vorteil.

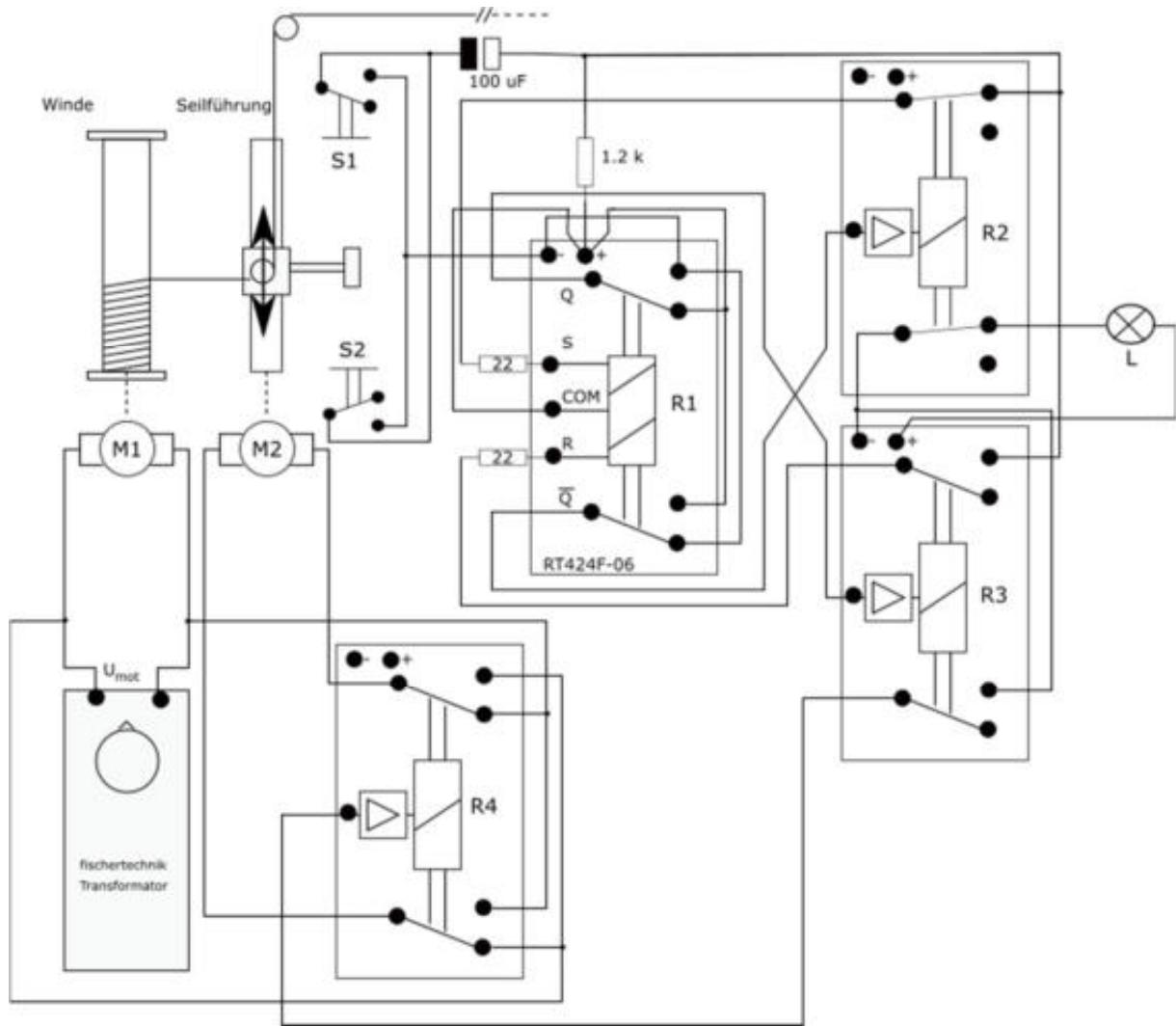


Abb. 5: Schaltplan für Reversierungs-Schaltung

Abb. 6: Kreuzgewindespindel mit Gleitstein
(mit freundlicher Genehmigung der Fa.
Bornemann Gewindetechnik)

Tatsächlich gibt es eine solche Lösung, die inzwischen zum Industriestandard geworden ist: Die Kreuzgewindespindel oder

Reversier-Spindel (Abb. 6). In Deutschland fertigt zum Beispiel die Firma Bornemann Gewindetechnik solche Spindeln [6].

Das Prinzip der Kreuzgewindespindel ist schnell erklärt. Auf einer Welle sind zwei gegenläufige Gewinde eingefräst, die an beiden Enden ineinander übergehen. Der sich entlang der Spindel bewegende Läufer, der das Seil führt, enthält einen Gleitstein, der in die Gewindespuren greift und sich immer nur in einer Gewindespur bewegen kann. Er wechselt an den Wendepunkten die Richtung. Die Wendepunkte müssen so beschaffen sein, dass sich der Gleitstein ohne Verklemmung in den Wendebereichen drehen kann, um in die gegenläufige

Gewindespur zu kommen. Es muss auf jeden Fall sichergestellt sein, dass der Gleitstein nicht auf dem Weg zur Wende in die falsche Spur rutschen kann, um eine ungewollte Umkehrung zu vermeiden.



Abb. 7: Seilführung einer Kreuzgewinde-spindel bei einer Schwerlastwinde (mit freundlicher Genehmigung der Fa. Bornemann Gewindetechnik)

Solche Kreuzgewindespindeln sind im Allgemeinen Maßanfertigungen. Wäre es möglich, mit 3D-Druck solche Spindeln für fischertechnik herzustellen? Im fischertechnik-Forum wurde diese Frage in einem kleinen inoffiziellen Konstruktionswettbewerb beantwortet.

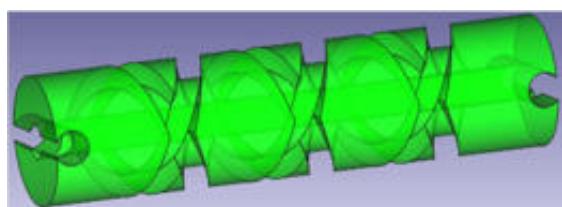


Abb. 8: Erstes FreeCAD-Modell einer fischertechnik-Kreuzgewindespindel

In Abb. 8 sieht man mein erstes FreeCAD-Modell einer Kreuzgewindespindel, Abb. 9 den zugehörigen Gleitstein. Man erkennt die gegenläufigen Spuren.

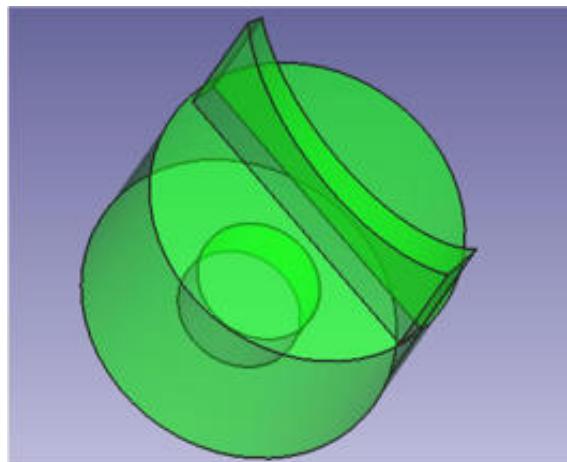


Abb. 9: Gleitstein

Jan (User *juh* aus der fischertechnik-Community) hat die Herausforderung angenommen und mit FreeCAD ein Set von drei verschiedenen Teilen für eine modulare fischertechnik-Kreuzgewindespindel mit Gleitstein entworfen. Die Teile lassen sich auf einem 3D-Filament-Drucker mit geeigneter Kühlung ohne Support in den Gewindespuren in guter Qualität drucken (siehe Abb. 10).



*Abb. 10: Modulares Teile-Set für fischertechnik-Kreuzgewindespindel aus dem 3D-Drucker (Foto: Jan, User *juh* aus der fischertechnik-community)*

Abb. 11 zeigt die montierte Spindel und den Läufer mit dem Gleitstein. Die STL-Daten für den 3D-Druck hat Jan freundlicherweise auf Printables publiziert [7].

In Abb. 13 ist die Kreuzgewindespindel im Einsatz bei einer Spulvorrichtung zu sehen. Das längere Mittelteil, mit dem eine Verlängerung der Spule um 3 cm möglich wäre, kommt bei diesem Modell nicht zum Einsatz.

Zwischen Antrieb der Seilwinde und der Seilführungsachse befindet sich ein Getriebe mit einer Übersetzung von zweimal 10 : 30, das den Hub der Kreuzgewindespindel an den Wickelvorschub anpasst.

Mit der Kreuzgewindespindel werden die oben genannten Anforderungen für eine Seilführung mit geringem Bauteilaufwand automatisch erfüllt. Nur bei Forderung 7 muss wegen der Glättung der Wenden ein kleiner Abstrich gemacht werden. Da keine zusätzlichen Motoren und Steuerungen notwendig sind, ist die Kreuzgewindespindel eine robuste und zuverlässige Wahl für die Lösung der Seilspul-Aufgabe.

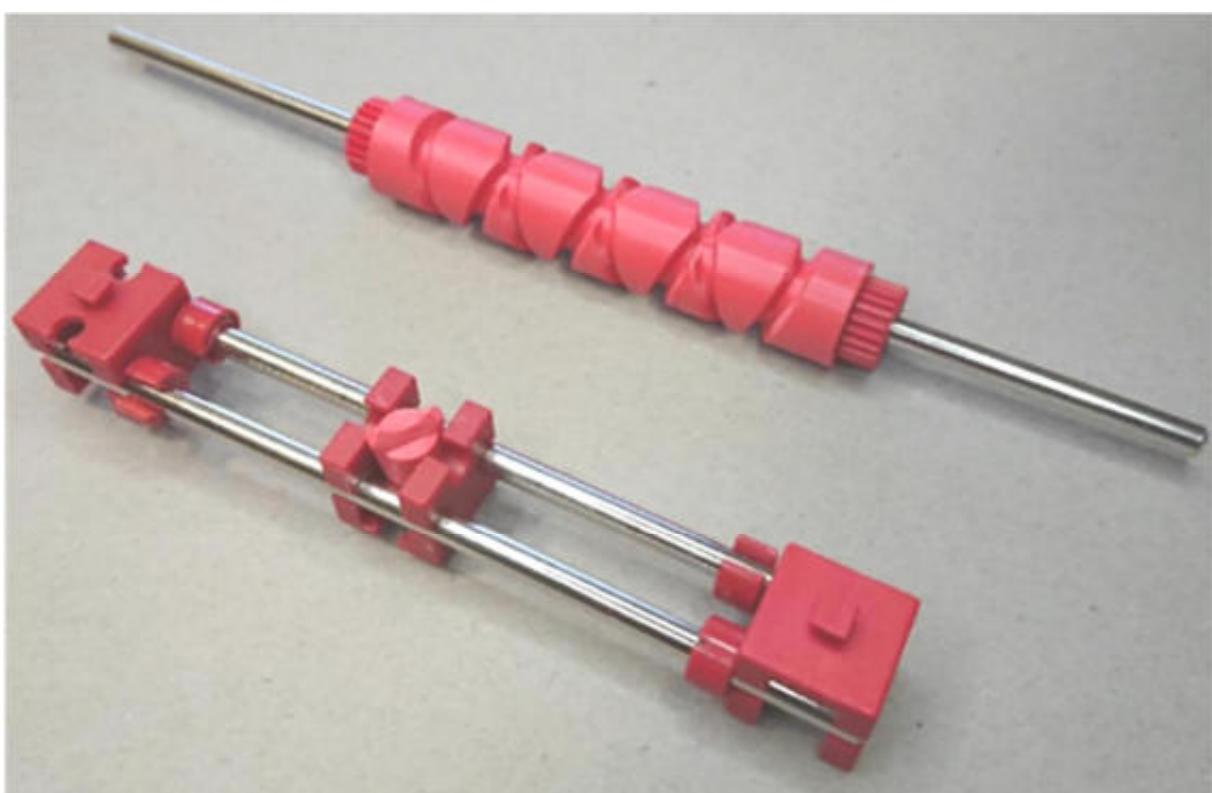
Lösungsvarianten mit Einsatz eines zweiten Elektromotors für die Seilführung können aber trotzdem interessant sein, wenn man keine Kreuzgewindespindel hat.

Ein weiterer Vorteil ist, dass man Spul-dichte und Wickelbereich bei Verwendung

eines Hilfsmotors leicht einstellen kann, was bei einer Kreuzgewindespindel nicht so ohne Weiteres geht.



Abb. 12: Moritz von Soden, Geschäftsführer der Fa. Bornemann Gewindetechnik, vor einer Schiffswinde mit Kreuzgewindespindeln für die Seilführung (mit freundlicher Genehmigung der Fa. Bornemann Gewindetechnik)



*Abb. 11: Montierte fischertechnik-Kreuzgewindespindel und Läufer mit Gleitstein
(Foto: Jan, User juh aus der fischertechnik-community)*

Wer Zugang zu einem 3D-Drucker hat, kann die Spindel drucken und ausprobieren. Auf jeden Fall zeigt sich hier wieder, wie man durch gezielte Entwicklung und den 3D-Druck von Spezialteilen das fischertechnik-Ökosystem erweitern kann.

Quellen

- [1] Seilwinden-Halbschalen im [fischertechnik-Forum](#)
- [2] Wikipedia: [Seilspul-Technologie](#).
- [3] LEBUS International Engineers GmbH: [Die Lebus®-Kreuzgewinde-spindel](#).
- [4] Thomas Kaltenbrunner: *fischertechnik Spulen-Wickelmaschine*. Auf [YouTube](#), 2015.
- [5] Oliver (User olli371): *Fischertechnik Spulenwickelmaschine*. Im [Radio-Bastler-Forum](#), 2019.
- [6] Bornemann Gewindetechnik GmbH & Co. KG: [Kreuzgewinde / Kreuzleitspindeln](#).
- [7] Jan (User juh der fischertechnik-Community): *Self-reversing screw for fischertechnik / Umkehrspindel für fischertechnik*. Auf [Printables](#), 2022, mit STL-Dateien für das Teileset.
- [8] User Pinot der fischertechnik-Community: *Containerbruecke & Spreader*. Im [fischertechnik-Community-Forum](#), 2022.
- [9] GeeksforGeeks: *Conversion of S-R Flip-Flop into T Flip-Flop*. Auf [geeksforgeeks.org](#), 2020.

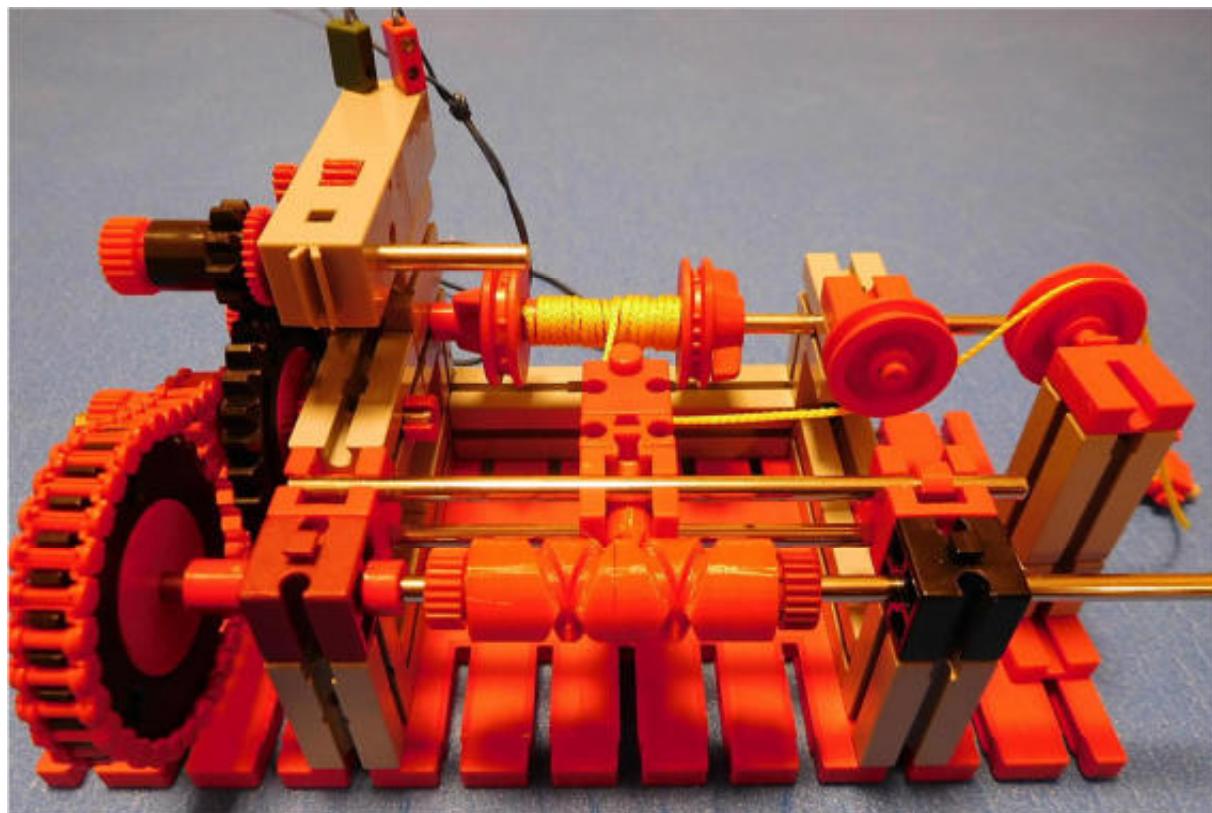


Abb. 13: Modell 4 – Kurze fischertechnik-Kreuzgewindespindel im Einsatz für mehrlagige Wicklung

Uhren

Ein einfach zu bauendes Uhrenpendel

Stefan Falk

Was hätte ich mich in meiner Kindheit gefreut, wenn ich mit fischertechnik einen gut funktionierenden Pendelantrieb mit Pendelhemmung hinbekommen hätte. Allerdings waren meine Fertigkeiten damals noch zu gering – und in keiner Anleitung und keinem Club-Heft war ein solches Modell beschrieben. Erst in den 1990ern gelang mir eine richtige Stand-Pendeluhr – mit einem großen Kieselstein als Gewicht. Deshalb hier eine Anleitung für ein Uhrenpendel, bei dem nichts auf Zehntelmillimeter justiert werden muss.

Uhren in der fischertechnik-Geschichte

Anleitungen

Die erste Uhr, die ich von fischertechnik sah, war ein Modell eines Uhrengetriebes in der Anleitung zum Ur-fischertechnik-Statikkasten 300S [1]:



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

Das war keine wirklich funktionierende Uhr, denn sie lief mit dem Motorantrieb viel zu schnell. Aber zwei wesentliche Elemente wurden dargestellt: a) Die Unterersetzung 1:12 zwischen Minuten- und Stundenzeiger (für die man das im 300S-Kasten enthaltene

Zahnrad Z30 benötigte) und b) wie man zwei Zeiger auf einer einzigen Achse antreiben kann. Für 1970 – grandios! Ich musste das sofort nachbauen!



Abb. 2: Dasselbe Modell etwas detaillierter in der Anleitung von 1971

Club-Hefte

Eine richtig funktionierende Uhr wurde im fischertechnik-Clubheft 1/1973 vorgestellt [2]: Ein h4-Grundbaustein (ein „Silberling“) steuerte als Taktgeber geschaltet einen Motor alle 30 s um einen Schritt weiter (Abb. 3). Auch dieses Modell – zu dieser Zeit einfach der Hammer! – musste man natürlich unbedingt nachbauen –

sofern man die benötigten Teile sein Eigen nannte.

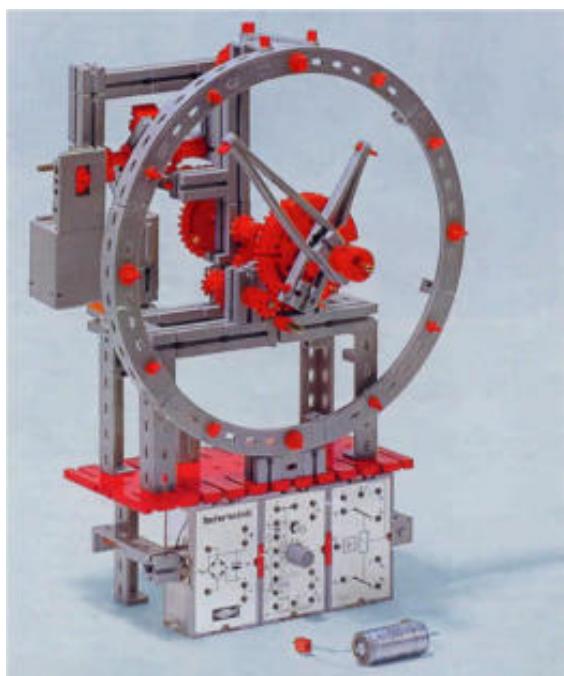


Abb. 3: Die elektronisch gesteuerte Uhr aus dem Clubheft 1973-1

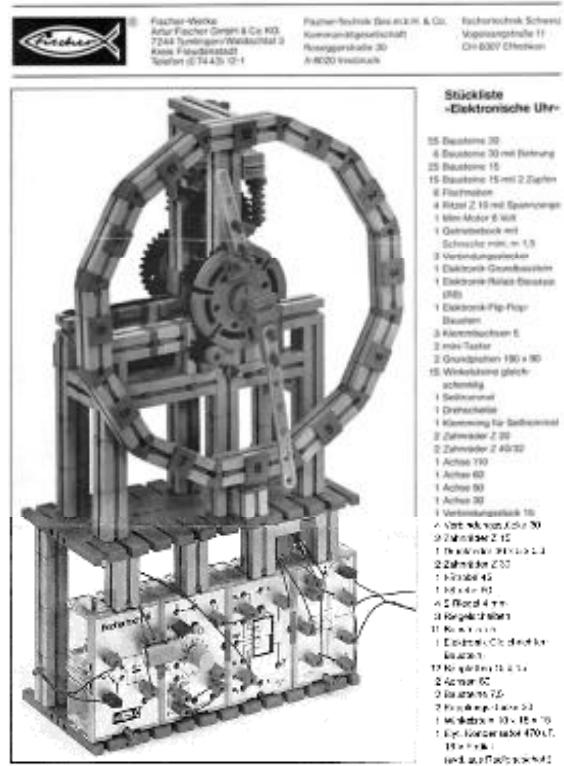


Abb. 4: Elektronisch gesteuerte Uhr – Clubmodell 2/77

Eine ganz ähnlich gebaute Uhr wurde später als Clubmodell 2/77 im Clubheft 2/1977 vorgestellt [3] (Abb. 4).

hobby-Begleitbücher

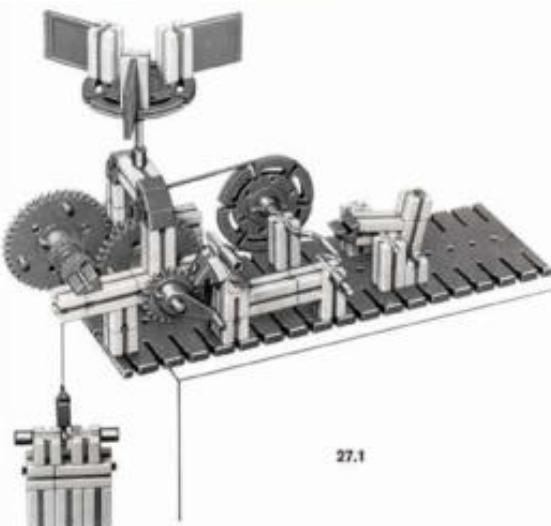


Abb. 5: Schlagwerk einer Pendeluhr aus dem hobby-1-Begleitbuch 2



Abb. 6: Pendeluhr aus dem hobby-1-Begleitbuch 2

Das Begleitbuch 2 zum Kasten hobby 1 geht mechanischen Uhren richtig auf den Grund [3]. Dort werden das Schlagwerk einer Pendeluhr (Abb. 5), eine Pendeluhr (Abb. 6), eine weitere Pendelhemmung (Abb. 7) und anderes beschrieben:

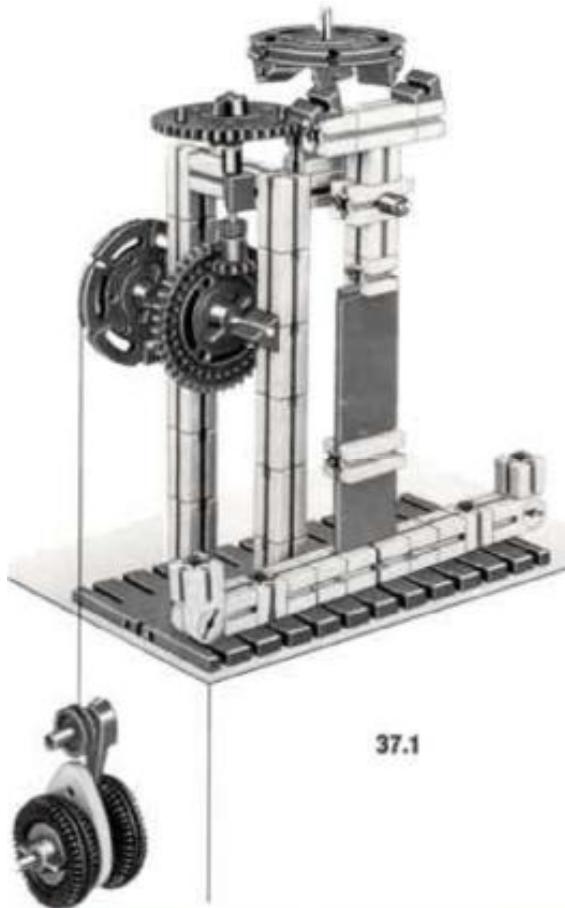


Abb. 7: Pendelantrieb und -hemmung aus dem hobby-1-Begleitbuch 2

Uhren in der fischertechnik Community

Mittlerweile sind die Zeiten anders. Bausteinbestände sind heute meist nicht mehr so bescheiden wie damals, neue Teile sind hinzugekommen, Computer-Interfaces und Mikrocontroller sind gang und gäbe – und vor allem können wir uns unsere Modelle gegenseitig im Internet zeigen und uns darüber auch auf fischertechnik-Conventions und -Stammtischen austauschen. Da ist die Quelle an Ideen, aus denen geschöpft wird, natürlich um ein Vielfaches größer. Unter dem Abschnitt *Uhren* im Bilderpool

der fischertechnik-Community [4] finden sich zuhauf funktionierende Uhrenmodelle mit ganz unterschiedlichen Zeitquellen, Mechaniken und Anzeigeformen.

Als eines von vielen Beispielen sei hier die erste mir bekannte fischertechnik-Zeigeruhr mit Stunden-, Minuten- und sogar Sekundenzeiger auf derselben Achse gezeigt – ein wunderschönes Modell von Thomas Püttmann [5]:

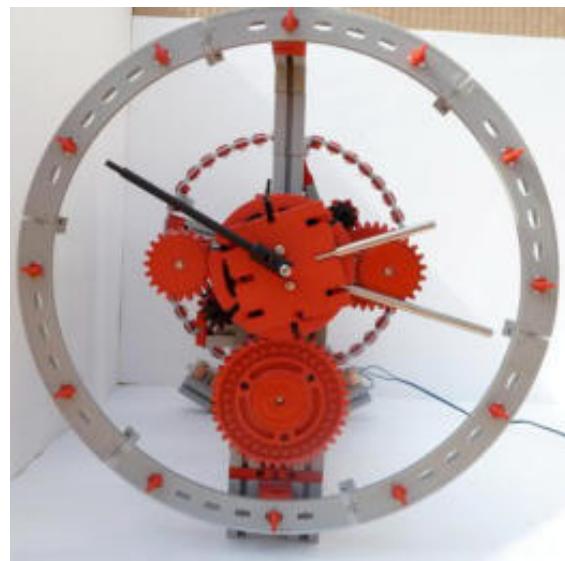


Abb. 8: Uhr mit Sekundenzeiger von Thomas Püttmann

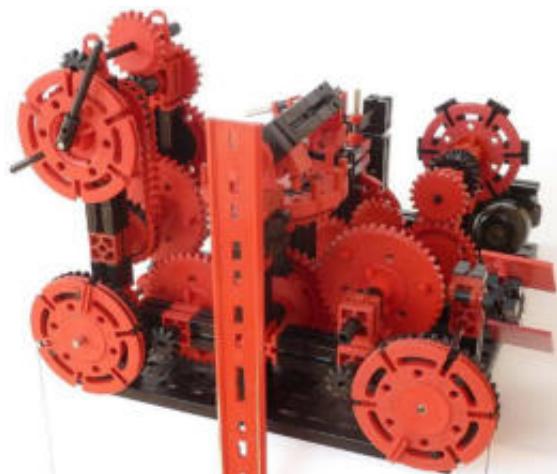


Abb. 9: Pendeluhr mit Schlagwerk von Thomas Püttmann [6, 7]

Eine weitere wunderbare Pendeluhr hat Thomas Püttmann im Buch *Technikgeschichte mit fischertechnik* [6, 7]

beschrieben. Sie hat sogar ein Schlagwerk (Abb. 9).

Eine fantastische und bemerkenswert genau gehende Pendeluhr hat Martin „Remadus“ Romann 2011 vorgestellt [8]:



Abb. 10: Stand-Pendeluhr von Martin Romann

Ein puristischer Pendelantrieb

So hoch wollen wir heute nicht hinaus. Ich stelle einen einfach zu bauenden Pendelantrieb mit folgenden Eigenschaften vor:

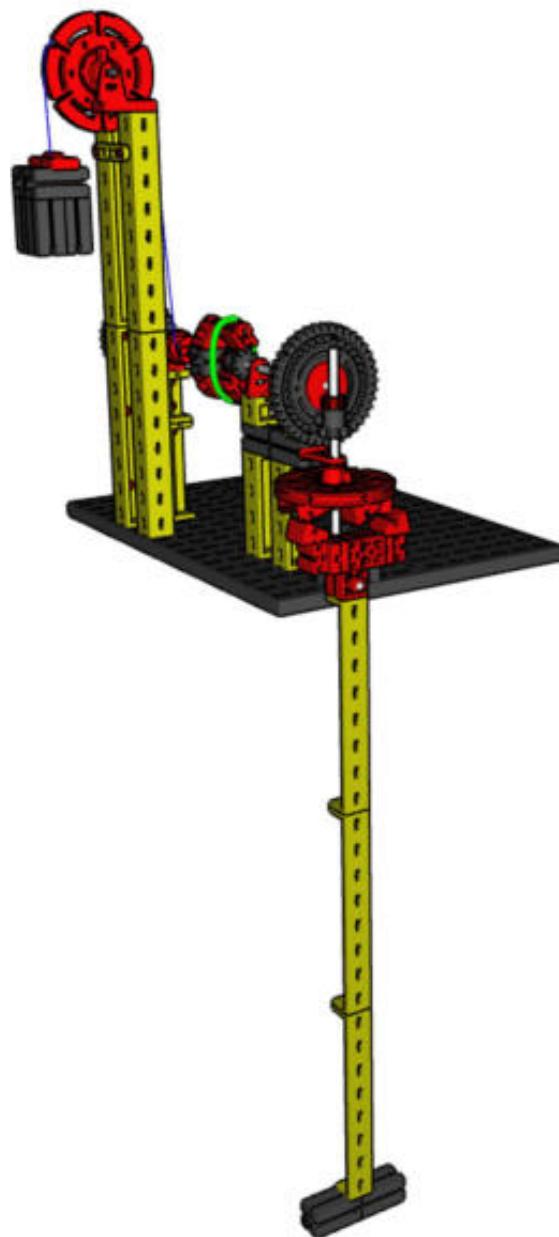


Abb. 11: Das gesamte Modell

- Er besteht ausschließlich aus unveränderten fischertechnik-Bauteilen (bis auf ein Haushaltsgummi).
- Es werden nur minimal viele Bauteile verwendet, und auch nur solche, die weit verbreitet sind.

- Der Pendelantrieb kommt ohne große Justierarbeiten aus. Einfach im Raster bauen, und es sollte funktionieren! Das Modell sollte deshalb auch für unsere jüngeren fischertechnik-Fans gut nachzubauen sein.
- Dennoch ist – neben der Pendelhemmung – ein kleiner technischer Leckerbissen eingebaut: Ein kompaktes Freilauf-Getriebe [9, 10] zum Aufziehen der Uhr.
- Als Gewicht genügen sechs Grundbausteine 30.

Wer den fischertechnik-Designer [11] oder den kostenlosen Viewer dazu besitzt, kann die Designer-Datei des Modells mit allen Baustufen und Baugruppen von [12] herunterladen. Abb. 11 zeigt das Modell im Ganzen.

Wenn ihr das Modell nachbaut, beachtet bitte: Alles muss ganz leichtgängig gebaut werden. Alle Achsen müssen sauber fluchten, nichts darf klemmen.

Aber der Reihe nach.

Baustufe 1

Das ist eine wichtige Basis, auch wenn nur ein Grundbaustein 30 und zwei Federnocken auf einer Bauplatte 500 benötigt werden:

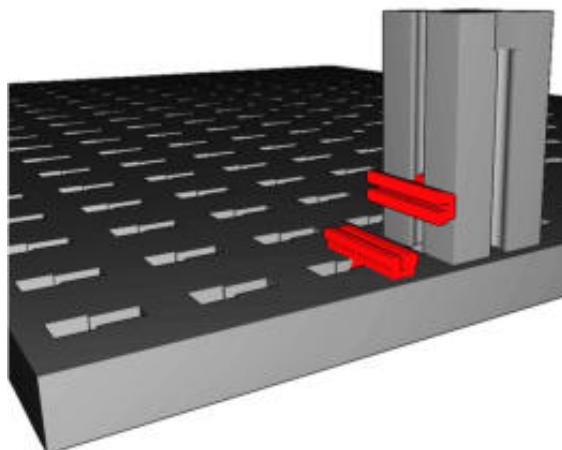


Abb. 12: Baustufe 1

Was wir hier sehen, wird später „vorne“.

Baustufe 2

Als nächstes wird lediglich ein Baustein 15 mit der Nut nach außen eingeschoben. Obenauf folgt eine [38253](#) S-Kupplung 15 2:

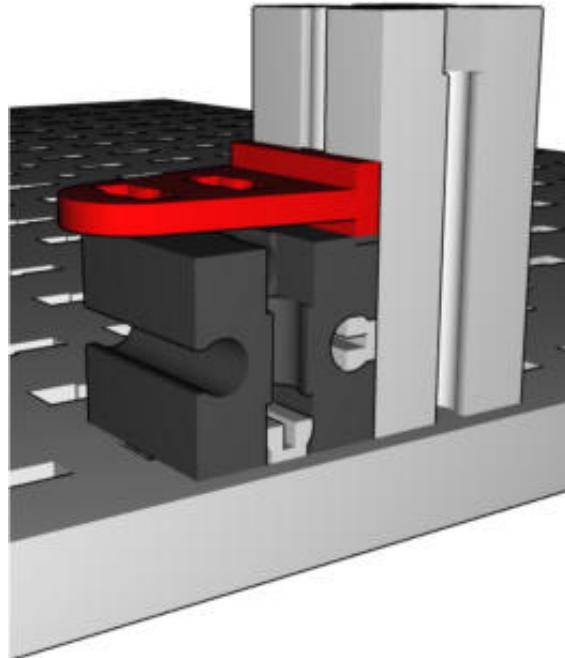


Abb. 13: Baustufe 2

Wichtig: Der Baustein 15 muss genau wie hier gezeigt ausgerichtet sein – Nut nach vorne, Nut senkrecht stehend!

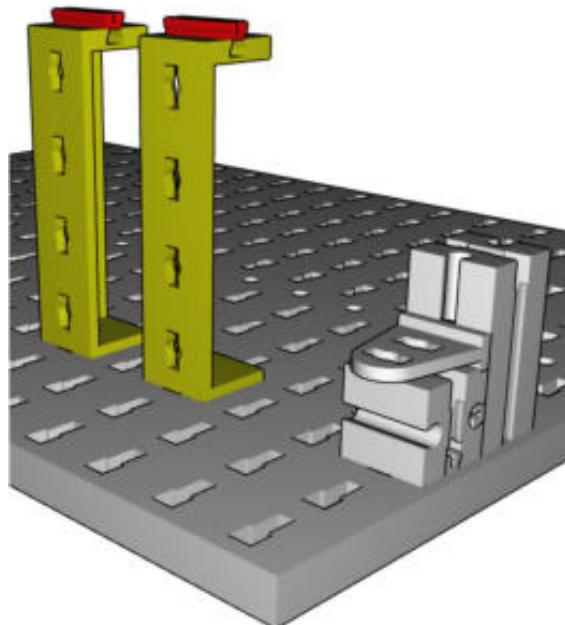


Abb. 14: Baustufe 3

Baustufe 3

Es folgen zwei Statiscträger 60 und zwei Federnocken (Abb. 14). Achtet darauf, dass die Nuten der Statiscträger nach vorne, in die hier dargestellte Richtung zeigen, und dass die Federnocken ebenfalls in dieser Richtung angebracht werden:

Baustufe 4

Auf die Statiscträger kommen zwei Bausteine 30, obendrauf zwei Statiscträger 15 mit je einer [38253](#) S-Kupplung 15 2.

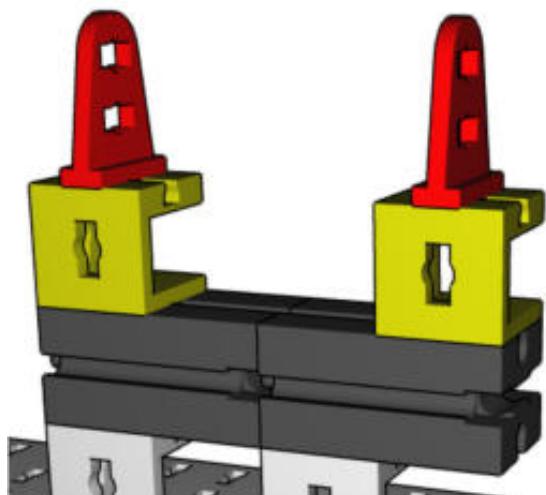


Abb. 15: Baustufe 4

Die Nuten der Bausteine 30 sollen waagerecht liegen und nach vorne zeigen. Achtet darauf, die Statiscträger mit ihren Nuten ebenfalls wie hier gezeigt in Längsrichtung aufzuschieben – einen ganz vorne, einen ganz hinten.

Baustufe 5

Es folgt die erste drehbare Baugruppe: Auf einer Metallachse 110 sitzt eine Drehzscheibe (sie kann mit einer Nabe 25 [31014](#) oder einer Flachnabe [31015](#) befestigt sein). Auf der wiederum sitzen sechs Winkelsteine 30° – bitte genau so im Kreis ausgerichtet wie in Abb. 16 gezeigt. Das ist das „Kronrad“ [13] der Uhr.

Direkt über der Nabe sitzt eine [36334](#) Riegelscheibe (bitte mit ihren Noppen nach unten einsetzen, sodass die glatte Fläche oben ist), darüber eine [38260](#) S-Kupplung

22,5 und darüber wiederum ein Zahnrad Z10 (Abb. 17).

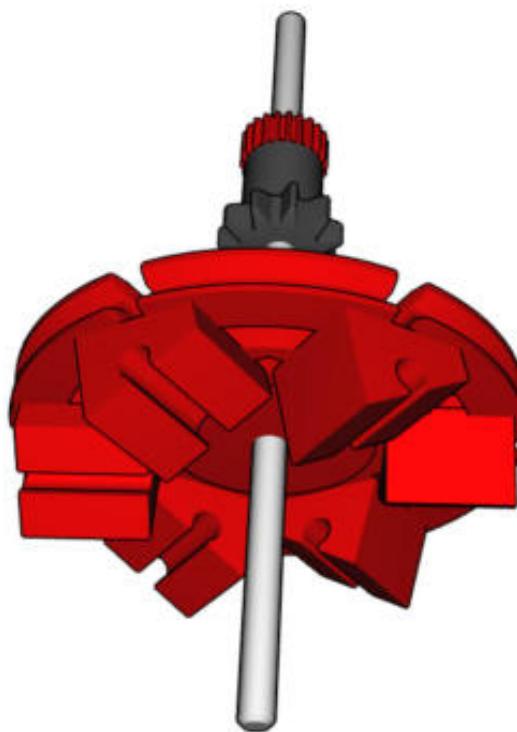


Abb. 16: Kronrad von unten gesehen

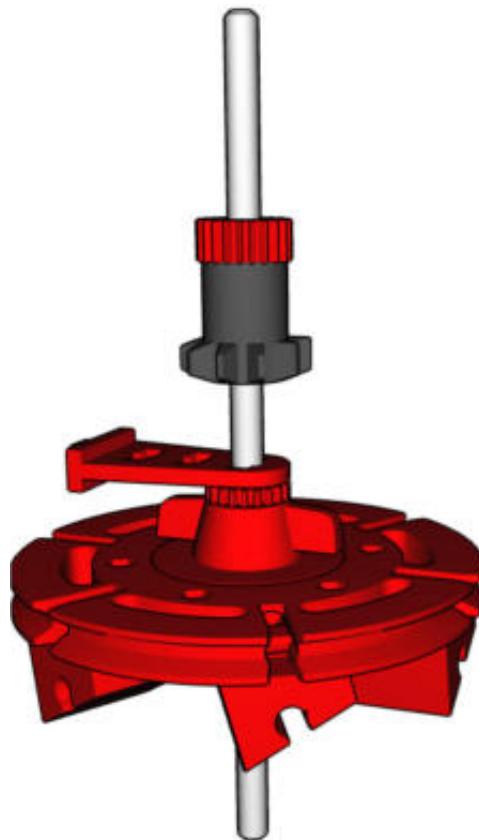


Abb. 17: Kronrad von der Seite gesehen

Das Ganze muss wie in Abb. 18 eingebaut werden: Die Achse soll unten genau auf dem Baustein 15 aufsitzen. Oben bilden die Nabe und die Riegelscheibe exakt den richtigen Abstand. Die Riegelscheibe und Nabe sollen direkt unter der waagerechten S-Kupplung 22,5 enden – aber nicht klemmen! Die Achse muss ganz leichtgängig gedreht werden können!

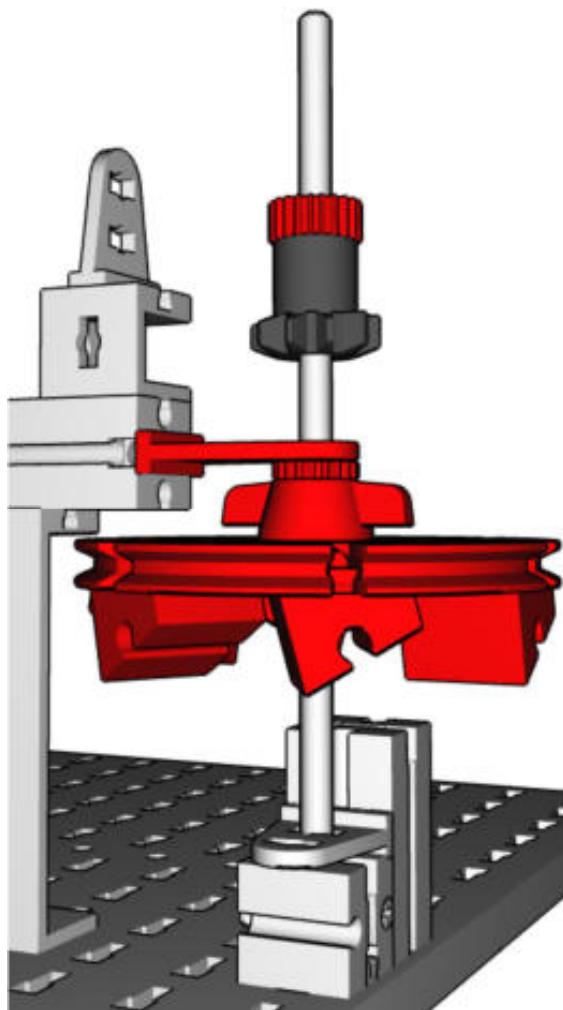


Abb. 18: Das eingebaute Kronrad

Die Höhe, in der das Z10 sitzen muss, ergibt sich noch in einer späteren Baustufe.

Baustufe 6

Das ist nun wieder einfach: In die frei liegende Nut des Baustein 15 im Fuß des Modells kommt eine Metallachse 50 – zur Not auch eine längere, aber hier soll es auf jeden Fall eine Metallachse sein. Sie wird später das Pendel tragen (Abb. 19).

Auf die Achse kommen – von links nach rechts in Abb. 19 gesehen – ein Klemmring, zwischen Baustein 15 und dem roten Baustein 15 mit Bohrung ein [31597](#) Abstanderring 3, und nach dem Baustein 15 mit Bohrung wieder ein Klemmring.

Auch hier bitte unbedingt darauf achten, dass die Klemmringe nicht zu stramm sitzen. Der rote Baustein 15 mit Bohrung muss sich wiederum ganz leichtgängig drehen können!

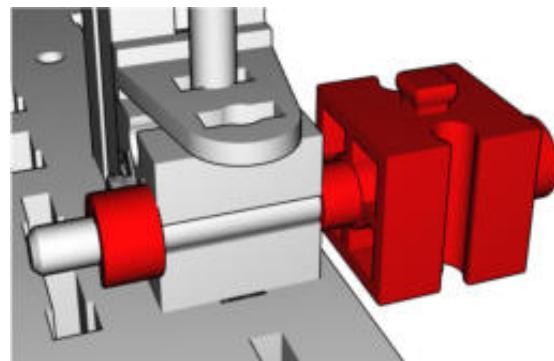


Abb. 19: Der Pendelträger

Baustufe 7

Jetzt wird's interessant: Es folgt die Pendelhemmung mit den „Lappen“ [13], ein zentrales Element einer Pendeluhr!

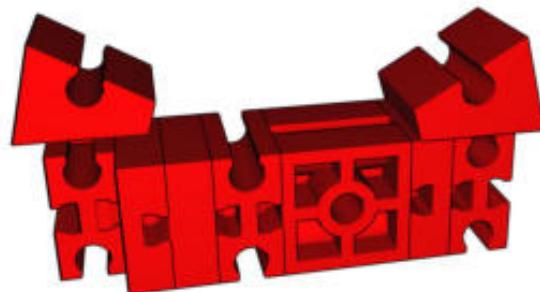


Abb. 20: Pendelhemmung

Von links nach rechts folgen also: Winkelstein 30°, Bausteine 7,5, 5, 5 mit zwei Zapfen, 7,5, 15 mit Bohrung, 5, 7,5 und wieder ein Winkelstein 30°. Alles wird einfach sauber zusammengesteckt.

Damit der Pendelantrieb später schön gleichmäßig „Tick-Tack“ und nicht „Tick-...-Tack-Tick-...-Tack“ macht, könnt ihr den linken Baustein 7,5 und den linken

Winkelstein 30° etwas nach hinten versetzen:

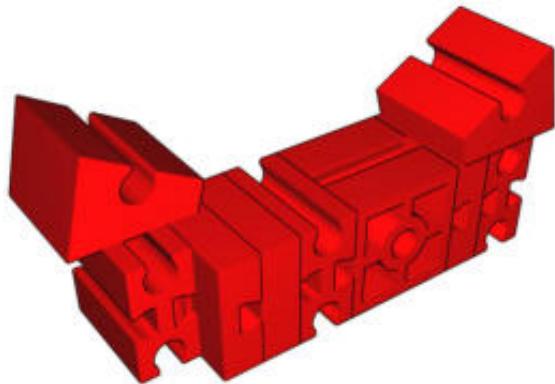


Abb. 21: Versatz der beiden Bausteine links außen

Es kommt hier aber nicht auf einen Millimeter an. Ein bisschen nach hinten, und es wird passen.

Diese Baugruppe wird nun so auf die vorherige Baustufe aufgesetzt:

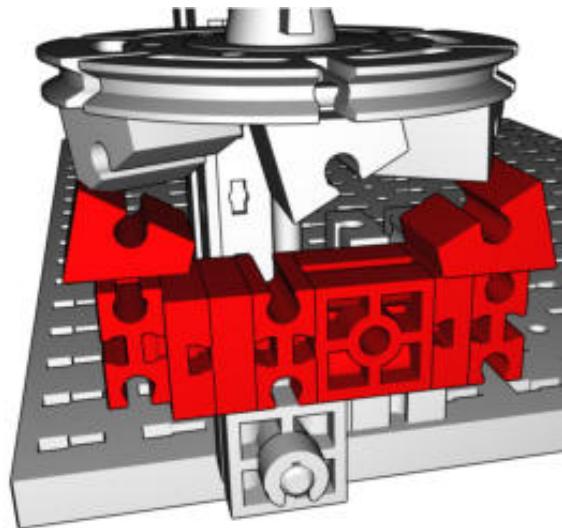


Abb. 22: Einbau der Pendelhemmung

Die untere Nut des mittleren Bausteins 7,5 wird einfach auf den nach oben stehenden Zapfen des Bausteins 15 mit Bohrung aufgeschoben, der auf der Achse der vorherigen Baustufe steckt. Für alle Fälle in Abb. 23 noch ein Blick von unten.

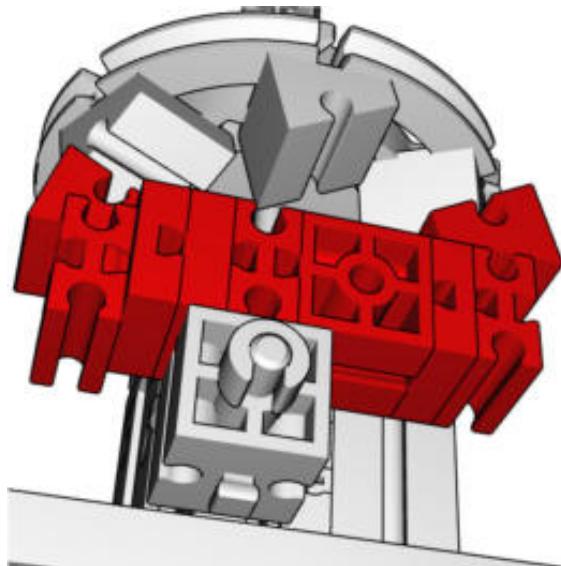


Abb. 23: Pendelhemmung von unten gesehen

Baustufe 8

Es folgt das Getriebe nach dem bereits verbauten Zahnrad Z10. Wir benötigen hier einfach eine Metallachse 110, ein Zahnrad Z10, einen Klemmring und ein Zahnrad Z40 auf einer Flachnabe.

