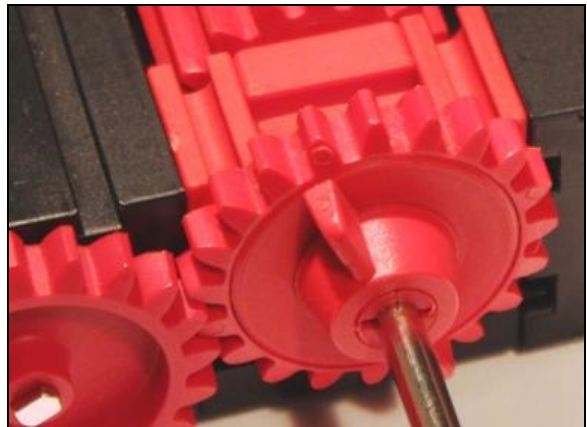
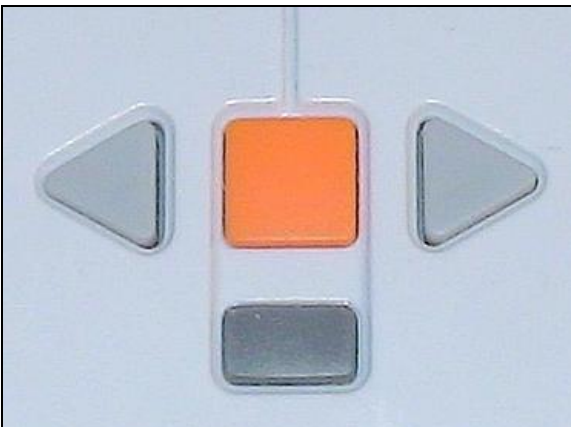
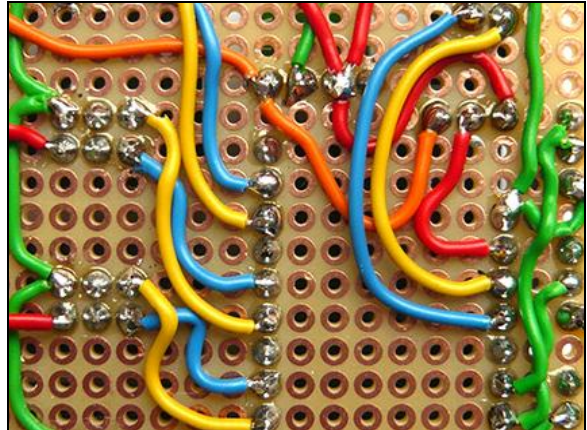
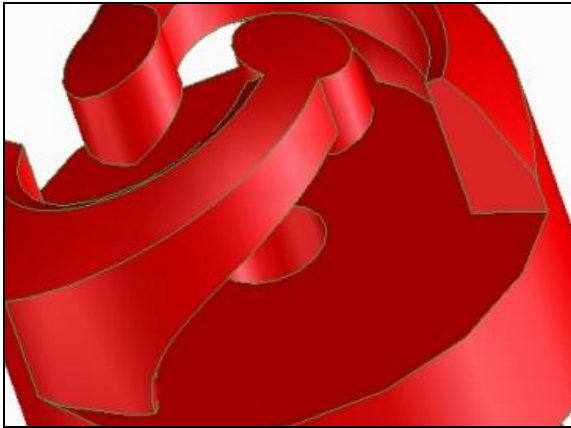




Editorial

Es werde Licht!

In wenigen Tagen ist es so weit: Dann wird der neue „[Profi Optics](#)“-Kasten verfügbar sein. Damit greift fischertechnik ein Thema des vor über 40 Jahren erschienenen „Licht-Elektronik“-Baukastens (I-e 1, 30081) sowie des „[Lernbaukasten u-t 4](#)“ (30609), des späteren „[hobby 4](#)“ (30624), und des Ergänzungskastens „[ec3 – Optik und Akustik](#)“ (30252) auf.

Leider beschränkten sich die damals im [Handbuch](#) (39172) beschriebenen Modelle im Wesentlichen auf optoelektronische Experimente, vor allem Lichtschranken und ein paar Spielereien mit Reflektionen. Dabei hätten sich mit den Spiegeln und Linsen schon damals faszinierende optische Phänomene wie Brechung und Beugung demonstrieren lassen – hätten die Linsenlampen etwas weniger Streulicht erzeugt. Denn die Bauteillisten der Kästen umfassten auch Schlitz- und Kreuzblenden, einen Hohlspiegel und Linsen mit unterschiedlichen Brennweiten.

Zwar sind erst wenige Details über den neuen Baukasten bekannt. Die [Beispielmodelle](#) und die [Einzelteilliste](#) lassen jedoch erwarten, dass die neuen Linsen etwas größer (und vielleicht auch präziser geschliffen) sein werden. Fehlt nur noch ein konzentrierter Punktstrahler – aber da können ja die [Selbstbau-Laser](#) aus der ft:c oder ein einfacher (und nicht ganz so gefährlicher) Klasse-1-[Laserpointer](#) Abhilfe schaffen. fischertechnik wird damit wieder zu einem System, das (zu moderaten Kosten) den Physikunterricht bereichern könnte: denn nicht für jedes Experiment

Dirk Fox, Stefan Falk

benötigt man teure Versuchsaufbauten. Und die Erfahrung lehrt, dass aktives Lernen durch eigenes Experimentieren weit nachhaltiger ist als beeindruckende Vorführungen.

Immerhin dürfte mit dem neuen Kasten die Konstruktion einer Vielzahl optischer Modelle möglich werden, wie zum Beispiel Mikroskope, Fernrohre oder Fotoapparate: [Ernst Abbe](#), [Johannes Kepler](#) und [Louis Daguerre](#) wären jedenfalls begeistert gewesen. Und auch im Zeitalter digitaler CCD-Kameras haben Licht-Phänomene nichts an Faszination angebüßt.

Wir sind daher schon sehr gespannt auf die Optik-Modellideen von Euch – und hoffen auch auf den einen oder anderen ft:pedia-Beitrag zu diesem Thema.

Bis dahin wünschen wir Euch aber erst einmal eine spannende Lektüre dieser zehnten und bisher umfangreichsten Ausgabe der ft:pedia – vom Baustein-Design bis zur Koppelung von Lego mit fischertechnik ist auch diesmal hoffentlich wieder für jeden etwas Interessantes dabei.

Also: Ran an die Kästen, die nächste Convention naht!

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

Es werde Licht!	2
Neue ft-Teile selbst gemacht: 3D-Druck	4
ft-Spezialteile made by TST (Teil 4).....	11
Verkabelung	13
Perlentauchen (Teil 4)	18
Elektronisch gesteuerte Sortiermaschine	31
I ² C mit dem TX – Teil 4: Nunchuk-Fernsteuerung	41
I ² C mit dem TX – Teil 5: Multiplexer.....	50
fischertechnik und Lego.....	53

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Fan Club Tag	14.07.2013	Waldachtal
c't hardware hacks Maker Faire	03.08.2013	Hannover
fischertechnik Convention 2013	28.09.2013	Erbes-Büdesheim
Modellschau Münster	10.11.2013	HBZ Münster

Hinweise

Frederik (Fredy) hat den Initialenschreiber von Stefan Falk aus der [ft:pedia 1/2013](#) nachgebaut – und ein [Video](#) von seinem Modell auf youtube veröffentlicht.

Impressum

<http://www.ftcommunity.de/ftpedia>

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

Autoren: Stefan Falk (steffalk), Dirk Fox (Dirk Fox), Harald Steinhaus (Harald), Georg Stiegler (fantogerch), Andreas Tacke (TST), Helmut Wunder (Ford).

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

Tipps & Tricks

Neue ft-Teile selbst gemacht: 3D-Druck

Harald Steinhaus

Auch der versierteste ft-Konstrukteur stößt gelegentlich an Grenzen – nicht jedes Modell lässt sich ohne Kompromisse mit fischertechnik realisieren. Wer nicht mit Kompromissen leben mag, dem bietet sich neben Modding [1], Plaast-Guss [2] und TSTs Spezialteilen [3] eine vierte Möglichkeit: die eigene Produktion in Kleinstauflage – ganz professionell mit CAD-Entwurf und 3D-Druck.

In aller Kürze

Wer ft-Teile selbst konzipieren und produzieren möchte, braucht

- eine Definition des gewünschten Teils im STL-Dateiformat (*Surface Tessellation Language*),
- die Software, um STL-Dateien zu erzeugen,
- eine Möglichkeit, Fehler in der Teile-Definition zu finden, bevor „Müll“ produziert wurde und
- jemanden, der einen 3D-Drucker hat. In den meisten Fällen wird das ein kommerzieller Service sein.

Im Einzelnen

Das [STL-Format](#) beschreibt die Oberfläche eines Teils als ein Netz von Dreiecken im Raum. Jedes Dreieck hat zudem einen Richtungsvektor, der angibt, wo vom Dreieck aus „außen“ ist. Alle Dreiecke zusammen müssen die Oberfläche lückenlos beschreiben, d. h. das Teil muss „wasserdicht“ sein. Ist das nicht der Fall, wird der Druck entweder in der Vorprüfung abgelehnt oder er führt zu undefinierten Ergebnissen.

Die STL-Datei kann man mit Standard-CAD-Programmen erzeugen. Die meisten

ermöglichen vom hauseigenen Dateiformat ausgehend einen Export ins STL-Format. Die erste Hürde für den Starter ist das Finden eines CAD-Programms, das einen nicht mit seiner Mächtigkeit erschlägt und preislich zum Anwendungszweck passt. Hier scheiden für den Hobby-Zweck „mal eben ein ft-Teil selber drucken“ die meisten Programme aufgrund drei- bis vierstelliger Preise aus. Für den Anfang reichen kostenlos verfügbare Programme allemal aus. So kann man sich mit den Grundzügen vertraut machen und einen Forderungskatalog für später aufstellen.

Als Vorab-Test leistet [Viscam View](#) gute Dienste (kostenlos; siehe Abb. 1):

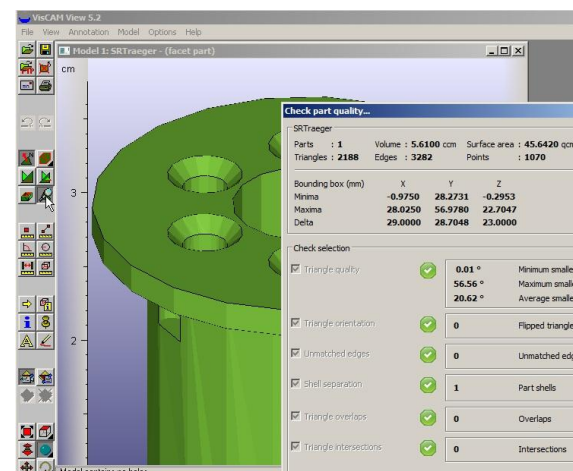


Abb. 1: Viscam View

Die Prüfung der STL-Datei übernimmt, soweit im Rahmen der Recherche für diesen Artikel ersichtlich, der 3D-Druckservice. Dort richtet man einen Account ein und lädt im Rahmen des Druckauftrags die STL-Datei auf den Server hoch. Dort prüft ein Programm die Datei auf Richtigkeit und ermittelt Material- und Zeitbedarf fürs Drucken. Je nach Vertragsmodell ergibt sich daraus auch der Preis für den Auftrag.

CAD-Programme für Einsteiger

Die erste Hürde für CAD-Einsteiger ist das eigene räumliche Vorstellungsvermögen, nebst Anwendung desselben auf die Ansicht des Teils im CAD-Programm.

Wer von [Google Earth](#) das Drehen, Kippen und Verschieben der Ansicht der Erdoberfläche kennt, wird sich im CAD-Programm deutlich leichter tun. Ein Wermutstropfen ist die nur „im Prinzip“ gleiche Belegung der Maus/Tastatur-Elemente: je nach Programm wird mit der einen oder anderen Taste, in Verbindung mit Shift- oder Alt-Taste, die Ansicht gedreht oder verschoben. Zoomen geht immer mit dem Mausrad, nur variiert hier die Zoomrichtung (einwärts oder auswärts) von Programm zu Programm.

Google/Trimble Sketchup

(kostenlos, Registrierung erforderlich) ist aus der Betrachtung heraus geflogen. Da müssen Anwender über 18 sein (da fällt sicher ein Großteil der Leserschaft aus). Und bei einer Frechheit von Lizenzbedingung der Art: „*you agree to the terms of the Trimble Privacy Policy, which may be updated from time to time and without notice*“ („Sie stimmen den Trimble-Datenschutzrichtlinien zu, die wir ohne Benachrichtigung ändern können“, Stand 08.06.2013) ist für den Autor dieses Artikels augenblicklich das Ende erreicht – beim Newsletter-Versand schaffen sie es ja auch, eine Mailing-Liste zu pflegen.

TinkerCAD

[TinkerCAD](#) (kostenlos, Registrierung erforderlich) arbeitet rein web-basiert. Man braucht dazu einen Browser mit WebGL-Unterstützung (mit Opera funktioniert es trotzdem nicht). TinkerCAD

- speichert die 3D-Ursprungsdatei nur auf dem Server,
- erlaubt das Herunterladen der Druckdateien,
- ist sehr einfach zu bedienen (Rotationspfeile oder Maßpunkte an den Ecken eines Körpers ziehen, fertig),
- ermöglicht maßgenaues Arbeiten nur mit der Maus, ohne Zahleneingabe, was auf Dauer mühsam wird,
- bietet keine logischen Gruppen. Gruppieren vereint zwei Teile; Gruppieren von Löchern und Material bedeutet Material entfernen,
- bietet kein Ein-/Ausblenden von Teilen oder Gruppen.

Weitere Kandidaten findet man z. B. in [Wikipedia](#) oder dem [Software-Verzeichnis des Heise-Verlags](#).

Einen günstigen Zugang zu CAD bieten Schüler-/Studentenversionen oder zeitlich begrenzte Trial-Versionen. Von „PTC Creo Elements“ gibt es eine zeitlich unbegrenzte kostenlose Version ([Creo Elements Direct Modeling Express 4.0](#), ehem. CoCreate), die eine Limitierung auf 60 Teile aufweist. Nun, als ft-Bastler arbeitet man höchstens mit einer handvoll Teilen gleichzeitig (etwa deren drei für ein Kardangelenk, zuzüglich ein paar „selbstgefertigten“ Vorlagen wie ft-Zapfen und Nuten-Stanzvorlagen), da sind 60 Teile mehr als ausreichend.

Erste Schritte

Egal wohin die Wahl der CAD-Software gefallen ist, zur Einarbeitung in die

Thematik und zum Erlernen der ersten Schritte ist das Tutorial von TinkerCAD wärmstens zu empfehlen. Es zeigt die grundsätzlichen Arbeitsvorgänge bei der 3D-Konstruktion:

1. Man beginnt mit einer Vorlage. Bei TinkerCAD wählt man hierzu ein Basisteil (Quader, Torus, Kegel, ...) aus einer Liste, bei Creo erstellt man einen 2D-Grundriss und extrudiert ihn in die dritte Dimension, was entweder linear oder auf einer Bahn im Raum geschehen kann.

2. Man ändert Position oder Abmessungen der Vorlage. Hierzu wird ein einmal markiertes Teil mit Kontrollpunkten umgeben, an denen man per Mauszeiger „greifen“ und ziehen oder drehen kann. So wird aus einem Würfel durch Ziehen an einem Flächenkontrollpunkt ein Quader oder durch Ziehen an einer Kante eine Art Pultdach.

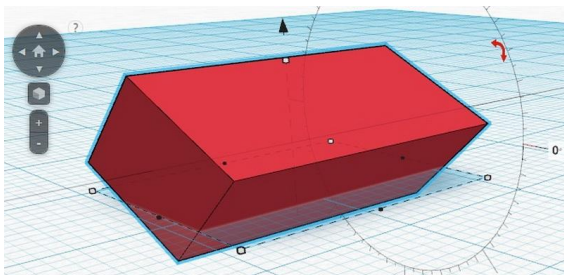


Abb. 2: Kontrollpunkte an einem Quader (TinkerCAD). Jeder ist mit einer Fläche oder Kante verknüpft.

3. Man definiert oder verwendet für jeden Schritt eine Arbeitsebene im Raum, die als „Maß aller Dinge“ dient.

4. Man verschmilzt zwei oder mehr Teile zu einem neuen Teil, etwa einen Gewindebolzen und einen Sechskantblock zu einer Maschinenschraube

5. Man verwendet bestehende Teile als Werkzeuge, um damit andere Teile zu beschneiden oder Material aus ihnen heraus zu stanzen. Bei TinkerCAD definiert man hierzu ein Teil zum „Loch“ (hole) um; bei Creo wählt man eine boolesche Operation (Vereinigen, Subtrahie-

ren, Schnittmenge) zwischen zwei Teilen und definiert, welches Ausgangsteil dabei das Werkzeug darstellt und ob es anschließend im Ergebnis aufgeht oder als Kopie bestehen bleibt.

Oberhalb dieser Grundmenge an Operationen zeigen sich die Unterschiede zwischen den Programmen deutlich. Einfache Programme sind eher fürs Erzeugen von Miniaturbüsten oder Schachfiguren geeignet als von maß- und passgenauen Bauteilen.

Weitere Funktionen sind

- logische Gruppierung (Teile können als Gruppe gemeinsam bewegt oder skaliert werden, bleiben aber einzelne Teile)
- Ein-/Ausblenden von Teilen und Gruppen (damit behält man die Übersicht; außerdem können ausgeblendete Teile nicht aus Versehen von anderen Operationen betroffen werden)
- periodisches Fortsetzen einer Struktur, oder mehrfaches Kopieren eines Teils, entlang einer Linie oder auf einem Kreisbogen
- maßgenaues Arbeiten mittels Tastatureingabe: nach Auswahl einer Kante kann man ihre gewünschte Länge eintippen, statt mit der Maus mehr oder weniger treffsicher das Wunschmaß zu treffen

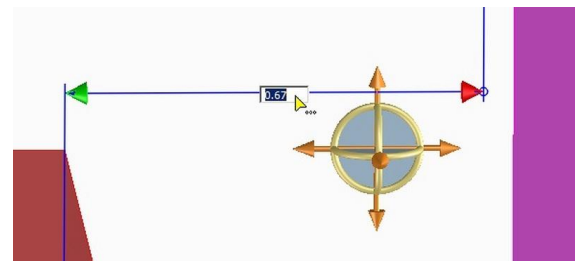


Abb. 3: „Assistent“ von Creo mit Pfeilen zum Ziehen in allen Raumrichtungen und Bögen zum Drehen in allen Achsen. Grüner und roter Pfeil definieren hier das Maß der horizontalen Verschiebung und können irgendwo hin „geklebt“ werden. Im Zahlenfeld kann man direkt einen Wert eingeben.

- Teile können transparent eingefärbt oder als Drahtgitter dargestellt werden
- bewegliche Bezugspunkte (damit kann man den Abstand zweier Teile bemessen z. B. zwischen Vorder- oder Hinterkanten des einen und Vorder- oder Hinterkante des anderen, oder einem Bohrungsmittelpunkt oder einem beliebigen anderen Merkmal)
- in Creo kann man eine 2D-Kontur auf eine Fläche eines Teils zeichnen und diese Kontur in die dritte Dimension extrudieren, und so z. B. bei rundem Querschnitt Sacklöcher oder Stehbolzen erzeugen.

Erfahrungen

Solchermaßen eingearbeitet kann man sich an die erste Aufgabe heranmachen. Der Entwicklungszyklus über Entwurf – Bestellung – Lieferung – Überarbeiten wäre allerdings zeitraubend und kostspielig. Da hilft die Vorschaufunktion der 3D-Services, oder die Möglichkeit, den 3D-Druckertreiber auf dem eigenen Rechner zu installieren und das Ergebnis eines Trockenlaufs Druckschicht für Druckschicht zu inspizieren.

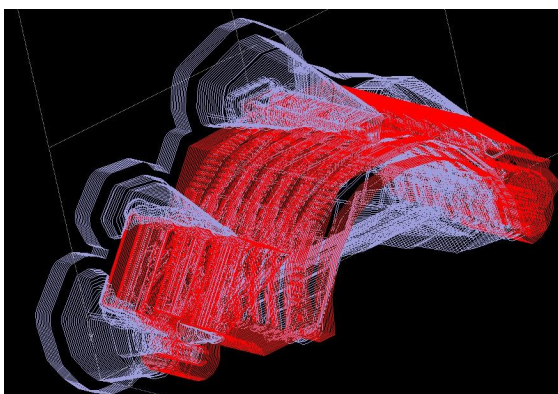


Abb. 4: Vorschau des Druckertreibers, über alle Ebenen hinweg. In Weiß ist das Stützmaterial dargestellt. Unterm Teil wird immer ein Sockel daraus gedruckt.

Aus solchen Testläufen und einigen echten Ergebnissen sind ein paar Tipps zum Vermeiden von Fehlern erwachsen:

- **Immer einen Quader und einen Zylinder** mit 4 mm Durchmesser (ft-Achse) als Bauvorlagen bereit halten und beim Verbau als Kopie anlegen lassen (in TinkerCAD dank Vorlagenliste nicht nötig). Ein ft-Zapfen als Vorlage ist immer sinnvoll.
- **Kanten mit Fasen versehen (chamfer)** – sollte man nur als allerletzten Schritt tun. Nachdem eine Entwicklung aber niemals fertig ist, kann dieser Schritt niemals richtig sein... Zwei Gründe stehen dagegen: Erstens werden im ft-Maßstab Konturen unterhalb ca. 2 mm sowieso vom Drucker verschliffen und verrundet; da bringt eine zusätzlich angegebene Fase nichts mehr. Zweitens kann man von einer „vollen“ Kante aus bequem zu anderen Elementen hin messen. Bei einer Fase hat man eine richtige und eine falsche Kante zur Auswahl.
- **Kanten abrunden** – sollte man überhaupt nicht tun. Wenn verrundete Kanten bei Schnitt, Vereinigung oder Durchdringung von Teilen aufeinander treffen, entsteht eine komplexe räumliche Kurve als Schnittgrenze. Diese kostet in der Darstellung erhöhten Rechenaufwand und lässt sich nach zwei oder drei weiteren Änderungen am Teil nicht wieder rückgängig machen.
- **Stabilität ist richtungsabhängig** – der 3D-Druck erfolgt schichtweise. Das Material wird auch nicht vollflächig aufgetragen (selbst wenn man eine derartige Option beim Druckauftrag angibt), sondern wie ein Spinnfaden aus einer Düse ausgestoßen und in einer vorberechneten Spur auf die nächstuntere Druckebene aufgetragen. Selbst als „Vollmaterial“ kann der Faden nicht immer exakt an den vorher gespritzten Nachbarfaden angrenzend ausgebracht werden. Fazit: die Stabilität ist von Schicht zu Schicht geringer als entlang des Druckfadens, und bei sehr schmalen

Strukturen werden nur die Außenwände erzeugt, mit Hohlräumen dazwischen.

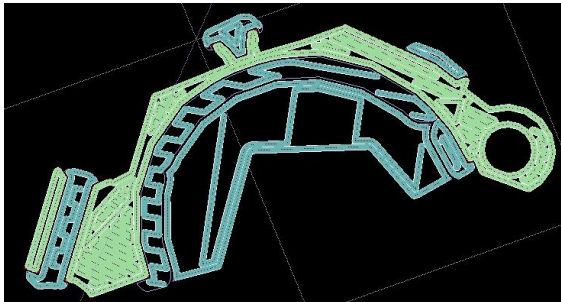


Abb. 5: Eine einzelne Druckebene (vom Teil in Abb. 4) in der Vorschau des Druckertreibers. Blau = Stützmaterial, Grün = Material des Teils. Man sieht die Verfahrswege und die ungewollten Hohlräume als schwarze Bereiche im grünen Material (Ausnahme: das runde schwarze Loch rechts ist eine Achsaufnahme).

- **Sonderfall ft-Zapfen** – „natürlich“ baut man einen ft-Stein von unten nach oben und definiert „unten“ und „oben“ so, dass der Zapfen eben dort ist. Beides ist von Nachteil, weil der Zapfen dann immer schichtweise entlang der Hauptzugrichtung aufgebaut wird und somit leichter abreißt. Fazit: ft-Zapfen gehören „seitlich“ definiert. Definiert man eine Federleiste anstelle eines Zapfens, dann gehört die Federleiste „vertikal“ definiert (damit kann man außerdem Stützmaterial einsparen).
- **Stützmaterial ist auch Material (1)** – im Gegensatz zum modernen Brückenbau kann ein 3D-Drucker nicht im „freien Vorbau“ arbeiten: das Material muss immer von unten her aufgebaut werden. Wo immer ein Hohlraum verbleiben oder ein Überstand erzeugt werden soll, muss ein anderes Material vorläufig das Volumen ausfüllen, bis die Druckschicht darüber hinreichend fest geworden ist. Dieses Stützmaterial wird „luftig“ aufgebaut und ist sehr spröde, so dass man es später zerbröseln und entfernen kann (das kann man selbst übernehmen oder vom Druckservice als weiteren Teil des Auftrags machen lassen).



Abb. 6: Eine gedruckte Schleifring-Gehäusehälfte aus Abb. 4, mit und ohne Stützmaterial.

Fazit: Höhlungen und Wölbungen gehören „oben offen“ ausgerichtet (oder das Teil zum Drucken so gedreht). Eine Straßenbrücke sollte man in der Lage „kopfüber stehend“ oder „seitlich liegend“, aber nicht „aufrecht stehend“ drucken lassen.

- **Stützmaterial ist auch Material (2)** – unter Berücksichtigung der minimalen Abmessungen kann man durchaus horizontale Bohrungen von 1 mm definieren, und bekommt auch solche Bohrungen gespritzt (zu vertikalen Bohrungen siehe weiter unten). Die Bohrung wird natürlich mit Stützmaterial ausgefüllt. Nun ist dieses Stützmaterial sehr spröde (sprich: hart) und dadurch wird es nicht leicht, die Bohrung wirklich frei gängig zu bekommen. Versucht man es mit einer Mini-Bohrmaschine, riskiert man schnell den Bohrer oder erhält einen seitlich aufgeweiteten Krater anstelle der Bohrung.
- **Oberflächenrauigkeit** – bei genauer Betrachtung ist keine einzige Fläche eines 3D-gedruckten Teils richtig glatt. Die Unterseite ist es nicht, weil (gültig für den Service fabberhouse – sicher auch für die anderen) jedes Teil auf einem Sockel von vier bis fünf Lagen Stützmaterial gedruckt wird und das Stützmaterial nach oben eine Rauigkeit zeigt. Die Seitenflächen lassen die Schichtung beim Drucken erkennen,

und die oberste horizontale Begrenzung zeigt die Verfahrspuren des Druckkopfs beim Erzeugen der abschließenden Ebene.

- **Ein Millimeter ist kein Maß** – vertikal definierte Bohrungen (Schächte) von 1 mm Durchmesser haben irgend einen Durchmesser, nur nicht 1 mm. Wenn z. B. eine Seitenwand des Teils zu nahe am Schacht liegt, wird die Seitenwand gespritzt und der Schacht so weit mit Material gefüllt, wie es die Seitenwand benötigt.
- **Höhenstufen** – in den Ausdehnungen der Druckfläche kann ein 3D-Drucker sehr feinstufig positionieren. In vertikaler Richtung kann er eine Schicht (oder Stützmaterial) auftragen oder nicht auftragen. Halbe Schichten gibt es nicht. Dieser Punkt klingt trivial, aber zusammen mit dem Punkt „Oberflächenrauigkeit“ bedeutet er das Ende der Träume vom 3D-gedruckten ft-Pneumatikzylinder oder P-Ventil Marke Eigenbau. Richtig dicht und trotzdem leichtgängig werden 3D-Teile im ft-Maßstab kaum sein können.



Abb. 7: das ist schief gegangen. Dieser Rast-Kabelclip hat nicht einmal das Herauslösen des Stützmaterials überstanden.

- **Elastizität** – das Material, das für ft-Zwecke in Frage kommt, ist ABS ([Acrylnitril-Butadien-Styrol](#)) oder eine Abwandlung davon. ABS (bekannt von LEGO-Teilen) ist spröde. Daher kann man Rast- oder Klickverbindungen gleich „vergessen“.

