

Editorial

Die Mission

Wir schreiben das Jahr 1961. In Berlin wird die Mauer gebaut, in Kuba ruft Fidel Castro den Kommunismus aus und in den USA wird John F. Kennedy als 35. Präsident der Vereinigten Staaten von Amerika vereidigt.

Ein Jahr der Umbrüche und politischer Spannungen. Vor allem aber das Jahr der vielleicht mutigsten und visionärsten Missionen aller Zeiten: Am 25. Mai 1961 erklärt John F. Kennedy, dass vor Ende des Jahrzehnts ein Amerikaner den Mond betreten und wohlbehalten auf die Erde zurückkehren wird.

Dabei waren zu diesem Zeitpunkt zahlreiche der technischen und informatischen Herausforderungen einer Mondlandung mit Rückkehr zur Erde ungelöst, es fehlte an leistungsfähiger Informationstechnik und die Amerikaner hinkten zudem den Russen hinterher: Nur wenige Wochen zuvor war Juri Gagarin der erste bemannte Weltraumflug geglückt.

Deshalb war es keineswegs ausgemacht, dass die Amerikaner das vollmundige Versprechen ihres charismatischen Präsidenten erfüllen würden – allem Ressourceneinsatz zum Trotz. Und der war gewaltig: Bis zu 400.000 Menschen wirkten am Projekt Apollo mit.

Was war an dieser Mission so mitreißend, dass sie nicht nur alle Hindernisse und Widrigkeiten überwinden konnte, sondern sogar seinen Schöpfer überdauerte – der bereits 1963 Opfer eines Attentats wurde?

Zweifellos war sie äußerst herausfordernd – aber nicht offensichtlich unmöglich. Ihre

Dirk Fox, Stefan Falk

Erfüllung war zudem prestigeträchtig, denn sie betrat (im Wortsinne) völliges Neuland. Und es gab wenigstens einen starken Wettbewerber, der sich derselben Mission verschrieben hatte. Vor allem aber gelang es ihr, die Energien, Kenntnisse und Kompetenzen einer ganzen Nation auf ein einziges Ziel zu konzentrieren – und entfesselte damit eine überragende Wirkmacht.

Einen ähnlichen Effekt könnt ihr an euch selbst beobachten, wenn ihr euch an ein herausforderndes fischertechnik-Projekt wagt: Viele Fragen sind zu Beginn unlösbar, und im Verlauf der Umsetzung des Projekts werden zahlreiche Schwierigkeiten auftreten, die ihr zu Beginn nicht einmal geahnt habt. Und dennoch spornt jede gelungene Teillösung nicht nur an, sondern macht eine Kapitulation vor der Herausforderung immer inakzeptabler.

Zwar übersteigen die investierten Ressourcen (Zeit, Material) schnell die ursprünglich gesetzten Limits, aber der sich schließlich und geradezu unvermeidlich einstellende Erfolg entschädigt dafür im Übermaß. Und wenn das Ergebnis ungezählter Stunden und Rückschläge dann auf einer Convention begeisterte Würdigung findet, fühlt es sich an, wie es sich für Neil Armstrong angefühlt haben muss: „Ein kleiner Schritt für einen Menschen, ...“

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

Die Mission	2
50 Jahre Apollo 11 – und das „luna-mobil“.....	4
Kaulquappen (Teil 10).....	7
Rundbögen	9
Erinnerungen an Peter Damen	15
Kran mit Derrickausleger.....	21
Gabelstapler.....	26
Dreipunktregelung.....	32
Wie funktioniert ein I ² C-Level-Shifter?	39
I ² C mit dem TX(T) – Teil 18: Keypads und GPIO-Port- Erweiterung.....	46
Sortieranlage für fischertechnik-Teile.....	52

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Fanclub-Tag	13.07.2019	Waldachtal
Südconvention	21.09.2019	Sinsheim
Clubdag	26.10.2019	Schoonhoven

Impressum

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

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

Autoren: Max-Leo Amberg, Daniel Canonica, Roland
Enzenhofer, Stefan Falk, Dirk Fox, Till Harbaum, Rüdiger
Riedel, Leon Schnieber, Hans Wijnsouw, Dirk Wölffel.

Copyright: Jede unentgeltliche Verbreitung der unver-
änderten 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.

ft-Geschichte

50 Jahre Apollo 11 – und das „luna-mobil“

Roland Enzenhofer

Vor 50 Jahren erreichte das „Space Race“, der Wettkampf zum Mond, seinen Höhepunkt. Die US-Astronauten Neil Armstrong und Edwin „Buzz“ Aldrin setzten als erste Menschen ihren Fuß in den Staub des Erdtrabanten. Apollo 11 war 1969 die erste von insgesamt sechs erfolgreichen bemannten Missionen zum Mond. 600 Millionen Menschen sahen weltweit live am Fernseher zu und hörten Armstrongs bekannte Worte „Ein kleiner Schritt für einen Menschen, ein riesiger Sprung für die Menschheit“. fischertechnik begleitete das Sensationsergebnis mit dem Sonder-Geschenkkasten „luna-mobil“ und zahlreichen Modellen und Beiträgen.

Hintergrund

Die Mondlandung am 21. Juli 1969 um 3:56 MEZ ist wohl das Ereignis, welches die Menschheit bis heute weltweit fasziniert. Anlässlich der erfolgreichen Mission erschien der Sonder-Geschenkkasten „luna-mobil“ von fischertechnik, ausgestattet mit dem damals ebenfalls gerade erschienenen mini-mot. 1 und den Gummi-Raupenbändern (Abb. 1).



Abb. 1: Der mini-mot. 1 und die Gummi-Raupenbänder (Zusatzpackung 021)

Als weitere Besonderheit gilt die Batteriekappe für Flachbatterien, die nur beim „luna-mobil“ zum Einsatz kam (Abb. 2). Diese Kappe war zwar im Schulprogramm Zusatzkasten e 4 auch enthalten, allerdings ging dieser Kasten nie in Serie.



Abb. 2: Batteriekappe für Flachbatterien

Das „luna-mobil“

Der als Sonder-Geschenkkasten zum Preis von 19,90 DM angebotene Modellbaukasten „luna-mobil“ war durch zwei bzw. eigentlich drei revolutionäre fischertechnik-

Neuheiten der wohl minimalistischste Sensationsbaukästen von fischertechnik. Ersstens durch den Einsatz des neuen mini-mot. 1 und zweitens durch die Raupenbänder und die Batteriekappe. Vereint in einem Modell, das Funktion und Einsatz nicht besser verbinden könnte, wurde daraus das legende „luna-mobil“.

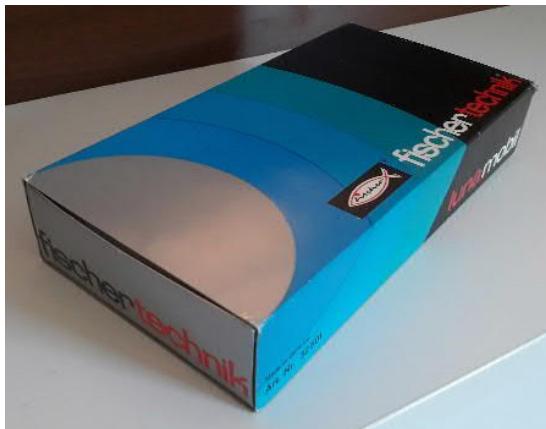


Abb. 3: Sonder-Geschenkkasten „luna-mobil“



Abb. 4: Das „luna-mobil“ in Aktion

Clubhefte und Modelle zur Apollo-Mission

Die Clubhefte Nr. 3 und 4 sowie Clubheft Nr. 5 und das Sonderheft Klaus aus 1969 widmeten sich der Mission Apollo ebenso wie das Clubheft Nr. 6 aus 1970, in dem ein detaillierter Ablauf der Mondlandung mit Modellen von fischertechnik abgebildet wurde (Abb. 5).



Abb. 5: Clubhefte 3-6 und Sonderheft Klaus

Das Clubheft Nr. 4 lieferte die Vorlage für die legendäre Mondlandefähre im Mittelteil als Doppelblatt, auch zu bewundern auf der Rückseite von Sonderheft Klaus (Abb. 6).



Abb. 6: Mondlandefähre im Sonderheft Klaus

Zum Nachbau nur für richtige grau/rot-Spezialisten (Abb. 7).



Abb. 7: Nachbau der Mondlandefähre

In Clubheft Nr. 6 aus dem Jahr 1970 findet sich ein detaillierter Ablauf der Mondlandung mit Modellen von fischertechnik (Abb. 8).

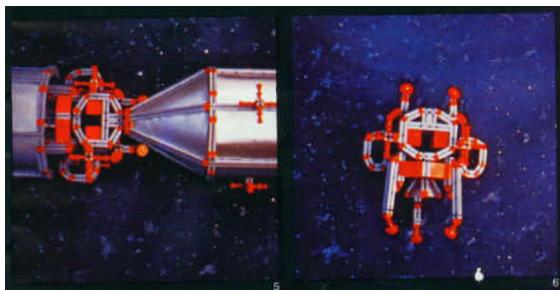


Abb. 8: Darstellung der Mondlandung mit fischertechnik-Modellen in Clubheft Nr. 6

Und es gab auch Apollo-Großmodelle von fischertechnik, wie zum Beispiel der „naturgetreue Nachbau von Kap Kennedy“ im Maßstab 1:100 aus dem fischertechnik-Buch „[Spielen und Erkennen](#)“ aus dem Jahr 1968 (Abb. 9). Die Saturn V-Rakete ist ebenfalls ein beliebtes Modell und immer wieder auf Ausstellungen zu bewundern (Abb. 10).

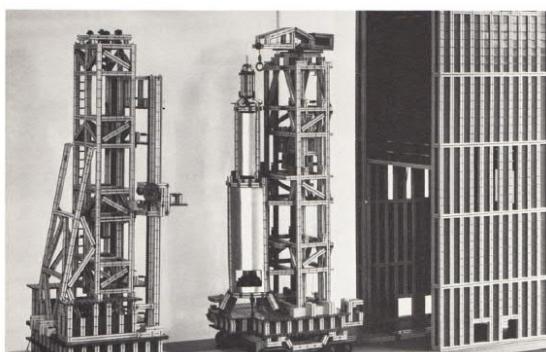


Abb. 9: Kap Kennedy



Abb. 10: Saturn V-Rakete
(oben: Originalfoto aus dem Jahr 1970)

Tipps & Tricks

Kaulquappen (Teil 10)

Stefan Falk

Bei den Arbeiten an einem Kipper-LKW ergaben sich ein paar zwar letztlich für das Modell verworfene, aber grundsätzlich doch nützliche Kleinode.

BS7,5 kraftschlüssig mit einer Hubzahnstange verbinden

Wer schon mal einen BS7,5 auf eine Hubzahnstange gesetzt hat, wird bemerkt haben, dass der leicht durchrutscht. Das kann man mit eingeschobenen Papierstückchen verbessern, oder man geht so vor: Man verwendet mindestens zwei Hubzahnstangen. Ebenso werden zwei BS7,5 aufgeschoben, und zwar so, dass zwischen den beiden – genau in den Zwischenraum der Federn der beiden Zahnstangen – ein Leuchtstein-Stopfen ([36495](#), vielleicht auch bekannt als Leuchtstein-Abdeckplättchen) eingefügt wird:

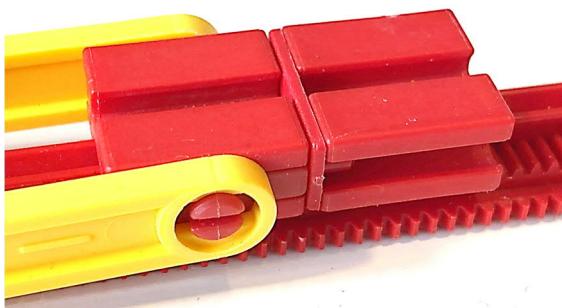


Abb. 1: Leuchtstein-Stopfen zwischen zwei Zahnstangen

Damit kann, z. B. wie in der Abb. 1 gezeigt, eine Strebe in einer Richtung (hier: auf Druck nach links) kraftschlüssig geschoben werden. Der linke BS7,5 mag versuchen, durchzurutschen, wird aber vom Abdeckplättchen daran gehindert, das sich nämlich an der Feder der nächsten (hier: rechten)

Hubzahnstange abstützt. Damit das Plättchen nicht herausfällt, wird es durch einen zweiten BS7,5, der keinerlei großen Kräfte aufzunehmen muss, gesichert.

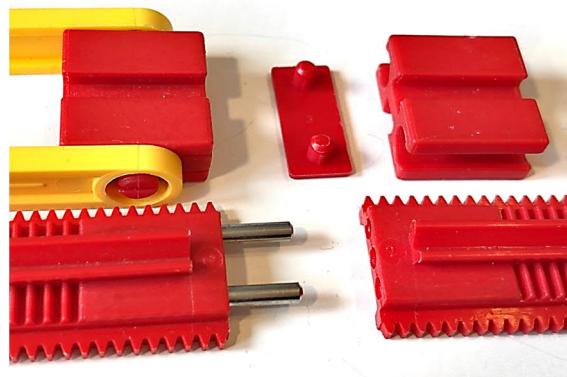


Abb. 2: Bestandteile der Hubzahnstangen-Lösung

Ein drehbares Kipp-Gelenk



Abb. 3: Dreh- und Kipp-Gelenk

An einer anderen Stelle im geplanten LKW wurde folgende Idee entwickelt: Abb. 3 zeigt ein kompaktes Gelenk, das auch noch

drehbar ist. Es besteht – von links nach rechts – aus folgenden Bauteilen:



Abb. 4: Bestandteile des Gelenks

- Ein ankommendes Bauteil, hier ein Statikträger,
- ein Lagerstück 1 ([31771](#)),
- zwei Scheiben 4 16 ([105195](#), die graue Fassung [31647](#) geht auch)
- ein Lagerstück 2 ([31772](#)),
- eine Kunststoffachse 15 grau ([38226](#), die nicht stark klemmt, anders als der rote Seilklemmstift [107356](#)) und schließlich
- eine Klemmhülse 7,5 ([35980](#)), von der ab weitergebaut werden kann.

Um ein bereits zusammengestecktes Lagerstück wieder in die beiden Teile zu zerlegen, braucht man etwas Geschick, weil die Achse in der Mitte kräftig einrastet. Da helfen ein gelber fischertechnik-Schraubendreher, Geduld – und Vorsicht, dass man sich nicht dabei verletzt.

Die beiden „Unterlegscheiben“ sind notwendig, damit die Klemmhülse beim Drehen nicht an der Drehachse des Lagerstücks anstößt.

Das so gebildete Gelenk kann gut auf Druck, aber nicht auf Zug beansprucht werden. Anders ausgedrückt: Man kann es durch Ziehen leicht lösen (die beiden Lagerstück-Hälften trennen sich dabei voneinander) und ebenso leicht wieder zusammenstecken.

Eine Teleskop-Stange aus Streben

Abb. 5 schließlich zeigt eine ausfahrbare Teleskop-Stange. Um die Rollen kann ein Seil gelegt werden, um sie auszufahren.

Eingefahren wird sie durch Druck von außen.

Der springende Punkt ist der Abstand zwischen den äußeren Streben. Eine I-Strebe 15 ist nämlich etwas zu kurz, sodass die inneren Streben hoffnungslos einge-klemmt würden. Aber eine graue ([36330](#)) oder rote ([31669](#)) Statik-Gelenk-Lasche findet hier mal eine sinnvolle Anwendung: Die Abstände passen wie dafür gemacht.

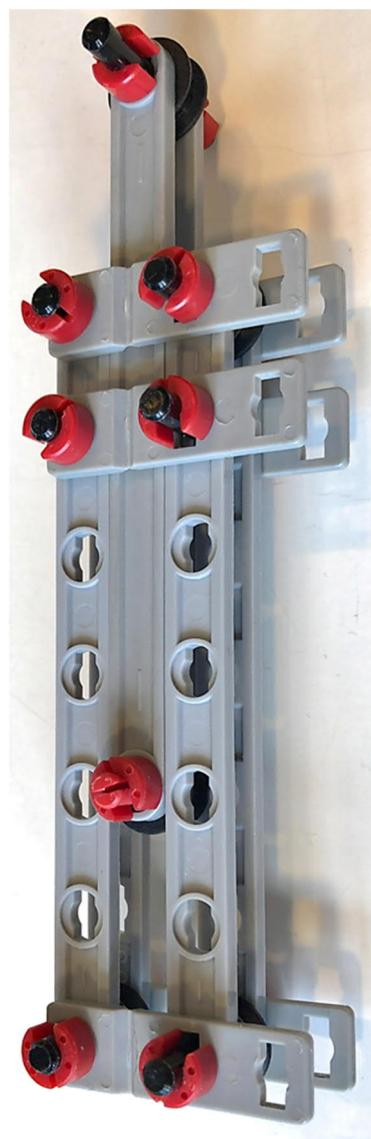


Abb. 5: Streben-Teleskop-Stange

Grundlagen

Rundbögen

Rüdiger Riedel

Bautechnik fundamental, oder Stein auf Stein.

Im ft:c-Bilderpool findet sich der Untertitel „Bauwerke“. Die meisten Modelle darunter sind Skelettbauten, nur einige wenige entsprechen dem, was man sich unter einem Haus oder Gebäude vorstellt, z. B. das „kleine Haus mit Angeber-Flitzer“ [1] oder die „Tower Bridge“ [2]. Auf den Conventions gab es auch eine großartige Ritterburg zu sehen. Wir werden nun die fischertechnik-Bausteine wie einfache Holzbauklötze behandeln und sehen, was sich damit erreichen lässt und welche Erkenntnisse wir daraus gewinnen können.

Der Kragbogen

Für den Anfang weichen wir vom Titel ab: Wir bauen einen „falschen Bogen“, die technische Bezeichnung dafür ist Kragbogen [3]. Wenn wir aus der lose aufgeschichteten Bausteinmauer (vorsichtig) drei Bausteine hinausschieben, fallen drei weitere herunter und es entsteht ein Tor, ein falscher Bogen (Abb. 2).

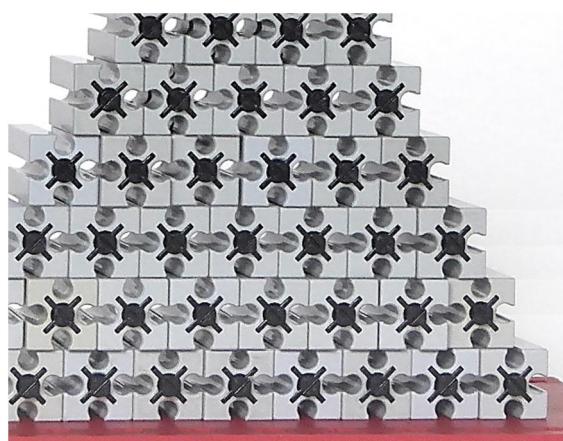


Abb. 1: Eine Mauer aus Bausteinen 30

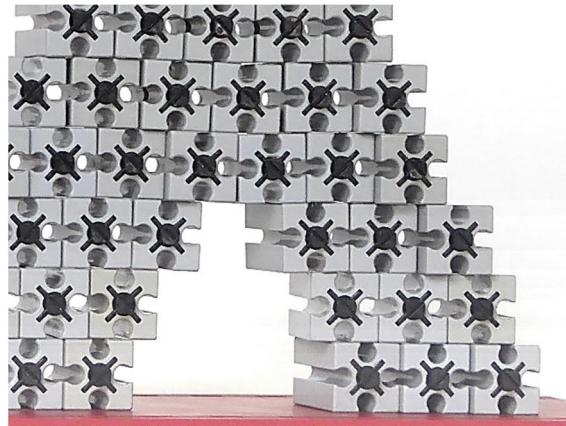


Abb. 2: Der falsche Bogen, Kragbogen

Seine Tragfähigkeit ist gering, stabilisiert wird er durch das Gewicht der übrigen Mauersteine.