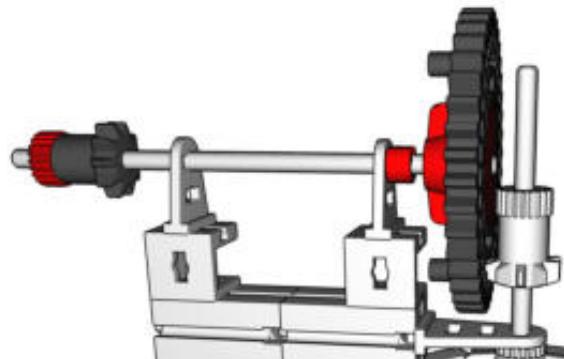


Abb. 24: Das Pendelgetriebe

Damit ergibt sich auch die notwendige Höhe, in der das Z10 sitzen muss: Es soll satt und leichtgängig ins Z40 eingreifen. Genau bei der Flachnabe des Z40 beginnt die Metallachse 110, und das Z40 wird durch geeignete Einstellung des Klemmringes so nah ans Z10 gebracht, dass die Zähne sauber eingreifen („miteinander kämmen“), aber so weit vom Z10 weg, dass das Getriebe noch leichtgängig läuft. Ihr merkt: Leichtgängigkeit ist bei einer nur von einem kleinen Gewicht angetriebenen Uhr *alles*.

Das Z10 am anderen Ende der Achse soll so angebracht werden, dass noch ca. 7,5 mm (sprich: ungefähr die Breite eines Bausteins 7,5) der Achse herausragen. Dieser Achsstummel muss später nämlich etwa *halb* in einem Baustein stecken.

Baustufe 9

Jetzt kommt wieder etwas Einfaches: Ein kleines Statikgerüst, bestehend aus je einem Statikträger 120, 60 und 30, nach vier freien Löchern der Bauplatte 500 begonnen (Abb. 25 und 26). Verstrebt wird das mit einer I-Strebe 30 und zwei X-Streben 42,4:

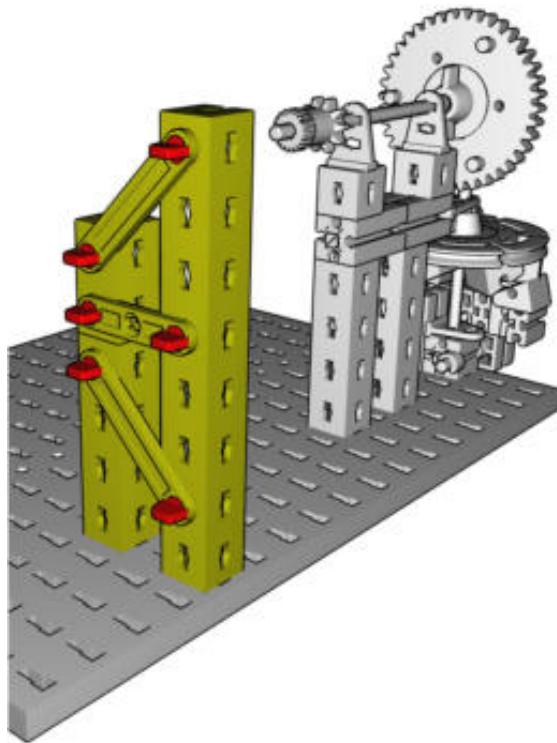


Abb. 25: Der Seilachsenhalter

Baustufe 10

Und weiter geht's. Letztlich brauchen wir das Gebilde aus Abb. 28, der besseren Sichtbarkeit halber in die Senkrechte gedreht gezeigt. Von oben nach unten landen auf der Metallachse 110 folgende Teilgruppen:

- Die Kurbel, bestehend aus einem Zahnräder Z30 mit einer eingeschobenen Achse als Griff (genauer: eine Achse 30, zwei Klemmringe und eine [31983](#) Hülse 15,

damit man leichter kurbeln kann). Wer keine hat, kann stattdessen auch einfach eine [31026](#) Handkurbel auf einer Nabe verwenden.

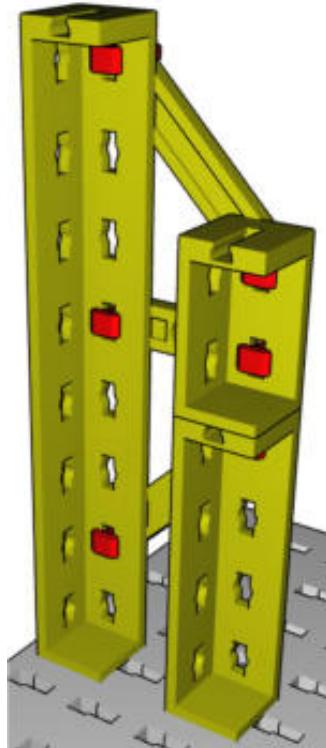


Abb. 26: Der Seilachsenhalter von der Innenseite gesehen

- Es folgt eine [38253](#) S-Kupplung 15 2, die wir später zur Befestigung brauchen.
- Ein normaler Klemmring 5.
- Sodann ein [31020](#) Klemmring Z36 für die [31016](#) Seiltrommel 15, auf der das Seil zum Gewicht aufgewickelt sein muss – deshalb ist diese Seiltrommel in Abb. 28 in blau dargestellt.
- Schließlich eine weitere [31016](#) Seiltrommel 15 und ein [32880](#) Baustein 30 mit Bohrung. Steckt den Baustein 30 mit Bohrung so auf eine Seiltrommel, dass das Loch der Seiltrommel und die mittlere Bohrung des Bausteins 30 in einer Linie liegen („fluchten“). Steckt die Achse so tief ein, dass sie etwa in der Mitte des Bausteins 30 mit Bohrung endet (Abb. 27).

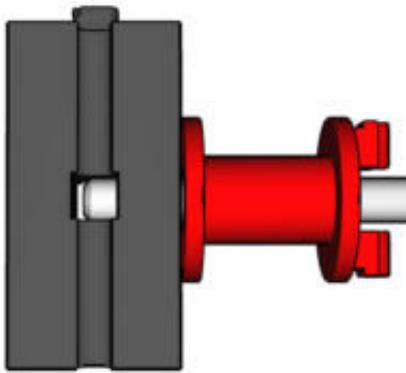


Abb. 27: Die Achse soll etwa halb im Baustein 30 mit Bohrung stecken

Eingebaut wird das ganze wie in Abb. 29 gezeigt:

1. **Schaut schon mal kurz auf Baustufe 12:** Dort wird ein Gummiring gebraucht, der etwa 50 mm Innendurchmesser hat. Das kann auch ein längeres Haushaltsgummi sein, das ihr geeignet zu einem Ring zusammenlegt. **Legt das Gummi schon mal locker um die Achse, bevor ihr die Achse ins Modell einbaut.** Damit wird es leichter, Baustufe 12 fertigzustellen.
2. Der Baustein 30 mit Bohrung wird auf den Achsstummel der ersten waagerechten Achse 110 (von Baustufe 8) gesteckt.
3. Die S-Kupplung landet auf dem kleineren der beiden Träger aus Baustufe 9.

Jetzt wird auch klar, warum die Achse 110 vom Z10, die wir in Baustufe 8 schon eingebaut hatten, etwa einen halben Baustein herausragen soll: Die beiden Metallachsen 110 liegen jetzt zwar in einer Linie (sie fluchten) und treffen sich in der Mitte des Bausteins 30 mit Bohrung – aber sie sind nicht fest miteinander verbunden! Warum – dazu kommen wir noch.

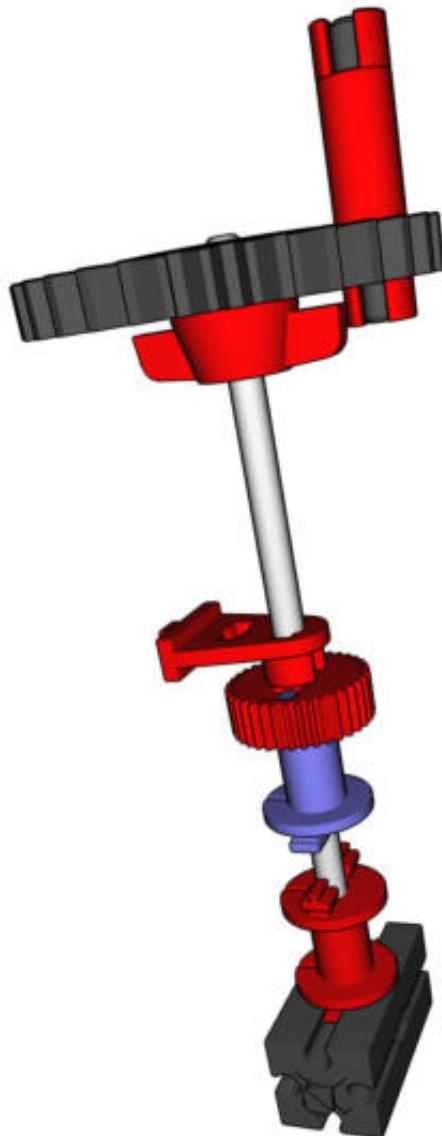


Abb. 28: Der Seilantrieb – die blaue dargestellte Seiltrommel muss mit dem Seil versehen sein.

Wichtig ist hier wieder, dass alles leichtgängig läuft. Die beiden Metallachsen 110 sollen „satt“ im Baustein 30 mit Bohrung stecken, aber nicht aneinander drücken – sonst würde der Klemmring gegen seine Lagerung (die [38253](#) S-Kupplung 15 2) drücken und damit reiben. Justiert also den Klemmring und die mittig liegende Seillrolle (die mit Seil) so, dass die Achse nicht herausrutschen kann, aber nicht reibt und so sehr leichtgängig drehbar bleibt.

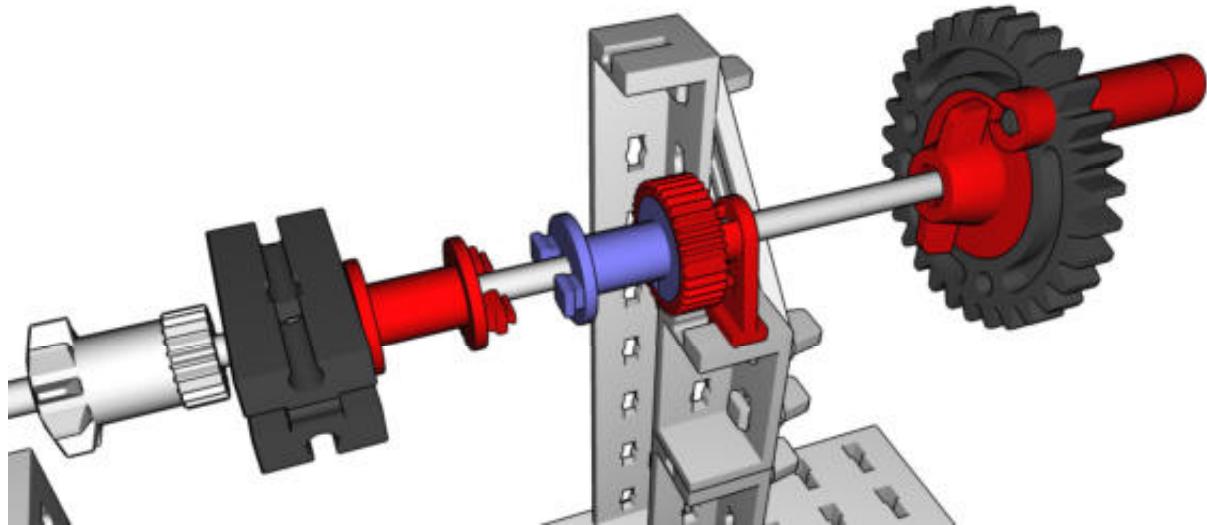


Abb. 29: Einbau des Seilantriebs (die blau dargestellte Seiltrommel muss mit Seil versehen sein)

Baustufe 11

Es folgt eine kleine Vorbereitung auf etwas Raffiniertes: Baut bitte sechs Winkelsteine 60° genau wie in Abb. 30 gezeigt an den Baustein 30 mit Bohrung:

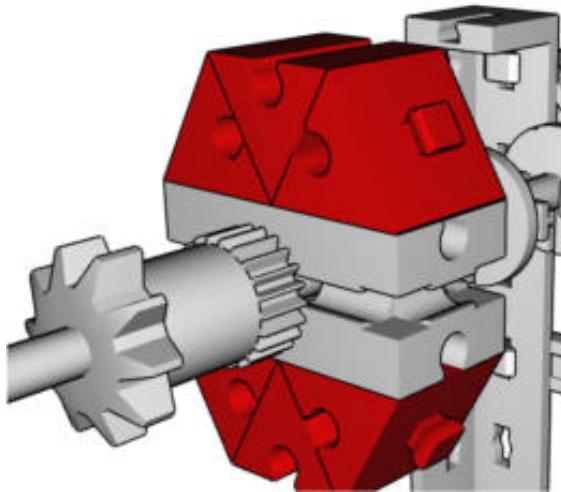


Abb. 30: Sechs Winkelsteine am Baustein 30 mit Bohrung

Wichtig: Die jeweils mittleren Winkelsteine 60° müssen ihre Nut nach außen tragen.

Baustufe 12

Jetzt kommt ein mechanischer Leckerbissen: Ein Freilaufgetriebe [9, 10]. Das ist ein Getriebe, das die Drehung nur in eine

Drehrichtung überträgt, in die andere Drehrichtung aber einfach „frei“ läuft (wie beim Rücktritt eines Fahrrads). Die bauen wir so:

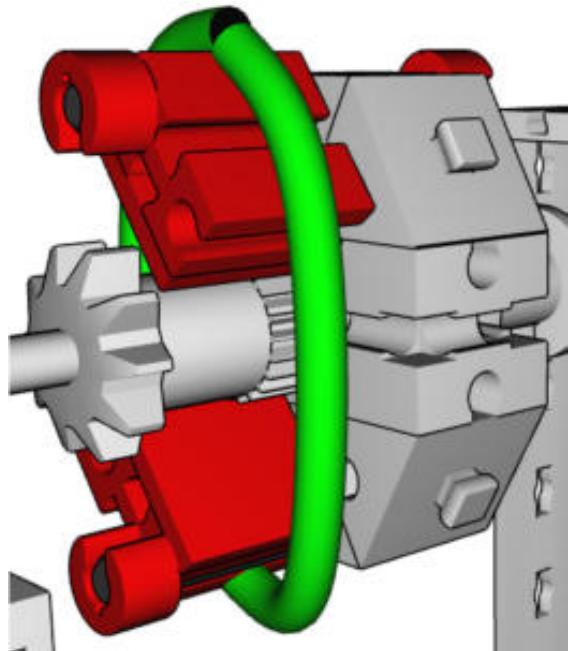


Abb. 31: Freilaufkupplung

Wir brauchen dazu:

- Zwei [38415](#) Kunststoffachsen 40,
- zwei Bausteine 7,5,
- zwei [31506](#) V-Platten 15×15 ,
- vier Klemmringe und schließlich
- ein Haushaltsgummi geeigneter Länge (in Abb. 31 grün dargestellt). Dieses

Gummi solltet ihr bereits in Baustufe 10 über die Achse gestülpt haben, sodass es jetzt bereitsteht.

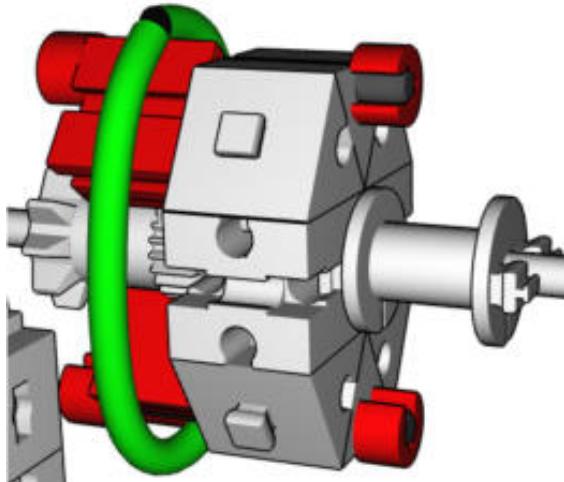


Abb. 32: Der Freilauf von hinten gesehen



Abb. 33: Freilauf im echten Modell

Das funktioniert so: Die Bausteine 7,5 mit ihren Platten 15×15 darauf werden vom Gummiring genau wie in Abb. 31 gezeigt von beiden Seiten gegen das feine Ritzel des Zahnrads Z10 gedrückt. Wenn sich der Baustein 30 mit Bohrung mit all den Teilen für die Freilaufkupplung wie in Abb. 31 gesehen nach links dreht (entgegen dem Uhrzeigersinn), dann dreht die Anordnung einfach durch. Die Platten gleiten einfach

mit einem feinen Rastgeräusch über die feinen Zähne des Z10 hinweg. Wird aber andersherum gedreht, verfangen sich die Platten 15×15 in den Zähnen des Ritzels und treiben es an. Abb. 32 zeigt eine weitere Ansicht, Abb. 33 ein Foto des echten Modells.

Probiert es aus! Spielt ein wenig mit dem Freilaufgetriebe, indem ihr die Kurbel dreht. Auf die Kurbel gesehen (Abb. 34) müsst ihr locker nach rechts (im Uhrzeigersinn) drehen können – aber nach links nicht, da muss der Freilauf sperren. Das nutzen wir später aus, um die Uhr leicht aufziehen zu können.

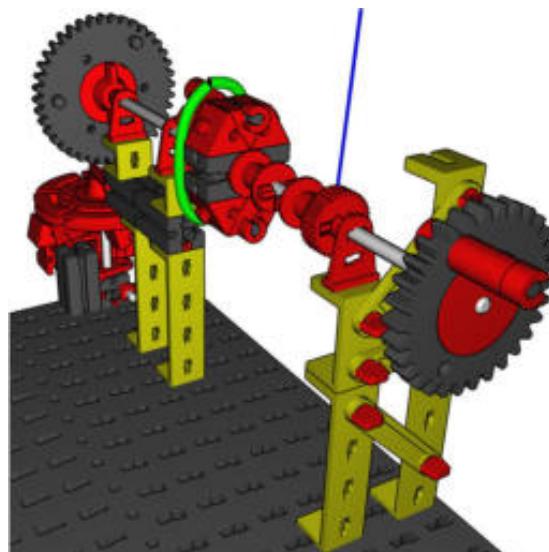


Abb. 34: Der Kurbelantrieb

Das Modell sollte nun so aussehen wie in Abb. 35 gezeigt.

Baustufe 13

Jetzt folgen nur noch ein paar einfache letzte Dinge. Wir ergänzen mit drei weiteren Statikträgern 120 einen kleinen Turm, verstärkt mit einer I-Strebe 30 (Abb. 36).

Obenauf sitzen – nach außen zeigend – zwei [35049](#) Bausteine 5 15×30 . Die tragen, wiederum außen, je eine [38253](#) S-Kupplung 15 2.

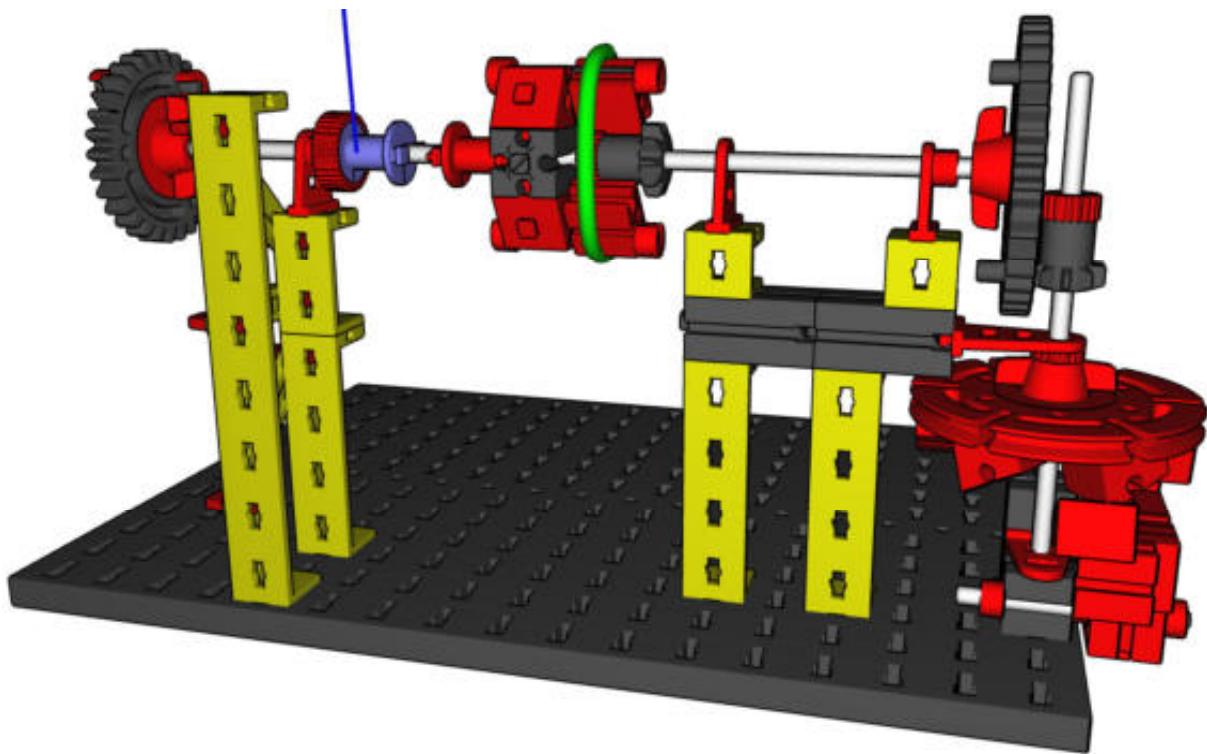


Abb. 35: Das Modell bis einschließlich Baustufe 12 (mit angedeutetem Seil in der Seiltrommel)

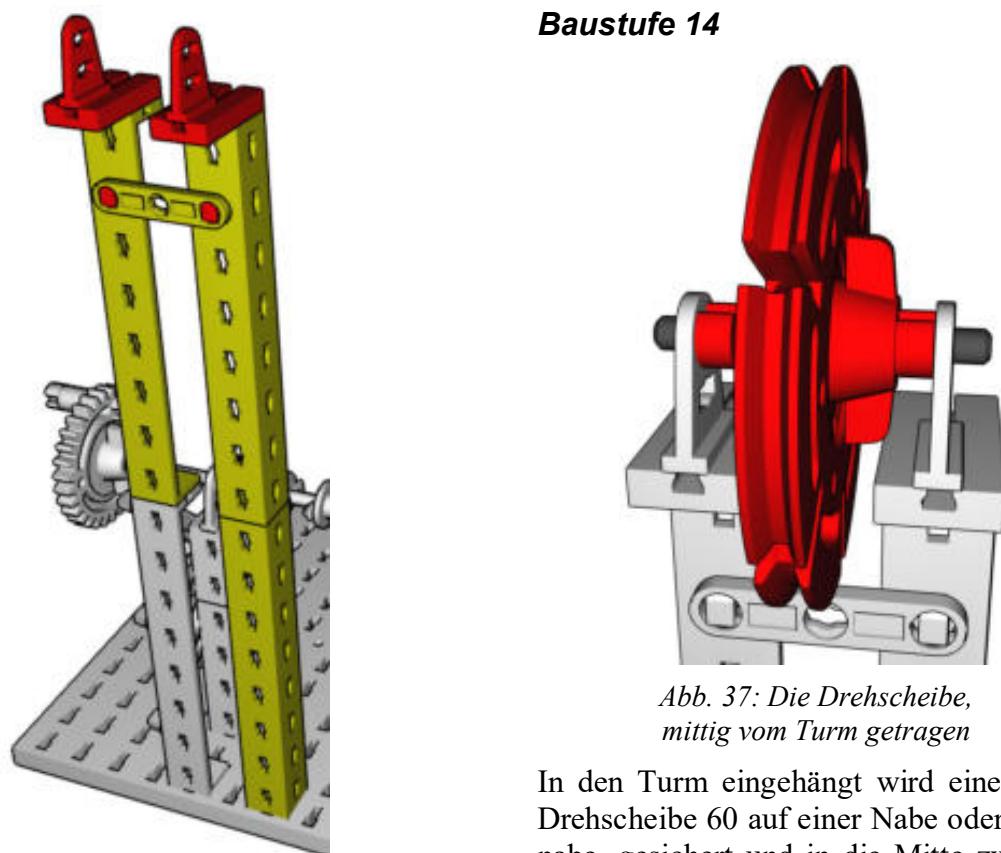


Abb. 36: Der Turm

In den Turm eingehängt wird eine [31019](#) Drehscheibe 60 auf einer Nabe oder Flachnabe, gesichert und in die Mitte zwischen die beiden Statikträgern gebracht von zwei Klemmringen. Als Achse genügt eine

Kunststoffachse 40; solche aus Metall oder längere gehen genauso gut.

Auch hier gilt: Das Rad muss sich ganz frei und leichtgängig drehen können. Positioniert die Klemmringe also nicht zu stramm an den Achslagern.

Baustufe 15

Nun kommen wir zum Gewicht: Sechs Bausteine 30, drei Federnocken und ein [38428](#) Baustein 5 15×30 3N genügen.

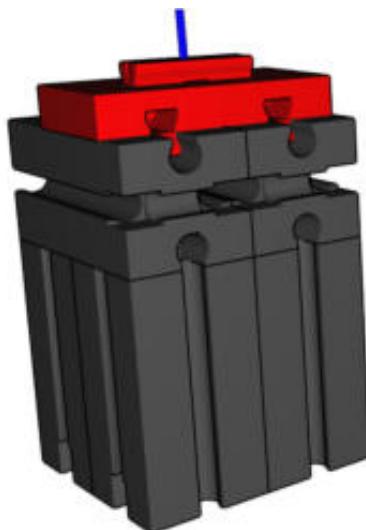


Abb. 38: Das Gewicht mit befestigtem Seilende

Zwei der Federnocken verbinden die waagerecht liegenden Bausteine 30 mit dem Baustein 5 15×30, der dritte dient dazu, das Ende des Seils einzuklemmen und so sicher zu befestigen. Das Seil muss so verlaufen, wie es Abb. 39 zeigt.

Da an der Kurbel nach rechts (im Uhrzeigersinn) gedreht wird, verlässt das Seil seine Seiltrommel auf der äußeren Seite des Modells, läuft über die Drehscheibe und endet am Gewicht.

Baustufe 16

Eine einzige Sache fehlt noch: Das Pendel! Das ist nun aber ganz einfach gebaut: Drei Statikträger 120 mit den Zapfen nach unten und zwei Bausteine 30 quer darunter werden wie in Abb. 40 miteinander verbunden.

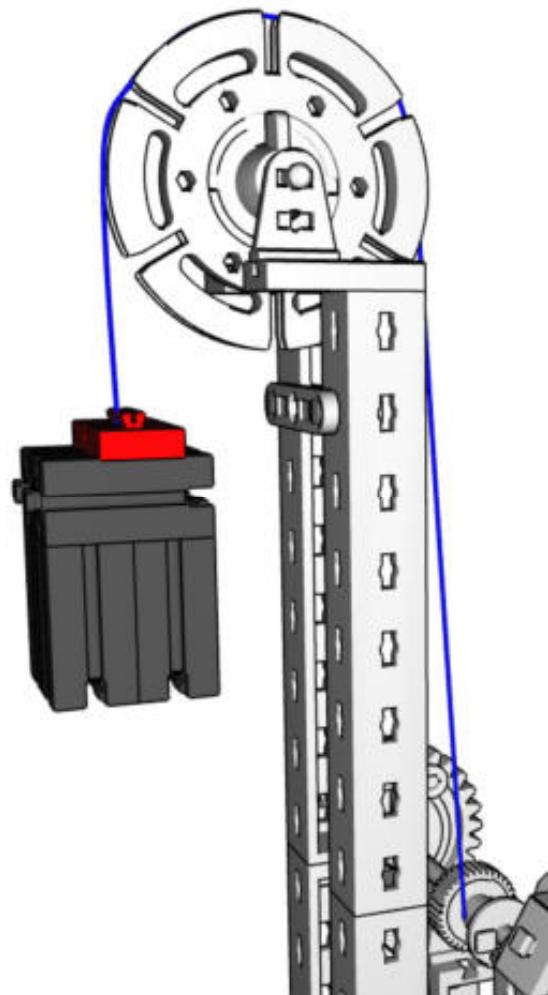


Abb. 39: Seilführung

Die oben liegende Nut des oberen Statikträgers wird nun einfach von unten in den Zapfen des Bausteins 15 mit Bohrung von Baustufe 6 geschoben, wie in Abb. 41 gezeigt.

Geschafft!

Ausprobieren und Experimentieren

Stellt das Modell so auf eine Tischplatte oder Schrankoberfläche, dass das Pendel seitlich herunterhängen und frei pendeln kann. Das ist wichtig.

Das Modell ist so gebaut, dass ihr auf einer weiteren Seite des Tisches oder Schranks das Gewicht am langen Seil bis hinunter auf den Boden laufen lassen könnt. Gelingt das aus Platzgründen nicht, ist ja aber noch der

Turm da, der auch etwas Höhe fürs Gewicht bietet – immerhin genug für ca. zwei Minuten Laufzeit. Bis zum Boden kann das Pendelwerk auf einem Tisch stehend etwa acht Minuten durchlaufen.

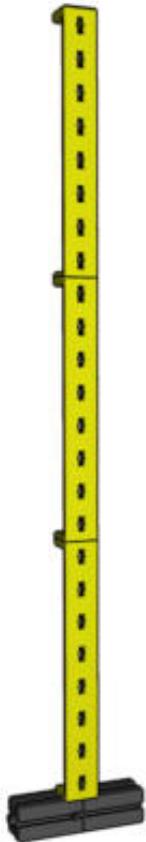


Abb. 40: Das Pendel

Wenn alles leichtgängig gebaut wurde, dann sollte das so funktionieren:

1. zieht die Uhr auf. Das macht ihr durch Drehen an der Kurbel im Uhrzeigersinn, bis das Gewicht knapp unterhalb der Drehscheibe landet.
2. Stoßt das Pendel an – ganz leicht genügt schon. Es sollte nun von alleine weiter pendeln.

Warum schwingt das Pendel von alleine weiter?

Der gesamte Kraft- und Drehmoment-Fluss läuft so:

1. Das Gewicht zieht, wenn auch nicht sehr stark, nach unten.

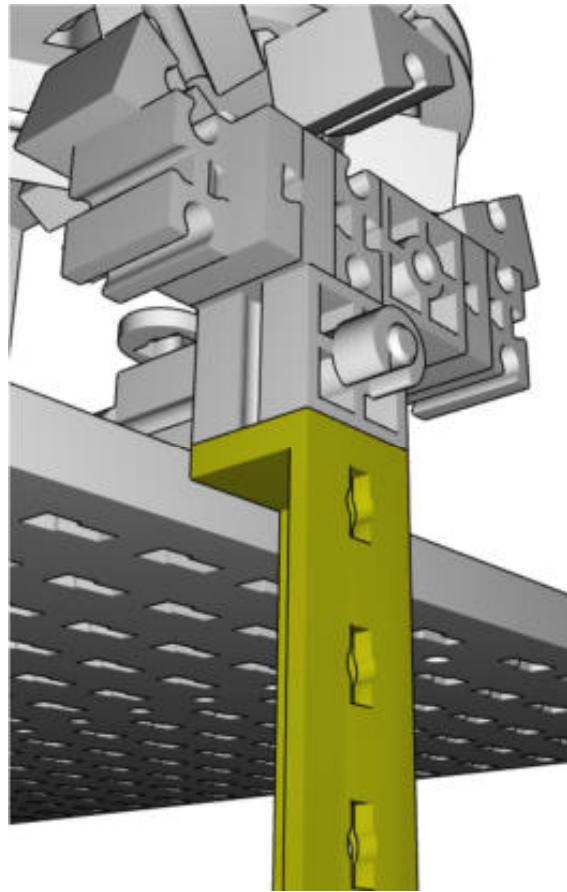


Abb. 41: Das Pendel wird angebracht

2. Damit wird die Seiltrommel mit dem Seil zum Drehen „genötigt“.
3. Über das Freilaufgetriebe – das in dieser Drehrichtung ja sperrt – geht die Drehbewegung durch bis ganz nach vorne zum Zahnrad Z40.
4. Das wiederum dreht am senkrecht stehenden Z10 und damit am Kronrad (der Drehscheibe mit den sechs Winkelsteinen 30° darauf).
5. Die Winkelsteine stoßen nun abwechselnd an die beiden Winkelsteine der Pendelhemmung – und drücken sie dabei leicht nach unten!
6. Das wiederum bewirkt, dass das Pendel in die entsprechende Richtung zum Ausschlagen gebracht wird.
7. Kurz darauf stehen sich die beiden gerade noch in Kontakt gewesenen Winkelsteine nicht mehr im Weg. Das Kronrad kann sich also schnell drehen – aber nur, bis es auf der anderen Seite wieder

mit dem anderen Winkelstein der Pendelhemmung kollidiert, denn das Pendel schwingt im selben Moment zurück und blockiert dann auf der anderen Seite des Kronrads.

8. Von dort geht das Spiel in die andere Richtung von vorne los.

Während das Pendel schwingt, könnt ihr beobachten, wie das Gewicht sich – Stückchen für Stückchen – senkt. Das funktioniert, bis es auf der Tischoberfläche oder eben am Boden angekommen (oder bis das Seil ganz abgewickelt) ist.

Was tun, wenn das Pendel nicht schwingen will?

Kurz gesagt: Bitte alles nochmal auf Leichtgängigkeit prüfen. Jede einzelne Achse muss sich leicht drehen können:

- Die Achse im Pendelträger.
- Die senkrecht stehende Achse 110 mit dem Kronrad.
- Die beiden waagerecht liegenden Achsen 110.
- Die Achse mit der Drehscheibe 60 am oberen Ende des Turms.

Wenn die Mechanik nicht leichtgängig genug läuft, könnt ihr folgendes tun:

- Prüft nochmal, ob alle Achsen sauber „fluchten“ und sich nicht in ihren Lagern verkanten. Es wurden extra überall nur die S-Kupplungen als Achslager verwendet, weil die Achsen am leichtgängigsten führen. Ebenso wurden die Nuten aller Bausteine, in denen die Achslager für die beiden waagerecht liegenden Achsen stecken, parallel zu den Achsen ausgerichtet, damit die S-Kupplungen gar nicht anders als genau richtig positioniert werden können.
- Ihr könnt das Gewicht vergrößern, z. B. durch mehr Bausteine oder eingesteckte Metallachsen.
- Falls ihr beim Kronrad in Baustufe 5 die Nabennutter oben angebracht habt, könnte das Kronrad eine Spur zu hoch

sitzen. Versucht, es ein kleines bisschen (!) nach unten zu schieben. Das Modell hat ziemlich genau die perfekte Geometrie, wenn man eine „normale“ Nabe 25 [31014](#) so einbaut, dass die Nabennutter von unten aufgeschraubt wird.

Schaut euch dazu vielleicht auch das ergänzende Video zum Modell an [13].

Was macht das Freilaufgetriebe?

Es sorgt dafür, dass ihr die Uhr während des Laufs aufziehen könnt! Die Achse mit der Seiltrommel mit dem Seil kann in „Aufzieh-Richtung“ frei gedreht werden. Nur in der „Ablauf-Richtung“ wird sie vom Freilauf gehemmt, der so die Drehung auf den Pendelantrieb vorne im Modell bringt.

Kann das Pendel auch schneller oder langsamer laufen?

Aber ja! Ihr könnt das ganz einfach dadurch steuern, dass ihr das Pendel länger oder kürzer macht. Baut also weniger Statikträger ins Pendel ein oder mehr. Je länger das Pendel, desto langsamer läuft die „Uhr“.

Ich habe es mit bis zu fünf Statikträgern 120 zum Laufen gebracht. Wenn das Pendel zu lang wird, genügt die Kraft des kleinen Gewichts nicht mehr, um es zuverlässig am Schwingen zu halten.

Und wenn es weitere Fragen oder Probleme geben sollte?

Postet bitte einfach im fischertechnik-Forum im ft:pedia-Bereich! Wir freuen uns über jede Rückmeldung und antworten gerne.

Wenn alles genau und leichtgängig nachgebaut wurde, sollte es klappen. Also: Viel Spaß damit und beim Weitertüfteln!

Quellen

- [1] fischertechnik: *Statik*. Bauanleitung aus der [ft-Datenbank](#), S. 40.
- [2] fischertechnik: *Club-Heft 1/1973*. In der ft-Datenbank, S. 9-13.
- [3] fischertechnik: *Experimente + Modelle hobby I Band 2*. In der ft-Datenbank ([Info](#), [PDF](#)), 1973.
- [4] fischertechnik-Community: [Uhren](#).
- [5] Thomas Püttmann: *50 Hz-Uhr mit Stunden-, Minuten- und Sekundenzeiger*. Im [Bilderpool](#) der fischertechnik-Community, 2011.
- [6] Dirk Fox, Thomas Püttmann: *Technikgeschichte mit fischertechnik*. dpunkt-Verlag, ISBN 978-3-86490-296-3, 2015 (Nachdruck 2022).
- [7] Dirk Fox, Thomas Püttmann: *Technikgeschichte mit fischertechnik*. [Website](#) zum Buch.
- [8] Martin Romann: *Pendeluhr*. Im [Bilderpool](#) der fischertechnik-Community, 2011.
- [9] fischertechnik-Community: [Freilaufgetriebe](#).
- [10] Wikipedia: [Freilauf \(Mechanik\)](#).
- [11] Michael Samek: [fischertechnik Designer](#).
- [12] Stefan Falk: *Ein einfach zu bauendes Uhrenpendel*. fischertechnik-Designer-Datei zum Modell, auf der [ft:pedia-Seite der fischertechnik-Community](#), 2022.
- [13] Wikipedia: [Hemmung \(Uhr\)](#).
- [14] Stefan Falk: *fischertechnik: Einfach zu bauendes Uhrenpendel aus ft:pedia 2/2022*. Auf [YouTube](#), 2022.
- [15] fischertechnik-Community: *ft:pedia*. Im [fischertechnik-Forum](#).

Uhren

Kalenderwerk mit Mondphasenanzeige

Dirk Fox

Mit der zunehmenden Genauigkeit von Räderuhren, die im 18. Jhd. mit der Einführung des Pendels und der Unruh als Gangregler möglich wurde, erweiterte man Uhrwerke um zusätzliche Funktionen („Komplikationen“). Wie das Schlagwerk, das bereits in frühen Turmuhrwerken und später in Standuhren die Stunde akustisch anzeigen, gehörte in Taschenuhren bald ein Kalenderwerk mit Mondphasenanzeige zu den frühen Komplikationen. Tatsächlich ist die Geschichte der Mondphasenanzeige sogar noch sehr viel älter.

Geschichte

Viele Jahrhunderte waren Uhren den Kirch- und Rathausstürmen vorbehalten. Erst im 16. Jhd. verbreiteten sich Zimmeruhren, und die Uhrmacherei entwickelte sich zu einem Handwerk mit Zunftordnung. Doch konnten sich zunächst nur Adlige und wenige betuchte Bürger Uhren leisten. Ihr Nutzen war zudem beschränkt, denn die Ganggenauigkeit der ersten Uhren – mit einer Balkenwaag als Gangregler – lag bestensfalls bei ± 15 bis ± 30 Minuten am Tag (ein Fehler von 1-2 %). Gestellt wurden sie nach Sonnenuhren.

Mit der Entdeckung *Galileo Galileis* (1564-1642) im Jahr 1585, dass die Frequenz eines (idealen) Pendels allein von dessen Länge abhängt, konstruierte *Christiaan Huygens* (1629-1695) im Jahr 1656 die erste Uhr mit einem freien Pendel als Gangregler (Abb. 1) [1]. Dank der von *George Graham* (1673-1751) ab ca. 1715 als Standard für Pendeluhrwerken eingeführten ruhenden Anker-Hemmung sowie den von *John Harrison* (1693-1776) entwickelten, Temperatur kompensierenden Pendeln wurden so Ganggenauigkeiten von ± 1 Minute am Tag erreicht [2]. Damit waren Uhren mit einem Fehler unter 0,07 % die mit Abstand genauesten Messinstrumente der damaligen Zeit – und sind das bis heute geblieben.

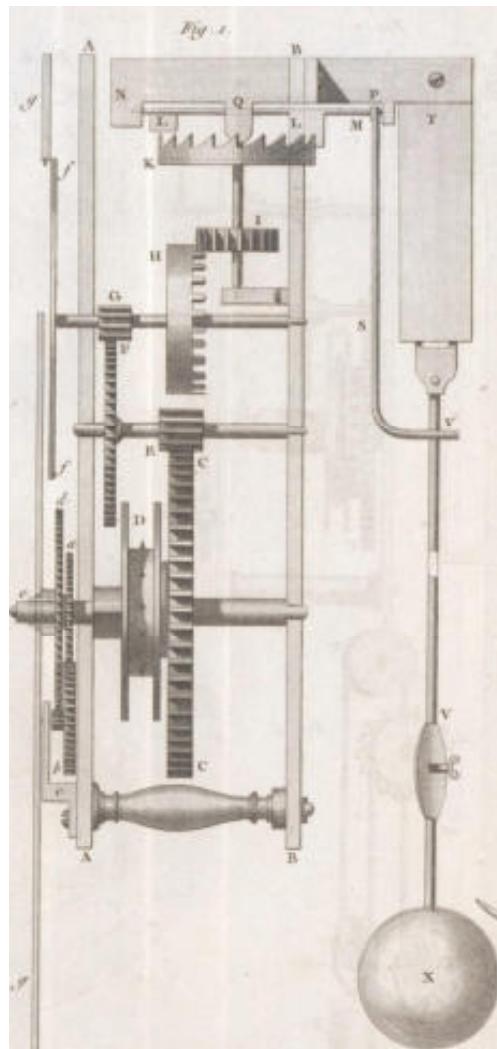


Abb. 1: Erste Uhr mit einem freien Pendel als Gangregler von Christiaan Huygens, 1656 [1]

Die ebenfalls Huygens zugerechnete Erfindung der Unruh mit Spiralfeder ermöglichte im Jahr 1673 die Entwicklung präziser tragbarer Uhren [1]. Deren Perfektionierung wurde nicht zuletzt durch das „Längengradproblem“ vorangetrieben, das *John Harrison* (1693-1776) im Jahr 1759 mit dem Schiffschronometer „H4“ löste. Die Abweichung der von ihm entwickelten Uhr lag nach einer 147 Tage langen Seereise bei gerade einmal einer Minute und 54,5 Sekunden, weniger als 0,78 Sekunden pro Tag: ein Fehler unter 0,0009 % [2].

Mit zunehmender Genauigkeit und abnehmender Größe der Räderuhren wuchs deren praktischer Nutzen. Und so stieg im 19. Jhd. die Nachfrage nach Taschenuhren. Deren Preise sanken, und sie wurden damit für weite Bevölkerungsgruppen erschwinglich – bis sie im 20. Jhd. von der Armbanduhr und diese jüngst vom Smartphone abgelöst wurde.

Komplikationen

Bis heute haben Uhren dennoch den Status eines Prestigeobjekts nicht eingebüßt. Mit deren wachsender Verbreitung entstanden daher Modelle, die sich entweder durch das verwendete Material (Silber, Gold, Titan, Edelsteine) oder durch besondere Funktionen – von Uhrmachern als „Komplikationen“ bezeichnet – von handelsüblichen Massenprodukten unterschieden.

Zu diesen Komplikationen zählen z. B. die Anzeige der Gangreserve, eine Stoppuhr, die „springende Sekunde“, das Schlagwerk und das Kalenderwerk mit Anzeige von Wochentag, Monat, Mondphase und Jahr.

Im Jahr 1904 gewann eine Taschenuhr mit 24 Komplikationen auf der Weltausstellung in Saint-Louis den „Grand Prix“ – entwickelt von L. Leroy & Cie. aus Besançon: die Leroy 01 (Abb. 2). Sie besteht aus 975 Teilen und wurde erst 85 Jahre später von der Patek Philippe „Calibre 89“ mit 33 Komplikationen entthront.



Abb. 2: Leroy 01 (*Musée du Temps, Besançon*)

Seit dem 17.09.2015 gilt die von Vacheron Constantin entwickelte „Reference 57260“ mit 57 Komplikationen als die [komplizierteste Uhr der Welt](#) (Abb. 3).

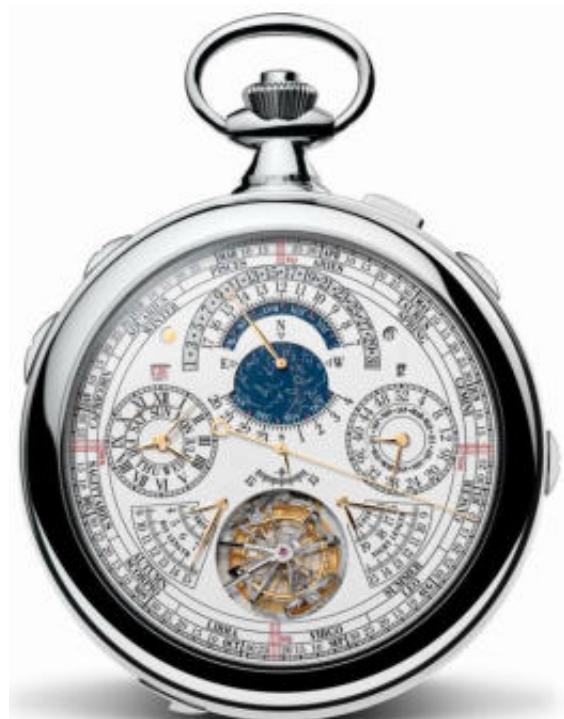


Abb. 3: Reference 57260
(Foto: Vacheron Constantin)

Diese Uhr besteht aus mehr als 2.800 Teilen (davon sind allein 31 Zeiger), hat einen Durchmesser von 10 cm, eine Gangreserve von 60 Stunden und bringt knapp 1 kg auf die Waage. Mit einer Bauhöhe von etwas über 5 cm beult sie eine Anzugtasche gewaltig – dafür macht sie viertelstündlich mit ihrem Westminster-Schlagwerk auf sich aufmerksam, hat einen ewigen Kalender, zeigt die Nachtlänge, die Sternenzeit und die Abweichung von der Sonnenzeit an und kann als Wecker mit Klingelton, Glockenspiel oder Schlagwerk verwendet werden.

Mit solchen Wunderwerken der Feinmechanik können fischertechnik-Uhren nicht mithalten. Dennoch lässt sich deren Stunden-, Minuten- und Sekundenanzeige mit vergleichsweise wenig Aufwand um beachtliche fünf Komplikationen erweitern: durch ein Kalenderwerk inklusive einer hübschen Mondphasenanzeige.

Kalenderwerk

Zum Kalenderwerk in Räderuhren zählen neben der Anzeige des Datums die Anzeige des Wochentags, des Monats und der Mondphase. Die Datumsanzeige ist in den meisten Uhren auf 31 Tage festgelegt. Nur in Uhren mit einem „ewigen Kalender“ muss die Anzeige nach kürzeren Monaten nicht manuell korrigiert werden – sogar nicht einmal in Schaltjahren. Erst im Jahr 2100, wenn nach dem Gregorianischen Kalender im Februar der Schalttag entfällt, muss man eine solche Uhr am 29.02. um einen Tag vorstellen.

Das Getriebe einer Räderuhr lässt sich prinzipiell recht einfach um ein Kalenderwerk erweitern, da sich alle Anzeigen aus dem Ablauf eines Tages (24 h, also zwei Umdrehungen des Stundenrads) ableiten. Die mechanischen Anforderungen an das Getriebe sind bei einem Kalenderwerk geringer als beim Kern-Uhrwerk, denn die Achsen des Kalenderwerks drehen sich sehr langsam (maximal 52 Umdrehungen pro Jahr). Daher ist die Achsreibung bei weitem

nicht so relevant wie beispielsweise beim Sekundenzeiger, der sich pro Jahr mehr als eine halbe Million Mal im Lager dreht.

Herausfordernd für einen fischertechniker ist allerdings die Getriebekonstruktion. Denn die Anzeige des Wochentags benötigt eine Übersetzung 14:1 zum Stundenrad, die Datumsanzeige eine Übersetzung 62:1. Die Monatsanzeige lässt sich hingegen vergleichsweise leicht mit einer Übersetzung 12:1 aus der Datumsanzeige ableiten.

Das Getriebe für die Anzeige der Mondphase ist besonders raffiniert. Der Mond dreht sich in etwa 27,32166 Tagen – einmal um die Erde. Das ist die Dauer des so genannten „siderischen Monats“. Da sich in dessen Verlauf die Erde auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne um etwa 1/12 weiterbewegt, ist die zwischen zwei Neumonden vergangene Zeit – der so genannte „synodische Monat“ – etwas länger. Dessen Länge schwankt wegen der elliptischen Form der Umlaufbahn der Erde um die Sonne (und damit der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Erdbewegung) zwischen 29,27 und 29,83 Tagen. Im Mittel dauert ein synodischer Monat 29 Tage, 12 Stunden, 44 Minuten und 3 Sekunden – oder 29,53059 Tage.

Mondphasenanzeigen in Präzisionsuhren nähern diesen Wert mit 29,53125 an – mit einem Laufzeitfehler von einem Tag in etwa 122,5 Jahren (Abb. 4).