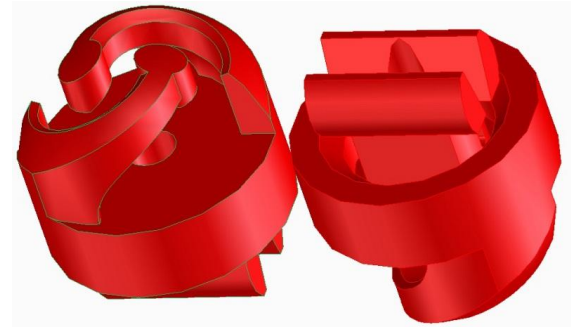


Abb. 8: im CAD-Programm sah der Kabelclip ganz ordentlich aus. Die Bögen bestanden aber nur aus den Wänden und waren ansonsten hohl.

- **Toleranzen** – wenn 3D-gedruckte Teile ineinander gesteckt und beweglich bleiben sollen (etwa wie beim ft-Gelenkstein), muss man die Oberflächenrauigkeit und ggf. auch die Höhenstufung berücksichtigen und etwa 0,2 mm ‚Luft‘ in der 3D-Modellierung vorsehen.

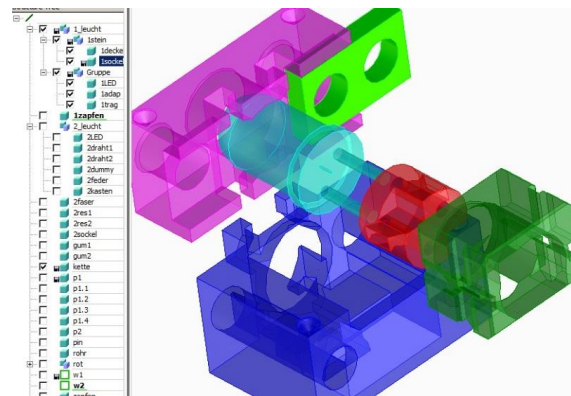


Abb. 9: ein LED-Leuchtstein mit allem Drum und Dran, mitsamt Strukturbaum (Creo Elements). In solche Feinheitsgrade kommt der Drucker aber nicht mit.

- **Feinste Auflösung** – im CAD-Programm kann man beliebig in eine Konstruktion hinein zoomen und mit höchster Präzision Details ausarbeiten. So hatte der Autor dieses Artikels völlig problemlos ein Zahnrad mit 36 Zähnen auf einem Kranz von 4 mm Durchmesser definiert. Der 3D-Drucker tat sein Möglichstes und produzierte ... ein Rundteil mit immerhin erkennbar gewellter Umrandung.

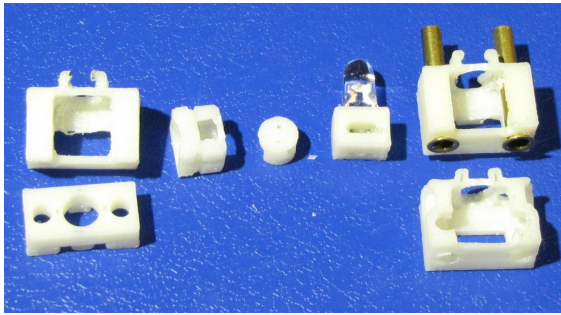


Abb. 10: Der Super-NonPlusUltra-LED-Stein in verschiedenen Versuchsstadien, wie der 3D-Drucker ihn ausgibt. Nicht ganz das Wahre – das ist einfach zu filigran definiert.

- **Minimale Wandstärke** – bei heutigen 3D-Druckern ist eine Wandstärke unter 1 mm nicht möglich. Damit scheidet ein Nachbau z. B. des ft-Leuchsteins erst einmal aus, es sei denn, man dreht ihn auf die Seite (so dass auch der Zapfen seitlich zu liegen kommt, siehe oben) und hofft darauf, die eine oder zwei

Höhenstufen der oberen/unteren Wände schadlos aus dem Stützmaterial zu befreien. An dieser Problematik ist ein (ansonsten recht weit gediehener) Entwurf für einen zu den ft-Leuchtkappen abwärtskompatiblen LED-Trägerbaustein gescheitert.

Quellen

- [1] Harald Steinhaus: *Neue ft-Teile selbst gemacht – Teile-Modding*. [ft:pedia 3/2011](#), S. 20-24.
- [2] Frederik Vormann: *Neue ft-Teile selbst gemacht – Polycaprolacton*. [ft:pedia 3/2011](#), S. 14-19.
- [3] Andreas Tacke: *ft-Spezialteile made by TST (Teil 1-4)*, [ft:pedia 2+3/2012](#), 1+2/2013.

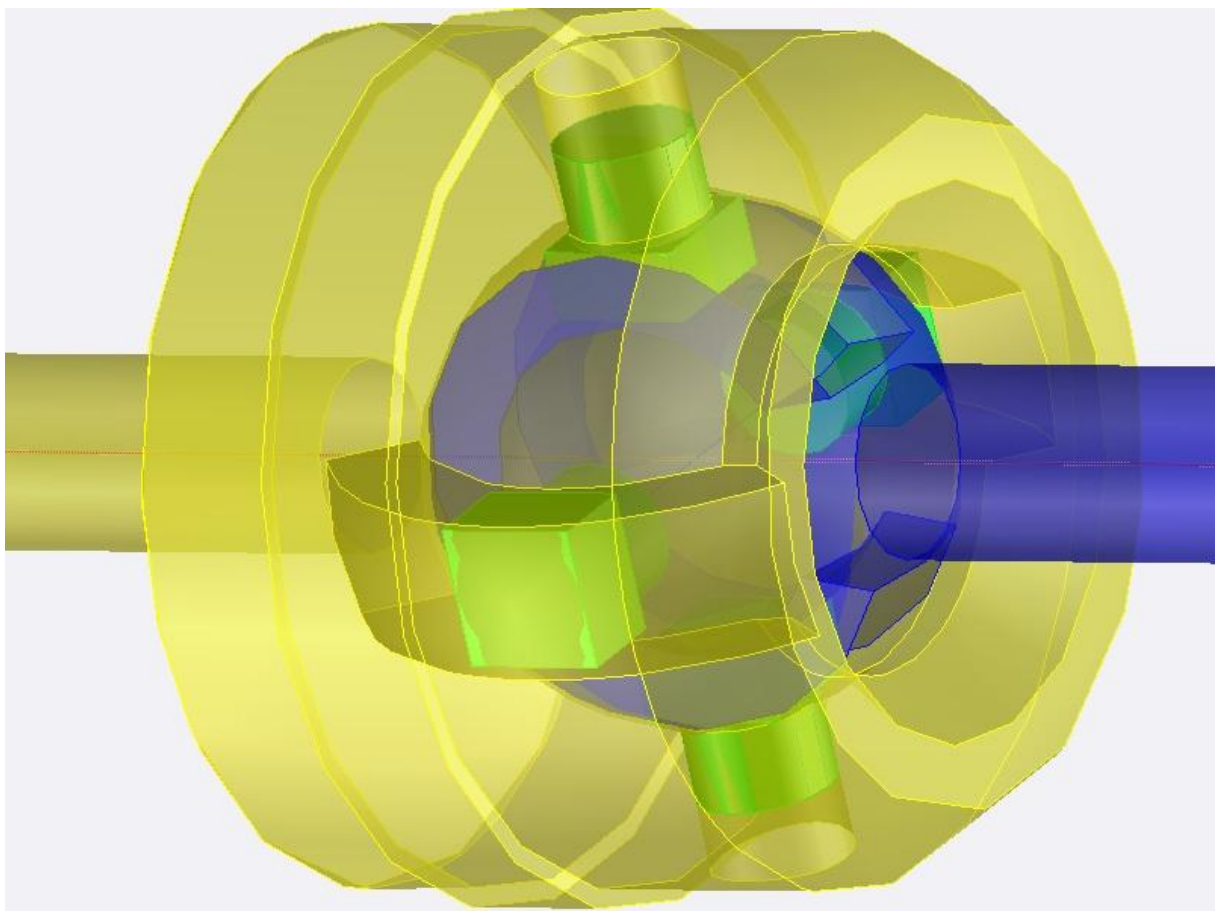


Abb. 11: Gleichlaufgelenk nach Rzeppa

Tipps & Tricks

ft-Spezialteile made by TST (Teil 4)

Andreas Tacke

In einer lockeren Reihe stellt TST einige von ihm entwickelte Spezialteile vor, die so manche Lücke beim Bauen mit fischertechnik schließen. Diesmal geht es um den richtigen Dreh an der Flach- bzw. Doppelnabe sowie der Spannzange 35113.

In meinem heutigen Beitrag geht es um den Nabenschlüssel sowie den Kombi-nabenschlüssel.

Erst mal etwas zur Entstehungsgeschichte. Es wurde vor einigen Jahren im Forum mal über einen Nabenschlüssel diskutiert. Es wurden dann von ein paar Usern Prototypen aus Kunststoff ausgesägt und vorgestellt. Da ich damals für meine Sonderlösungen bekannt war, habe ich mich an die Entwicklung der Geometrie zu diesem Nabenschlüssel gemacht.



Abb. 1: Nabenschlüssel Version 1

Dieser Schlüssel löste das Problem, das wir ja alle kennen – wie bekomme ich die Nabe richtig festgedreht? Mit Zange und Co. beschädigt man sich nur seine schönen Teile.

Die schmale Seite lässt sich z. B. perfekt zum Festziehen der Nabenmutter an den Felgen verwenden, da sie sehr schmal gehalten ist. Bei der Anwendung stellte sich aber bald heraus, dass der Schlüssel noch nicht ganz ausgereift war. Mit ihm ließ sich nur ein Nachgreifwinkel von 180° erreichen, was an engen Stellen im Modell unpraktisch ist.

Daher gab es dann bald die zweite Version. Mit dieser lässt sich ein Nachgreifwinkel durch Umsetzen des Schlüssels von 45° erreichen.



Abb. 2: Nabenschlüssel Version 2

In Abbildung 3 ist zu sehen, wie der Nachgreifwinkel von 45° erreicht wird.

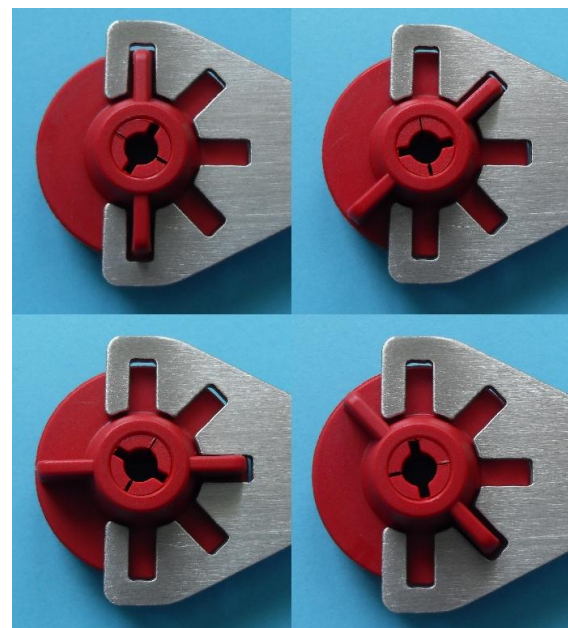


Abb. 3: Greifstellungen des Nabenschlüssels

Zum zweiten gibt es im fischertechnik-Sortiment noch die [Spannzange 35113](#).

Wer kennt nicht das Problem, dass die Spannzange immer wieder durchrutscht und man sie, da man sie so schlecht greifen kann, nicht richtig fest bekommt.

Diesem Problem habe ich mich gestellt und eine dritte Version meines Schlüssels entworfen. Ich nenne ihn den „Kombinabenschlüssel“, da er sowohl für die Nabenmutter als auch für die Spannzangen genutzt werden kann (Abb. 4).

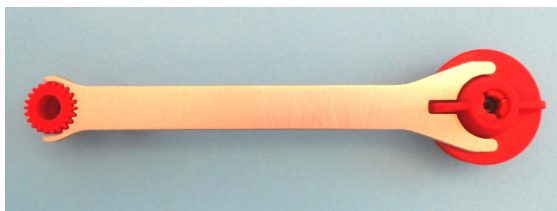


Abb. 4: Kombinabenschlüssel

Er besitzt an der einen Seite die schlanke Geometrie des Nabenschlüssels und an der zweiten Seite eine Verzahnung, mit der sich die Spannzange 35113 festhalten lässt.

Die Konstruktion dieser Geometrie war am CAD-System schon etwas aufwendiger, da es sich ja um ein Zahnrad Modul 0,5 mit 22 Zähnen handelt. Die Geometrie musste so angepasst werden, damit der Schlüssel von der Seite auf das Zahnrad geschoben werden kann (Abb. 5).

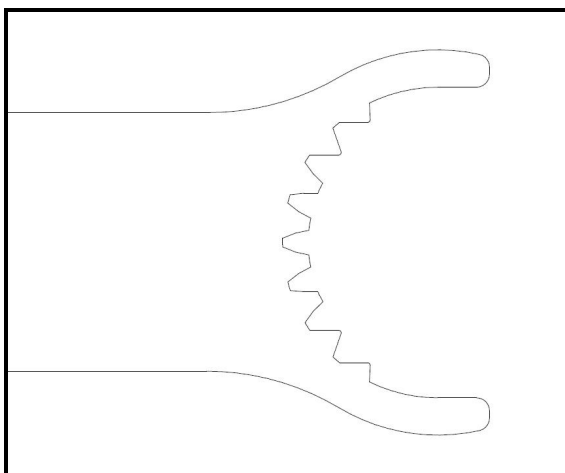


Abb. 5: Zahngeometrie Z22 angepasst

Durch die schmal gehaltene Öffnung kommt man mit diesem Schlüssel auch an Stellen heran, um die Spannzangen fest zu ziehen, an denen selbst eine Zange keinen Platz hat.

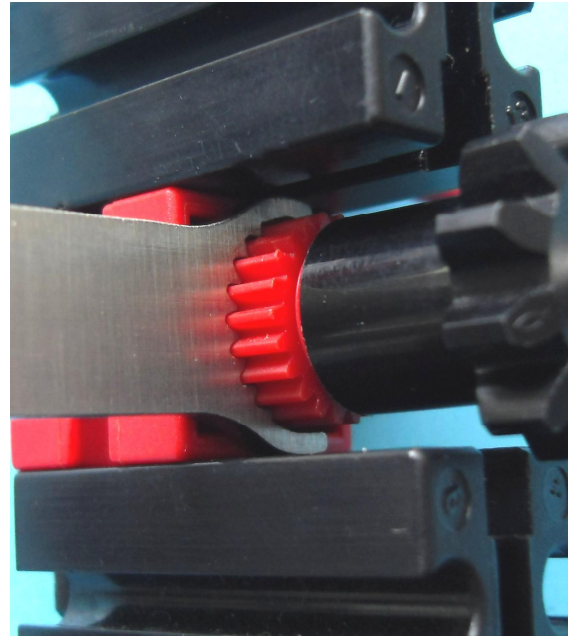


Abb. 6: Einbausituation

Das Außenmaß beträgt 14,7 mm, damit man mit dem Schlüssel auch zwischen zwei Bausteinen montieren kann (Abb. 6).

Dies ist ein Werkzeug, das neben dem gelben Schraubendreher bei keinem fischertechnik-Konstrukteur fehlen sollte.

Tipps & Tricks

Verkabelung

Dirk Fox

Anders als die fischertechnik-Bausteine folgt die Verkabelung eines Modells keinem Raster. Wer nicht nur funktionstüchtige, sondern auch elegante Modelle mag, muss sich daher etwas einfallen lassen, will er verhindern, dass wilde Kabelstränge Abschlüsse an der Ästhetik-Note einbringen. Da sich diese Herausforderung seit der Einführung des ersten fischertechnik-Motors im Jahr 1967 stellt, gibt es inzwischen den einen oder anderen Tipp aus der Praxis...

Vorbemerkung

Kaum ein fischertechnik-Modell, das ohne Kabel auskommt: fast immer werkelt ein Motor, leuchtet eine Lampe oder ist ein Schalter anzuschließen. Die fischertechnik-Kabel gehorchen jedoch keinem Raster: „Konfektion“ und Verlegung sind dem Modellbauer überlassen. Wenn man dabei keiner „Strategie“ folgt, dann wird eine komplexe Schaltung schnell zum „Kabelverhau“, die nicht nur den ästhetischen Eindruck des Modells beeinträchtigt, sondern die man möglicherweise bald selbst nicht mehr durchschaut. Und im schlimmsten Fall wird sogar die Funktion in Mitleidenschaft gezogen.

Wer das verhindern will, sollte bei der Verkabelung seines Modells mehrere Aspekte beachten:

- Besonders wichtig ist natürlich, dass die elektrische Verbindung stabil ist. Rutscht ein Flachstecker aus einer Buchse oder ein Kabel aus dem Flachstecker heraus, „steht“ das Modell zumeist – und die Fehlersuche beginnt.
- Noch ärgerlicher ist es, wenn ein Flachstecker unsauber montiert ist, so dass der Kontakt nur gelegentlich ausfällt – das kann zu frustrierender Ursachenforschung führen.

- Auch ein gebrochenes Kabel (selten, kann aber bei älteren, viel genutzten Kabeln vorkommen) ist in einem fertigen Modell schwer zu finden.
- Schließlich sollten die Kabel so montiert sein, dass keine beweglichen Teile daran hängen bleiben.
- Bei komplexen Modellen ist es wichtig, dass die Verkabelung übersichtlich ist (welcher Anschluss führt wohin?), damit man Fehler schneller findet, kleine Änderungen schnell umsetzen kann und eine z. B. für einen Transport erforderliche Teilerlegung des Modells nicht zu einer kompletten „Neuverkabelung“ zwingt.

Und nicht zuletzt spielt natürlich auch das Erscheinungsbild eine Rolle – wer sein Modell auf einem Foto verewigen möchte, will wilde Kabelbäume vielleicht lieber erst in eine „geordnete Verkabelung“ überführen, bevor er auf den Auslöser drückt.

Für alle diese Aspekte gibt es den einen oder anderen Trick und Kniff. Einige der unserer Ansicht nach besonders hilfreichen Verkabelungstipps haben wir in diesem Beitrag zusammengestellt.

Stabile Verbindung

Die Stabilität einer elektrischen Verbindung entscheidet sich oft schon bei der Konfektionierung des Kabels. Wird das Kabelende nicht sauber isoliert, kann die elektrische Verbindung z. B. durch ein Wackeln des Kabels unterbrochen werden.

fischertechnik empfiehlt im Hobby 3-Kasten schon 1973, dass ca. 1 cm des Kabelendes abisoliert, umgeknickt und in den Flachstecker geschoben werden sollte [1].

Aber auch der Flachstecker selbst kann Ärger verursachen, wenn er zu locker in einer Buchse sitzt – bewegt man das Modell, rutscht er möglicherweise heraus oder der Kontakt wird unterbrochen. Dem kann sehr einfach mit einer dünnen Messerschneide abgeholfen werden, die man von oben in die beiden Schlitz der Steckerspitze einführt, sodass sie etwas aufgebogen wird (Abb. 1).

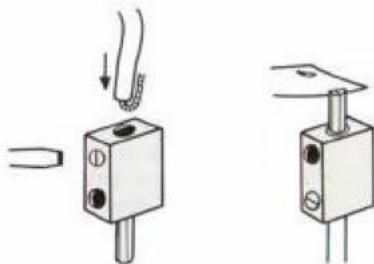


Abb. 1: Anschluss eines Kabels und Aufbiegen der Steckerspitze (aus: [1])

Schließlich sollte man (auch beim Um- oder Abbau eines Modells) pfleglich mit den Kabeln umgehen und sie weder knicken noch am Kabel aus der Buchse ziehen – wenn ein Flachstecker klemmt, kann er leicht mit dem gelben ft-Schraubendreher herausgezogen werden, wenn man jenen zuvor in das kleine Kontaktloch des Flachsteckers hinein schiebt.

Bevor man ein Kabel aufwändig im Modell verlegt, sollte man zunächst sicherstellen, dass es funktioniert. Ein „Birchentest“ (Leuchtstein mit dem Kabel an Stromquelle anschließen und einschalten) zeigt euch, ob das Kabel in Ordnung ist.

Verlängerung und Verteilung

Manchmal benötigt man Kabelverlängerungen – sei es, weil die verfügbaren Kabellängen nicht ausreichen, sei es, weil ihr Kabel „verzweigen“ möchtet. Zu den beim direkten Aneinanderstecken entstehenden dicken „Steckerknoten“ gibt es jedoch Alternativen. Das hat nicht nur ästhetische Vorzüge: an allen Steckerknoten ragt unvermeidlich mindestens eine Flachsteckerspitze heraus – berührt sie eine andere (desselben oder eines zweiten Steckerknotens), kann es zum Kurzschluss kommen.

Einige der besonders eleganten Varianten zur Kabelverlängerung sind leider nur mit ausgelaufenen „historischen“ fischertechnik-Teilen zu realisieren, wie z. B. den [Verteilerplatten](#) (siehe ‚Perlentauchen‘ in [ft:pedia 1/2013](#)), die die Verbindung von bis zu sechs Kabeln mit einem Zuführungskabel ermöglichen (Abb. 2, [2]).



Abb. 2: Verteilerplatte von 1969 (31327)

Für eine einfache Verlängerung gab es in den frühen Elektromechanik-Kästen kurze [Steckerbuchsen 21](#) (35307) und [Zwischenstecker 15](#) (31339), letztere mit 1,5 cm Länge genau im ft-Raster, die in die runden Nute z. B. eines BS15 oder BS30 geschoben werden konnten (Abb. 3). An beiden Enden konnte ein Flachstecker angeschlossen werden.



Abb. 3: Steckerbuchsen und Zwischenstecker

Ähnlich elegant geht das auch mit heutigen Bauteilen: in jedem Leuchtstein (38216) sind die Anschlüsse durchgeführt; enthält

ein Leuchtstein also kein Birnchen, kann er für eine Kabelverlängerung genutzt werden (Abb. 4).



Abb. 4: „Steckdose“ für ft-Modelle

Leuchtsteine wurden schon 1981 im Experimentierbuch Elektromechanik als „Steckdose am Modell“ empfohlen [3].

Übersichtlichkeit

Je komplizierter die Schaltung, desto größer die Gefahr, dass man den Überblick über die Verkabelung verliert – und das kann viel Aufwand erfordern, will man das Modell z. B. nach einem Transport in teilzerlegtem Zustand wieder funktionsfähig machen.

Eine besonders elegante Lösung, die allerdings etwas Disziplin erfordert, verwendet z. B. Stefan Falk in komplexen Modellen: er versieht die Flachstecker jedes Kabels mit einer Nummer (Abb. 5). Trägt man diese Nummer in den Schaltplan ein, lässt sich jedes Kabelende sofort eindeutig zuordnen – sogar, wenn die Kabel z. B. in einem Spiralschlauch zusammengefasst sind (siehe unten).



Abb. 5: Markierte Kabelenden

Alternativ zur Markierung des Flachsteckers kann man auch einen beschrifteten Aufkleber am Kabel(ende) befestigen.

Wer den Aufwand der Markierung scheut, der kann – zumindest bei weniger komplexen Schaltungen – mit einer einfachen Maßnahme schon etwas gewinnen: wählt man Flachstecker- und Kabelfarbe jeweils passend zur Polung des Anschlusses (rot: +, grün: -), sinkt zumindest die Gefahr eines versehentlichen Kurzschlusses.

Und wer es bunt mag, der kann auch gänzlich verschiedenfarbige Kabel und Stecker verwenden: auch die fischertechnik-Flachstecker gibt es (z. B. bei Knobloch) in exotischen Farben; passende Kabel kann man im Elektronik-Versandhandel erwerben (Abb. 6).

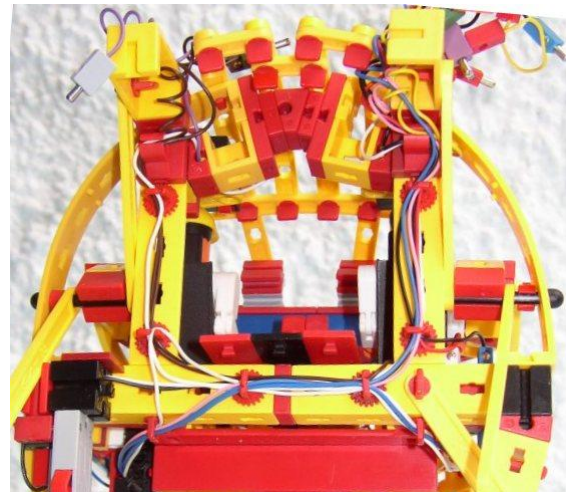


Abb. 6: Farbige Kabel und Flachstecker
(Bild: Harald Steinhaus, [ft.community](https://www.ft-community.de/))

Auch ein farbiges Flachbandkabel kann eine gute Wahl sein, wenn mehrere Kabelverbindungen etwa gleicher Länge benötigt werden (Abb. 7).



Abb. 7: Farbiges Flachbandkabel

Kabelverlegung

Die Verlegung der Kabel am Modell ist oft eine besondere Herausforderung. Bei vielen Modellen lassen sich die Kabel elegant in Bausteinruten einlegen und durch [Federnocken](#) (31982) fixieren.

In einem Clubheft wurde vorgeschlagen, Kabel durch in Ruten gesteckte [Kettenglieder](#) (36263) zu führen, und mit einem kleinen bisschen Modding lassen sich auch S-Riegel (36323) zu Kabelhaltern umfunktionieren (Abb. 6, [4]) – die Verlegung ist jedoch in beiden Fällen vergleichsweise mühsam. Besser geht es mit [Reedkontakt-Haltern](#) (35969): Sie haben eine große „Kapazität“, und einzelne Kabel können leicht ergänzt oder wieder herausgenommen werden.

Wurde das Modell auf einer Bau- oder Grundplatte montiert, können die Kabel auch unter der Platte verlegt werden. Die Kabelenden führt man dazu z. B. durch die Löcher der Bauplatte – dafür muss man allerdings einen der Flachstecker entfernen. Unterhalb der Platte sieht es dann zwar aus wie unter dem Sofa, aber das Modell selbst wirkt fast „kabelfrei“, wenn ihr die Kabel dort in den Bausteinruten verschwinden lasst.

Kabelkürzung

Eine sehr schöne Lösung des Problems, dass vorkonfektionierte Kabel nie exakt die benötigte Länge haben, hat fischertechnik 1981 in der Anleitung zum Kasten Elektromechanik (39145) vorgeschlagen [3]: Ist das Kabel zu lang, wird es fest um eine Metall- oder Rastachse gewickelt.

Zieht man die Achse heraus, hält man ein spiralförmig gedrehtes Kabel in der Hand – das sich nun wunderbar auf die richtige Länge auseinander ziehen lässt und chic aussieht (Abb. 8).



Abb. 8: Erzeugung von „Spiralkabeln“

Spiralkabel eignen sich besonders für die „offene Verlegung“; als Spirale passen sie nicht mehr in Ruten. Dort verlegte Kabel lassen sich jedoch auch elegant kürzen, wie von fischertechnik schon 1973 vorgeschlagen: Ein Stück des zu langen Kabels wird durch eine Verbindungsrinne eines BS15 oder BS30 geschoben und auf der anderen Seite z. B. durch eine [Bauplatte 15x15](#) (38246) fixiert (Abb. 9).



Abb. 9: Kabelverkürzung (aus: [1])

Kabelkanäle

Kabel lassen sich auch elegant verpacken – um zu vermeiden, dass sie als dicker, unförmiger „Kabelbaum“ das Modell verunzieren. Vor allem drei Lösungen bieten sich dafür an: ein Spiralschlauch, ein Trinkhalm oder eine Energiekette (Abb. 10-12).

Mit einem Spiralschlauch (erhältlich für kleines Geld z. B. bei Knobloch als Meterware, [75095](#)) lassen sich Kabelbündel von bis zu 3 cm Durchmesser „verkleiden“. Bis 4 mm Kabeldurchmesser passt der Spiralschlauch sogar noch durch einen Reedkontakt-Halter (35969) und lässt sich damit am Modell befestigen.