Diese Art Bogen war in der mittel- und südamerikanischen Architektur verbreitet, der echte Bogen war dort nicht bekannt.

Echte Bögen

Erfunden wurde der echte Bogen wahrscheinlich im Zweistromland 700 v. Chr.; zur Blüte gelangte er bei den Römern, die damit Tor- und Fensterbögen, Brückebögen und die berühmten Aquädukte bauten.

So ein Bogen besteht aus einer gewissen Anzahl von Keilsteinen. Die Basis des Bogens wird rechts und links von je einem Kämpfer genannten Stein gebildet. Darauf folgen die Keilsteine und symmetrisch am Scheitel wird der Schlussstein eingesetzt.

Die Umsetzung mit fischertechnik-Steinen erwies sich als ziemlich diffizil. Den ersten Erfolg erreichte ich mit Keilsteinen,

bestehend aus dem Verbund von je einem BS30, einem Winkelstein 15° und einer Bauplatte 15·30 2Z (Abb. 4).



Abb. 3: Rundbogen am Hochzeitshaus in Fritzlar, eig. Aufnahme

Der Schlussstein besteht ebenfalls aus einem BS30, dazu zwei Winkelsteinen 15° und zwei Bauplatten 15·30 2Z. In Abb. 4 fügt er sich noch nicht richtig in den Bogen ein, die Basis muss also verbreitert werden.

Nur die Gewichts- und Keilkräfte halten den Bogen zusammen.

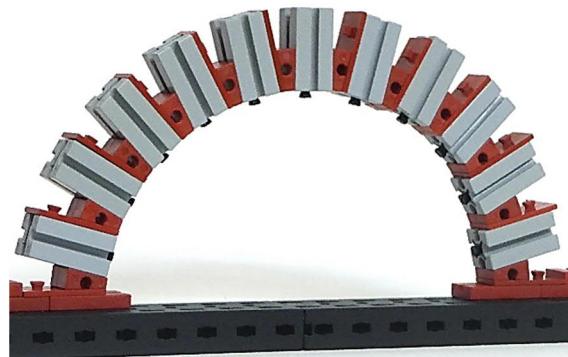


Abb. 5: Der verbesserte Rundbogen

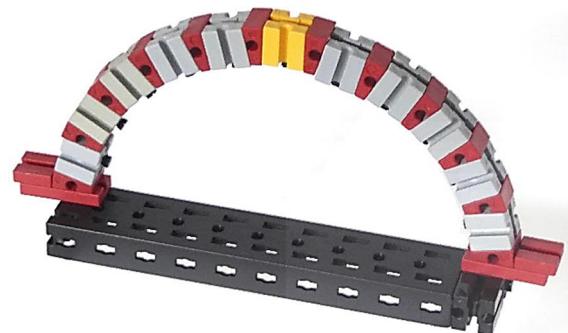


Abb. 6: Rundbogen

Der Bogen in Abb. 6 besteht aus den Keilsteinen BS15 plus WS 15° und dem Schlussstein BS15 plus zwei WS 15° .

Aufgebaut wird er liegend auf einer glatten Unterlage, z. B. einer Statikplatte 180 · 90 für kleine Bögen oder einer Grundplatte 500. Die Unterlage wird dann zusammen

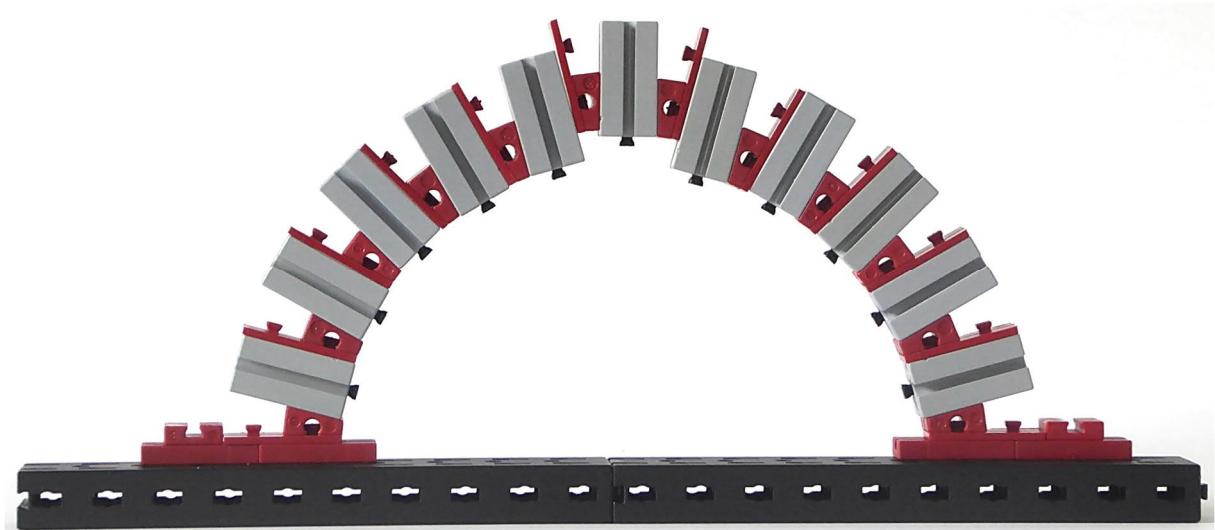


Abb. 4: Der erste Rundbogen

mit dem Fundament vorsichtig (!) in die Senkrechte gebracht und die Unterlage vorsichtig nach hinten weggezogen.

Segmentbögen

Einen schönen Segmentbogen habe ich auf der Felsburg in Felsberg (Nahe Fritzlar) gefunden:



Abb. 7: Der Segmentbogen (eigene Aufnahme)

Er besteht nicht mehr aus einem Halbkreis, sondern nur aus einem Kreissegment. Dadurch lassen sich größere Spannweiten bei verringelter Scheitelhöhe erzielen. Die flache Bauweise ist besonders vorteilhaft für weit gespannte Brücken. Der größere Seitenschub gegenüber Rundbögen kann hier im Allgemeinen in das Erdreich an Anfang und Ende eingeleitet werden.

Für mich überraschend ist ein Aufbau mit fischertechnik recht einfach und gelingt oft schon auf Anhieb – siehe Abb. 8.

Die zweimal fünf Keilsteine bestehen aus je einem BS15 und einem Winkelstein 7,5°, der Schlussstein aus einem BS15 und zwei Winkelsteinen 7,5°. Die Auflager müssen hier einen Winkel von 45° gegen die Waagerechte aufweisen, dargestellt durch je einen WS 30° und einen WS 15°.

Diesen Bogen habe ich wieder liegend auf einer Grundplatte 500 zusammengefügt. In der Praxis kann so natürlich nicht verfahren werden, hier werden Lehrgerüste verwendet.



Abb. 9: Oben das Lehrgerüst und die Bausteine, unten der Bogen im Rohbau

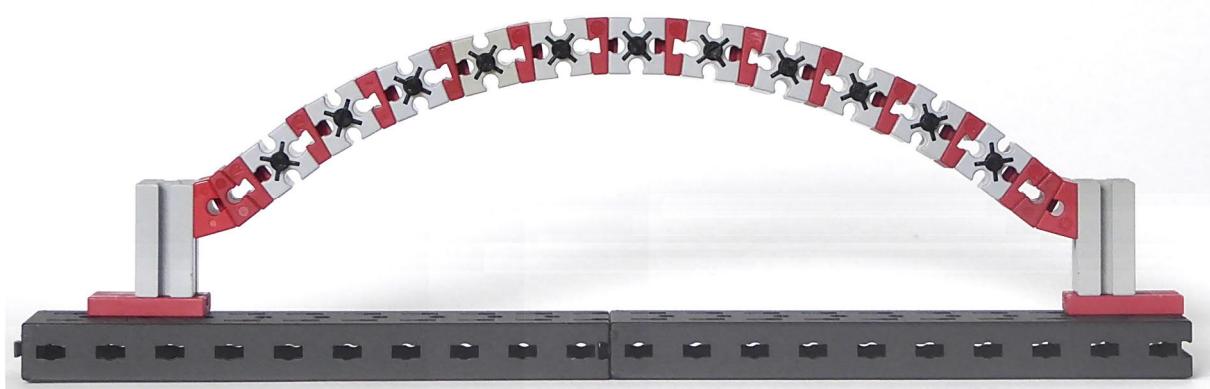


Abb. 8: Der fischertechnik-Segment- oder Flachbogen

Im Modell verwende ich einen Bogen 60° (zwei Bogenstücke 60 Nr. [36308](#) und ein Flachträger Nr. [36305](#)) mit je zwei WS 7,5° und einem BS7,5 an den Enden, er liegt lose auf den unteren Widerlagern. Darauf werden die Keilsteine (je ein WS 7,5° und ein BS7,5) und der Schlussstein aus einem BS7,5 und zwei WS 7,5° aufgelegt.

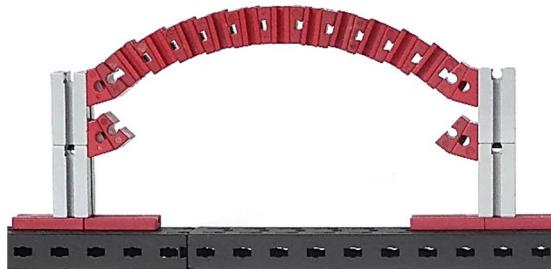


Abb. 10: Der Bogen ist fertig, das Lehrgerüst ist entfernt

Der Bogen 60° wird vorsichtig zur Seite herausgezogen (das Lehrgerüst wird entfernt) und die Brücke ist fertig.

Scheitrechter Bogen

Manchem Baumeister hat es wohl nicht gefallen, den Fenster- oder Türsturz bogenförmig auszuführen. Es wurde somit ein Bogen mit waagerechtem Aussehen erfunden, der Scheitrechte Bogen oder Horizontalbogen.

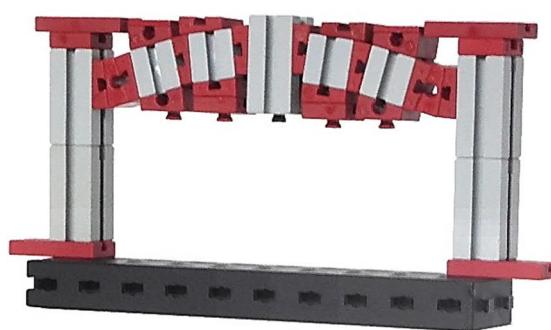


Abb. 11: Annäherung an den Scheitrechten Bogen

Konstruktiv ist es ein Segmentbogen, dessen Keilsteine so bearbeitet werden, dass sich eine waagerechte Unter- und evtl. Oberkante ergibt.



Abb. 12: Teile des Scheitrechten Bogens

Auf Lanzarote hatte ich einen Tor-durchgang gesehen, dessen Bogen nur am Schlussstein und an den Auflagern keilförmig bearbeitet war, vier weitere Steine waren quaderförmig.

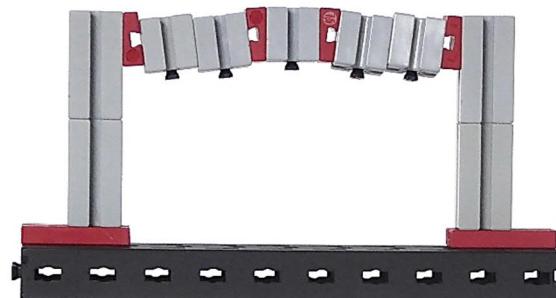


Abb. 13: Der „Lanzarote-Bogen“

Das lässt sich tatsächlich nachbauen und ähnelt einem Scheitrechten Bogen (Abb. 13).

Ein ganz bekannter Bogen fehlt uns noch, der

Spitzbogen oder Gotische Bogen

Vor allem im Kirchenbau fand der Spitzbogen große Verbreitung.

Er besteht rechts und links aus zwei Kreissegmenten, die sich in einer Spitze treffen.

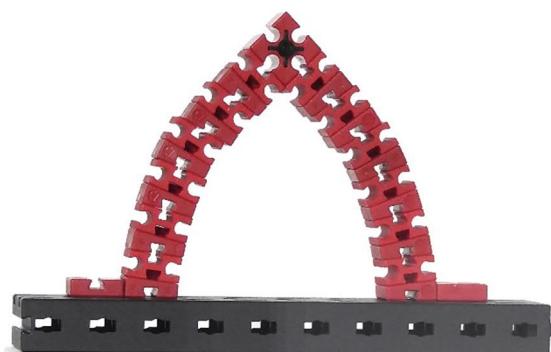


Abb. 14: Der Spitzbogen



Abb. 15: Der breite Spitzbogen

Der breite Spitzbogen hat Keilsteine, bestehend aus dem Verbund von je einem BS30, einem Winkelstein $7,5^\circ$ und einer Bauplatte 15·30 2Z. An der Spitze wird er von einem Verbund aus zwei BS30 abgeschlossen.

Statik

Geschichtetes Mauerwerk besitzt überhaupt keine Zugfestigkeit. Auch Mörtel ändert daran wenig. Seine Aufgabe ist es, die Auflage der Steine zu verbessern, nicht aber, die Steine zu verkleben. Die Druckfestigkeit von Natursteinen ist in [7] gelistet, die Biegezugfestigkeit erreicht oft nicht mal 10% davon. Also sollten Bögen so gestaltet werden, dass sie hauptsächlich auf Druck beansprucht werden.

Die einzelnen Bogenformen sind statisch verschieden günstig. Neben günstigen

Formen (parabelähnlichen und normalen Spitzbögen) stehen statisch ungünstige wie Rundbögen mit ihrem starkem Seitenschub [5].

Auf die günstigste Form des unbelasteten, nur sein Eigengewicht tragenden Bogens kommt man durch einen Vergleich mit einer hängenden Kette. In dieser treten nur Zugkräfte auf, dreht man sie in Gedanken um 180° , dann erhalten wir einen Bogen, in dem durch sein Eigengewicht nur Druckkräfte auftreten [4].



Abb. 16: Die Kettenlinie

Eine gute Annäherung an diese Katenoide (Kettenlinie, Kettenkurve, Seilkurve) bildet der Parabelbogen.



Abb. 17: Der „ideale“ Bogen

Abschluss

Zum Schluss habe ich noch einen breiten Rundbogen aufgebaut.

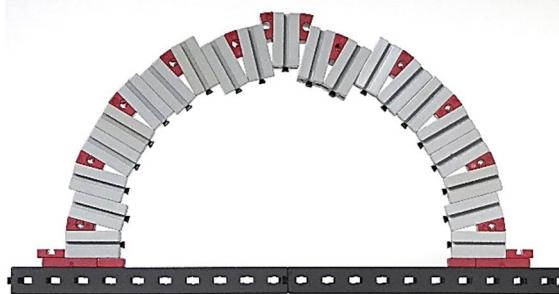


Abb. 18: Ein verunglückter Bogen

Er hält zwar, aber schön ist er nicht. Eine verbesserte Ausführung folgt in Abb. 19. Die 10 Keilsteine sind aus je zwei BS30 und einem WS15° zusammengesetzt, der Schlussstein aus einem BS30 und zwei WS15°.

Quellen

- [1] Stefan Falk: *Kleines Haus mit Angeber-Flitzer* im [Bilderpool der ft-Community](#).
- [2] Frederik Vormann: *Tower Bridge* im [Bilderpool der ft-Community](#).
- [3] Wikipedia: [Kragbogen](#).
- [4] Wikipedia: [Bogen \(Architektur\)](#).
- [5] Georg Hoeltje, Fritz Viktor Arens: [Bogen \(in der Architektur\)](#). In: Reallexikon zur Deutschen Kunstgeschichte, Bd. II (1942), Sp. 976–994.
- [6] Stefan M. Holzer: [Statische Beurteilung historischer Tragwerke, Band 1, Mauerwerkskonstruktionen](#).
- [7] Ulrich Huster: [Tragverhalten von einschalogem Natursteinmauerwerk unter zentrischer Druckbeanspruchung](#), S. 5.

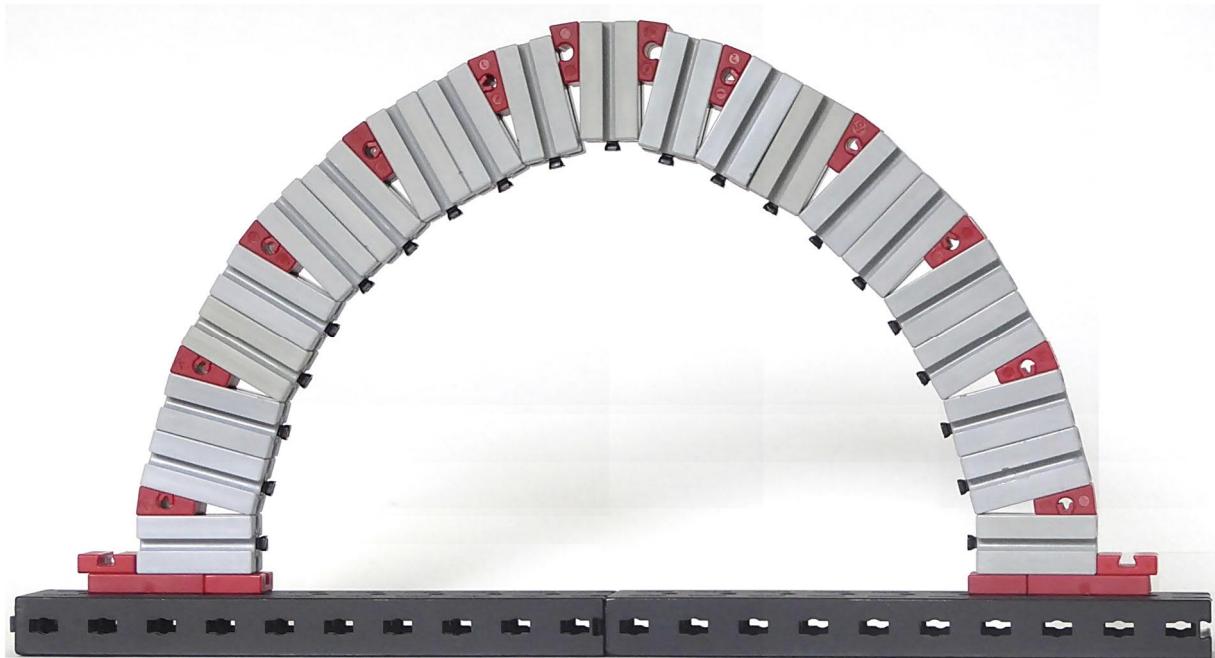


Abb. 19: Rundbogen mit breitem Rand

Würdigung

Erinnerungen an Peter Damen

Hans Wijnsouw

Zur Würdigung eines großen, herausragend kreativen fischertechnikers. (Der Beitrag erschien im Clubblatt April 2019 des fischertechnikclub NL, S. 29-31. Übersetzung: Thomas Püttmann.)

Seit Jahren kannte ich Peter von den Clubtreffen, zu denen er jedes Mal kam – meistens als Aussteller mit genialen Modellen, sonst als Besucher. Wir haben meist endlos über technische Details und Lösungen aller Art geredet. Dabei teilten wir das Interesse an Lösungen, die nicht mit den gebräuchlichen fischertechnik-Teilen allein erzielt werden konnten, sondern durch Anpassen vorhandener Teile oder durch Selbstanfertigungen.