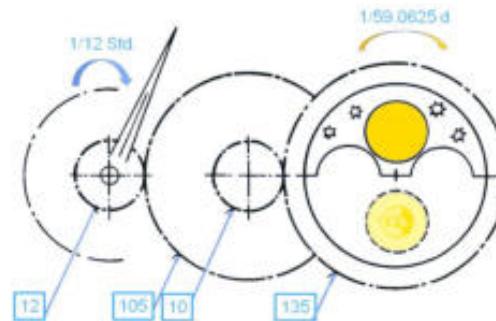


Abb. 4: Getriebe einer Präzisions-Mondphasenanzeige (Grafik: mit freundlicher Genehmigung der [Uhrenkosmos GmbH](#))

Die Anzeige der Mondphase erfolgt häufig mit einer abgedeckten Scheibe mit zwei Vollmonden (Abb. 4, 5).



*Abb. 5: Anzeige mit Vollmondscheiben
(Foto: Fa. Erwin Sattler GmbH & Co. KG)*

Einfache Mondphasengetriebe runden die Länge des synodischen Monats auf 29,5 Tage ab – und verwenden für den Antrieb ein Zahnrad mit 59 Zähnen. Die älteste bekannte Anzeige dieser Art findet sich in einem byzantinischen Sonnenuhr-Kalender aus der Zeit zwischen 400 und 600 n. Chr. (Abb. 6).



*Abb. 6: Byzantinischer Sonnenuhr-Kalender
(Science-Museum London)*

Bei einer Übersetzung 59:1 muss der Fehler von ca. 0,1 % bereits nach rd. 2,65 Jahren durch ein Weiterstellen der Anzeige um einen Tag korrigiert werden.

In großen [Regulatoren](#) wird die Mondphase manchmal auch – wirklichkeitsgetreuer – durch eine drehende Kugel angezeigt, deren eine Hälfte dunkel gefärbt ist (Abb. 7).



*Abb. 7: Mondphasenanzeige mit Mondkugel
(Foto: Fa. Erwin Sattler GmbH & Co. KG)*

Diese Anzeige wurde offenbar schon vor unserer Zeitrechnung verwendet: Fragmente und Rekonstruktionen des im Jahr 1900 von Schwammtauchern entdeckten und auf ca. 100 v. Chr. datierten Antikythera-Mechanismus zeigen eine sich um sich selbst drehende, zur Hälfte versilberte Kugel im Mondzeiger [3] (Abb. 8).

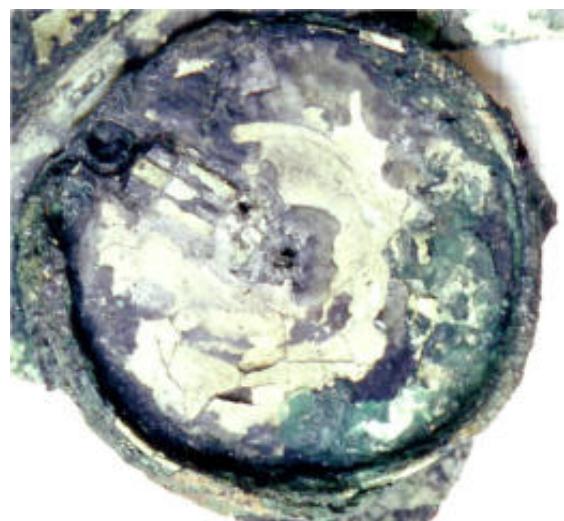


Abb. 8: Mondzeiger im Antikythera-Mechanismus (ca. 100 v. Chr.)

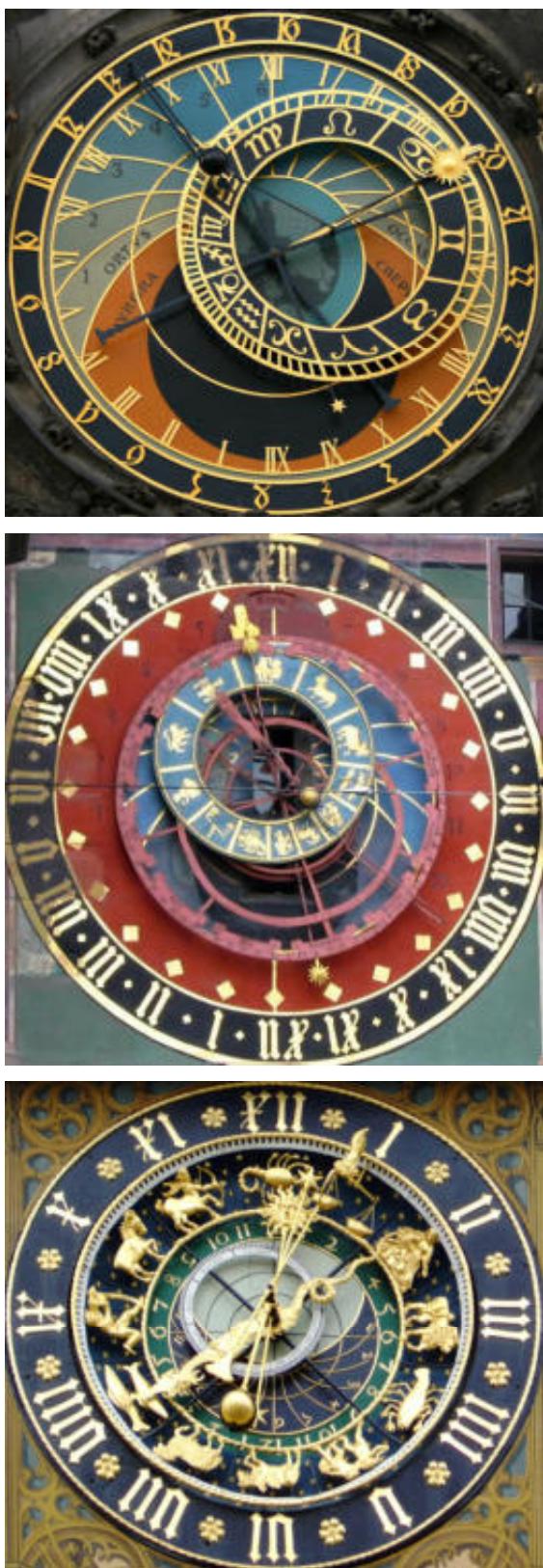


Abb. 9: Astrolabiumsuhr von Prag, ca. 1410
(Jay8085, [CC BY 2.0](#)), Zytglogge in Bern, ca.
1530 und Ulmer Rathausuhr, ca. 1520
(Joachim Köhler, [CC BY-SA 3.0](#))

Eine Mondkugel findet sich auch in frühen astronomischen Uhren, so z. B. im Mondzeiger der Astrolabiumsuhr am Prager Rathaus von 1410, der astrolabischen Zytglogge von Bern von 1530 und der astronomischen Ulmer Rathausuhr, entstanden wahrscheinlich um das Jahr 1520 (Abb. 9).

In unserem Buch „Technikgeschichte mit fischertechnik“ [4] hat Thomas Püttmann gezeigt, wie sich eine Mondphasenanzeige in einen Zeiger integrieren lässt, und eine sehr elegante Mondphasenanzeige mit Mondkugel und Drehkranz konstruiert, die eine Übersetzung 59:1 vornimmt.

Getriebekonstruktion

Betrachten wir die einzelnen Getriebe des Kalenderwerks der Reihe nach.

Wochentaganzeige

Die Welle der Wochentaganzeige muss vom Stundenrad mit einer Übersetzung 14:1 angetrieben werden. Wie erreichen wir ein solches Übersetzungsverhältnis mit fischertechnik-Zahnräder? Die Zahnhzahl 14 gibt es bei fischertechnik nur beim Differential-Kegelzahnrad – das hilft uns hier allerdings nicht weiter.

Wir können jedoch die Untersetzung mit einem fischertechnik-Differential konstruieren, ganz ähnlich wie die Übersetzung 25:1 in [5]. Tatsächlich kann man sogar beweisen, dass jedes Übersetzungsverhältnis $1:p$ ($p = \text{Primzahl}$) mit einem fischertechnik-Differential konstruiert werden kann – und damit natürlich auch jedes andere ganzrationale Übersetzungsverhältnis.

Wenn wir die Welle des Stundenrads 2:1 übersetzen, benötigen wir anschließend noch eine Übersetzung 7:1. Mit der in [5] verwendeten einfachen Formel aus [6] lässt sich das benötigte Übersetzungsverhältnis zwischen Differentialkäfig (z) und Abtriebsachse (y) sehr leicht bestimmen:

$$x + y = 2z \quad (1)$$

Oder, nach x freigestellt:

$$x = 2z - y \quad (2)$$



Abb. 10: Antriebs- (x), Abtriebsachse (y) und Differentialkäfig (z) am Differential [31043](#)

Um zu erreichen, dass

$$x = 7y$$

muss mit (2) gelten:

$$2z - y = 7y$$

bzw. freigestellt nach z

$$z = 4y$$

Wir benötigen also zwischen y und z eine 4:1-Übersetzung.

Dabei darf es nicht zu einer Umkehrung der Drehrichtung kommen. Das gelingt mit zwei Untersetzungen 2:1, z. B. einem Z20 auf ein Z40, einem Z15 auf ein Z30 oder einem Z10 auf ein Z20. Eine Lösung mit dem „historischen“ fischertechnik-Differential ([31043](#)), das ein Z15 als Differentialkäfig mitbringt, zeigt Abb. 11.

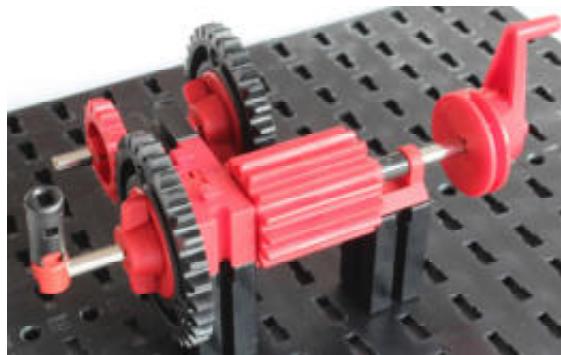


Abb. 11: Wochentaganzeige – Übersetzung 7:1 mit „historischem“ fischertechnik-Differential

In Abb. 12 sieht man eine Skizze der Getriebekonstruktion.

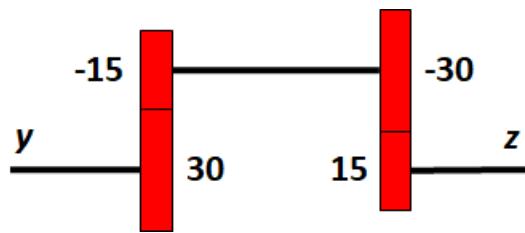


Abb. 12: Übersetzung 4:1 zwischen z - und y -Achse

Eine Lösung mit dem fischertechnik-Rast-Differential ([75218](#)) mit Z20 am Differentialkäfig ([35983](#)) zeigt Abb. 13: Das Getriebe erhält man durch Ersetzung der beiden Z15 aus Abb. 12 durch je ein Z20 und der beiden Z30 durch zwei Z40.



Abb. 13: Wochentaganzeige – Übersetzung 7:1 mit fischertechnik-Rast-Differential

Datumsanzeige

Die Datumswelle muss sich alle 31 Tage einmal drehen. Dafür benötigen wir eine Übersetzung der Welle des Stundenrads 62:1 ins Langsame. Zahnräder mit 62 (oder 31) Zähnen gibt es im fischertechnik-System nicht. Aber auch hier können wir uns ein passendes Getriebe unter Verwendung eines Differentials konstruieren.

Diesmal suchen wir eine Übersetzung zwischen Differentialkäfig (z) und Abtriebsachse (y), dass

$$x = 31y$$

Also gilt mit (2):

$$2z - y = 31y$$

Oder, freigestellt nach z:

$$z = 16y$$

Das können wir mit zwei Übersetzungen 4:1 (Z10 auf Z40) umsetzen.

Für beide Differentiale – das „historische“ und das Rast-Differential mit Z20 – benötigen wir jeweils eine Zwischenachse, da wir weder mit einem Z15 noch mit einem Z20 mit fischertechnik-Zahnradern eine 4:1-Übersetzung in einem Schritt verwirklichen können.

Am flexibelsten ist eine 1:1-Übersetzung auf die Zwischenachse (Z15 auf Z15 bzw. Z20 auf Z20), von dort eine Untersetzung Z10 auf Z40, dann eine zweite Untersetzung Z10 auf Z40 und von dieser Zwischenachse erneut eine 1:1-Übersetzung – mit einem Zahnradpaar in passender Größe, abhängig vom Abstand der Zwischen- von der Abtriebsachse.



Abb. 14: Datumsanzeige – Übersetzung 31:1 mit „historischem“ fischertechnik-Differential

Abb. 14 zeigt eine Konstruktion mit dem „historischen“ Differential. Durch die Zwischenachsen wirkt die Konstruktion kompliziert; tatsächlich sind jedoch nur die beiden Untersetzungen Z10 auf Z40 für unser

Getriebe von Relevanz. Das erkennt man gut an der Konstruktionszeichnung des Getriebes in Abb. 15.

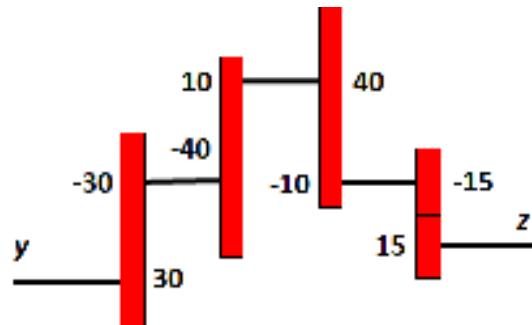


Abb. 15: Übersetzung 16:1 zwischen z- und y-Achse

Mit dem Rast-Differential mit Z20 benötigen wir ebenfalls zwei Zwischenachsen, da wir die Übersetzung in drei Teiluntersetzung zerlegen müssen: zunächst in zwei Übersetzungen 2:1 (Z20 auf Z40 und Z10 auf Z20) und, nach einer Richtungsumkehr über ein Z10, in eine Übersetzung 4:1 (Z10 auf Z40). Die Konstruktionszeichnung des Getriebes zeigt Abb. 16.

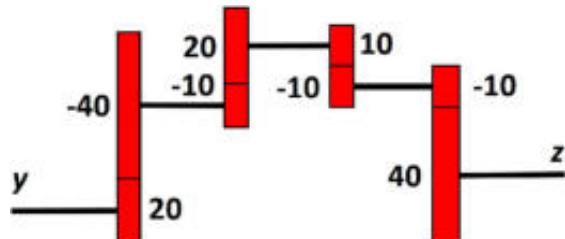


Abb. 16: Übersetzung 16:1 zwischen z- und y-Achse des Rast-Differentials



Abb. 17: Datumsanzeige – Übersetzung 31:1 mit fischertechnik-Rast-Differential

In Abb. 17 ist das fertige Getriebeelement mit Rast-Differential zu sehen. Es ist deutlich kompakter als die vorangegangene Konstruktion, allerdings schwergängiger.

Monatsanzeige

Wie oben erwähnt erhalten wir die Monatswelle durch eine Übersetzung der Datumswelle im Verhältnis 12:1. Das gelingt mit fischertechnik-Zahnradern direkt, ohne Rückgriff auf ein Differential (Z10 auf Z30, Z10 auf Z40; siehe Abb. 18).



Abb. 18: Monatsanzeige – Übersetzung 12:1

Jahresanzeige

Wie stark wir die Jahresanzeige untersetzen müssen, hängt davon ab, wie viele Jahre wir anzeigen möchten. Der Einfachheit halber nehmen wir an, dass unser Zifferblatt zwölf Jahre abdecken soll.



Abb. 19: Getriebeausschnitt: Monats- (links) und Jahresanzeige (rechts)

Dann können wir die Getriebekonstruktion der Monatsanzeige übernehmen. Ein wenig müssen wir die Anordnung der Zahnräder anpassen, damit die Zifferblätter nebeneinander passen – und rückseitig genügend Raum für die Mondphasenanzeige bleibt. Abb. 19 zeigt die beiden Anzeigen ohne Zifferblätter. Der Antrieb erfolgt über ein Z10 am Z30 unten links im Bild.

Mondphasenanzeige

Die Mondphasenanzeige soll den synodischen Monat anzeigen. Sie folgt der eleganten Konstruktion von Thomas Püttmann [4]: Mit einem Umlaufgetriebe am Drehkranz (Z58) erreichen wir die für eine einfache Mondphasenanzeige benötigte Übersetzung 59:1 (Abb. 20).



Abb. 20: Mondphasengetriebe 59:1

Wenn wir eine Tageswelle an dieses Getriebe anlegen, dreht sich das Drehkranz-Oberteil einmal in 59 Tagen – perfekt für eine Anzeige mit zwei Vollmonden (Abb. 4, 5).

Anschaulicher und realistischer ist eine Anzeige mit einer sich drehenden Mondkugel (Abb. 7, 9). Dazu müssen wir unsere Tageswelle zuvor 1:2 ins Schnelle übersetzen und den Drehkranz horizontal montieren (Abb. 21). Bei der Antriebsachse müssen wir darauf achten, dass sich der Mond in die richtige Richtung dreht. Als Mond können wir, wie von Thomas Püttmann vorgeschlagen, die fischertechnik-Styropor-Kugel D50 ([146375](#)) verwenden.



Abb. 21: Umlaufgetriebe 59:1 mit Drehkranz und halbseitig schwarz gefärbte Styroporkugel

Wir färben sie auf der einen Hälfte schwarz und stecken sie anschließend auf eine Rast-aufnahmeachse 22,5 ([130593](#)). Bei der Färbung der Kugel sollte man eine Farbe ohne Lösungsmittel verwenden, damit sich das Styropor nicht auflöst. Ausreichend Deckung erreicht man bereits mit einfacher schwarzer Aquarellfarbe.

Um den Rand der schwarz bemalten Oberfläche einigermaßen gerade hinzubekommen, habe ich zuvor einen Haushaltsgummi um die Kugelmitte gespannt.

Zifferblätter

Für das Kalenderwerk benötigen wir nun noch Zifferblätter. Die Zifferblätter für die Wochentag-, Datums-, Monats- und Jahresanzeige lassen sich in Microsoft Word elegant mit WordArt als kreisförmig angeordnete Beschriftung erzeugen. Im [Download-Bereich zu dieser Ausgabe der ft:pedia](#) können alle Zifferblätter aus Abb. 22 in der passenden Größe heruntergeladen werden.



Abb. 22: Zifferblätter für Wochentag, Datum, Monat und Jahr

Während die anderen drei Zifferblätter fest montiert werden, ist das Zifferblatt für die Datumsanzeige zur Montage auf der Achse gedacht: Das aktuelle Datum kann so in einem festen Fenster angezeigt werden, hinter dem sich das Zifferblatt im Uhrzeigersinn dreht. Dafür musste die Reihenfolge der Daten auf dem Zifferblatt umgekehrt werden.

Die für die Mondphasenanzeige benötigte „Vollmondscheibe“ lässt sich leicht herstellen: Wir schlagen mit einem Zirkel einen Kreis mit 8 cm Durchmesser sowie zwei weitere Kreise mit je 3 cm Durchmesser, deren Mittelpunkte auf einer Linie mit dem Mittelpunkt des großen Kreises liegen, sodass deren geringster Abstand zur Kreislinie 0,5 cm beträgt. Die Fläche außerhalb der beiden Innenkreise malen wir mit schwarzer Farbe aus (Abb. 21).



Abb. 21: Vollmondscheibe (8 cm Durchmesser, Monde: je 3 cm Durchmesser)

Wer keinen Zirkel und keine Wasserfarbe zur Hand hat, kann auch einfach die Vorlage aus dem [Download-Bereich zu dieser Ausgabe der ft:pedia](#) ausdrucken.

Ein wenig „Charakter“ kann man der Vollmondscheibe mitgeben, wenn man die weißen Mondflächen mit etwas Deckweiß ausmalt und im Nachthimmel ein paar Sterne ergänzt.

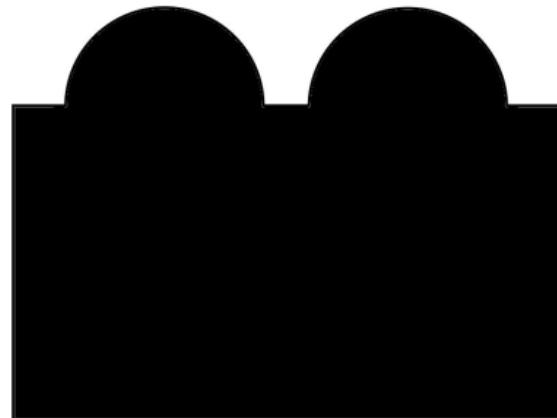


Abb. 22: Blende

Damit immer höchstens ein Vollmond sichtbar ist, benötigen wir noch eine passende Blende (Abb. 22). Auch die Blende lässt sich mit einem angedeuteten Sternenhimmel etwas ansprechender gestalten. Die Blende gibt es ebenfalls als ausdruckbare Vorlage im [Download-Bereich der ft:pedia](#).

Um die Stabilität der Zifferblätter zu verbessern sollten sie auf etwas stärkerem Papier ausgedruckt werden; alternativ kann man sie mit dünner Pappe hinterlegen.

Uhr

Das Kalendarium lässt sich mit jeder Stundenachse einer fischertechnik-Uhr antreiben. Für die 50-Hz-Synchronuhr mit Stirnradgetriebe aus [5] habe ich dafür noch ein Zifferblatt spendiert (Abb. 23).



Abb. 23: 50-Hz-Uhr mit Zifferblatt

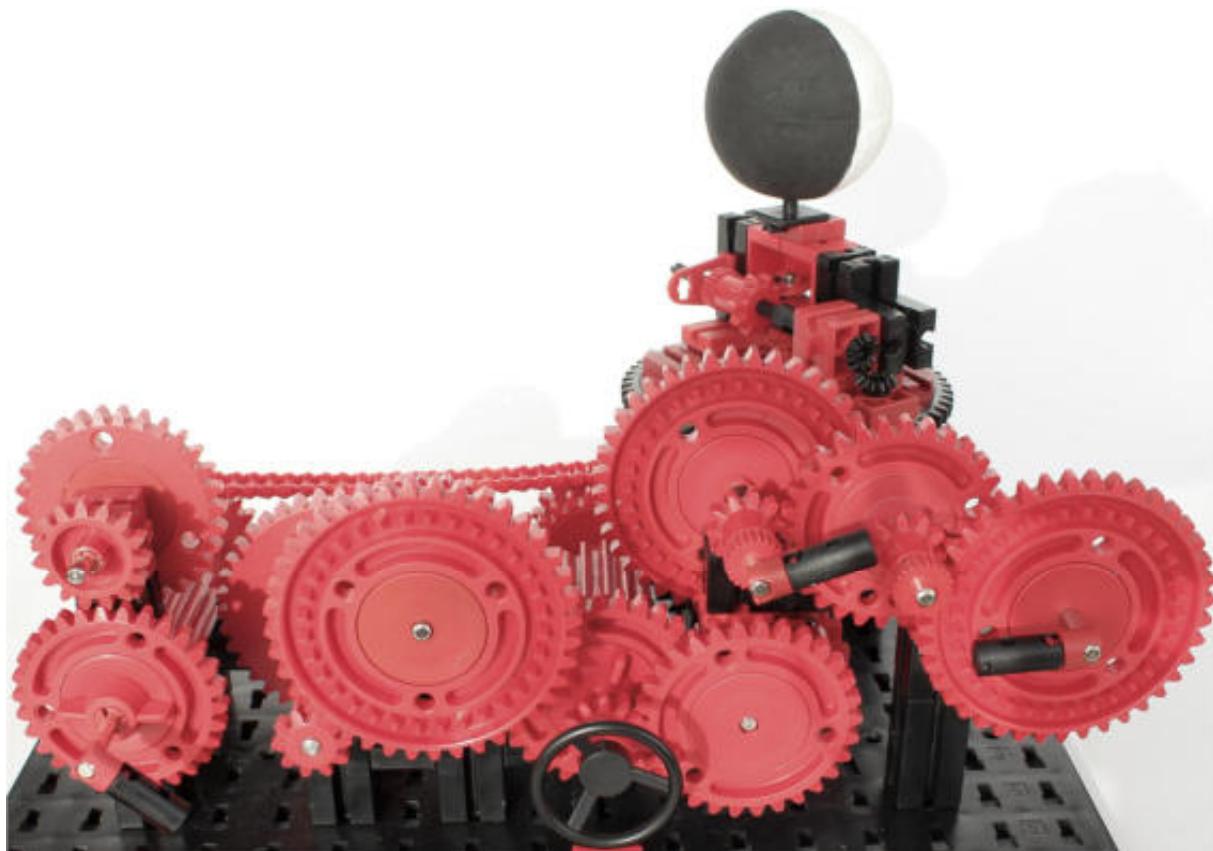


Abb. 24: Vollkalendarium – Kalenderwerk mit Mondphasenanzeige (ohne Zifferblätter)

Vollkalendarium

Eine Kalenderanzeige mit Datum, Wochentag und Monat nennt man auch Vollkalendarium. Unser Kalenderwerk umfasst außerdem die Jahres- und die Mondphasenanzeige. In Abb. 24 und 25 sind die fünf Komplikationen in der Gesamtansicht zu sehen – mit und ohne Zifferblätter.

Download

Neben den Zifferblättern findet ihr im [Download-Bereich zu dieser ft:pedia-Ausgabe](#) eine fischertechnik-Designer-Datei des gesamten Getriebes des Kalenderwerks.

Referenzen

- [1] Ferdinand Berthoud: [*Histoire de la mesure du temps par les horloges.*](#) Tome 1, Paris, 1802.
- [2] Jonathan Betts: *Harrison. Eine Uhr zur Bestimmung des Längengrads.* Delius Klasing Verlag, Bielefeld 2009.
- [3] M. T. Wright: [*The Antikythera Mechanism and the Early History of the Moon-Phase Display.*](#) Antiquarian Horology 29, 2006, S. 319-329
- [4] Dirk Fox, Thomas Püttmann: *Technikgeschichte mit fischertechnik.* dpunkt-Verlag, 2. aktualisierter Nachdruck, Heidelberg 2022.
- [5] Dirk Fox: *Synchronuhr mit Stirnradgetriebe.* [ft:pedia 4/2021](#), S. 18–21.
- [6] Thomas Püttmann: *Das Differentialgetriebe.* [ft:pedia 4/2014](#), S. 12–19.
- [7] Richard Mühe, Helmut Kahlert: *Die Geschichte der Uhr.* Deutsches Uhrenmuseum Furtwangen, Callway, München 1983.



Abb. 25: Vollkalendarium – Kalenderwerk mit Mondphasenanzeige und Zifferblättern

Elektronik

9V-Block-Akkus im fischertechnik-Batteriehalter

Till Harbaum

Die Standard-Stromversorgung für fischertechnik-Modelle ist seit vielen Jahren der klassische 9V-Block im Batteriehalter ([135719](#)). Das klingt zunächst nach einer sinnvollen Lösung. Die Batteriehalter sind günstig in der Herstellung, die passenden Batterien gibt (gab) es an jeder Straßenecke und es lassen sich alle Motoren, Aktoren und Controller aus dem fischertechnik-Sortiment damit betreiben. Aus gutem Grund liegt der Batteriehalter praktisch allen Baukästen bei, die Elektrokomponenten enthalten. Ganz so einfach ist es leider nicht.

Hintergrund

Speziell bei fischertechnik-Modellen, die eine starke Motorisierung erwarten, wie das Advanced Racing Set ([540584](#)) oder das Tractor Set ([524325](#)) kommt beim Einsatz handelsüblicher 9V-Einwegbatterien keine Freude auf. Woran liegt das?

Die Stromaufnahme eines fischertechnik-Motors schwankt je nach Motor, Einsatzgebiet und Belastung zwischen 50 und 1100 mA. Bei 9 V bedeutet das, dass die Motoren zwischen einem knappen halben Watt bis zu zehn Watt Leistung aufnehmen. Schauen wir uns im Vergleich mal die entsprechenden (Marken-) Batterien dazu an.

Einwegbatterien

Ein Klassiker ist die Duracell-MN1604-Alkali-Mangan-Batterie. Interessant ist auf der ersten Seite des Datenblatts [1] das rechte Bild – „Coppertop 9V Constant Current“. Die dort abgebildete Stromentnahme reicht von 50 bis 250 mA. Sie deckt damit nur geringe Leistungen bis 2 Watt ab. Aber selbst dabei schwächtelt die Batterie bereits stark und sie hält bei 250 mA nur eine Stunde durch, was einer entnehmbaren elektrischen Ladung von 250 mAh entspricht. Entlädt man die Batterie dagegen

mit nur 50 mA, so hält sie über 8,5 Stunden durch, was 425 mAh entspricht, also fast dem doppelten. Belastet man die Batterie noch stärker, dann verstärkt sich dieser Effekt weiter und die entnehmbare Energie wird immer geringer. Ist das ein Einzelfall?

Ein Blick ins Datenblatt der Energizer MAX 9V [2] zeichnet ein ähnliches Bild. Während man der Batterie bei 25 mA Strom noch insgesamt 600 mAh entnehmen kann sind es bei 500 mA nur noch 300 mAh. Das ist zwar etwas mehr als Duracell angibt, die Fahrmotoren der o. g. Modelle entleeren so eine Batterie aber in deutlich unter einer Stunde. Das ist auf Dauer ein teurer und ökologisch kaum vertretbarer Spaß. Die Batterie entlädt sich und nur ein Bruchteil der Energie landet wirklich im Modell – der Rest geht verloren.

Was passiert hier? Wohin verschwindet die Energie? Die Antwort ist einfach: Die Batterie erwärmt sich. Aus technischen Gründen haben die Batterien einen vergleichsweise hohen sogenannten Innenwiderstand, so dass bei starker Belastung ein großer Teil der Energie direkt in der Batterie in Form von Abwärme verloren geht. „Normale“ Einsatzgebiete für diese 9V-Blockbatterien sind Rauchmelder,

einfache Messgeräte, Transistorradios und Ähnliches. Diese Geräte haben eine äußerst geringe Stromaufnahme, die eine solche Batterie leicht erfüllen kann. Hier spielen diese Batterien auch ihre Stärke aus, denn durch die geringe Selbstentladung über eine lange Zeit halten diese Batterien in solch einem Fall durchaus mehrere Jahre durch.

In einem Spielzeug spielt die Selbstentladung allerdings keine Rolle. Hier wird die Batterie in kurzer Zeit entladen und es ist egal, dass man sie zwischendurch monate-lang unbenutzt lagern könnte. Einwegbatterien sind also eher ungeeignet für den Einsatz im Batteriehalter.

Akkus

Sind die Batteriehalter also völlig unbrauchbar? Nicht unbedingt. Wiederverwendbare Akkus besitzen deutlich andere elektrische Eigenschaften als Primärzellen (Einwegbatterien). Zum einen haben sie eine deutlich höhere Selbstentladung: Selbst wenn man sie nicht benutzt entladen sich Akkus je nach Typ binnen weniger Wochen bis Monate selbst, was sie in vielen klassischen Einsatzgebieten wie Rauchmeldern disqualifiziert. Stattdessen haben Akkus aber einen eher geringen Innenwiderstand. Diesen Vorteil können die klassischen Einsatzgebiete von Blockbatterien nicht ausnutzen, wohl aber unser fischertechnik-Modell.

Akkus können dadurch einen wesentlich höheren Strom liefern als Einwegzellen, und tatsächlich eignen sich Akkus wesentlich besser für energiehungriige Modelle als Einwegbatterien. Der Nachteil der früher eingesetzten Nickel-Cadmium- (NiCd) oder Nickel-Metallhydrid-Akkus (NiMH) ist aber ihre, vor allem in der Bauform einer 9V-Batterie, eher geringe Kapazität von 150 bis 250 mAh. Damit lassen sich die Modelle wiederum nur wenige Minuten betreiben. Außerdem braucht man ein passendes Ladegerät, das bei generell immer seltener anzutreffenden 9V-Blöcken

immer häufiger in der hintersten Ecke einer selten geöffneten Schublade liegt und im Bedarfsfall unauffindbar ist.

Moderne Akkus auf Lithium-Ionen-Basis bieten dagegen eine wesentlich höhere Kapazität. Während eine einzelne NiCd- oder NiMH-Zelle eine Spannung von 1,2 V liefert, kommt eine Li-Ion-Zelle auf 3,7 V. Um in die Nähe der 9 V zu kommen, benötigt man also nicht wie bei NiCd- oder NiMH-Akkus bis zu sieben einzelne Zellen im Inneren des 9V-Blocks, sondern kommt mit zwei in Serie geschalteten Zellen bereits auf 7,4 V.

Hier zeigt sich aber ein Nachteil von Akkus: Übliche Batteriespannungen (1,5 V, 4,5 V oder 9 V) sind Vielfache der 1,5V-Zellenspannung von Einwegbatterien. Diese Spannungen lassen sich leider nicht durch Vervielfachung der Zellen-Spannungen von 1,2V- oder 3,7V-Akkus erreichen. Zudem liegen die Spannungen von Akku-Zellen direkt nach dem Laden deutlich über ihrer Nennspannung und können 1,35 V (NiCd oder NiMh) bzw. 4,2 V (Li-Ion) erreichen, so dass man mit der Zahl der Zellen nicht zu großzügig umgehen kann, wenn man nicht sicher ist, dass der Verbraucher auch Spannungen über 9 V verträgt.

9V-Li-Ion-Akkus

Bei einem 9V-Block auf Basis von Li-Ion-Zellen stellt sich diese Frage nicht. Mit zwei Zellen erreicht man eine Nennspannung von 7,4 V, direkt nach dem Laden ergibt sich eine Spannung von knapp 8,5 V. Näher kommt man auf diese Weise nicht an die 9 V heran.

Ich habe mir einen solchen Akku in Form einer „POOVER 9V Lithium-Ion“-Batterie einmal näher angesehen. Diese gibt es im Online-Handel im Doppelpack inklusive separatem USB-Ladegerät (Abb. 1) für gut 15 Euro, was ungefähr dem Preis von sechs bis acht Duracell-Alkali-Einwegbatterien entspricht.



Abb. 1: Poover mit Ladegerät

Für den Einsatz in fischertechnik-Modellen sind vor allem zwei Werte interessant: Welche Stromstärke kann die Batterie liefern und wie lange hält sie durch? Die Stromstärke allein sagt nur bedingt etwas aus, da der entnommene Strom einen Einfluss auf die Ausgangsspannung hat. Je höher die Stromstärke, desto stärker bricht die Spannung ein (Abb. 2).

Die Poover-Zellen liefern frisch geladen und unbelastet ca. 8,25 V. Ich habe sie mit bis zu einem Ampere (1000 mA) belastet. Dabei sinkt die Ausgangsspannung der nach wie vor vollen Batterie auf 6,86 V (Abb. 2), steigt aber wieder an, sobald die Last entfernt wird. Die entnehmbare Stromstärke liegt also deutlich über dem Wert

einer Einwegbatterie, allerdings liegt die Ausgangsspannung dann mit knapp unter 7 V fast 25% unter dem Sollwert und die Motoren erreichen damit nicht ihre Maximallleistung. Für die meisten Anwendungen inklusive der diversen TXT/BT/etc.-Controller reichen Spannung und Stromstärke aber aus.

Die Kapazität des Akkus beträgt laut Aufdruck 700 mAh. Das ist ein realistischer Wert. Deutlich höhere Angaben sollten einen stutzig machen. Der Praxistest an einer elektronischen Last ergab dann sogar knapp 740 mAh. Dabei wurde die Batterie mit 300 mA belastet (Abb. 3), was einem moderat belasteten Motor und einer Leistungsabgabe von knapp zwei Watt entspricht. Dabei hält die Batterie über zwei Stunden durch und liefert die doppelte Energie einer konventionellen Alkali-Einwegbatterie.

Damit rückt sie den guten alten 9V-Batteriehalter in den nutzbaren Bereich. Ein Manko bleibt aber die vergleichsweise große Selbstentladung, sodass die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass man nach wenigen Wochen Nichtbenutzung erstmal wieder das passende Ladegerät heraussuchen muss.

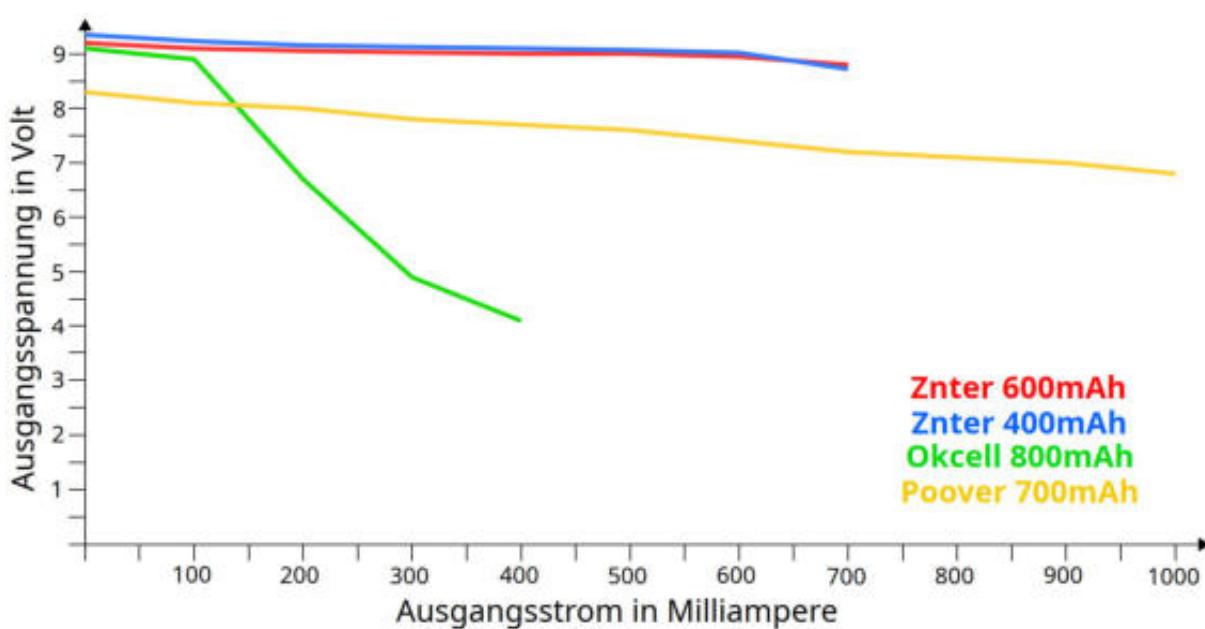


Abb. 2: Belastbarkeit



Abb. 3: Poover im Test

9V-USB-Li-Ion-Akkus

Als ich diesen Batterietyp vor ein paar Jahren im chinesischen Versandhandel sah, war ich begeistert: 9V-Li-Ion-Akkus mit eingebauter Ladeelektronik. Einfach die leere Batterie per USB-Kabel an PC oder Handy-Ladegerät hängen und wieder auftanken. Keine Suche nach dem passenden Spezial-Ladegerät; selbst auf einer Convention würde ich damit immer einen Weg zu frischer Energie finden.



Abb. 4: USB-Li-Ion-Blockakkus

Die erste Batterie dieser Art, die ich bestellt habe, war eine 800 mAh Okcell (Abb. 4, links). Und, um es direkt zu sagen: Diese Batterie hat meine Erwartungen in keiner Weise erfüllt. Die Ausgangsspannung brach schon beim Anschluss einer einzelnen fischertechnik-Glühlampe auf 6 V ein und auch bei moderater Belastung durch einen ftDuino mit angeschlossener Leuchtdiode konnte nicht im Ansatz von 800 mAh die Rede sein. Angenehm erschien auf den ersten Blick die ebenfalls eingebaute Ladestandanzeige. Da die Batterie die versprochene Leistung partout nicht erbringen kann, nützt so eine Anzeige allerdings

wenig. Also hatte sich das Thema erstmal wieder erledigt.

Anfang 2019 gab es dann schon eine breitere Auswahl solcher Batterien, und eine 400 mAh-Variante von einem Hersteller mit dem unaussprechlichen Namen ZNter (Abb. 4, Mitte) hatte einige vielversprechende Bewertungen aufzuweisen. Und tatsächlich war diese Batterie brauchbar. Ein oder zwei Motoren oder Lampen konnte man damit betreiben und auch die Laufzeit schien den angegebenen 400 mAh nahe zu kommen.

Ein weiteres Jahr später kam die 600 mAh-Variante des gleichen Akkus auf den Markt, die ebenfalls zu halten schien, was sie versprach. Bis dahin hatten auch anderen Forums-Mitglieder diese Batterien entdeckt [3] und ebenfalls für brauchbar befunden.

Inzwischen gibt es eine noch neuere Version von ZNter, wiederum mit 10% mehr Kapazität und einer neuen Schnelllademöglichkeit per USB-C. Diese Batterie hat mich aber nicht mehr rechtzeitig für diesen Beitrag erreicht. Sobald sie aus Fernost eintrifft werde ich sie im Forum vorstellen.



Abb. 5: ZNter im Batteriegehäuse

Die USB-Zellen unterscheiden sich aber nicht nur im Ladeverfahren von den per externem Ladegerät zu ladenden Li-Ion-Zellen, sondern stellen auch ihre Ausgangsspannung ganz anders bereit. Dass es kaum möglich ist, 9 V per Li-Ion-Zelle(n) direkt bereitzustellen, wurde bereits im vorigen Abschnitt erklärt. Tatsächlich ist es aber durch entsprechende Elektronik möglich,

Spannungen umzuformen. Neben der USB-Ladeelektronik enthalten diese USB-Zellen daher auch einen sogenannten Step-Up-Wandler, der die Batteriespannung auf 9 V anhebt. Das hat den großen Vorteil, dass diese Batterien tatsächlich die gewünschte 9V-Ausgangsspannung liefern und das sogar (fast) unabhängig vom Ladezustand.

Es hat aber auch den Nachteil, dass mit diesem Wandler ein potenzieller Flaschenhals ins Spiel kommt. Genau daran krankt die Okcell-Batterie, deren Wandler maximal 100 mA liefert – zu wenig für die meisten fischertechnik-Motoren, -Controller und -Lampen, selbst wenn der im Inneren der Batterie verbaute Akku vielleicht genug Energie liefern könnte.

Anlass genug, diese Batterien mal einem genauen Test zu unterziehen. Tatsächlich verhalten sich die beiden ZNter-Batterien im Modell sehr ähnlich. Beide liefern Ströme bis ca. 700 mA und können damit sogar einen TXT antreiben. Für ein paar Lampen und leicht belastete Motoren reicht es auch. Aber bei den Power-Motoren wird man mit 700 mA auch nicht glücklich. Überlastet man die Batterien, so schalten sie den 9V-Ausgang ab. Erst ein kurzer Anschluss via USB-Ladeport schaltet den 9V-Ausgang dann wieder ein.

Die Messkurven in Abb. 6 spiegeln das gefühlte Verhalten deutlich wieder: Die Okcell liefert zu wenig Strom und bleibt mit 239 mAh weit hinter den beworbenen 800 mAh zurück. Die 400 mAh-ZNter liefert praxistaugliche 600 mA, bleibt mit einer Kapazität von knapp 300 mAh aber ebenfalls deutlich unter Nennwert. Erst die 600 mAh-Batterie liefert 700 mA und kommt mit der Kapazität von 550 mAh in die Nähe des versprochenen Wertes.

Man muss dabei im Hinterkopf behalten, dass diese Batterien konstant 9 V abgeben. Dadurch ist die bei 550 mAh abgegebene Energie von fünf Wattstunden (Wh) nahezu gleich der nur 7 V liefernden reinen Li-Ion-Zelle mit 700 mAh. Einfach direkt die Ladekapazitäten in mAh zu vergleichen hinkt hier aufgrund der unterschiedlichen Spannungen also etwas.

Im Inneren der USB-Batterien steckt jeweils sehr ähnliche Technik. Ein Youtube-Video [4] und ein Review [5] zeigen die beiden parallel geschalteten 500-mA-Akkus im Inneren der 400-mAh-ZNter-Batterie sowie die Lade- und Step-Up-Elektronik am Fuß. Foren-Mitglied juh hat unter [3] die 600 mAh-Variante geöffnet.

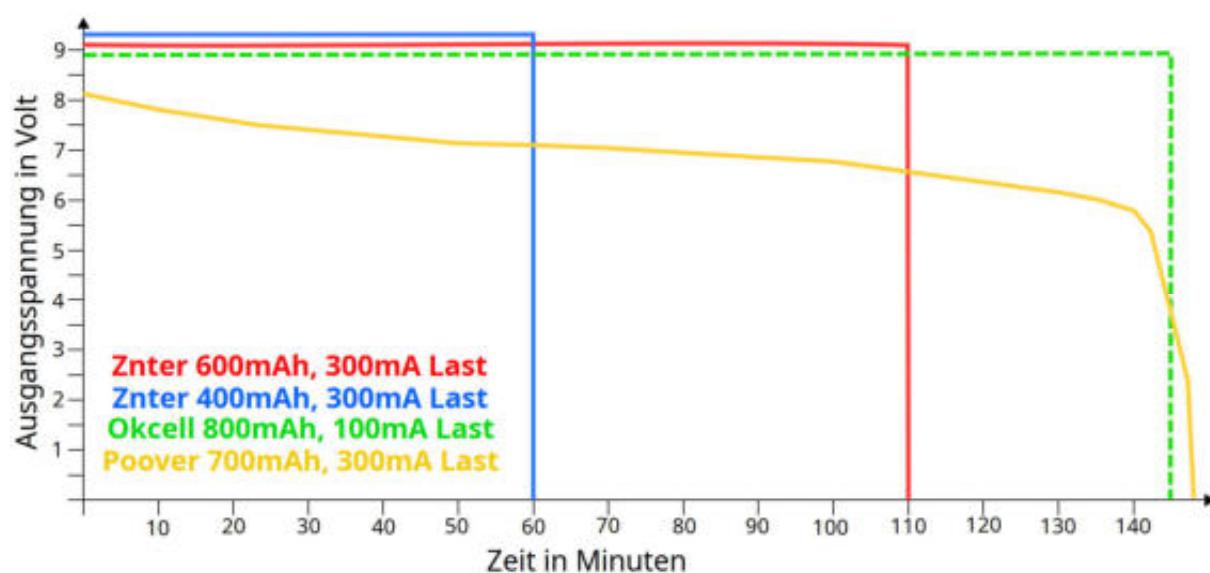


Abb. 6: Entladung (Kapazität)

Hier kommen zwei 750-mAh-Batterien zum Einsatz, und die Elektronik befindet sich im Kopf der Batterie.

Kurz vor Drucklegung der ft:pedia erreichte mich dann doch noch das aktuelle 2022er-Modell der ZNter-Batterie (Abb. 7). Meine Erwartung war, etwas mehr Kapazität und ggf. etwas mehr Stromstärke zu erhalten.



Abb. 7 Aktuelles ZNter-Batteriemodell

Tatsächlich verhält sich das neue Modell deutlich anders als die Vorgänger: Bei Belastung hält es die Spannung weniger konstant. Unbelastet liefert es 9,6 V; mit steigender Last sinkt diese Spannung und erreicht bei 500 mA Last noch 9,1 Volt. Bei weiter steigender Last sinkt die Ausgangsspannung schnell weiter: bei 500 mA sind es nur noch 8,6 V. Während die Vorgänger bei 700 mA noch stabile 9 V liefern, bricht das aktuelle Modell hier auf gut 7 V ein. Auch bei der entnehmbaren Kapazität bleibt es trotz höherem Nennwert hinter dem Vorgänger zurück und nach 102 Minuten bei 300 mA ist Schluss. Dabei erwärmt sich die Batterie deutlich spürbar.

Fazit

Wer heute auf Aliexpress oder ähnlichen Plattformen schaut, wird Batterien in 9-V-Bauform finden, bei denen abenteuerliche Kapazitäten von bis zu 12500 mAh angegeben werden. Diese Werte sind natürlich völlig utopisch. Realistische Kapazitäten liegen bei maximal 800 mAh für USB-Zellen und bei 1000 mAh für Li-ion-Zellen in 9V-Block-Bauform ohne eigene Ladeelektronik. Das entspricht ca. 6 Wh als maximal zu erwartendem Energieinhalt.

Es ist unmöglich, generelle Tipps zur Unterscheidung guter und schlechter Zellen zu geben. Die ZNter-Zellen haben sich als praktisch herausgestellt und scheinen zuverlässig verfügbar zu sein. Wer mag, der bestelle gerne eine andere Marke und berichte im Forum über das Ergebnis. Vor allem eine Zelle mit größerer Stromstärke als die hier beobachteten 700 mA wäre interessant.

Wer „maximale Power“ braucht, dem wird der 9V-Batteriehalter nicht helfen. Daran ändern auch aktuelle Akkus nichts. Wem aber der Betrieb mit Einwegbatterien lediglich etwas schwächlich vorkam und das Vergnügen etwas zu kurz erschien, dem können Li-Ion-basierte 9V-Akkus gefallen. Sie bieten je nach Belastung mehr als die doppelte Kapazität einer Einwegbatterie und sind auch bei der Stromstärke deutlich im Vorteil.

Der Einkauf birgt allerdings immer ein gewisses Risiko. Qualität und Preis schwanken stark und häufig sind völlig utopische Kapazitätsangaben zu finden. Mit den 2021er ZNter-Batterien habe aber nicht nur ich gute Erfahrungen gemacht. Doch die Tests zeigen: Neuer ist nicht immer besser.

9V-Akkus mit eingebautem USB-Ladegerät punkten vor allem durch ihre Alltagstauglichkeit, muss man sich doch keine Gedanken über eine passende Energiequelle machen. Zusätzlicher Vorteil dieser Akkus ist die konstante elektronisch erzeugte

Ausgangsspannung. Diese geht aber etwas auf Kosten des maximalen Entladestroms und der Kapazität. Wer das Maximum aus dem 9V-Batteriehalter herausholen will greift also eher zu Li-Ion-Akkus mit separatem Ladegerät.

Preislich macht man dabei wenig falsch. Ein Doppelpack Akkus kostet in beiden Fällen um die 15 Euro, was dem Gegenwert von 6 bis 8 Markeneinwegbatterien entspricht. In stromhungigen fischertechnik-Anwendungen hat sich die Anschaffung schnell amortisiert.

Dennoch gilt: Ob sich eine Batterie für den Einsatz im fischertechnik-Modell eignet muss man für jede Batterie-Variante erneut testen.