Der Schlauch kann zudem um die Kabel „gewickelt“ werden – eine Demontage der Flachstecker ist daher nicht erforderlich. Weiterer Vorteil des Spiralschlauchs ist die

Möglichkeit, an jeder Stelle einzelne Kabelenden herauszuführen.

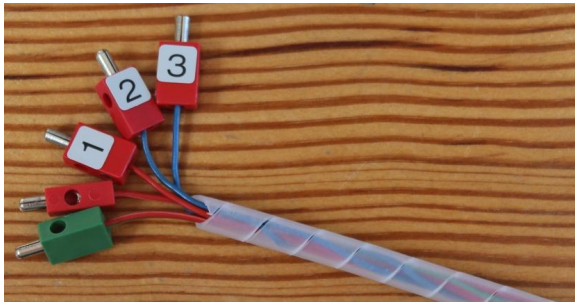


Abb. 10: Spiralschlauch (75095)

Für Sparsame gibt es eine besonders preisgünstige Variante: ein umfunktionierter Trinkhalm (zu finden z. B. in Modellen von [Harald Steinhaus](#) und [Wilhelm Brickwedde](#), Abb. 11). Er eignet sich vor allem für Geradföhrungen; knicken lässt sich der Halm nur an dafür vorgesehenen Stellen. Und in kleine Rohrstücke zerteilt eignet er sich auch, um Kabelbäume nur an ausgewählten Stellen zu „bändigen“ – besser als Klebeband, das klebrige Rückstände auf den Kabeln verursacht.



Abb. 9: Trinkhalm als Kabelkanal

Die Energiekette (Abb. 10, erhältlich z. B. bei Knobloch, [75080](#)) besteht aus flexiblen Gliedern, die ein sauberes Mitführen eines Kabelbaums bei einer wiederholten linearen Bewegung in einer Richtung erlauben, wie beispielsweise eine bewegliche Komponente in einem Industriemodell.

Die Kette ist eine etwas höhere Investition, kann dafür aber, anders als ein passgenau zugeschnittener Spiralschlauch, bei einem neuen Modell in anderer Länge wieder verwendet werden.

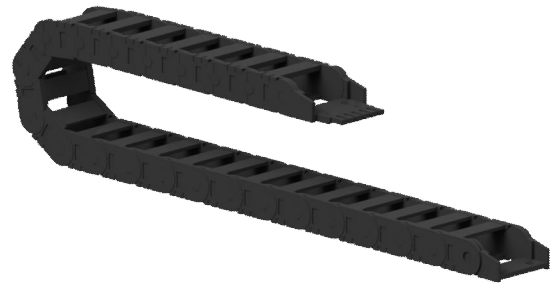


Abb. 10: Energiekette (75080)

Alle drei Lösungen sehen sehr professionell aus – und können einem fertigen Modell den letzten Schliff geben. Sie verhindern zudem, richtig montiert, das Verhaken oder Verheddern von Kabeln während der Nutzung des Modells.

Da die Montage mit etwas Aufwand verbunden ist und Spiralschlauch und Energiekette auf die richtige Länge gebracht werden müssen, sollten sie erst ganz zum Schluss angebracht werden.

Ist ein Modell für die „Ewigkeit“ gedacht, kommt auch noch ein Schrumpfschlauch in Betracht – Kabel durch den Schlauch ziehen, mit einem Feuerzeug vorsichtig erwärmen und fertig ist ein kompakter Kabelstrang.

Quellen

- [1] fischertechnik: *Hinweise zur Verdrahtung*. In: *Hobby 3*. Fischer-Werke, Tumlingen, 1973, S. 15.
- [2] fischertechnik: *Stromverzweigung*. In: *Hobby 3*. Fischer-Werke, Tumlingen, 1973, S. 11.
- [3] fischertechnik: *Tips für die Verdrahtung*. In: *Experimentierbuch Elektromechanik*. Fischer-Werke, Tumlingen, 1981, S. 20.
- [4] Harald Steinhaus: *Neue ft-Teile selbst gemacht: Teile Modding*. [ft:pedia 3/2011](#), S. 20-24.

fischertechnik-Basiswissen

Perlentauchen (Teil 4)

Stefan Falk

In dieser Folge stellen wir die wichtigsten Elemente der fischertechnik-Elektronik aus fünf Elektronik-Generationen von 1969 bis heute vor.

Generation 1: Licht-Elektronik

Tatsächlich stammt der erste Elektronik-Kasten von fischertechnik aus dem Jahre 1969 – und war damals der Konkurrenz weit voraus: Der *l-e 1* und sein kleiner Bruder *l-e 2* enthielten je einen *Licht-Elektronik-Stab*. Der verwendete das Gehäuse des damals üblichen Batteriestabs (in den drei Babyzellen passten); siehe Abb. 1 und 2. Der Name Licht-Elektronik stammt daher, dass in den beiden Kästen als Sensoren die ersten Fotozellen enthalten waren. Andere Sensoren (abgesehen von den Tastern und Elektromechanik-Teilen) gab es damals noch nicht von fischertechnik.

Neben der Stromversorgung besitzt der Elektronikstab einen Eingang für die Fotowiderstände, ein Potentiometer zum Einstellen der Empfindlichkeit und mehrere Ausgänge, die je nach Zustand der Fotozellen (beleuchtet/unbeleuchtet) von einem eingebauten Relais geschaltet werden:

1. Ein Ausgangspaar bekommt genau dann Strom, wenn der Stab nicht durchschaltet.
2. Ein Ausgangspaar bekommt genau dann Strom, wenn der Stab durchschaltet.
3. Das dritte schließlich wird je nach Zustand umgepolt, um z. B. bei einem Motor die Drehrichtung umzukehren, sobald die Fotozelle beleuchtet wird.



Abb. 1: Licht-Elektronik-Stab von 1969

Der rote Schalter dient nicht nur zum Ein- und Ausschalten, sondern er bestimmt auch eine von zwei Betriebsarten. In Stellung „1“ schaltet der Stab einfach durch, sobald am Eingang ein hinreichend kleiner Widerstand liegt, also z. B. eine angeschlossene Fotozelle genügend stark beleuchtet wird. Stellung „2“ führt zu einer Selbstsperrung des Relais. Man muss dann den roten runden Taster drücken und die Fotozelle beleuchten, damit der Stab durchschaltet. Sobald das Signal am Eingang einmal ausbleibt, bleibt der Stab im Ruhezustand, auch wenn das Signal wieder kommt. Das kann man gut für Alarmschaltungen verwenden, bei denen eine einmalige kurze Unterbrechung einer Lichtschranke „gespeichert“ bleiben soll. Weitere Informationen über Selbstsperrung und Selbsthaltung finden sich übrigens in *Motorsteuerungen (4)* in ft.pedia 4/2011.

Es sei wärmstens empfohlen, sich die faszinierende Vielfalt der Modelle anzuschauen, die in den Anleitungsheften [1] zu

den l-e-Kästen geboten wurden. Unbedingt herunterladen! Wer das nicht kennt, dem werden die Augen aufgehen – fabelhaft raffinierte Modelle in für heutige Verhältnisse außergewöhnlich sparsamer Bauweise. Die Abb. 3 bis 5 können lediglich ein paar kleine Appetithappen darstellen. Schon im Jahr der ersten Mondlandung also konnte man mit fischertechnik in Elektronik und Optik hineinschnuppern.

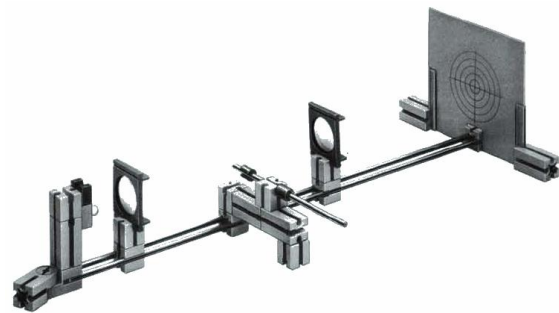


Abb. 3: Optische Bank zur Untersuchung von Linsen und Blenden [1]

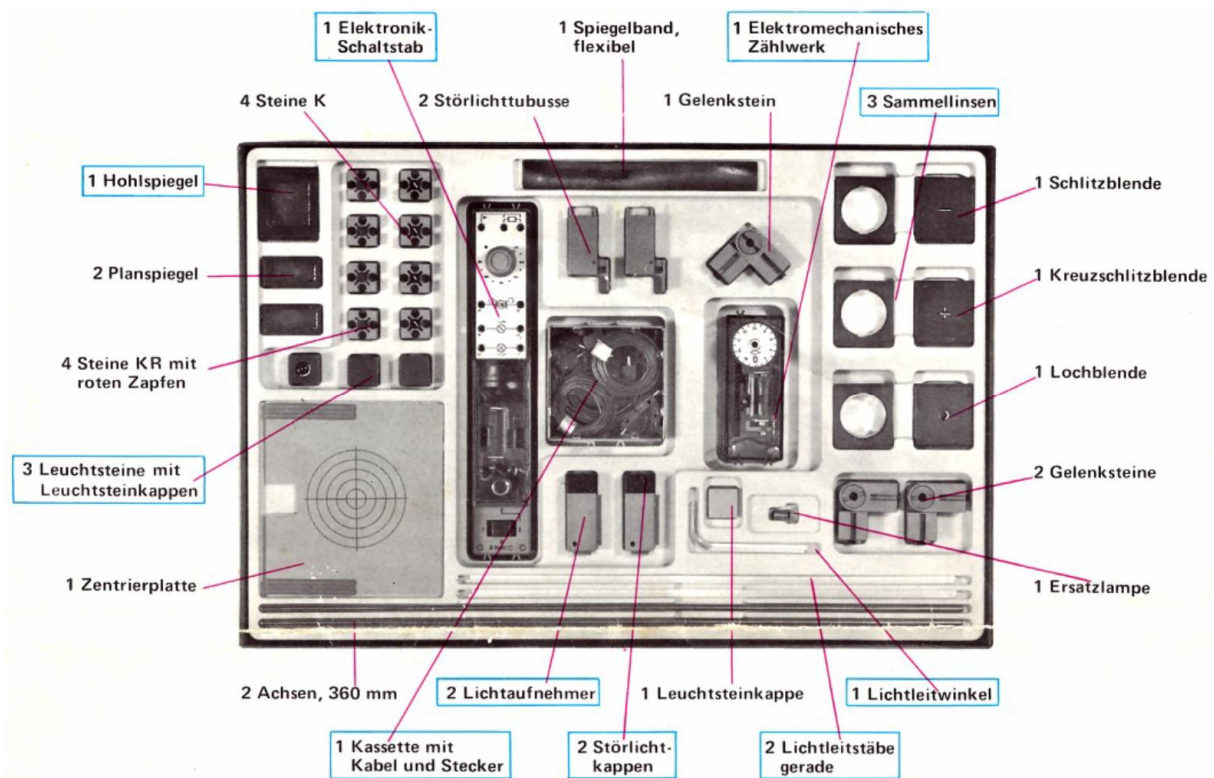


Abb. 2: Inhalt des l-e1 Licht-Elektronik-Kastens [1]

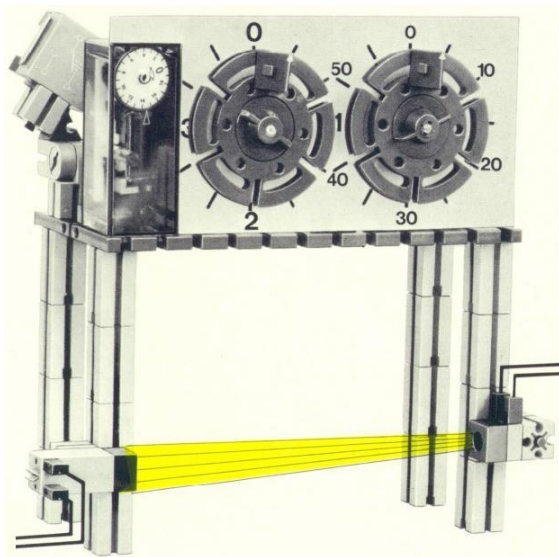


Abb. 4: „Nun wollen wir einmal auf einen Sportplatz mit einer Aschenbahn gehen. Die Ziellinie befindet sich unter der elektromotorisch angetriebenen Stoppuhr...“ [1]

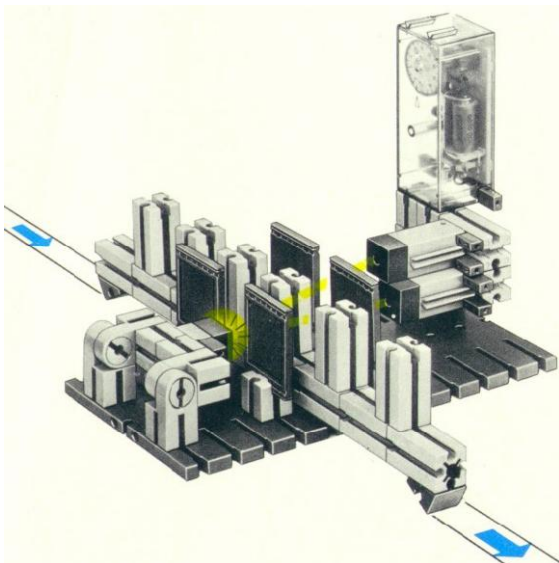


Abb. 5: Vorwärts-Zähler: „Solche Anlagen benötigt man z. B. zum Zählen von Personen, die eine Ausstellung betreten. Diejenigen, die in entgegengesetzter Richtung die Lichtschranke passieren, werden nicht mitgezählt...“ [1]

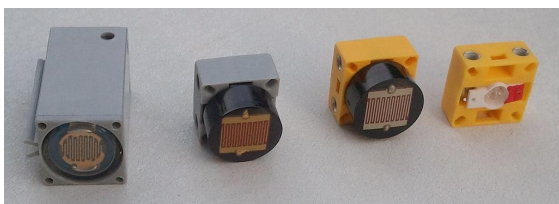


Abb. 6: Lichtaufnehmer

Sensoren und optische Teile

Die 1969 erstmals eingeführte Fotozelle (auch Fotowiderstand genannt) hat im Laufe der Zeit eine interessante Entwicklung mitgemacht: Abb. 6 zeigt von links nach rechts die ursprüngliche Fotozelle, die später auf einen Lampenbaustein montiert kam, und schließlich den heute aktuellen Fototransistor (der eher wie ein Schalter auf Licht reagiert und nicht wie ein analog veränderlicher Widerstand).

Damit die Fotozellen vor unerwünschtem seitlichen Lichteinfall geschützt werden, gibt es *Störlichtkappen* mit verschiedenen großen Bohrungen (1, 2, 4 und 8 mm) und einen 30 mm langen *Störlichttubus* mit einer stufenlos einstellbaren Einlassabdeckung. Auf einen Störlichttubus passen weitere solche oder auch Störlichtkappen:

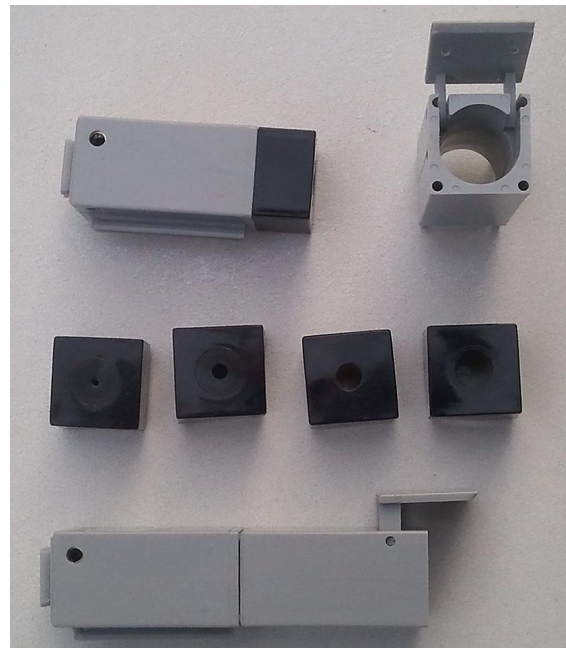


Abb. 7: Störlichtkappen und Störlichttubus auf einer Fotozelle



Abb. 8: Ein Lichteinfall-Tunnel

Ebenfalls schon im 1969er 1-e 1-Kasten gab es das erste Mal optische Linsen von fischertechnik, und zwar in verschiedenen Brennweiten (erkennbar an der Dicke der Linsen). Sie fanden sich später auch in den Elektronikkästen hobby 4, ut-4 Steuern + Regeln (1971) und ec3 Optik + Akustik (1975). Erst in 2013 nahm fischertechnik dieses Thema mit dem neuen *Optics*-Baukasten endlich wieder auf.

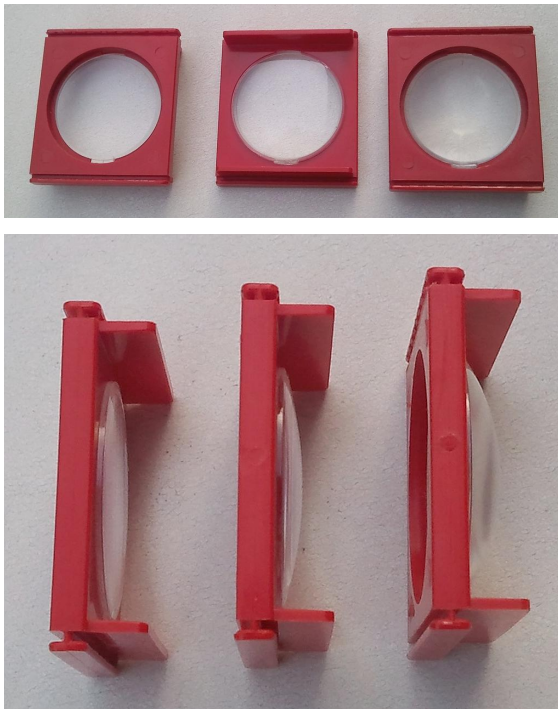


Abb. 9: Linsen mit Brennweiten 140 mm, 70 mm und 35 mm

In Ergänzung dazu gab es, insbesondere für Untersuchungen an *optischen Bänken* ([2], siehe Abb. 3), Blenden in Kreuz-, Schlitz- und Lochform:

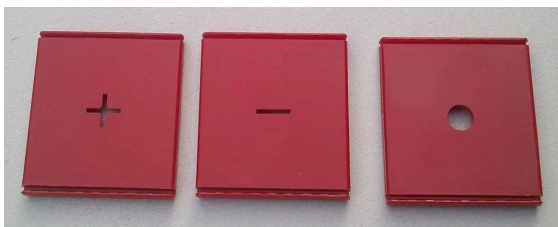


Abb. 10: Blenden

Sogar eine geeignete „Zielscheibe“ für Optikversuche stand zur Verfügung:

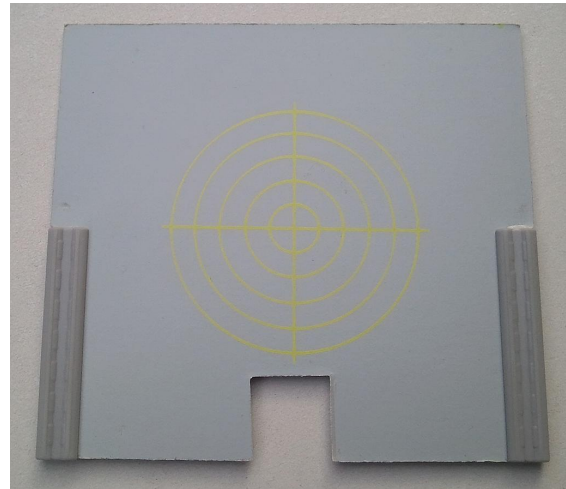


Abb. 11: Zentrierscheibe

Sehr interessant sind auch die verschiedenen Spiegel in diesen Kästen. Es gibt sie sowohl zum Aufklipsen als 15 · 30 mm Planspiegel als auch als 30 · 30 mm Hohlspiegel-Baustein:



Abb. 12: Plan- und Hohlspiegel

Um die Versuchsmöglichkeiten endgültig grenzenlos zu machen, existieren auch ein biegbares Spiegelband, mit dem man z. B. Parabolspiegel bauen kann, sowie gebogene und gerade Lichtleitstäbe. Letztere kann man sogar bei vorsichtiger Erwärmung beliebig biegen und so Licht durch geschwungene Wege z. B. zu einer Lichtschränke bringen. Anwendungsmöglichkeiten für all diese Teile gibt es wie schon gesagt zuhauf in den kostenlos herunterladbaren Anleitungen [1].

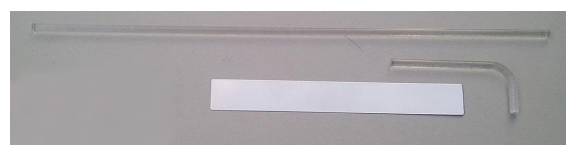


Abb. 13: Spiegelband und Lichtleitstäbe

Generation 2: „Silberlinge“

1971/72 kam die zweite Generation fischertechnik-Elektronik auf den Markt, und zwar in den Baukästen *hobby 4* aus der hobby-Reihe und des *ec* aus dem normalen Programm. Darin ist immer noch diskrete Elektronik verwendet, also einzelne (in

Handarbeit!) auf Platinen gelötete Widerstände, Kondensatoren, Dioden und Transistoren. Anstatt eines einzigen Elektronik-Steines gibt es aber hier eine ganze Parade von digital arbeitenden Schaltelementen (der Minuspol der Stromversorgung gilt als logische „1“, der Pluspol als logische „0“).

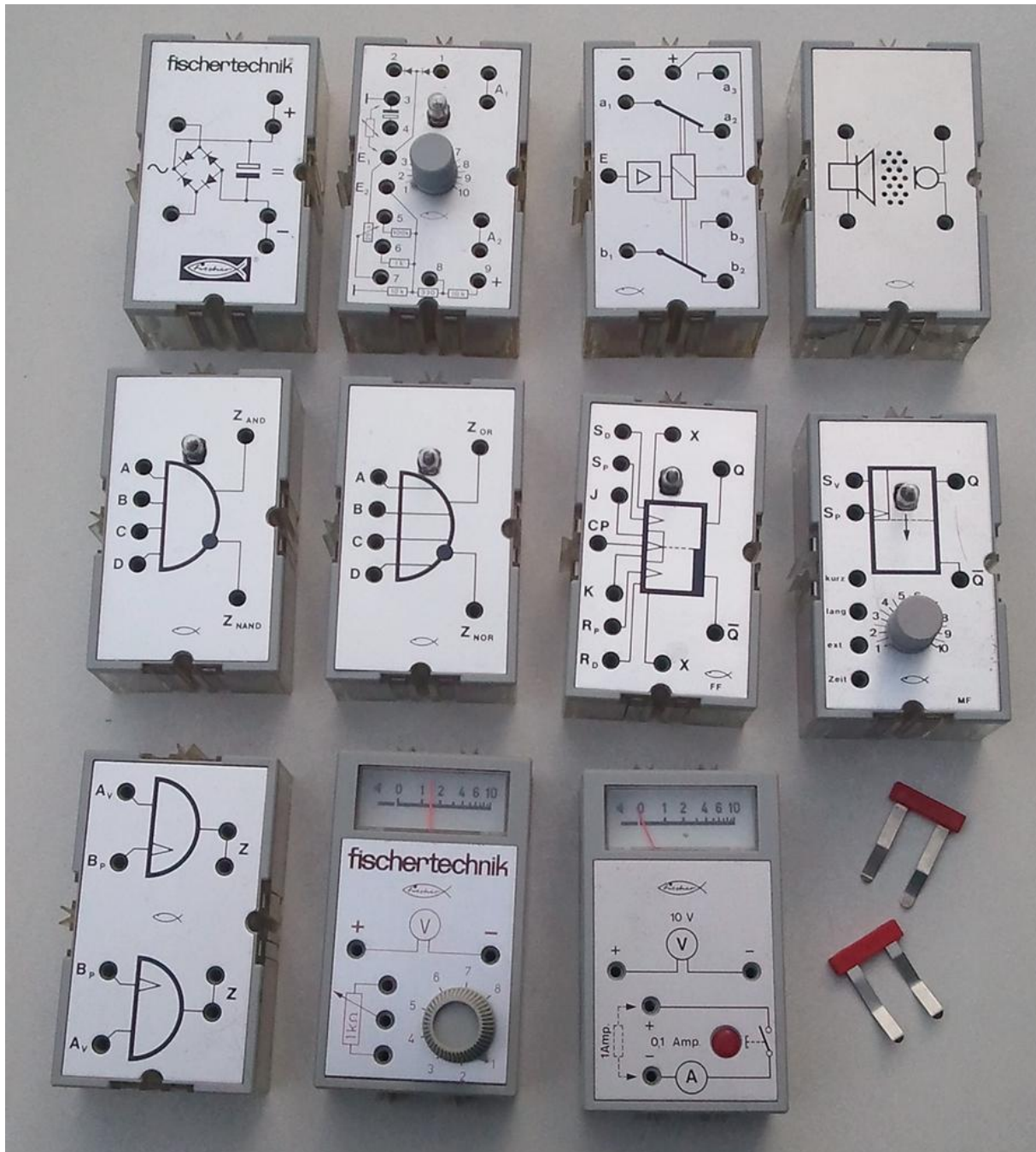


Abb. 14: Die wichtigsten Elektronik-Silberlinge, das Voltmeter, das Volt-/Amperemeter sowie die Stromversorgungsstecker für die Silberlinge



Abb. 15: Silberlinge von der Seite

Abb. 14 zeigt, zeilenweise von links oben nach rechts unten, folgende Bausteine:

1. Den h4GB *Gleichrichterbaustein* für eine Stromversorgung mit geglätteter Gleichspannung.
2. Den extrem flexiblen h4G Grundbaustein, einen *Operationsverstärker*, der die Ausgänge umschaltet, wenn die Differenz der Signale an den zwei Eingängen E1 und E2 einen bestimmten Wert überschreitet. Durch entsprechende Verschaltung kann der für Signalverarbeitung, Zeitverzögerung, Oszillatoren, Tongeneratoren und Unzähliges mehr eingesetzt werden.
3. Den h4RB *Relaisbaustein mit Verstärker*. Der alleine kann schon mit einer Fotozelle verwendet werden (anders als die Elektromechanik-Relais, die keinen Verstärker haben).
4. Den h4ML *Mikrofon-/Lautsprecherbaustein* – ein einfacher Piezo-Lautsprecher. Er kann auch (mit einem h4G) als Mikrofon genutzt werden, um Maschinen zu bauen, die auf Klatschen oder ähnliche Geräusche reagieren.
5. Den h4ON *OR/NOR-Baustein*: Er schaltet die Ausgänge, wenn mindestens einer der vier Eingänge mit „-“ verbunden ist.
6. Den h4AN *AND/NAND-Baustein*: Er schaltet die Ausgänge, wenn alle belegten Eingänge mit „-“ verbunden sind.
7. Den h4FF *Flip-Flop-Baustein*: Er kann ein Signal (ein „Bit“) speichern. Seine vielen Eingänge dienen zum Umschalten, direkten Setzen/Zurücksetzen oder auch zum Setzen/Rücksetzen bei einer *Flanke*, also dem Wechsel eines Signals von 0 (Plus) nach 1 (Minus). Mit mehreren dieser Bausteine lassen sich u. a. Zähschaltungen aufbauen.
8. Den h4MF *Mono-Flop-Baustein*, der bei einer 0-1-Flanke am Eingang die

Ausgänge eine einstellbare Zeit lang umschaltet – ein Zeitglied also.

9. Den h4DA Dynamisch-AND-Baustein. Er enthält zwei gleiche Schaltungen mit dem Zweck der Flankenerkennung. Seine Ausgänge geben einen ganz kurzen Impuls ab, wenn am Eingang ein Wechsel von 0 auf 1 stattfindet.
10. Das Ur-Voltmeter von fischertechnik. Es misst von null bis zehn Volt Gleichspannung und hat noch ein Potentiometer eingebaut.
11. Das Volt-/Amperemeter, welches nicht nur eine Spannung (in Volt) sondern auch die Stromstärke (in Ampere, bis 0,1 A) messen kann.
12. Die roten Zwischenstecker schließlich verteilen die Versorgungsspannung an alle Silberlinge, wenn man diese zusammensteckt und jeweils einen der Zwischenstecker einschiebt.