Abb. 1: Autowaschstraße

Als ich vor einigen Jahren eine Fräse gekauft hatte, fand das auch Peters

Interesse. Ich habe mehrmals Teile für ihn angefertigt. Nachdem ich mir dann auch noch einen 3D-Drucker zugelegt hatte – zuerst den fischertechnik 3D-Drucker, dann den Ultimaker 3 – wurde unser Austausch über Sonderteile und individuelle Problemlösungen noch intensiver. Im Laufe der Jahre hat er mich mehrmals eingeladen, seinen Dachboden zu besichtigen. Aber Poederoijen lag nicht direkt auf meiner Route.

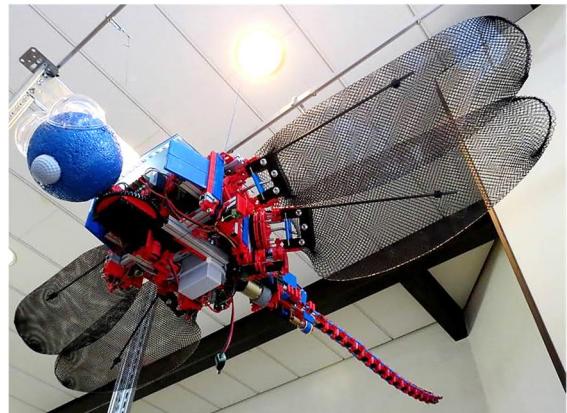


Abb. 2: Eine große Libelle hängt an der Decke

Die Reise nach Dreieich

Im Jahr 2017 kamen wir beide auf die Idee, gemeinsam zur Convention nach Dreieich zu fahren. Und jetzt lag Poederoijen perfekt auf der Strecke. Ich war einen Tag vor der Abfahrt zu Peter gereist, um bei ihm zu übernachten und natürlich um seine umfangreiche fischertechnik-Sammlung zu bewundern. Die Reise nach Dreieich war sehr ereignisreich. Wir hatten Mountainbikes mitgenommen, um an den Tagen vor und nach der Convention ein Stück in der

Gegend herumzufahren. Als wir das Hotel verließen, vergaßen wir, dass wir mit dem Auto ein Tor durchfahren mussten und dass die Fahrräder auf dem Dach montiert waren. Das hatte einen ganz schönen Schaden zur Folge.

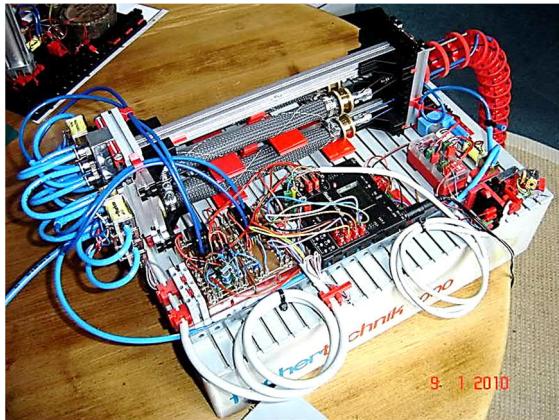


Abb. 3: Elektropneumatischer Muskel

Herzstillstand

An diesem Tag hatte Peter auch noch einen Herzstillstand und musste sich einige Wochen lang in einem Frankfurter Krankenhaus behandeln lassen. Er erholte sich jedoch gut, und unser Kontakt intensivierte sich in der Zeit danach. Bis er am 21. März 2018 plötzlich und viel zu früh einen weiteren Herzstillstand hatte und daran leider verstarb.



Abb. 4: Finray-Effekt: Qualle

fischertechnik-Community

Was uns bleibt, sind die zahlreichen Modelle von Peter, die ich hier weitgehend vollständig vorstellen möchte. Um mir einen Überblick zu verschaffen, habe ich die Fotos von Peters Modellen im Clubblatt und im Bilderpool der fischertechnik-Community durchsucht.

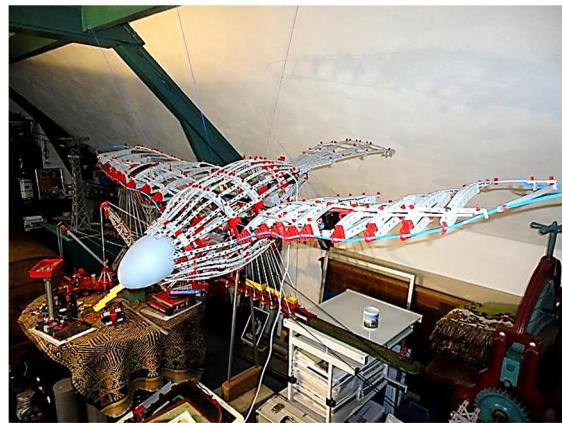


Abb. 5: Vogel mit naturgetreuem Flügelschlag

Mir fiel dabei auf, dass die Anzahl der Modelle überwältigend ist: mehr als hundert in 16 Jahren! Manchmal gibt es nur ein Foto des Modells, aber oft auch eine ausführliche Beschreibung mit vielen Links zu Hintergrundartikeln und Spezialteilen, die er in dem Modell eingesetzt hat. Und dabei handelt es sich nur um die Modelle, die er veröffentlichen wollte. Auf seinem Dachboden standen noch viel mehr Modelle, die (noch) nicht das Licht der Öffentlichkeit erblickt hatten.

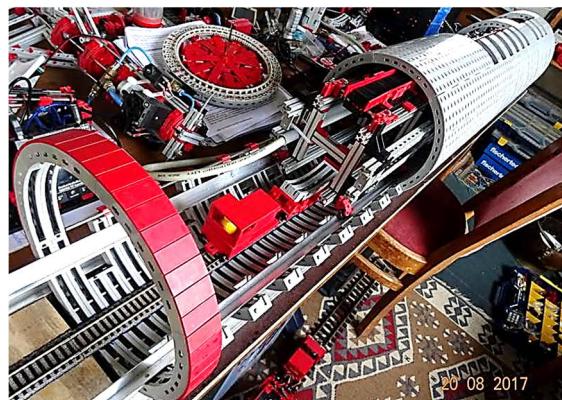


Abb. 6: Tunnelbohrmaschine

Wir werden Peter und seine Kreativität sicher sehr vermissen.

Clubblatt fischertechnikclub.nl

Ausgabe	Seite	Was?
Dez. 2001	1	Peter wird Clubmitglied
Dez. 2005	5	Foto: Grobrechen
März 2006	17	Foto: Brückenleger
Juni 2006	11	Foto: Grobrechen, Brückenleger, Mähdrescher
Sept. 2006	9-11	Der Mähdrescher
Dez. 2007	11	Foto: Die indischen Seerosen
März 2008	11	Foto: Getriebe mit zyklisch variablem Übersetzungsverhältnis
Juni 2008	10	Foto: Der pneumatisch angetriebene „Große böse Wolf“
	12/13	Im Gespräch mit: Peter Damen
Sept. 2008	7-10	Brückenlegepanzer M48 mit Scherenbrücke
Dez. 2008	8	Bericht über die ft-Convention in Mörshausen (D)
	11	Foto: Auflieger mit steuerbaren Achsen und weiteres
	12	Modell „Bor, der Wolf“
Nov. 2009	16/17	Schiebe-, Segment- und Ventilwehre

Ausgabe	Seite	Was?
Apr. 2010	5	Fotos: Pneumatischer Würfel, fahrende Kugel, pneumatischer Muskel, Wasserschleuse
	11	Die fischertechnik-Kugel
Nov. 2010	20	Foto: Traktor
	21	Elefant mit Rüssel
Apr. 2011	6-9	Die Wasserschleuse 2.0
Apr. 2012	28/29	Die Auto-Waschstraße
Apr. 2013	14	Foto: Fliegende Möve aus fischertechnik
Nov. 2013	1,6-9	Der „SmartBird“ von Festo mit fischertechnik
Apr. 2014	29	Foto: Beweglicher Zerrspiegel
Apr. 2015	26-29	Die fischertechnik-Libelle
Apr. 2017	10-12	Interaktiver Fin-Ray Zerrspiegel
	24-29	Die Spinne
Nov. 2017	22/23	Bionic Learning Network Modelle
Apr. 2018	5	Foto: Die Windmühle
Okt. 2018	1	Fotos von diversen Modellen

ftc-Bilderpool

- 14.05.2003 Seilbagger
 14.05.2003 Autokran mit Alu-profil
 14.05.2003 Traktor
 14.05.2003 Schraubenwinde, Windmühle
 30.05.2003 Strohpresse
 30.05.2003 Sämaschine
 30.05.2003 Baggerzubehör
 30.05.2003 Anhänger
 25.07.2003 Mähdrescher
 29.10.2003 Dragster
 02.07.2004 Pflüge
 07.09.2004 Traktor mit schrägem-Antrieb
 24.10.2004 Fendt-Holland
 20.04.2005 Robot 2005
 30.07.2005 Grobrechen
 06.11.2005 Eisenbahn
 07.11.2005 Hummer Nr. 2
 12.11.2005 Schaltgetriebe
 09.12.2005 Gleichlauf (7)
 21.01.2006 Brückenleger (Bridge Tank)
 16.09.2006 Schrägseil-Eisenbahnbrücke
 17.11.2006 Keyboard mit Robopro
 17.11.2006 Enterprise (Karussell)
 13.01.2007 Masken-Roboter
 12.02.2007 Heavy-Duty Explorer mit Kugellager und Alus
 07.03.2007 Pneumatisch bewegte Delfine
 18.06.2007 Shot 'n' Drop
 03.08.2007 Wasserlilie
 03.08.2007 Stadion
 15.12.2007 Zyklisch variables Getriebe
 01.01.2008 Radar
 30.04.2008 Details fischertechnik Katapult
 19.07.2008 Wasserbau -Segmentwehr
 07.09.2008 ft-Pendel Seilbahn
 11.10.2008 Tieflader + Truck + Control-Set
 28.02.2009 Gabelstapler
 01.03.2009 3D-Drucker
 17.05.2009 PneumaCube ohne Elektronik
 30.05.2009 ABS-Antiblockiersystem
 21.06.2009 160mm-ft-Kugel
 23.06.2009 180mm-ft-Kugel
 19.07.2009 Wasserschleuse
 01.08.2009 Pneumatischer Muskel
 30.08.2009 Hochfrequenzrüttler („Trilblok“) mit einstellbarem Moment
 30.08.2009 ft-Muskelmotor
 22.09.2009 Modelle von Peter
 20.12.2009 Pneumatisches Yo-Yo
 07.01.2010 Auto-Technik
 09.01.2010 ft-Muskel-Druck-Positions-Regelung
 09.01.2010 Positionsregelung mit Ultraschall-Sensor
 17.01.2010 Schlauchpumpe
 06.02.2010 28pol-Buchsenplatte für TX
 10.02.2010 TX-Adapterplatine
 03.03.2010 Planetenrad-Antrieb
 25.04.2010 Schiffshebewerk
 15.05.2010 Unimog
 30.10.2010 Paketwendeanlage
 18.02.2011 Brückenlegepanzer Biber
 07.07.2011 50-Hz-motor-Alternative
 29.07.2011 ft-Brückenlegepanzer Biber
 31.08.2011 MB-Trac
 27.09.2011 ft-Brückenlegepanzer Biber

- 26.10.2011 Autowaschstraße
04.11.2011 Hubschrauber-Rotor-Alternative
22.01.2012 Interessante Fremd-Bauteile im ft-Raster
05.05.2012 3D-Drucker
21.07.2012 fischertechnik Sommer-Austellung-2012: flexibel bei Regen und Sonnenschein
10.08.2012 Flipper
24.08.2012 Bionische Greiffinger (Festo) + Drosselventil
26.08.2012 CVT-fischertechnik
26.08.2012 Lanz Bulldog
05.01.2013 fischertechnik-Smartbird-Earth-Flight
13.01.2013 ft-Smartbird-Flug-Details
30.07.2013 Kuckucksuhr
24.08.2013 fischertechnik-Qualle mit Fin Ray Effect + pneumatik Muskel
31.08.2013 fischertechnik-Qualle mit 40 cm großem transparante Ball
01.09.2013 Adaptiver Greifer
23.10.2013 Schopf-Bergbau-Radlader - modifiziert
02.01.2014 Pijlstaartrog
05.02.2014 Positionierung zur Cosinus-Bewegung wie in der Natur
23.02.2014 Interaktiver Fin-Ray Lachspiegel
- 26.07.2014 fischertechnik-Libelle
24.08.2014 Differentialgetriebe-Alternative
24.08.2014 Drehzylinder-Antriebsalternativen
03.10.2014 Besuch aus Saudi Arabien
05.10.2014 fischertechnikclub Nederland + Libelle + Pijlstaart-rog
16.11.2014 Alziend Oog
02.01.2015 Stingray Twin
24.01.2015 Caterpillar-950H-2.0
25.01.2015 Caterpillar-950H-2.0 Details
27.05.2015 3D-Around-the-World + 3D-Druck Innenzahnkranz
01.07.2015 Windwatermolen + automatische instelbare peil-beheersing
10.01.2016 Stingray-Pijlstaartrog-V2.0
01.07.2016 Liebherr-FT1
12.08.2016 Unimog- U1700, MB-trac U400
13.08.2016 Radaufhängungs-Details Unimog U400
14.09.2016 Neue Makerbeam-XL Linie
15.07.2017 Vogelspinne
22.08.2017 Tunnel-Bohr-Maschine
06.11.2017 4-Zylinder-Axialkolbenmotor PDP + Festo-Ventile
18.12.2017 Eiffelturm
10.01.2018 LGB- Cable-Car
27.01.2018 LGB-ft-Rangier-Lok
09.03.2018 Windmühle



Abb. 7: Große Windmühle von Peter Damen

Modell

Kran mit Derrickausleger

Daniel Canonica

Die größten und stärksten Kräne der Welt arbeiten mit sogenannten Derrickauslegern, welche das Ganze im Gleichgewicht halten und selbst hunderte Tonnen Ballast tragen. Meistens sind sie als Raupenkrane ausgeführt, es gibt aber auch derartige Pneukräne.

Wortherkunft: Derrickausleger

Wenn Thomas Derrick geahnt hätte, dass riesige Kranteile nach 400 Jahren noch nach ihm benannt werden, hätte er vielleicht einen anderen Beruf gewählt.

Nach einiger Zeit auf See wurde er nämlich Henker und dachte in der Freizeit über robuste Galgenkonstruktionen nach.

Später wurden fest installierte und abgespannte Kräne, welche zum Beispiel in Steinbrüchen verwendet werden, nach ihm benannt, sowie die Ausleger, welche zur Gewichtsverteilung bei sehr großen Kränen dienen.

Krane mit Auslegern

Die Kräne mit Derrickauslegern sind üblicherweise als Raupenkrane ausgeführt, es gibt aber auch entsprechende Pneukräne. Die Last selbst wird durch einen Gittermast, selten auch durch einen Teleskopmast getragen. Der Derrickausleger dient dazu, die Kräfte im Kran zu verteilen und die ganze Konstruktion mit sehr schweren Ballastgewichten abzustützen.

Die größten derartigen Kräne können mehr als 1000 Tonnen heben und haben eine Höhe von mehr als 200 Metern. Der Ballast wiegt mehrere 100 Tonnen.

Abb. 1 zeigt die verschiedenen Elemente eines solchen Krans.

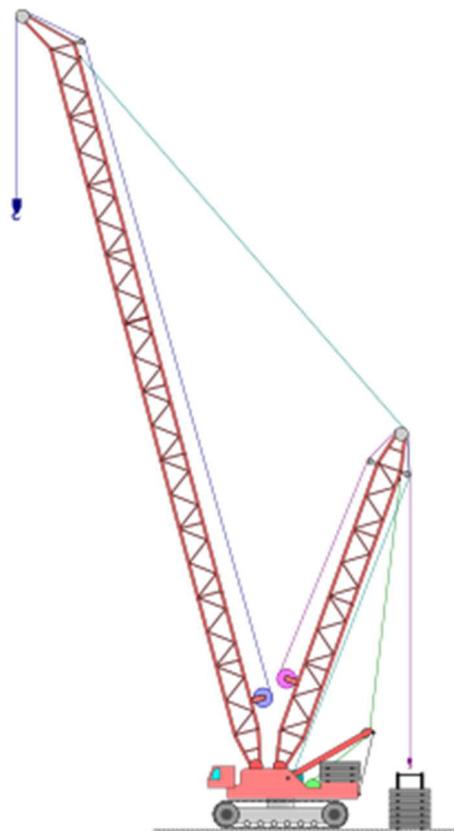


Abb. 1: Kran mit Derrickausleger [1]

Ein Teil des Ballasts ist auf dem Fahrzeug selbst (Oberwagen), doch dieser dient vor allem zum Aufrichten des Gittermastes, welcher auf dem Bodenstückweise zusammengefügt wird. Sobald der Kran schwere Lasten heben soll, wird der Hauptballast am Ausleger angehängt. Der Ballast wird entweder schwebend gehalten oder auf ein Fahrgestell geladen.

Die Ballastgewichte müssen beim Aufheben oder Absetzen von schweren Lasten entsprechend angepasst werden.

Gleichgewicht der Kräfte

Der Kran ist – einfach gesagt – ein auf dem Spitz stehendes Dreieck, welches durch das Gewicht von Last und Ballast im Gleichgewicht gehalten wird.

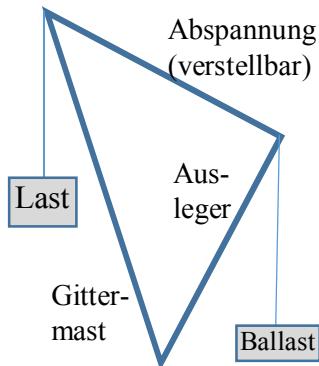


Abb. 2: Prinzip des Krans

Je grösser die Neigung des Hauptmastes zur Vertikalen ist, desto mehr Ballast braucht man, um ein genügend großes Gegengewicht zur Last zu bilden.

Andererseits kann auch die Waage gehalten werden, wenn der Ballast mechanisch oder hydraulisch nach hinten geschoben wird. Es gilt das Hebelgesetz.

Das Modell

Mein Modell berücksichtigt die wesentlichen Elemente eines solchen Krans (siehe Abbildung 3). Mangels großen Raupenketten fährt er auf insgesamt 20 Rädern, wovon 16 angetrieben sind.

Am Gittermast hängt die Last (aktuell 1,5 kg), am Derrickausleger der Ballast. Das Fahrgestell mit den vier Hauptachsen (längs) und der Träger für den Kran (quer) sind mit Aluprofilen robust aufgebaut.



Abb. 3: Das Modell

Um Querschwingungen der Last abzustützen, sind auf beiden Seiten des Trägers schwenkbare Stützen angebracht.