Exkurs: Milliampere (mA) vs. Milliamperestunden (mAh)

Bei Batterien interessieren uns vor allem zwei Werte, die leicht zu verwechseln sind, aber nicht verwechselt werden sollten. Die Stromstärke in mA gibt an, einen wie starken Strom man der Batterie maximal entnehmen kann. Je höher die Stromstärke, desto mehr und stärkere Verbraucher kann man anschließen. Wie lange die Batterie dabei aber durchhält, darüber sagt die Stromstärke nichts aus. Die maximale Stromstärke wird bei Batterien leider in der Regel nicht angegeben; sie ist aber genau das, was klassische Einwegbatterien in fischertechnik-Modellen disqualifiziert.

Die Kapazität in Milliamperestunden (mAh) gibt dagegen an, wieviel Ladung in der Batterie insgesamt gespeichert ist. Sie bestimmt, über welchen Zeitraum man einen bestimmten Strom entnehmen kann. Eine Batterie mit 700 mAh liefert zum Beispiel 10 Stunden lang einen Strom von 70 mA. Bei einem Strom von 1 A hält die

Batterie (sofern sie einen solch hohen Strom überhaupt liefern kann, s. o.) hingegen deutlich kürzer als 0,7 Stunden durch.

Welcher Gesamtenergie die Kapazität entspricht hängt zusätzlich von der Spannung ab. Und die ist bei vielen Batterien über die Entladung noch nicht einmal konstant, sondern sinkt langsam, wenn sich die Batterie leert. Die Gesamtenergie in Watt entspricht der Ladungskapazität in Ampere mal durchschnittlicher Spannung in Volt während der Entladung. Diesen Wert kann man dann z. B. mit den aktuellen Energiekosten vergleichen. Kostet eine Kilowattstunde z. B. 30 ct, dann enthält eine 9V-Batterie mit 550 mAh insgesamt fünf Wattstunden Elektrizität im Wert von 0,125 ct bzw. dem Äquivalent der Energie in weniger als 0,5 ml fossilem Treibstoff (gut 10 kWh pro Liter). Das entspricht etwa 1/10 Teelöffel Benzin.

Referenzen

- [1] Duracell: [MN1604 datasheet](#).
- [2] Energizer: [MAX 9V datasheet](#).
- [3] ftcommunity-Forums-Thread zu [9V-Zellen](#).
- [4] bigclivedotcom: [Inside a ZNter lithium 9V battery](#). Youtube.com
- [5] BudgetLightForum.com: [Test/review of Zinter S19 9V 400mAh USB \(Black-green\)](#).
- [6] Adam Welch: [OkCell 9V PP3 Lithium Battery](#). Youtube.com
- [7] KJDOT: [How to Make USB Rechargeable 9V Li-Ion Battery](#). Youtube.com
- [8] Penguin DIY: [So stellen Sie einen wiederaufladbaren 9V-Li-Ion-Akku her](#). Youtube.com

Elektronik

Ein Labor in Aktion

Hans-Christian Funke

Baustellenlauflichter, Ampelschaltungen, Quizmasterschaltung, Sirene mit Blaulicht für Einsatzfahrzeuge, Steuerungen für Transportbänder und vieles mehr lassen sich mit den Elektronikmodulen realisieren und nachbauen. Über dieses Labor wird man an die Grundlagen herangeführt.



Abb. 1: Lauflichter für Baustellen

In der ft:pedia 3/2021 habe ich bereits das „Labor für digitale Elektronik“ mit allen Zubehörteilen vorgestellt [1]. Seit Anfang April 2022 sind das Labor und sämtliches Zubehör im Online-Shop von Franz Santjohanser beziehbar [2].

Inhalt des Labors

In dem Labor wird mit den Grundlagen begonnen. Die einzigen Grundvoraussetzungen, die mitzubringen sind, sind der sichere Umgang mit den Grundrechenarten und dem Umrechnen von Maßeinheiten.



Abb. 2: Das gedruckte Lehrbuch

Im ersten Schritt wird das Labor aufgebaut und alle Vorbereitungen werden getroffen. Wer nicht alle Teile dafür hat, kann sich die Ergänzungssets (75001-3) bestellen.

Im Kapitel *Grundlagen* kann man seine Kenntnisse über den elektrischen Strom und über Zahlensysteme auffrischen oder bilden, sodass jedem ermöglicht wird, dieses Labor mit wirklich geringen Voraussetzungen durchzuführen. Anschließend werden alle Grundelemente an Gatter- und

Speichertypen vorgestellt und das erlernte Wissen anhand von praktischen Übungsaufgaben nachhaltig vertieft. Mit dem neuen Wissensstand werden die Laboranten im letzten Teil auf die Probe gestellt, wenn es darum geht, durch Kombination der Grundelemente komplexere Strukturen wie Schieberegister, Binärzähler, Addierer, De- und Multiplexer oder Vergleicher selbst zu entwerfen und aufzubauen.

Die Vorteile des Labors auf einen Blick:

1. Allein die sechs im Labor (75000) enthaltenen Module sind schon günstiger als beim Einzelkauf.
2. Obendrauf bekommt man das Zubehör (71099) mit den vier LED-Bausteinen, den Elektronikteilen und acht Steckern mit Schraube.
3. Das Wichtigste ist das enthaltene Lehrbuch als PDF-Datei (75006).

Wer lieber mit dem in Abb. 2 gezeigten Buch (75008) arbeiten möchte, kann dies separat bestellen.

Modelle

Die im Lehrbuch vorgestellten Modelle sind nicht Bestandteil des Labors, sondern sollen Anregungen für weitere Projekte liefern. Allerdings sind die Modelle vollständig und mit Schaltplan erklärt, sodass jeder sie nachbauen kann. Für einige Modelle werden weitere bzw. noch andere Elektronikmodule benötigt.

Als Bonus zu diesem Beitrag gibt es die Bauanleitung für die in Abb. 1 zu sehenden Baustellenschilder und eine Vorlage zum Ausschneiden und Bekleben der Bauplatte 60 × 15 zum Herunterladen als PDF-Datei [3]. Von fischertechnik gibt es auch selbstklebende Aufdrucke ([174322](#)), die zum Bekleben der Bauplatte verwendet werden können.

Das Zubehör

Die Zubehörteile sind nun auch als Set erhältlich. Darin sind die LED-Bausteine in den Farben rot, gelb, grün sowie eine zufällige Farbe enthalten (71099). Die LED-Bausteine wurden ebenfalls im Online-Shop mit aufgenommen; es gibt sie in acht verschiedenen Farben (71031 bis 71038).



Abb. 3: Zubehörteile

Ein LED-Baustein kann ohne Relais- oder Inverter-Plus-Modul direkt an einen Ausgang eines Elektronikmoduls angeschlossen werden. Die LED-Bausteine benötigen fast alle bei 9 V nur 1 mA und bei 15 V 2 mA. Lediglich bei gelb und orange liegen die Werte bei 3 mA bzw. 6 mA.

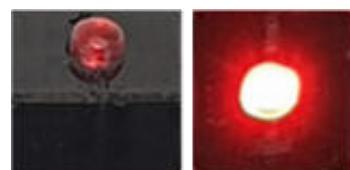


Abb. 4: LED 71031 rot

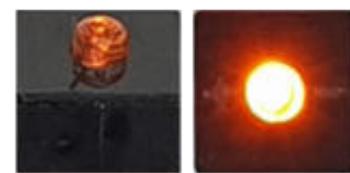


Abb. 5: LED 71032 orange



Abb. 6: LED 71033 gelb



Abb. 7: LED 71034 weiß

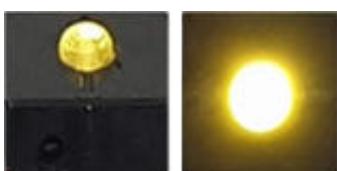


Abb. 8: LED 71035 warmweiß

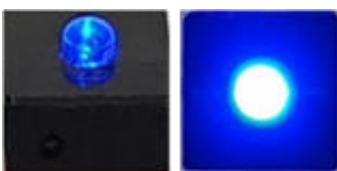


Abb. 9: LED 71036 blau

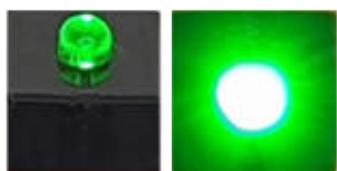


Abb. 10: LED 71037 grün

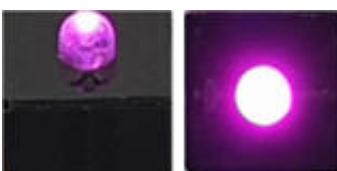


Abb. 11: LED 71038 pink

Weitere Zubehörsets

Die beiden Sets *Kondensatoren* (Abb. 12) und *Widerstände/Dioden* (Abb. 13) sind ab sofort separat erhältlich – zur Ergänzung für den eigenen Bestand oder als Ersatzteilager bzw. zum Austausch.



Abb. 12: Kondensator-Set 71046: sechs Kondensatoren (100 nF , $2,2\text{ }\mu\text{F}$, $10\text{ }\mu\text{F}$, $22\text{ }\mu\text{F}$, $47\text{ }\mu\text{F}$, $100\text{ }\mu\text{F}$); auch im Multifunktionsmodul enthalten



Abb. 13: Widerstands- und Dioden-Set: neun Widerstände ($100\text{ }\Omega$, $220\text{ }\Omega$, $470\text{ }\Omega$, $1\text{ k}\Omega$, $2,2\text{ k}\Omega$, $4,7\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$, $22\text{ k}\Omega$, $47\text{ k}\Omega$) und zwei Dioden (IN400x); auch im Experimentiermodul enthalten

Doppellitzen

Es gibt drei fertig konfektionierte Doppellitzen mit neuen Steckern. Die Längen passen für die direkte Verbindung zweier nebeneinander liegender Elektronikmodule (71020, 30 mm), zweier Elektronikmodule mit einer Lücke von einem Elektronikmodul dazwischen (71021, 50 mm) und zur Verbindung zweier Elektronikmodule übereinander (71022, 105 mm).



Abb. 14: Mögliche Anpassung des Lehrbuchs vor dem Ausdruck

Labor für die Ausbildung

Das Labor für digitale Elektronik gibt es in einer Version für Ausbilder (75004, 75009). Diese Version enthält das komplette Material für das Labor und darüber hinaus zwei Sortierwannen zum praktischen und schnellen Verstauen aller Laborteile. Das Labor kann im Lehrbetrieb für zwei Teilnehmer eingesetzt werden, sodass für einen Kurs mit 20 Teilnehmern nur 10 Labore benötigt werden.

Je nach Ausstattung der Lehrräume kann das Labor entweder mit einer USB-Versorgung (75004) oder mit einem Akku-Pack (75009) bestellt werden. Die USB-Versorgung erfordert einen Anschluss 230V~ in den Lehrräumen und versorgt über ein 1,5 m langes Kabel mit original fischertechnik-Steckern das Labor mit 5 V Gleichspannung. Die Variante mit einem Akku-Pack ist unabhängig von der Ausstattung der Lehrräume, erfordert aber eine regelmäßige Überprüfung und Aufladung.

Wer sich für eine Versorgung des Labors über USB entschieden hat und feststellt, dass die Variante mit einem Akku-Pack besser wäre, kann nachträglich mit dem Erweiterungsset A (75005) umrüsten. Ein Set enthält fünf Akkus sowie einen Ersatz-Akku und ein Ladegerät. Umgekehrt kann das Labor von Akku-Pack-Versorgung mit

dem Ergänzungsset V (75003) auf die Versorgung über USB umgestellt werden.

Das Lehrbuch wird als Microsoft-Word-Textdokument (.docx) zu Verfügung gestellt, damit die beigefügten Arbeitsblätter im Kopfteil leichter mit individuellen Informationen versehen werden können. Die Felder links und rechts von der Kopfzeile können beliebig formatiert und mit Text oder Grafiken versehen werden (Abb. 14).

Das begleitende Lehrbuch wurde erweitert und mit Arbeitsblättern für den Lehrbetrieb versehen. So muss der Dozent lediglich die für ihn wichtigen Abschnitte auswählen und den Kopfteil mit den kursspezifischen Daten versehen, bevor die Arbeitsblätter ausgedruckt werden.

Die Arbeitsblätter selbst sind inhaltlich identisch mit dem Lehrbuch, aber leicht modifiziert. So wurden die Seiten-, Kapitel- und Abschnittszahlen weggelassen und Verweise auf Tabellen und Grafiken ersetzt. Damit können die Arbeitsblätter ganz nach Bedarf eingesetzt werden. Die Laborübungen und die Laboraufgaben sind so zugeschnitten, dass diese auf eine beidseitig bedruckte DIN-A4 Seite passen.

Für weitere Informationen zu der Ausbildungsversion kann man sich an [2] wenden.

Zum Thema Stecker

Franz Santjohanser arbeitet an einer Lösung, damit es weiterhin einen Stecker mit Schraube im Sortiment gibt. Dies wäre für mich sehr wichtig, denn die Widerstände, Dioden und Kondensatoren lassen sich nicht mit den neuen Steckern von fischertechnik kombinieren und auf Eisenbahnstecker möchte ich nicht unbedingt ausweichen müssen.

Der Stecker mit Schraube wird kein Original-fischertechnik-Stecker sein, sondern ein Nachbau. Es wird gerade noch am Gehäuse gefeilt, sodass das Produkt gut aussieht und am Ende auch zu einem erschwinglichen Preis zu bekommen ist.

Damit besteht auch die Möglichkeit, die Stecker nicht nur in rot und grün, sondern auch in anderen Farben zu erhalten.

Quellen

- [1] Hans-Christian Funke: *Labor für digitale Elektronik*. [ft:pedia 3/2021](#), S. 49–55.
- [2] *santjohanser Spielen. Lernen. Technik*. Der autorisierte fischertechnik-Fachhändler, <https://santjohanser.de>.
- [3] Hans-Christian Funke: *Elektronik-module 2022-2 Baustellenschilder*. Im [Download-Bereich](#) zu dieser Ausgabe der ft:pedia.

Elektronik

Eine zukunftssichere Stromversorgung

Arnoud van Delden

Das Basismodul in jedem Silberling-Aufbau ist das Gleichrichtermodul h4GB ([30811](#)), das die anderen Module mit einer Gleichspannung von ca. 10 V versorgen kann. Heutzutage wird die Herstellung von Gleichstrom aus Wechselstrom meistens externen Gleichstromadapters überlassen. Weil sich hier nun der Mikrocontroller im Silberling-Gehäuse eingeschlichen hat, entstand der Bedarf nach einem zukunftsähigeren Stromversorgungsmodul, mit dem auch 3,3- und 5-Volt-Sensoren und andere Peripherieelektronik mit Strom versorgt werden können. Wenn so ein Modul auch noch eine gute Übersicht über die Stromaufnahme bietet und mit einer programmierbaren Strombegrenzung ausgestattet ist, sieht es schon nach einem würdigen Nachfolger des guten alten Gleichrichterbausteins aus...

Seit das Experimentieren mit Mikrocontrollern wie dem Raspberry und Arduino stark verbreitet ist, hat sich das Angebot an erschwinglichen und interessanten Sensoren und Aktoren enorm erweitert. Es werden komplett Sensorsets mit teilweise Dutzenden verschiedener kleiner Platinen mit allen möglichen Sensoren angeboten, die zum Experimentieren einladen. Solche Kits enthalten oft Sensoren für Hinderniserkennung, Temperatur, Bewegung, Magnetismus, Wasser, Vibration, Licht usw. Sie enthalten oft auch Aktoren wie Relais, Piezo-Summer, Laser und LEDs. Die meisten dieser Platinen arbeiten mit einer Eingangsspannung von 3,3 bis 5 V.

Obwohl einige dieser sogenannten Break-out-Boards sequenziell gelesen werden müssen, beispielsweise über den I²C-Bus, verfügen die meisten dieser Experimentierboards über einen einfachen logischen Ein- oder Ausgang. In einem solchen Fall kann die Erkennungsschwelle (und manchmal die Ausgangsimpulslänge) auf der Platine selbst eingestellt werden. Das zwischen 0 V und der zugeführten Versorgungsspannung wechselnde Ausgangssignal ist für die analogen Eingänge des TXT-Controllers geeignet und bei Verwendung von Silberlingen

reicht ein h4GB (Elektronik-Gleichrichterbaustein [30811](#)) für einen solchen Schaltimpuls aus.



Abb. 1: Unzählige nützliche Sensoren...

Es gibt jedoch ein Problem: Diese Break-out-Boards erwarten eine Versorgungsspannung von 5 V (einige Bussensoren 3,3 V) und können nicht einfach an die 9 V-fischertechnik-Basisspannung angeschlossen werden. In einem früheren Beitrag habe ich bereits einige Lösungen skizziert, um beispielsweise den IR-Hindernissensor für

den Einsatz auf dem TXT-Controller nutzbar zu machen [1]. Um zumindest mit Sensoren und Silberlingen experimentieren zu können, habe ich zunächst ein Steckmodul für den Gleichrichterbaustein h4GB mit einem Spannungsregler 7805 gebastelt. Den schlafenden Wunsch nach mehr „Spannungsflexibilität“ habe ich beim Zauberling gelöst, indem ich frontseitig Versorgungsspannungen von 5, 9 und 12 V zur Verfügung gestellt habe [2].



Abb. 2: Bewegungssensor mit Einstellmöglichkeiten für Empfindlichkeit und Erfassungszeit



Abb. 3: Eine experimentelle 5-Volt-Versorgung auf h4GB

Der klassische h4GB-Elektronikbaustein [3] ist ein Gleichrichter, der aus Wechselspannung eine feste, aber in diesem Fall zu hohe Gleichspannung erzeugt. Die Wechselspannungsstufe ist heutzutage etwas veraltet. Andererseits könnte ein erdachter, zukunftssicherer Stromversorgungs-Baustein mit gängigen DC-Adaptoren verwendet werden, einen leicht zugänglichen Ein-/Ausschalter haben und mehrere DC-Spannungen zur Verfügung stellen, die derzeit für Peripheriegeräte oder Sensoren benötigt werden.

Auf meiner Suche nach gebrauchsfertigen Modulen [4] zeichnete sich schnell ab, dass vor allem der Wunsch, all dies in einem Silberling-Gehäuse unterzubringen, zu einer großen Herausforderung werden würde. Die meisten Leistungsmodule waren relativ groß oder hatten keine Stromaufnahmeanzeige.

Stromsensoren

Aus dem Plan für die „zukunftssichere Stromversorgung“ wurde bald eine Anpassung, die die Spannungen und die verringerten Ströme auf einem kleinen Display wie dem SSD1306-Anzeigemodul anzeigt. Zusammen mit einem Arduino Pro Mini, Spannungsreglern und einem Stromsensor könnte es auf einem Sandwich aus zwei Leiterplatten untergebracht werden, die in ein 3D-gedrucktes Silberling-Gehäuse passen.

Zur Messung von Strom und Spannung sind verschiedene Sensoren zu finden, die über den I²C-Bus ausgelesen werden können. Einige Sensoren messen mittels Hall-Effekt, andere bestimmen den Strom durch Messung über einen Shunt-Widerstand. Die Hall-Effekt-Messung kann im Allgemeinen größere Ströme verarbeiten, und der Vorteil der Messung über einem Shunt-Widerstand ist die Genauigkeit bei kleineren Strömen.

Auf vorgefertigten Sensorplatinen, die nach letzterem Prinzip arbeiten, ist der INA219 ein weit verbreiteter Chip. Eine Variante

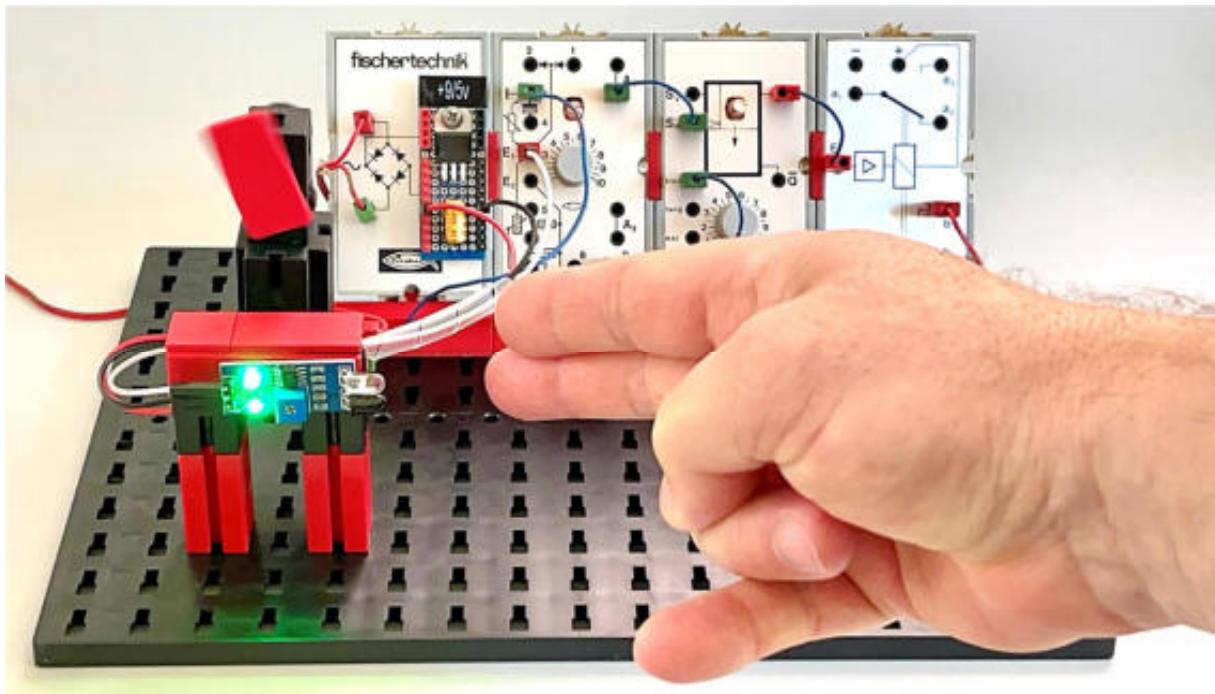


Abb. 4: Die Erweiterung des h4GB macht Gebrauch verschiedener moderner Sensoren möglich

dieses Chips, die drei verschiedene Spannungen gleichzeitig überwachen kann, ist der INA3221. Dieser Chip kann fast alle unsere Wünsche auf einmal erfüllen [5].

Ich habe eine fertige Platine mit dem Chip zum Experimentieren gefunden, aber leider erforderte diese Platine einige Modifikationen, bevor sie zur tatsächlichen Überwachung von drei unabhängigen Spannungsbussen verwendet werden konnte [6].

Messprinzip des INA3221

Abb. 5 stammt aus dem Datenblatt des Stromsensors und zeigt das Prinzip der Messung. Links sind die drei Shunt-Widerstände zu sehen, über die gemessen wird. Diese sind auf dem Sensorboard als 2 W verkraftende SMD-Widerstände (mit R2512-Gehäuse) ausgeführt. Diese Widerstände sind immer in Reihe mit der „Last“ geschaltet, dem angeschlossenen Verbraucher. Die abwechselnd gemessenen Werte jedes Busses werden von einem AD-Wandler (ADC, Mitte) abgetastet. Die Messwerte werden in über den I²C-Bus abrufbare Register des Chips abgelegt

(rechts). Die Status- und Alarmsignale sind Ausgänge. Für dieses Projekt wird nur das Signal „Critical“ verwendet, um den Leistungsschalter zu aktivieren, wenn die konfigurierte Stromaufnahmegrenze überschritten wird.

Das fertige Sensorboard mit dem INA3221 ist relativ groß und mit diversen redundanten Anschlüssen und Anzeige-LEDs ausgestattet. Nach einigen Anpassungen kann es jedoch für den ersten Bau eines Prototyps unseres Moduls verwendet werden. Letztendlich ist der Ausgangspunkt, eine eigene Leiterplatte zu entwerfen, auf der nur die nötigste Peripherie des INA3221-Chips untergebracht wird. Außerdem kann dann die Bauteilanordnung der Shunt-Widerstände am Eingang verbessert werden, indem man sie nach den Hinweisen im Datenblatt platziert.

Der Chip kann also über den I²C-Bus [7] ausgelesen und auch durch Beschreiben der Konfigurationsregister konfiguriert werden. Der INA3221 kann dann „alarmieren“, wenn die Messwerte die eingestellten Grenzen überschreiten. Der „Critical“-Ausgang

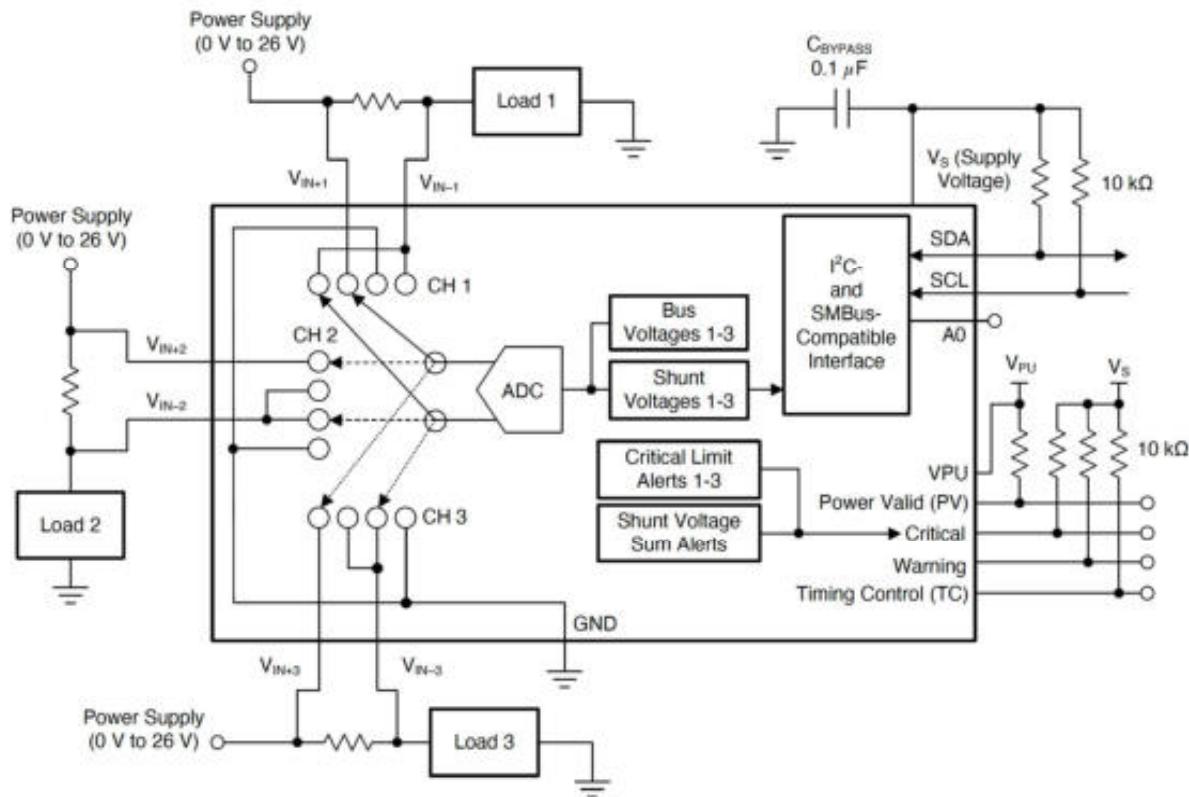


Abb. 5: Strommess-Prinzipdiagramm des INA3221

wird aktiv, wenn der Strom den eingestellten Wert überschreitet. Wir könnten dieses Signal verwenden, um ein kleines Relais zu erregen, das die Ausgänge schließt. Dadurch ist das Modul besser vor Überhitzung durch zu hohe Ströme geschützt. Das ist ein netter zusätzlicher Schutz beim Testen und Experimentieren, aber auch wirklich nützlich, wenn der Strom in einem Modell ansteigt, weil zum Beispiel ein Motor blockiert ist.

Testaufbau

Abb. 7 zeigt den von mir erstellten Testaufbau. Das Sensorboard wird hier zusammen mit dem Arduino Pro Mini auf einem Steckbrett platziert. Oben links die beiden größeren Spannungsregler, darunter die kleineren 3,3 V- und 9 V-Regler für die Systemspannung. Auch Display, Relais und der Steuertransistor für die „automatische Sicherung“ werden platziert und angeschlossen. Mit einem Test-Sketch konnten

das Messprinzip getestet und die gesammelten Messwerte sowohl auf dem seriellen Monitor als auch auf dem Display angezeigt werden.

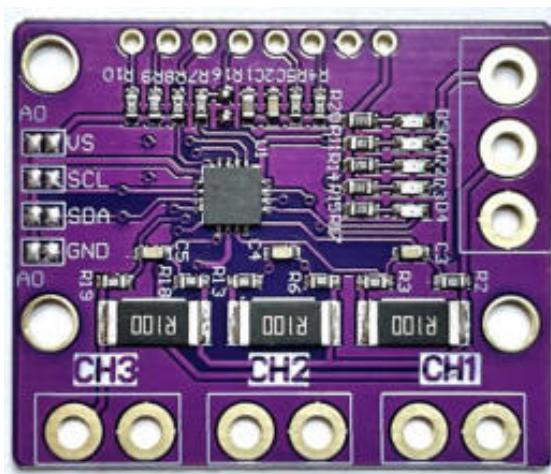


Abb. 6: Platine mit Stromsensor INA3221

Sowohl die „Warning“- als auch die „Critical“-Schwellenwerte können vom Programm aus über den I²C-Bus in den Chip programmiert werden. Dadurch ist es

möglich, das Modul mit Drucktasten konfigurierbar zu machen. Mit den weißen Drucktasten kann die Anzeige auf dem Bildschirm ausgewählt werden. Die blaue Drucktaste dient zum Aufrufen des Einstellungsmodus für den Stromschwellenwert. Diese Taste kann auch verwendet werden, um den auf dem Bildschirm angezeigten Peak-Strom auf null zurückzusetzen.

Abschließend kann mit dem roten Knopf der eingestellte Wert im EEPROM des Arduino gespeichert werden. Durch die Beibehaltung der Einstellungen im Modul muss es nicht für jede neue Verwendung neu konfiguriert werden. Die orangefarbene Schaltfläche kann zum Testen vorrübergehend einen $100\ \Omega$ -Leistungswiderstand an einen Ausgang angeschlossen werden, um den Stromschutz mit dieser Stromvariation testen zu können.

Aufbau des Moduls

Damit der Platz in einem Silberling-Gehäuse optimal genutzt werden kann, habe ich die Schaltung wie beim Zauberling auf ein „Sandwich“ aus zwei Leiterplatten aufgebaut. Aus diesem Grund wurde der Schaltplan auch in zwei Teile geteilt.

Die Bodenplatine befindet sich auf der Unterseite des Gehäuses, erzeugt die verschiedenen Spannungen aus den ankommenden 12 V des DC-Adapters und übernimmt die Messungen mit dem INA-Chip. Hier ist auch das Relais untergebracht, das die automatische Sicherung bildet. Auf der Frontplatine befinden sich die verschiedenen Anschlüsse, Taster, LEDs und der kleine Bildschirm. Auch der Arduino Pro Mini muss hier kopfüber hängend untergebracht werden. Um beide Seiten beider Leiterplatten optimal zu nutzen wurde bei (fast) allen Teilen die SMD-Bestückung gewählt.

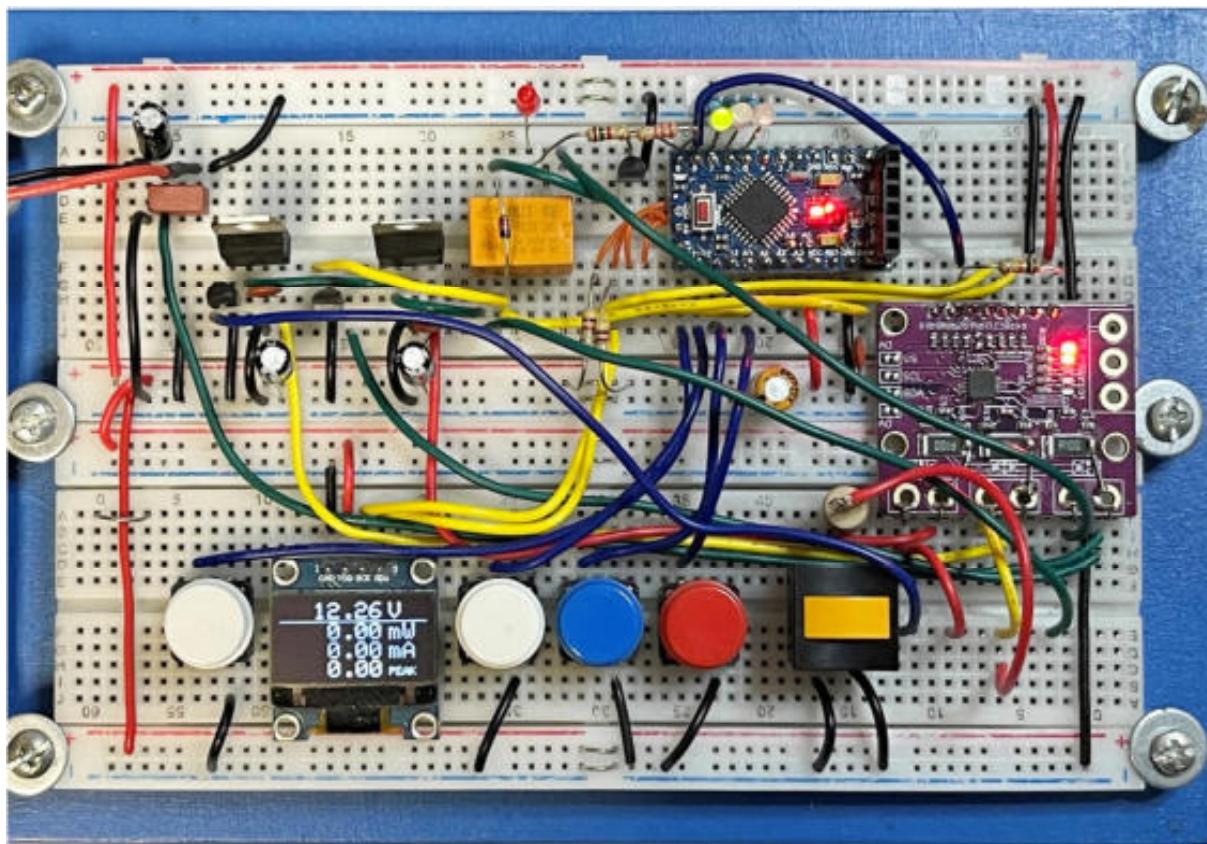


Abb. 7: Testaufbau mit dem INA3221 Board

Die untere Platine

Die 12 V vom externen DC-Adapter kommen über einen DC-Anschluss in das Gehäuse. Nach einer physikalischen Sicherung und dem Ein-/Ausschalter werden auf dieser Platine 9 V für das System bereitgestellt. Diese Spannung fließt nicht über die Kontakte des Relais. Diese 9 V gehen zur Frontplatte-Platine durch und werden auf dem Arduino Pro Mini-Board in 5 V umgewandelt. Die 5 V werden vom Mikrocontroller selbst gebraucht, kommen aber auch zurück, damit der INA-Chip damit gespeist werden kann. Die so gewonnene getrennte 5 V-Versorgung ist also vom 5 V „Verbraucherausgang“ getrennt, um ungewollte Störungen auf die Stromversorgung des INA-Chips weitestgehend zu vermeiden.

Aus den eingehenden 12 V, die über den Öffnerkontakt des Relais fließen, werden drei Spannungen erzeugt. Die 3,3 V fließen einfach zur anderen Platine mit den Anschlüsse, dem Display und den Tasten auf der Vorderseite des Moduls. Die anderen drei Spannungen laufen über die entsprechenden Messkanäle des INA-Chips und gelangen dann über einen Verbindungsstecker zur Frontleiterplatte, wo sie schließlich frontseitig zur Verfügung stehen.

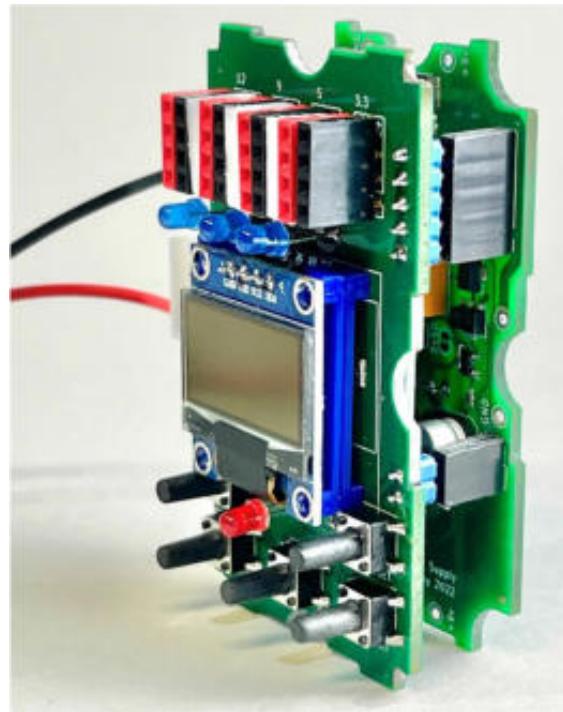


Abb. 8: Gestapelte Leiterplatten

Über den I²C-Bus kann konfiguriert werden, bei welchem Strom das „Critical“-Signal des jeweiligen Busses aktiv sein soll. Dieses Signal wird in den Eingang D8 des Arduino eingelesen (siehe Abb. 10). Ist es aktiv, wird über den Ausgang D9 das Signal „Fuse“ ausgegeben, um das Relais über einen Transistor zu erregen. Dadurch gehen alle Spannungen an den Ausgängen sofort auf 0 V und das Modul ist vor zu hohen Strömen, z. B. durch Kurzschluss, geschützt.

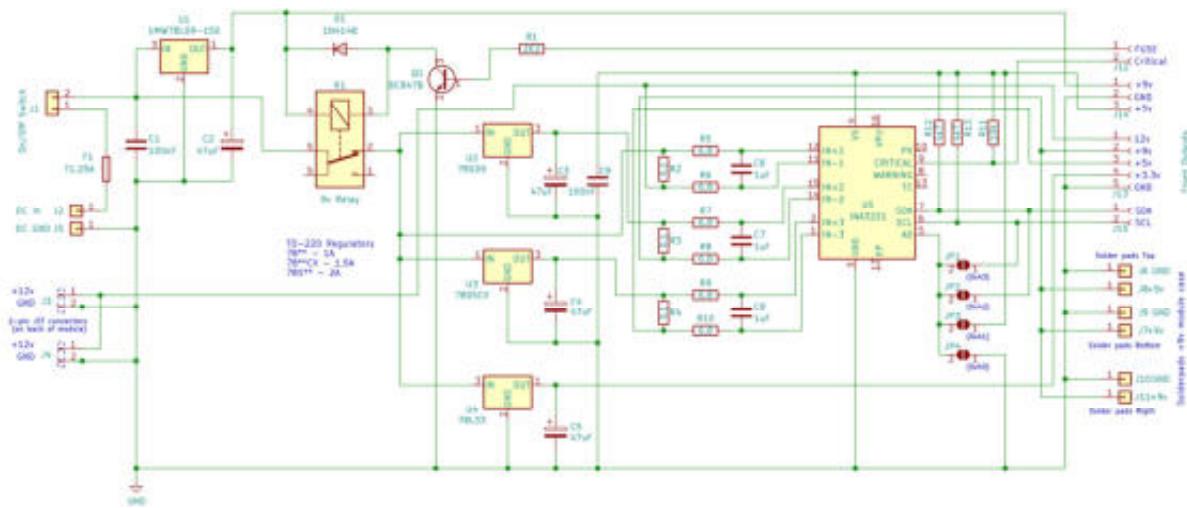


Abb. 9: Teilschaltbild der unteren Platine

Die Systemspannung von 9 V und der 3,3 V-Ausgang können von Spannungsreglern der SMD-Typen bis 100 mA geliefert werden. Bei den 9- und 5 V-Spannungsreglern der Ausgangsspannungen ist es klüger, größere Typen wie den 78S05 (bis max. 2 A) zu wählen. Um die 12 V-Eingangsspannung des DC-Adapters, die nicht nur zur Front des Moduls läuft, sondern auch zur Rückseite mit den beiden durchzuschleifenden Spannungsausgängen, müssen wir uns keine Gedanken machen. Dort gilt der maximale Strom, den der Adapter liefern kann. Der muss natürlich innerhalb der Grenzen der physikalischen Sicherung liegen.

Die Frontplatten-Platine

In Abb. 10 sieht man das Schema der Leiterplatte, die sich oben im Gehäuse unter der Frontabdeckung befindet. Auf dieser Leiterplatte sind das Display und die frontseitigen Anschlüsse für die verschiedenen Spannungen von 3,3 V, 5 V, 9 V und 12 V untergebracht.

Wichtigster Teil ist hier natürlich der Arduino Pro Mini, der von der anderen Platine mit Strom versorgt wird und der die von ihm erzeugten 5 V der untersten Platine für den INA-Chip zur Verfügung stellt. Hier

kommt das „Critical“-Signal des Stromsensors herein, und wenn der Sicherungsautomat eingreifen muss, können wir hier das „Fuse“-Signal zurückschicken, damit das Relais und damit der Ausgangsschutz aktiviert werden. In einem solchen Moment schaltet sich auch die „Overload“-LED ein.

Weiterhin befinden sich auf dieser Leiterplatte die verschiedenen Drucktasten, das Display und einige LEDs, mit denen angezeigt werden kann, welche Spannungsschiene auf dem Display angezeigt wird. Ganz rechts schließlich folgt der FTDI-Programmierport zum Programmieren des Arduino über den USB-Bus. Da das Modul nur sporadisch mit neuer Firmware aktualisiert werden muss, wird dieser Stecker nicht nach außen geführt und befindet sich unter der Abdeckung des Moduls auf der Frontplatine.

Lesen und konfigurieren des INA3221

Für die Kommunikation mit dem INA-Chip habe ich eine Softwarebibliothek von SwitchDoc Labs gefunden [8]. Leider war die eher rudimentär und konnte nur Messwerte aus den Registern des Chips auslesen. Es gab noch keine Routinen, um Konfigurationswerte über den I²C-Bus in die Register des Chips zu schreiben. Das ist aber

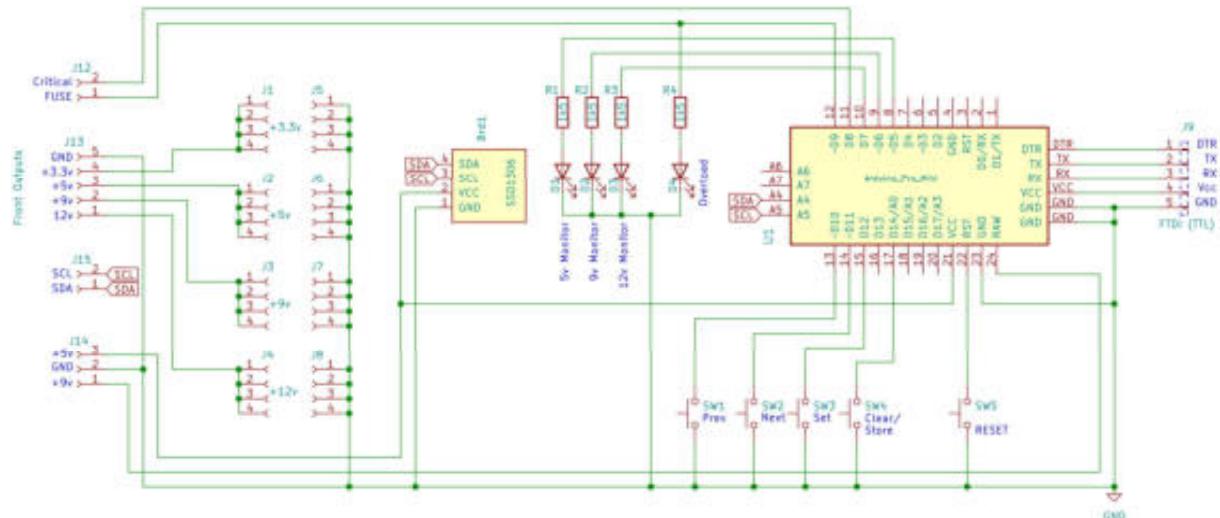


Abb. 10: Teilschaltbild der oberen Platine

notwendig, wenn wir die Hardwareüberwachung durch den Chip nutzen möchten. Natürlich ist es möglich, den Strom in der Software zu überwachen, aber da der Chip diese Möglichkeit bietet, wollte ich das nutzen. Deshalb habe ich die Bibliothek so erweitert, dass ich auch die „Critical Alert“-Werte pro Bus in den Chip schreiben kann.

Ich habe ein Video zum Testen des Steckbrettaufbaus mit einem Test-Sketch erstellt [9]. Dieser Sketch, einschließlich der modifizierten Bibliothek, ist auf GitHub zu finden [10].

Ein benutzerdefiniertes Gehäuse

Der Abstand zwischen den Leiterplatten beträgt nur 11 mm und Teile auf der Unterseite der oberen Leiterplatte sollten nicht mit hohen Teilen auf der unteren Leiterplatte kollidieren. Außerdem muss auf der jetzt zu entwerfenden Platine ein Relais untergebracht werden, das bereits höher als 11 mm ist. Glücklicherweise konnte ich die Platine am Gehäuseboden leicht absenken, sodass die Frontplatte mit allen LEDs, Anschlüssen, Tastern und dem Display auf gleicher Höhe wie beim Zauberling bleiben konnte.

Beim Zauberling, der auch über den traditionellen h4GB-Gleichrichterbaustein mit Strom versorgt werden kann, ist der Anschluss eines externen Netzteils an der Rückseite des Moduls optional. Ein „Powermodul“ wie dieses sollte jedoch in der Lage sein, einen 12 V-DC-Adapter direkt anzuschließen. Das Modul sollte vorzugsweise auch einen leicht zugänglichen Ein-/Ausschalter haben. Da die Position dieses Stromversorgungsmoduls in der Praxis immer ganz links in einer Reihe von Silberlingen sein wird, kann die linke Seite des Moduls dafür verwendet werden. Schließlich müssen dort keine weiteren Module angeschlossen werden.



Abb. 11: Ein Silberling-Gehäuse mit einer flachen Seite

Allerdings muss beim Design der Leiterplatten berücksichtigt werden, dass DC-Stecker und Schalter relativ weit in das Gehäuse hineinragen. Außerdem müssen diese Komponenten im Inneren ziemlich genau zwischen die beiden Leiterplatten fallen. Mit einem Erhöhungsring für den DC-Stecker konnte ich ein paar Millimeter wertvollen Bauraum einsparen.

Für die kleineren Ströme, wie die Spannung von 3,3 V und die 9 V System- und Relaisspannung, genügen kleine 100 mA-Spannungsregler in SMD-Technik. Aber für die durchgeführten 5 und 9 V werden größere Spannungsregler benötigt. Unter Belastung könnten diese sogar (etwas) warm werden, daher wäre es schön, wenn sie hinten aus dem Gehäuse herausragen könnten. Da auf der Rückseite des Moduls weder ein externer I²C-Bus noch ein leicht zugänglicher FTDI-Programmierport (wie beim Zauberling) benötigt werden, ist dieser Teil für eine Öffnung für die Spannungsregler frei. Bliebe die Rückseite des Moduls komplett eben, könnte ein selbstklebendes Kühllement für die erforderliche Kühlung sorgen.

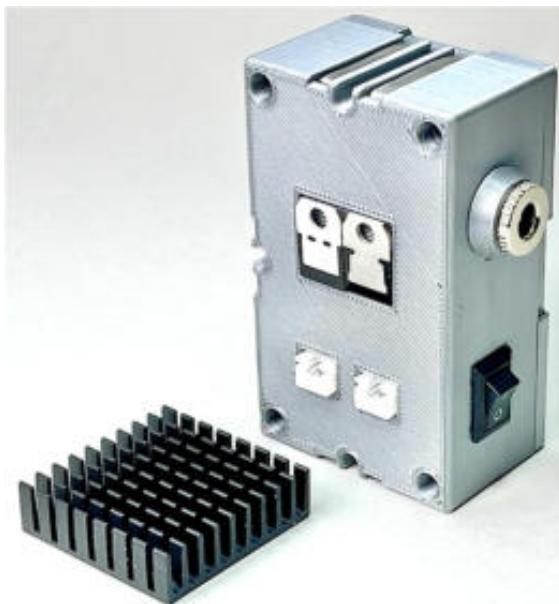


Abb. 12: Optionaler Kühlkörper für die Spannungsregler

Entwurf der Leiterplatten

Da der Platz zwischen den Leiterplatten so klein, das Relais relativ hoch ist und es auch einen DC-Stecker und einen Schalter gibt, die teilweise in das Gehäuse eingeführt werden, war das Design in KiCad eine mühsame Arbeit. Um störende Einflüsse möglichst zu vermeiden, habe ich mich bei der Platzierung der Bauteile um den INA-Chip möglichst an das Datenblatt gehalten. Ich habe auch den vorgeschlagenen HF-Filter (Abschnitt 8.4.3 *Filtering and Input Considerations* in [5]) an den Buseingängen übernommen, um den Einfluss von Rauschen zu minimieren.

Die Leiterbahnen der Ausgangsspannungen, die mehr Strom führen müssen, wurden so breit wie möglich gehalten. Online-Rechner und -Tabellen [11] weisen darauf hin, dass bei der gewählten Leiterbahnbreite von 1,5 mm Ströme bis 1,5 bis 2 A keine Probleme bereiten sollten. Im Moment habe ich einfach 1 oz/ft² (Unze pro Quadratfuß) Kupferdicke gewählt; diese könnte auf 2 oz/ft² erhöht werden. Es ist auch möglich, die Leiterbahnen im Lötstopplack aufzubewahren, damit sie noch verzinkt werden können. Ströme von 5 A oder mehr sollten

dann möglich sein, was aber für den zu erwartenden Einsatz doch recht überdimensioniert ist. Ich selbst habe dem Modul eine physikalische Sicherung am Eingang von nur 1600 mA verpasst.