In Kombination kann man mit Silberlingen fast beliebig komplexe Steuerungsschaltungen herstellen.

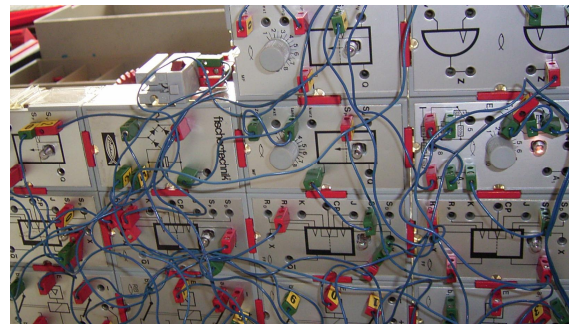


Abb. 17: Ausschnitt aus der elektronischen Steuerung eines Free-Fall-Towers

Es gab noch einige weitere, nicht so wichtige Silberlinge mit einzelnen Transistoren oder Potentiometern oder auch einfach nur ein paar miteinander verbundenen Kontakten. Die entstammen dem Schulprogramm (den ut-Kästen) und einem Analog-Elektronik-Kasten namens *hobbylabor*.

Das Begleitbuch zum *hobbylabor* schlägt allerdings alles: Auf ganzen 300 Seiten bietet es einen ausführliche Kursus in Elektrik, Elektronik und den damit verbundenen Gebieten der Physik. Sämtliche hier angesprochenen Handbücher können übrigens in der ft-Datenbank [3] oder bei den holländischen fischertechnik-Fans [4] heruntergeladen werden.



Abb. 16: Rückansicht der Silberlinge mit den handgelöteten Platinen

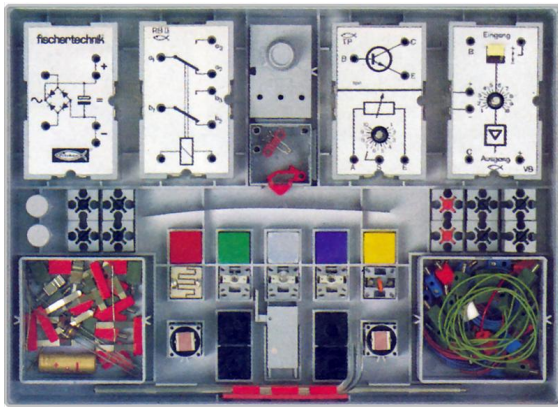


Abb. 18: Eine der mehreren u-t-4-Varianten

Außer der Reihe: Die Elektronik-Box 1000

1974 brachten die Fischerwerke ein kofferrörmiges Elektronik-Labor auf den Markt, die *Elektronik-Box 1000*. Es gab sie in leicht unterschiedlicher Bestückung. Ihr Einsatzzweck war aber nicht das Steuern von fischertechnik-Modellen, sondern das

Erlernen der Elektronik selbst. Es handelt sich also um ein Ausbildungs-Hilfsmittel außerhalb des fischertechnik-Programms – dennoch sei sie der Vollständigkeit halber erwähnt.

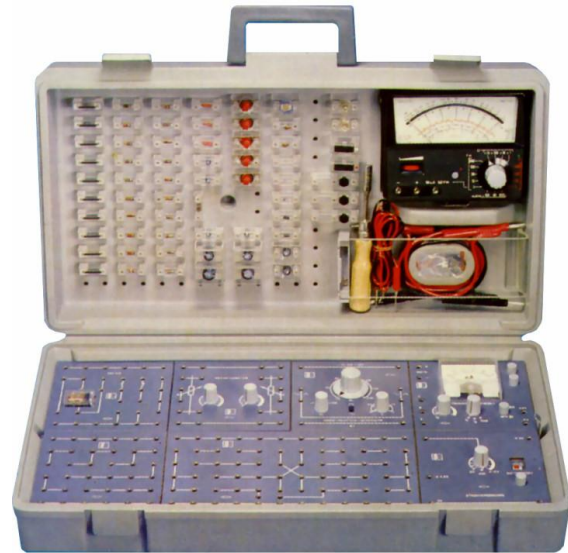


Abb. 20: Elektronik-Box 1000

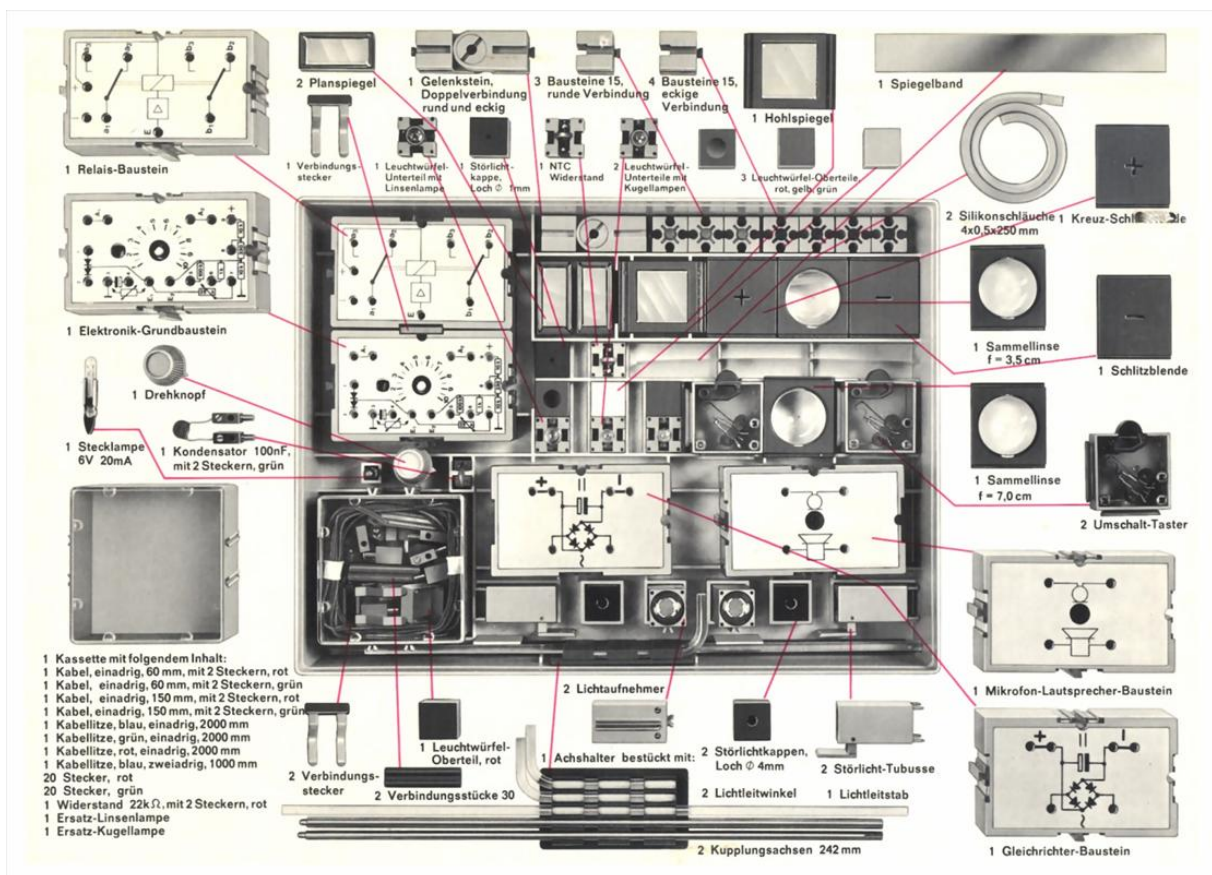


Abb. 19: Inhalt der ersten Version des hobby-4-Baukastens

Ein besonderes Merkmal war die Möglichkeit, eine Vielzahl elektronischer Standardschaltungen ganz ohne Kabel aufbauen zu können. Die größte Fläche auf dem Kofferunterteil nahmen bereits geschickt miteinander verbundene Buchsen ein. Diese „vorverdrahtete Schaltung“ brauchte dann nur noch an den richtigen Stellen mit den einsteckbaren elektronischen Bauelementen wie Widerständen oder Transistoren versehen zu werden. Fast alle Schaltungen des Begleitbuches konnten so ohne zusätzliche Kabel aufgebaut werden.

Spezialkasten 1: Das Elektronik-Praktikum

Ein recht seltener Kasten ist das *Elektronik-Praktikum* von 1977. In diesem Kasten geht es ebenfalls um Analogelektronik. Schaltungen werden mit einzelnen Widerständen, Kondensatoren und Transistoren realisiert, deren Drahtenden in speziell dafür entworfene kleine rechteckige Kontaktbausteine gesteckt werden.



Abb. 21: Elektronik-Praktikum

Das 84 Seiten starke Handbuch bietet nicht nur eine Einführung in die Elektronik, sondern zeigt auch viele Anwendungen in fischertechnik-Modellen.

Spezialkasten 2: Das IC-Digital-Praktikum

Ähnlich wie das Elektronik-Praktikum, nur über Digitalelektronik, erschien 1977 das *IC-Digital-Praktikum*:



Abb. 22: IC-Digital-Praktikum

Erstmals wurden in diesem Kasten integrierte Schaltungen (ICs) bei fischertechnik verwendet. Auch dieser Kasten kam mit einem umfangreichen, 96seitigen Begleitbuch. Zudem führte dieser Kasten ein neues Verkabelungssystem ein, welches wir gleich noch näher betrachten wollen.

Gleichzeitig war dies der letzte fischertechnik-Kasten, in dem ein Relais die Ansteuerung von Motoren und anderen Verbrauchern erledigte. Bis hier konnte oder durfte man Motoren nicht direkt an die Elektronik anschließen. Beim Lichtelektronik-Stab konnte man das gar nicht, und die Silberlinge durften ausgangsseitig nur mit max. 20 mA belastet werden.

Generation 3: Elektronik mit integrierten Schaltungen

1981 wurde die Technik des IC-Digital-Praktikums in Form des Baukastens *Elektronik* ins normale Spielprogramm aufgenommen:



Abb. 23: Baukasten „Elektronik“

Zu den zwei neuen Elektronik-Bausteinen des IC-Digital-Praktikums kamen mit diesem Kasten drei weitere hinzu. Abb. 24 zeigt in der oberen Reihe die drei Bausteine des *Elektronik*-Kastens: Einen für die Stromversorgung, einen Schwellwertschalter, der zwei identische Verstärkungs- und Steuerungsschaltungen enthält, und schließlich eine Leistungsstufe – erstmals wurden Motoren und Lampen rein elektronisch ohne Relais angesteuert!

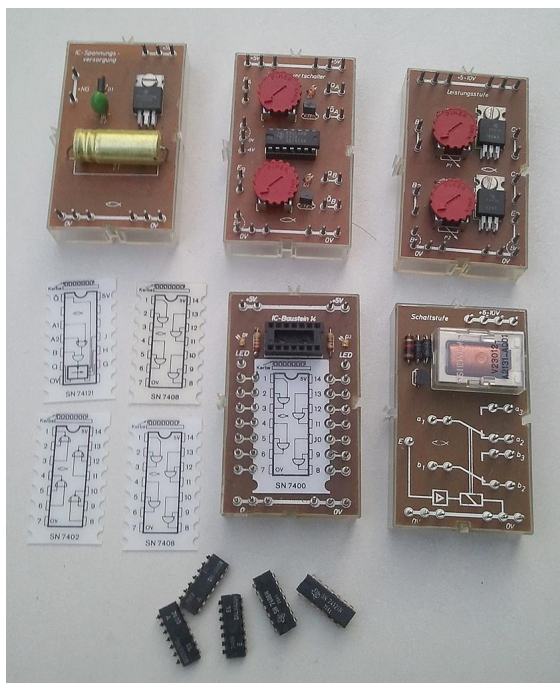


Abb. 24: 80er-Jahre Elektronikbausteine

Die untere Reihe desselben Bildes zeigt den *IC-Baustein 14* für 14polige ICs (es gab auch eine Fassung mit 16 Polen und, wenn auch selten, weitere spezielle Bau-

steine wie Siebensegmentanzeigen und dergleichen). In diese Bausteine konnte man verschiedene handelsübliche ICs stecken, während ein austauschbares Einlegeplättchen die Schaltung des ICs und die Anschlüsse zeigten.

Rechts unten in Abb. 24 findet sich die Relais-Endstufe aus dem *IC-Digital-Praktikum*.

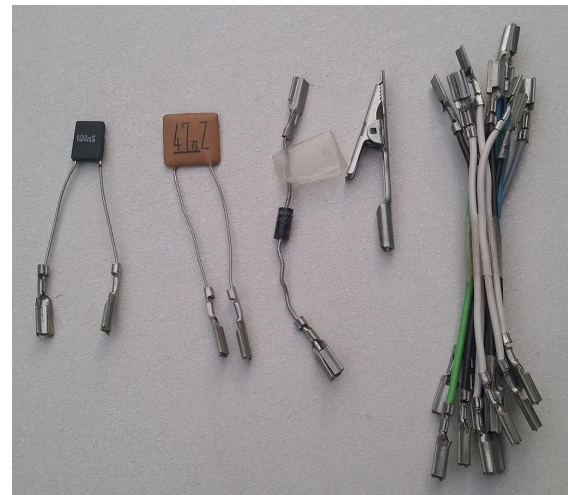


Abb. 25: Kondensatoren, Diode, Krokodilklemme und Steckleitungen aus dem Baukasten „Elektronik“



Abb. 26: Der Lautsprecher aus „Elektronik“

Wie man auf Abb. 25 sieht, wurde mit diesen Elektronikbausteine ein neues Stecksystem eingeführt – wahrscheinlich aus Kostengründen. Natürlich gab es Übergänge ins normale fischertechnik-

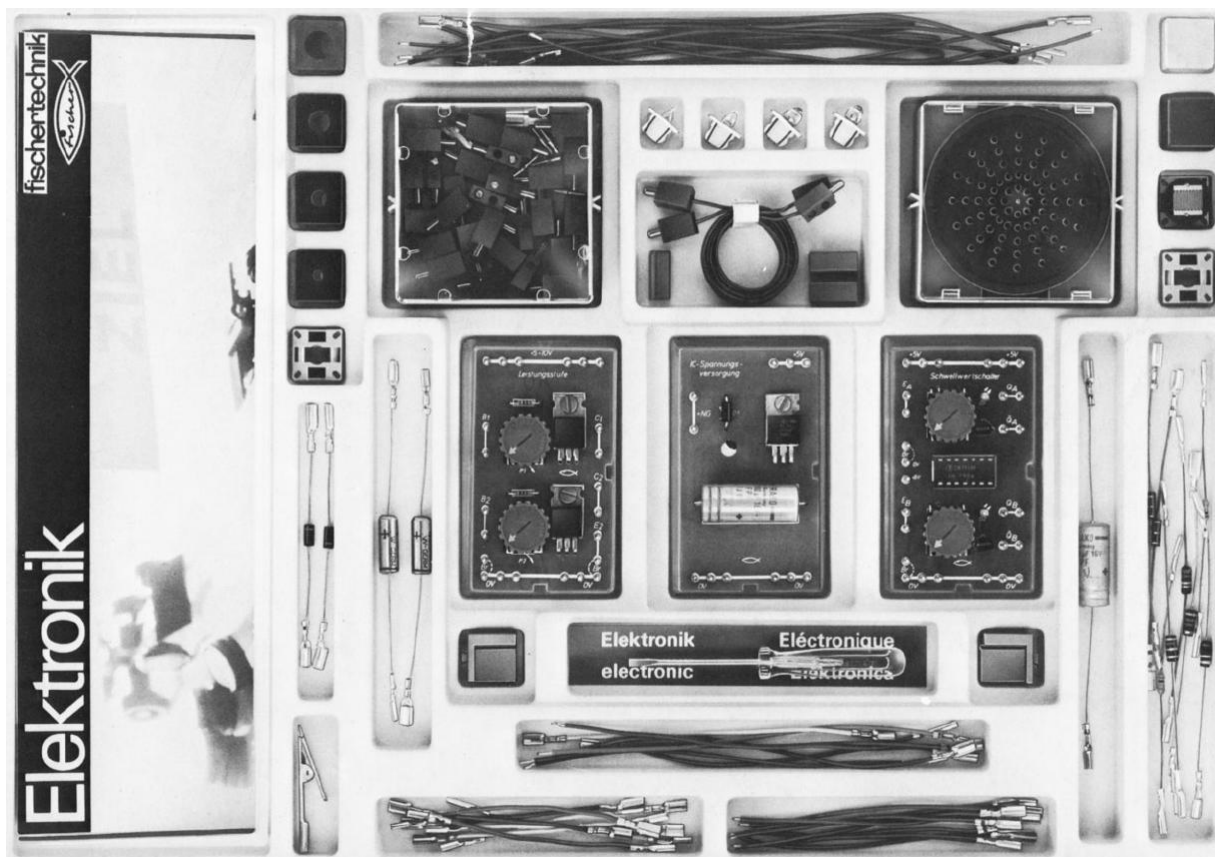


Abb. 27: Inhalt des „Elektronik“-Baukastens

Steckersystem, um Sensoren und Verbraucher anschließen zu können.

fischertechnik's erster Lautsprecher, der h4ML Mikrofon/Lautsprecher-Baustein des hobby-4, bekam einen würdigen Nachfolger in Form eines richtigen Membran-Lautsprechers (Abb. 26).

Generation 4: Profi Sensoric und der Flip-Flop-Baustein

1991, zu Zeiten der „neuen“ fischertechnik mit schwarzen Bausteinen und gelber Statik, war der *Profi Sensoric*-Kasten die einzige Möglichkeit zum Steuern von Maschinen im fischertechnik-Programm. Er nahm die Stelle der Elektromechanik- und der Elektronik-Kästen ein. Alle Schalt- und Regelemente wurden auf ein einziges reduziert: das rote Flip-Flop-Modul (Abb. 28). Dafür gab es den ersten Reed-Kontakt (Magnetfeld-Sensor) bei

fischertechnik. Zudem wurden die bisher verwendeten Fotowiderstände („Fotozellen“), die ihren Widerstand kontinuierlich mit der Beleuchtungsstärke verringerten, durch den neuen *Fototransistor* ersetzt, der ab einer bestimmten Helligkeit eher schlagartig durchschaltet.



Abb. 28: Das Flip-Flop aus dem Baukasten Profi Sensoric

Die verschiedenen Sensoren und die Taster können an zwei Eingänge angeschlossen werden. Löst einer der Sensoren aus, schaltet das Flip-Flop einen von zwei Ausgängen ein und den anderen aus – und behält diesen Zustand, auch wenn der Sensor kein Signal mehr liefert. Der Zustand des Flip-Flops richtet sich also danach, welcher der beiden Eingänge zuletzt ein Signal bekam. Zusätzlich zu den Drehpotentiometern zur Einstellung der Empfindlichkeit beider Eingänge dient ein Schalter über dem ersten Eingang dazu, diesen zu invertieren: Der Umschaltvorgang findet dann statt, wenn der Sensor gerade nicht auslöst.

Wenngleich die Anleitung einige interessante Maschinen vorstellte, die mit dem Flip-Flop gesteuert wurden, ist aber doch ein großer Verlust an Funktionalität mit der Einführung des *Profi Sensoric* zu verzeichnen. Zum einen waren die schier unendlichen Möglichkeiten der Silberlinge oder der IC-Elektronik mit dem Flip-Flop-Modul unerreichbar. Zudem wurde das Wissen um die Wirkungsweise der Elektronik und um Schaltungstechniken nur noch extrem ausgedünnt vermittelt. Das Flip-Flop begann somit den Trend zur „[Black Box](#)“, der sich, was das Verständnis für Elektrik und Elektronik angeht, bis zu den aktuellen Computerinterfaces fortsetzt: Man baut zwar durchaus funktionierende Modelle, aber was da genau in dem magischen Steuerbauteil vor sich geht, bleibt im Wesentlichen verborgen.

Generation 5: Das E-Tec-Modul

Mit dem heute noch aktuellen E-Tec-Modul aus dem entsprechenden Baukasten „E-Tec“ bzw. „E-Tech“ (es gab ihn unter beiden Bezeichnungen) schließt sich die Geschichte der fischertechnik-Elektronik. Gleichzeitig füllt dieses Bauteil durch seine Einstellmöglichkeiten die Funktions-

lücke, die mit dem Flip-Flop-Modul gerissen wurde.

Tatsächlich enthält dieses kleine Modul nicht nur einfache Elektronik in Form von integrierten Schaltkreisen. In ihm steckt mit einem Mikrocontroller ein vollständiger kleiner Computer! Die vielfältigen Steuerfunktionen können mit den kleinen Schaltern („DIP-Switches“) eingestellt werden, und die im E-Tec eingebaute Software (!) ist es dann, die die beiden Eingangssignale verarbeitet und die drei Ausgänge entsprechend steuert. Eine vollständige Zusammenstellung der Schalterkombinationen findet sich in der ft-Datenbank [5].

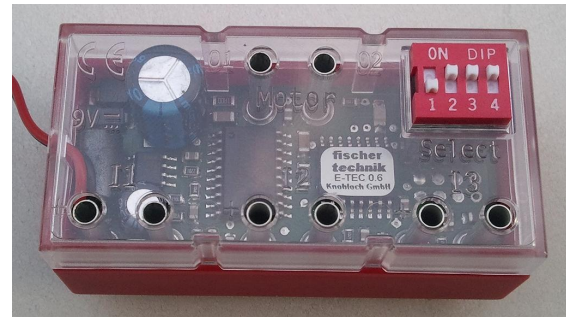


Abb. 29: Das E-Tec-Modul

Die handelsübliche Version des E-Tec hat viele Vorteile gegenüber den vorherigen Elektronik-Generationen: Sie ist sehr klein, durch die Schaltereinstellungen ein guter Ersatz sogar für die vielen altherwürdigen „Silberlinge“, und sie läuft mit den heute verwendeten 9 V Versorgungsspannung. Mehrere E-Tecs lassen sich wunderbar zu komplexeren Schaltungen kombinieren.

Zwei Nachteile hat das E-Tec allerdings: Zum einen hat es, anders als ausnahmslos sämtliche fischertechnik-Elektronik vorher, keine Möglichkeit mehr, die Empfindlichkeit der Eingänge einzustellen. Man kann die Empfindlichkeit bei Bedarf höchstens verringern, indem man Widerstände zusammen mit den Sensoren verwendet. Eine Erhöhung der standardmäßigen Empfindlichkeit ist mit dem E-Tec allein

ohne selbst gebastelte Elektronik aber leider nicht möglich.

Der zweite Nachteil besteht in der Verarbeitungsgeschwindigkeit: Während man z. B. mit den Silberlingen problemlos Signale mit Frequenzen von 20 kHz produzieren und verarbeiten konnte, geht das beim E-Tec leider nicht mehr. Das eingebaute Programm für den winzigen Computer darin wartet nämlich absichtlich etwas, bevor es einem an den Eingängen anliegenden Signal „glaubt“, damit das unvermeidliche „Prellen“ angeschlossener Tasten, also das sehr rasche Schließen und Öffnen beim Aufeinanderprallen der Kontakte, die Steuerung des Modells nicht beeinträchtigt.

Aber sogar dafür gibt es Abhilfe: Auf Anfrage kann man bei der Knobloch electronic GmbH, dem Entwickler und Hersteller des E-Tec-Moduls, eine „Ü18“-Version bekommen. Die besitzt eine etwas geänderte Software und kann schneller wechselnde Eingangssignale verarbeiten. Dafür muss man, wenn Taster direkt an die Eingänge angeschlossen werden sollen, diese geeignet entprellen.

Nachbauten

Mehrere Fans haben Nachbauten von fischertechnik-Elektronik entwickelt, darunter:

- *Thomas Habig* hat für praktisch alle Silberlinge Nachbauten erstellt, sowohl in der ursprünglichen negativen Logik

(Minus ist die logische 1 und Plus ist die logische 0) als auch in positiver Logik (wie sie beim E-Tec verwendet wird) [7].

- An derselben Stelle [7] findet sich auch eine holländische Beschreibung der Silberling-Nachbauten von *Peter Krijnen*.
- *Peter Storck* hat unter [8] Nachbauten von Elektronikbausteinen vom l-e1-Lichtelektronik-Stab über Silberlinge bis hin zum E-Tec beschrieben.

Quellen

- [1] Fischerwerke, [*l-e 1/2 Anleitungsbücher*](#).
- [2] Wikipedia: [*Optische Bank*](#).
- [3] [*Elektronisch gesteuerter Free-Fall-Tower*](#) ohne Computing-Elemente, ft-Community.
- [4] [*ft-Datenbank*](#)
- [5] Niederländische [*ft-Fans-Website*](#) mit vielen ft-Anleitungen
- [6] Fischerwerke, [*Dokumente zum E-Tec Modul*](#).
- [7] [*Elektronik-Nachbauten*](#) mehrerer fischertechnik-Fans, ft-Community.
- [8] [*Elektronik-Nachbauten von Peter Storck*](#)

Elektronik

Elektronisch gesteuerte Sortiermaschine

Stefan Falk

Nachdem wir in der ft:pedia Motorsteuerungen von einfachen Taster-Schaltungen bis zu elektromechanischen Programmsteuerungen dargestellt haben, leiten wir heute zu einer Reihe elektronisch gesteuerter Maschinen über. Den Anfang macht wieder ein echter Klassiker: Eine Maschine, die längere und kürzere Bauteile erkennt und trennt.

Sortiermaschinen haben bei fischertechnik eine lange Tradition. Bei Kästen aus vielen Elektronik-Generationen gab es ein oder sogar mehrere Modelle, die sich mit dem Aussortieren von zu hohen, zu langen und/oder zu kurzen Bauteilen befassten.

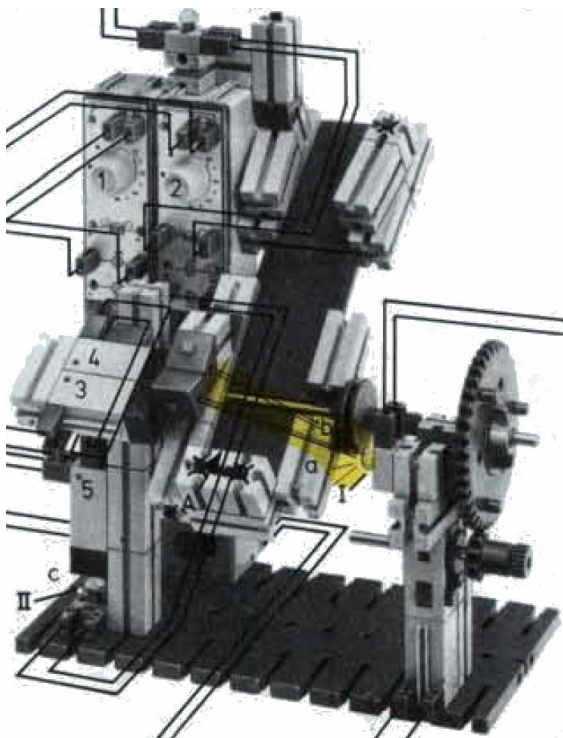


Abb. 1: Maschine zum Trennen von BS15 und BS30 aus der l-e1-Anleitung von 1969 [1]

So ging gleich der erste Elektronik-Baukasten l-e1 von 1969 [1] auf dieses Thema ein. Die Möglichkeiten des Elektronik-Schaltstabs (siehe *Perlen-*

tauchen (4) in dieser Ausgabe) wurden mit einer raffinierten Schaltung geschickt genutzt, um BS15 und BS30 mit einer ebenso raffinierten Mechanik vor bzw. hinter dem Modell abzulegen:

Der Umkarton des *hobby 4* aus den 1970ern zeigt auf seiner Vorderseite ein Modell, das auf einem zweistufigen Förderband BS30 aussortierte, BS15 aber durchließ. Auf der Rückseite war auch die Schaltung zu sehen.