Der Träger des Lastarms und des Auslegers ist aus Alu und fest mit dem Fahrgestell verbunden:

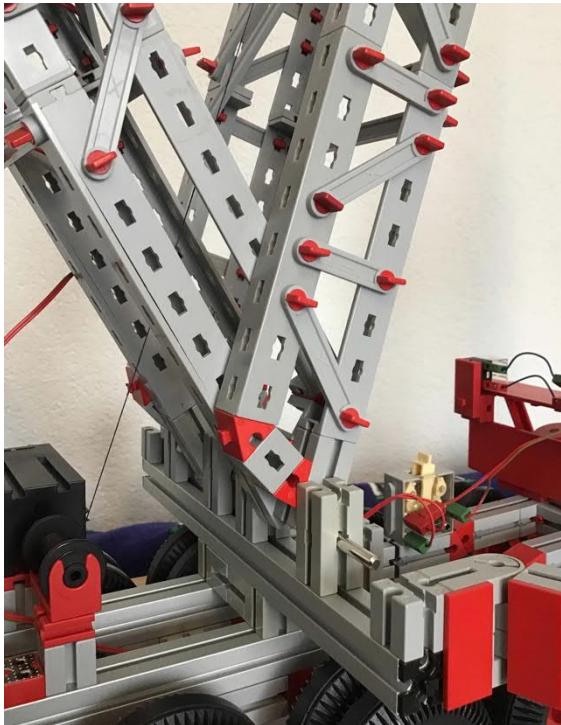


Abb. 4: Träger

Vorne ist er noch zusätzlich abgestützt:



Abb. 5: Abstützung Träger auf Fahrgestell

Der Gittermast ist in der aktuellen Konfiguration etwa 90 cm hoch, der Ausleger 60 cm. Sowohl die Abspaltung zwischen Gittermast und Ausleger als auch die Aufhängung des Ballasts am Ausleger kann problemlos mit kleinen Motoren gemacht werden dank der vielfachen Flaschenzüge (vgl. Abb. 6 und 7). Mast und Ausleger können zueinander einen Winkel von etwa 20 bis 90 Grad bilden.



Abb. 6: Lastarm und Ausleger

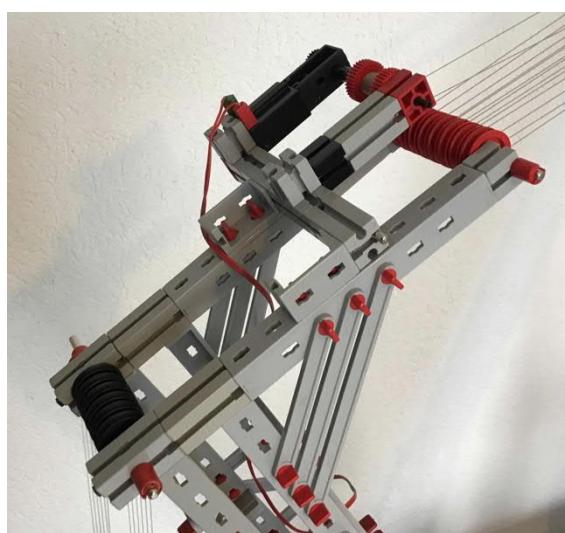


Abb. 7: Ausleger mit Abspaltung

Hier sieht man nun den Ballastwagen von oben (Abb. 8). In der Wirklichkeit schwebt der Ballast entweder knapp über dem Boden oder ist fahrbar auf Rädern angebracht.

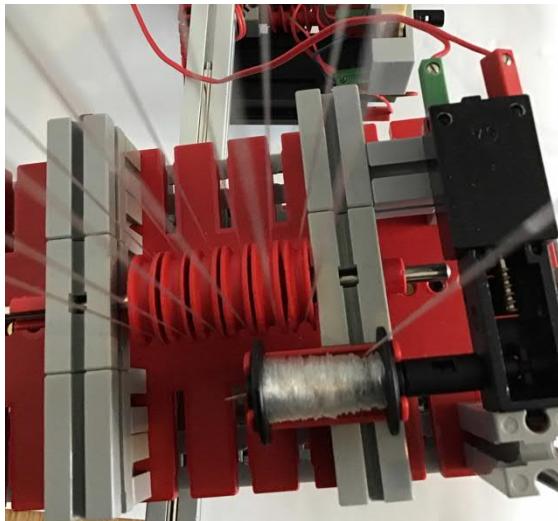


Abb. 8: Ballastwagen von oben

Der Ballastwagen wird durch ein zusätzliches Aluprofil gehindert, aus der Schwebe in einen unkontrollierten Steigflug überzugehen (was bei früheren Modellen ab und zu passiert ist):

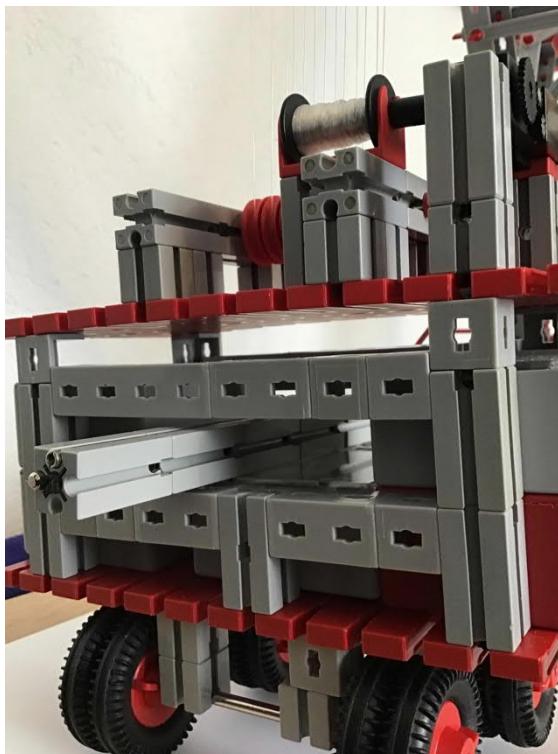


Abb. 9: Sicherung Ballastwagen

Abgesehen von der Vertikalen ist der Ballastwagen aber frei beweglich.

Abb. 10 und 11 zeigen nun noch die Spitze des Lastarms und die Flasche.



Abb. 10: Lastarm mit Hubseil



Abb. 11: Flasche mit Last

Abb. 12 zeigt den Hubmotor, den IR-Empfänger und die Stromverteilung (die Lampen und der Antrieb werden mit Schaltern auf dem Fahrzeug bedient).

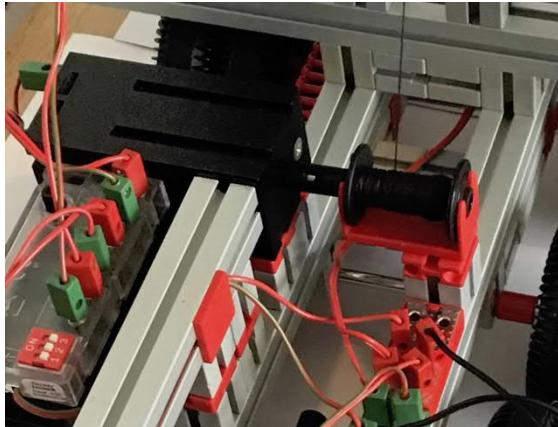


Abb. 12: Hubmotor und Steuerung

Aktuell trägt der Kran etwa 1.5 kg.



Abb. 13: Last

Ich denke, die Struktur würde problemlos 4-5 kg tragen, doch dafür bräuchte man einen stärkeren Motor und sehr viel mehr Ballast.

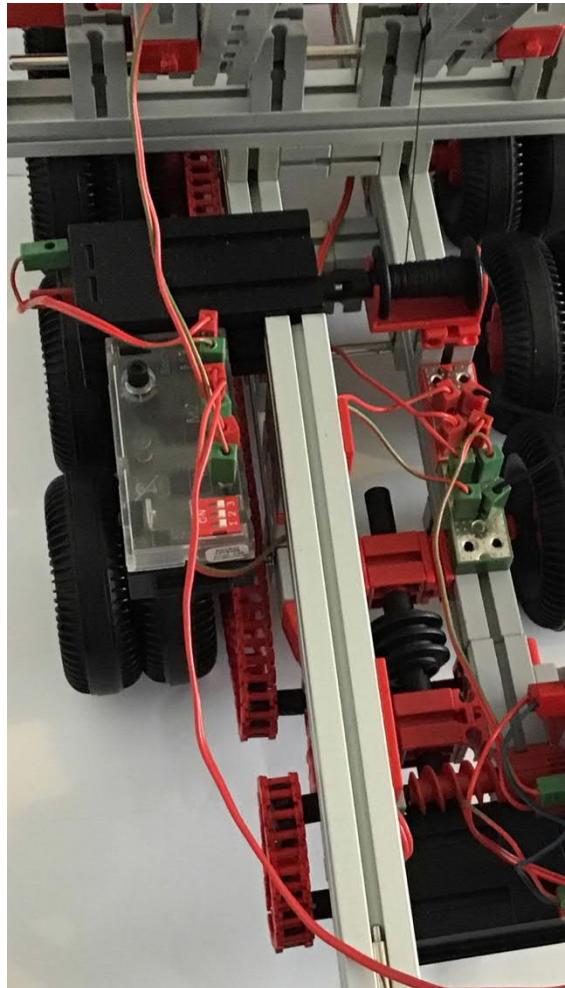


Abb. 14: Antrieb

In Abbildung 14 ist der Antrieb zu sehen: Die vier Festachsen mit je vier Rädern werden alle über eine Kette angetrieben. Auf jeder Achse sitzt ein Zahnrad Z20. Damit die Kette nicht durchhängt, dient in der Mitte unten ein kleines Zahnrad als Kettenspanner. Das Zahnrad, welches die Kette bewegt, wird über ein zweifaches Schneckengetriebe mit starker Untersetzung angetrieben.

Quellen

- [1] Wikipedia: [Derrickausleger](#). Abbildung von Benutzer Biezl.

Modell

Gabelstapler

Dirk Wölffel

Im Jahr 2009 erschien der fischertechnik-Baukasten Robo TX Training Lab als Bausatz (Abb. 1). Das Highlight des Baukastens ist ein Gabelstapler, ausgestattet mit einem TX Controller, der zwei Encoder-Motoren ansteuert. Eine 2 cm breite Fahrspur wird mit Hilfe eines IR-Spursensors abgetastet. Zehn Jahre später ist, wie überall, die Technik weiter fortgeschritten. Es hat sich einiges in der fischertechnik-Welt getan: Es gibt 3D-Drucker, den TXT-Controller, eine Kamera etc. Ansporn genug, einen neuen Gabelstapler zu konstruieren, um zu zeigen, was möglich ist – und wie der 3D-Druck helfen kann, beim „Feinschliff“ eines Modells Lösungen zu finden.



Abb. 1: fischertechnik-Baukasten [Robo TX Training Lab](#) (505286p)

Die Planung

Beim Konstruieren des Gabelstaplers bin ich folgendermaßen vorgegangen. Mein Ziel war, in erster Linie originale fischertechnik-Bauteile zu verbauen. 3D-Druck-Bauteile sollten dabei als Hilfsbauteile eingesetzt werden. Zum Einsatz kam der Baukasten [Robotics TXT Discovery Set](#) (524328), da hier ein Großteil der Bauteile und die dazu passendende Software bereits enthalten waren.

Hier meine Anforderungen an das Modell:

- kompakte Bauform
- Kamera für die Fahrspurerkennung und der Erkennung von Paletten
- Akkuladeanzeige auf dem TXT
- Fahrbeleuchtung vorn und hinten
- Signalleuchte oben
- Sound für den Motor
- kipp- und verstellbare Gabel
- gute Erreichbarkeit der TXT-Anschlüsse



Abb. 2: Der fertige Eigenbau-Gabelstapler

Die Konstruktion

Bei der Konstruktion habe ich mich dafür entschieden, den TXT Controller schräg zu verbauen (Abb. 3). Dadurch konnte der Akku besser integriert werden (Abb. 4).

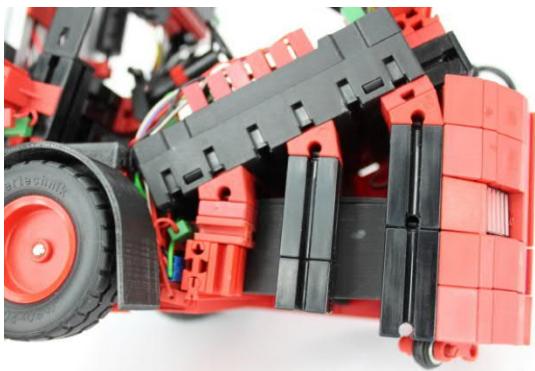


Abb. 3: Seite links ohne Verkleidung



Abb. 4: Die Unterseite

Da der Gabelstapler möglichst originalgetreu aussehen sollte, habe ich verschiedene 3D-Bauteile konstruiert. Dazu zählen die Seitenverkleidung, die Gabel und die Kotflügel (Abb. 5).



Abb. 5: 3D-Druck-Bauteile

Die Gabel ist seitlich verschiebbar (Abb. 6) und wird mit Hilfe eines Mini-Motors mit Getriebe über eine Schneckenmutter auf und ab bewegt. Darüber ist die Lagerung zum Neigen der Gabel sichtbar (Abb. 7).

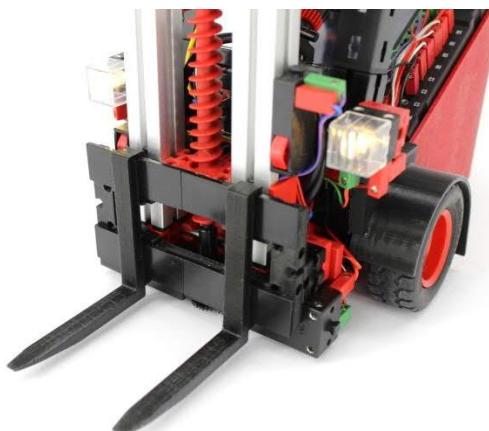


Abb. 6: Gabel seitlich verschiebbar

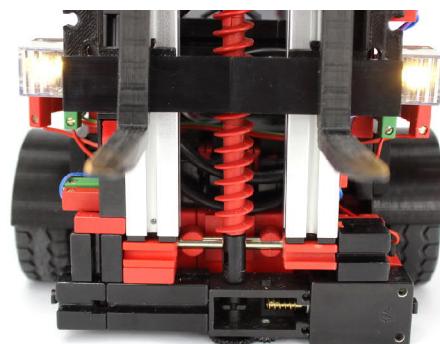


Abb. 7: Antrieb über Mini-Motor mit Getriebe

Bei der Inbetriebnahme stellte sich heraus, dass die Palette beim Abbremsen öfter von der Gabel rutschte. Daher wurde noch zusätzlich eine Lösung für die Neigung der Gabel verbaut (Abb. 8).

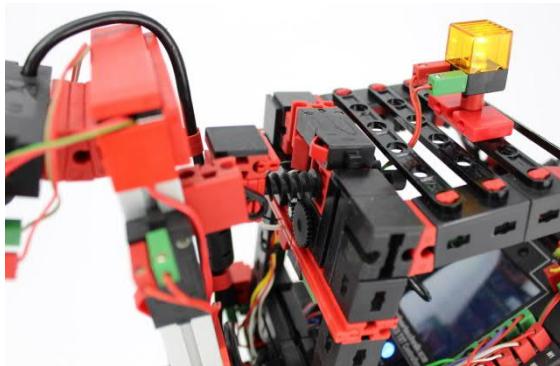


Abb. 8: Antrieb für die Neigung

Der Antrieb

Der Antrieb besteht aus zwei Encodermotoren. Da ein kurzer Radstand mit Standardbauteilen schwierig umzusetzen war, habe ich Sonderbauteile von Andreas Tacke (TST) eingesetzt: zwei Zahnräder Z10 mit Messingnabe und zwei Nabens mit Madenschraube (Abb. 9) [1].



Abb. 9: TST-Sonderbauteile

Die Elektronik

Für die Fahrspurerkennung mit farbigen 5 mm-Linien kommt die fischertechnik-Kamera zum Einsatz. Darunter befindet sich einer von drei Endschaltern (Abb. 10). Die Kamera erkennt verschiedenfarbige Linien, die Palette und farbige Werkstücke. Dadurch ist sie in der Lage Paletten richtig zuzuordnen.



Abb. 10: Kamera mit Endlagenschalter

Priorität bei der Bauform war ebenfalls, dass die Anschlüsse des TXT Controllers gut erreichbar sind (Abb. 11). Der Akku muss zum Laden nicht ausgebaut werden, sondern kann über einen Leuchtstein als Ladeanschluss geladen werden (Abb. 12).

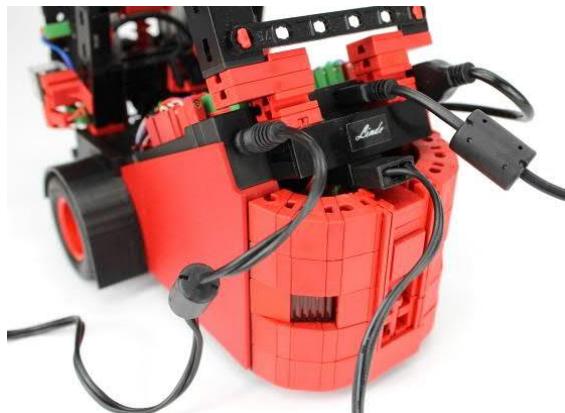


Abb. 11: Anschlüsse TXT Controller

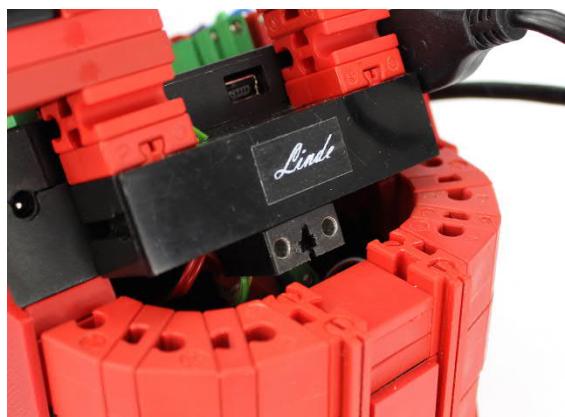


Abb. 12: Leuchtstein als Ladeanschluss

Natürlich durfte eine Signalleuchte mit akustischem Signal nicht fehlen. Diese wird über die Blinkelektronik (35604) angesteuert, da die Motorausgänge des TXT Controller bereits alle vergeben waren (Abb. 13).



Abb. 13: Signalleuchte

Die Software

Bei der Software habe ich mich beim Robotics TXT Discovery Set bedient. Das ROBO Pro-Programm „Erkundungsrobo-ter.rpp“ wurde dabei als Grundlage verwendet und weiterentwickelt (Abb. 14).

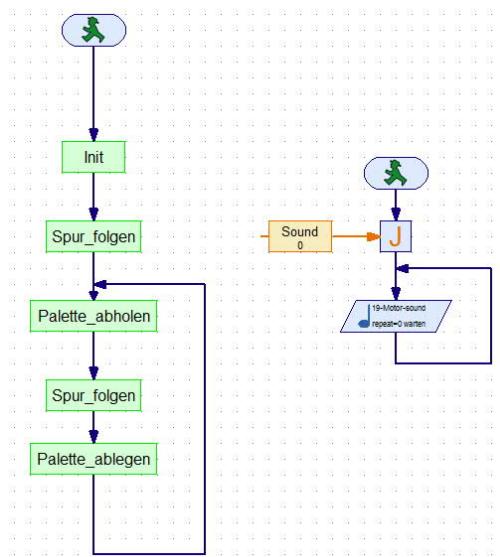


Abb. 14: ROBO Pro-Programm

Ich habe noch ein zusätzliches Unterprogramm erstellt, mit dem ich den aktuellen Ladezustand des Akkus im TXT-Display

visuell als Balken anzeigen (Abb. 15). Dazu wird die maximale Kapazität des Akkus in das Verhältnis zum aktuell gemessenen Wert gesetzt. Wird ein Schwellenwert erreicht, so gibt der TXT den Text „Akku schwach“ aus und ein akustisches Signal ertönt. Wird jetzt ein Ladegerät angeschlossen, so steigt der Strom an und es wird die Anzeige „Lade Akku“ ausgegeben. Ist der Schwellenwert überschritten, so wird „Akku ausreichend“ ausgegeben.