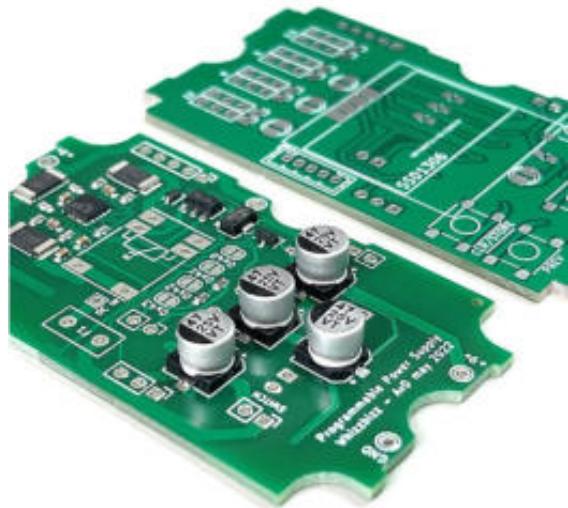


Abb. 13: Teilbestückte Leiterplatten

Aus den KiCad-Entwürfen ließen sich relativ schnell recht brauchbare Leiterplatten herstellen, die nach manuellem Einbau der fehlenden Teile schnell ein testbares Ergebnis lieferten. Die INA-Leiterplatte wurde vor dem Einbau mit dem Sketch getestet, der auch für den Testaufbau auf dem Steckbrett verwendet werden konnte.

Funktioniert die Strommessung?

Auf der Leiterplatte, auf der die Strommessungen durchgeführt werden, hatte ich bereits die meisten SMD-Teile vom Hersteller bestücken lassen. Obwohl ich die Löttechnik dafür habe, fand ich den Mehrpreis mehr als angemessen. Das spart viel Zeit, und gerade das Platzieren des INA-Chips ist eine Präzisionsarbeit. Nachdem die fehlenden Teile eingelötet waren, konnte die Leiterplatte getestet werden.

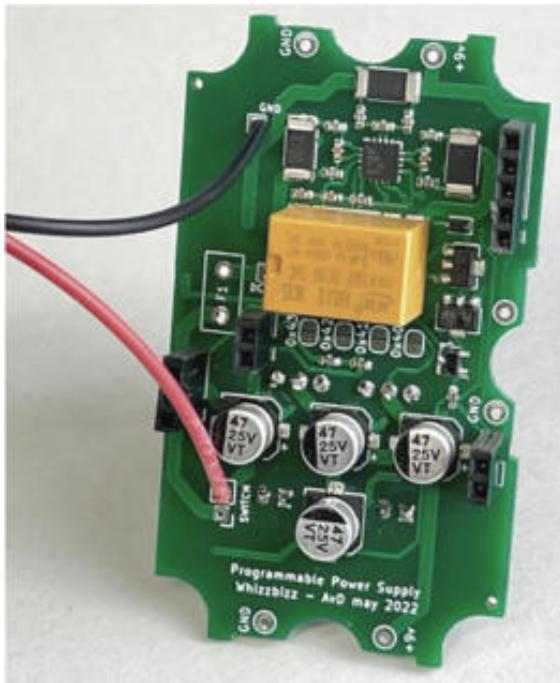


Abb. 14: Messplatine mit INA3221

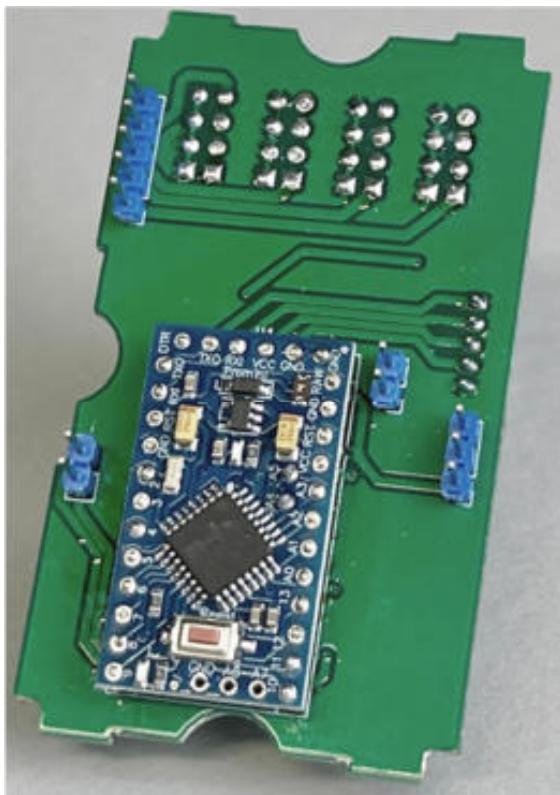


Abb. 15: Arduino auf der Unterseite der Platine

Die 5 V-Versorgungsspannung für den INA-Chip wird im fertigen Leiterplatten-Sandwich vom Arduino Pro Mini auf der noch fehlenden obersten Platine geliefert.

Glücklicherweise konnte dies leicht kompensiert werden, indem vorübergehend ein 5 V-Spannungsregler (78L05) in die dreipolige Buchse auf der linken Seite gesteckt wurde. Mit dem Test-Sketch stellte sich heraus, dass der INA-Chip tatsächlich „lebt“ und seine Messwerte sauber über den I²C-Bus liefert!

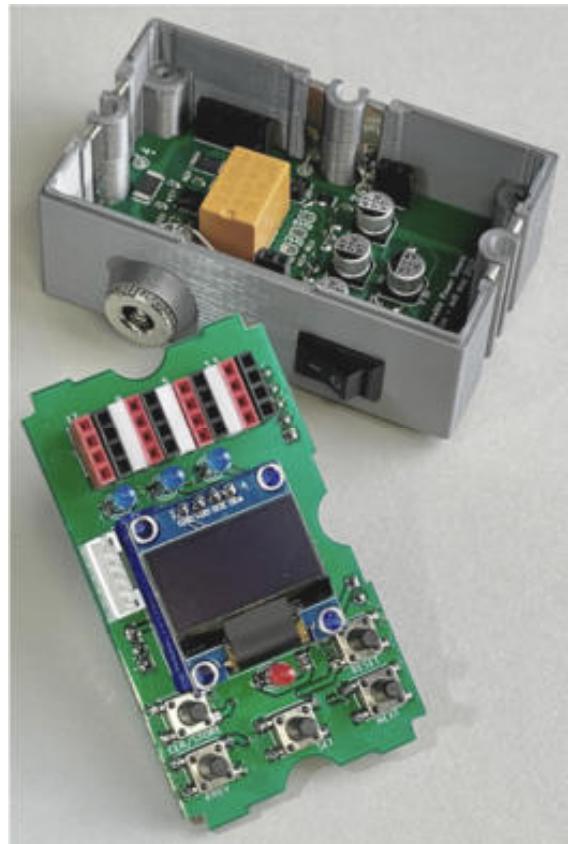


Abb. 16: Geöffnet und eine Platine herausgenommen

Montage

Die meisten Komponenten der oberen Platine wurden in einer Art Semi-SMD-ähnlicher Technik aufgelötet. Beispielsweise hängt der Mikroprozessor kopfüber wie eine Art Stelzenhaus, das auf SMD-Kupferinseln gelötet ist – eine Technik, die ich bereits beim Zauberling angewendet habe und die eine optimale Nutzung aller Seiten der Leiterplatten ermöglicht.



Abb. 17: Ansicht mit abgenommener Frontplatte

Dadurch wird auch der Raum zwischen den beiden Leiterplatten optimal genutzt. Bei der Bauteilanordnung musste jedoch darauf geachtet werden, dass in dieser Lücke nichts mit dem Hochrelais „kollidiert“. Bauelemente, die durch die Front herausragen und sich daher fest an einer bestimmten Stelle befinden müssen, belegen bereits verschiedene Plätze auf der Leiterplatte. Andere Komponenten mussten sich daran anpassen. Das erklärt die vielleicht seltsame Anordnung der blauen Anschlussstecker.

Für ernsthafte Interessenten gehe ich in einem Video etwas ausführlicher auf den Aufbau des Gehäuses und der Leiterplatten sowie die Bestückung und Prüfung ein [15].

Schlussbemerkungen

Nach dem Zusammenbau und der Programmierung des Arduino mit dem finalen (oder vorläufigen) Sketch war die zukunftssichere Stromversorgung Wirklichkeit. Die Anzei-

ge auf dem Display und die Strombegrenzung funktionieren hervorragend. 3,3 V, 5 V, 9 V und 12 V stehen frontseitig zur Verfügung, und das Modul lässt sich problemlos mit anderen Modulen kombinieren.



Abb. 18: Aktiv mit Daten auf dem Display

Die neueste Version des Sketches findet ihr auf GitHub [12]. Die Software befindet sich wahrscheinlich noch in der Entwicklung. Bei Belastung mit einer induktiven Last, wie z. B. einem Kohlebürstenmotor, der störendes HF-Rauschen erzeugt, ist das Messergebnis auf dem Display etwas unruhig; dafür werde ich in Zukunft sicher noch etwas mit der einstellbaren Abtaffrequenz und der automatischen Mittelung der Messwerte durch den INA3221-Sensor experimentieren. Das Datenblatt des Sensorchips skizziert dazu verschiedene Möglichkeiten.



Abb. 19: Einstellbare Strombegrenzung

Wer das Modul nachbauen möchte, findet die 3D-Druckerdateien und das Frontdesign online zum Download [13]. Die Leiterplatten-Designdateien waren noch nicht ganz korrekt. Die sogenannten *Gerber*-Dateien mit dem Druckdesign beider Leiterplatten erwiesen sich nach der Produktion als nicht ganz perfekt. Zwei Durchkontaktierungen haben gefehlt, und ich hatte die Löcher für die Montage in der

oberen Platine vergessen. Glücklicherweise war dies mit Kenntnis der Fakten leicht zu korrigieren. Allerdings habe ich mir noch nicht die Mühe gemacht, das alles zu korrigieren. Deshalb hielt ich es nicht für sinnvoll, diese Dateien (bereits) zu veröffentlichen. Entwerft also eure eigene Leiterplatte oder fragt mich danach, wenn ihr es wirklich nicht herausfinden könnt.

Fazit

Die Suche war mehr als erfolgreich. Das Modul kann den h4GB-Gleichrichterbaustein komplett ersetzen und in Kombination mit den Silberlingen, meinem Zauberling oder einfach als praktische Stromversorgung für Modelle ohne Steuerung verwendet werden. Die verschiedenen zuschaltbaren Ausgangsspannungen und die Spannungs-, Strom- und Leistungsmessung machen es sehr flexibel einsetzbar. Ich denke, dass ich das Modul dank der automatischen Sicherung auch für allgemeine Experimente an meinem Elektronik-Arbeitsplatz gut nutzen kann.

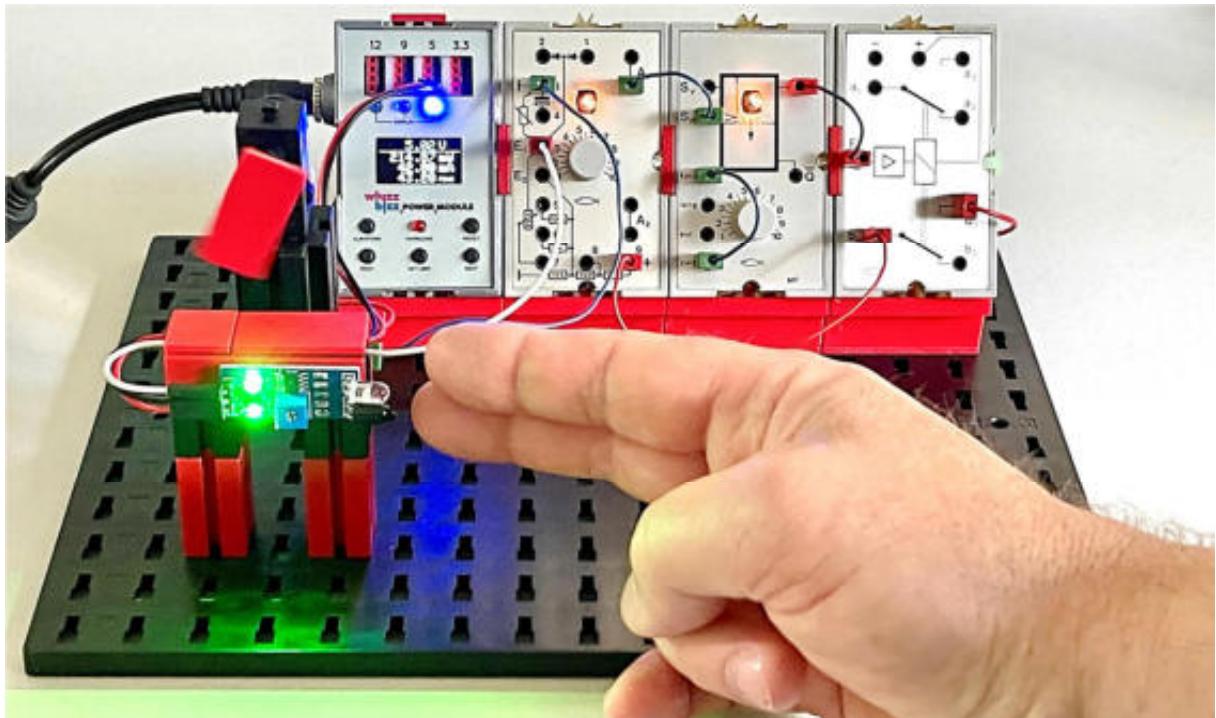


Abb. 20: Die modernisierte Fassung von Abb. 4

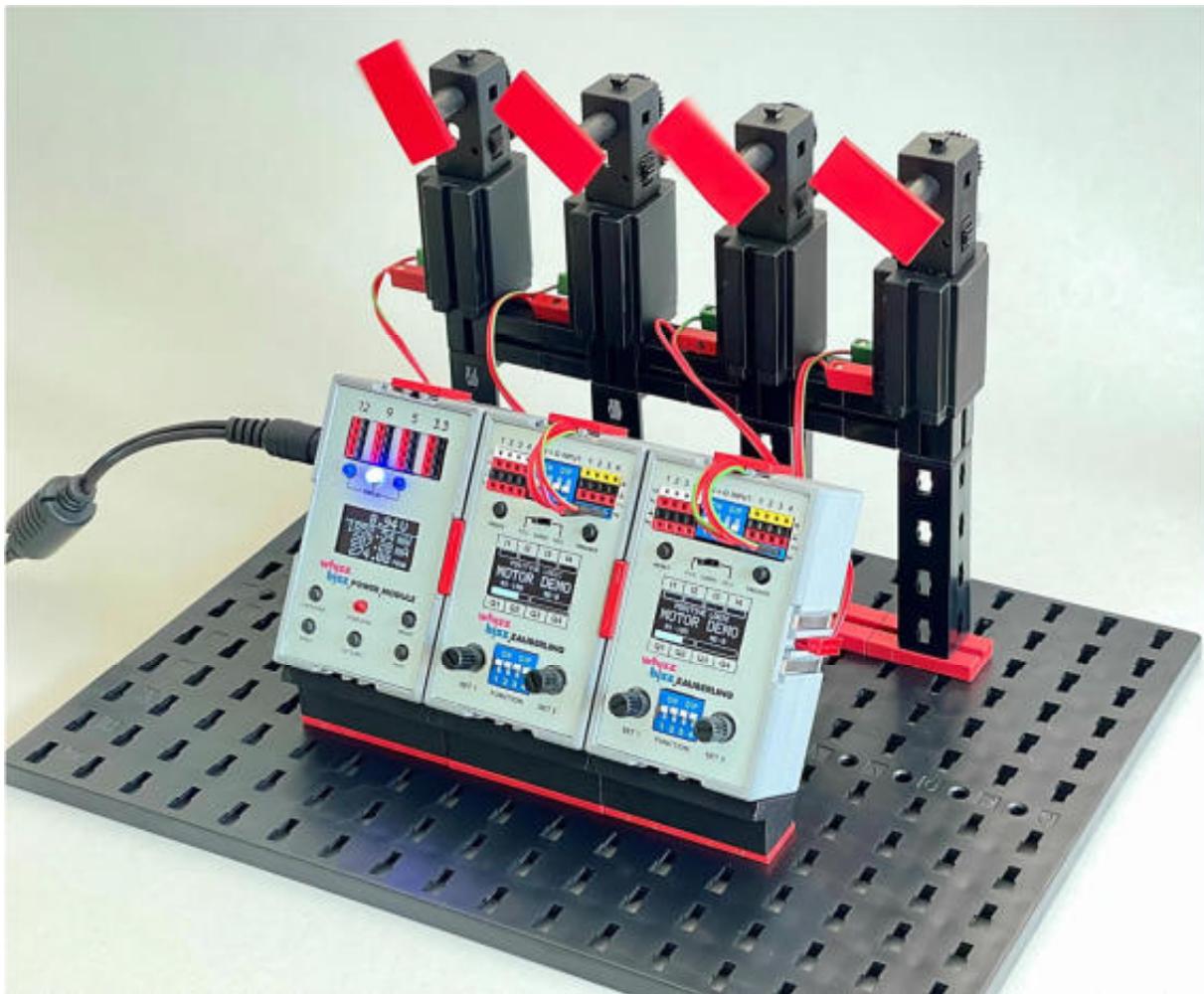


Abb. 21: Viermotorige Demo mit Zauberlingen

Schließlich kann nun eine „zukunfts-sichere“ Version des Fotos vom Anfang dieses Beitrags gemacht werden. An die Silberlinge kann ein handelsüblicher 5 V-IR-Hindernissensor angeschlossen werden. Bei Erkennung läuft der Motor für die am Monoflop eingestellte Zeit. Auf dem Schlussfoto sieht man ein Demo-Setup mit vier 9 V-Motoren, die von zwei Zauberlingen gesteuert werden.

Der Formfaktor der Silberlinge ist immer noch hervorragend und die heutigen 3D-Drucktechniken begrenzen die Ideen für andere nützliche Silberling-Module, die gebaut werden können, nicht. Auf den Fotos ist ein stabiler gestalteter Konsolenstein für die Silberlinge zu sehen, was auch deren Aufbau stabiler macht denn je [14].

Der h4GB-Gleichrichterbaustein schaut nun zufrieden zu und ich frage mich unwill-kürlich, ob die Zeit für eine fünfte Reihe von „hobby 5“-Büchern gekommen ist? Es wäre ein logischer nächster Schritt. Für Inventarisierungsfragen aus dem Waldachtal bin ich immer offen...

Referenzen

- [1] Arnoud van Delden: *Der Zauberling (Teil 3): Ein erster Trick*. [ft:pedia 4/2021](#), S. 52–57, Abb. 7.
- [2] Arnoud van Delden: *Der Zauberling (Teil 4)*. [ft:pedia 1/2022](#), S. 71–79.
- [3] fischertechnik: *hobby 4 Elektronik-Grundbausteine*. In der [ft-Datenbank](#).

- [4] Arnoud van Delden: *My Ultimate Multi Power Module – Part 1.* Auf [YouTube](#), 2022.
- [5] Texas Instruments: *INA3221 Triple-Channel, High-Side Measurement, Shunt and Bus Voltage Monitor with I²C- and SMBUS-Compatible Interface.* [Produktdetails](#) und Datenblatt.
- [6] Arnoud van Delden: *The Ultimate Multi Power Module – Part 1.* Abschnitt „Playing with the INA3221“, auf [whizzbizz.com](#).
- [7] Dirk Fox: *I²C mit TX und Robo Pro – Teil 1: Grundlagen.* [ft:pedia 3/2012](#), S. 32–37.
- [8] SwitchDoc Labs:
SDL_Arduino_INA3221. Softwarebibliothek auf [GitHub](#), 2019.
- [9] Arnoud van Delden: *My Ultimate Multi Power Module – Part 2.* Auf [YouTube](#), 2022.
- [10] Arnoud van Delden: *Ultimate-Multi-Power-Board.* Test-Sketch auf [GitHub](#), 2022.
- [11] Kynix: *External PCB Trace Max Current.* Berechnungs-Tool auf [apogeeweb.net](#).
- [12] Arnoud van Delden: *Ultimate-Multi-Power-Board.* Firmware-Sketch auf [GitHub](#), 2022.
- [13] Arnoud van Delden: *Multi-Power Module with programmable fuse.* STL-Dateien und Frontdesign, auf [Printables.com](#), 2022.
- [14] Arnoud van Delden: *Base for fischertechnik ,Silberlingen’.* STL-Datei für den Silberling-Konsolenstein, auf [Printables.com](#), 2022.
- [15] Arnoud van Delden: *My Ultimate Multi Power Module – Part 3.* Auf [YouTube](#), 2022.

Elektronik

Silberlinge: Original oder Nachbau (Teil 7)

Peter Krijnen

Wie ich am Ende von Teil 6 erwähnt habe, werde ich mich in diesem Teil mit dem OR-NOR- und dem AND-NAND-Baustein befassen. Abschließend werde ich noch auf das Dynamische UND eingehen.

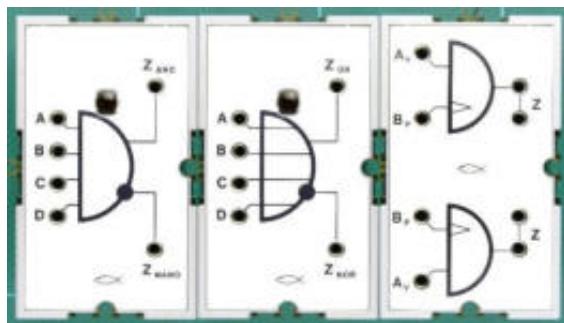


Abb. 184: OR/NOR, AND/NAND und Dyn.-AND

Wie am Ende von Teil 6 erwähnt scheinen die Module OR-NOR und AND-NAND die gleiche Wirkung zu haben. Was hat es damit auf sich?

OR-NOR

Wenn wir uns zunächst die Schaltpläne beider Module ansehen (Abb. 187 und 188), sehen wir, dass die Schaltungen bis auf die vier Dioden und zwei Widerstände an den Eingängen gleich sind. Das war wohl der Grund dafür, dass beide Module die gleiche Platine haben. Der tatsächliche Betrieb der Module wird jedoch durch die Platzierung (Richtung) der Dioden und die Position der Widerstände auf der Leiterplatte bestimmt.

Gehen wir davon aus, dass an den Eingängen nichts angeschlossen ist, dann wird beim OR-NOR (Abb. 187) die Basis des Transistors T3 über den 10 K-Widerstand R9A mit der Versorgungsspannung von 9 V verbunden. T3 ist dadurch leitend. Dadurch wird auch T2 leitend. Das Potenzial am Knotenpunkt von R2, R3, R10 und C2 beträgt daher 0 V. Dies wiederum bewirkt, dass die Basis von T1 ebenfalls niedrig ist, T1 deshalb sperrt und das Licht aus ist. Am Ausgang Z_{NOR} liegt also keine Spannung an, was in der negativen fischertechnik-Logik „1“ bedeutet. Der Ausgang Z_{OR} hat nun eine Spannung von ca. 8,5 V, was „0“ bedeutet. Z_{OR} – Z_{NOR}: 0 – 1.

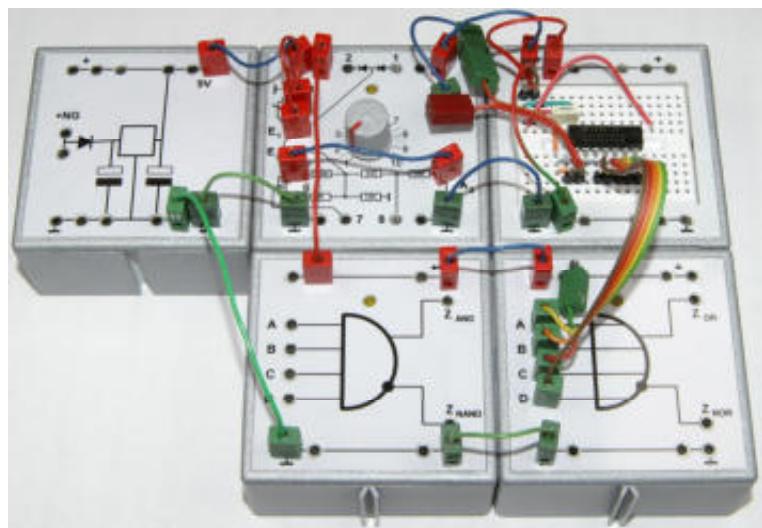


Abb. 185: Messaufbau

Wenn wir nun den Eingang „A“ mit 9 V verbinden, sehen wir, dass nichts passiert. Erstens, weil die Basis von T3 bereits mit 9 V verbunden ist, und zweitens, weil die Dioden in Sperrrichtung platziert sind. Wenn wir nun Eingang „A“ mit 0 V verbinden, sehen wir, dass die 9 V an der Basis von T3 weggezogen werden. T3 wird nun sperren, sodass auch T2 sperrt. Dadurch liegt der Knotenpunkt von R2, R3, R10 und C2 jetzt auf 9 V und T1 wird leitend, wodurch der Z_{OR}-Ausgang 0 V anzeigt und die Lampe aufleuchtet. Der Ausgang Z_{NOR} zeigt jetzt 9 V an.

0. Wenn wir einen der anderen drei Eingänge mit 0 V verbinden, sehen wir, dass das den gleichen Effekt hat. Auch wenn wir zwei, drei oder alle vier Eingänge anschließen, bleibt die Wirkung gleich. Z_{OR} – Z_{NOR}: 1 – Ein unbeschalteter Eingang

verhält sich so, als ob an ihm eine „0“ anliegt.

Eine vollständige Beschreibung des OR-NOR findet ihr in „Experimente + Modelle hobby 4 Band 4“ [1] ab Seite 30.

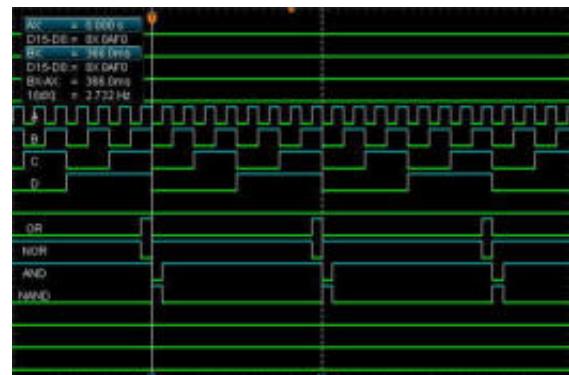


Abb. 186: Bildschirmsicht meines Logic Analyzer: Zeitfolgediagramm des Messaufbaus

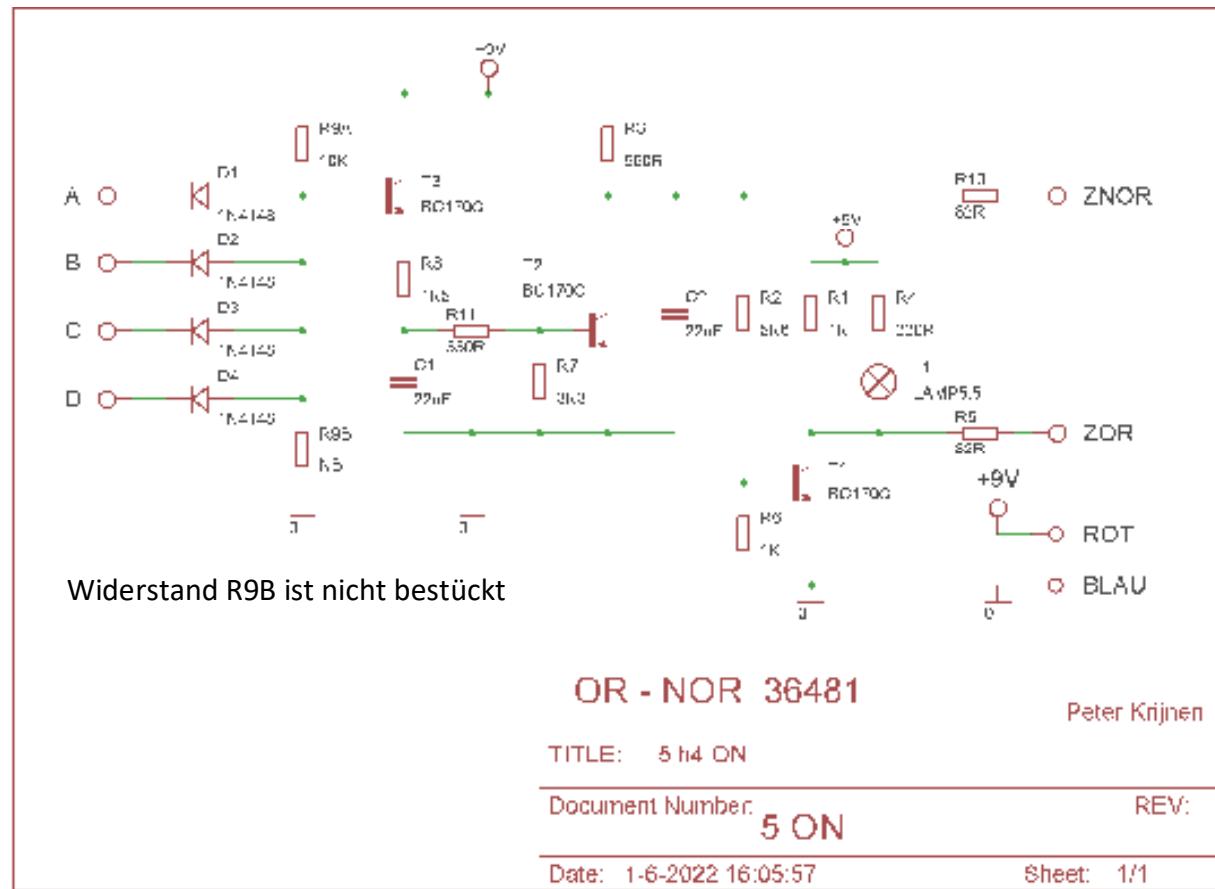


Abb. 187: Schaltplan des OR-NOR

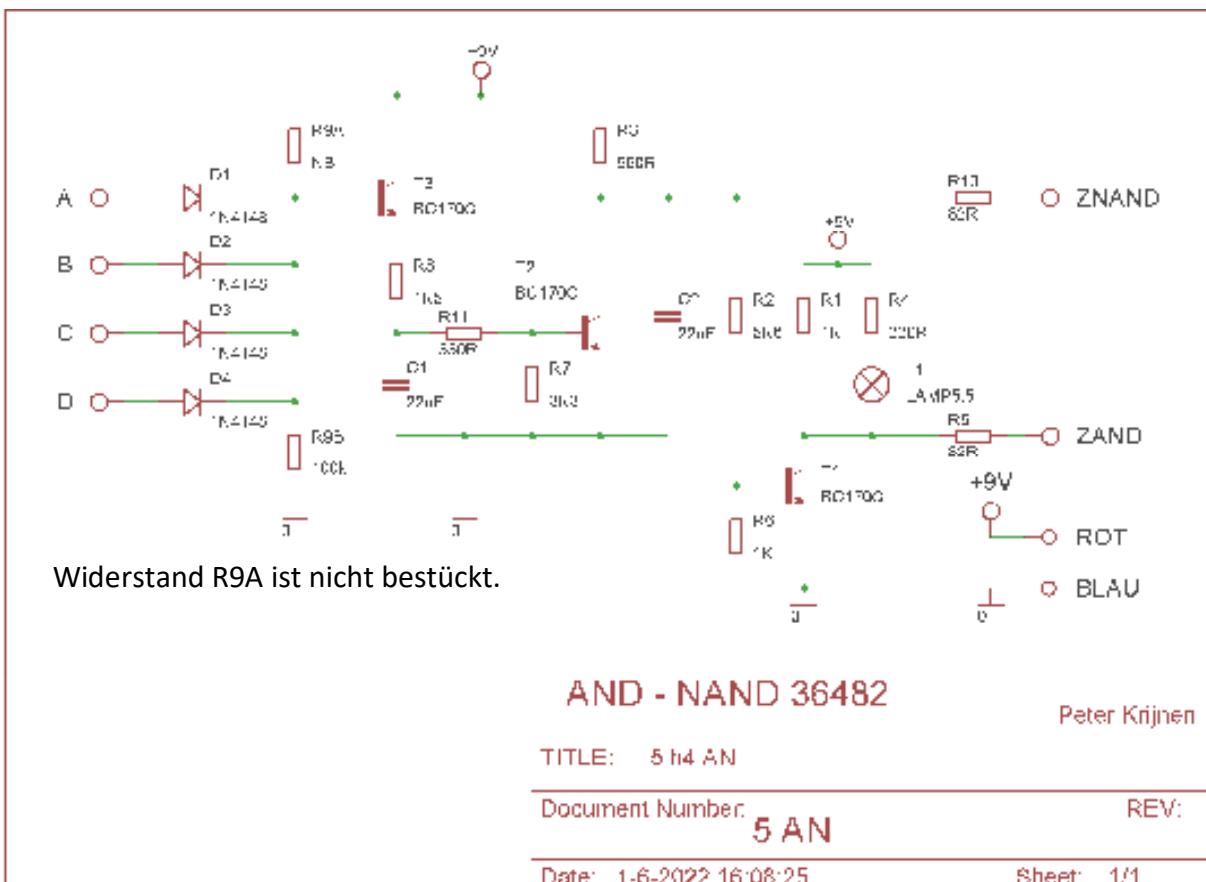


Abb. 188: Schaltplan des AND-NAND

AND-NAND

Wenn wir uns nun den Schaltplan des AND-NAND (Abb. 188) ansehen, sehen wir, dass die vier Dioden vertauscht sind und statt R9A nun der 100 K-Widerstand R9B platziert ist.

Beim OR-NOR lag die Basis von T3 auf 9 V, beim AND-NAND liegt die Basis jetzt bei 0 V. Daher sperrt T3, so dass auch T2 sperrt. Am Knotenpunkt von R2, R3, R10 und C2 liegen 9 V an. T1 ist leitend, der Z_{AND}-Ausgang zeigt 0 V und das Licht ist an. Am Ausgang liegt Z_{NAND} bei 9 V. Z_{AND} – Z_{NAND}: 1 – 0.

Wenn wir jetzt den Eingang „A“ mit 0 V verbinden, passiert nichts. Dies ist die gleiche, bereits beim OR-NOR beschriebene Situation. Da passiert nichts, wenn man einen Eingang mit 9 V verbindet.

Beide Anschlüsse der Dioden haben dann den gleichen Spannungsspeigel.

Wenn wir nun „A“ an die 9 V anschließen, sehen wir das Gleiche wie bei der Ausgangssituation beim OR-NOR: T3 und T2 leiten, T1 ist gesperrt und das Licht ist aus. Wie beim OR-NOR ist es egal, ob wir einen, zwei, drei oder alle vier Eingänge verbinden. Z_{AND} – Z_{NAND}: 0 – 1.

Eine vollständige Beschreibung des AND-NAND findet ihr in „Experimente + Modelle hobby 4 Band 4“ [1] ab Seite 41.

Um die AND-NAND-Verknüpfung zu erhalten, müssen wir im Gegensatz zur ODER-NOR-Verknüpfung zunächst alle Eingänge mit „+“ verbinden (entsprechend der logischen „0“) (Abb. 41.3 und 43.1 in [1]). Die Lampe ist dann aus. Dann müssen wir alle Eingänge mit „-“ (log. „1“) verbinden oder offen lassen, bevor das Licht

wieder angeht. Der Vorteil ist, dass man, wenn man nur 2 oder 3 Signale kombinieren möchte, die anderen Eingänge einfach offen lassen kann. Ein unbeschalteter Eingang verhält sich so, als würde an ihm eine „1“ anliegen.

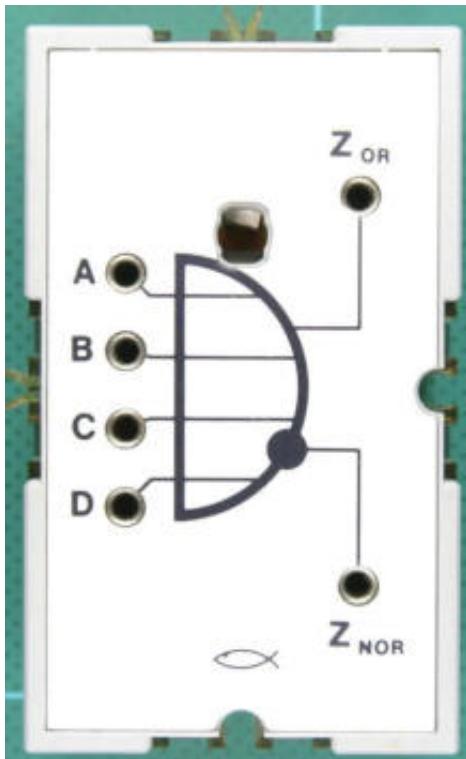


Abb. 189: OR-NOR-Baustein [36481](#)



Abb. 190: Platine des OR-NOR

Um zu prüfen, ob beide Schaltungen richtig funktionieren, habe ich einen Testaufbau gemacht. Deren Aufbau ist in Abb. 185 zu sehen. Er besteht neben einem Gleichrichtermodul aus einem Grundbaustein, der als Taktgenerator geschaltet ist und mit einem auf einem Breadboard platzierten CD4024 verschaltet ist. Der CD4024 ist ein Teiler-IC mit sieben Ausgängen. Ich habe die vier untersten Ausgänge mit den Eingängen beider Module verbunden. Das Ergebnis des Tests ist in Abb. 186 zu sehen.



Abb. 191: Leiterbahnseite des OR-NOR

Wie es in den Modulen aussieht, sehen wir in Abb. 190 bis 192 (OR-NOR) und den Bildern 194 bis 196 (AND-NAND). Wir sehen, dass die Platinen gleich sind. Am AND-NAND sind die Dioden jedoch vertauscht und wir können deutlich erkennen, dass der Widerstand R9B seine Position geändert hat. Ich habe auch eine Ersatzplatine für beide Module entworfen (Abb. 193 und 197).

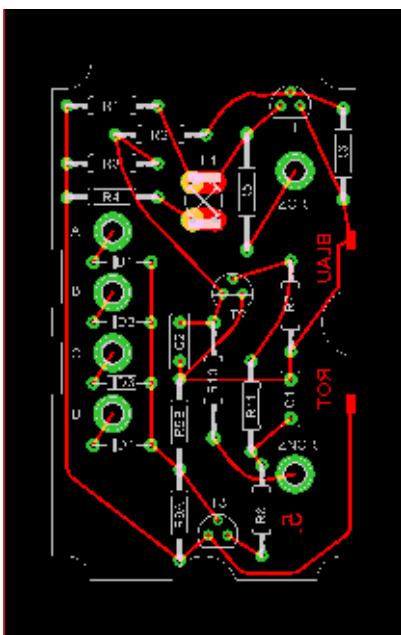


Abb. 192: Layout des OR/NOR

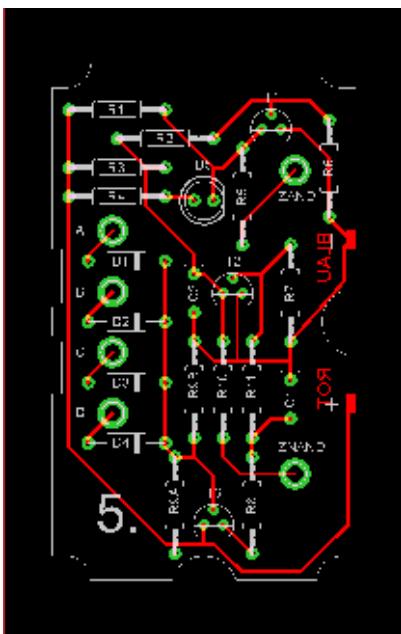


Abb. 193: Nachbau 1: Layout für eine Ersatzplatine des OR/NOR

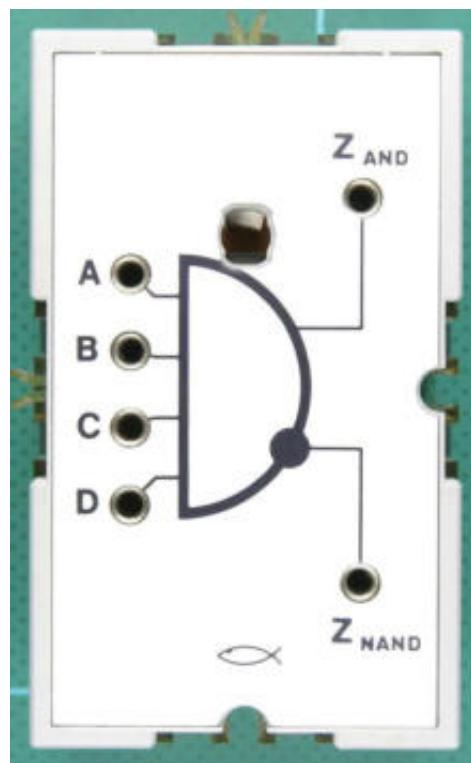


Abb. 194: AND/NAND Baustein 36482



Abb. 195: Platine des AND/NAND

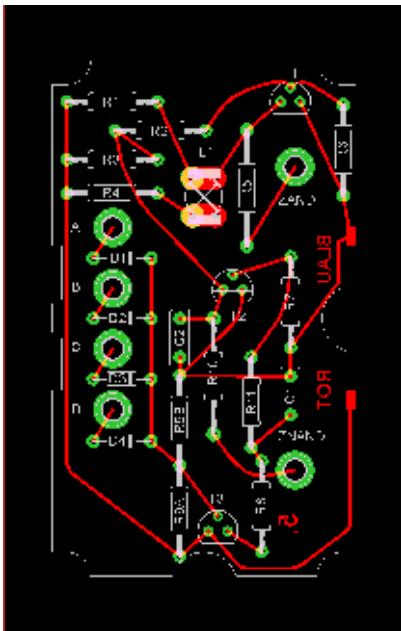


Abb. 196: Layout des AND/NAND

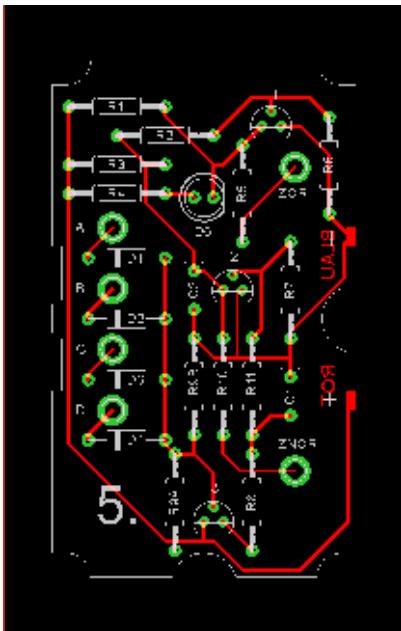


Abb. 197: Nachbau 1: Layout für eine Ersatzplatine des AND/NAND

Nachbau

Wenn man ein Design für zwei Module erstellen möchte, die dieselbe Platine bekommen müssen, sollte man das in kürzerer Zeit tun können als für zwei verschiedene Platten. Aber ich bin ein Perfektionist. Es dauerte also viel länger als es sollte. Aber das spielt keine Rolle – ich mache es gerne.

Auf den Abb. 198 bis 201 sehen wir die Module in meinen 45×75-Gehäusen.

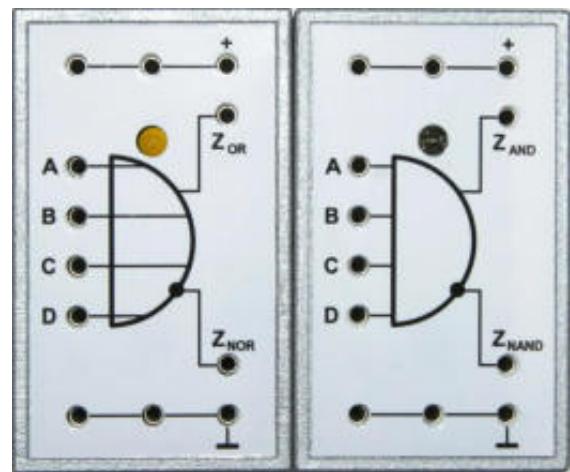


Abb. 198: Nachbau 2: Frontplatten für das 45×75-Gehäuse

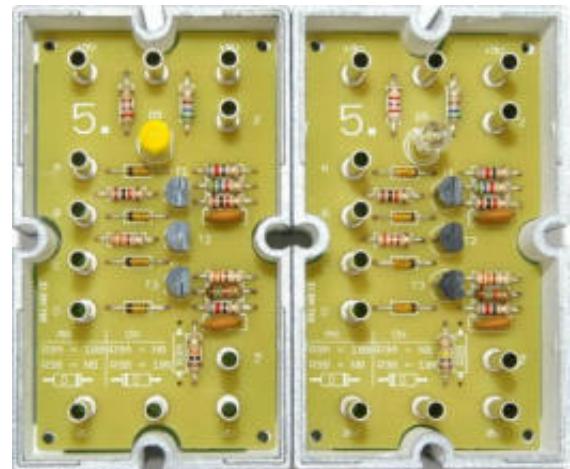


Abb. 199: Nachbau 2: Beide Platten im 4575-Gehäuse

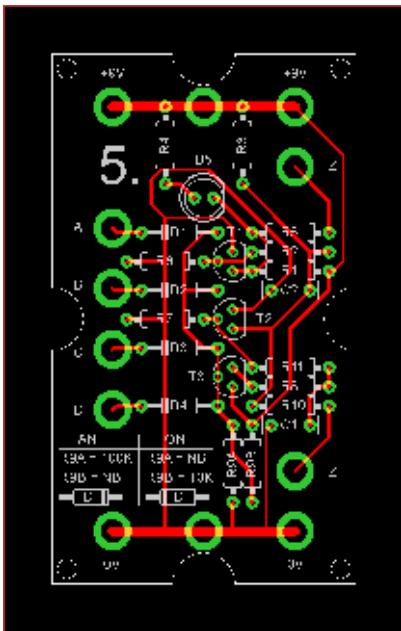


Abb. 200: Nachbau 2: Layout des OR/NOR für das 45×75-Gehäuse

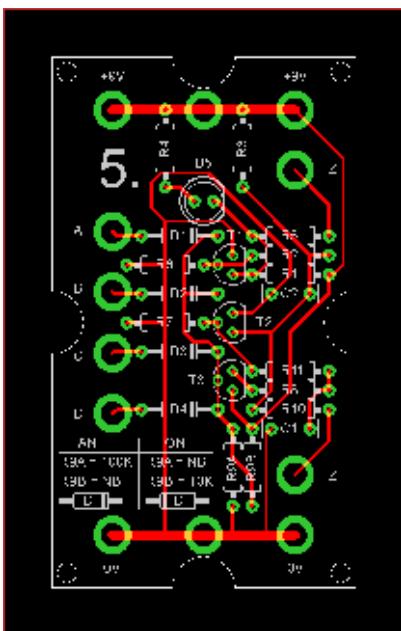


Abb. 201: Nachbau 2: Layout des AND/NAND für das 45×75-Gehäuse

Die Abb. 202 bis 205 zeigen die Module in meinen 60×60-Gehäusen.

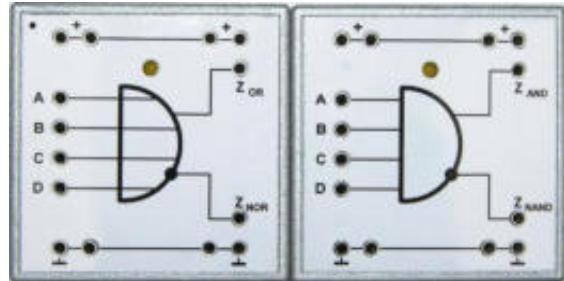


Abb. 202: Nachbau 3: Beide Frontplatten für das 60×60-Gehäuse

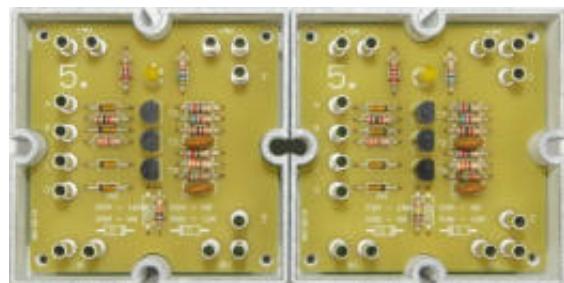


Abb. 203: Nachbau 3: Beide Platinen im 60×60-Gehäuse

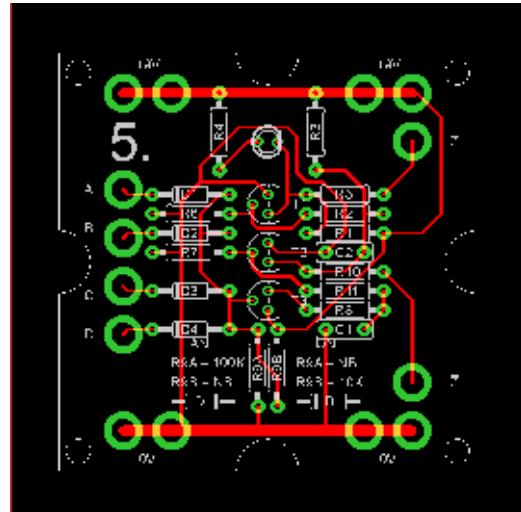


Abb. 204: Nachbau 3: Layout des OR/NOR für in 60er Kassette ([32076](#))

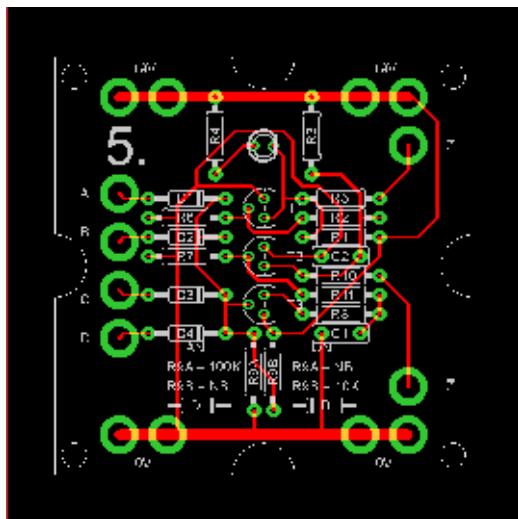


Abb. 205: Nachbau 3: Layout des AND/NAND für in 60er Kassette (32076)

Auf den Abb. 206 bis 209 sieht man die Module im Batteriegehäuse [32263](#).