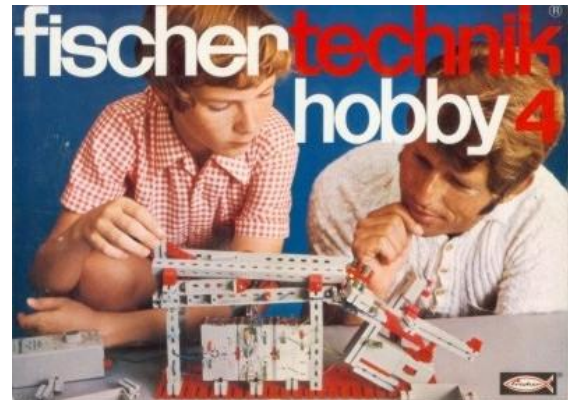


Abb. 2: Sortiermaschine auf dem Umkarton des hobby-4-Baukastens von 1972

Im Band 5 der hobby-4-Begleitbücher [2] wurden sogar nicht nur BS15 von BS30 getrennt, sondern zu einem 30-mm-Baustein zusammengesteckte BS15 mit gar keinem, einem oder zwei eingesteckten Verbindern 15 sortiert. Nur die mit einem Verbinder durchliefen das Förderband, während die ohne (zur kurz) und mit zwei

Verbindern (zu lang) vom Förderband heruntergeschoben wurden, in dem die beiden Varianten „zu kurz“ und „zu lang“ mit einigen weiteren Elektronik-Bausteinen unterschieden wurden.¹

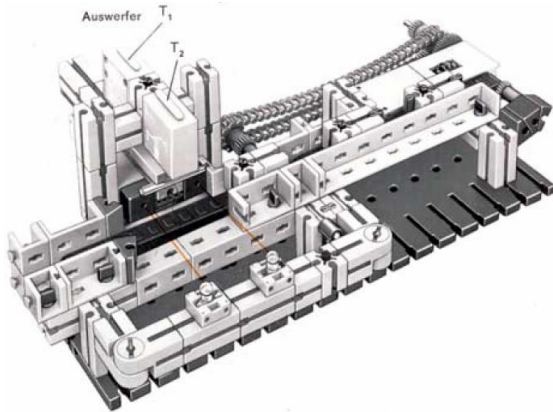


Abb. 3: Maschine zum Aussortieren zu kurzer und zu langer Bausteine aus dem hobby-4-Begleitband 5

Auch mit der dritten Generation Elektronik, wie sie im *IC-Digital-Praktikum* [3] und im *Elektronik-Baukasten* enthalten war, konnte man natürlich Sortiermaschinen bauen. Das Handbuch zum *IC-Digital-Praktikum* beschreibt eine weitere mechanische Variante: Eine Weiche leitet die Bausteine in eines von zwei Fächern (Abb. 4).

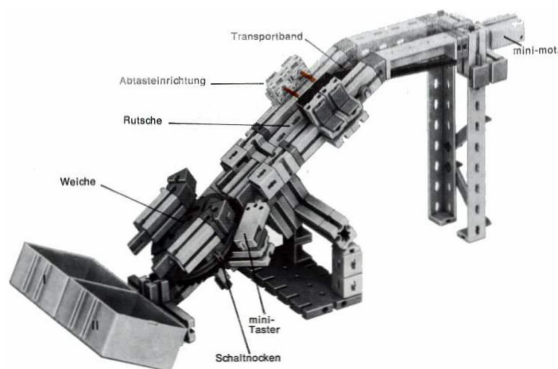


Abb. 4: Sortiermaschine aus dem *IC-Digital-Praktikum*

¹ Um 1990 herum hatte ich ein ähnliches Modell nur mit einigen weiteren Elektronikbausteinen dazu gebracht, die drei Längen in separate Fächer zu sortieren.

Funktionsweise

Die Grundidee all dieser Maschinen ist gleich: Wir verwenden zwei Lichtschranken, durch die die zu sortierenden Bausteine laufen. Wenn beide Lichtschranken unterbrochen werden, liegt gerade ein langer Baustein vor. Das führt zum Auswurf dieses Bausteins oder einer ähnlichen Aktion. Ein kurzer Baustein unterbricht immer nur eine der beiden Lichtschranken und löst den Auswurf damit nicht aus.

Selbstverständlich lässt sich so etwas auch mit den heute aktuellen Teilen realisieren. Unseren Modellvorschlag zeigen Abb. 8 und die weiteren Gesamtansichten.

Um die Sache interessant zu machen – insbesondere für diejenigen, die auch die älteren Sortiermaschinen kennen oder nachbauen möchten – verwenden wir eine weitere Art von Mechanik. Das Modell arbeitet so:

1. Sortiert werden Bausteine 30 mit bzw. ohne aufgestecktem BS5. Die mit BS5 gelten als „lang“, die ohne als „kurz“.
2. Diese Bausteine werden in ein Magazin in Form einer Rutsche eingelegt, und zwar mit den Nuten senkrecht stehend, damit die Lichtschranken zuverlässig unterbrochen werden (Abb. 5).

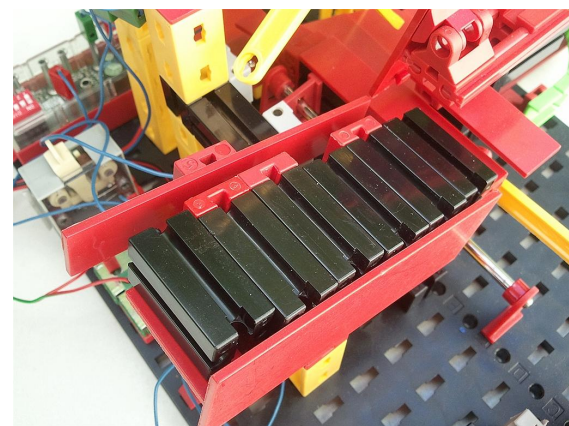


Abb. 5: Zu sortierende Bausteine im Magazin

3. Ein Exzenterantrieb bewegt einen Schlitten hin und her. Dieser nimmt

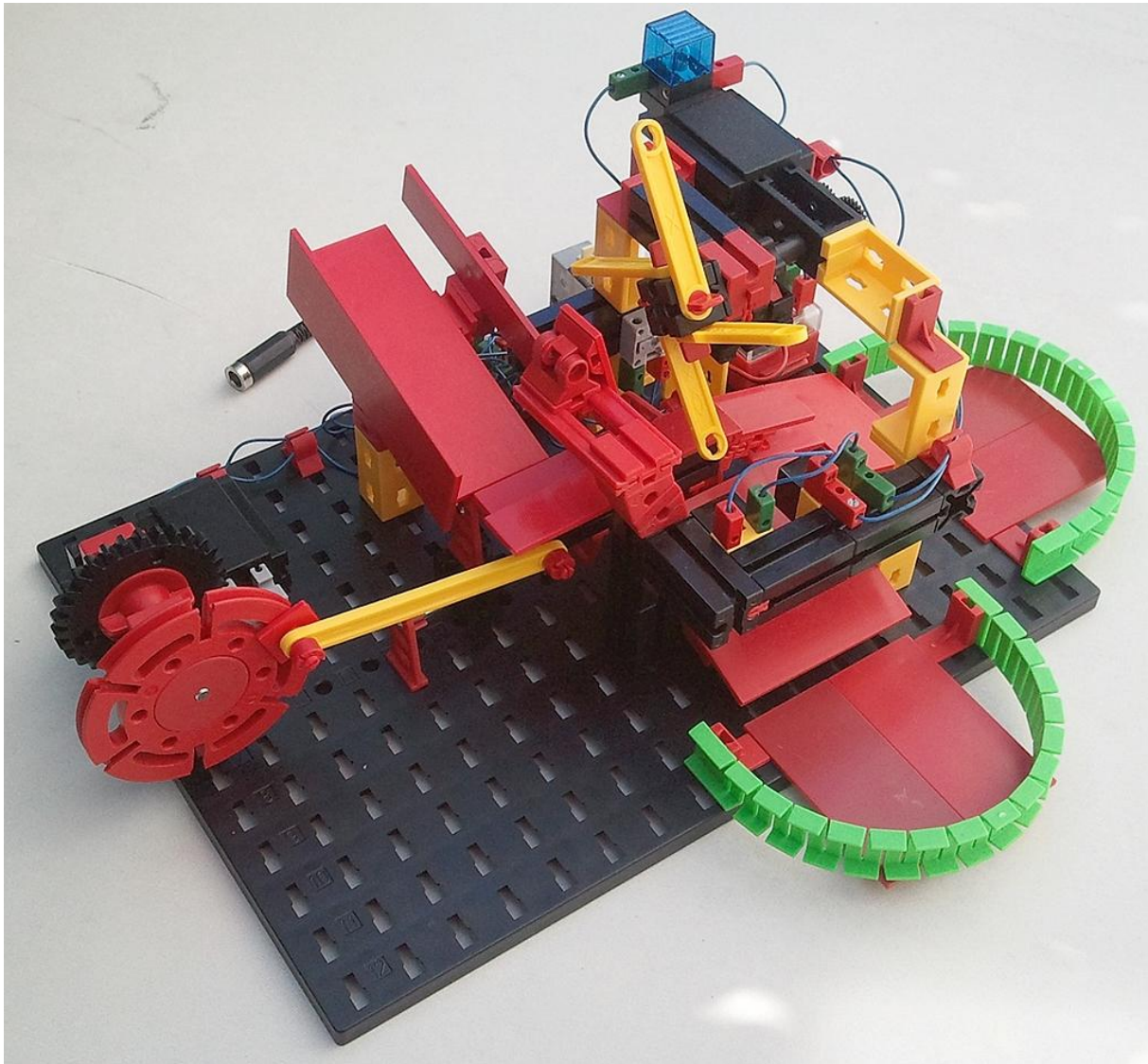


Abb. 8: Gesamtansicht (1) der Sortiermaschine

Baustein für Baustein einzeln auf und schiebt ihn nach vorne, wo zwei Lichtschranken auf die Bausteine warten.

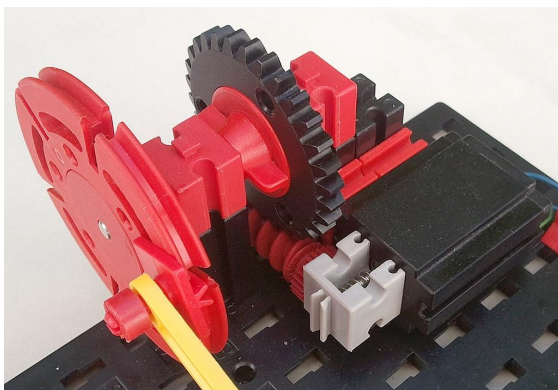


Abb. 6: Der Exzenterantrieb

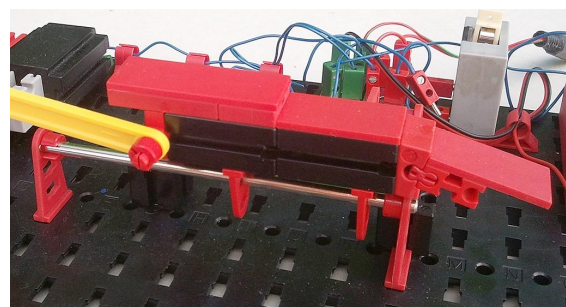


Abb. 7: Der Bausteinschlitten

4. Die beiden Lichtschranken sind so angeordnet, dass beide gleichzeitig genau dann unterbrochen werden, wenn ein langer Baustein ankommt. Ein kurzer Baustein passt zwischen die

beiden Lichtschranken und unterbricht also immer höchstens eine davon, aber nie beide gleichzeitig.



Abb. 9: Die Auswurfhebel

5. Eine kleine Klappe als Rücklaufsperre sorgt dafür, dass die Bausteine beim Zurückfahren des Schlittens nicht mit zurück genommen werden, sondern vorne bleiben. Kommt ein kurzer Baustein an, fällt er somit beim Zurückgleiten des Schlittens über die kleine Rutsche an dessen Vorderseite in die Ablage für kurze Bausteine.
6. Kommt aber ein langer Baustein in die Lichtschranken und unterbricht diese also beide gleichzeitig, wird eine Achse mit vier Hebeln daran um eine Viertelumdrehung gedreht. Der gerade richtig stehende Hebel wirft den langen Baustein seitwärts vom Schlitten

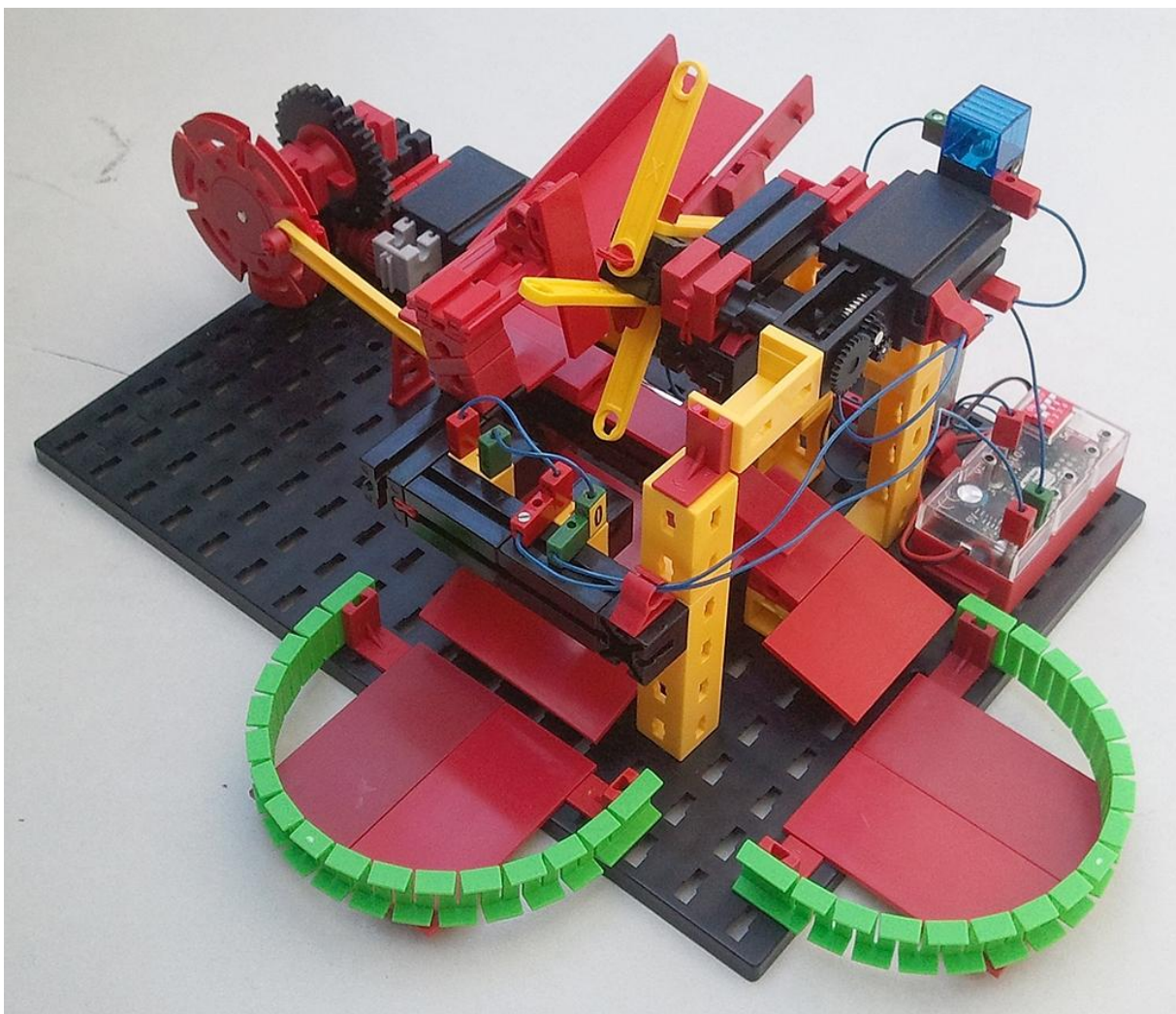


Abb. 10: Gesamtansicht (2) der Sortiermaschine

herunter in die Ablage für lange Bausteine.

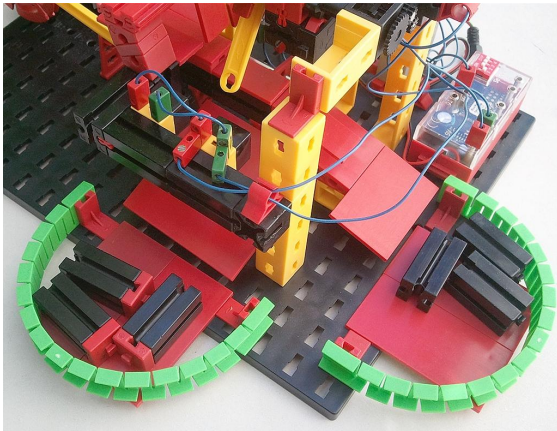


Abb. 11: Die sortierten Bausteine

7. Sobald der Schlitten wieder ganz zurück gezogen wurde, kann der nächste Baustein aus dem Magazin nachrutschen,

und der Vorgang wiederholt sich, bis alle Bausteine sortiert wurden.

Zum Bau des Modells

Das ganze Modell kann leicht Baugruppe für Baugruppe aufgebaut werden. Anhand der Gesamtansichten könnt ihr gut abzählen, wohin jede Komponente auf der Bauplatte 500 gehört.

Zweckmäßigerweise baut ihr zunächst den Exzenter (siehe Abb. 6). Der S-Motor wird mit vier Federnocken und zwei BS7,5 an zwei BS30 angesetzt und so justiert, dass seine seitlich abgehende Schnecke gut in das Zahnrad Z30 eingreift. Auf dessen Achse sitzt eine Drehscheibe mit einer *V-Aufnahmeachse rot* ([31124](#)), die genau die richtige Exzenterauslenkung bewirkt, wenn

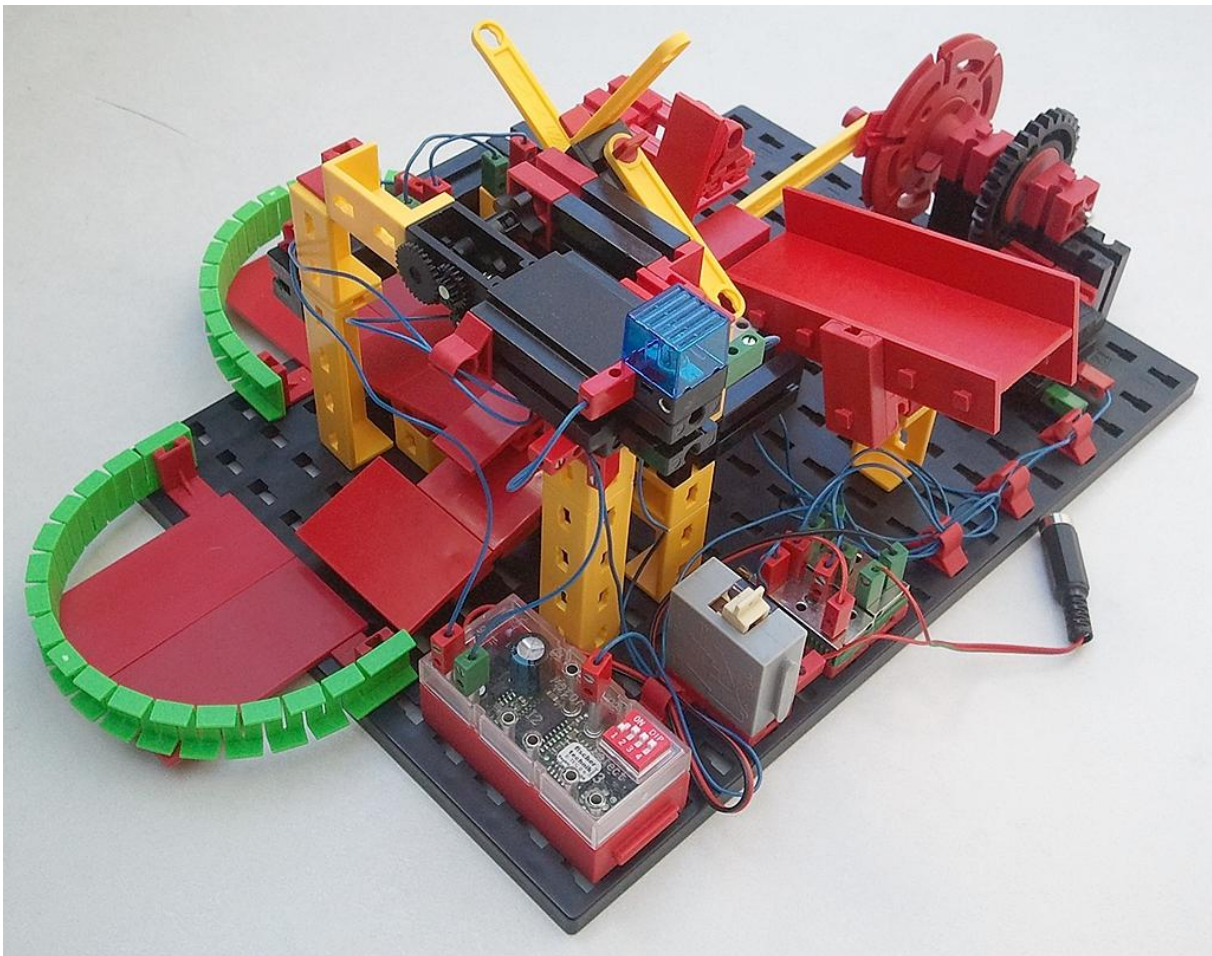


Abb. 12: Gesamtansicht (3) der Sortiermaschine

sie ganz in eine Nut der Drehscheibe eingeschoben wird.

Danach baut ihr den Schlitten: Zwei BS30, an deren Zapfen eine *V-Radachse rot* ([36586](#)) steckt. Die wird später mit einer I-Strebe 75 mit dem Exzenter verbunden. Die Strebe wird mit zwei Klemmringsen gegen Abrutschen gesichert. Obenauf sitzen hinten ein BS5 und ein *Baustein 5 15 · 30 rot* ([35049](#)), die mit einer Platte 15 · 45 abgedeckt werden. Vorne wird eine Platte 15 · 30 aufgeschoben. Ganz vorne schließlich kommt die kleine Rutsche, auf der die „kurzen“ Bausteine später herunterrutschen werden: Ein Winkelstein 15°, ein Verbinder 15, ein BS7,5 und eine weitere Platte 15 · 30 genügen (Abb. 7 und 13).

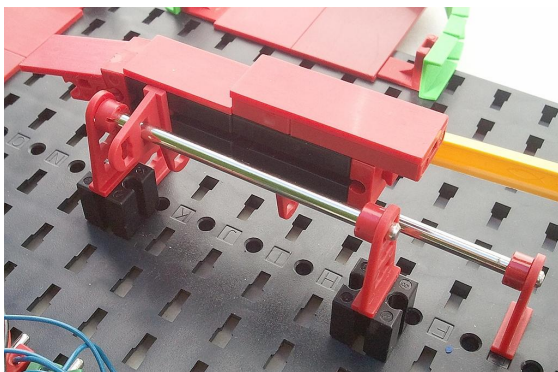


Abb. 13: Die Lagerung des Schlittens

Der Schlitten gleitet auf zwei Metallachsen vor und zurück. Dazu trägt er unten zwei und auf der Seite eine *S-Kupplung 15 rot* ([38253](#)). Direkt auf der Bauplatte 500 sitzen zwei *S-Kupplungen 22,5 rot* ([38260](#)); zwei weitere sitzen auf je einem BS15. Dazwischen sind zwei geeignet lange Metallachsen mit je zwei Klemmringsen eingespannt. Durch diese Bauart gleitet der Schlitten wunderbar leichtgängig auf den Metallachsen.

Danach könnt ihr das Bausteinmagazin bauen und anbringen. Es sitzt mit nur einem Zapfen in der Bauplatte 500.

Anschließend baut ihr die beiden Rutschen in die Ausgabefächer und steckt sie ein. Die Rutschen selbst bestehen aus zwei Bauplatten 30 · 60, einer 30 · 30 und einer

30 · 45. Je ein Winkelstein 15° sorgt für die richtige Neigung. Die breitere der beiden (die linke in Abb. 15) gehört zum seitlichen Ausgabefach für die langen Bausteine, die kleinere zum vorderen Fach für die kurzen Bausteine.

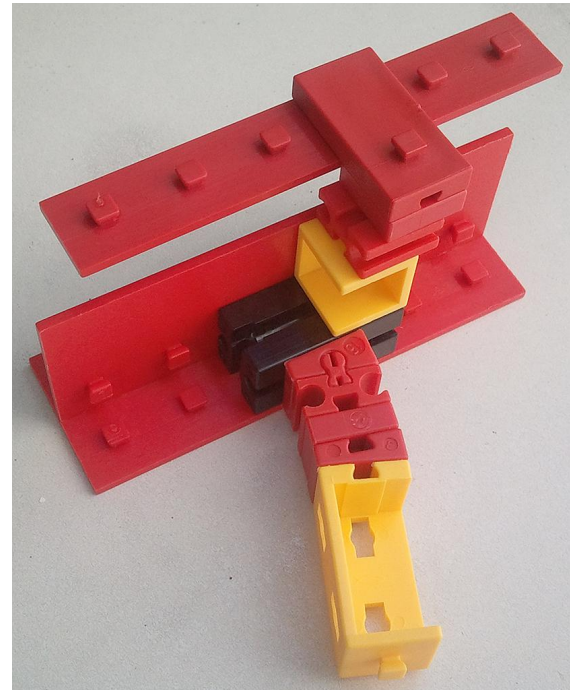


Abb. 14: Der Aufbau des Bausteinmagazins

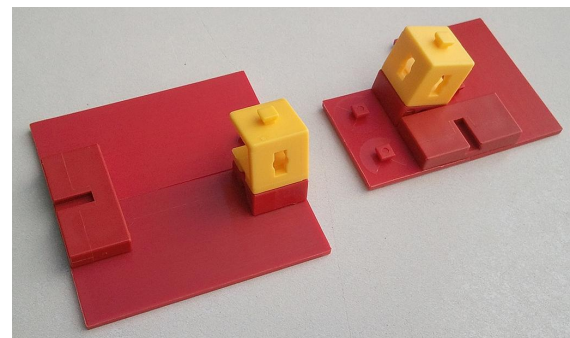


Abb. 15: Die Ausgaberutschen

Schließlich fehlen nur noch die Lichtschranken und die Auswurfmechanik, die aus zwei Teil-Baugruppen bestehen. Auf die Ausgabeseite des Modells kommt eine Konstruktion mit zwei Fototransistoren (hier mit zwei Störlichtkappen abgedeckt, damit das Umgebungslicht sie nicht auslöst). Dort wird auch die Rücklaufsperren-Klappe angebracht: Eine Platte 15 · 45 auf einem Gelenkbaustein wird von

BS7,5 über Verbinder 45 gehalten, die wiederum mit zwei Winkelsteinen 30° und einem BS5 mit zwei Zapfen genau in die richtige Position gestellt werden.

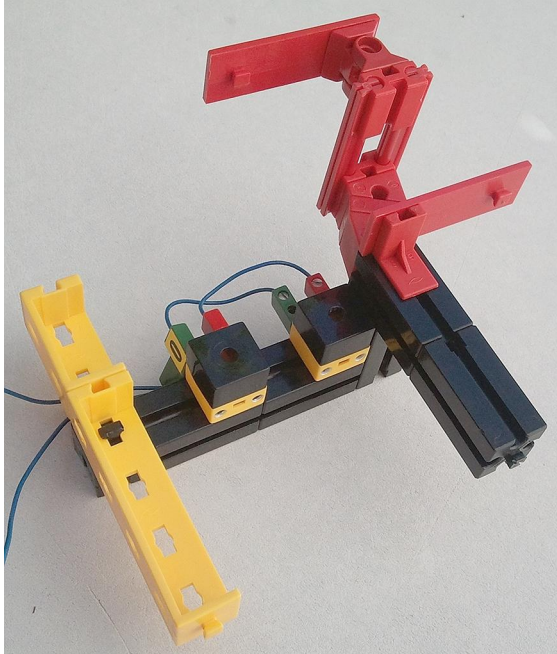


Abb. 16: Fototransistoren und Rücklaufsperr

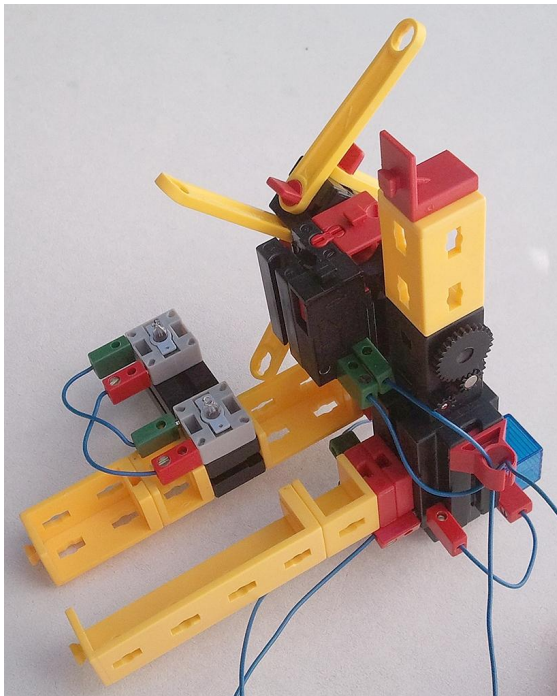


Abb. 17: Lichtschranken-Lampen und Auswurfmechanik

Die zusätzliche Bauplatte 15 · 45, die in Abb. 16 nach rechts ragt, dient als Anschlag für die vom Magazin kommen-

den Bausteine und verhindert, dass diese über den Schlitten hinweg rutschen.