Abb. 15: Akkustand-Anzeigen

Die Bilderkennung

Wie schon weiter oben beschrieben werden über die Kamera verschiedene farbige Linien erkannt. Hierfür wird farbiges Gaffa-Klebeband (5 mm, matt) verwendet. Beim Versuchsaufbau (Abb. 16) wird eine Palette mit zwei farbigen Werkstücken über die Kamera identifiziert. Der Gabelstapler erkennt die richtige farbige Linie und ordnet die Palette dem Regal zu. Dabei erkennt er auch, ob ein Regal bereits gefüllt ist oder nicht.

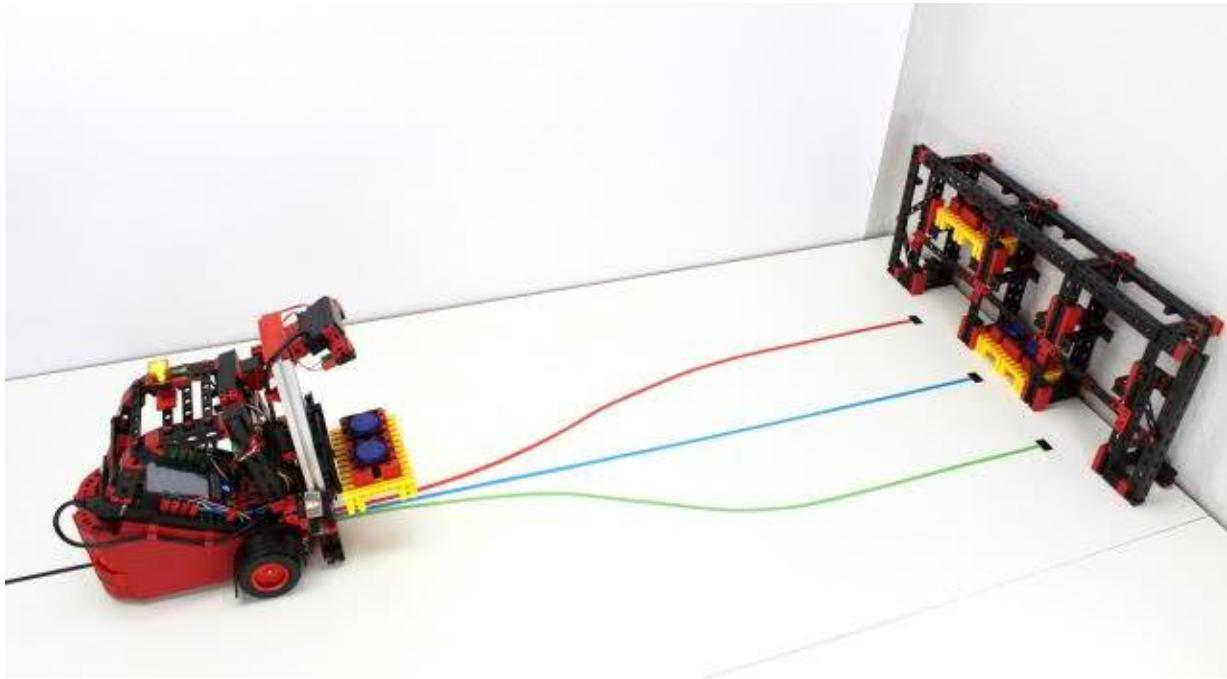


Abb. 16: Versuchsaufbau mit Regal

Fazit

Der Beitrag soll euch motivieren, Lösungen beim Bauen und Konstruieren zu finden. Mit Hilfe des 3D-Drucks sind heute vielfältige technische Lösungen machbar. Wichtig sollte dabei immer sein, sich schon in der Planungsphase Gedanken zum Modell zu machen und darüber, was wichtig ist.

Ein [Video zum Gabelstapler](#) findet ihr auf meinem [YouTube-Kanal](#).

Quellen

- [1] Andreas Tacke: [*ft-Spetialteile made by TST*](#). ft:pedia 2/2015, S. 24-25.

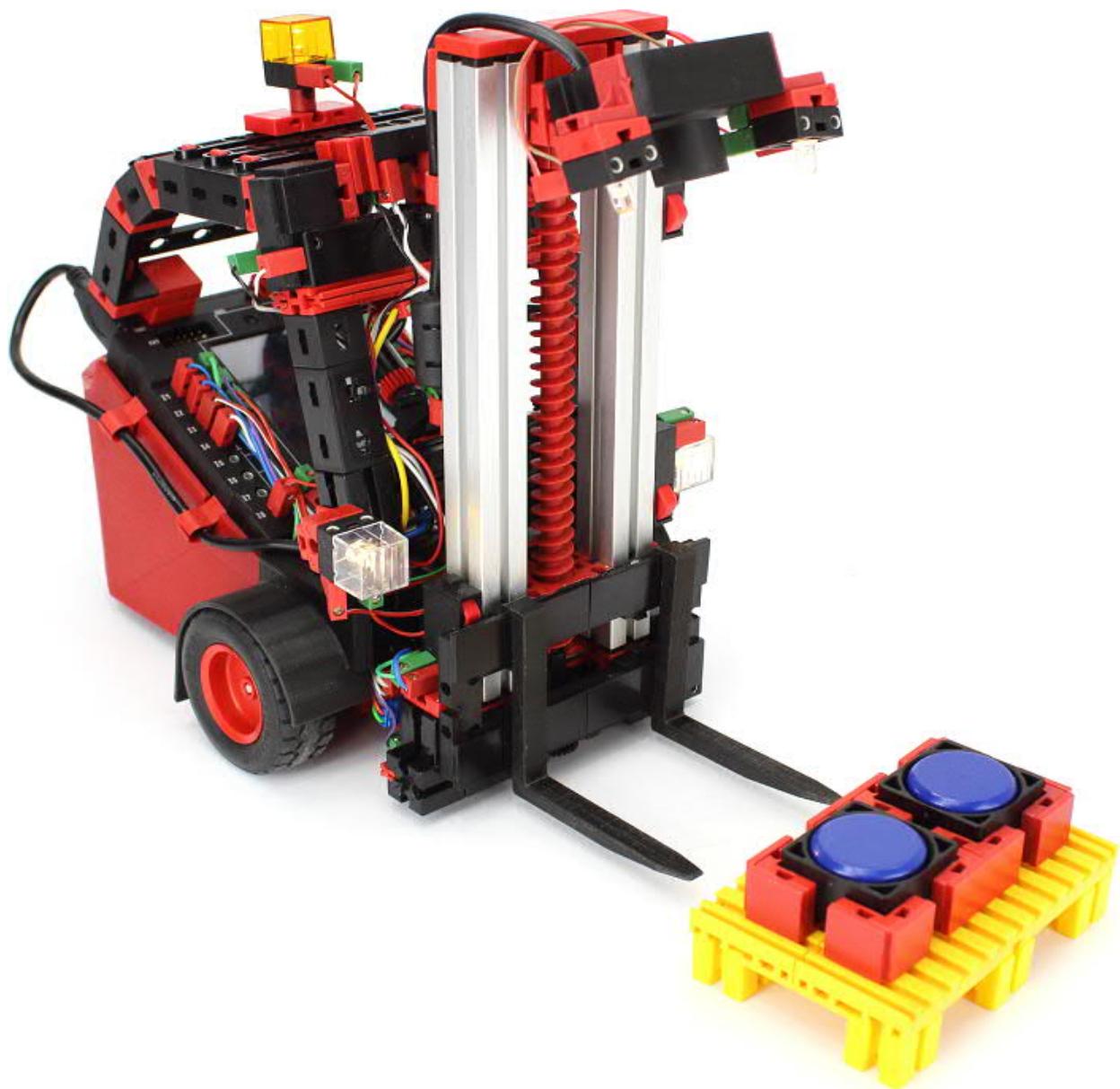


Abb. 17: fischertechnik-Gabelstapler (Dirk Wölffel)

Elektronik

Dreipunktregelung

Stefan Falk

In diesem Beitrag steuern wir zwei Electronics-Module von einer einzigen Fotozelle aus an, um eine Abstandsregelung mit Hysterese herzustellen.

Die Aufgabenstellung

Wir wollen auf einer Gleitschiene zwei Elemente positionieren und den Abstand zwischen beiden innerhalb gewisser Toleranzen gleich halten. Aber nicht dadurch, dass wir einfach eine Stange dazwischen befestigen, sondern dadurch, dass eine Baugruppe der anderen automatisch nachfolgt.

Zur Messung des Abstandes verwenden wir eine einfache Kombination aus Lampe und *Fotowiderstand* (auch *Fotozelle* genannt) – nicht zu verwechseln mit einem *Fototransistor*. Letzterer würde uns nur ein digitales Ein/Aus-Signal liefern; wir benötigen aber einen Analogwert, der uns ein Maß für den aktuellen Abstand gibt.

In Abb. 1 ist die linke Baugruppe die graue mit der Lampe und der roten Leuchtkappe

mit Bohrung. Rechts davon befindet sich die schwarze mit dem Fotowiderstand.

Nur wegen des Gags sitzt auf der Fotozelle ein „Hündchen“, das sich ja gerne vom Männchen links auf der Lampe streicheln lassen würde, aber sich doch nicht hin traut. Kommt das Männchen näher (nach rechts), geht das Hündchen vorsichtshalber auch nach rechts, um den Sicherheitsabstand einzuhalten. Bewegt sich das Männchen nach links, folgt das Hündchen – aber ja nicht zu nah, denn so ganz traut es der Sache nicht.

Das Lösungsprinzip

Wir platzieren Lampe und Fotozelle auf einer gemeinsamen Schiene verschiebbar. Die Lampe wird von Hand verschoben. Ein Motor zieht über eine Kette die Fotozelle in

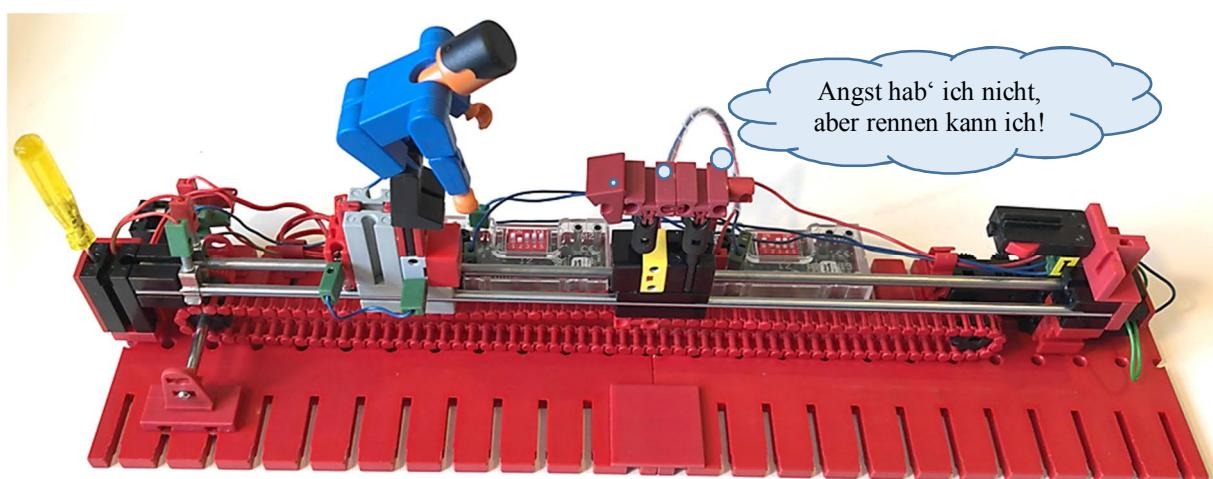


Abb. 1: Ansicht des Modells von vorne

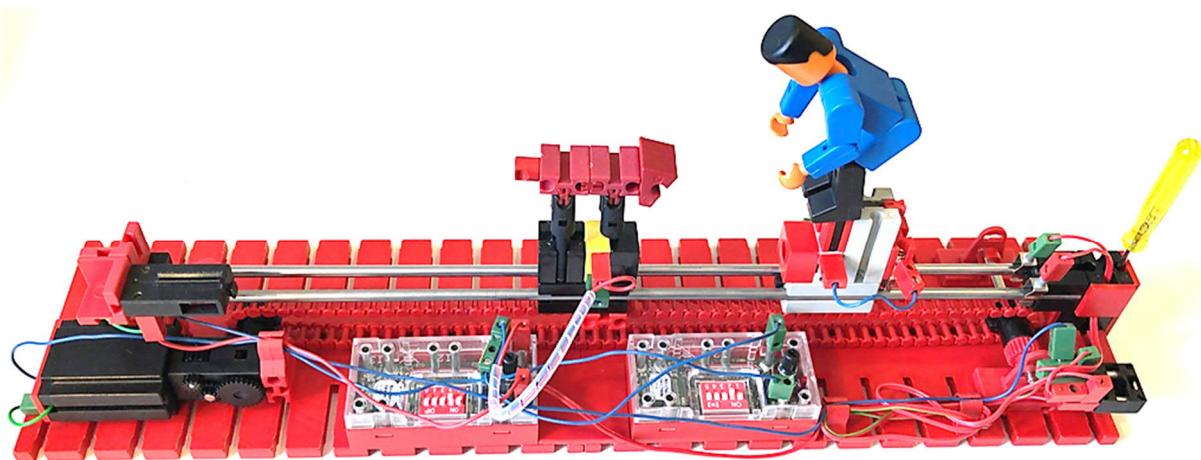


Abb. 2: Das Modell von der Rückseite

die gewünschte Position, um der Lampe in gebührendem Abstand zu folgen. Mechanisch ist das ein einfacher Aufbau – fehlt nur noch die Steuerung.

Mit einem Computer kann das ja jeder ;-) Wir wollen es mit Elektronik bauen und benötigten also eine Schaltung, die folgendes leistet:

1. Ist der Abstand zwischen Lampe und Fotozelle zu klein, muss die Fotozelle weiter weg bewegt werden, bis der Abstand wieder groß genug ist – oder es wegen Beschränkungen der Mechanik nicht mehr weitergeht.
2. Ist der Abstand hingegen zu groß, muss die Fotozelle zur Lampe hin bewegt werden, bis er wieder klein genug ist.
3. Ist der Abstand in Ordnung (nicht zu groß und nicht zu klein), soll sich nichts bewegen, der Motor also stillstehen.

Die Forderungen 1 und 2 könnten wir mit einem fischertechnik-Electronics-Modul als Schwellenwertschalter erfüllen. Dazu müssen seine DIP-Schalter auf 10111 eingestellt werden [1] (eine App als Nachschlagewerk für die Schalterstellungen gibt es übrigens unter [2]). Die Fotozelle kommt an I1, über das Potentiometer kann der gewünschte Schwellenwert eingestellt werden, und die Anschlüsse M1 werden umgepolt, je nach dem, ob der durch die Fotozelle

gelieferte Wert unter oder über der durch das Potentiometer definierten Schwelle liegt.

Das Problem dabei ist, dass der Motor, wenn er einfach an die beiden Anschlüsse von M1 angeschlossen würde, immer liefert: Er würde die Fotozelle ständig zwischen „etwas zu weit“ und „etwas zu nah“ hin und her pendeln lassen.

Eine Abhilfe liefern zwei getrennte Schwellenwertschalter, die von derselben (!) Fotozelle gesteuert werden. Einer lässt den Motor die Fotozelle von der Lampe weg bewegen, wenn sie zu nahe steht, der andere lässt den Motor die Fotozelle zur Lampe hin bewegen, wenn sie zu weit weg steht.

Die Schaltung

Im Experimentierbuch hobby 4 Band 5 [3] findet sich (neben einem Füllhorn weiterer spannender Modelle) eine Lösung unter Verwendung der fischertechnik-„Silberling“-Elektronikbausteine aus den 1970er Jahren mit zwei h4-Grundbausteinen als Schwellenwertschalter und zwei h4-Relaisbausteinen zur Steuerung des Motors. Wie aber können wir das mit der heutigen fischertechnik-Elektronik lösen?

Da der einzige Elektronikbaustein mit einem justierbaren Schwellenwert das Electronics-Modul ([152063](#)) ist, benötigen wir davon also zwei Stück. Tatsächlich

brauchen wir nichts an Elektronik zusätzlich, um unsere Ziele zu erreichen, wie das Schaltbild in Abb. 3 zeigt.

Die Lampe wird einfach an die Stromversorgung angeschlossen, sodass sie ständig leuchtet. Zwei Dinge sind nun ungewöhnlich: Erstens wird der Fotowiderstand nicht einfach nur an I1 eines Electronics-Moduls angeschlossen, sondern gleichzeitig an zwei. I1 besteht aus den Anschlüssen E1 und E2. E1 liegt intern auf „+“; es genügt ein „E1“ mit der Fotozelle zu verbinden. Der tatsächlich messende Anschluss ist E2, deshalb wird der andere Anschluss des Fotowiderstands an *beide* E2 der beiden Electronics-Modulen angeschlossen.

Der zweite Trick ist der Anschluss des Motors: Normalerweise wird der ja z. B. an M1 eines Moduls angeschlossen. Hier schließen wir einen Pol an O1 eines Moduls und den anderen (über einen Endlagen-Taster, auf den wir noch zu sprechen kommen) an O2 (!) des anderen (!) Moduls an. Das bringt – bei passender Einstellung der beiden Potentiometer – tatsächlich den

gewünschten Effekt, wie Tab. 1 erläutert. Wir benötigen keinerlei weitere Teile wie Relais oder Dioden.

Sicherheitshalber enthält das Modell einen Endlagen-Taster. Sollte jemand die Lampe immer weiter zur Fotozelle schieben, würde der BS7,5 ins Z10 des Motors geraten. Deshalb schaltet der Taster in diesem Zustand den entsprechenden Pol auf denselben um, an dem auch die andere Motorseite gerade liegt. So bleibt der Motor hier einfach stehen, lässt sich aber sehr wohl durch Wegziehen der Lampe wieder dazu bringen, die Fotozelle nachzubewegen.

Zum Bau des Modells

Das Modell ist auf zwei Grundplatten 180·90 aufgebaut. Die werden mit zwei Metallachsen 30 in ihren seitlichen Bohrungen stabil miteinander verbunden und durch zwei Platten 30·30 mit vier Zapfen gesichert. Natürlich könnt ihr auch Bauplatten 500 oder 1000 verwenden.