Abb. 207: Nachbau 4: Beide Platinen im 30×60-Gehäuse

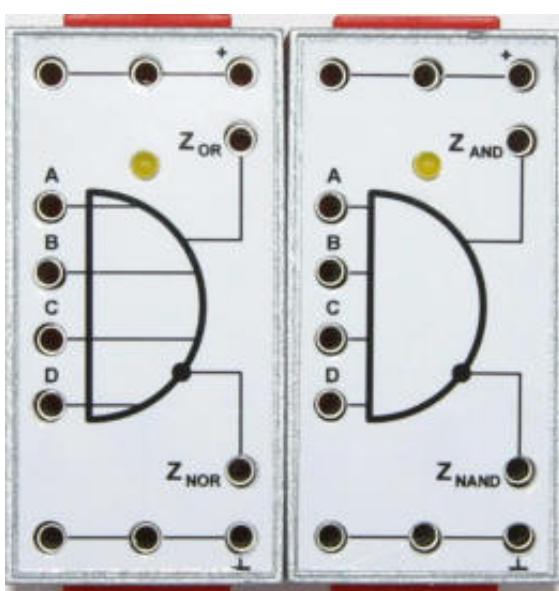


Abb. 206: Nachbau 4: Beide Frontplatten für das Batteriegehäuse [32263](#)

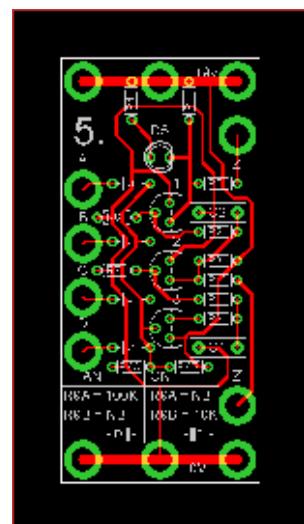


Abb. 208: Nachbau 4: Layout des OR/NOR für das Batteriegehäuse [32263](#)

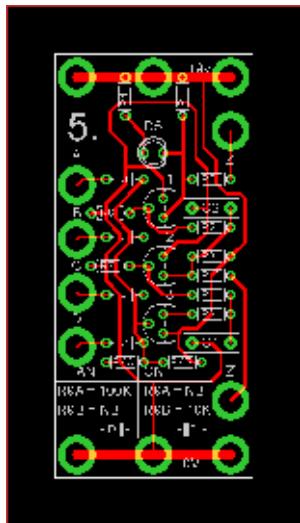


Abb. 209: Nachbau 4: Layout des AND/NAND für das Batteriegehäuse [32263](#)

Abb. 210 und 211 zeigen beide “Shields”.

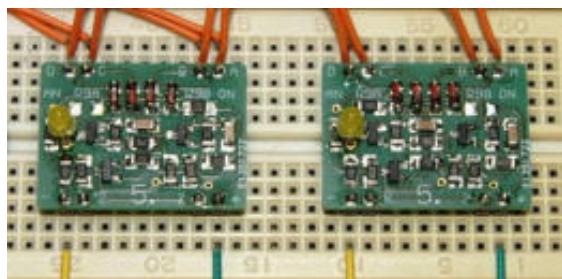


Abb. 210: Nachbau 5 für ein Breadboard: das OR/NOR und AND/NAND als Shield in SMD-Technik

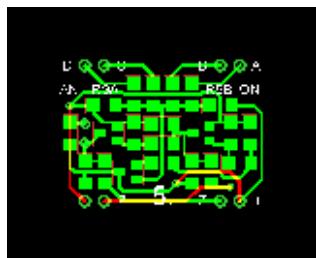


Abb. 211: Nachbau 5: Doppelseitiges Layout des Shields

Dynamisches AND

Das dynamische AND [36483](#) (Abb. 212) hat nur einen Zweck: eine definierte Impulslänge zu erzeugen. Wenn wir uns den Schaltplan in Abb. 215 ansehen, sehen wir, dass das Dynamische AND zwei gleiche Schaltungen hat. Die B_P -Eingänge entsprechen den S_P - und R_P -Eingängen des Flip-Flops und dem S_P -Eingang des Mono-Flops. Die beiden A_V -Eingänge sind gleich dem S_V -Eingang des Mono-Flops.

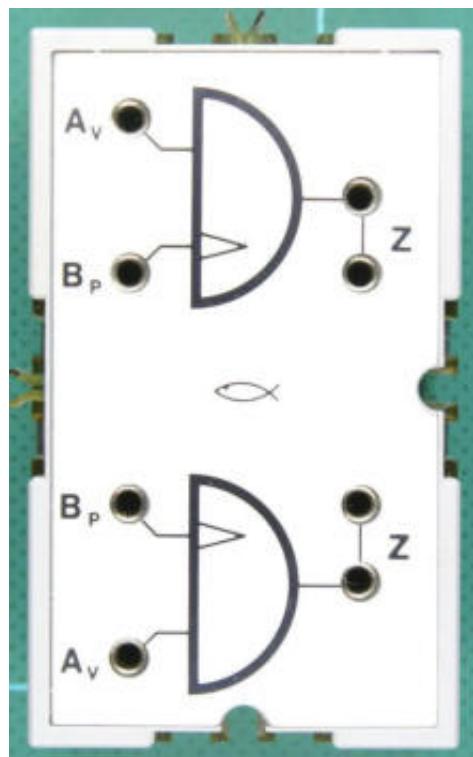


Abb. 212: Dynamisches AND 36483

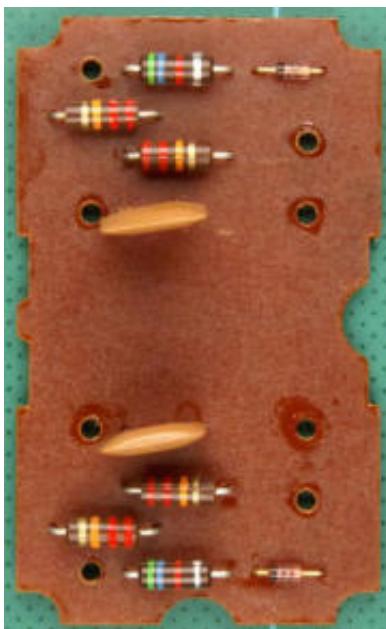


Abb. 213: Platine des Dynamischen AND

Die Impulslängen bestimgenden Komponenten sind C1, R1, R2 und C2, R5, R6.

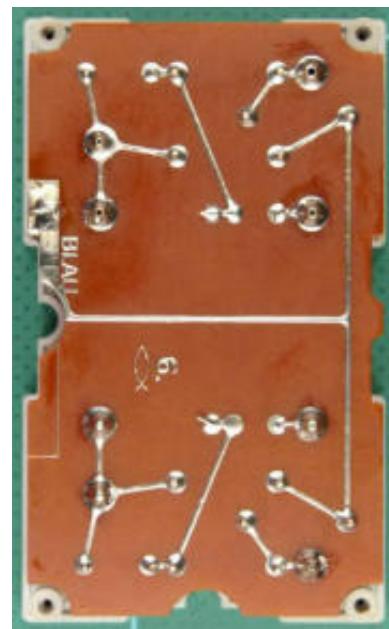


Abb. 214: Leiterbahnseite des Dyn. AND

Wenn wir BP mit „+“ verbinden, solange der Av-Eingang nicht verbunden ist, wird C1 über R1 und R2 geladen. Auf dem

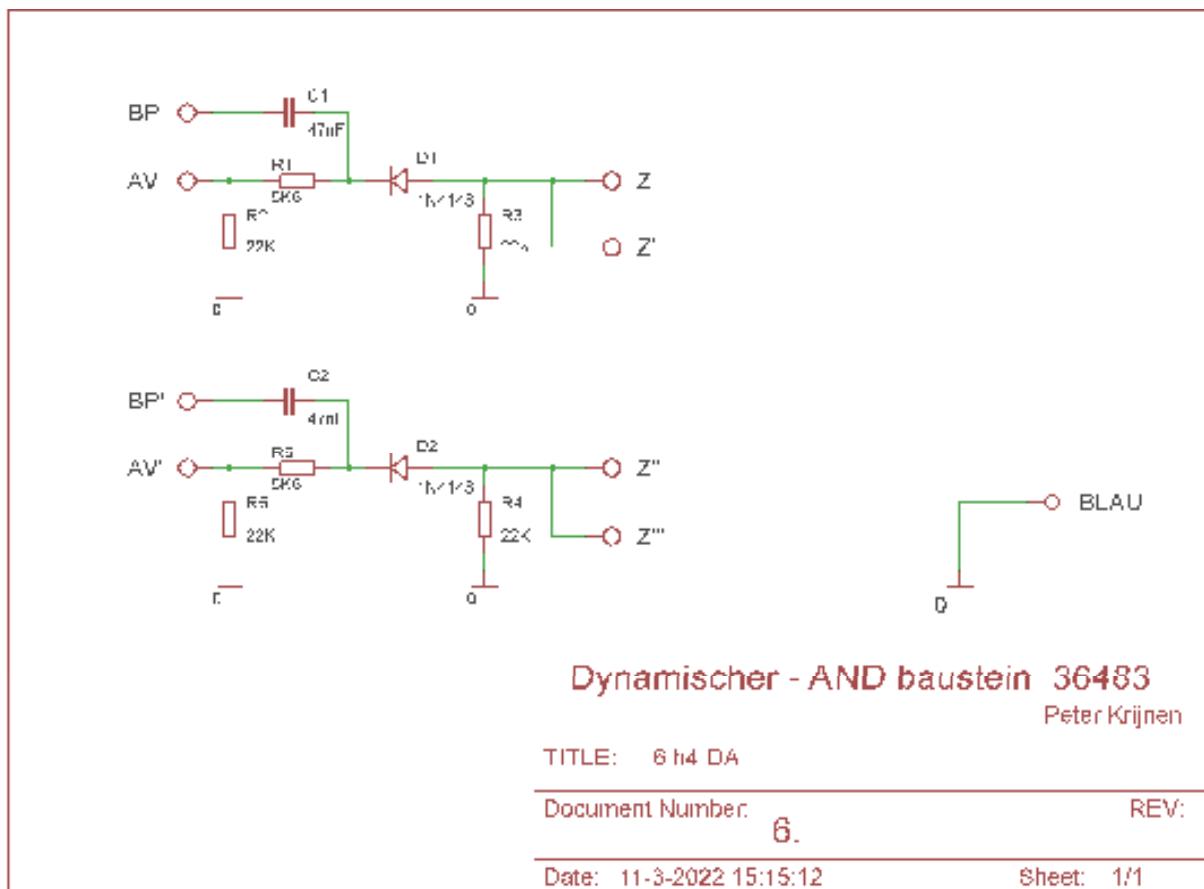


Abb. 215: Schaltplan des Dynamischen AND

Oszilloskop (Abb. 217) sehen wir auf Kanal 1 (gelb) ein Rechtecksignal von 88 Hz (A1 aus einem Grundbaustein) und auf Kanal 2 (blau) den Pegelverlauf am Knotenpunkt von C1, R1 und D1. Während sich der Kondensator auflädt, sehen wir den Pegelabfall. Dies liegt daran, dass der Pegel auf beiden Seiten des Kondensators gleich wird und der Ladevorgang langsamer wird. Wird dann B_P mit „-“ verbunden, entlädt sich C1 wieder über R1 und R2. Beim Entladen sehen wir, dass der Spannungspegel nun plötzlich negativ geworden ist. Das hat damit zu tun, dass die Polarität vertauscht ist.

Beim Laden liegt B_P auf hohem und der Knotenpunkt auf niedrigem Potenzial, beim Entladen liegt B_P auf niedrigem und der Knotenpunkt auf hohem Potenzial.

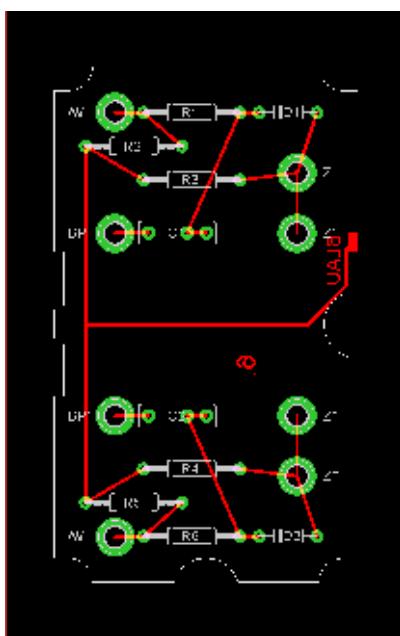


Abb. 216: Layout des Dynamischen AND

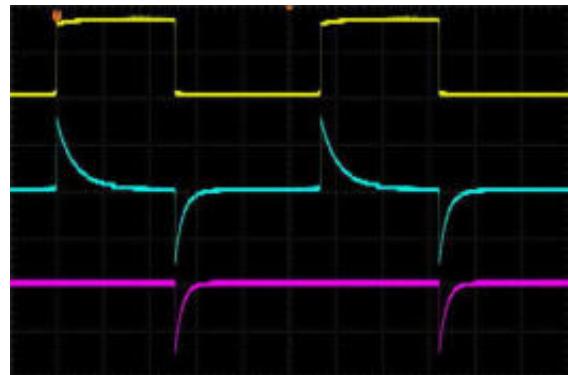


Abb. 217: A_V offen, Taktfrequenz 88 Hz

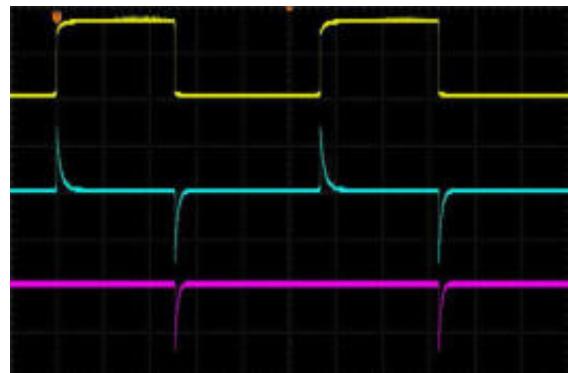


Abb. 218: A_V an „-“, Taktfrequenz 88 Hz

Auf Kanal 3 (lila) ist den Verlauf des Ausgangs „Z“ zu verfolgen. Allerdings sehen wir hier nur den negativen Teil. Da die Diode D1 in Sperrrichtung geschaltet ist, lässt sie nur den negativen Teil passieren.

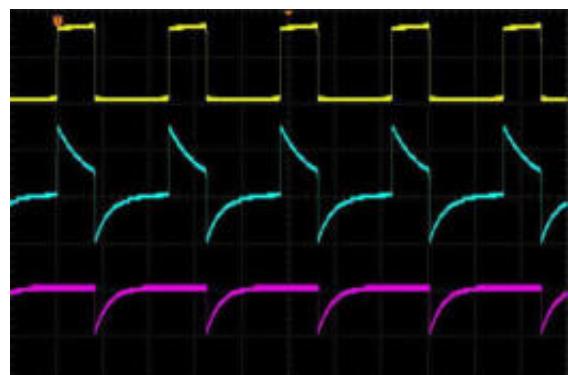


Abb. 219: A_V offen, Taktfrequenz 413 Hz

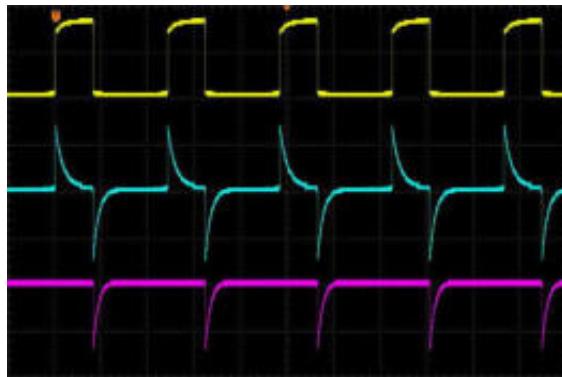


Abb. 220: A_V an „-“, Taktfrequenz 413 Hz

In Abb. 218 sehen wir dasselbe wie in Abb. 217 mit dem Unterschied, dass hier der Eingang A_V mit „-“ verbunden ist. Dadurch wird der Widerstand R_2 überbrückt und die Lade-/Entladezeit dadurch kürzer.

Abb. 219 sollte dasselbe wie Abb. 217 zeigen. Dass dies nicht der Fall ist, hat damit zu tun, dass ich für diese Messung die Frequenz der Rechteckwelle auf 413 Hz erhöht habe. Wir sehen, dass der Kondensator nicht mehr vollständig geladen wird. Die Impulsbreite der Rechteckwelle ist kürzer als die Ladezeit des Kondensators.

Was nun passiert, wenn wir A_V wieder mit „+“ verbinden, zeigt Abb. 220. Durch das erneute Überbrücken von R_2 ist die Lade-/Entladezeit so kurz geworden, dass der Kondensator wieder voll aufgeladen wird.

A_V mit „+“ verbunden, ergibt keine Änderung, denn C_1 wird dann auf beiden Seiten auf „+“-Pegel liegen. Sowohl Laden als auch Entladen sind daher nicht möglich.

Was mir aufgefallen ist, ist, dass die Form der Rechteckwelle etwas beeinflusst wird, wenn R_2 überbrückt wird. Die beiden Widerstände R_1 und R_2 zusammen ergeben $22 + 5,6 = 27,6 \text{ k}\Omega$. $5,6 \text{ k}\Omega$ ist also eine zu große Belastung für einen Ausgang des Grundbausteins.

Eine vollständige Beschreibung des Dynamischen UND findet sich in „Experimente + Modelle hobby 4 Band 4“ [1] ab Seite 78 und hobby 4 Band 5 [2] ab Seite 50.

Nachbau

Zuerst sah ich keinen Sinn darin, auch das dynamische AND zu bauen. Ich habe selbst eines, habe es aber nie benutzt. Aber wie gesagt, ich mache das sehr gerne. Allerdings habe ich auf eine Shield-Version verzichtet.

Am Ende ist eine universelle Platine herausgekommen. Außerdem konnte ich den Verstärker-Baustein VB, den Transistor-Potentiometer-Baustein TP und den Potentiometer-Baustein PB auf derselben Platine unterbringen. Jedes dieser Module hat nur wenige Komponenten, aber dazu mehr in Teil 8 dieser Artikelreihe.

Auf den Abb. 221 bis 223 sehen wir die Module für meine 45×75 -Gehäuse.

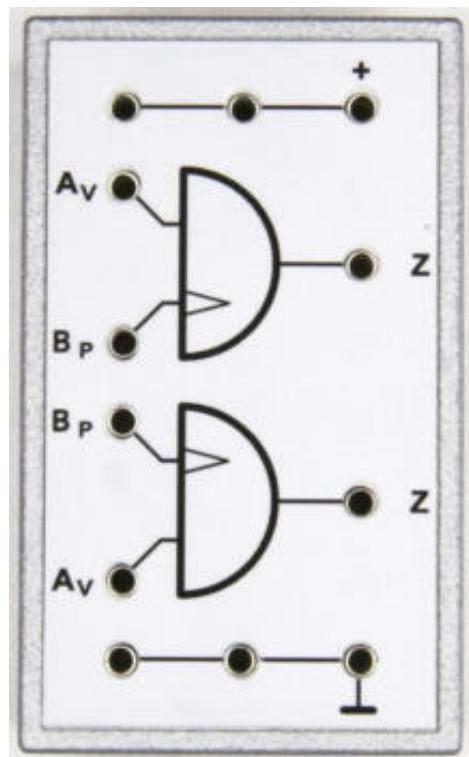


Abb. 221: Nachbau 2: Frontplatte für das 45×75 -Gehäuse

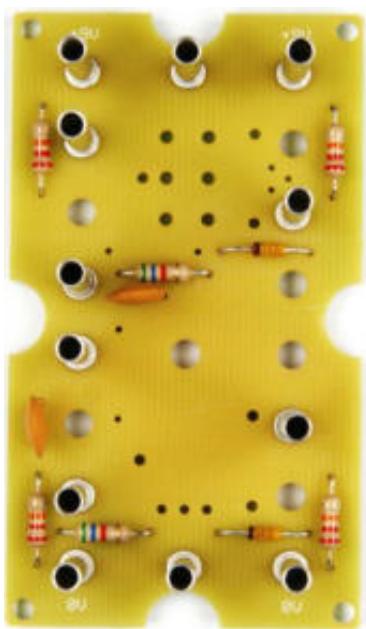


Abb. 222: Nachbau 2: Platinen für das 45×75-Gehäuse

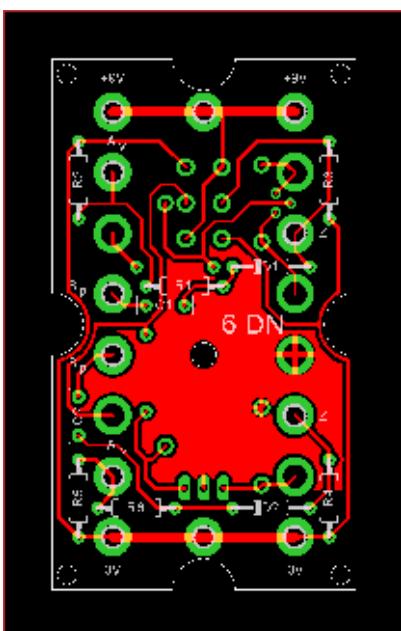


Abb. 223: Nachbau 2: Layout für das 45×75-Gehäuse

Die Abb. 224 bis 226 zeigen die Module für die 60×60-Gehäuse.

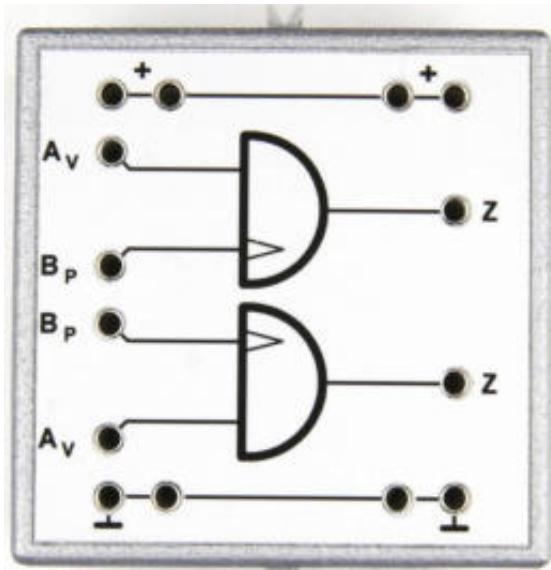


Abb. 224: Nachbau 3: Frontplatte für das 60×60-Gehäuse

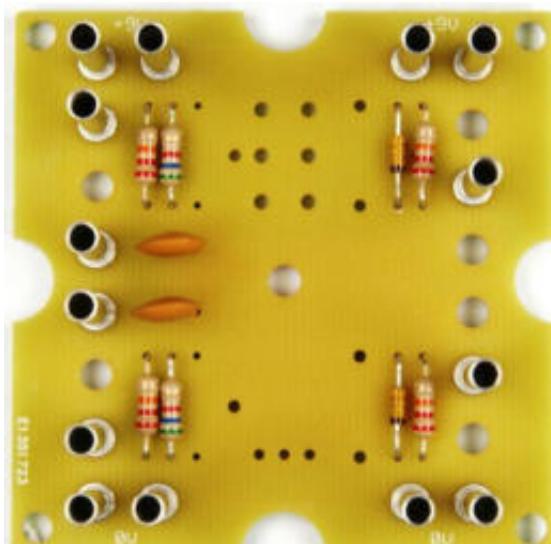


Abb. 225: Nachbau 3: Platinen für das 60×60-Gehäuse

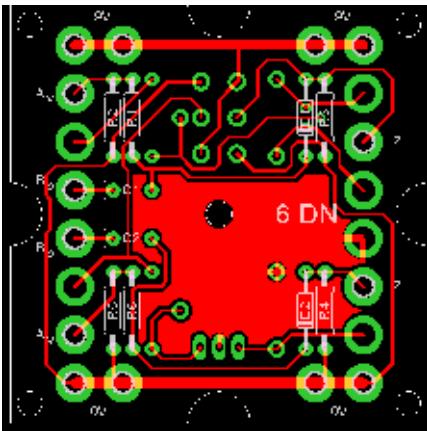


Abb. 226: Nachbau 3: Layout für 60er Kassette ([32076](#))

Auf den Abb. 227 bis 229 sehen wir die Module im Batteriegehäuse [32263](#).

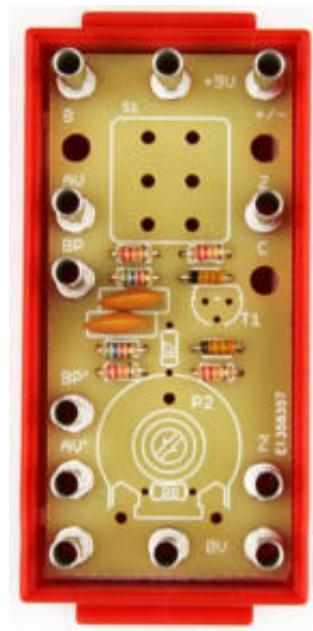


Abb. 228: Nachbau 4: Platine im 30×60-Gehäuse

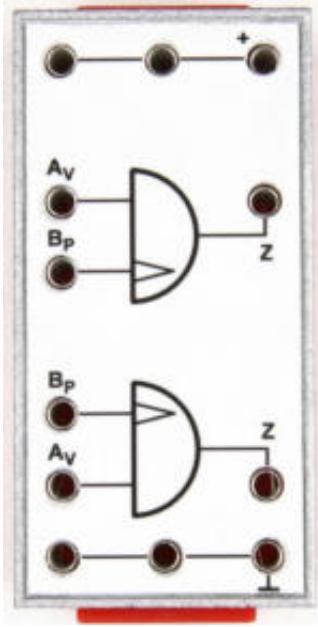


Abb. 227: Nachbau 4: Frontplatte für das Batteriegehäuse [32263](#)

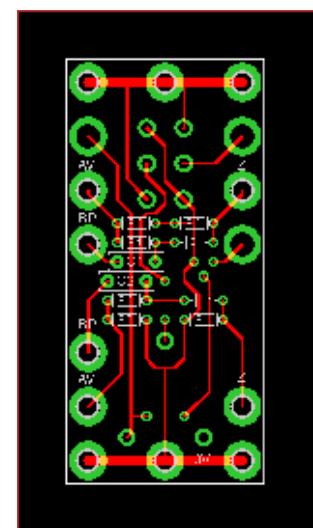


Abb. 229: Nachbau 4: Layout für Batteriegehäuse [32263](#)

So viel zu den Gatter-Modulen. In Teil 8 geht es weiter mit den Modulen aus den ut4- und hobbylabor-Kästen.

Quellen

- [1] fischertechnik: *Experimente + Modelle hobby 4 Band 4*. Auf docs.fischertechnikclub.nl.
- [2] fischertechnik: *Experimente + Modelle hobby 4 Band 5*. Auf docs.fischertechnikclub.nl.

Elektronik

Elektronik-Module (Teil 7): Multimeter

Hans-Christian Funke

Eine vermehrte Nachfrage nach dem Messmodul 70022 und auch das aktuelle Thema Schwellenwertregler haben dazu geführt, dass dieses Elektronikmodul in Kürze ebenfalls im Online-Shop von Franz Santjohanser [1] erhältlich sein wird.



Abb. 1: Das Messmodul 70022

Messmodul 70022

Das Messmodul ist entstanden, um zwei Randfunktionen abzudecken, die immer mal wieder gebraucht werden: Erstens die Spannungs- und Strommessung und zweitens die Möglichkeit, individuell und unabhängig von irgendwelchen Funktionen einen regelbaren Widerstand (Potentiometer) verfügbar zu haben.

Multimeterfunktion Spannungsmessung

Beim Messgerät handelt es sich um ein einfaches Spannungsmessgerät (kein Präzisionsmessgerät). Die Spannungsanzeige wird nach der Montage kalibriert, sodass eine Ungenauigkeit in der Anzeige höchstens nach der Kommastelle auftaucht.

Die Spannungsmessung erfolgt über die Anschlüsse Minus und V neben der Spannungsanzeige. Der Minusanschluss ist mit GND der internen Versorgungsspannung verbunden. Negative Spannungswerte können nicht angezeigt werden (Polung beachten). Für eine Überprüfung, ob ausreichend Spannung anliegt ist dieses Messgerät ideal. Durch die kleine Modulbauweise kann es auch sehr gut in Modelle integriert werden.

Es können Spannungen von 0-40 V Gleichspannung gemessen werden. Die Anzeige kann auch Spannungswerte bis 99,9 V anzeigen, aber bei höheren Spannungswerten als 40 V besteht die Möglichkeit, dass Komponenten im Elektronikmodul beschädigt werden.

Multimeterfunktion Strommessung

Das Strommessgerät ist ebenfalls nur zur einfachen Bestimmung bzw. Überprüfung eines Stromflusses in einem Stromkreis vorgesehen. Das Elektronikmodul verkraftet einen Stromfluss bis zu 3 A, kann aber theoretisch Werte bis 9,99 A anzeigen. Bei einem Strom über 3 A werden die Kabel oder die Platine im Elektronikmodul zerstört. Mit dem Aufbau des Messmoduls wird auch das Strommessgerät einer Kalibrierung unterzogen, sodass das Messgerät verlässliche Werte liefert.

Die Strommessung erfolgt über die Anschlüsse *Minus* und *A* neben der Stromanzeige. Bitte beachten, dass dieser Minusanschluss **nicht** mit GND vom Elektronikmodul verbunden ist! Für eine Strommessung muss ein bestehender Schaltkreis an einer Stelle unterbrochen werden. Die beiden Enden der Unterbrechung werden mit den Anschlüssen *Minus* und *A* des Strommessgeräts verbunden. Wie bei der Spannungsmessung muss auf die Polung geachtet werden, weil negative Ströme nicht angezeigt werden können.

Das Potentiometer

Beim Einbau des Potentiometers habe ich lange darüber nachgedacht, welchen Wert ich hier nehme – 500 Ω , 1 k Ω , 5 k Ω oder 10 k Ω . Ursprünglich hatte ich sogar die Idee, mehrere Potentiometer in einem Elektronikmodul zu Verfügung zu stellen, aber diese Idee habe ich bald wieder verworfen. Aus verschiedenen Modellen und Schaltungen habe ich entnommen, dass ein Wert von 1 k Ω der am häufigsten eingesetzte Wert ist. Somit ist im Messmodul ein Potentiometer mit 1 k Ω und 0,25 W verbaut.

Betrachtung der Leistung

Bei den Elektronikmodulen kommt eine maximale Versorgungsspannung von 15 V zum Einsatz. Legt man diese Spannung an den beiden Enden des Potentiometers an (1)

und (3), fließt ein Strom, der gerade in dem Bereich liegt, in dem das Potentiometer nicht beschädigt wird:

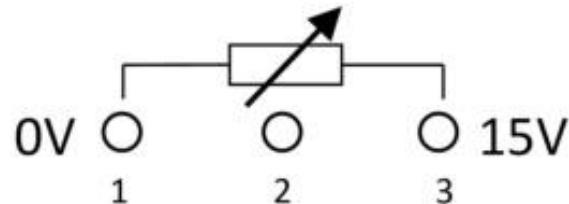


Abb. 2: Anschlüsse des Potentiometers

$$U = R \cdot I$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{15V}{1000\Omega} = 0,015A = 15mA$$

$$P = U \cdot I = 15V \cdot 15mA = 225mW$$

Über den Mittelanschluss (2) können in diesem Beispiel beliebige Spannungen zwischen 0 V und der angelegten Versorgungsspannung abgegriffen werden. Die Einstellung der abzugreifenden Spannung erfolgt über den Drehknopf vom Potentiometer.

Das Potentiometer ist nicht mit der Versorgungsspannung des Messmoduls verbunden und kann frei verwendet werden. Zur Verwendung muss somit das Messmodul auch nicht mit einer Versorgungsspannung verbunden werden.

Durch die Entkopplung kann das Potentiometer in jede beliebige Schaltung integriert und sogar mit höherer Spannung als 15 V beschaltet werden.

Vorwiderstand

Wird das Potentiometer mit höheren Spannungen oder anders beschaltet, sollte immer überprüft werden, ob die maximale vom Potentiometer verkraftbare Leistung überschritten wird.

Prophylaktisch kann ein Vorwiderstand mit einem Potentiometer in Reihe geschaltet werden, um auf diese Weise das Potentiometer und andere Komponenten vor Schaden zu bewahren.

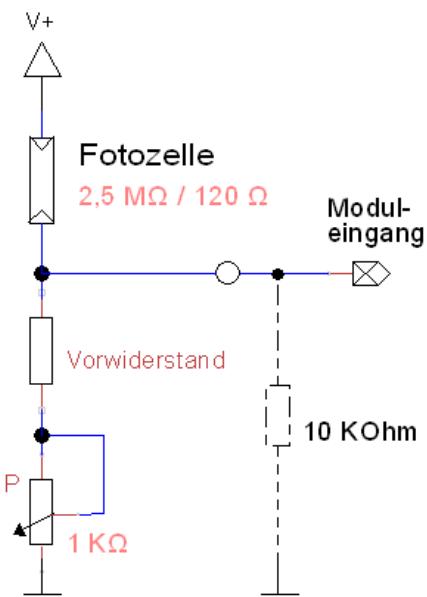


Abb. 3: Einsatz eines Vorwiderstands

Der Vorwiderstand kann zwei Funktionen übernehmen: Entweder in der Funktion als Schutzwiderstand oder zum Verschieben des Steuerbereiches, wie im Beispiel des Schwellenwertreglers in Abb. 3 zu sehen ist.

Schlussbemerkung

Mit dem Messmodul lassen sich weitere interessante Bereiche der Elektronik erschließen. Vor allem im experimentellen Bereich findet das Messmodul mit dem unabhängigen Potentiometer seinen Einsatz.

Neben dem Messmodul sind jetzt auch allerhand neue Zubehörteile sowie das Labor für digitale Elektronik erhältlich (siehe Beitrag „Ein Labor in Aktion“ in dieser Ausgabe). Für die Labore (75000, 75004, 75009) und die Ergänzungssets (75001, 75002, 75003) gibt es vom 01.07. bis 31.08.2022 eine Sonderaktion mit einem Nachlass von 10 %, wenn man den Gutschein-Code *FuSom22Lab* bei der Bestellung angibt [1].

Referenzen

- [1] *santjohanser Spielen. Lernen. Technik.* Der autorisierte fischertechnik-Fachhändler, <https://santjohanser.de>

Elektronik

Die Kunst der H-Brücke: Let's Rock

Thomas Magin

Alles begann mit der Idee, einen Portalkran zu bauen – no Limits. Es mal so richtig krachen zu lassen, losgelöst von allen (finanziellen) Restriktionen der Kindheit und Jugend. Und der muss sich natürlich auch bewegen. Und Automatisierung muss auch sein! Doch will man im Kosmos der fischertechnik-Motore bleiben, kommt man schnell an den Punkt, wo diese sich nur müde bewegen, wenn ein TXT das Kommando hat. Da muss Verstärkung her...



Abb. 1: Spannung am TXT bei 100Ω Last am Motorausgang (links) bzw. am Einzelausgang (rechts)

Let me entertain you

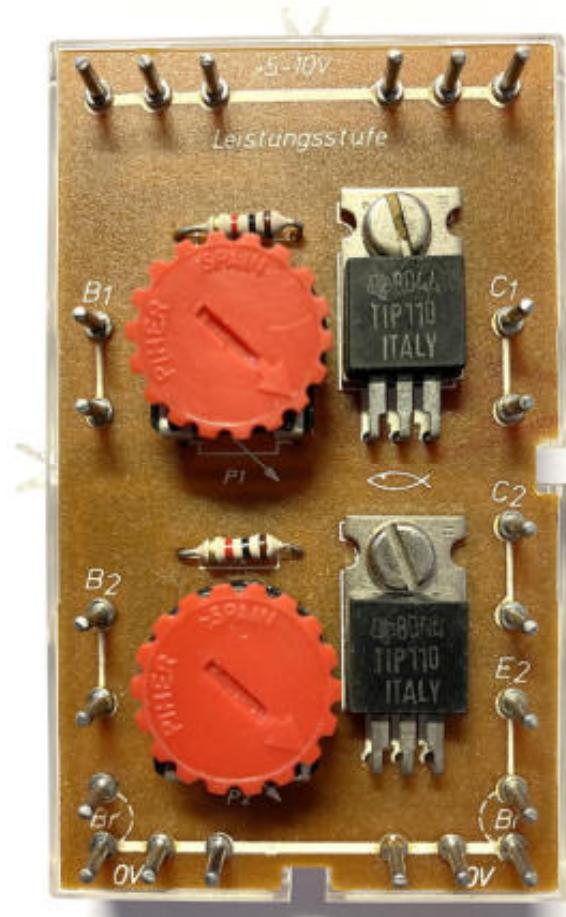
Wer gerne mit Controllern Aktoren ansteuert, allen voran dem TXT, stößt meistens früher als später an die Grenzen der limitierten elektrischen Leistung. Liegt schon bei einer Last von 100Ω die Ausgangsspannung bei gerade mal gut 7 V (anstatt der 9 V, die das Netzteil liefert), schränkt die erlaubte Stromstärke von 250 mA je Kanal noch weiter ein.

Bei zwei Power-Motoren parallel oder einer Handvoll Lampenbausteinen geht dem im TXT verbauten MC33879 schnell die Puste aus. Auch dieser wird als H-Brücke verwendet – nur nicht mit sonderlich viel Leistung, was der kompakten Bauform geschuldet ist. Was also tun?

Vorab: Ich bin ein Fan der möglichst „reinen“ fischertechnik-Lehre. 3D-Druck, Aluprofile, Kugellager etc. sind nicht meine

Welt. Damit möchte ich keinesfalls etwas gegen all die innovativen Modder, Konstrukteure und Erfinder gesagt haben, die einen wahrhaft faszinierenden Kosmos an Erweiterungen mit Ideen und Lösungen versorgen. Ich folge nur einem anderen Stil. Keinem besseren, eben einem anderen.

Der Markt hält eine Vielzahl industrierprobter Möglichkeiten bereit, die sich problemlos an einen TXT adaptieren lassen. Auspacken, einschalten, geht. Aber es ist eben nicht fischertechnik. Also muss ein anderer Weg gefunden werden – und da half mir der Zufall auf die Sprünge. Beim Stöbern in den Gebrauchtteilebörsen stolperte ich über die betagten Transistor-Leistungsstufen. Dereinst mit zwei NPN-Darlington-Transistoren bestückt, sind sie der erste Schritt zu einer fischertechnik-H-Brücke.



Building Bridges

Bevor wir nun beginnen, ein Hinweis zur Sicherheit: Wir begeben uns in die Jagdgründe der Leistungselektronik. Dieser Begriff ist in der Literatur nur schwammig umrissen und jeder versteht etwas anderes darunter. Aber ich wage mal eine an die fischertechnik-Welt angepasste Definition: Leistungselektronik ist's, wenn sich die Schaltung im Fehlerfall selbstständig mechanisch zerlegen kann, es Bauteile förmlich zerreißt und u. U. gefährliche Brände entstehen. Denn die von uns eingesetzten Komponenten sind durchaus potent, schalten bis zu 20 A und sollten respektvoll behandelt werden. Daher empfehle ich:

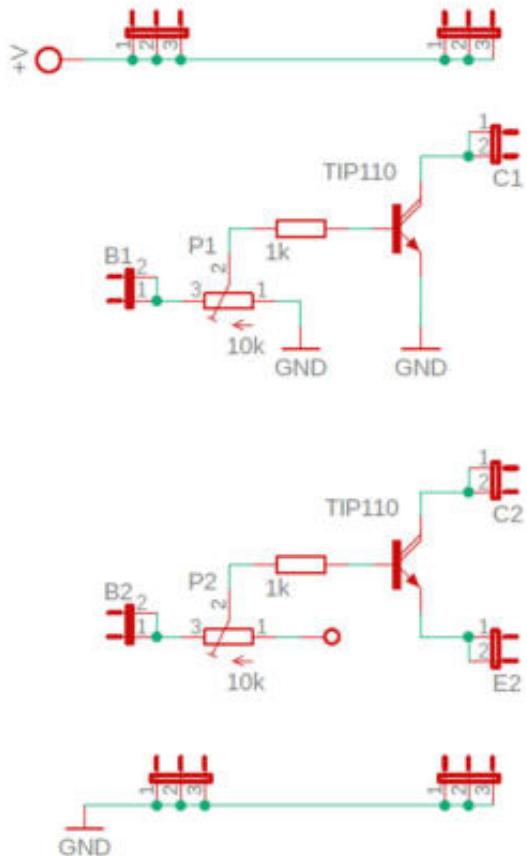


Abb. 2: fischertechnik-Leistungsstufe [36296](#) mit NPN-Darlingtontransistoren (links) und ihr Schaltbild (rechts)

TXT-Ausgänge	S1	S2	S3	S4	Zustand
M1: GND; M2: GND	leitet	leitet	sperrt	sperrt	Bremse
M1: aktiv; M2: GND	PWM	leitet	PWM	sperrt	Motorantrieb
M1: GND; M2: aktiv	leitet	PWM	sperrt	PWM	Motorantrieb
M1: aktiv; M2: aktiv	(sperrt)	(sperrt)	(leitet)	(leitet)	Nicht möglich

Tab. 1: Zustände der H-Brücke

- Benutzt nur geregelte Netzteile, bei denen ihr den Strom einstellen könnt. Damit wird die Energie (und der potenzielle Schaden) begrenzt. Benutzt keine Batterien oder Akkus!
- Benutzt saubere und korrosionsfreie Steckkontakte.
- Wenn doch Batterien/Akkus verwendet werden müssen: Sichert eure Schaltungen ab – mit Sicherungen!
- Vorsicht bei der Nutzung von fliegenden Aufbauten und Krokodilklemmen. Da schließt sich leicht etwas kurz!

- ... ist das nicht übertrieben, woher weiß der das alles? Fragt nicht...

Nun aber ein kleinwenig Theorie. Eine H-Brücke, auch als Vierquadrantensteller bezeichnet, ist im Wesentlichen eine Anordnung aus vier Schaltern, die folgende Betriebszustände ermöglicht:

- Vorwärts beschleunigen (Motorbetrieb)
- Rückwärts beschleunigen (Motorbetrieb)
- Vorwärts bremsen (Generatorbetrieb)
- Rückwärts bremsen (Generatorbetrieb)



Abb. 3: Der fliegende Laboraufbau in Aktion

Wen weiterführende Details dazu interessieren, wird auf den einschlägigen Wissensportalen im Internet fündig.

Für uns sind die beiden ersten Zustände wichtig, denn hier sind die Motoren in Betrieb. Da die Ausgänge des TXT ebenfalls durch eine H-Brücke pulsmoduliert gespeist werden, bilden sie den idealen Treiber für eine Leistungsstufe, denn sie werden die vorgestellte Lösung „zerstörungssicher“ ansteuern. Damit ist gemeint, dass nie die Gefahr bestehen wird, eine der beiden Halbbrücken vollständig durchzuschalten (was zu einem veritablen Kurzschluss führen würde).

S1/S3 und S2/S4 werden als jeweils komplementäre Halbleiter ausgelegt. Zusammen mit der TXT-Ansteuerung ist sichergestellt, dass diese niemals gleichzeitig schalten. Wenigstens fast, doch dazu später.

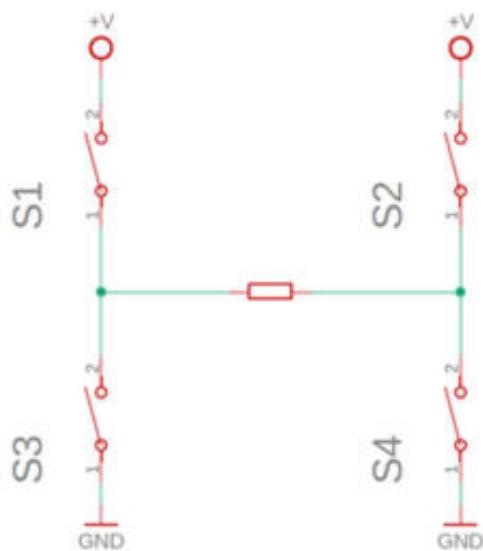


Abb. 4: Prinzip einer H-Brücke

Start me up

Im Grunde könnte man direkt mit der fischertechnik-Leistungsstufe beginnen, eine Halbbrücke, also eine Seite der H-Brücke, zu bauen. Das bringt aber zwei Nachteile mit sich:

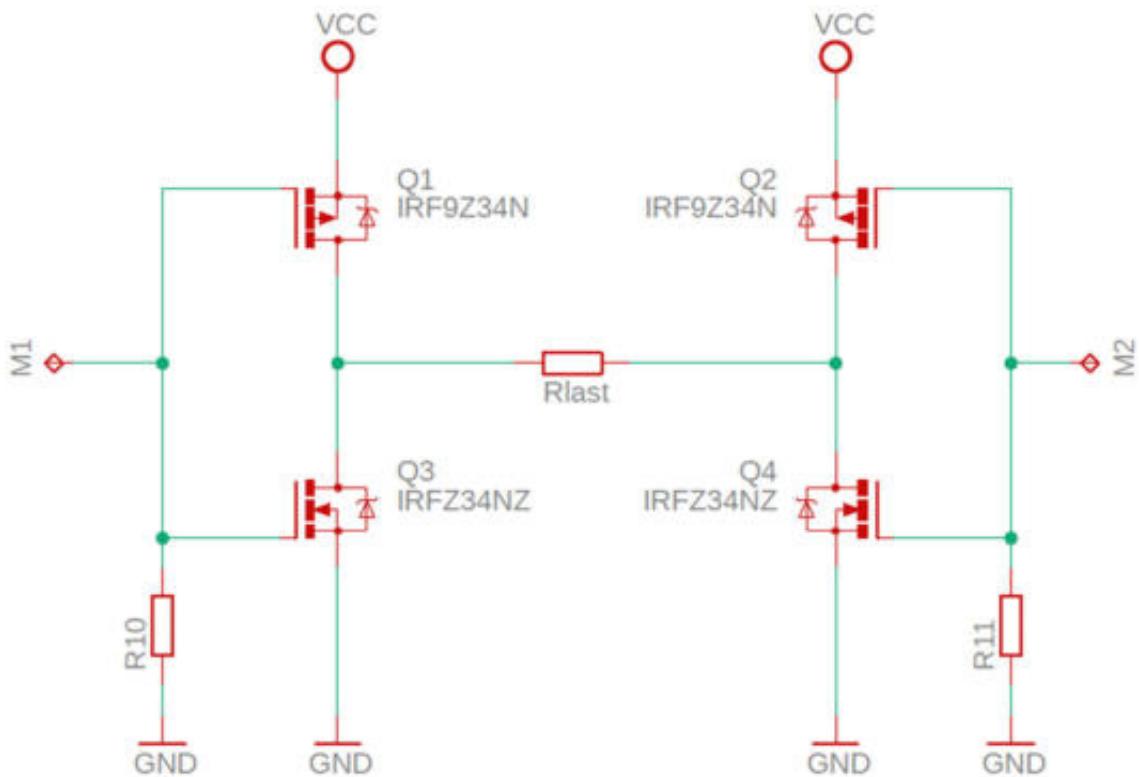


Abb. 5: Basisschaltung einer MOSFET-H-Brücke

- Da wir hier nur NPN-Elemente zur Verfügung haben, benötigen wir für den Highside-Transistor (der gegen die Versorgungsspannung schaltet) eine aufwändiger Ansteuerung.
- Darlington-Transistoren haben im durchgeschalteten Zustand einen signifikanten Spannungsabfall U_{CEsat} über ihrer Kollektor-Emitterstrecke.

Dem ersten Punkt könnten wir dadurch entgegenwirken, dass wir den Transistor, dessen Emitter nicht fest mit GND verbunden ist, gegen sein PNP-Pendant austauschen, z. B. den TIP115. Allerdings käme dann aufgrund der U_{CEsat} immer noch nicht die volle Versorgungsspannung an der zu schaltenden Last an. Laut Datenblatt sind dies bis zu 2,5 V bei 2 A. Auch wenn wir diesen gepulsten Betriebspunkt mit fischertechnik-Elementen nie erreichen werden: Mit 0,5 V bis 1 V Verlust je Transistor müssen wir schon rechnen.

Durch die Brückenschaltung haben wir also den Spannungsabfall an zwei Transistoren,

werden somit kaum über die 7,5 V hinauskommen, die der MC33879 im TXT liefert. Dazu kommt, dass solch ein Spannungsabfall, multipliziert mit dem zu schaltenden Strom I_c , eine signifikante Verlustleistung ergibt – und damit den Zwang zu Kühlkörpern.

Die moderne Alternative zum Darlington-Transistor ist der MOSFET. Auch dazu findet sich im Netz Lektüre für mehrere Monate Kurzweil, sodass ich an dieser Stelle nicht auf die Funktionsweise des Bauelements eingehen werde. Die wesentlichen, für uns relevanten Eigenschaften sind:

- MOSFETs haben praktisch keine Spannungs- und Leistungsverluste.
- Mit dem TIP110 sind dimensions- und anschlussgleiche Typen vorhanden.
- Die Ansteuerung ist einfach.

Die Auswahl an Bauteilen am Markt ist fast unendlich und unsere Anforderungen aus der fischertechnik-Welt sind minimal. Wir wollen keine hohen Spannungen schalten, bei den Strömen bleiben wir im einstelligen



Abb. 6: Ruhezustand; M1 und M2 auf GND

Ampere-Bereich und die PWM ist langsam – alles gemessen an den Möglichkeiten moderner Transistoren. Also kommt ein IRFZ34/IRF9Z34-Pärchen zum Einsatz, ein N-Kanal- und ein P-Kanal-Typ.

Abb. 5 zeigt die Basisimplementierung mit MOSFETs. Man beachte die Analogie zu Abb. 4.