Auf der Rückseite des Modells kommt die Auswurfmechanik, die vorne in den Statikträger von Abb. 16 eingreift (Abb. 10 und 17).

Das Aufsteckgetriebe des S-Motors führt mit seiner *Rastachse* + *Zahnrad Z28 m0,5 schwarz* ([31082](#)) in ein *Rast-Impulszahnrad Z4* ([37157](#)). In seinem anderen Ende steckt eine *Rastaufnahmeachse 22,5 schwarz* ([130593](#)), die einen BS15 trägt. Auf diesem schließlich sind vier X-Streben 42,4 mit je einem S-Riegel angebracht.

Beachtet bitte, dass der Taster unter dem Impulszahnrad, wie in Abb. 9 bei genauem Hinsehen erkennbar, etwas nach vorne heraussteht. Der Taster muss so justiert werden, dass der Motor später genau dann anhält, wenn die Auswurfstreben den ankommenden Bausteinen nirgends im Wege stehen.

Die Schaltung

Für die elektrische Schaltung benötigen wir außer den beiden Motoren

- zwei Lampen für die Lichtschranken,
- zwei Fototransistoren oder Fotowiderstände,
- einen Minitaster für das Impulszahnrad,
- optional noch eine Signallampe (die könnt ihr aber auch weg lassen, wenn ihr keine dritte Lampe besitzt) und natürlich
- irgendein Elektronik-Element, das die Lichtschranken auswerten kann. Hier verwenden wir ein E-Tec-Modul.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass dieses Modell mit ausnahmslos jeder jemals existierenden Elektronik-Generation von fischertechnik gesteuert werden kann. Die Lichtschranken auswerten kann man also auch alternativ zum E-Tec-Modul

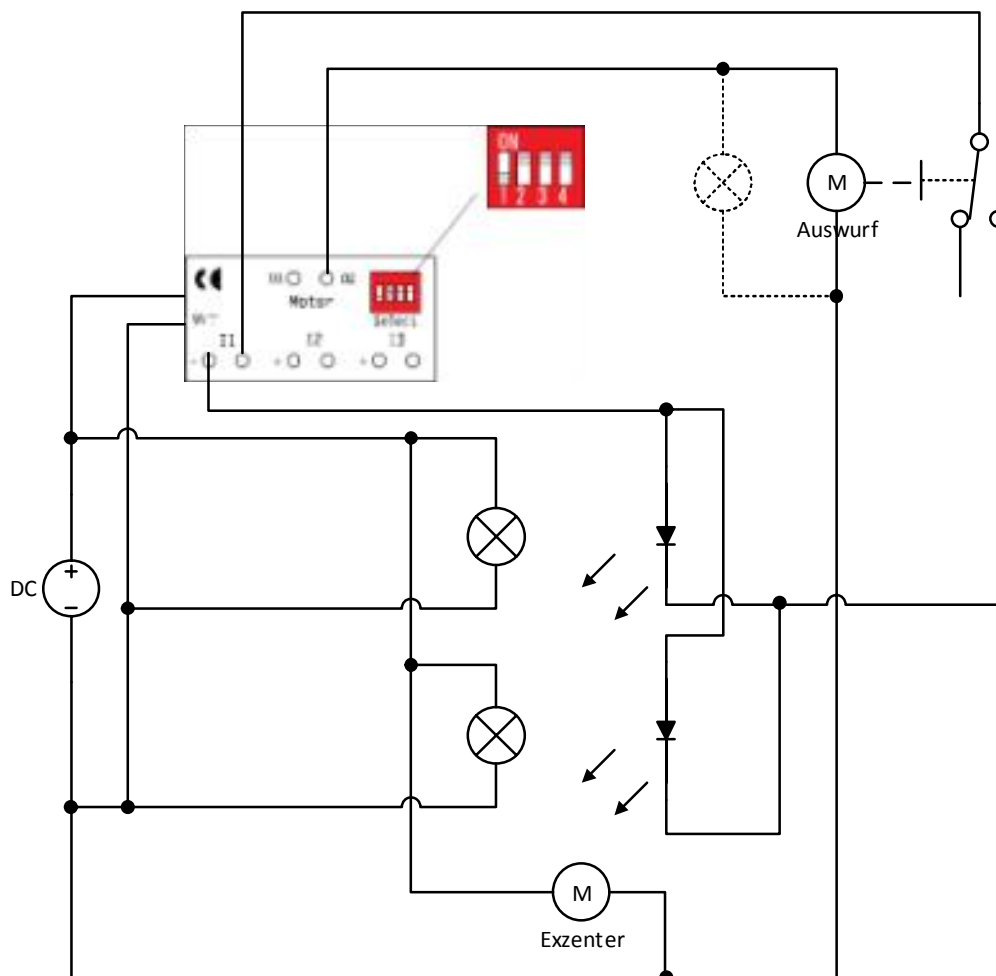


Abb. 18: Schaltplan der Sortiermaschine

aus den 1990ern mit einer entsprechenden Verschaltung

- eines Licht-Elektronik-Schaltstabes von 1969 oder
- der üblichen Kombination aus den „Silberlingen“ Gleichrichter h4GB, Grundbaustein h4G und Relaisbaustein h4RB als den 1970ern oder
- mit dem IC-Baustein und Relais des *IC-Digital-Praktikums* oder
- mit Stromversorgung, Schwellwertschalter und Leistungsstufe des *Elektronik-Kastens* aus den 1980ern oder
- mit einem beliebigen fischertechnik-Computer-Interface und entsprechender Programmierung.

Den Schaltplan unter Verwendung eines E-Tecs zeigt Abb. 18. Das E-Tec, der Exzentermotor und die beiden Lampen für die Lichtschranken hängen einfach permanent an der Stromversorgung. Die beiden Fototransistoren sind einfach parallel geschaltet (achtet auf die Polung: rot = plus!) und steuern den Eingang 11 des E-Tec.

Gleich zwei Fototransistoren an einen einzigen Eingang des E-Tec anzuschließen ist genau der wichtige Trick bei dieser Art Sortiermaschine. Durch die Parallelschaltung sieht das E-Tec „die“ Lichtschranke als beleuchtet, wenn mindestens ein Fototransistor beleuchtet ist. Nur wenn alle beide gleichzeitig abgedunkelt werden fließt so wenig Strom zwischen den E-Tec-Eingangsbuchsen, dass dieses umschaltet.

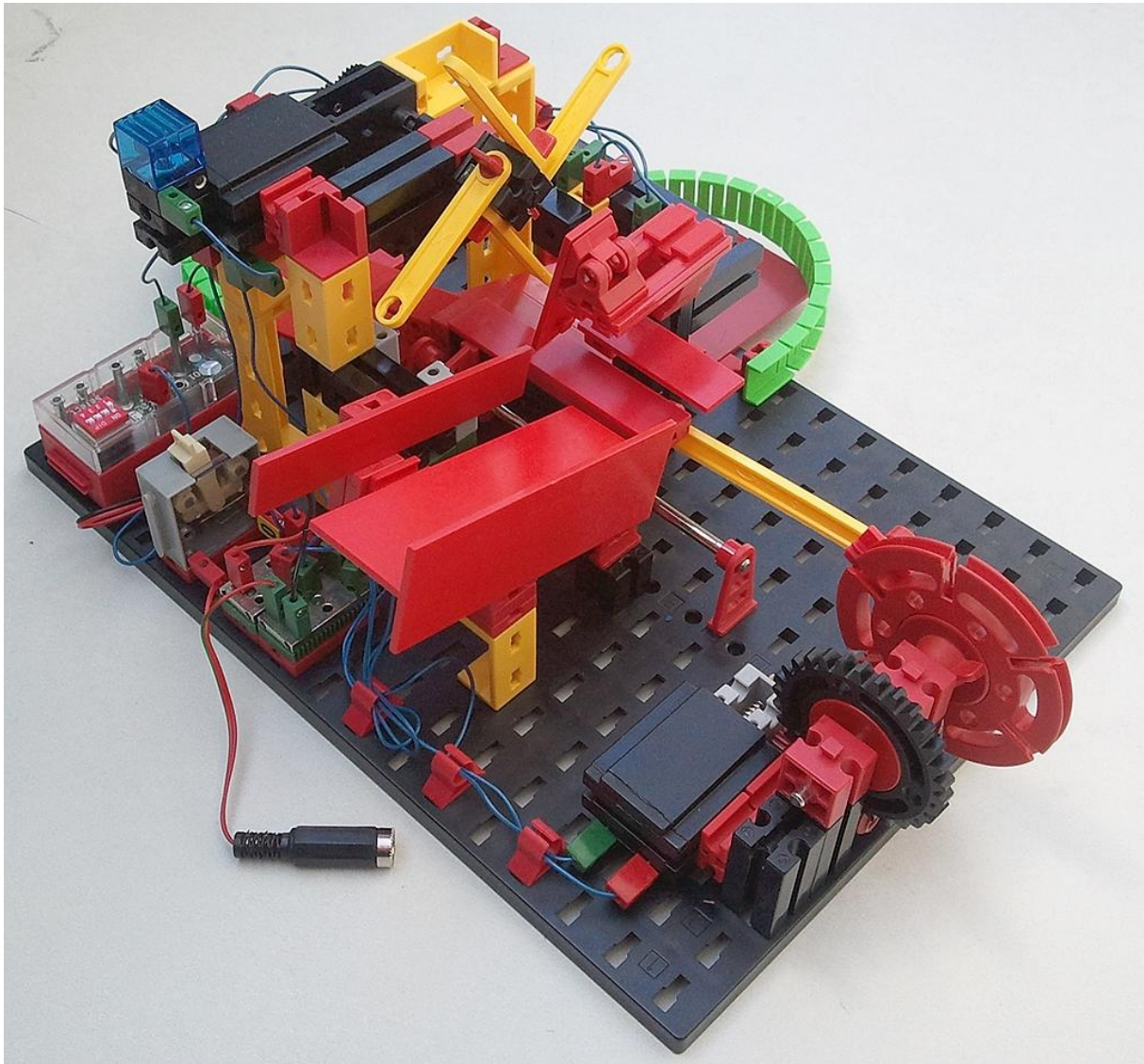


Abb. 19: Gesamtansicht (3) der Sortiermaschine

Denkt euch den Taster am Impulsrad zunächst mal noch durch eine Leitung ersetzt, wie wenn die Fototransistoren nur am E-Tec hängen. Sobald alle beide Fototransistoren unbeleuchtet sind, also ein hinreichend langer Baustein beide Lichtschranken gleichzeitig durchbricht, schaltet das E-Tec-Modul um. Dadurch bekommt der Auswurfmotor Strom und dreht die Auswurfhebel. Achtet auch hier auf die richtige Polung des Motors, damit die langen Bausteine in Richtung Ausgabefach gestoßen werden. Die gepunktet eingezeichnete Signallampe (auf die ihr auch verzichten könnt) wird einfach parallel

zum Motor geschaltet und leuchtet also, solange dieser dreht.²

Wenn eine der Streben des Auswurfs den Baustein vom Schlitten gestoßen hat, werden allerdings beide Lichtschranken wieder freigegeben. Das hätte zur Folge, dass der Motor in einer Position stehen

² In allen Elektronik-Generationen vor dem E-Tec lässt sich die Empfindlichkeit der Eingänge durch ein Drehpotentiometer genau einstellen. Dadurch können auch die älteren Fotowiderstände anstelle der Fototransistoren verwendet werden.

bleibt, in der die Strebe vielleicht noch mitten über dem Schlitten steht. Dort wäre sie dem nächsten ankommenden Baustein im Weg und das Modell würde nicht korrekt funktionieren. Wir müssen also noch dafür sorgen, dass auch bei Wiederaufgabe der Lichtschranken der Motor auf jeden Fall noch so lange weiterläuft, bis er eine Viertelumdrehung gemacht hat.

Das erledigt auf einfache und elegante Weise der Impulstaster. Wir schalten ihn einfach mit seinem Arbeitskontakt in Serie zu den Fototransistoren. Sobald der Auswurfmotor so weit dreht, dass das Impulszahnrad den Taster freigibt, unterbricht dieser die Leitung der Fototransistoren. Für das E-Tec sieht das genauso aus, wie wenn die Lichtschranken immer noch unterbrochen wären, auch wenn der Baustein längst vom Schlitten geschoben wurde und ins Ausgabefach fällt. Erst wenn der

Auswurf eine Vierteldrehung vollendet hat, wird der Taster wieder von einem Impulszahn betätigt, und das E-Tec bekommt mit, dass die Lichtschranken wieder beide frei beleuchtet sind. Dann erst schaltet es den Auswurfmotor ab.

Der nächste Baustein kann dann kommen und wird ebenso erkannt und korrekt in die beiden Ausgabefächer einsortiert.

Quellen

- [1] fischerwerke: [l-e1 Band 2](#). Tumlingen, 1969
- [2] fischerwerke, [hobby 4 Begleitbücher Band 5](#). Tumlingen, 1975
- [3] fischerwerke, [IC-Digital-Praktikum](#). Tumlingen, 1977

Computing

I²C mit dem TX – Teil 4: Nunchuk-Fernsteuerung

Dirk Fox

Seit dem Firmware-Update vom April 2012 auf Version 1.30 lassen sich am TX beliebige I²C-Komponenten anschließen. Nach einer Einführung in die Grundlagen des I²C-Protokolls [1], in die Ansteuerung eines LED-Displays [2] und in die Luftdruckmessung [3] wird in diesem Beitrag vorgestellt, wie aus einem Nunchuk – einem „Steuerknüppel“ für die Nintendo-Spielkonsole Wii – eine I²C-Fernsteuerung wird.

Hintergrund

Die [Videospielkonsole Wii](#) der japanischen Firma [Nintendo](#), seit 2006 auf dem Markt, ermöglicht durch Verwendung einer Infrarotkamera und Beschleunigungssensoren im [Wiimote](#) genannten Controller dreidimensionale Spielerlebnisse: Position und Bewegungen des Spielers werden ausgewertet, sodass dieser den Spielverlauf über Körperbewegungen steuern kann. Mittlerweile sind ergänzende Steuerungen verfügbar wie ein klassisches *Gamepad*, ein Lenkrad oder ein *Balance Board*, das Gewichtsverlagerungen auswertet.

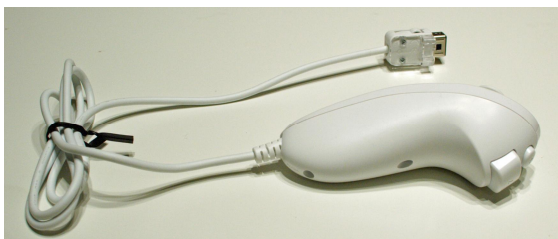


Abb. 1: Nunchuk

Und es gibt den Nunchuk, einen an die Wiimote ansteckbaren zweiten Controller, der aus einem analogen Joystick, zwei Tastern und einem 3-Achs-Beschleunigungssensor in einem ‚handschmeichlerischen‘ Gehäuse besteht (Abb. 1) und ein beidhändiges Spielen ermöglicht.

Die Kommunikation zwischen Nunchuk und Wiimote erfolgt dabei – ihr ahnt es bereits – über das I²C-Protokoll. Klone des Nunchuk wie den [Freebird Wireless ThumbStick](#) von Logic3 gibt es sogar kabellos (Abb. 2) – für weniger als 10 €.



Abb. 2: Kabelloser Nunchuk von Logic3

Das ist nur ein Bruchteil des Preises, den man sonst allein für ein *Breakout Board* mit I²C-Beschleunigungssensor zahlt – ohne Gehäuse, Joystick und Taster. Da liegt es nahe, über den Nunchuk als I²C-Steuerung für den TX nachzudenken.

Der Nunchuk

Vom Hersteller sind – wie nicht anders zu erwarten – keinerlei Informationen über die Ansteuerung des I²C-Buscontrollers des Nunchuk erhältlich. Das macht aller-

dings nichts, denn schon kurz nach dessen Erscheinen haben sich zahlreiche Bastler auf den Nunchuk gestürzt und via *Reverse Engineering* die wichtigsten Eigenschaften des Controllers in Erfahrung gebracht [4]. So ist bekannt, dass

- der Nunchuk eine Stromversorgung von 3,3 V benötigt,
- der I²C-Controller des Nunchuk den *Fast Mode* (400 kbit/s) beherrscht,
- der Nunchuk über die feste I²C-Device-Adresse 0x52 angesprochen wird,
- der im Nunchuk verbaute Joystick mit zwei 30 k Ω -Potentiometern arbeitet und daraus zwei digitale 8-bit-Werte (0-255) berechnet,
- der ADXL330 von Analog Devices [5] als Beschleunigungssensor Verwendung findet – ein 3-Achs-Sensor mit einem Messbereich von +/-3g, der für jede Achse einen 10-bit-Wert zwischen 0 und 1.023 (realistisch zwischen 250 und 750) liefert, und
- die Taster ‚C‘ und ‚Z‘ jeweils den Wert 0 liefern, wenn sie gedrückt sind (*low active*).

Die Werte des Poti, der Taster und des Beschleunigungssensors werden vom Controller in sechs aufeinander folgenden Bytes gespeichert:

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Byte 1	Joystick (X-Achse, 0-255)							
Byte 2	Joystick (Y-Achse, 0-255)							
Byte 3	Beschleunigung (X, Bits 9-2)							
Byte 4	Beschleunigung (Y, Bits 9-2)							
Byte 5	Beschleunigung (Z, Bits 9-2)							
Byte 6	Z 1/0	Y 1/0	X 1/0	C	Z			

Tab. 1: Speicherbelegung der Sensordaten [4, 6, 7]

Damit lässt sich der Nunchuk sowohl als I²C-Beschleunigungssensor als auch – ins-

besondere in der kabelloser Version, bspw. von Logic3 – als Fernsteuerung eines ft-Modells (Kran, Bagger, Fahrzeug etc.) einsetzen.

Im Folgenden werden wir vorstellen, wie der Nunchuk an den TX angeschlossen und via I²C-Protokoll ausgelesen werden kann. Eine ausführliche Darstellung inklusive einer Einführung in das I²C-Protokoll findet sich in [7].

Anschluss an den TX

Ein kurzer Blick auf den proprietären Stecker des Nunchuk zeigt, dass man für die Verbindung mit dem EXT-2-Anschluss des TX einen Adapter benötigt.

Auf den Nunchuk passende Buchsen findet man nicht im Elektronikfachhandel. Daher muss man sich für die Realisierung des Adapters etwas einfallen lassen. Die eine Seite erhält man, indem man ein 6-adriges TX-Flachbandkabel kappt (erhältlich bei [Knobloch Elektronik](#), siehe Abb. 3).



Abb. 3: Belegung des TX-Flachbandkabels

Die Belegung des EXT-2-Anschlusses am TX ist bekannt [1, 7]. Danach liegen die I²C-Signale an den beiden oberen, GND und VCC an den beiden unteren Kabeln an. Für die andere Seite des Adapters bieten sich zwei Möglichkeiten an:



Abb. 4: Nunchuk-Adapter

- Kauf eines [Nunchuk-Adapters](#) (erhältlich z. B. bei [Watterott](#) für ca. 2,50 €, Abb. 4): die Anschlüsse auf dem Platinchen sind gut lesbar markiert.

- Kappen des Nunchuk-Kabels oder eines [Nunchuk-Verlängerungskabels](#) (erhältlich für ca. 5 €); da es beim kabellosen Nunchuk kein Kabel gibt, das sich kap- pen ließe, benötigt man in diesem Fall ohnehin ein Verlängerungskabel.

Die Belegung des Nunchuk-Steckers ist gut dokumentiert [6, 7, 8] – Abb. 5 zeigt die Anschlussbelegung der I²C-Kontakte.

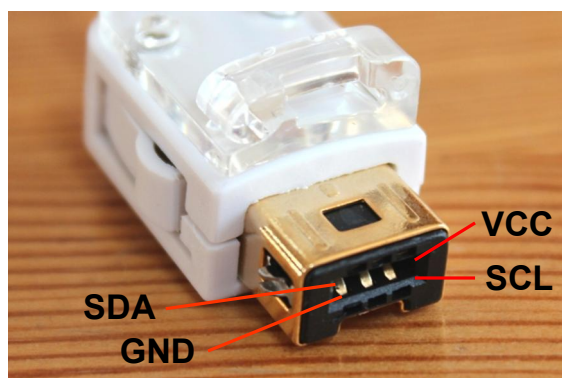


Abb. 5: I²C-Kontakte am sechspoligen Stecker des Nunchuk

Hat man das Kabel gekappt, muss man allerdings wissen, welche Ader des Nunchuk- bzw. des Verlängerungskabels zu welchem Anschluss gehört. Tabelle 2 zeigt die Belegung der Adern meines (originalen) Nunchuk und des Verlängerungskabels. Aber Vorsicht: Da die Aderfarben einiger Klons nicht mit denen des originalen Nunchuk übereinstimmen, sollte man die Belegung sicherheitshalber am abgeschnittenen Kabelstück mit dem Nunchuk-Stecker durch Durchmessen prüfen.

Signal	Aderfarbe
VCC	Rot
GND	Weiß
SDA	Grün
SCL	Gelb

Tab. 2: Anschlussbelegung des (originalen) Nunchuk- und Verlängerungskabels

Nun müssen nur noch die passenden Kabelenden verbunden werden: mit ft-Flachsteckern, durch Löten, mit einer TX-

kompatiblen sechspoligen Pfostenbuchse oder über ein Steckboard.

Doch halt: Der VCC-Anschluss des TX liefert 5 V, der Beschleunigungssensor des Nunchuk verträgt jedoch nur 3,3 V. Was tun? Wer den Beschleunigungssensor nicht außerhalb der Spezifikation betreiben und auch keine Platine mit Spannungswandler (siehe z. B. [9, 10]) bauen oder kaufen und zwischen die Anschlüsse löten möchte, kann den von Georg Stiegler im folgenden Beitrag vorgestellten I²C-Multiplexer mit *Level Shifter* dazwischenschalten. Damit spart man sich sogar das Zerschneiden eines TX-Extension-Kabels: es genügt, an die (richtigen) Adern des Nunchuk-(Verlängerungs-)Kabels eine sechspolige Pfostenbuchse zu klemmen.

Alternativ kann man auch zu einer 4-Cent-Lösung greifen: Zwei in Stromflussrichtung in Reihe geschaltete Dioden (siehe „Motorsteuerungen“ in [ft:pedia 3/2011](#)) sorgen für einen Spannungsabfall von je 0,7 V – die verbleibende Spannung von 3,6 V liegt noch in der Toleranz des Beschleunigungssensors.

I²C-Treiber

Die Ansteuerung des Nunchuk über das I²C-Protokoll, bei dem der TX (anstelle der Wiimote) als Master und der Nunchuk als Slave agiert, umfasst drei Schritte [8]:

- Initialisierung des Nunchuk
- (Rück-)Setzung des Speicher-Pointers auf das erste Byte
- Auslesen der Sensordaten (sechs Byte)

Allerdings gehört die vom Nunchuk verwendete feste I²C-Device-Adresse 0x52 zu den von I²C-EEPROMs belegten Adressen (0x50 bis 0x57) – und damit auch zum Adressraum des internen EEPROMs des TX, das ebenfalls (bis auf die Adressen 0x50 und 0x54) über den I²C-Bus angesprochen werden kann [11]. Jeder Schreib- und Lesebefehl an Adresse 0x52 wird

daher auch im EEPROM des TX ausgeführt. Dabei ist das Lesen unkritisch, da das EEPROM mit 0xFF vorbelegt ist und daher die Werte des Nunchuk bei der Übertragung im I²C-Protokoll nicht überlagert (falls dem nicht so ist, müssen die betroffenen Speicherbereiche zunächst mit 0xFF beschrieben werden).

Allerdings kann das I²C-Protokoll wegen der Adresskollision nicht feststellen, ob ein Nunchuk angeschlossen ist: Fehlt das Gerät (oder ist es defekt), werden die Werte des internen EEPROMs zurückgeliefert (also 0xFF).

Initialisierung

Die Initialisierung besteht aus zwei aufeinander folgenden Schreibbefehlen [8]:

- Datenwert 0x55 an Subadresse 0xF0
- Datenwert 0x00 an Subadresse 0xFB

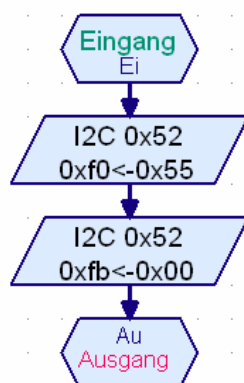


Abb. 6: Initialisierung (InitNunchuk)

Beide Werte werden zugleich auch in das interne EEPROM des TX geschrieben. Da bei der Initialisierung immer dieselben Werte an die Adressen 0xF0 und 0xFB geschrieben werden, verursacht auch die Kollision beim Schreibbefehl kein Problem: die Zahl der verbleibenden Schreib-/Löschzyklen des EEPROMS wird dadurch nicht dezimiert.³

³ Das interne EEPROM ist auf eine Mio. Schreib-/Löschzyklen ausgelegt [11].

Auslesen der Sensordaten

Vor dem Auslesen des Nunchuk muss die Speicheradresse (RAM-Pointer) zurückgesetzt werden:

- Datenwert 0x00 (ohne Subadresse)

Anschließend sollte dem I²C-Controller des Nunchuk etwas Zeit (ca. 1 ms) für die Umsetzung des Kommandos eingeräumt werden, bevor man die Lesebefehle für die sechs Datenbytes folgen lässt; daher erfolgt der Schreibbefehl getrennt (Abb. 7).



Abb. 7: Rücksetzen der Speicheradresse und Beginn der Auslesefunktion (ReadNunchuk)

Die ersten beiden Bytes liefern die Werte der beiden Potentiometer des Joysticks (0-255). Der Wert in Ruhestellung liegt nicht genau bei 127/128 und kann von Nunchuk zu Nunchuk unterschiedlich sein. Er sollte daher beim Start des Steuerprogramms bestimmt werden (Kalibrierung).

Die folgenden drei Bytes liefern jeweils die höchstwertigen neun Bit der drei Werte des Beschleunigungssensors – X-Achse (AX), Y-Achse (AY) und Z-Achse (AZ). Sie werden jeweils um zwei Bit nach links geschoben; dann werden aus dem sechsten Byte je zwei Bit zu AX, AY und AZ addiert (siehe Tab. 1). Die beiden niederwertigen Bits des sechsten Bytes werden als Status der Taster C und Z zurückgeliefert (*low active*).

Ein entsprechender [I²C-Treiber für Robo Pro](#) steht im Downloadbereich der ft:c zur Verfügung und ist in [7] abgedruckt. Darin enthalten ist ein kleines Testprogramm, das die Werte der Nunchuk-Sensoren auf dem TX-Display anzeigt (Abb. 8).

Startet man das Programm im Download-Mode, verarbeitet der TX mehr als 350 Nunchuk-Abfragen (inklusive Umrechnung) pro Sekunde; das ist quasi ‚Echtzeit‘.