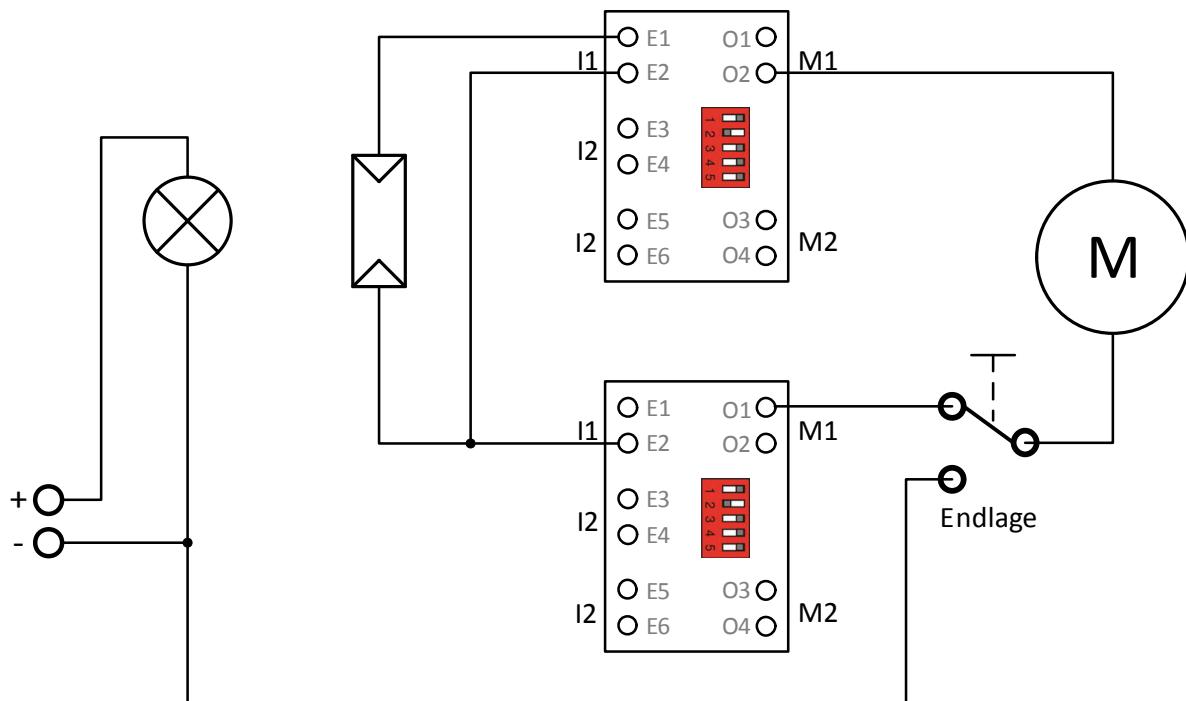


Abb. 3: Schaltbild (die Electronics-Moduln sind auch an die Stromversorgung anzuschließen)

Abstand zwischen Lampe und Fotozelle	Electronics-Moduln	O2 des ersten Moduls	O1 des zweiten Moduls	Effekt auf den Motor
zu groß	Beide Module sind „aus“, da der Wert unterhalb ihres Schwellenwerts liegt	,+“	,-“	Dreht sich und transportiert die Fotozelle zur Lampe hin
im gewünschten Bereich	Das erste ist „an“ (sein Schwellenwert ist erreicht), das zweite aber noch nicht (dessen Schwellenwert höher liegen muss)	,-“	,-“	Dreht sich nicht, weil die Spannungspotenziale an beiden Polen dieselben sind
zu klein	Beide sind „an“, da nun auch der Schwellenwert des zweiten überschritten ist	,-“	,+“	Dreht sich in die andere Richtung und transportiert die Fotozelle von der Lampe weg
zu klein und Endlagentaster betätigt	Beide sind „an“	,-“	,+“	O1 des zweiten Moduls liegt zwar auf „+“, der betreffende Pol des Motors wird aber vom Endlagentaster auf „-“ gelegt. Der Motor steht.

Tab. 1: Zustände des Modells

Wir benötigen zwei längere Metallachsen (oder müssen die Führung anders als in diesem Modell aufgebaut realisieren, was natürlich auch möglich ist).

Der S-Motor ist direkt mit zwei Federnocken auf einer Bauplatte befestigt. Auf seinem U-Getriebe sitzt ein Rast-Z10, dessen Gegenstück auf der gegenüberliegenden Seite in derselben Höhe gelagert ist. Hier wurde ein normales Z10 auf einer Metallachse verwendet. Abb. 4 und 5 zeigen den Aufbau.

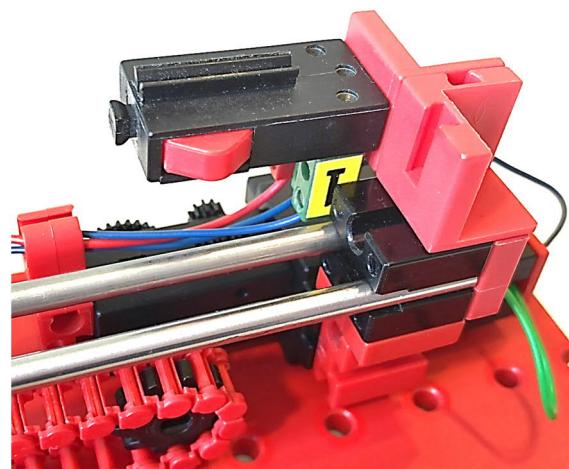


Abb. 4: Antrieb und Endlagentaster (1)

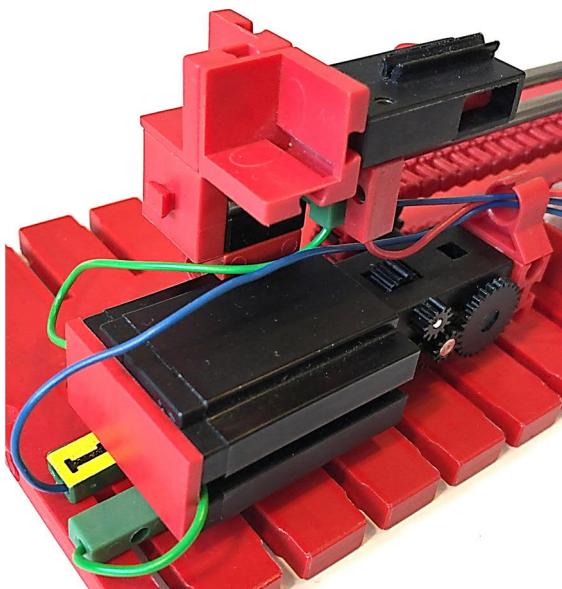


Abb. 5: Antrieb und Endlagentaster (2)

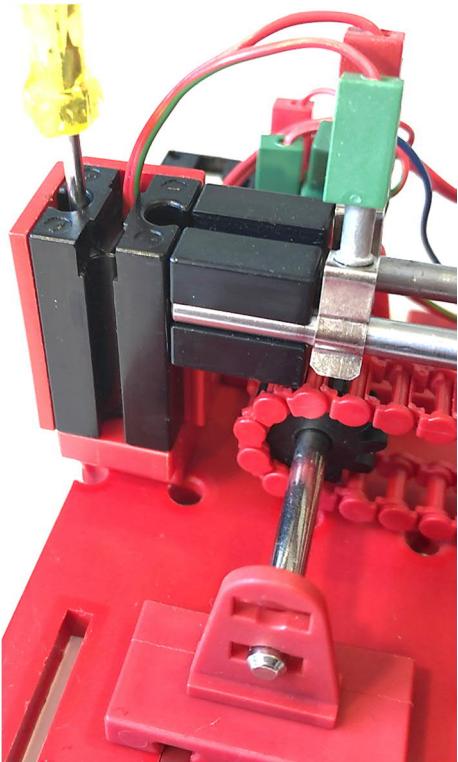


Abb. 6: Lagerung und Stromanschluss (1)

Auf der gegenüberliegenden Seite benötigen wir grundsätzlich nur die Lagerung der Achsen. Der Eleganz halber wird der Strom für die Lampe über die Führungsachsen selbst geleitet.

Das geschieht am Achsenende durch zwei Klemmkontakte ([31338](#), siehe Abb. 6); alternativ kann die Litze auch direkt zwischen Achse und Nut des aufnehmenden BS15 geklemmt werden.

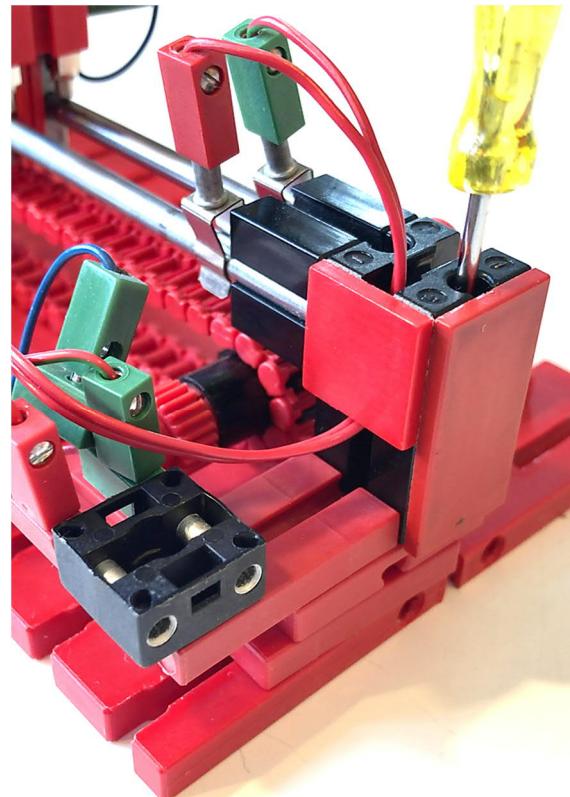


Abb. 7: Lagerung und Stromanschluss (2)

Die Lampe bekommt ihren Strom zuverlässig von zwei Federkontakte ([31306](#), Abb. 8 und 9). Wer diese älteren Elektromechanik-Bauteile nicht besitzt, kann die Lampe natürlich auch einfach mit einem längeren Kabel anschließen.

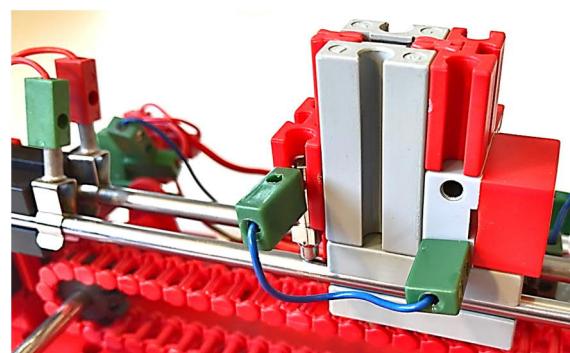


Abb. 8: Führung und Stromversorgung der Lampe (1)

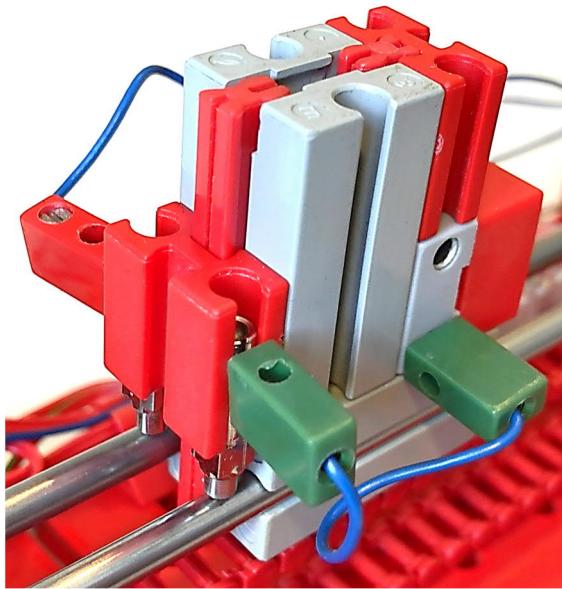


Abb. 9: Führung und Stromversorgung der Lampe (2)

Die umlaufende Kette endet beidseitig an einem BS7,5 (Abb. 6), der per Federnocken mit einem BS30 verbunden ist, der wiederum auf den langen Achsen gleitet und so vom Motor entlang der Schiene bewegt werden kann. Auf ihm ist die Fotozelle angebracht.



Abb. 10: Kettenanschluss und Fotowiderstand

Wer das Männchen und den Hund aufstecken möchte: Der ft-Mann steckt einfach mit zwei Rastachsen 3 im BS7,5 über der Lampe (Abb. 11). Das Hündchen ist schnell aus wenigen Teilen gebaut und hält ebenfalls durch zwei Rastachsen 30 (Abb. 12).



Abb. 11: Das Männchen steht auf Rastachsen

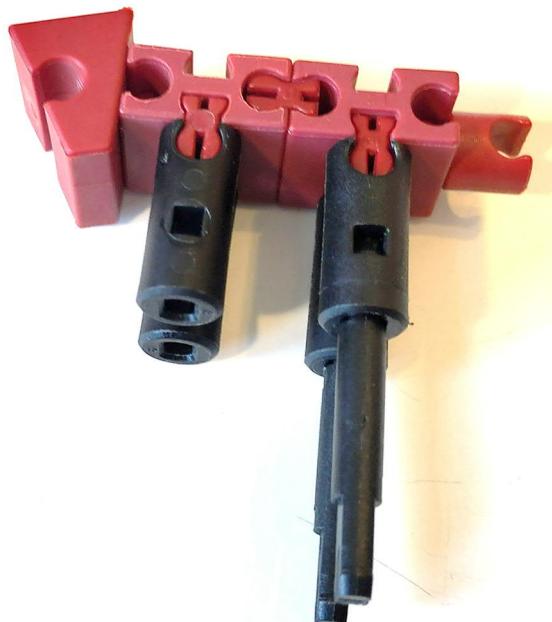


Abb. 12: Aufbau des „Hündchens“

Zur Justage der Potentiometer

Das Electronics-Modul, welches mit dem Endlagentaster verbunden ist, muss sich einschalten, wenn die Fotozelle zu nah an der Lampe steht (um sie davon weg zu bewegen). Das andere Modul muss sein Potentiometer etwas weniger weit aufgedreht bekommen. Es muss sich „aus-schalten“, wenn die Lampe zu weit weg von der Fotozelle liegt, aber auf „an“ stehen, wenn sie hinreichend nahe liegt. Es muss also einen Bereich dazwischen geben, in dem das Endlagentaster-Modul „aus“ und das andere „an“ ist. Dann ist der gewünschte Abstand erreicht und der Motor muss stillstehen. Die Justage der Potentiometer gelingt sehr fein unter Benutzung

eines gelben fischertechnik-Schraubendrehers.

Quellen

- [1] fischertechnik: [Zusatzprogramme Electronicsmodul Art.-Nr. 152 063.](#)
2014, S. 9.
- [2] Falk, Stefan: [ft Electronics](#) für Windows 8 oder höher im Microsoft Store.
- [3] fischerwerke: *Dreipunkt-Regelung*. In: [fischertechnik hobby 4 Band 5](#), 1975, S. 10-13.
- [4] Spockfalk: [fischertechnik Dreipunkt-regelung](#). Video, YouTube.

Elektronik

Wie funktioniert ein I²C-Level-Shifter?

Till Harbaum

Der I²C-Bus war schon in vielen Ausgaben der ft:pedia ein Thema. Der TX- und auch der TXT-Controller verfügen über einen entsprechenden Anschluss, über den sich vor allem diverse Sensoren leicht anschließen lassen. Allerdings ist I²C nicht gleich I²C. Je nach Umsetzung unterscheiden sich die Varianten in der Betriebsspannung, der Datenrate und ähnlichem. Dieser Beitrag beschränkt sich auf elektrische Eigenschaften. Für die logischen Eigenschaften sei auf frühere ft:pedia-Artikel verwiesen.

Vor allem die Betriebsspannung ist ein immer wieder diskutiertes Thema, da TX- und TXT-Controller in diesem Aspekt nicht kompatibel sind. Der TX hat seinen I²C-Anschluss noch mit 5 Volt betrieben, während der TXT sich hier auf 3,3 Volt beschränkt. Es kursieren diverse Anleitungen im Netz, wie man diese Unterschiede umschiffen kann und auch in der ft:pedia waren entsprechende Baupläne immer mal wieder zu sehen. Leider kommt es immer wieder zu Widersprüchen und Missverständnissen darum, wie man das Problem korrekt löst und welche Hindernisse dabei drohen, und die bisher veröffentlichten Schaltpläne stellen nicht immer die beste Lösung dar.

Um das Problem der unterschiedlichen Spannungen zu verstehen, muss man zunächst grob verstehen, wie der I²C-Bus funktioniert.

Eine klassische Datenverbindung besteht in der Regel aus einer elektrischen Verbindung zwischen einem Sender und einem Empfänger. Der Sender legt an die Verbindung eine Spannung an und der Empfänger misst diese Spannung. Die Spannung bildet dabei den Wert, den der Sender dem Empfänger mitteilen will. Eine elektrische Spannung besteht immer zwischen zwei Leitern (daher hat eine Batterie auch zwei Pole) und man benötigt zur Übertragung

einer Spannung zwei Verbindungen, zwischen denen die Spannung angelegt wird. Eine der Verbindungen führt oft den sogenannten „Massepegel“, auch 0 V oder GND (englisch Ground) genannt. Die zweite Verbindung überträgt die Information in Form einer Spannungsdifferenz gegenüber der Masseverbindung. Eine I²C-Verbindung besteht immer aus drei Einzelverbindungen. Neben der Masseverbindung sind das die zwei Datenverbindungen SDA und SCL. Diese beiden Signale funktionieren elektrisch auf die gleiche Weise, weshalb im Folgenden immer nur eine einzelne Datenverbindung betrachtet wird. Bei I²C kommt dementsprechend alles doppelt vor.

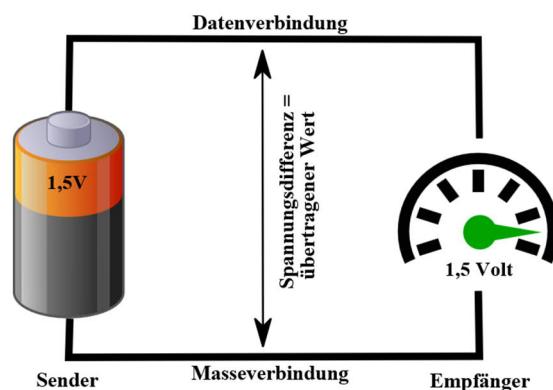


Abb. 1: Spannung „Hi“

Abb. 1 stellt dar, wie eine Spannung z. B. mit Hilfe einer Batterie als Sender auf eine

Datenverbindung gelegt wird. Die resultierenden 1,5 Volt kann der Empfänger messen und er erhält die Information „1,5 Volt“. Will der Sender eine andere Information senden, so kann er die Datenverbindung trennen wie in Abb. 2 dargestellt. Der Empfänger misst nun keine Spannung mehr. Der Nachteil ist, dass nun der Empfänger empfindlich auf Störungen wie zum Beispiel Radiosignale reagiert und es unklar ist, was der Empfänger für eine Spannung misst. Die Datenverbindung wäre sehr störanfällig und der offene Eingang würde wie eine Antenne wirken. Offene Verbindungen werden daher vermieden.

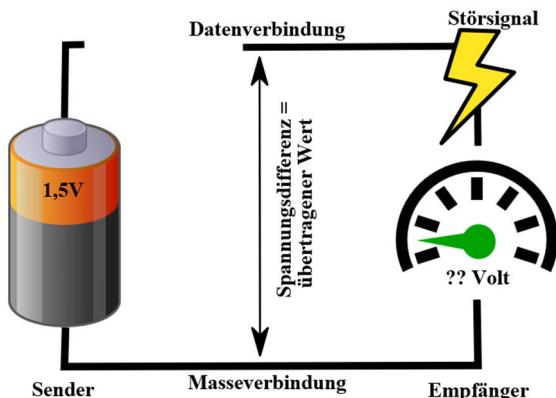


Abb. 2: Spannung „Open“

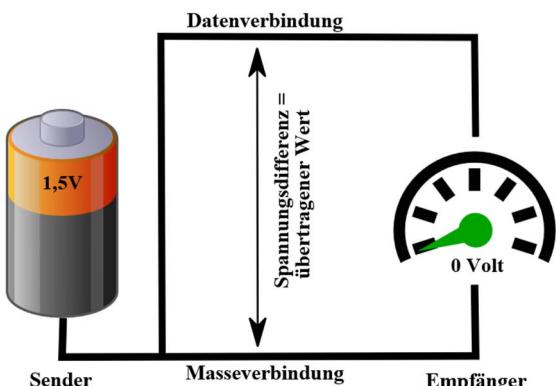


Abb. 3: Spannung „Lo“

Statt die Datenverbindung unbeschaltet zu lassen, verbindet man sie zum Übertragen des zweiten Zustands oft mit Masse wie in Abb. 3 dargestellt. Der Eingang wird so fest auf Masse gelegt. Die Spannungsdifferenz zwischen Datenverbindung und Masseverbindung beträgt 0 Volt.