Abb. 7: PWM links; M1 aktiv und M2 auf GND



Abb. 8: PWM rechts; M2 aktiv und M1 auf GND



Abb. 9: Dauer rechts; M2 aktiv und M1 auf GND

M1 wird mit einem Motorausgang des TXT verbunden, M2 mit dem korrespondierenden Anschluss. Wie in der vorherigen Tabelle gezeigt, gibt es nur drei gültige Schaltzustände:

- M1 und M2 werden vom TXT nach Masse gezogen: Damit leiten Q1 und Q2, an der Last liegen auf beiden Seiten VCC, die Spannungsdifferenz ist 0 V.
- M1 ist aktiv, entweder ein PWM-Signal oder VCC; M2 liegt auf GND: Nun bilden Q1 und Q3 das an M1 liegende Signal invertiert an R_{last} ab. Da aber die Last auf der anderen Seite VCC sieht (da M2 auf GND liegt) haben wir eine doppelte Invertierung und alles ist wieder gut.
- M2 ist aktiv, entweder ein PWM-Signal oder VCC; M1 liegt auf GND: Die Umkehrung des vorherigen Falls und damit die Änderung der Polarität an R_{last} .

Ich werde des Öfteren die Begriffe „Lowside“ und „Highside“ verwenden. Unter „Highside“ versteht man die positive Versorgungsspannung, unter „Lowside“ die

Masse (im Falle einer einfachen Stromversorgung). Ein Highside-Transistor schaltet somit gegen VCC, der Lowside-Transistor gegen GND. Daher muss der Highside-Transistor ein Komplementärtyp des Lowside-Transistors sein. Da P-Kanal-Typen nicht die Leistung von N-Kanal-Typen bringen, werden in Hochlastanwendungen (mehrere zig Ampere und darüber) Brücken nur aus N-Kanal-MOSFETs aufgebaut. Dies erfordert dann zusätzliche Elektronik zur Ansteuerung. Doch bei unseren bescheidenen Verhältnissen mit einigen Ampere können wir uns den Aufwand sparen.

Abb. 6 bis 9 zeigen wie das Ganze in Aktion aussieht. Die Last besteht hier aus $25\ \Omega$. Macht runde 350 mA bei 9 V, was die Transistoren schon fast hörbar zum Gähnen bringt, einen TXT aber überlasten würde.

Hier einmal das Schaltverhalten im Detail: Die in Abb. 10 oberen, klein dargestellten Signale entsprechen dem Schaltverhalten aus Abb. 7. Darunter, in Zeitlupe, die steigende Flanke am M1-Ausgang des TXT (gelb) und die Antwort des MOSFET (blau).



Abb. 10: Zoom - PWM links; M1 aktiv und M2 auf GND

Während sich der TXT gemächliche 20 μ s Zeit lässt, den Zustand zu wechseln, schaltet der MOSFET in einem 20stel der Zeit, ist erst einmal der Schwellenwert von 4 V U_{GS} erreicht (Abb. 10).

Shoot to thrill

Nun ist da aber noch ein kleines Detail, über das viele gerne großzügig hinweggehen: die Schaltzeiten der Transistoren. In der idealen Welt schalten die oberen Transistoren

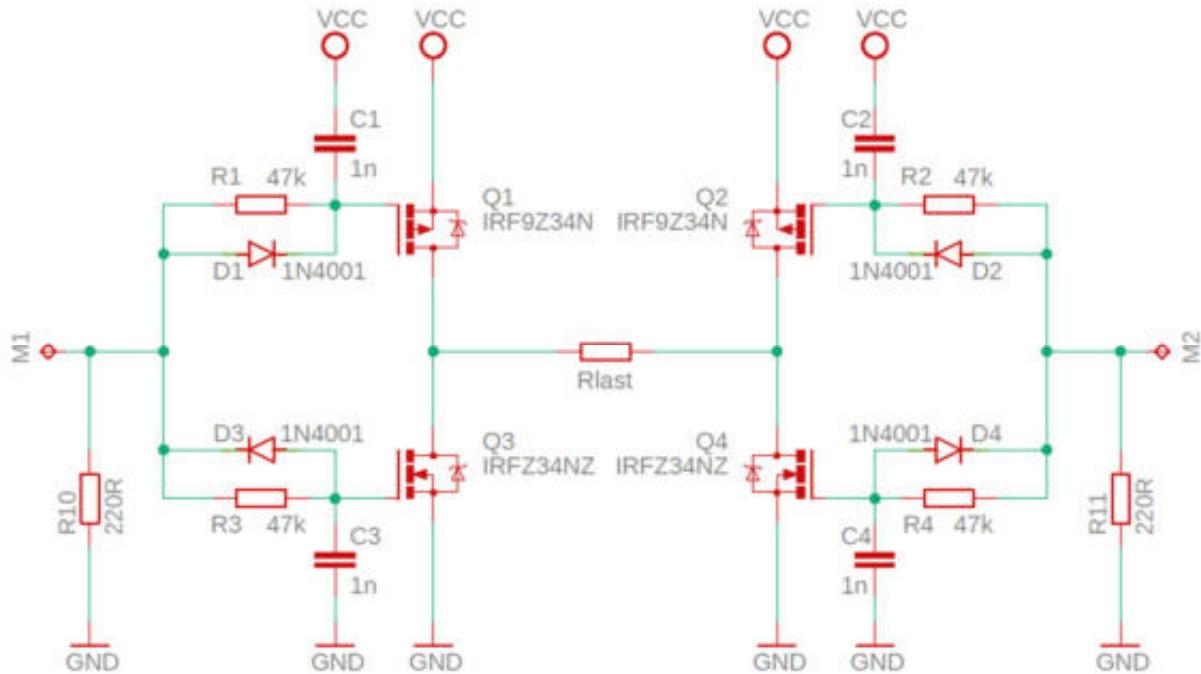


Abb. 11: Ansteuerung mit Einschaltverzögerung

Q1/Q2 der Halbbrücken schneller ab als die unteren Q3/Q4 ein, bzw. umgekehrt. In der realen Welt weiß man das aber nicht so genau. Und dieses Problem führt zu „Shoot-through“ oder „Cross conduction“.

Hierbei kommt es zu einem kurzfristigen Durchschalten beider Transistoren der Halbbrücke und damit zu einem Kurzschlussstrom, meist für einige Mikrosekunden. Das hört sich nicht dramatisch an



Abb. 12: Gate-Netzwerk (ohne MOSFET) ...



Abb. 13: ...und jetzt mit MOSFETs und Lastwiderstand

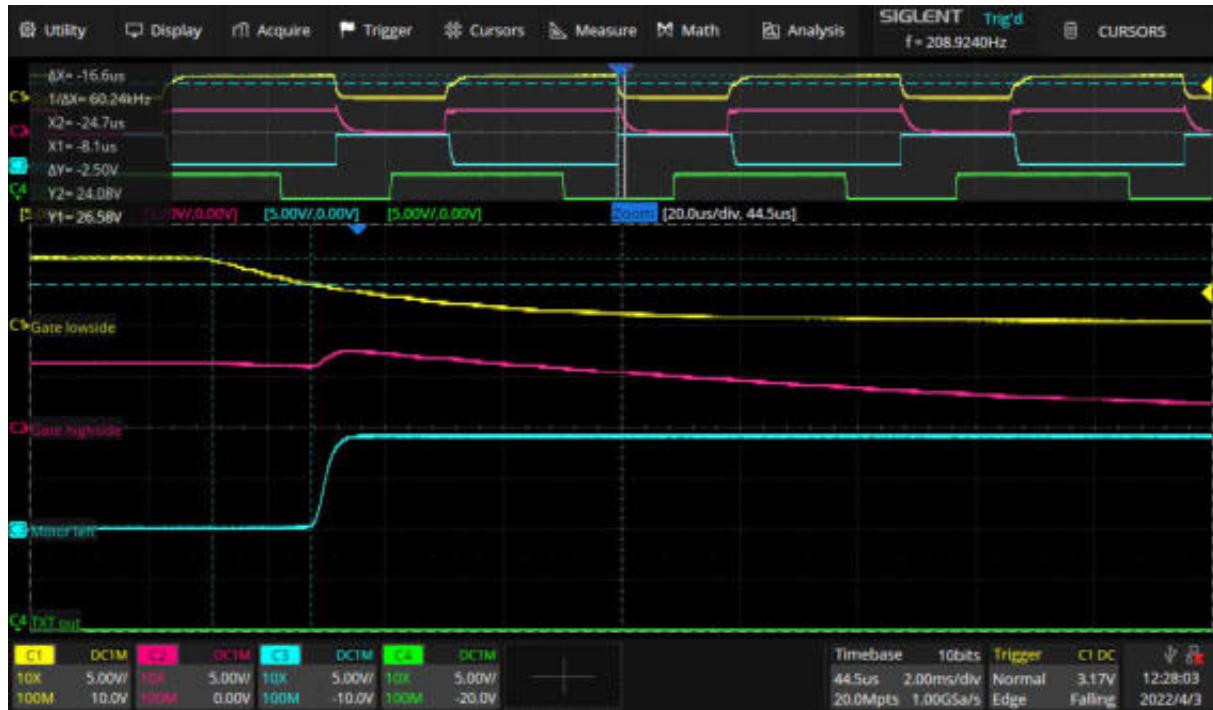


Abb. 14: Messung der Verzögerungszeit

und wird die Schaltung auch kaum zerstören, verursacht aber unangenehme Störungen in der Versorgung. Die Brute-Force-Lösung: einen dicken Elko an die H-Brücken-Versorgung hängen, der die Lastspitzen wegfiltert.

Aber wir hätten es gerne etwas eleganter, indem wir die Schaltflanken an den Transistor-Gates so verzögern, dass der Shoot through ausgeschlossen wird. Und das geht so (Abb. 11):

Die Ansteuerung der Gates wurde mit einer kleinen Schaltung erweitert. Nehmen wir uns zuerst einmal alles rund um den Q1 vor, der highside, und gehen Schritt für Schritt einen Schaltvorgang durch:

- M1 liegt auf GND: damit liegt das Gate an GND, der P-Kanal-Transistor ist durchgeschaltet, C1 ist auf VCC aufgeladen.
- M1 schaltet auf VCC: da die Kathode von D1 (noch) auf GND liegt, an der Anode nun aber VCC, leitet die Diode und C1 wird schlagartig entladen. Das Gate-Potenzial wird VCC, U_{GS} also 0 V,

der Transistor sperrt nahezu verzögerungsfrei.

Was passiert zur gleichen Zeit an Q3?

- Wenn M1 auf GND liegt, sperrt der Transistor; C3 ist entladen.
- M1 schaltet auf VCC: Nun lädt sich C3 über R3 auf VCC auf, da die parallel liegende Diode sperrt. Übersteigt U_{GS} die Schwellenspannung des Transistors bei ca. 4 V, schaltet dieser durch.

Und genau diese Aufladezeit von C3 bewirkt eine Verzögerung im Einschalten von Q3 gegenüber dem Ausschalten von Q1.

Dazu die Bilder aus der Praxis (Abb. 12 und 13). Zuerst die Signale am reinen RC-Netzwerk, ohne Transistoren. Schön sieht man den verzögerten Anstieg/Abfall gegenüber der jeweils anderen Hälfte der Halbbrücke.

In Abb. 14 sieht man, dass wir gut 15 μ s „Luft“ gewonnen haben (das „TXT_out“-Signal bitte ignorieren, das passt nicht dazu).

Take me higher

Wenn man sich den Schaltplan in Abb. 5 ansieht, stellt sich die Frage, ob es denn nicht möglich wäre, VCC beliebig zu wählen, um auch stärkere Motore, z. B. mit 12 V oder 24 V anzusteuern. Damit würden sich neue Leistungsbereiche erschließen und/oder Ströme reduzieren. Gerade Letzteres ist immer eine gute Idee. Doch Vorsicht – werfen wir noch einmal einen Blick auf die Halbbrücke in Abb. 15.

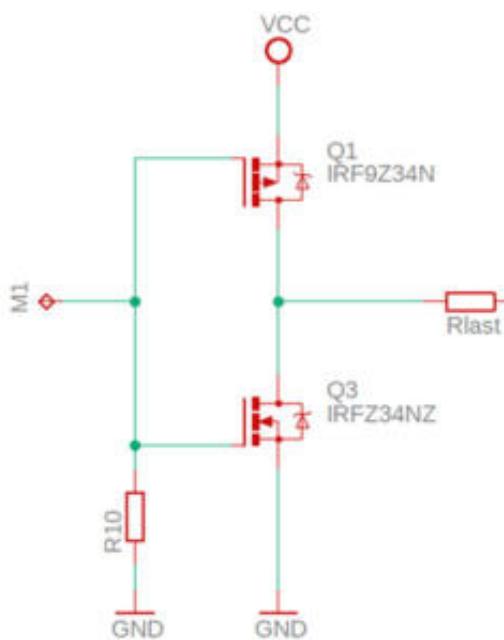


Abb. 15: $GND < M1 < VCC$?
Smoke on the water!

Sagen wir VCC sei 24 V. Die Ansteuerung an M1 erfolgt weiterhin mit 9 V bzw. mit nur 7,5 V, da der TXT mehr nicht bringt (siehe auch „TXT_out“ in Abb. 13). Stellen wir uns vor, M1 sei aktiv mit 7,5 V. Das lässt Q3 sauber durchschalten. Und Q1? Da läge nun das Gate auf 7,5 V, VCC und damit U_S auf 24 V. Macht eine U_{GS} von -16,5 V. Q3 leitet und wir haben einen veritablen Kurzschluss, der, eine potente Stromversorgung vorausgesetzt, die Schaltung mit einem lauten Knall zerlegt. Es ist also keine gute Idee, VCC nach Belieben zu erhöhen.

Aber könnte man denn nicht...? Ja, man kann! Man muss nur dafür sorgen, dass die

Ansteuerspannung den VCC-Pegel erreicht. Damit ist sichergestellt, dass der Highside-Transistor ein U_{GS} von 0 V sieht und sauber abschaltet.

Kleiner Exkurs zum TXT: damit die Motorausgänge ausreichend schnell von aktiv auf inaktiv schalten, also auf 0 V ziehen, müssen diese mit einem Widerstand belastet werden. Daher haben R10 und R11 nur $220\ \Omega$. Als Konsequenz stellen sich dann aber auch nur 7,5 V ein – wer bei den Oszillogrammen in Abb. 13 aufgepasst hat, dem dürfte das aufgefallen sein. D. h. das Schaltungsdesign kann am Highside-Transistor bestenfalls eine Abschaltspannung von $U_{GS} = -1,5$ V (statt der gewünschten 0 V) liefern. Das ist deutlich unter der Schwellenspannung von Q1/Q2 und damit auf der sicheren Seite, aber schön ist anders.

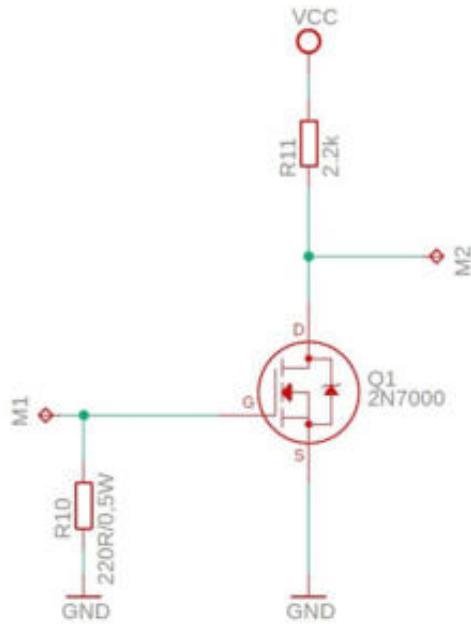


Abb. 16: Level Shifter

Diese Unschönheit lösen wir mit einem „Pegelwandler“ oder „Level Shifter“, der dafür sorgt, dass das Ansteuersignal der Leistungstransistoren VCC erreicht. Doch auch hier gleich die nächste Vorsichtsmeldung: Den Ansteuerpegel sollte man nicht nach Belieben erhöhen, denn U_{GS} hat seine Grenzen. Die liegen bei den verwendeten Bauteilen bei 20 V, womit dann auch eine VCC größer 20 V nicht infrage kommt.

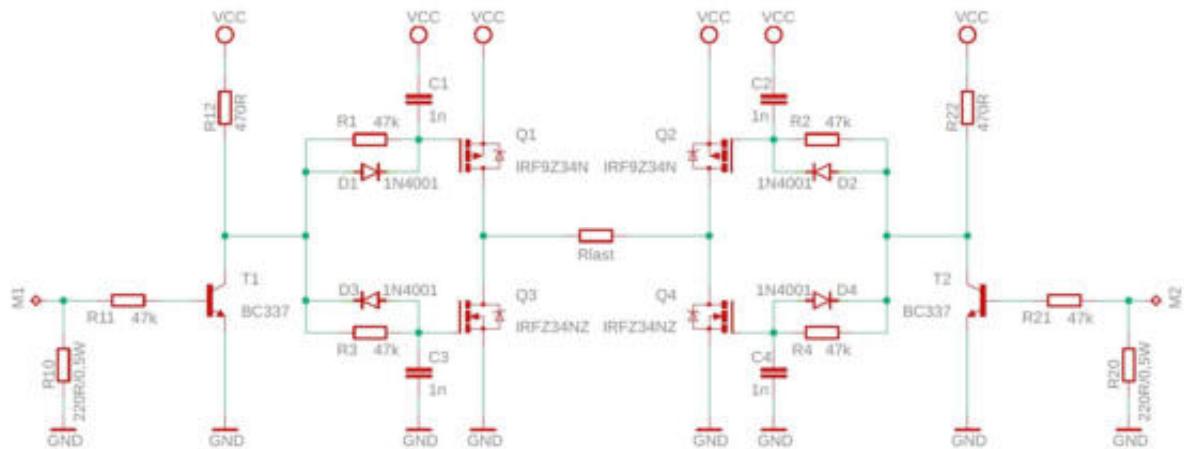


Abb. 17: Gesamtschaltplan

Oder man sucht sich andere MOSFETs, aber wir wollen's mal nicht übertreiben.

Kommen wir zur Schaltung, einer Transistoranwendung in ihrer einfachsten Form. An M1 liegt der TXT, der nur dafür zu sorgen hat, dass Q1 sauber ein- und ausschaltet. Mit einer Schwellenspannung U_{GS}

von rund 2 V schafft der TXT das auch ganz locker. Dabei ist die Wahl des Q1 unkritisch. Fast jeder N-Kanal-Typ aus der Bastelkiste taugt hierfür.

Am Ausgang M2 wird nun aber VCC oder GND weitergegeben und hier könnte VCC so hoch sein, wie es der Transistor mit



Abb. 18: Gate-Netzwerk mit Treiber mit Motor-Last

einem U_{DS} von maximal 60 V verkraftet. Doch Vorsicht: Die Ausgangsspannung von Q1 ist die Eingangsspannung der H-Brücke. Und deren Transistoren erlauben ein U_{GS} von nicht mehr als 20 V – siehe oben. Und somit ist unser VCC, und damit die Spannung der Last, auf 20 V limitiert.

Das ist für unsere fischertechnik-Welt mit ihren 9 V mehr als genug. Möchte man aber 24 V-Verbraucher ansteuern, muss man hier um-designen.

So einen Level Shifter kann man natürlich auch mit einem bipolaren Transistor aufbauen. Dann benötigt man zusätzlich einen Basiswiderstand. Wie und warum, dazu gab es bereits in ft:pedia einen ausführlichen Artikel [1]. Den finalen Schaltungsentwurf in Abb. 17 habe ich mit einem klassischen NPN-Transistor gezeichnet. Aufgebaut habe ich beide Ansätze, die sich in ihrem elektrischen Verhalten in nichts unterscheiden.

All together now

Und nun führen wir alle Details in einer Schaltung zusammen. Der gesamte Schaltplan (Abb. 17) sieht komplizierter aus, als

er ist. Tatsächlich sind linke und rechte Hälfte der Brücke gespiegelte Schaltungen. Die Halb-Brücken als solche wurden in den vorherigen Abschnitten schon im Detail beschrieben.

Und wie sich das gehört, werden die Gates von Q1...Q4 jetzt auch mit sauberen 9 V angesteuert. Als Last dienen zwei Power-Motoren.

The real thing

Nachdem wir uns so tapfer durch die Theorie gekämpft haben, wird es Zeit für die Praxis. Wie bereits angedeutet, soll diese weitestgehend auf fischertechnik-Standardbauteilen beruhen. Dies wird in einem zweiten Teil beschrieben. Bis dahin, als Teaser, ein paar Bilder zur Entstehungsgeschichte.

Wer sich vor solchen Aufbauten nicht scheut und weiß, auf welcher Seite man einen Lötkolben anfasst, für den geht es demnächst weiter.

Referenzen

- [1] Frank Bruder: *Der Transistor*.
[ft:pedia 3/2020](#), S. 41–58.

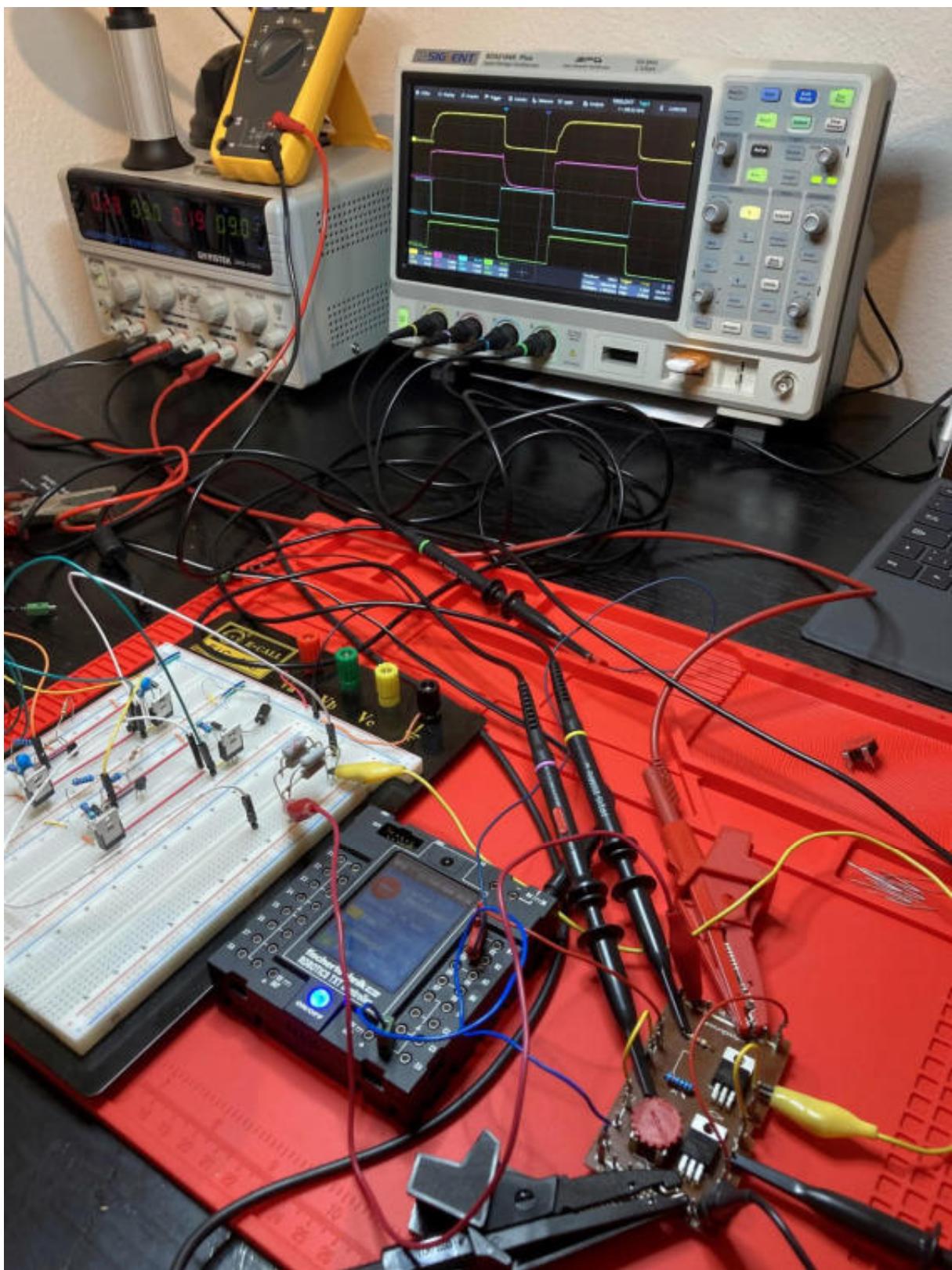


Abb. 19: Erste Prototypen werden in Betrieb genommen ...

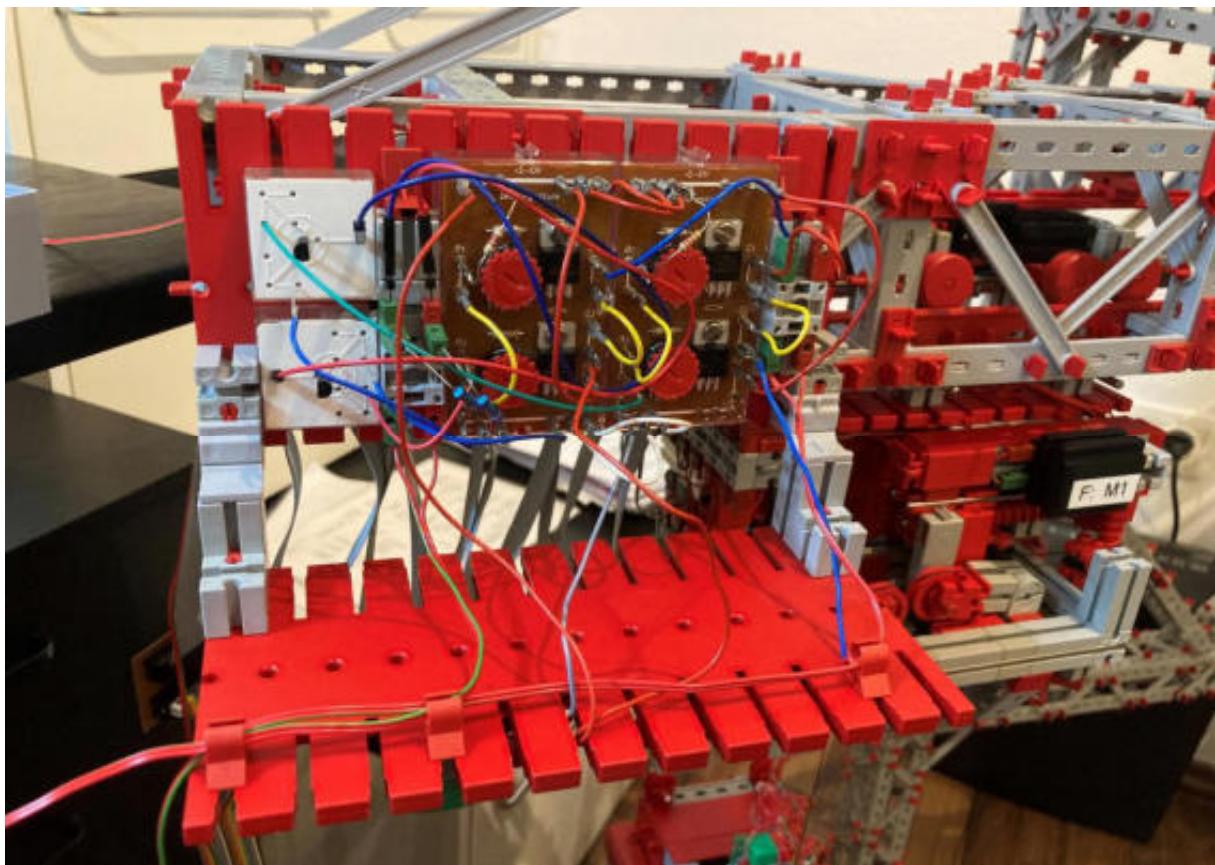


Abb. 20: ... probeweise in ein Modell integriert...

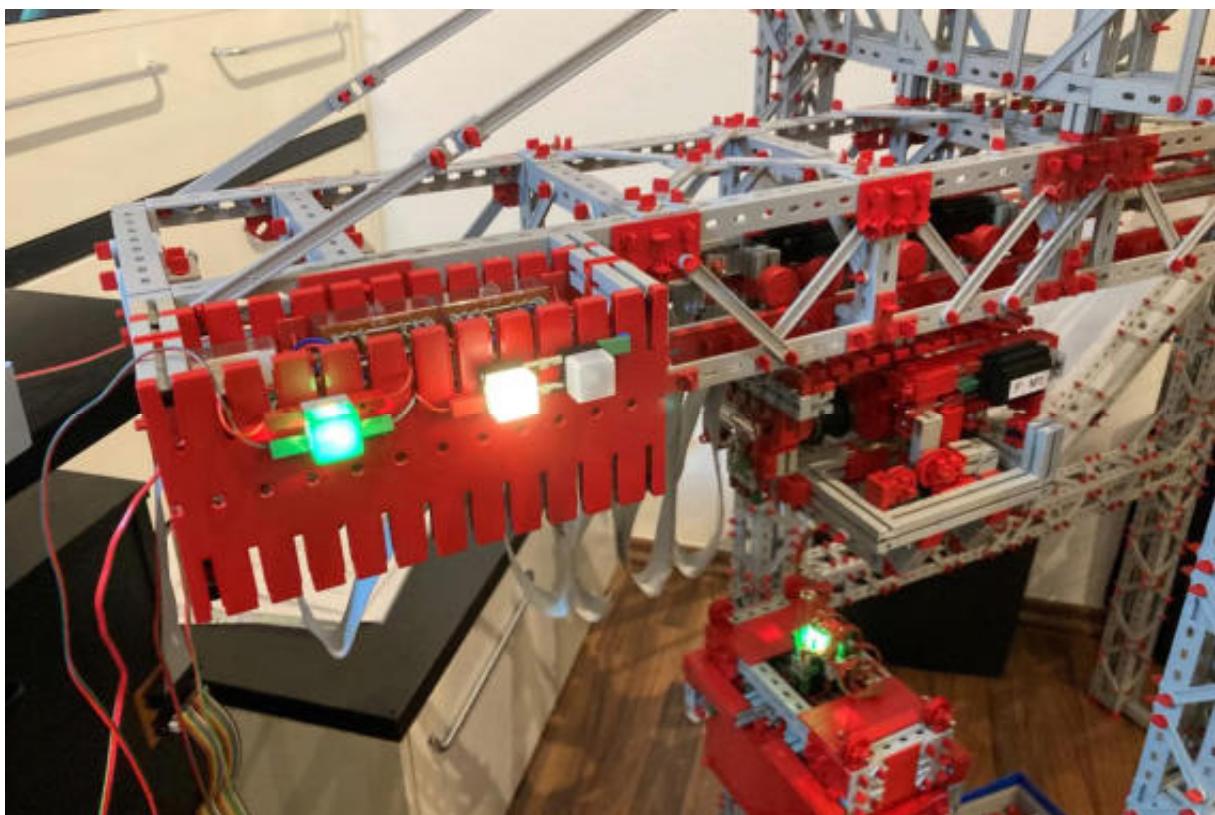


Abb. 21: ... und zugeklappt.

Computing

Einführung in ftScratch (2): Der Münzautomat

Dirk Fox

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

Der Münzautomat

In sehr unterschiedlichen Anwendungen benötigen wir eine Mechanik, die einzelne Objekte ausgibt und dabei zählt. So einen Mechanismus finden wir beispielsweise in Automaten mit Münzausgabe.

Ein Münzausgabeautomat lässt sich mit fischertechnik sehr elegant mechanisch konstruieren: Wir haben Exzenter scheiben,

Röhren, in denen wir einen Münzvorrat vorhalten können, und mit wenigen Bauplatten gelingt ein hübscher Auswurfschacht. Ein Modell eines solchen Automaten findet sich z. B. in den Experimentierbüchern Profi Computing [2] und Profi Sensoric [3].

Unser Modell in Abb. 1 arbeitet nach demselben Prinzip und verwendet auch den flachen Schieber ([35970](#)) für den Auswurf der Münzen (Abb. 2).

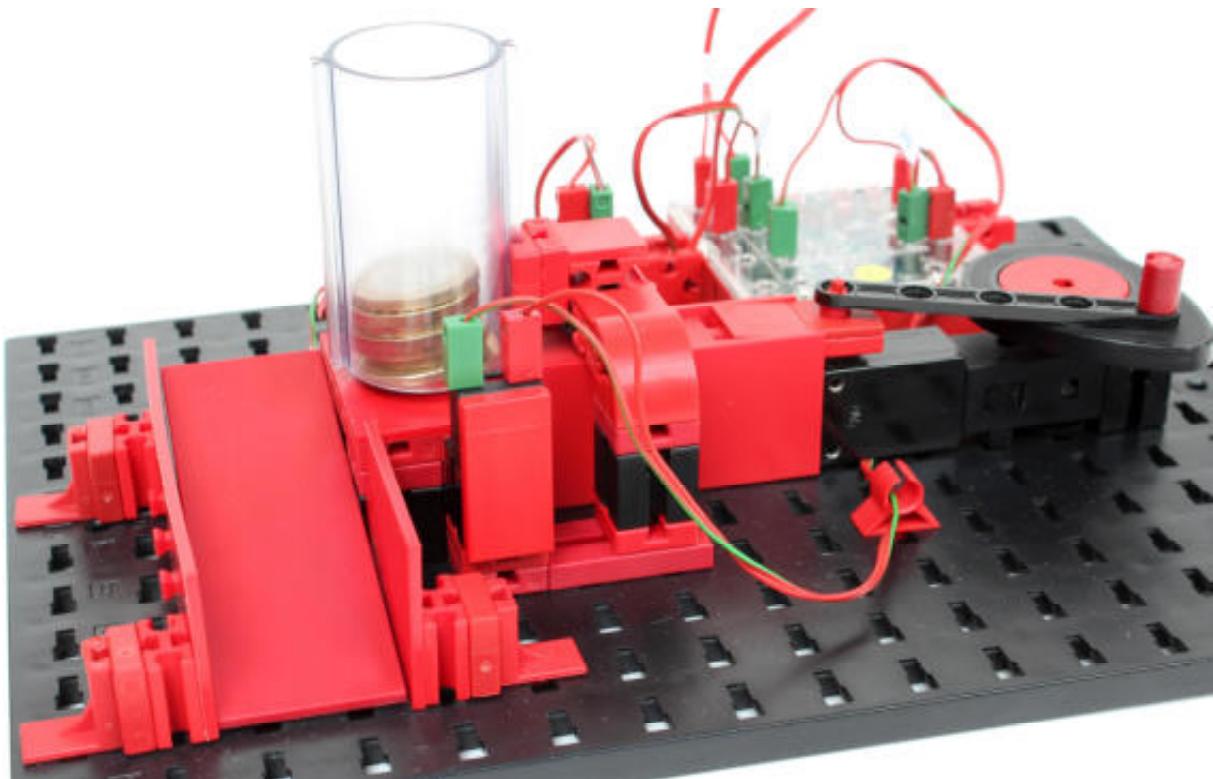


Abb. 1: Münzautomat

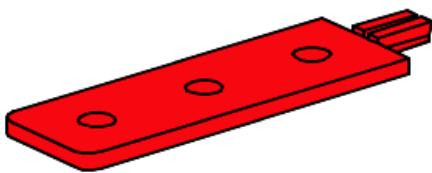


Abb. 2: Schieber ([35970](#))

Für den Automaten eignen sich Ein-Euro- und 50-Cent-Münzen aufgrund ihrer Höhe besonders gut.

Die Lichtschranke muss ziemlich genau justiert werden, damit sie nicht schon beim Herausschieben einer Münze schließt: Erst, wenn keine Münze mehr im Schacht und der Schieber zurückgezogen ist, darf sie geschlossen sein.

Die Ansteuerung des Münzausgabe-Mechanismus werden wir nun mit ftScratch vornehmen.

Sensoren und Aktoren

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

Integriere in ftScratch die für deinen Controller benötigte Erweiterung („Robotics TXT Controller“ oder „BTSmart“). Starte das zugehörige Gateway und stelle eine Verbindung von ftScratch zu deinem Controller her [1].

Für die Aufgaben benötigen wir

- einen Taster
- eine Lichtschranke (Fotodiode mit Linsen-LED) und
- einen XS-Motor mit Getriebe.

Die Sensoren und Aktoren werden wie folgt angeschlossen (bei den Dioden Polarität beachten):

- I1: Taster
- I2: Fotodiode (Lichtschranke)
- M1: Motor
- 9V/GND: Linsen-LED (Lichtschranke)

Aufgaben

Aufgabe 1

Schreibe ein kleines Scratch-Skript, das den Exzenter einmal dreht und dabei eine Münze in die Ausgaberutsche schiebt.

Aufgabe 2

Erweitere das Skript so, dass es eine vorgegebene Anzahl Münzen (bspw. fünf) nacheinander auswirft. Nach jedem Auswurf soll der Motor eine Sekunde stoppen.

Hinweis: Beim erneuten Starten des Motors ist der Taster möglicherweise noch gedrückt...

Aufgabe 3

ftScratch kann auch sprechen – integriere dazu die Erweiterung „Text zu Sprache“ (Abb. 3). Bringe nun deinem Münzautomat bei, nach jeder Ausgabe die Anzahl der bereits ausgegebenen Münzen anzusagen.

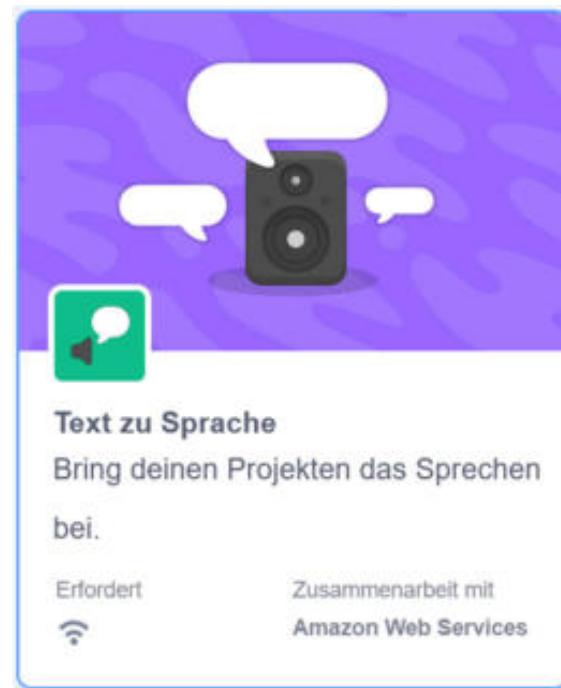


Abb. 3: Erweiterung „Text zu Sprache“

Aufgabe 4

Mache den Münzautomaten zu einem Geldzähler, der alle Münzen im Magazin zählt und das Ergebnis ansagt.

Lösungsbeispiele

Die folgenden Lösungsbeispiele wurden für den BT Smart Controller programmiert. Die Anpassung an den TXT (Ersetzung der entsprechenden Blöcke in ftScratch) gelingt leicht.

Aufgabe 1

Die Geschwindigkeit des Motors darf nicht zu hoch sein, sonst wird der Tastendruck „übersehen“: Die Abfrage der Eingänge via Bluetooth kostet etwas Zeit.

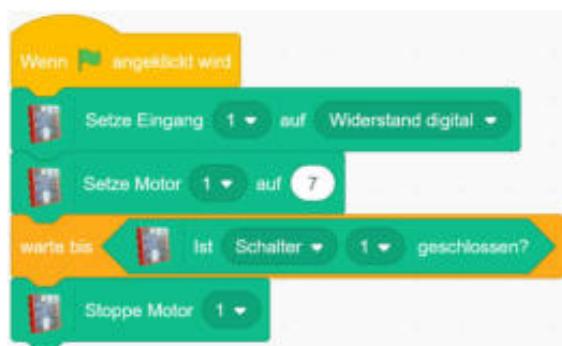


Abb. 3: Auswurf einer Münze

Aufgabe 2

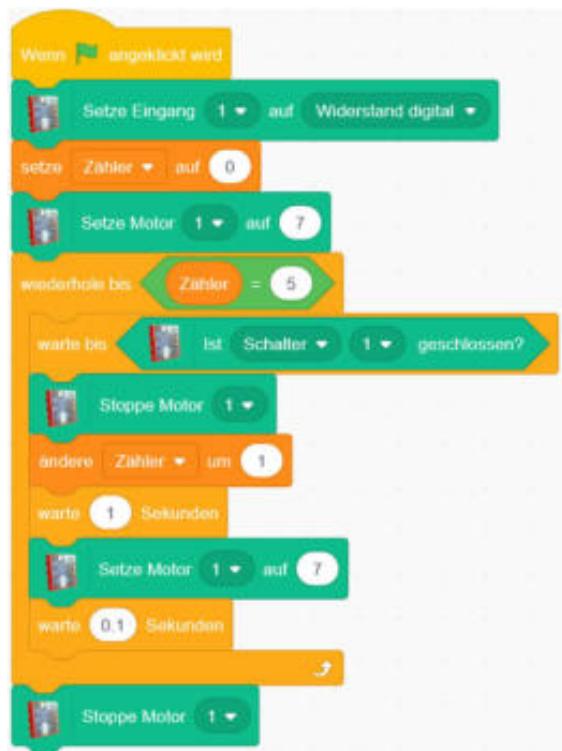


Abb. 4: Auswurf von fünf Münzen

Beim erneuten Starten des Motors nach einem Münzauswurf wird einen kleinen Moment (0,1 Sekunden) gewartet, bevor der Taster ausgewertet wird.

In der Variablen „Zähler“ werden die bereits ausgeworfenen Münzen gezählt. Den Wert der Variablen kannst du dir auf dem Ausgabefenster (rechts oben) anzeigen lassen, indem du neben der Variablen im Menü (links, unter „Variablen“) ein Häkchen setzt.

Aufgabe 3

Zu Programmbeginn können die Sprache und die Stimmlage eingestellt werden.



Abb. 5: Sprachausgabe

Aufgabe 4

Die Lichtschranke muss möglicherweise etwas justiert werden, damit sie nicht zu früh ein leeres Magazin meldet.

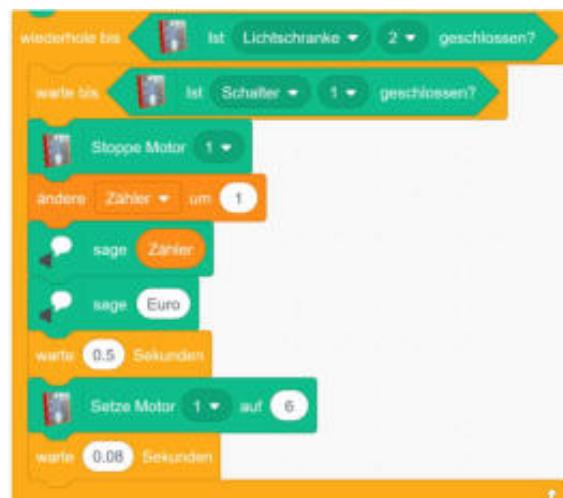


Abb. 6: Geldzähler

Weiterentwicklung des Modells

Der Münzautomat nutzt lediglich zwei Eingänge und einen Motorausgang. Damit kann sogar am BT Smart Controller ein zweites Magazin mit Münzausgabeangeschlossen werden. Wenn man den Auswurfmechanismus seitlich verschiebbar gestaltet, können sogar vier unterschiedliche Münzen aus vier Magazinen ausgeworfen werden. Damit lässt sich der Münzautomat zu einem Geldwechsler erweitern.

Alternativ kann man die Zahl der auszuwerfenden Münzen über einen weiteren Taster oder über die Zifferntasten der Tastatur eingeben lassen.

Das Modell kann auch für das Zählen anderer Objekte umgebaut werden. Beispielsweise können Grundbausteine auf einer „Rutsche“ angeliefert und von einem

etwas dickeren Schieber ausgeworfen werden. Wer wollte nicht schon immer mal wissen, wie viele Grundbausteine es in der Bauteilsammlung gibt?

Eine fischertechnik-Designer-Datei des Münzautomaten findet sich im [Download-Bereich der ft:pedia](#) zu dieser Ausgabe.

Referenzen

- [1] Dirk Fox: *Scratch mit fischertechnik – Update 2022*. [ft:pedia 1/2022](#), S. 86–92.
- [2] fischerwerke: *Experimentierbuch Profi Computing (36480)*. Pflaum Verlag, München 1991.
- [3] fischerwerke: *Experimentierbuch Profi Sensoric (30491)*. 2. Auflage, Pflaum Verlag, München 1992.

Computing

ROBO Pro, ftrobopy und ftScratch auf dem TXT 4.0

Torsten Stuehn

Das Programm *ftrobopy_server* emuliert auf dem TXT 4.0 das ROBO Pro-Kommunikationsprotokoll des TXT. Damit kann der TXT 4.0 von allen Anwendungen, die für den Online-Modus des TXT entwickelt wurden angesteuert werden. Mit Python und *ftrobopy* können auch Offline-Programme, unabhängig von PC und Netzwerk, auf dem TXT 4.0 gestartet werden.

Hintergrund

Mit ROBO Pro Coding hat fischertechnik sich von seiner seit Jahrzehnten favorisierten graphischen Programmiersprache ROBO Pro (und deren Vorläufern wie Lucky Logic) verabschiedet und baut nun mit ROBO Pro Coding, ähnlich der Programmierplattform eines bekannten dänischen Spielzeugherstellers, auf dem Blockly-System von Google auf [1, b, c].

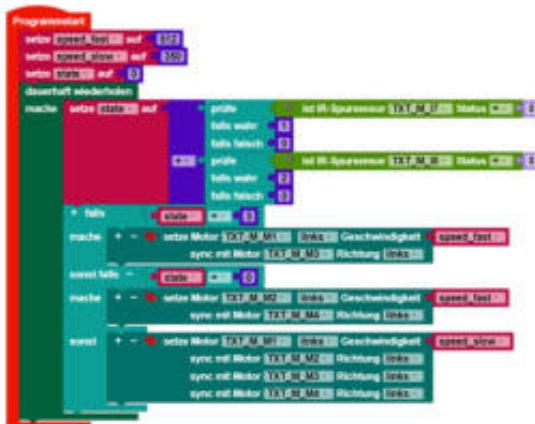


Abb. 1: Spurfolger in ROBO Pro Coding (Programm-Beispiel von fischertechnik)

Die neue Blockly basierte Programmiersprache ROBO Pro Coding für den TXT 4.0 wird „unter der Haube“ in Form von Python-Programmen auf dem TXT 4.0 ausgeführt. Deshalb liegt es nahe, dem Anwender diese Python-Programme bereits in der

ROBO Pro Coding GUI als editierbare, textbasierte Alternative zur Verfügung zu stellen. Einsteigern soll damit der Schritt zur textuellen Programmierung in Python erleichtert werden.

```

1 from fischertechnik.controller.Motor import Motor
2 from lib.controller import *
3
4
5 speed_fast = None
6 speed_slow = None
7 state = None
8
9
10 speed_fast = 512
11 speed_slow = 350
12 state = 0
13 while True:
14     state = (1 if (TXT_M_I7_trail_follower.get_state() == 0) else 0) + (2 if (TX
15     if state == 3:
16         TXT_M_M1_encodermotor.set_speed(int(speed_fast)), Motor.CCW)
17         TXT_M_M3_encodermotor.set_speed(int(speed_fast)), Motor.CCW)
18         TXT_M_M1_encodermotor.start_sync(TXT_M_M3_encodermotor)
19     elif state == 0:
20         TXT_M_M2_encodermotor.set_speed(int(speed_fast)), Motor.CCW)
21         TXT_M_M4_encodermotor.set_speed(int(speed_fast)), Motor.CCW)
22         TXT_M_M2_encodermotor.start_sync(TXT_M_M4_encodermotor)
23     else:
24         TXT_M_M1_encodermotor.set_speed(int(speed_slow)), Motor.CCW)
25         TXT_M_M2_encodermotor.set_speed(int(speed_slow)), Motor.CCW)
26         TXT_M_M3_encodermotor.set_speed(int(speed_slow)), Motor.CCW)
27         TXT_M_M4_encodermotor.set_speed(int(speed_slow)), Motor.CCW)
28         TXT_M_M1_encodermotor.start_sync(TXT_M_M2_encodermotor), TX
29
  
```

Abb. 2: Spurfolger in Python (automatisch von ROBO Pro Coding generiert)

Aufgrund der automatischen Generierung durch Blockly unterliegen diese Python-Programme jedoch einigen Einschränkungen (z. B. sind nur globale Variablen

erlaubt) und machen dadurch den Code teilweise unübersichtlich und nur schwer lesbar. Als Einführung in eine textbasierte Programmiersprache sind die Blockly-generierten Python-Programme von ROBO Pro Coding dadurch für Programmieranfänger eher weniger geeignet. Erfahrene Programmierer können aber durchaus davon profitieren und bestehende Limitierungen von Blockly (bzw. ROBO Pro Coding) durch eigene Erweiterungen in Python umgehen.

Vorher hat fischertechnik auf dem älteren TXT parallel zum originalen ROBO Pro auch die Programmiersprachen C/C++ [4] und, aufgrund von Initiativen aus der unabhängigen fischertechnik Community heraus, auch Python [5, f] unterstützt.

Auch die speziell für Programmierersteiger vom MIT entwickelte graphische Programmierumgebung Scratch [7] wurde von fischertechnik zunächst über ftScratchX [8], später als ein „Fork“ von Scratch3 (ftScratch3) für den TXT angeboten [9] und hat sich in vielen Schulprojekten als Einführung in die Programmierung etabliert, insbesondere für jüngere Schülerinnen und Schüler. In der ft:pedia 1/2022 hat Dirk Fox einen sehr schönen Artikel zum Einsatz von Scratch mit fischertechnik geschrieben [10].

Offiziell wird auf dem neuen TXT 4.0 bisher keine dieser Programmierungsmöglichkeiten mehr angeboten. Auch der automatisch vom neuen ROBO Pro Coding erzeugte Python-Code ist nicht kompatibel mit dem ftrobopy-basierten Python-Code des älteren TXT – obwohl der C++/Python-Unterbau in der Firmware des TXT 4.0 große Ähnlichkeiten zur ftrobopy-Struktur aufweist.