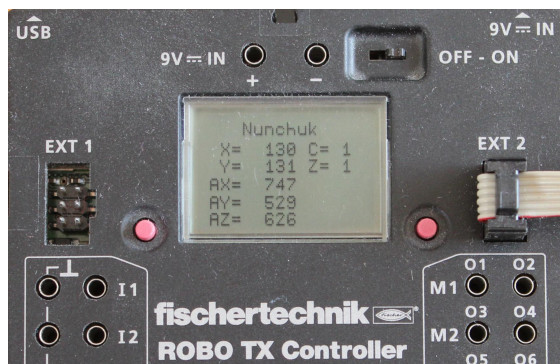


Abb. 8: Testprogramm zur Anzeige der Nunchuk-Werte

Der I²C-Controller des kabellosen Nunchuk-Klons von Logic3 (Abb. 2) unterstützt allerdings nur den *Standard Mode*, also eine I²C-Busgeschwindigkeit von 100 kBit/s. Daher müssen für diesen Controller die I²C-Befehle angepasst werden; eine [entsprechend modifizierte Version der I²C-Treiber](#) für Robo Pro findet sich ebenfalls im Downloadbereich der ft:c.

Modellsteuerung

Theoretisch kann man mit einem Nunchuk bis zu 16 Motoren steuern: für jede Kombination der Taster C und Z je zwei Motoren mit dem Joystick und zwei mit den Beschleunigungswerten der X- und Y-Achse (Bewegungssteuerung). Will man diese Möglichkeiten ausreizen, muss man allerdings vier TX-Controller in Reihe schalten, da ein TX maximal vier Motoren ansteuern kann. Oder man verwendet einen der beiden Taster zum Umschalten zwischen Joystick- und Bewegungssteuerung (für dasselbe Motorenpaar) und den

anderen, um z. B. Aktoren wie Lichter oder Sounds ein- und auszuschalten. Wie auch immer ihr die Möglichkeiten des Nunchuk nutzt – für die Motorsteuerung mit Joystick oder Bewegungssensor gibt es vor allem zwei Konzepte: die separate Motorsteuerung je Achse und die ‚2D-Steuerung‘ von Motoren, bspw. bei einem Ketten- oder Zweiradantrieb.

Separate Motorsteuerung

Will man (wie bei der originalen fischertechnik-Fernsteuerung) je Joystick-Achse bzw. Bewegungsrichtung (X-/Y-Achse) jeweils einen Motor steuern, muss bei Programmstart die ‚Nullstellung‘ des Nunchuk bestimmt werden (Kalibrierung), denn weder Joystick noch Bewegungssensor liefern in Ruhestellung den Wert ‚0‘. Der Joystick nimmt automatisch die Ausgangsstellung ein, wenn man ihn loslässt. Für die Feststellung der Nullstellung des Bewegungssensors muss der Nunchuk manuell in Ruhestellung gebracht werden, daher solltet ihr die Koordinaten erst speichern, wenn einer der beiden Taster gedrückt ist.

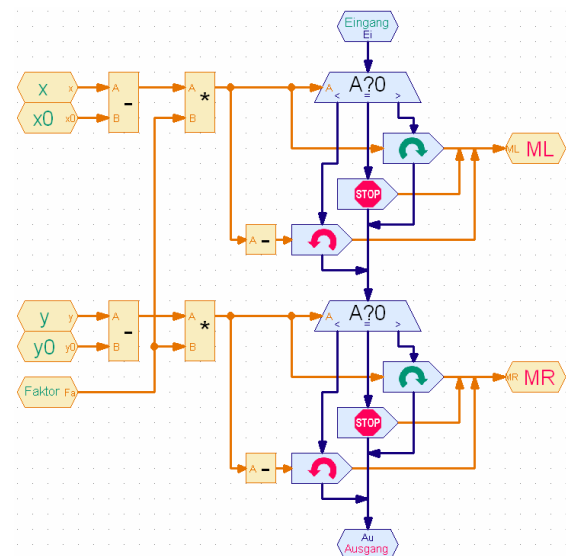


Abb. 9: Einfache Joysticksteuerung (Unterprogramm JoystickControl)

Die Motorgeschwindigkeit (Auflösung: 512 Schritte) erhält man aus der Differenz zwischen aktuellem Sensorwert und Nullstellung, multipliziert mit einem Skalie-

rungsfaktor. Der beträgt beim Joystick mindestens $512/128 = 4$ und beim Bewegungssensor mindestens $512/256 = 2$. Mit einem größeren Skalierungsfaktor könnt ihr steuern, wie frühzeitig die Motoren in der jeweiligen Richtung beschleunigen: Je größer der Faktor, desto früher sprechen sie an. Allerdings hängt es auch von der Last ab, die die Motoren in eurem Modell antreiben müssen, ob sie schon bei geringen Geschwindigkeitsstufen reagieren.

Wollt ihr mit einem TX mehr als vier Motoren ansteuern, dann bleibt nur, mehrere Motoren an einen der O-Ausgänge anzuschließen und bspw. mit dem Joystick lediglich ein- oder auszuschalten – und den Richtungswechsel über einen Polwender (siehe „Perlentauchen“ in [ft:pedia 1/2013](#)) vorzunehmen.

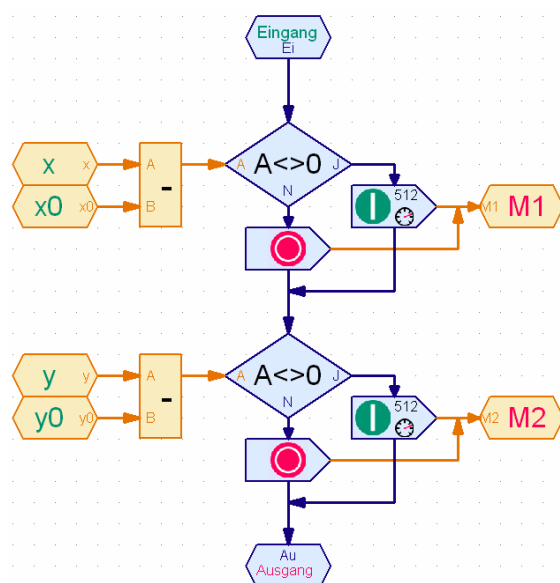


Abb. 10: Ein- und Ausschalten von Motoren
(Unterprogramm JoystickOnOff)

2D-Motorsteuerung

Für die Fahrzeugsteuerung ist es besonders elegant, mit dem Joystick entlang der X-Y-Ebene steuern zu können – wie die ‚intelligente Raupensteuerung‘ der fischer-technik-Infrarot-Fernsteuerung (500881).

Dazu müssen wir die vertikale Position v und die horizontale Position h des Joy-

sticks (resp. Bewegungssensors) in Drehrichtung und Geschwindigkeit eines rechten und eines linken Motors umrechnen. Wie das geht wollen wir am Beispiel des Joysticks zeigen.

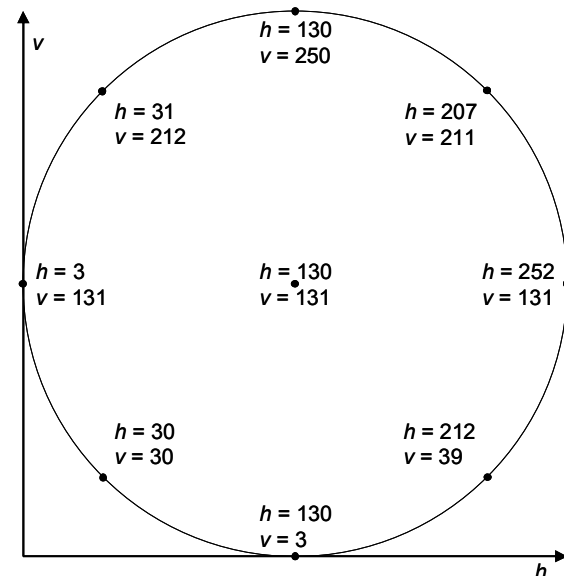


Abb. 11: Ausgewählte Joystick-Positionen

Sehen wir uns erstmal die Werte des Joysticks (h, v) an den neun besonders wichtigen Positionen (Stand, Geradeausfahrt, Links- und Rechtskurve) an, die beim Nunchuk sogar durch eine Einkerbung am äußersten Rand des Joystick-Bewegungsfelds markiert sind (Abb. 11).

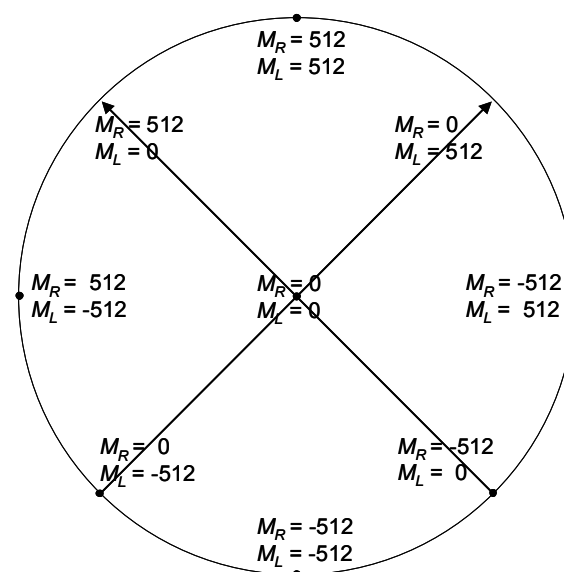


Abb. 12: Geschwindigkeitswerte der beiden Motoren M_R (rechts) und M_L (links)

Der linke und der rechte Motor des Fahrzeugs sollen nun in diesen Positionen etwa die in Abb. 12 angegebenen Geschwindigkeitswerte (bei einer Auflösung von 512 Stufen) erhalten. Wie man sieht ist das Koordinatensystem der Motoren zentriert und gegenüber dem des Joysticks in Abb. 11 um -45° gedreht.

Wie können wir nun die Motor-Geschwindigkeit (und -Richtung) aus den Joystick-Koordinaten berechnen? Dazu zentrieren wir zunächst das Koordinatensystem aus Abb. 11 und benennen die Koordinaten in (x, y) um:

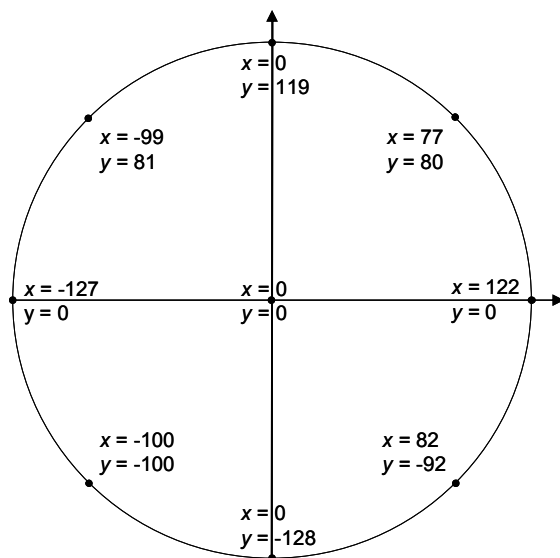


Abb. 13: x- und y-Koordinaten des Joystick

Gesucht ist nun also eine Funktion

$$f(x, y) = (M_R, M_L)$$

Tatsächlich ist es gar nicht so schwierig, die Funktion f zu bestimmen – wir benötigen dafür lediglich ein Lineal, einen Bleistift und den berühmten [Satz des Pythagoras](#) über die Seitenverhältnisse in einem rechtwinkligen Dreieck (Abb. 14).

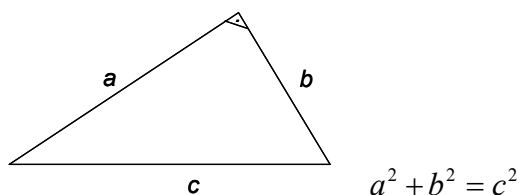


Abb. 14: Satz des Pythagoras

Ihr erinnert euch sicher: Die Summe der Quadrate der beiden Katheten ist gleich dem Quadrat der Hypotenuse. Denken wir uns nun eine beliebige Position P des Joysticks. Dann liefert der Nunchuk uns die Koordinaten (x, y) von P .

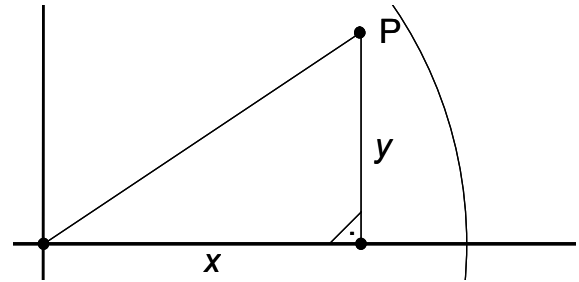


Abb. 15: Koordinaten der Joystick-Position P

Wenn wir jetzt eine Sekante im Winkel von 45° durch den Punkt P legen, erhalten wir ein gleichschenkliges rechtwinkliges Dreieck, dessen Seitenlängen wir mit dem *Satz des Pythagoras* sehr leicht bestimmen können (Abb. 16, rot).

$$z^2 = 2 \cdot y^2 \Leftrightarrow z = \sqrt{2} \cdot y$$

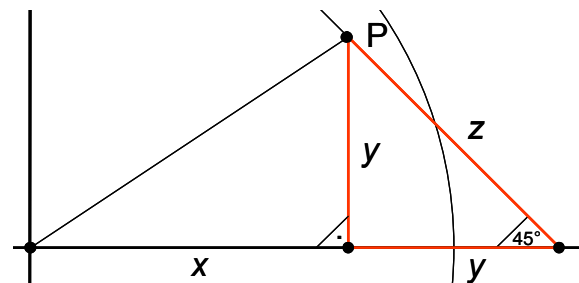


Abb. 16: Gleichschenkliges Dreieck

Mit einer Senkrechten auf der Sekante durch den Nullpunkt erhalten wir ein zweites gleichschenkliges, rechtwinkliges Dreieck (Abb. 17, blau).

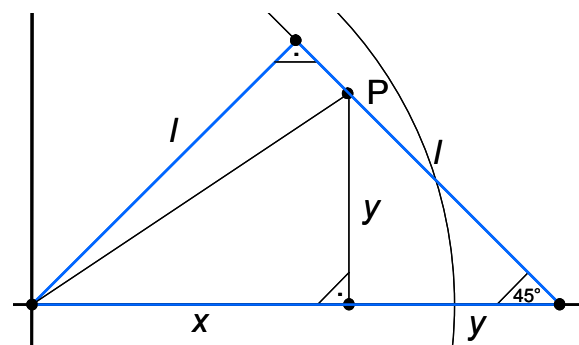


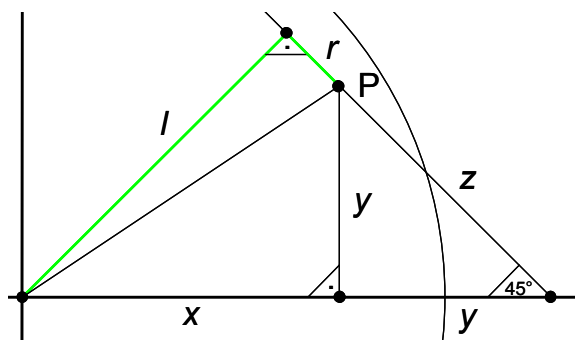
Abb. 17: Berechnung von l

Die Katheten dieses Dreiecks haben die Länge l – aus dem wir die Geschwindigkeit, die wir an den linken Motor übergeben möchten, ablesen können. Aus x und y können wir l leicht bestimmen:

$$2 \cdot l^2 = (x + y)^2 \Leftrightarrow$$

$$l = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot (x + y)$$

Damit können wir nun auch die Geschwindigkeit des rechten Motors r berechnen (Abb. 18, grün).



$$r = z - l = \sqrt{2} \cdot y - \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot (x + y) \Leftrightarrow$$

$$r = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot (y - x)$$

Abb. 18: Bestimmung von r

Um aus (r, l) die endgültigen Geschwindigkeitswerte (M_R, M_L) zu erhalten, müssen wir die Werte noch auf den Wertebereich $\{-512, \dots, 512\}$ umrechnen. Da die Punkte P innerhalb eines Kreises mit einem Radius von maximal 128 liegen, nehmen r, l Werte aus $\{-128, \dots, 128\}$ an. Wir erhalten damit (M_R, M_L) aus (r, l) durch Multiplikation mit vier:

$$M_R \approx 4 \cdot r \quad \wedge \quad M_L \approx 4 \cdot l$$

Damit können wir jetzt die Funktion $f(x, y)$ als geschlossene Formel angeben:

$$f(x, y) = (2\sqrt{2} \cdot (y - x), 2\sqrt{2} \cdot (x + y))$$

Mit den Beschleunigungssensoren erfolgt die Berechnung entsprechend. Da die Werte, die der Bewegungssensor liefert, zwischen etwa 270 und 770 liegen, also x

und y einen Wert aus $\{-250, \dots, 250\}$ annehmen, ist der Skalierungsfaktor für M_R und M_L nur halb so groß, und es gilt:

$$f(x, y) = (\sqrt{2} \cdot (y - x), \sqrt{2} \cdot (x + y))$$

Auch hier könnt ihr mit einem größeren Skalierungsfaktor für eine frühere Beschleunigung der Motoren sorgen. Abb. 19 zeigt das Robo Pro-Unterprogramm, das die Umrechnung vornimmt.

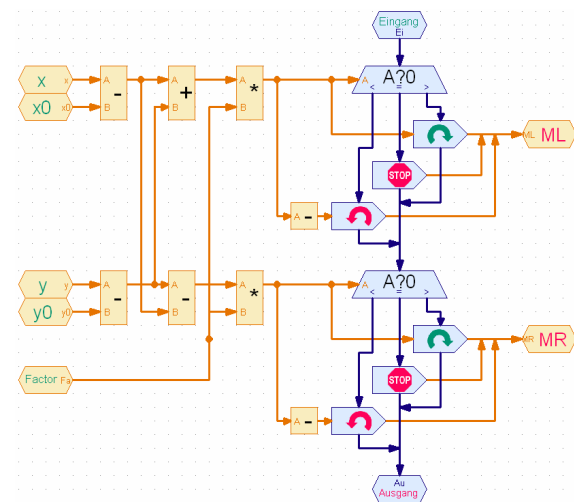


Abb. 19: Umrechnung der Koordinaten (x, y) in Motorgeschwindigkeit und Richtung (Unterprogramm NunchukControl)

Die Unterprogramme für die Nunchuk-Steuerung finden sich im [Downloadbereich der ft:c](#).

Beispielmodell

Die Funktionsweise der 2D-Steuerung soll das folgende Beispielmodell veranschaulichen. Es besteht im Wesentlichen aus einem einfachen Direktantrieb mit zwei XM-Motoren, die die beiden Achsen eines Differentialgetriebes antreiben (Abb. 20).

Das Differential ist für die Funktion unbedeutend – es stabilisiert lediglich die beiden getrennten Achsen. Hinten hält ein kleines *Spornrad* das Gleichgewicht. Der TX und der Akku werden auf der Oberseite montiert (Abb. 21).

Die Motoren werden an die TX-Ausgänge M1 und M2 angeschlossen, der TX-Ein-

gang an den Akku (Polung beachten!) und der Empfänger des kabellosen Logic3-Nunchuk an den EXT2-Ausgang des TX.

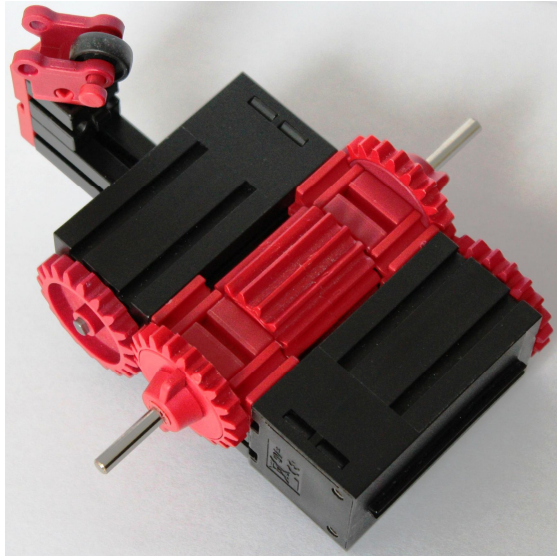


Abb. 20: Direktantrieb (Ansicht von unten)

Beim Starten des Programms muss der Nunchuk zur Ermittlung der Nullstellung exakt gerade gehalten werden. Anschließend kann das kleine Fahrzeug wahlweise mit dem Joystick oder (bei gedrückter Taste) durch Handgesten gesteuert werden.

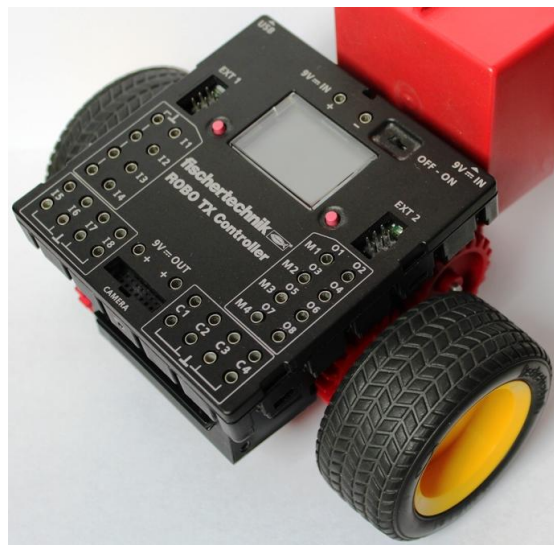


Abb. 21: Fahrzeug mit TX und Akku

Zum Schluss...

Die verlinkten Robo Pro Programme erfordern die Robo Pro-Version 3.2.3 und ein TX-Firmware-Update auf Version 1.30.1.

Sie sind getestet mit dem originalen Nintendo-Nunchuk sowie dem kabellosen Klon von Logic3; sehr wahrscheinlich funktionieren sie auch mit weiteren Klons.

Die Reichweite des Logic3-Nunchuk liegt – genau wie die des IR Remote Control Set von fischertechnik – bei gut 10 Metern und wird auch nicht durch die Signale der IR-Fernbedienung beeinträchtigt.

Quellen

- [1] Dirk Fox: *I²C mit dem TX – Teil 1: Grundlagen*. [ft:pedia 3/2012](#), S. 32-37.
- [2] Dirk Fox: *I²C mit dem TX – Teil 2: LED-Display*. [ft:pedia 4/2012](#), S. 32-37.
- [3] Georg Stiegler: *I²C mit dem TX – Teil 3: Luftdruckmessung*. [ft:pedia 1/2013](#), S. 32-38.
- [4] Wiibrew: [Wiimote/Extension Controllers/Nunchuk](#). 2011-2012.
- [5] Analog Devices: [ADXL330](#). Data Sheet, Rev. A, 9/2006.
- [6] Maik Schmidt: Arduino. Kapitel 7: [Experimente mit dem Wii-Nunchuk](#) (Leseprobe), dpunkt.verlag, Oktober 2011.
- [7] Dirk Fox: [Wii-Nunchuk steuert Fischertechnik-Modelle](#). c't Hardware Hacks 1/2013, S. 64-69.
- [8] Anthony Le Cren: [Nunchuk-USB-Adapter](#). elektor 9/2012, S. 16-22.
- [9] Herman Schutte: [Bi-directional level shifter for I²C-bus and other systems](#). Application Note AN97055, Philips Semiconductors (NXP), 04.08.1997.
- [10] Peter Recktenwald: [Wii-Nunchuk als Universalsteuerung](#). Robotfreak Blog, 12.07.2008.
- [11] RoboPro Application Notes, Version 3.1.3.

Computing

I²C mit dem TX – Teil 5: Multiplexer

Georg Stiegler

Seit dem Firmware-Update vom April 2012 auf Version 1.30 lassen sich am TX beliebige I²C-Komponenten anschließen und mit den Robo Pro Versionen ab 3.1.3 ansteuern. Will man dabei mehrere Komponenten mit der gleichen I²C-Adresse betreiben kann man drohende Adress-Konflikte mit einem sogenannten Multiplexer vermeiden.

Hintergrund

Wer ebenso wie ich vom „I²C-Virus“ infiziert ist und Spaß an den vielen zusätzlichen Möglichkeiten findet, die der I²C-Bus bietet, ist vielleicht auch schon mal in die missliche Lage gekommen gleichzeitig mehrere Komponenten mit der gleichen I²C-Adresse betreiben zu wollen. Da aber jede Komponente eine eindeutige Identifikation im Daten-Bus benötigt muss man, sofern es die jeweilige Komponente zulässt, entweder per Hardware (z. B. Jumper beim „Thermometer-DS1631“ von Conrad) oder durch programmierbare eigene Adressen (z. B. „rgb-LED-BlinkM“ von ThingM) dafür sorgen, dass es nicht zu Konflikten zwischen den Komponenten kommt. Aber nicht jedes Modul bietet diese Möglichkeit. Eine prima funktionierende Lösung kann ein Multiplexer sein, der hier vorgestellt wird.

Der PCA9544A

Dieser Baustein [1,2] ist eine Art digitaler Umschalter zwischen vier Datenausgangskanälen, die am Dateneingangskanal per I²C-Befehle angesteuert werden können (Abb. 1). Oder anders ausgedrückt fächert sich ein so genanntes „SCL/SDA upstream pair“ in vier „SCx/SDx downstream pairs“ auf (Abb. 2).

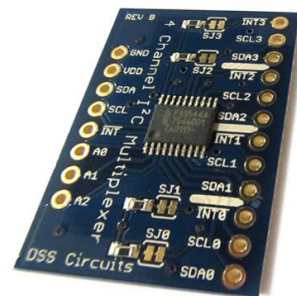
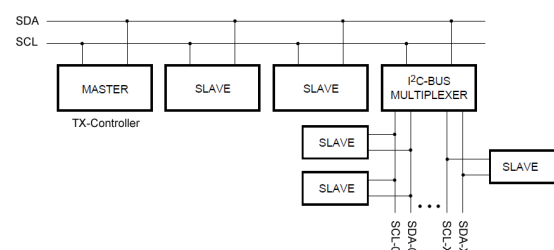


Abb. 1: Foto eines Breakout Boards

Dabei kann immer nur ein Kanal aktiviert werden. Erst nachdem dieser wieder deaktiviert wird kann ein anderer Kanal angesprochen werden. Von besonderem Interesse ist die Möglichkeit, jeden einzelnen Kanal oder I²C-Subbus mit unterschiedlicher Spannung zu versorgen, sodass 1,8 V-, 2,5 V- oder die weit verbreiteten 3,3 V-Komponenten ohne weitere Schutzmaßnahmen mit 5 Volt-Komponenten kommunizieren können. Der V_{DD}-Anschluss des Multiplexers gibt die maximal durchgelassene Spannung der Signalleitungen vor.

Abb. 2: Beispiel I²C-Bus-Konfiguration

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass für jedes SCx/SDx Downstream Paar auch noch je ein Interrupt-Eingang zur Verfügung steht (INT0-INT3). Der Interrupt-Ausgang (INT) wirkt dabei als ein AND für die vier Interrupt-Eingänge. Falls man wie ich als reiner RoboPro-Anwender diese nicht nutzt, soll man die Interrupt-Eingänge wie im Datenblatt empfohlen über Pullup-Widerstände gegen Masse legen. Auf dem bereits gezeigten [Breakout Borad der Firma DSS Circuits](#) sind diese Widerstände bereits integriert.

Da ein Großteil der I²C-Komponenten mit 5 V oder 3,3 Volt betrieben werden kann, beschränke ich mich in meiner Lötarbeit auf diese Typen (Abb. 3 und 4).