Durch Wechsel zwischen 1,5 und 0 Volt in einem bestimmten Muster kann der Sender eine komplexe Nachricht an den Empfänger übertragen.

So weit so gut. Aber was passiert, wenn der Empfänger auf dem gleichen Weg eine Antwort an den Sender zurückschicken will? Das wäre beim I²C zum Beispiel der Fall, wenn der Sender (z. B. der TXT) einen Temperaturwert aus einem I²C-Sensor auslesen will. Er würde erst selbst dem Sensor signalisieren, dass er eine Temperatur erwartet und dann würde der Sensor eben jene Temperatur zurückmelden.

Für eine Rückmeldung muss der Empfänger ebenfalls eine Spannung auf die Datenleitung legen. Dabei besteht die Gefahr, dass sich Sender und Empfänger uneinig sind, welches Signal auf die Datenleitung gelegt werden soll. Schaltet der Sender die Leitung beispielsweise auf 0 Volt, während der Empfänger die Leitung auf 1,5 Volt legen will, so entspricht dies einem Kurzschluss wie Abb. 4 dargestellt. Solch ein Kurzschluss führt zu einem erhöhten Stromverbrauch und kann die beteiligten Bauteile beschädigen.

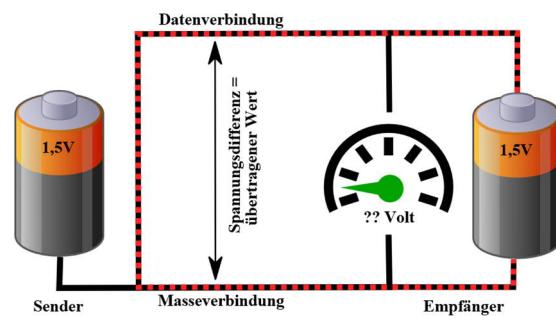


Abb. 4: Kurzschluss

Eine mögliche Lösung besteht darin, dass der Sender die Datenleitung wie in Abb. 2 dargestellt selbst trennt. Der Empfänger kann dann seinerseits ein Signal auf die Leitung legen. So ein Vorgehen ist prinzipiell möglich und wird auch oft genutzt. Zwei Nachteile sind aber, dass nach wie vor kurze Zeiten auftreten, in denen das Signal offen und damit störempfindlich ist. Außerdem ist eine genaue Kommunikation nötig,

damit zu jeder Zeit klar ist, wer (Sender oder Empfänger) die Datenleitung mit einer Spannung versehen darf, damit es nicht zu Kollisionen und Kurzschlüssen kommt.

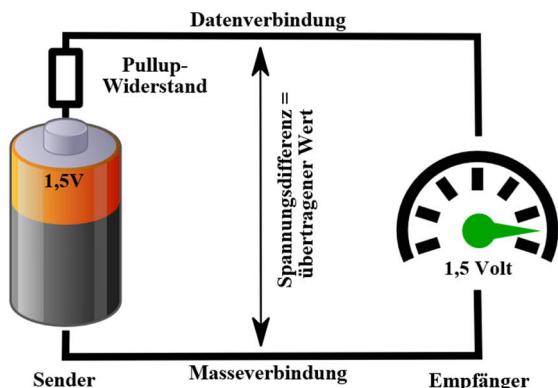


Abb. 5: Pullup-Widerstand

Wenn Sender (oder Empfänger) ein Signal auf die Datenverbindung legt und dabei die Verbindung direkt auf eine Spannungsquelle schaltet, spricht man von einem niederohmigen oder niederimpedanten Signal. Man kann aber wie in Abb. 5 zu sehen einen Widerstand zwischen die Spannungsquelle und die Datenverbindung schalten. Der Widerstand schwächt das Signal vereinfachend gesprochen etwas ab. Es wird etwas störempfindlicher, reagiert aber weniger empfindlich auf Kurzschlüsse. Bei passender Wahl des Widerstands bleibt eine ausreichende Störunempfindlichkeit erhalten; es ist gleichzeitig problemlos möglich, das vom Widerstand vorgegebene Signal durch Anlegen eines weiteren Signals zu überschreiben. Abb. 6 zeigt, wie der Widerstand eigentlich das Signal auf 1,5 Volt halten soll. Die zusätzliche Masseverbindung zwingt das Signal aber auf 0 Volt. Durch den Widerstand bildet dies aber keinen Kurzschluss wie in Abb. 4. Diese zusätzliche Verbindung gegen Masse können sowohl Sender als auch Empfänger verwenden, ggf. sogar gleichzeitig, ohne dass es zu Kurzschlägen kommt. Aber wie funktioniert denn das mit dem Widerstand genau?

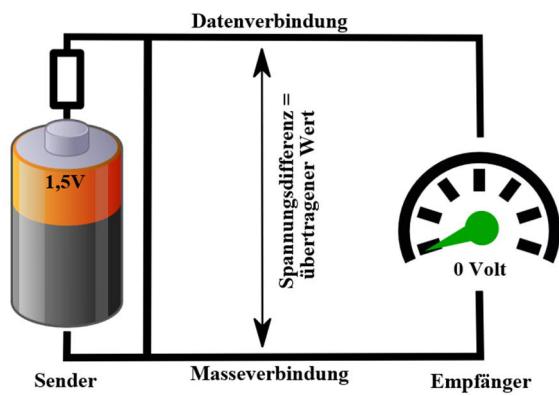


Abb. 6: Pullup-Widerstand auf Lo gezogen

Die Funktion des Widerstands lässt sich mit einem Vergleich veranschaulichen. Nehmen wir an, auf einem Tisch läge ein roter Ball. Solange er auf dem Tisch liegt hat er die Höhe 0. Das entspricht einer Spannung von 0 Volt. Hebt man ihn um 1,5 Zentimeter an, dann entspricht das 1,5 Volt. Man kann den Ball nun problemlos in verschiedene Höhen heben. Schwierig wird es aber, wenn man zwei Personen gleichzeitig widersprüchliche Befehle gibt. Soll eine Person den Ball auf dem Tisch halten, eine zweite denselben Ball aber gleichzeitig auf 1,5 cm anheben, dann kommt es zum Widerspruch. Das entspricht elektrisch einem Kurzschluss.

Man kann sich den Widerstand nun als eine Art Feder vorstellen. Wie in Abb. 7 dargestellt hält der Widerstand das Signal auf 1,5 Volt bzw. den Ball in 1,5 cm Höhe. Das Signal wird vom Widerstand „nach oben gezogen“, daher spricht man oft von „Pullup-Widerständen“.

Nun kann man aber mit recht geringem Aufwand gegen die Feder bzw. den Widerstand anarbeiten. In Abb. 8 zieht der Sender (I²C-Master) am linken am Ball angebrachten Seil und zieht den Ball so auf 0 cm Höhe hinunter. Die Feder wird dabei nur leicht gedehnt. Ist die Feder zu schwach, dann kann ggf. ein Störsignal z. B. in Form eines Windstoßes den Ball fälschlicherweise bewegen. Ist sie zu stark, dann muss man recht viel Kraft aufwänden, um den Ball überhaupt aus der Federposition

herausbewegen zu können, was einem hohen Stromverbrauch entsprechen würde.

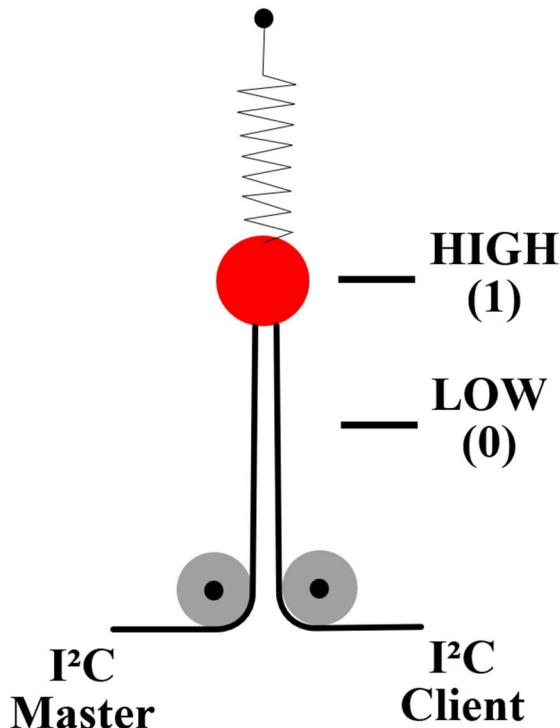


Abb. 7: „Pullup-Feder“

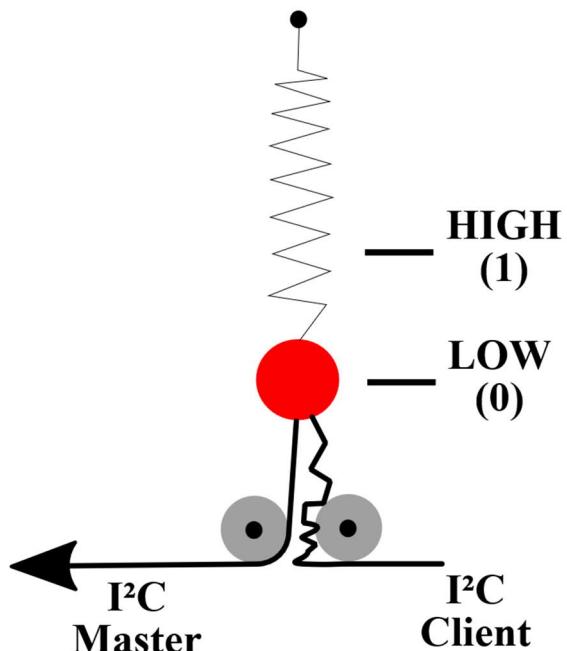


Abb. 8: Pullup „Master“

Genauso kann der Empfänger (I²C-Client) wie in Abb. 9 das Signal verändern und es ist sogar problemlos möglich, dass Sender

(Master) und Empfänger (Client) gleichzeitig das Signal auf 0 Volt senken, ohne dass es zu Kurzschlüssen kommt.

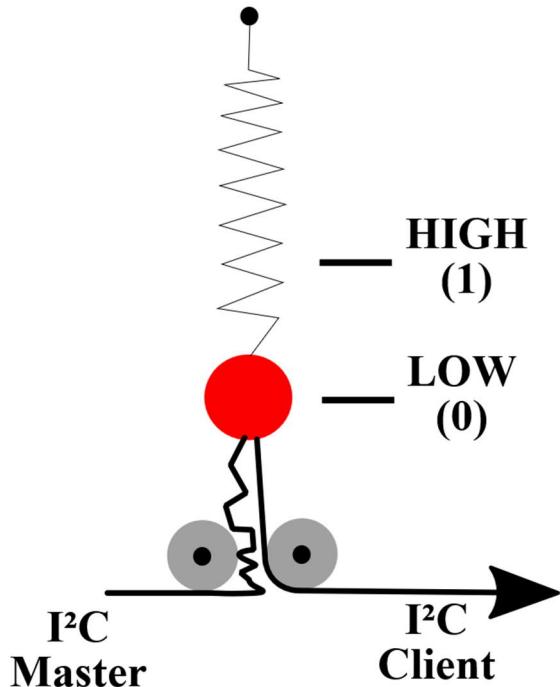


Abb. 9: Pullup „Client“

Genau so funktioniert jede der beiden Leitungen SDA und SCL des I²C. Widerstände halten das Signal auf einer höheren Spannung und alle am Bus angeschlossenen Bausteine senken diese Spannung bei Bedarf auf 0 Volt.

Im Falle des TXT, TX oder ftDuino ist die spannende Frage, welche Spannung mit Hilfe des Widerstands auf die Leitung gelegt wird. Der TXT verwendet wie eingangs erwähnt 3,3 Volt und der TX bzw. der ftDuino verwenden 5 Volt. Auch die diversen Sensoren variieren, was die Spannung angeht.

Würde man diese Spannungen direkt verbinden, wäre auch das wieder ein Kurzschluss. Aber wie wir ja nun wissen, sind da Widerstände im Spiel. Alle am I²C-Bus beteiligten Geräte legen Spannungen größer 0 Volt niemals direkt auf die Datenverbindung. Stattdessen geschieht dies ausnahmslos immer über Widerstände. Damit sinkt die Gefahr bei Verbindung von

3,3-Volt- und 5-Volt-Geräten erheblich. Die Gefahr, tatsächlichen Schaden anzurichten, wenn man 5-Volt- und 3,3-Volt-I²C-Geräte mischt, ist vergleichsweise gering. Man kann sich das wieder sehr gut mit der Feder veranschaulichen. Was passiert, wenn man den Ball mit zwei Federn verbindet? Eine Feder soll den Ball in 3,3 cm Höhe halten, eine zweite Feder aber in 5 cm Höhe? Dann wird sich der Ball irgendwo in der Mitte zwischen beiden Federn in einer Höhe von gut 4 cm einpendeln. Wichtiger noch ist aber, dass der Ball mit recht wenig Kraft in seiner Position gehalten ist. Man könnte am Ball wenig bewirken, wenn man nur über die Federn an ihm herumzieht.

Beim I²C-Bus hieße das, dass sich bei gemischter Verwendung von 3,3-Volt- und 5-Volt-Komponenten auf dem Bus Spannungen irgendwo in der Mitte zwischen 3,3 und 5 Volt einstellen würden. Eine Spannung von knapp über 4 Volt wäre zu erwarten. Auch wenn diese Spannung durch die Widerstände sehr „schwach“ ist, liegt sie dennoch z. B. außerhalb dessen, was Halbleiterhersteller für einen 3,3-Volt-Chip erlauben. Der TXT ist so ein 3,3-V-Gerät und sollte eigentlich an seinem I²C-Bus nicht mit Spannungen größer 3,3 V konfrontiert werden. Davor warnt das Handbuch des TXT auch explizit.

Nun enthält der TXT zusätzliche Schutzschaltungen in Form von Widerständen, die ihrerseits das Signal weiter abschwächen, und Dioden, die die Spannungen fest auf den 0- bis 3,3-Volt-Bereich beschränken. „Na dann ist doch alles gut“, könnte man nun meinen. Diese Schutzschaltungen haben aber Grenzen, denn überschüssige Spannungen werden in ihnen abgebaut, indem die elektrische Energie in Wärme umgewandelt wird. Das geht aber nur, wenn die Spannung mit geringer „Kraft“ im TXT ankommt, wenn also z. B. wie bei I²C Widerstände zwischengeschaltet sind. Verbindet man den I²C-Anschluss des TXT

dagegen direkt mit einer 5-V-Spannungsquelle oder gar mit den fischertechnik-üblichen 9 V, dann sind die Schutzschaltungen ggf. nicht in der Lage, die überschüssige Spannung zu verkraften. Sie können überhitzen, kaputt gehen und ihre Schutzwirkung verlieren. Die Chips im TXT wären dann der zu hohen Spannung schutzlos ausgeliefert und würden ebenfalls beschädigt. Der TXT wäre kaputt. Es ist also trotz aller Schutzschaltungen sehr sinnvoll, den TXT gar nicht erst mit Spannungen größer 3,3 Volt zu konfrontieren. Das ist Aufgabe der sogenannten Level Shifter oder auch Pegelwandler.

Der Level Shifter trennt die mit 3,3 Volt und 5 Volt betriebenen Teile des I²C-Bus auf. Wie beschrieben werden die Spannungen über Widerstände angelegt, und die beteiligten Busteilnehmer senken die Spannung bei Bedarf auf 0 Volt. Genau dieses Verhalten überträgt der Level Shifter. Die Funktion der Widerstände zum Erzeugen der positiven Spannungen auf den Datenverbindungen beeinflusst der Level Shifter in keiner Weise. Lediglich das aktive Senken der Spannung auf 0 Volt leitet der Level Shifter von jeweils einer Seite auf die andere weiter.

Als Level Shifter kommen bei I²C die in [1] beschriebenen Schaltungen zu Einsatz. Im Zentrum dieser in Abb. 10 abgebildeten Schaltung steht ein sogenannter MOSFET-Transistor. Er übernimmt die Aufgabe des „0-Volt-Weiterleitens“. Ihm zur Seite stehen die bekannten Widerstände, die das Signal auf beiden Seiten auf 5 Volt oder 3,3 Volt legen, solange kein Kommunikationspartner das Signal auf 0 Volt senken möchte.

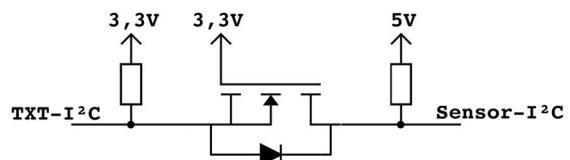


Abb. 10: Level Shifter mit MOSFET-Transistor

Wie man an der Schaltung erkennen kann, benötigt sie selbst eine Versorgung mit 3,3 Volt und mit 5 Volt. Die 5 Volt werden lediglich für die zwei Pullup-Widerstände genutzt. Die 3,3 Volt werden zusätzlich zu den 3,3-Volt-seitigen Pullup-Widerständen auch vom MOSFET-Transistor benötigt.

Will man einen 5-Volt-I²C-Sensor am TXT betreiben, dann benötigt man für diesen sowieso eine 5-Volt-Versorgung, aus der man die 5-Volt-Seite des Level Shifters direkt mitversorgen kann. Schwieriger wird aber die Versorgung der 3,3-Volt-Seite, denn diese Spannung steht nicht unmittelbar zur Verfügung.

Die bisher in der ft:pedia verbreiteten Lösungen nutzen den Pin 9 des EXT-Anschlusses des TXT als Quelle für die 3,3 Volt. Dieser Pin stellt allerdings keine Versorgungsspannung bereit, sondern lediglich ein Datensignal, das in der Regel auf 3,3-Volt-Pegel liegt. Die Nutzung dieses Signals als Spannungsquelle ist nicht prinzipiell falsch und der TXT wird sehr wahrscheinlich nicht beeinträchtigt. Allerdings ist diese Lösung nicht garantiert funktionsstabil und die Zuverlässigkeit der I²C-Kommunikation ist bei dieser Lösung nicht gegeben.

Einige preisgünstige Level Shifter bringen einen integrierten 5-Volt-zu-3,3-Volt-Wandler mit. Abb. 11 zeigt einen typischen solchen Level Shifter. Der integrierte Spannungswandler ist das fünfpolige Bauteil, direkt daneben befinden sich die zwei dreipoligen MOSFETs, die die beiden Datenverbindungen (SCL und SDA) des Level Shifters bilden. Dieser Spannungswandler benötigt lediglich die 5-Volt-Versorgung und kann daher auf die etwas unglückliche Versorgung aus Pin 9 des TXT verzichten.

Abb. 12 zeigt dagegen einen wesentlich verbreiterteren, aber wegen der fehlenden 5-Volt-zu-3,3-Volt-Wandlung nicht geeigneten Level Shifter. Auf der Platine sind gut

lediglich die vier MOSFETs der vier Datenverbindungen mit ihren je zwei Pullup-Widerständen zu erkennen.