Leider gibt es damit keine einheitliche plattformübergreifende Programmiersprache zwischen dem alten TXT und dem neuen TXT 4.0 mehr. Der Parallelbetrieb

beider Systeme erfordert deshalb die Wartung einer doppelten Codebasis und stellt insbesondere im Schulbetrieb eine Einschränkung dar.

Der ftrobopy-Server

Aus der Motivation heraus, ganz unabhängig vom Controller (TXT 4.0 oder TXT), einheitliche Python-Programme ausführen zu können, wurde die Idee für den ftrobopy_server geboren. Dieser emuliert das ROBO Pro-Kommunikationsprotokoll des TXT über die Ports 65000 (I/Os), 65001 (Camera) und 65002 (I2C). Der TXT 4.0 kann damit von allen Anwendungen angesteuert werden, die für den Online-Modus des TXT entwickelt wurden. Dazu gehören derzeit ftrobopy, ROBO Pro und ftScratch.

Der ftrobopy_server ist in seiner aktuellen Version kompatibel zu ROBO Pro 4.7.0. Die ROBO Pro Versionsnummer ist jedoch nur ein Parameter, der einfach auch für andere ROBO Pro Versionen (z. B. 4.2.4 oder 4.6.6) angepasst werden kann, falls dies notwendig sein sollte (z. B. wenn im Schulbetrieb noch ältere ROBO Pro-Versionen verwendet werden müssen).

Möglicherweise kann der ftrobopy_server auch eingesetzt werden um die C/C++-Programme der älteren fischertechnik Lernfabrik (ohne den Zusatz „Industrie 4.0“) mit dem TXT 4.0 im Online-Modus einzusetzen. Dies ist jedoch nur eine Vermutung und bisher nicht getestet.

Die vom TXT bekannte Android- bzw. iOS-Smartphone-App TXTCamControl zur Fernsteuerung von Robotern auf TXT-Basis funktioniert derzeit noch nicht mit dem ftrobopy_server und dem TXT 4.0. Eine zukünftige Unterstützung dieser Smartphone-App ist jedoch geplant.

Die Neuerungen des TXT 4.0, wie z. B. die drei Servo-Ausgänge und die höhere Rechenleistung durch zwei ARM-Kerne, bleiben mit ftrobopy_server erhalten und können z. B. auch unter ROBO Pro genutzt

werden. Zusätzlich soll die Möglichkeit der Kontrolle des TXT 4.0 mit einer fischertechnik-Fernbedienung ermöglicht werden, sowohl mit ftrobopy als auch mit ROBO Pro. Da der TXT 4.0 im Unterschied zum TXT keinen eingebauten IR-Empfänger hat, wird vorerst nur die BT Remote unterstützt.

Die ftrobopy-Python-Programme können über den ftrobopy_server sowohl im Online- als auch im Offline-Modus (über die localhost-Adresse 127.0.0.1) auf dem TXT 4.0 ausgeführt werden.

ROBO Pro-Programme können dagegen nur im Online-Modus ausgeführt werden, da das ROBO Pro-Offline-Binärformat gänzlich undokumentiert ist und dessen Reverse-Engineering derzeit aufgrund des zu hohen Zeitaufwandes unrealistisch ist. ROBO Pro-Programme benötigen also eine dauerhafte Netzwerkverbindung über USB-Kabel, WLAN oder Bluetooth zwischen TXT 4.0 und dem Windows PC, auf dem die ROBO Pro-Anwendung läuft.

Der ftrobopy_server ist eine in C/C++ entwickelte Anwendung und wird als (compiliertes) Binary auf dem TXT 4.0 direkt ausgeführt. Das Programm kann dabei bequem per Touch über das TXT 4.0 GUI gestartet und gestoppt werden. Außer dem Kopieren des Programmes auf den TXT 4.0 sind keine Modifikationen notwendig. Das Programm kann auch auf eine SD-Karte kopiert und von dort per GUI gestartet werden.

Aufgrund des kompilierten C/C++-Codes läuft das Programm deutlich schneller ab als die mit ROBO Pro Coding erzeugten Python-Programme. Auch die Online-Kommunikation zu ROBO Pro kann wegen der schnelleren ARM-CPU's des TXT 4.0 schneller durchgeführt werden als mit dem (vom alten TXT bekannten) 100-ms-Zeitintervall. Die genauen Maximalwerte dafür wurden bisher noch nicht ausgelotet.

Die im Rahmen der Entwicklung des ftrobopy_server aufgedeckten Möglichkeiten zur direkten C/C++-Programmierung des TXT 4.0 im Offline-Modus eröffnen ein interessantes Feld für die Entwicklung von Steuerungsaufgaben mit kurzen Reaktionszeiten für den TXT 4.0. Denkbar sind damit z. B. balancierende Roboter à la Segway oder ähnliche Modelle. Ein Beitrag zur C/C++-Programmierung des TXT 4.0 ist für eine der nächsten ft:pedia-Ausgaben geplant.

Der ftrobopy_server befindet sich derzeit noch im Beta-Stadium und wird als Open-Source unter der MIT-Lizenz auf der Github-Platform entwickelt. Der C++-Quellcode ist bisher noch recht unstrukturiert. In zukünftigen Überarbeitungen wird sich dieser Zustand sicher noch ändern. Seit der Version 0.9.8 ist der Server jedoch recht stabil und kann deshalb bereits sinnvoll in eigenen ROBOPro, ftrobopy oder ftScratch-Projekten eingesetzt werden.

Es kann sich lohnen hin-und-wieder auf der Github-Platform nach neuen Versionen Ausschau zu halten.

Download und Installation des ftrobopy_servers

Das aktuelle ftrobopy_server-Paket kann von Github als zip-Datei heruntergeladen- oder über git geklont werden. Die Download-URL des zip-Paketes lautet:

https://github.com/ftrobopy/ftrobopy_server/archive/refs/heads/main.zip

Das Paket sollte anschließend in einen beliebigen Ordner entpackt werden. Zur Installation des ftrobopy_servers auf dem TXT 4.0 werden nur die beiden folgenden Dateien benötigt:

```
ftrobopy_server # das Executable  
ftrobopy_server.cpp # der Quellcode
```

Die Datei ftrobopy_server.cpp befindet sich im Unterordner src. Diese beiden Dateien müssen in einen eigenen Ordner auf den

TXT 4.0 kopiert werden. Dies kann entweder mit ssh/scp-Befehlen erfolgen oder, wie im Folgenden beschrieben, über den Datei-Upload des auf dem TXT 4.0 laufenden Webservers.

Es wird hier davon ausgegangen, dass der TXT 4.0 per USB-Kabel mit dem PC verbunden ist und damit über die IP-Adresse 192.168.7.2 erreichbar ist. Sollte der TXT 4.0 als Client im WLAN angemeldet sein, muss die IP-Adresse entsprechend angepasst werden.

Die URL für die Anmeldung am TXT 4.0 Webserver lautet: <http://192.168.7.2>

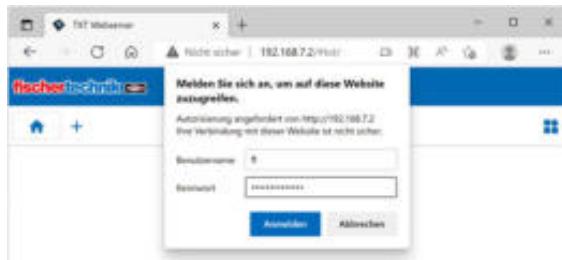


Abb. 3: Anmeldefenster des TXT 4.0-Webservers

Als Benutzername (Abb. 3) muss der User ft verwendet werden, das Kennwort lautet: fischertechnik.

Zuerst sollte nun über das „+“ (oben links im Fenster) im angezeigten Web-HomeVerzeichnis ein neuer Ordner, z. B. mit dem Namen `frobopy_server`, angelegt werden (Abb. 4).

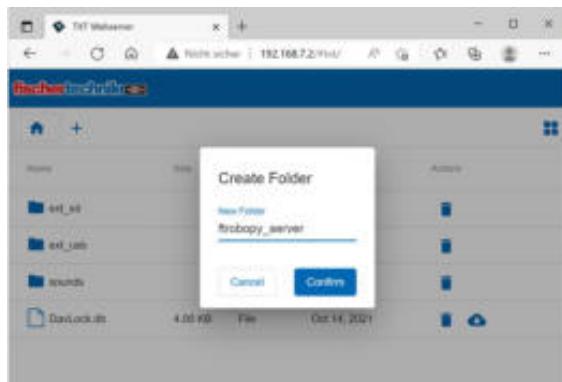


Abb. 4: Anlegen eines Ordners

In diesen Ordner sollten dann die beiden Dateien `frobopy_server` und

`frobopy_server.cpp` hochgeladen werden, wieder durch klicken des „+“ und Add Files (Abb. 5).

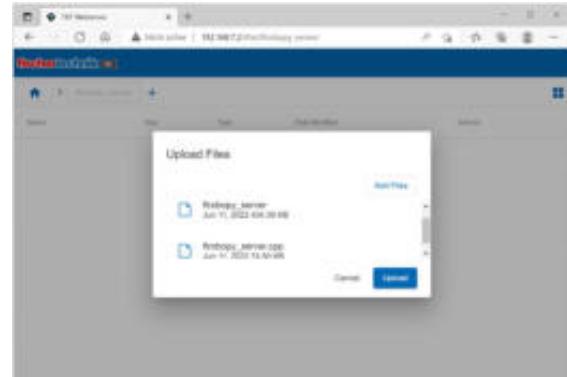


Abb. 5: Hochladen auf den TXT 4.0

Um nach dem Upload das Upload-Fenster wieder zu verlassen, muss man die Esc-Taste drücken. (Das Klicken des Finish-Buttons hilft nicht weiter.)

Abschließend muss noch das Execute-Flag der beiden Dateien gesetzt werden, damit man den `frobopy_server` aus der Touch-GUI des TXT 4.0 heraus starten kann. Dafür loggt man sich per ssh, z. B. aus der Windows-Kommandozeile heraus (Windows-Taste+R, dann „cmd“ eingeben), auf dem TXT 4.0 ein:

```
ssh ft@192.168.7.2 (Passwort: fischertechnik)
```

Das Setzen des Execute-Flags erfolgt dann auf dem TXT 4.0 mit (siehe Abb. 6):

```
cd workspaces
cd frobopy_server
chmod a+x *
[OpenSSH SSH client]
Microsoft Windows [Version 10.0.19044.1706]
(c) Microsoft Corporation. Alle Rechte vorbehalten.

C:\Users\ft>ssh ft@192.168.7.2
ft@192.168.7.2's password:
Last login: Thu Oct 14 12:49:56 2021
ft@txt40: ~$ cd workspaces/
ft@txt40: ~/workspaces$ cd frobopy_server/
ft@txt40: ~/workspaces/frobopy_server$ chmod a+x *
ft@txt40: ~/workspaces/frobopy_server$
```

Abb. 6: Ändern des Execute-Flags

Die `frobopy_server`-Anwendung kann anschließend über die TXT 4.0 GUI nach Bedarf oder automatisch beim Hochfahren des TXT 4.0 gestartet werden und steht für

den Online-Betrieb mit ROBO Pro, ftrobopy (auch Offline) oder ftScratch zur Verfügung (Abb. 7).

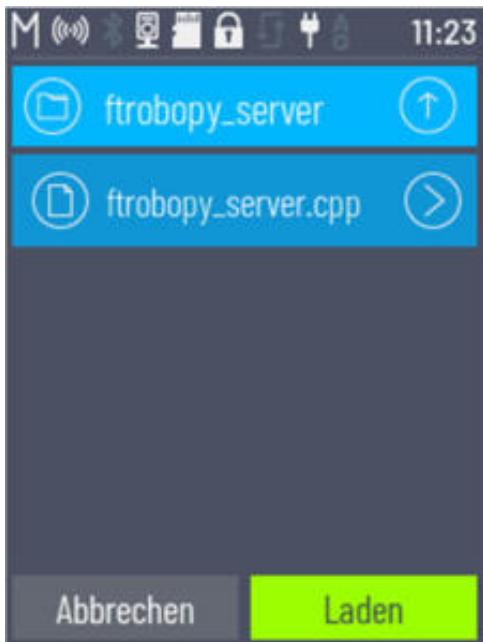


Abb. 7: Laden des ftrobopy_server

Anmerkung:

In der GUI des TXT 4.0 werden ausführbare binäre Dateien nicht angezeigt. Nur Dateien mit Dateiendungen (.py, .cpp, ...) können per Touch gestartet werden. Bei einer .cpp-Datei (C++-Quellcode) wird dann automatisch die ausführbare Binärdatei gleichen Namens (ohne .cpp-Endung) gestartet. Der tatsächliche Inhalt der .cpp-Datei ist nicht relevant. Sie kann auch komplett leer sein.

Nach dem Starten des ftrobopy_servers über die Touch-GUI erscheint auf dem Bildschirm des TXT 4.0 die Meldung „ftrobopy_server.cpp Program initializing“ (Abb. 8). Davon sollte man sich nicht täuschen lassen: tatsächlich läuft das ftrobopy_server-Binary bereits.

Ansteuerung der drei Servos des TXT 4.0

Da ROBO Pro die Servo-Ausgänge S1-S3 nicht direkt unterstützt, wird deren Ansteuerung über den Umweg einer Extension ermöglicht: Die drei Ausgänge O1-O3 der ersten Extension (in ROBO Pro: EM1, Abb.

9) werden von ftrobopy_server auf die drei Servo-Ausgänge des TXT 4.0 gemappt. Der Wert 4 (oder 256) steht für die Mittelstellung eines Servos. Die Werte 1 und 8 (oder 512) stehen jeweils für den Vollausschlag eines Servos nach Links oder Rechts. Zwischenwerte sind natürlich auch erlaubt.



Abb. 8: ftrobopy_server läuft bereits

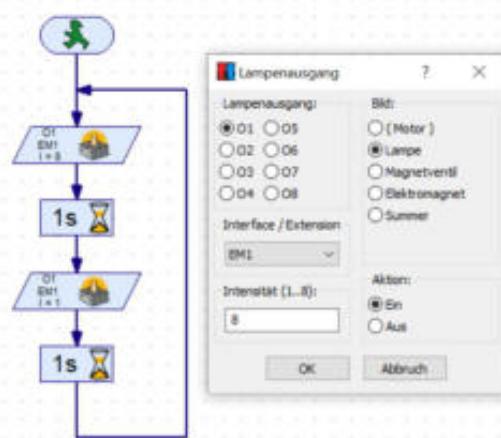


Abb. 9: Ansteuerung des Servos S1

In Python (mit ftrobopy) können die drei Servos äquivalent über die Extension Nr. 1 angesteuert werden. Bei der Initialisierung von ftrobopy müssen dafür die Extensions mit dem Parameter `use_extensions=True` erlaubt werden:

```
>>> import ftrobopy
>>> txt = ftrobopy.ftrobopy('192.168.7.2', use_extension=True)
>>> servol = txt.output(1, ext=1)
>>> servol.setLevel(256) # Mittelstellung
```

Unter ftScratch ist dieser Trick leider nicht möglich, da ftScratch keine Extensions unterstützt. Deshalb können die Servos des TXT 4.0 dort vorerst noch nicht angesteuert werden. Als Idee zur Ansteuerung der Servos in ftScratch könnte evtl. die Sound-Funktion herhalten, falls diese nicht unbedingt benötigt wird.

Synchronisation von vier Motoren

Auch die Aktivierung der Synchronisation aller vier Motoren, die nicht direkt von ROBO Pro unterstützt wird, erfolgt über den Extension-Umweg: Wird der Ausgang O4 der Extension EM1 auf 8 (bzw. 512) gesetzt, schaltet ftrobopy_server die Synchronisierung aller vier Motoren auf dem TXT 4.0 ein (Abb. 10)..

Unter Python mit ftrobopy funktioniert der Trick wieder genauso:

```
>>> import ftrobopy
>>> txt = ftrobopy.ftrobopy('192.168.7.2', use_extension=True)
>>> motor1 = txt.motor(1)
>>> motor2 = txt.motor(2)
>>> motor3 = txt.motor(3)
>>> motor4 = txt.motor(4)
>>> motorsync = txt.output(4, ext=1)
>>> motorsync.setLevel(512)
```

Unter ftScratch gibt es bisher keine Möglichkeit zur Synchronisation aller vier Motoren. Allerdings könnte auch hier die Sound-Funktion evtl. weiterhelfen.

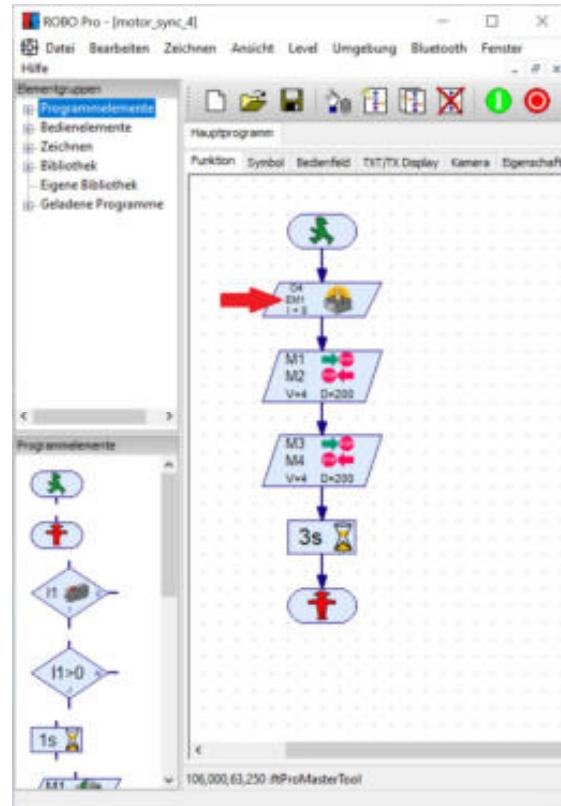


Abb. 10: Synchronisation aller vier Motoren

Aktueller Stand der Entwicklung

Wie bereits erwähnt befindet sich ftrobopy_server derzeit noch in der Entwicklung. Nicht alle Funktionen sind absolut stabil und es gibt (selten) auch noch Hänger. Im Zusammenspiel mit ROBO Pro kann es passieren, dass die Verbindung von ROBO Pro wegen CRC-Fehlern unterbrochen wird; ftrobopy reagiert bei Checksummen-Fehlern etwas unempfindlicher.

Die aktuelle Version 0.9.8 des ftrobopy_server ist aber definitiv schon für einfache Projekte brauchbar. Auch Langzeittests liefen bisher erfolgreich; Memory-Leaks sollten keine mehr vorhanden sein.

Im Einzelnen werden die folgenden TXT 4.0 Funktionen in der Version 0.9.8 von ftrobopy_server bereits unterstützt:

- vier Motoren (inklusive deren Synchronisierung) oder acht einfache Ausgänge

- acht Eingänge (Taster und Ultraschallsensor funktionieren, analoge spannungsbasierte Sensoren wie z. B. der Farbsensor funktionieren noch nicht zuverlässig)
- fischertechnik Kamera (bisher nur über USB-Netzwerk stabil)
- drei Servo-Ausgänge

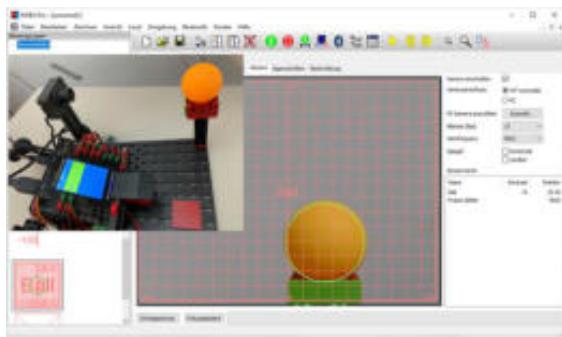


Abb. 11: Der ROBO Pro-Ballerkenner-Sensor mit dem TXT 4.0 (im Inset ist der Aufbau des Testmodells mit dem TXT 4.0 zu sehen)

Noch ausstehend sind:

- I2C-Support (damit werden dann alle ROBO Pro-Treiber für I2C-Geräte auch für den TXT 4.0 benutzbar)
- BT-Remote Anbindung (ist bereits weitgehend implementiert, allerdings ist dafür eine geringfügige Modifikation auf dem TXT 4.0 mit root-Berechtigung notwendig)
- Soundunterstützung
- Unterstützung von bis zu 8 Extensions (auch unter ROBO Pro). Wenn alle 8 Extensions verwendet werden, bleiben keine freien Extension-Ausgänge für die Servos mehr übrig.
- Unterstützung der TXTCamControl-App

Die BT Smart und Early Coding Controller von fischertechnik und alte TXTs sollen in einer zukünftigen Version auch als Extensions (über Bluetooth bzw. WLAN mit dem

TXT 4.0 verbunden) am TXT 4.0 unterstützen und mit ftrobopy und ROBO Pro angesteuert werden können. ftScratch wird aufgrund der fehlenden Extension-Unterstützung damit wahrscheinlich nicht funktionieren.

Quellen

- [1] Till Harbaum: *Von Lucky Logic zu RoboPro Coding*. [ft:pedia 1/2021](#), S. 103–109.
- [2] Till Harbaum: *Brickly auf dem TXT: Grafische Programmierung à la Google-Blockly*. [ft:pedia 1/2017](#), S. 92–98.
- [3] Google Developers: [Blockly – A JavaScript library for building visual programming editors](#).
- [4] fischertechnik: [TXT-C-Programming-Kit](#). Github.com (leider ist die ursprüngliche Version 4.1.6 nicht mehr verfügbar)
- [5] Torsten Stuehn: *Programmierung des TXT mit Python*. [ft:pedia 2/2017](#), S. 58–62.
- [6] Torsten Stuehn: [ftrobopy – a python module for the fischertechnik TXT controller](#). Github.com
- [7] <https://scratch.mit.edu>
- [8] Dirk Fox: *Scratch mit fischertechnik*. [ft:pedia 1/2018](#), S. 69–78.
- [9] fischertechnik: [FTScratchTXT](#). Github.io
- [10] Dirk Fox: *Scratch mit fischertechnik – Update 2022*. [ft:pedia 1/2022](#), S. 86–92.
- [11] Torsten Stuehn: [ftrobopy_server - ftrobopy / ROBOPro / ftScratchTXT server for the fischertechnik TXT 4.0 controller](#). Github.com

Computing

Die fischertechnik-Lichterkette

Stefan Fuss

Bislang mussten Tim & Tom an Grillabenden [1] mit überholter Beleuchtungstechnik in den Sommerabend feiern. Während die „echten“ Gärten mit Lichttechnologie vom Feinsten hochgerüstet werden, setzten die beiden bislang auf Raumschiff-Orion-Ambiente mit Leuchtstein & Kappe. Doch die viel beschworene Zeitenwende klopft an die Tür des Leuchtsteins [31313](#).

Hintergrund

Der Leuchtstein ([31313](#)) gehört zu den ältesten Bauteilen aus der grauen fischertechnik-Urzeit. Schon 1968 erblickt er das Licht der Welt – mit fünf verschiedenen farbigen Leuchtkappen und Glühlämpchen. Mit der Einführung der farbigen fischertechnik Anfang der 1990er Jahre bekam auch er einen Face-Lift und durchsichtige Kappen.

Lichtschranke, Ampel und Bremslicht – die Anwendung des Leuchtsteins ist jedoch auf die reine Funktion ausgerichtet. Eine smarte Beleuchtung oder Lichtspiele am Kirmesmodell sind damit leider nicht möglich.¹

Die RGB-LED

Im „Real Life“ „ambienten“ wir uns mit LED-Strips und smarten Lampen das Leben schön. Über Bluetooth-Fernsteuerung oder Smartphone-App lassen sich Farbe, Helligkeit und Blinkmuster einstellen.

Technisch bestehen diese Farbwunder aus RGB-LEDs. In einem Bauteil sind drei LEDs in den Grundfarben Rot, Gelb und Blau zusammengeschaltet. Die Steuerelektronik mischt draus alle möglichen Farben.

fischertechnik stand mit RGB-LEDs bislang auf Kriegsfuß.² Das empfindliche SMD-Bauteil lässt sich nicht ohne Hilfsplatine in den Leuchtstein bekommen, am TX/TXT fehlt der passende Steuerausgang und die 5V-Versorgungsspannung benötigt ein zusätzliches Netzteil. Falsch gepolte Anschlüsse oder 9V befördern die RGB-LED sofort in den Siliziumhimmel.



Abb. 1: Tom und seine Lichterkette aus ftPixeln

Toms Lichterkette

Mit dem ftSwarm [5, 6] gibt es den ersten Controller mit zwei eingebauten RGB-LEDs. Über einen Erweiterungsstecker lassen sich zusätzlich bis zu 16 bunte RGB-LEDs anschließen. Dazu gibt es nun

¹ Die Rainbow-LED versucht tapfer etwas Abwechslung ins Ingenieurkinderzimmer zu bringen. Wollen aber angehende Ingenieure die Farbe ansteuern, landet die Rainbow-LED wieder im Kasten.

² Es gibt bereits eine Reihe DIY-Projekte, um RGB-LEDs mit fischertechnik zu nutzen [3, 4]. Da zur Umsetzung Lötkolben und 3D-Drucker benötigt werden, sind die beiden Ansätze nicht für jeden geeignet.

passend die ftPixel als fertiges Bauteil (Abb. 1), zu 100 Prozent alltagstauglich und ganz ohne Lötkolben in Björns Shop zu bekommen [2]. Tim und Tom freuen sich; das bisschen Licht hält die beiden nicht lange auf. ftDuino-Besitzer auch, denn die bunten LEDs lassen sich nämlich an den ftDuino anschließen.



Abb. 2: Die ftPixel kann „bunt“ in allen Farben

Die ftPixel (Abb. 2) sind in einen 3D-gedruckten Leuchtstein eingebaut. Die transparente Leuchtkappe ist fest auf den Leuchtstein verklebt; die Farbe erzeugt die steuerbare LED.

Auch von der elektrischen Seite zeigt sich der ftPixel zu fischertechnik kompatibel: Normale 9V-Versorgungsspannung, alle Anschlüsse gegen Überspannung und Verpolung geschützt.

Verkabelt werden die ftPixel mit normalen fischertechnik-Steckern³ und -Kabeln. Für den Anschluss an ftSwarm und ftDuino gibt es fertige Adapter (Abb. 3).



Abb. 3: Die Adapter für ftSwarm und ftDuino

Drei verschiedene Typen (Abb. 4) lassen unterschiedliche Anwendungen zu. Die beiden geschlossenen Bauformen sind gut geeignet für Farbspiele im Kirmesmodell oder für Wechselseitigkeiten wie einen kombinierten Blinker mit Rücklicht. Mit der offenen Scheinwerfervariante kann das Ambiente eingestellt werden.



Abb. 4: ftPixel in der XL-, Standard- und Scheinwerfervariante. Rechts außen ohne Abdeckung

Einfach nur anschließen

Wie beim Leuchtstein befinden sich auf zwei Seiten des ftPixels Buchsen. Nur sind es nicht zwei, sondern jeweils drei. Die beiden äußeren Buchsen dienen wie erwartet der Stromversorgung. Hier wird die normale fischertechnik-9V-Versorgung angeschlossen.

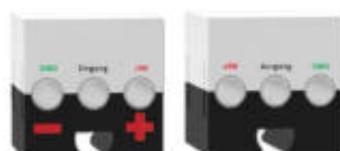


Abb. 5: Markierungen auf dem Gehäuse helfen beim Anschließen der ftPixel

Die mittleren Buchsen dienen den Steuerleitungen. Die Eingangsseite lässt sich leicht erkennen; auf dieser Seite sind die Versorgungsleitungen mit +/- Markierungen versehen (Abb. 5). Die mittlere Buchse ist auf dieser Seite der Eingang und wird an

³ Die Buchsen sind in einem Abstand vom 5 mm nebeneinander angeordnet. Deshalb passt nur der

originale fischertechnik-Flachstecker; die runden „Märklin“-Varianten sind zu dick.

den ftSwarm oder den ftDuino über die passenden Adapter (Abb. 3) angeschlossen.

Auf der gegenüberliegenden Seite ist das Ausgangssignal. Die nächste LED kann somit leicht kaskadiert werden – einfach alle drei Anschlüsse mit dem nächsten ftPixel verbinden (Abb. 6).

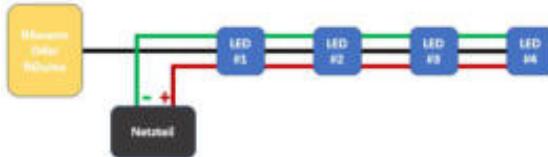


Abb. 6: Anschlusschema der ftPixel

Programmierung am ftSwarm

Die Programmierung am ftSwarm ist sehr einfach. Die notwendigen Routinen zur Steuerung von Farbe und Helligkeit sind in der Firmware bereits implementiert [5, 6].

```

1 #include <ftSwarm.h>
2
3 void setup() {
4
5   // start your SWARM
6   FtSwarmSerialNumber local = ftSwarm.begin();
7
8   // create a led instance (1st external LED)
9   FtSwarmLED led = new FtSwarmLED( local,
10                                    FT_SWARM_LED1 );
11
12  // set blue color and 1/4 brightness
13  led->setColor( CRGB::Blue );
14  led->setBrightness( 64 );
15 }
```

Listing 1: ftPixel am ftSwarm

In Zeile 9 (Listing 1) wird die Variable led an die dritte RGB-LED am lokalen Controller gebunden. Die beiden Kommandos setColor (Zeile 13) und setBrightness (Zeile 14) schalten die LED auf Blau mit reduzierter Intensität.

Programmierung am ftDuino

Für die Programmierung am ftDuino stehen verschiedene RGB-LED-Libraries aus der Arduino-Community zur Verfügung. Empfehlenswert sind die Adafruit Neopixel Library [7] oder FastLED von Daniel Garcia [8]. Zur Programmierung mit den Community-Libraries werden zwei Zusatzinformationen benötigt: Die LEDs sind an

Pin 18 angeschlossen und haben die Farbreihenfolge GRB.

```

1 #include <FastLED.h>
2
3 #define MAXLED 16
4
5 CRGB leds(MAXLED);
6
7 void setup() {
8
9   // initialise a strip with 32 LEDs
10  FastLED.addLeds<WS2812, 18, GRB>(leds, MAXLED); setCorrection( TypicalLEDstrip );
11
12  // set blue color and 1/4 brightness
13  leds[2] = CRGB::Blue;
14  FastLED.setBrightness( 64 );
15
16  // transfer changed settings to your strip
17  FastLED.show();
18 }
19
20
21 void loop() {
22   // put your main code here, to run repeatedly:
23
24 }
```

Listing 2: ftPixel am ftDuino

Der ftDuino-Beispielsketch (Listing 2) ist mit der FastLED-Bibliothek umgesetzt. Hier wird in den Zeilen 9 und 10 die Library für den Port 18 und den LED-Typ WS2812 initialisiert. In den Zeilen 14 und 15 werden wieder die Farbe Blau und eine Intensität von $\frac{1}{4}$ gesetzt. Zeile 18 sendet die Änderungen aus dem RAM-Puffer an die LEDs.

Lange Leitung?

In der Theorie können Leitungen mit bis zu 1024 RGB-LEDs erreicht werden; zwischen zwei Pixeln dürfen laut Datenblatt bis zu 5 m Kabellänge verbaut werden [9].

In der Praxis ist die Obergrenze deutlich niedriger. Denn ein ftPixel braucht bis zu 60 mA Strom, d. h. 16 LEDs benötigen so bis zu 1A. Da die LEDs kaskadiert werden, fließt der komplette Strom durch die Anschlussleitungen und die erste LED. Die fischertechnik-Litze mit einem Querschnitt von $0,14 \text{ mm}^2$ verkraftet maximal 3A und kann daher höchstens 48 ftPixel versorgen.

Natürlich benötigen die ftPixel je nach Helligkeit und gewählter Farbe deutlich weniger Strom. Da Fehler in der Programmierung aber durchaus alle LEDs gleichzeitig auf Weiß mit maximaler Helligkeit einschalten könnten, sollte man trotzdem konservativ kalkulieren.

Der RAM- und CPU-Verbrauch der Libraries⁴ muss ebenfalls beachtet werden. Da das Programm nicht nur die LEDs steuern soll, kann nur ein Teil der Ressourcen für die LEDs verplant werden.

In der Firmware des ftSwarm ist die Obergrenze erstmal auf 16 ftPixel⁵ festgelegt. Ein Swarm kann mit 20 Controllern theoretisch 320 ftPixel verwalten – benötigt dafür aber ein Schaltnetzteil mit einem Ausgangstrom von 19,2 A!

Quellen

- [1] Stefan Fuss, Christian Bergschneider: *Summer in The City*. [ft:pedia 2/2020](#), S. 24–29.
- [2] Björn Gundermann, <http://www.gundermann.org>
- [3] Stefan Fuss, Christian Bergschneider: *Neopixel für alle*. [ft:pedia 1/2018](#), S. 53–63.
- [4] Till Harbaum: *Profi-Lights: WS2812B-Vollfarb-Leuchtdioden im fischertechnik-Design*. [ft:pedia 4/2017](#), S. 15–18.
- [5] Christian Bergschneider, Stefan Fuss: *ftSwarm – Das Prinzip Heinzelmännchen*. [ft:pedia 2/2021](#), S. 107–111.
- [6] Christian Bergschneider, Stefan Fuss: *ftSwarm (2) – Codierst du noch oder schwärmt du schon?*, in dieser Ausgabe der ft:pedia.
- [7] Philip Burgess: [Adafruit NeoPixel Überguide](#), Adafruit.com, 17.01.2022
- [8] Daniel Garcia, Mark Kriegsman: [FastLED Animation Library](#), fastled.io
- [9] Worldsemi: [WS2812](#), Data Sheet, V5.0, 23.03.2019

⁴ Der ftDuino hat nur 2.5 kB RAM für das komplette Programm.

⁵ Es ist geplant in einer der nächsten Firmware-Versionen die ansteuerbare LED-Menge beim ftSwarm je Controller zu erhöhen.

Computing

ftSwarm (2) – Codierst du noch oder schwärbst du schon?

Christian Bergschneider, Stefan Fuss

Die Modelle in den 70er- und 80er-Jahren kamen ganz ohne Mikrocontroller aus. Es wurden coole mechanische Modelle gebaut, die mit Motoren, Kabeln und ein paar Tastern zum Leben erweckt wurden. Im Modell von heute befindet sich zusätzlich ein Controller. Die wenigen Zeilen Code, um einen Motor zu steuern, werden spätestens bei parallel ablaufenden Prozessen kompliziert. Aber muss es denn immer so knifflig sein? Kann ein Controller auch mit sehr einfacher Programmierung oder ganz ohne Programmierung z. B. als Fernsteuerung betrieben werden?

Hintergrund

Die Idee hinter der ftSwarm-Familie sind kleine, untereinander kommunizierende Controller mit einer möglichst einfachen Programmierung [1]. In diesem Beitrag wollen wir zwei Konzepte des ftSwarm vorstellen, die die Programmierung sehr einfach bzw. unnötig machen.

Im Mittelteil des Beitrags geht es nerdig um die Programmierung paralleler Prozesse. Wer nur wissen will, wie ein Controller auch ohne Programmierung funktionieren kann, der kann diesen Teil ruhig überspringen und bei der eventgesteuerten Programmierung weiterlesen.

Das virtuelle Modell

Für unseren Beitrag benötigen wir ein Modell, an dem die beiden Konzepte erklärt werden können. Da jeder fischertechniker früher oder später einen Turmdrehkran baut, haben wir uns den Kran als Beispiel ausgesucht.

Unser Kran soll drei Funktionen haben: „Drehen“, „Laufkatze verfahren“ und „Kranhaken bewegen“. Dazu benötigen wir drei Motoren. Die Bedienung soll mit dem ftSwarmControl (Abb. 1) umgesetzt werden.



Abb. 1: ftSwarm und ftSwarmControl

Die beiden Joysticks übernehmen die Funktionen für „Drehen“ und „Laufkatze verfahren“. Das Bewegen des Kranhakens wird mit zwei Tastern (*Buttons*) am ftSwarmControl implementiert: einer für „hochfahren“ und der zweite für „herunterlassen“.

Im Modell steuern zwei ftSwarms¹ die Motoren. Kabel gibt es nur zwischen

¹ Jeder ftSwarm hat zwei Motorausgänge. Für drei Motoren werden also zwei Controller benötigt.

ftSwarm und Motor; die Kommunikation zwischen den Controllern erfolgt über WLAN. Die Fernsteuerung ist komplett.

Konfiguration

Unsere drei Controller benötigen jetzt noch ein wenig Konfigurationsarbeit. Diese findet über ein USB-Kabel am PC statt.²

Der Schwarm wird gebildet und die verwendeten Anschlüsse bekommen einen Namen zugewiesen. Über diesen Namen können sie später im Programm angesprochen werden.

Auf der Weboberfläche des Swarms können die Motoren manuell gesteuert werden. Die reale und die virtuelle Verkabelung können so getestet werden (Abb. 2).

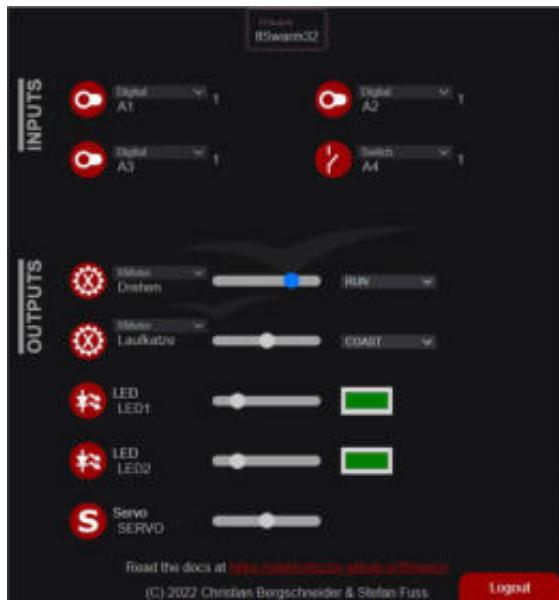


Abb. 2: Weboberfläche des Swarms

Eine erste Kransteuerung

Die Programmierung des Krans mit den drei Controllern ist überschaubar (Listing 1). Wie bei allen Arduino-Clones besteht das

Programm aus den zwei vorgegebenen Routinen `setup()` und `loop()`.

```

1  #include <ftSwarm.h>
2
3  FtSwarmJoystick *drehenJS, *laufkatzeJS;
4  FtSwarmButton   *hoch, *runter;
5  FtSwarmMotor    *drehen, *laufkatze, *haken;
6
7  void setup() {
8
9    ftSwarm.begin();
10
11   // Bedienelemente
12   drehenJS = new FtSwarmJoystick( "DrehenJS" );
13   laufkatzeJS = new FtSwarmJoystick( "LaufkatzeJS" );
14   hoch = new FtSwarmButton( "hakenHoch" );
15   runter = new FtSwarmButton( "hakenRunter" );
16
17   // Motoren
18   drehen = new FtSwarmMotor( "Drehen" );
19   laufkatze = new FtSwarmMotor( "Laufkatze" );
20   haken = new FtSwarmMotor( "haken" );
21
22 }
23
24 void loop() {
25
26   // Joystick Bewegungen
27   drehen->setSpeed( drehenJS->getLR() );
28   laufkatze->setSpeed( laufkatzeJS->getFB() );
29
30   // Buttons
31   if ( hoch->isPressed() ) haken->setSpeed( 100 );
32   else if ( runter->isPressed() ) haken->setSpeed( -100 );
33   else haken->setSpeed( 0 );
34
35 }
```

Listing 1: Einfaches Kranprogramm

Die Prozedur `setup()` wird nach dem Programmstart einmal ausgeführt und dient dazu globale Objekte zu initialisieren. In unserem Beispiel werden dort die Bedienelemente (Zeile 11 bis 15) und die Motoren (Zeile 17 bis 20) erzeugt.³

Die eigentliche Funktion der Steuerung liegt in der Funktion `loop()`. Sie wird als Endlosschleife immer und immer wieder ausgeführt. In Zeile 27 und 28 werden die Joystick Bewegungen ausgelesen und direkt zur Steuerung der Geschwindigkeit der Motoren verwendet. Die Steuerung des Kranhakens über die zwei Taster erfolgt in Zeile 30 bis 33.

Das „böse“ While-Statement

Über das Antippen eines weiteren Buttons soll der Kranhaken automatisch bis an den Ausleger gefahren werden. Ein Endschalter erkennt, dass der Haken seine obere Position erreicht hat.

² Eine komplette Beschreibung der Konfiguration der Firmware und deren Programmierung kann in [2] nachgelesen werden.

³ Bei der Konfiguration des Swarms wurden den Motorausgängen sinnvolle Namen zugewiesen. Beim Zugriff auf die Motoren im Quelltext kann

der Motor über seinen Namen angesprochen werden. Daher ist es bei der Programmierung egal, an welchem Controller welche Hardware angeschlossen ist. Der Swarm regelt die Zuordnung selbst.

```

1 void loop() {
2     // Joystick Bewegungen
3     drehen->setSpeed( drehenJS->getLR() );
4     laufkatze->setSpeed( laufkatzeJS->getFB() );
5
6     // Buttons
7     if ( hoch->isPressed() ) haken->setSpeed( 100 );
8     else if ( runter->isPressed() ) haken->setSpeed( -100 );
9     else haken->setSpeed( 0 );
10
11    // Automatikmodus
12    if ( startAutomodus->isPressed() ) {
13        haken->setSpeed(100);
14        while ( !endtaster->isPressed() ) {
15            haken->setSpeed(0);
16        }
17    }
18}

```

Listing 2: Die einfache `loop()`-Funktion mit automatischem Kranhaken hat Schwächen

Auf den ersten Blick ist diese Funktion ebenfalls gar nicht so schwer zu implementieren (Listing 2). Beim Testen fällt allerdings auf, dass während des automatischen Einfahrens des Kranhakens Taster und Joysticks nicht funktionieren. Ursache ist, dass die While-Schleife in Zeile 15 die sonstige Verarbeitung blockiert. Deshalb sind While-Schleifen in der `loop()`-Funktion eines Arduino-Programms „böse“.

Parallele Prozesse

Die konsequente Lösung ist, die Automatikfunktion in einen eigenen Thread auszulagern. Eine eigene Task-Routine (Listing 3) übernimmt die komplette Steuerung von der Erkennung des Drucks auf den Button bis zur Bewegung des Hakens.

```

1 void taskHakenAutomatik( void *parameter ) {
2
3     while (1) {
4
5         // Taste gedrückt?
6         if ( startAutomodus->isPressed() ) {
7             // Motor starten, auf Taste warten, Motor stoppen
8             haken->setSpeed( 100 );
9             while ( !endTaster->isPressed() ) delay( 50 );
10            haken->setSpeed( 0 );
11        }
12
13        delay( 50 );
14    }
15}

```

Listing 3: Task zum Einfahren des Hakens

In der `setup()`-Funktion muss der Task nur noch aktiviert werden (Listing 4).

```

1 xTaskCreate( taskHakenAutomatik, // Task Routine
2             "AutoHaken", // Name
3             10000, // Stackgröße
4             NULL, // keine Parameter
5             1, // Pro 1
6             NULL ); // Task Handle unnötig

```

Listing 4: Der Task wird in der `setup()`-Funktion gestartet

Aus einer zu Beginn recht einfachen Steuerungsaufgabe wird durch die Thread-Programmierung schnell eine Aufgabe für fortgeschrittene C-Programmierer.

Eventgesteuerte Programmierung

Mit eventgesteuerter Programmierung kann der Kran jedoch viel einfacher implementiert werden.

Jeder Eingang im Swarm wird von der Firmware kontinuierlich ausgelesen. Ein Wechsel des Eingangssignals kann so erkannt und durch die Firmware eine Aktion ausgelöst werden (Listing 5).

```

1 hoch->onTrigger( FT_SWARM_TRIGGERUP,
2                     haken,
3                     FT_SWARM_MSG_SETSPEED, 100 );
4
5 hoch->onTrigger( FT_SWARM_TRIGGERDOWN,
6                     haken,
7                     FT_SWARM_MSG_SETSPEED, 0 );

```

Listing 5: Eventsteuerung des Hakens

Mit dem ersten Statement wird für den Button „hoch“ das Event TRIGGERUP definiert. Wird der Button gedrückt, so wird für den Motor „haken“ die Geschwindigkeit 100 gesetzt. Das zweite Kommando schaltet beim Loslassen des Buttons den Motor wieder aus.

Digitale Eingänge können die Flankenwechsel ihres Eingangssignals von 0 nach 1 und von 1 nach 0 als Trigger verarbeiten. Analoge Eingänge reagieren auf die Veränderung der Signalstärke.

Mit dem Trigger kann die Geschwindigkeit von Motoren, die Position des Servos und die Farbe der RGB-LEDs verändert werden.

Die Kransteuerung lässt sich komplett über Events lösen. Sogar die Automatikfunktion lässt sich mit nur zwei Zeilen Code realisieren (Listing 6).

```

1 void setup() {
2
3     ftSwarm.begin();
4
5     // Bedienelemente
6     drehenJS = new FtSwarmJoystick( "DrehenJS" );
7     laufkatzeJS = new FtSwarmJoystick( "LaufkatzeJS" );
8     hoch = new FtSwarmButton( "hakenHoch" );
9     runter = new FtSwarmButton( "hakenRunter" );
10    startAutomodus = new FtSwarmButton( "StartAutomodus" );
11    endTaster = new FtSwarmButton( "Endtaster" );
12
13    // Motoren
14    drehen = new FtSwarmMotor( "Drehen" );
15    laufkatze = new FtSwarmMotor( "Laufkatze" );
16    haken = new FtSwarmMotor( "haken" );
17
18    // Events für Drehen & Laufkatze
19    drehenJS->onTriggerLR( FT_SWARM_TRIGGERVALUE,
20                            drehen, FT_SWARM_MSG_SETSPEED );
21    laufkatzeJS->onTriggerFB( FT_SWARM_TRIGGERVALUE,
22                            laufkatze, FT_SWARM_MSG_SETSPEED );
23
24    // Events für das manuelle Steuern des Kranhakens
25    hoch->onTrigger( FT_SWARM_TRIGGERUP,
26                      haken, FT_SWARM_MSG_SETSPEED, 100 );
27    hoch->onTrigger( FT_SWARM_TRIGGERDOWN,
28                      haken, FT_SWARM_MSG_SETSPEED, 0 );
29    runter->onTrigger( FT_SWARM_TRIGGERUP,
30                      haken, FT_SWARM_MSG_SETSPEED, -100 );
31    runter->onTrigger( FT_SWARM_TRIGGERDOWN,

```

```

32             haken, FTSWARM_MSGSETSPEED, 0 );
33
34     // Events für den Automatikmodus
35     startAutomodus->onTrigger( FTSWARM_TRIGGERUP,
36                                 haken, FTSWARM_MSGSETSPEED, 100 );
37     endtaster->onTrigger( FTSWARM_TRIGGERDOWN,
38                             haken, FTSWARM_MSGSETSPEED, 0 );
39
40 }
41 void loop() { }

```

Listing 6: Die komplette Kransteuerung lässt sich mit Events lösen

Die Events werden einmalig in der `setup()`-Routine definiert. Die `loop()`-Funktion ist im Beispiel leer; die komplette Logik übernimmt die ftSwarm-Firmware.

Ganz ohne Programmierung

Von der Eventprogrammierung ist der Schritt zur Programmierung ganz ohne Programm nicht weit. Die Steuerungsaufgaben im Kranmodell sind recht einfach – ein Taster (*Button*) oder Joystick steuert einen Motor. Viele Modelle lassen sich auf diese Aufgabe reduzieren.

Die Anzahl der Triggerevents ist überschaubar. Maximal müssen bei einem Button das TRIGGERUP- und das TRIGGERTDOWN-Event definiert werden. Je Aktortyp – Motor, Servo oder LED – gibt es je Event nur eine Aktion: Das Setzen der Geschwindigkeit, der Servoposition oder der LED-Farbe.

Über den USB-Anschluss wird der Swarm interaktiv konfiguriert. Für den ftSwarm-Control gibt es einen zusätzlichen Menüpunkt „Remote Control“. In diesem kann man für jeden Eingang die Events und zugehörigen Aktionen auswählen (Abb. 3).

```

You are using swarm "Kran".
4 swarm members are online.

sensor      event          action      value
( 1) DrehenJS  CHANGE-VALUE  1#  Drehen    SENSOR-VALUE
( 2) LaufkalzeJS CHANGE-VALUE  2#  Laufkalze  SENSOR-VALUE
( 3) Hoch      TRIGGERUP    Haken    100
( 4) Hoch      TRIGGERDOWN   Haken    0
( 5) Runder    TRIGGERUP    Haken    100
( 6) Runder    TRIGGERDOWN   Haken    0
( 7) StartModus TRIGGERUP    Haken    100
( 8) EndTaster  TRIGGERUP    Haken    0

( 9) add event
(10) modify event
(11) delete event
(12) exit
remote control>

```

Abb. 3: Remote Control (Screenshot)

Die „Programmierung“ entfällt. Diese wird im Hintergrund von der Firmware erledigt.

Das letzte aller Programme?

Die Lösung ist nicht das Ende der Programmierung. In vielen Modellen reicht der Taster-schaltet-Motor-Ansatz sicher aus. Komplexe Modelle mit Regelkreisen oder Standardabläufen müssen aber weiterhin programmiert werden. Hier hilft die Eventsteuerung, lästige Standardaufgaben an die Firmware zu geben und sich mit der Implementierung des Regelkreises auseinander zu setzen.

Referenzen

- [1] Christian Bergschneider, Stefan Fuss: *ftSwarm – Das Prinzip Heinzelmännchen*. [ft:pedia 2/2021](#), S. 107–111.
- [2] Christian Bergschneider, Stefan Fuss: [The ftSwarm Project](#). Github.io.

fischertechnik



ftc:süd:con | Modellschau



Fördertechnik Museum

Untere Au 4
74889 Sinsheim



ftcommunity.de

ftc
fischertechnik community

Veranstalter: Fördertechnik Museum Sinsheim, Untere Au 4, 74889 Sinsheim