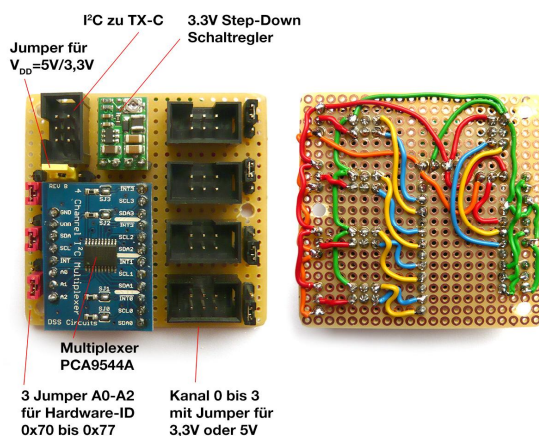


Abb. 3: Platine mit Multiplexer und Spannungswandler

I²C-Kommandos

Die 7-Bit-Adresse des Multiplexers lautet **0x70**, sofern die Kontakte A0 bis A2 gegen Masse gelegt wurden (wird im Binär-Code jeweils als „0“ interpretiert):

$$1110 \text{ A2 A1 A0} \rightarrow 1110000 = 0x70$$

So lassen sich dann bis zu acht Multiplexer adressieren:

$$1110 \text{ A2 A1 A0} \rightarrow 1110111 = 0x77$$

Da der PCA9544A eine I²C-Datenübertragungsgeschwindigkeit von bis zu 400 kHz zulässt, können wir unter Geschwindigkeit den „Fast Mode“ mit 400 kHz auswählen.

Beim Anlegen der Versorgungsspannung an den Multiplexer sind alle Kanäle deaktiviert. Um einen Kanal zu öffnen sendet man einfach ein Datenbyte mit folgendem Aufbau:

$$\text{Binärcode: } 00000 \text{ B2 B1 B0}$$

Dabei ist **B2** das so genannte „enable Bit“ (0 = deaktivieren, 1 = aktivieren), B1 und B0 stehen für die vier Kanäle 0, 1, 2 und 3.

Beispiel: Aktivierung des Kanals 2 ergibt den Wert 00000 1 1 0 (binär) = 0x06 (hex).

$$\text{Kanal 0: } 00000 \text{ 1 0 0} = 0x04$$

$$\text{Kanal 1: } 00000 \text{ 1 0 1} = 0x05$$

$$\text{Kanal 3: } 00000 \text{ 1 1 1} = 0x07$$

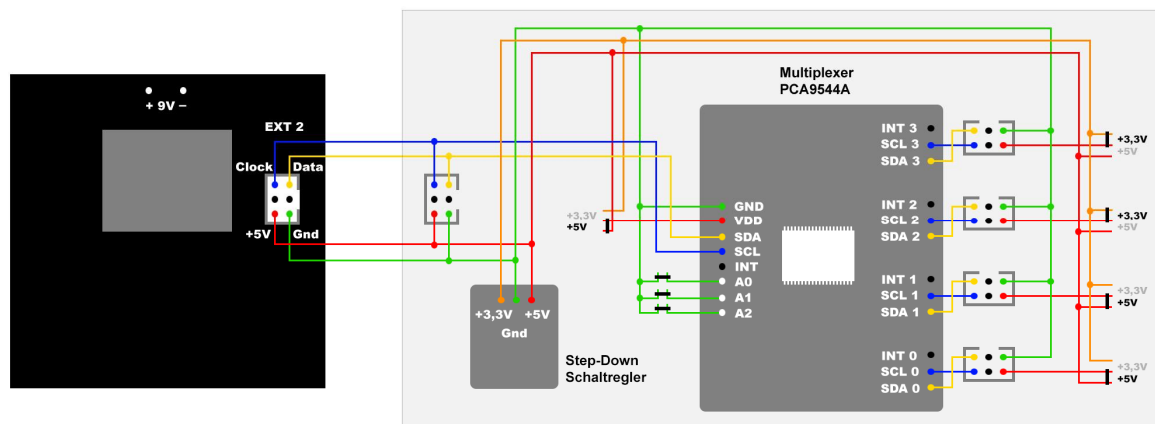


Abb. 4: Anschluss an den TX-Controller

Danach ist der entsprechende Kanal quasi geöffnet und die angeschlossenen Slaves werden so angesprochen, als wäre sie direkt mit dem TX-Controller verbunden.

Um einen anderen Kanal zu wählen, muss der offene Kanal erst wieder geschlossen werden. Also sendet man ein Datenbyte, in dem das „enable Bit“ **B2** auf „0“ gesetzt ist (einen Kanal muss man nicht wählen):

$$00000\ 0\ x\ x \rightarrow 00000\ 0\ 0\ 0 = 0x00$$

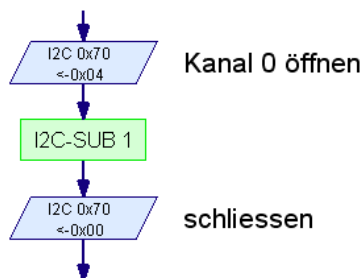


Abb. 5: RoboPro-Befehle

Da man ja immer – außer beim ersten Kanal-Öffnen – den „Schließen-Befehl“ schicken muss, kann man es sich einfach machen und beides kombinieren:

Zuerst kommt die Geräteadresse, gefolgt von dem „Schließen-Befehl“ als Unteradresse und danach dann als „Datenwert“ über den Dateneingang der Befehl „Kanal-Öffnen“ (Abb. 6).

Der große Vorteil des Multiplexers ist, dass man in RoboPro den Kanal und die daran angeschlossenen Komponenten mittels Datenwert über den Dateneingang anwählen kann. Dadurch kann man bei identischen Sensoren an mehreren Kanälen auf die gleichen I²C-Programmelemente zugreifen ohne diese – mit jeweils einer separaten Geräteadresse versehen – entsprechend duplizieren zu müssen.

Wer mag kann hier den [RoboPro-Treiber](#) downloaden:

- Multiplexer-Treiber_PCA9544A.rpp
Diese Datei enthält drei Varianten, den Multiplexer anzusteuern.

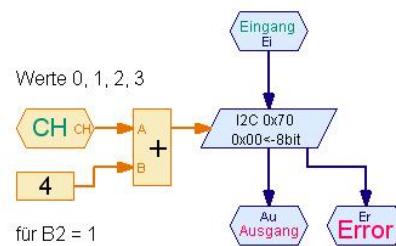
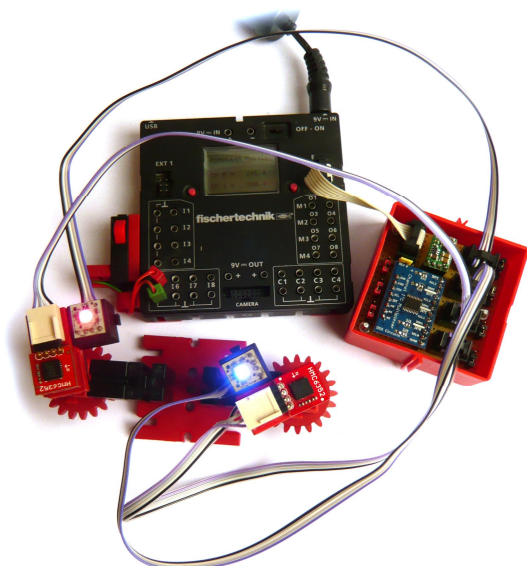


Abb. 6: RoboPro-Unterprogramm

Quellen

- [1] NXP: [PCA9544A / 4-channel I2C-bus multiplexer with interrupt logic](#). Product data sheet, Rev. 04, 15.06.2009.
- [2] P. Boogaards, J.-M. Irazabal, S. Blozis: [PCA954X Family of I²C / SMBus Multiplexers and Switches](#). Application Note AN262_2, Philips Semiconductors (NXP), 27.10.2004.



Computing

fischertechnik und Lego

Helmut Wunder

Auch wenn zur Zeit der aktuelle Lego NXT dem Ende seiner Vertriebszeit entgegen geht (ab Herbst kommt der abwärtskompatible Nachfolger EV3), so ist er doch zur Zeit z. B. bei ebay recht preiswert gebraucht erhältlich (unter 100 €) und daher sicher auch für viele fischertechniker – ähnlich wie Arduino-basierte Systeme – als Spiel- und Experimentierfeld interessant.

Die Verbindung der beiden Systeme ist im Prinzip sehr einfach und mit höchstens ein ganz klein wenig Bastelei verbunden. Gerade für die elektrische Verbindung muss ich natürlich um Vorsicht bitten, und ich muss aus juristischen Gründen vorausschicken:

Achtung: Ohne Gewähr und unter Haftungsausschluss für etwaige entstehende Defekte und/oder Folgeschäden beim Nachbau!

Mechanische Verbindung



Abb. 1: Mechanische Verbindung der Loch-Balken

Bei den Achsen verwende ich Messing-Achsadapter von vier auf fünf mm von Andreas Tacke (TST). Mit ihnen lassen sich die 5 mm-Lego-Achsen mit „+“-förmigem Querschnitt perfekt mit den 4 mm-fischertechnik-Metallachsen verbinden. Zur Verbindung mit den fischer-

technik-Kunststoffachsen habe ich noch keine Lösung gefunden.

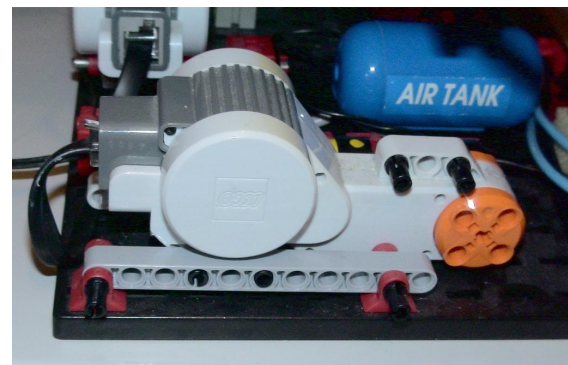


Abb. 2: Anwendung im Modell



Abb. 3: Mechanische Verbindung der Achsen

Elektrische Verbindung

Die elektrische Verbindung mit den Lego-Kabel/Stecker-Systemen und dem NXT Baustein klappt ebenfalls. Aber Achtung – nochmals: Das Folgende gilt ohne Gewähr und unter Haftungsausschluss für etwaige Defekte und/oder Folgeschäden beim Nachbau.

Lego verwendet beim NXT ein abgewandeltes Westernsteckersystem mit asymmetrischer Sicherung. Das soll es wahrscheinlich Kindern erschweren, andere Westernstecker einfach dranzu-

stecken, womit Beschädigungen oder sogar Gefahren verbunden sein können.

Die NXT-Stecker und -Kabel sind 6-polig; längst nicht alle Litzen werden dabei unbedingt für Fischertechnik gebraucht:

Auf Sensorseite:

Pin	Farbe	Sensoranschluss (Standardwerte)
1	weiß	ANA Analog +9V
2	schwarz	GND (-)
3	rot	GND (-)
4	grün	+4,3V
5	gelb	SCL (digital, I ² C: Serial Clock Line)
6	blau	SDA (digital, I ² C: Serial DAta Line)

Auf der Motorseite:

Pin	Farbe	Motoranschluss
1	weiß	Motor +9V; PWM- Steuerung
2	schwarz	Motor -9V; PWM- Steuerung
3	rot	GND (-)
4	grün	+4,3V
5	gelb	Motorencoder (Kanal a; Schmitt-Trigger- Funktion)
6	blau	Motorencoder (Kanal b; Schmitt-Trigger- Funktion)

Abb. 4 zeigt den programmierbaren NXT: Oben die drei Motorports (mit integrierten Encoderkontakten) und der USB-Anschluss, unten die vier I²C/Analog-Sensorports, in der Mitte vier fest eingebaute programmierbare Taster (Buttons). Wichtig zu wissen: Alle Sensorports sind einerseits sechsadrige I²C-Ports, man kann sie aber andererseits im eigenen Software-

Programm z. B. auch als Analogeingang (Fotowiderstand, Geräusch- oder aktiver Lichtsensor) oder als Taster konfigurieren, je nachdem, welchen Sensor man gerade zur Hand hat.



Abb. 4: Der Lego NXT-Baustein

Für passive Analog-Sensoren und Taster sind nur die weiße und die schwarze Litze des sechspoligen Verbindungskabels interessant. Praktischerweise werden genau diese beiden auch für die PWM-Steuerung von Gleichstrom-Motoren (wie die von Fischertechnik) verwendet.



Abb. 5: Normales NXT-Kabel

Also: Einfach ein NXT-Kabel durchschneiden, die weiße und schwarze Litze abisolieren, Bananenstecker dran – fertig!

Die restlichen Litzen kann man natürlich noch für kompliziertere Elektronik verwenden. An den Bananensteckern lässt sich jetzt fischertechnik-Hardware anschließen.

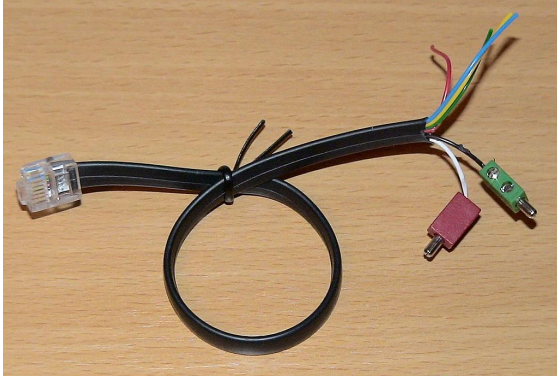


Abb. 6: NXT-Kabel mit zwei Bananensteckern

Neben diesem neueren Kabelsystem verwendet Lego auch noch ein älteres zweipoliges, das vorwiegend für die „normale“ Technic-Linie und früher auch für den Vorgänger RCX Verwendung fand. Es hat endständig einen 2 x 2-Flachbaustein mit vier Kontakten, von denen je zwei Verbindung zum damit gepaarten Kontakt herstellen. (Durch Verdrehung der Steckpartner gegeneinander entsteht eine Umpolung, das soll uns hier nicht weiter interessieren.)



Abb. 7: Technic/RCX-Kabel



Abb. 8: Technic/RCX-Kabel mit Bananensteckern

Auch hier lässt sich an den Bananensteckern wieder fischertechnik-Hardware anschließen.

Nur der Vollständigkeit halber: Es gibt auch ein fertiges Lego-Adapterkabel zur Verbindung von alten und neuen Systemen (RCX-Sensoren und Motoren an NXT-Steckersystem):

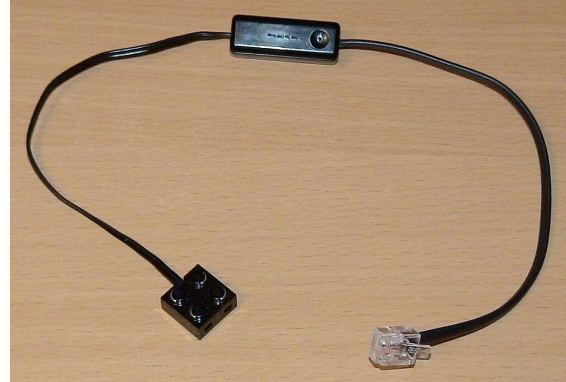


Abb. 9: NXT-RCX-Adapterkabel

Hier ein Anschlussbeispiel: Ein NXT Baustein mit ft-Taster, ft-Fototransistor und ft-Motor:

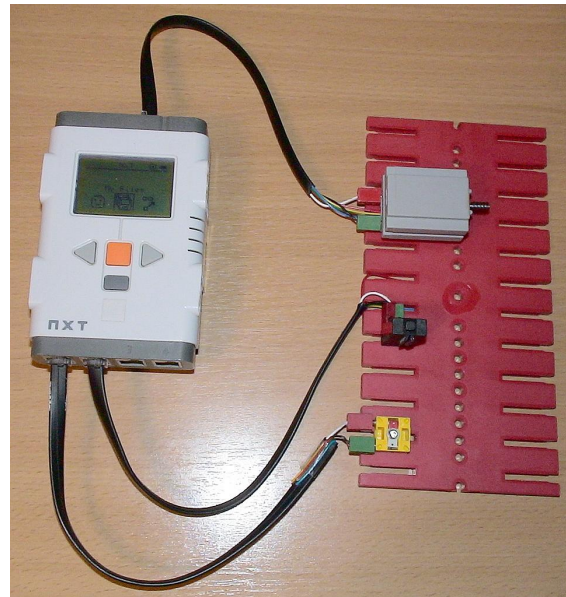


Abb. 10: NXT mit fischertechnik-Elektrik

Sensor- und Motor-Multiplexer

Was macht man nun, wenn die Anschlüsse nicht ausreichen für die Sensoren und Motoren, die man hat? Ganz einfach: man verwendet einen zweiten oder dritten

gekoppelten NXT – oder einen Multiplexer. Fertige Multiplexer sind meist vom I²C-Typ. An ihnen lassen sich ganz verschiedene „Endgeräte“ anschließen.

Es gibt Multiplexer für drei bis vier Taster (Abb. 11) oder für vier beliebige Sensoren (Abb. 12 und 13) oder auch für zwei bis acht Motoren, z. B. von Hitechnic und/oder Mindsensors (Abb. 14). Diese lassen sich teilweise sogar kaskadieren (16 Taster oder Analog-Sensoren an einem NXT-Port).



Abb. 11: Hitechnic 4 x Touch-Mux



Abb. 12: Mindsensors 4 x Sensor-Mux

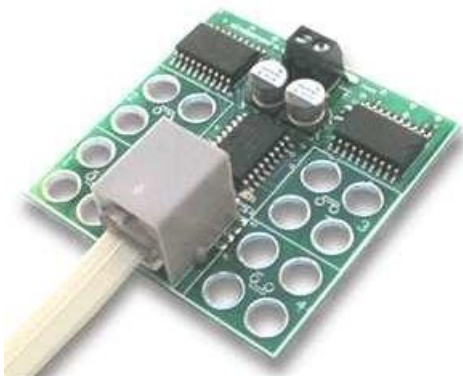


Abb. 13: Mindsensors 4 x RCX Motor-Mux

Mit den oben beschriebenen Kabel-Bananenstecker-Adaptationen sind diese Multiplexer auch für viele fischertechnik-Sensoren und Motoren geeignet (vgl.

Abb. 14): ein HT SensorMux mit einem Lego-Ultraschall-Sensor, einem ft-Taster, einem ft-Fototransistor und einem RCX-Tast-Sensor an einem NXT-Port.

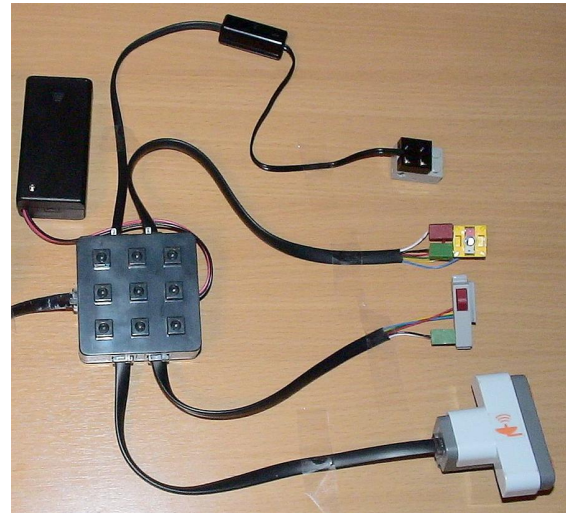


Abb. 14: Hitechnic 4 x Sensor-Mix

Anschluss selbstgebauter Sensoren und Geräte

Außer „Fremd“-Hardware wie fischertechnik lassen sich auch selbstgebaute Sensoren am Lego NXT anschließen, etwa wie in Abb. 15 PCF8574-Muxer (hier ein 8 x Taster- und ein 8 x LED-Multiplexer nebeneinander).



Abb. 15: Zwei PCF8574-Muxer nebeneinander

Die zwei sechsadrigen I²C-Kabel gehen an den NXT (per Portsplitter an 1 NXT-Port), während beide I/O-Steckerleisten mit Einzel- oder Flachbandkabel an ft-

Buchsenplatten (Abb. 16) angeschlossen werden können:

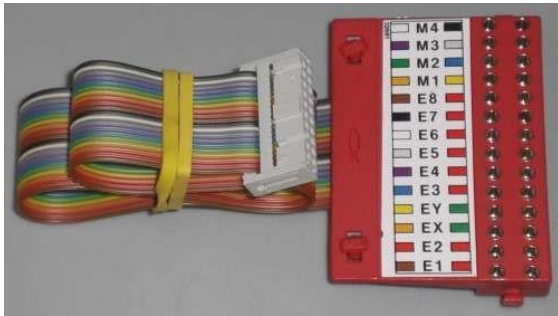


Abb. 16: fischertechnik Buchsenplatte
(Foto: Danke an fischerfreundswoman.de)

Schon hat man einen Anschluss z. B. für acht fischertechnik-Taster und acht steuerbare LEDs an einem einzigen NXT-Port.

Per Portsplitter, einer Art mehrfach-Y-Kabel (siehe Abb. 17), können noch weitere Einzelsensoren oder diverse Multiplexer am selben NXT-Port angeschlossen werden. Sie müssen nur jeweils eine andere I²C-Adresse haben. Dann hätte man 16, 24, 32... Taster an einem NXT-Port.



Abb. 17: I²C-Portsplitter

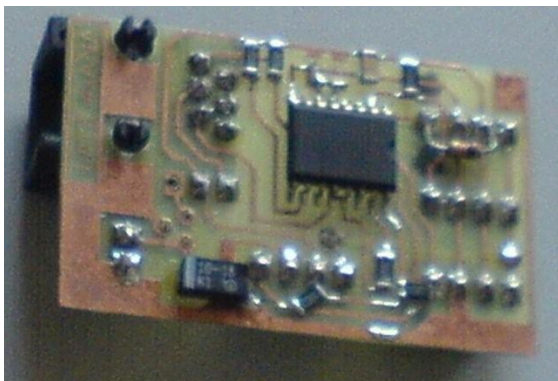


Abb. 18: Vierfach-Analog-Mux (PCF8591)

Andere Bastler haben einen PCF8591 für einen vierfach-Analog-Sensor-Multiplexer

gebaut. An diesem kann man z. B. vier fischertechnik-Fotowiderstände gleichzeitig anschließen.

Sehr interessant ist auch ein MAX127-basierter Muxer für 8 x Sharp GP2D* Infrarot-Distanzsensoren („Mightyboard“ Platine von Xander Soldaat):



Abb. 19: Achtfach Sharp-IR-Mux
(MAX127, ohne ICs)

Da sie alle I²C Devices sind, kann man sie gleichzeitig mit anderen Geräten per Portsplitter am selben NXT-Port betreiben und so auch nahezu beliebig viele Taster und Analogsensoren anschließen.

Analog/I²C-Multiplexer brauchen teilweise eine zusätzliche externe Spannungsversorgung. Für einen Sensor-Mux reicht ein kleiner 9 V-Block, für einen Motor-Mux samt angeschlossener Motoren verwendet man besser einen 9 V bis 12 V fischertechnik- oder RC-Akkupack. Der versorgt dann alle anderen Verbraucher mit, den NXT (via externem DC-Stecker) eingeschlossen.

Beispielanwendung

Hier zur Veranschaulichung mein Schachroboter auf der Basis eines fischertechnik Trainingsroboters aus den 1980ern, gebaut etwa 2011. Er besitzt bisher einen NXT mit sieben „Motoren“ (elektromagnetische Ventile mitgerechnet) und zehn Sensoren über zwei Multiplexer (ein Motor-Mux und ein Taster-Mux): Drei Lego-Encoder-Motoren steuern Drehturm, Ober- und Unterarm direkt über die drei NXT Encodermotor-Ports.



Abb. 20: Gesamtansicht des Schach-Roboters

Über einen Motor-Mux an einem NXT-Port sind angeschlossen: ein fischertechnik-Motor für die Hand (auf/ab), zwei elektromagnetische fischertechnik-Ventile für den Greifer (auf/zu) und ein weiterer Lego-Motor für den Luftkompressor.

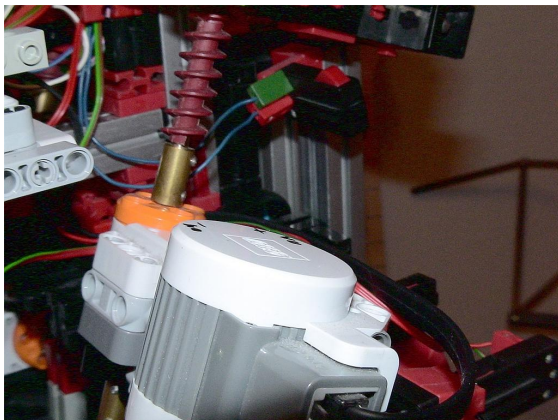


Abb. 21: Messingadapter für die Achsen

Außerdem sind bisher acht Taster (teilweise über einen Taster-Mux) und ein analoger Pneumatik-Drucksensor verbaut. Zusätzlich werden noch zwei EOPD- (ein optischer Näherungssensor) und/oder Farb-Sensoren zur Figuren-Lokalisierung folgen.

Abb. 21 zeigt die Kopplung von Achsen sowie rechts dahinter fischertechnik-Taster, die am PCF8574 Taster-Mux angeschlossen sind.

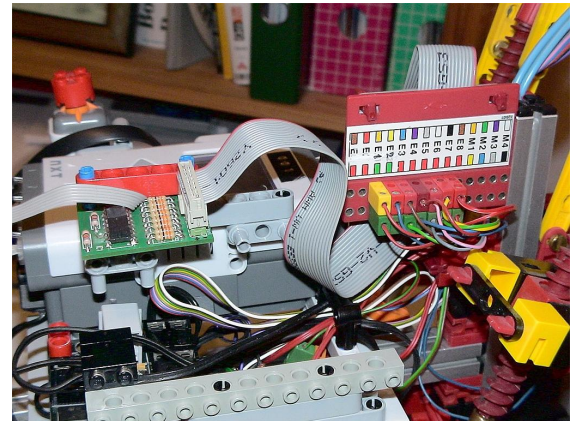


Abb. 22: Sieben fischertechnik-Taster an Buchsenplatte am PCF8574 Mux

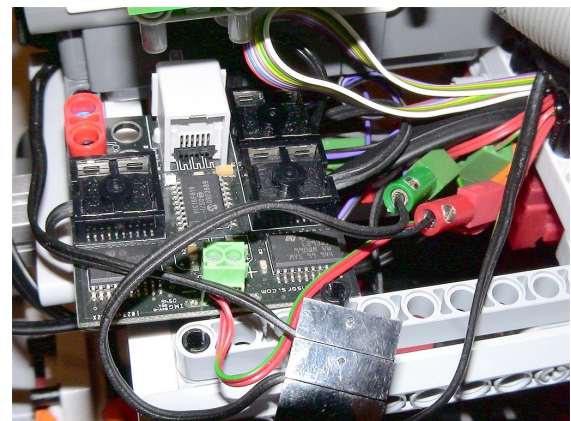


Abb. 23: Ein Lego- und zwei fischertechnik-Motoren (mit Bananensteckern) am Motor-Mux

Zur genauen Positionierung der Roboter-Hand war es wichtig, dass die Encoder-motoren auch Richtungssignale korrekt verarbeiten: wegen des passiven Nachlaufs, für die PD-Regler-Steuerung und zur manuellen Nachjustierung bei der Erstellung der Lookup-Positionierungstabelle. Daraus resultierte hier die ausschließliche Verwendung der NXT-Encoder-Motoren.

Zur Programmierung

Ich persönlich programmiere nur mit schriftbasierten Sprachen und auch nur für den autonomen Betrieb, am liebsten mit

NXC. Das ist einfach, trotzdem Multitasking-fähig, hat aber zugegebenermaßen auch die einen oder anderen Nachteile und Mängel. Unter [1] findet sich eine kurze Funktionsübersicht als Einführung.

Für objektorientierte Programmierung (mit einer riesigen Klassenbibliothek) ist Java (LeJos) empfehlenswert [2].

Selbstverständlich gibt es aber auch Iconbasierte „Programmiersprachen“, zum einen das mitgelieferte (inzwischen kostenlose) „NXT-G“ [3], zum anderen auch das recht teure Labview, sowie noch weitere andere.

Ich hoffe, ich konnte ein paar interessante Perspektiven in einem anderen Robotik-Bereich aufzeigen, und ich wünsche allen Interessierten viel Spaß beim Experimentieren mit dieser alternativen Robotik-Plattform!

Quellen

- [1] Mindstorms Forum: NXC: [*Einfache Programme für Einsteiger*](#).
- [2] Julian Schill und Boris Stach: [*Programmierung der Lego Mindstorms NXT-Roboter mit leJOS*](#), Karlsruher Institut für Technologie.
- [3] [*NXT-G ISO-Image*](#), Lego



*Schaufelradbagger aus dem neuen Kasten „Power Machines“
– mit einem bemerkenswert robusten Fahrwerk.*