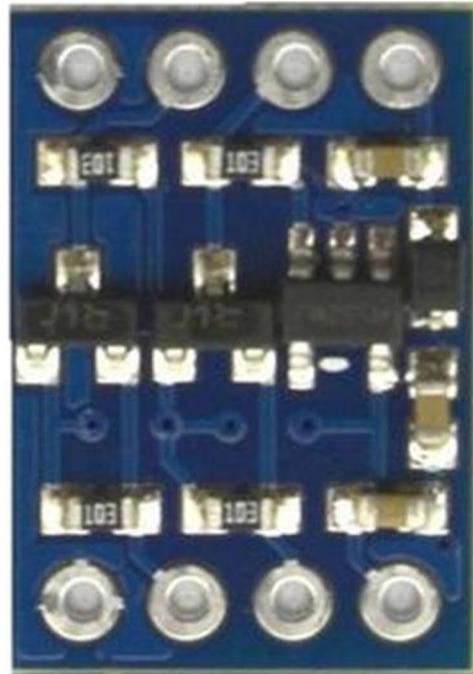


Abb. 11: Level Shifter mit zwei Kanälen

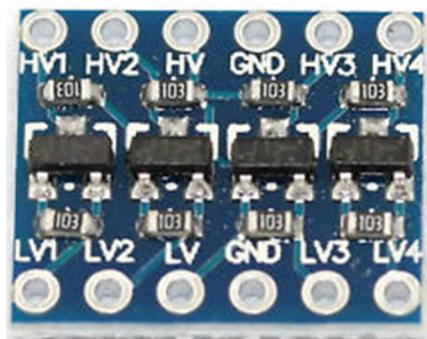


Abb. 12: Level Shifter mit vier Kanälen

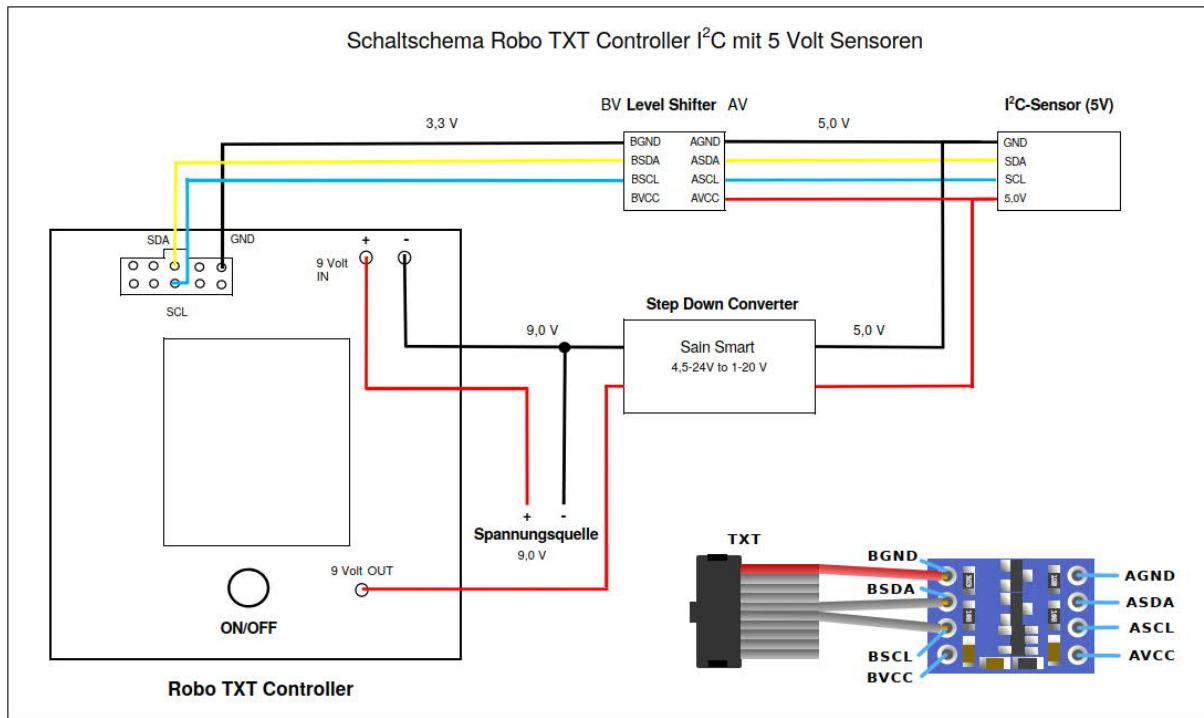
Wie der Gesamtaufbau aussehen könnte zeigt Abb. 13. Dieses Bild ist eine aktualisierte Version des Bildes, das in der ft:pedia und auch außerhalb schon seit geraumer Zeit kursiert und das die etwas unglückliche Variante darstellt. Die hier vorgestellte Version vermeidet die Nachteile der alten Version, speziell die wenig elegante Lösung, eine der Datenleitungen des TXT als Spannungsversorgung zu missbrauchen.

Die Frage nach der I²C-Spannung stellt sich nicht nur am TXT und TX, sondern auch am fDuino, dem TX-Pi und unterschiedlichen

Sensoren. Die Anleitung des ftDuino bietet in Abschnitt 6.13 [2] einige Beispiele für I²C-Spannungswandler. Auch für den TX-Pi wurde ein entsprechender Wandler gebaut [3] und schließlich ist mit dem ft-Extender [4] ein Fertigerät erhältlich, das eine zur beschriebenen Schaltung äquivalente Lösung enthält. Auch für im Löten unerfahrene User bieten sich also diverse Möglichkeiten, den TXT, TX und diverse andere Geräte gefahrlos via I²C zu erweitern.

Quellen

- [1] NXP: [Level shifting techniques in I²C-bus design](#), 2007.
- [2] Dr. Till Harbaum: [Nutzung des I²C-Bus](#), in: *ftDuino Bedienungsanleitung*, 2019.
- [3] Peter Habermehl: *fischertechnik TX-Pi I²C breakout and power supply* auf [Thingiverse](#), 2019.
- [4] Björn Gundermann: [ft-Extender](#).



Warnung: Der TXT verfügt nur über schwachen Schutz am EXT-Anschluss und kann durch unsachgemäße Nutzung beschädigt werden
Warning: The TXT has only weak protections on the EXT connector and may be damaged by improper use

Abb. 13: TXT-Controller mit 5-Volt-Sensoren am I²C-Bus

Computing

I²C mit dem TX(T) – Teil 18: Keypads und GPIO-Port-Erweiterung

Dirk Fox

Der TX(T) ist ein „embedded system“ – ein programmierbarer Steuerungs-Mikrocontroller (fast) ohne Ein- und Ausgabe-Peripherie. Allerdings gibt es Erweiterungsmöglichkeiten: Wie man dem TX(T) über die I²C-Schnittstelle ein größeres LCD-Display spendiert, haben wir in einer früheren Folge gezeigt [1]. In diesem Beitrag stellen wir vor, wie man den TX(T) um ein einfaches Tastenfeld erweitert – und lernen dabei zugleich, wie sich eine große Zahl von GPIO-Ports spielend ergänzen lässt.

Hintergrund

Ein Nachteil des TX Controllers ist das Fehlen einer leistungsfähigen Benutzer-Eingabeschnittstelle: Nur über die beiden roten Knöpfe lassen sich – mit einigen „Klimmzügen“ und wenig benutzerfreundlich – Menu-Eingaben realisieren. Beim TXT erlaubt das Touch-Display etwas größere Flexibilität, allerdings ist auch dort die manuelle Eingabe von Zahlenwerten oder Buchstabenfolgen mühsam. Dabei gibt es zahlreiche Anwendungen, die eine Eingabe von Zahlen, Ziffern oder auch alphabetischen Zeichen erfordern, wie z. B. die Codeeingabe für ein Tresorschloss.

Zum Glück gibt es das I²C-Protokoll – sowie Peripheriegeräte, mit denen sich eine solche Zeicheneingabe einfach und kostengünstig realisieren lässt. Einen Typ dieser Eingabegeräte, nämlich Matrix-Keypads (Zifferntastenfelder), wie man sie von Handys oder TAN-Generatoren kennt, stellen wir im Folgenden vor.

Sie lassen sich über den I²C-Bus an den TX und den TXT anschließen und unter Verwendung der hier vorgestellten und auf meiner [ROBO Pro-I²C-Webseite](#) zum Download bereitgestellten Treiber mit ROBO Pro auslesen und einsetzen.

Keypads

In Elektronik-Shops werden eine Vielzahl solcher 3×4- und 4×4-Zifferntastaturen in unterschiedlicher Materialqualität angeboten: von der Folien- über eine Kunststofftastatur bis zum Metall-Drucktastenfeld (Abb. 1, 8). Die Keypads kosten zwischen 2 € (Folientastatur) und rund 40 € (Metalltasten), jeweils ohne Mikrocontroller für die Auswertung der Tastendrücke.



Abb. 1: Einfaches numerisches 3×4-Keypad

Die Funktionsweise dieser Tastenfelder ist sehr einfach: Hinter jeder Taste des Keypads verbirgt sich ein Mikro-Taster. Beim

3×4-Keypad sind sieben der (durchkontaktierten) Pin-Anschlüsse jeweils mit dem Eingang respektive Ausgang der Mikro-Taster einer Zeile bzw. Spalte der Tasten-Matrix verbunden. Wird nun eine Taste gedrückt, schließt sie einen Zeilen- mit einem Spalten-Anschluss. Die Zuordnung der Pin-Anschlüsse zu den Spalten bzw. Zeilen des Tastenfelds entspricht meist dem in Abb. 2 gezeigten Schema, das beispielsweise den [Sparkfun-Keypads](#) zu Grunde liegt.

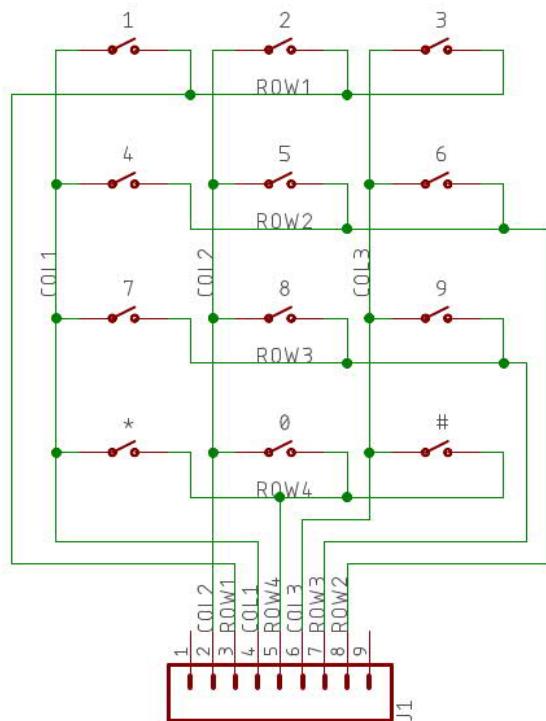


Abb. 2: Anschlussbelegung des 3×4-Keypads

Die Bestimmung der jeweils gedrückten Taste kann nun entweder über digitale *General Purpose Input Output* (GPIO) Ports mit Pull-Up-Widerständen erfolgen oder einem darauf spezialisierten Mikrocontroller überlassen werden. Im Folgenden stellen wir beide Lösungswege vor.

Der GPIO-Expander PCF8574

Digitale GPIO-Ports bieten eine sehr elegante Möglichkeit, das Tastenfeld auszulesen. Dafür benötigen wir mindestens sieben solcher sowohl als Input als auch als Output nutzbaren Ports, möglichst mit internen Pull-Up-Widerständen, wie sie z. B. an

einem Arduino zur Verfügung stehen. Dem TX(T) Controller können wir solche GPIO-Ports spendieren, indem wir ein GPIO-Expansion-Board an den I²C-Bus anschließen. Solche Boards sind mit 8, 16, 32 und mehr GPIO-Ports erhältlich. Für unsere Zwecke genügt ein Erweiterungsboard mit sieben digitalen GPIO-Ports.

Der PCF8574 von NXP ist ein solcher, schon etwas älterer, aber seit 1989 immer weiter entwickelter 8-bit-I/O-Microchip mit integrierter I²C-Schnittstelle. Fertige I²C-GPIO-Expander-Boards mit dem PCF8574 gibt es von verschiedenen Herstellern; sie sind für 5 bis 12 € erhältlich (Abb. 3).

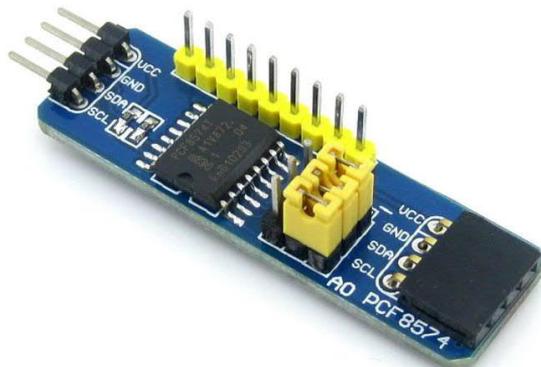


Abb. 3: PCF8574 von NXP
(Board: WaveShare)

Der PCF8574 besitzt die folgenden technischen Daten:

- I²C: *Fast Mode* (400 kHz) und acht über Jumper einstellbare I²C-Adressen (0x20 bis 0x27; default: 0x20)
- 5 V, geringe Stromaufnahme (< 0,1 mA)
- Acht I/O-Anschlüsse, ein Interrupt-Pin

Der Interrupt-Pin signalisiert jede Veränderung an den Eingängen des Boards. Darüber kann, z. B. an einem Arduino, das Auslesen der an den Pins anliegenden Potentiale über eine Interrupt-Service-Routine angestoßen werden.

Mehrere der in Abb. 3 gezeigten Boards können in Reihe miteinander verbundenen und mit unterschiedlichen I²C-Adressen konfiguriert werden. So lässt sich ein

Mikrocontroller über den I²C-Bus um bis zu 64 GPIO-Ports erweitern. Mit einem I²C-Multiplexer kann die Zahl der zusätzlichen GPIO-Ports auf 128 verdoppelt werden [3]. Für unsere Zwecke genügt jedoch ein einzelnes Board.

Anschluss des Keypads

Zunächst verbinden wir die sieben Pins des Keypads gemäß Tab. 2 über Jumper mit den Pins des GPIO-Expanders.

PCF8574	Keypad
P0	Pin 2 – C2
P1	Pin 3 – R1
P2	Pin 4 – C1
P3	Pin 5 – R4
P4	Pin 6 – C3
P5	Pin 7 – R3
P6	Pin 8 – R2

Tab. 1: Anschluss des Keypads an die Pins des PCF8574-Board

Dann legen wir zunächst die Zeilen-Kontakte (P1, P3, P5, P6) auf (Input) High und die Spalten-Kontakte (P0, P2, P4) auf Low (Abb. 4).

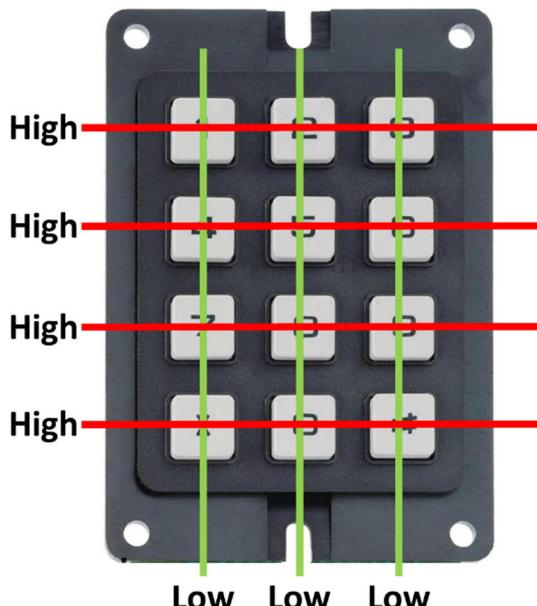


Abb. 4: Spalten- und Zeilen-Belegung

Wird nun eine Taste gedrückt, können wir jetzt in zwei Schritten feststellen, welche es ist: Sobald ein Tastendruck den Kontakt zwischen einer Zeilen- und einer Spaltenverbindung herstellt, wird das an der entsprechenden Zeile anliegende Signal auf Low gezogen (Abb. 5).

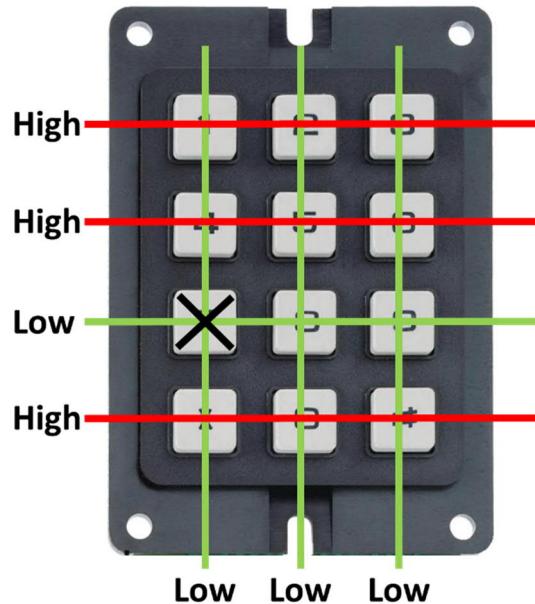


Abb. 5: Taste „7“ gedrückt: Dritte Zeile wird auf Low gezogen

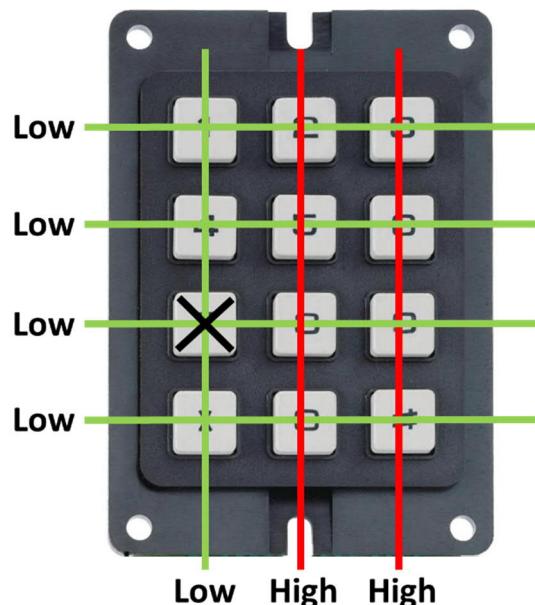


Abb. 6: Taste „7“ gedrückt, Spalten auf High: Erste Spalte wird auf Low gezogen

Nun kann die Spalte der gedrückten Taste bestimmt werden, indem alle Zeilen auf `Low` und alle Spalten auf `High` gelegt werden. Diesmal wird die Spaltenverbindung der gedrückten Taste auf `Low` gezogen (Abb. 6).

Schreiben und Lesen der Ports

Das Schreiben und Lesen der GPIO-Ports des PCF8574 ist einfach: Wird ein Byte-Wert via I²C-Protokoll an den GPIO-Expander geschickt, werden die Ports P0 bis P7 mit `Low` belegt, wenn das korrespondierende Bit den Wert 0, und mit `High`, wenn es den Wert 1 besitzt. Dabei werden

Input-Ports immer auf `High` gesetzt, Output-Ports auf `High` oder `Low`.

Das Auslesen der an den Ports anliegenden Potentiale erfolgt durch einen I²C-Byte-Lesebefehl. Der zurückgelieferte Byte-Wert repräsentiert bitweise die Potentiale an den Pins P0 bis P7. Über das Auslesen der Potentiale können Änderungen der Input-Ports festgestellt werden.

Tabelle 2 zeigt, welche Byte-Werte zur Auswertung des Keypad an den PCF8574 geschrieben werden (W) bzw. wie die anschließend ausgelesenen Werte (R) zu interpretieren sind.

Keypad	R2	R3	C3	R4	C1	R1	C2
PCF8574	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0
W: Zeilenabfrage	1	1	0	1	0	1	0
R: Taste in Zeile 1 gedrückt	1	1	0	1	0	0	0
R: Taste in Zeile 2 gedrückt	0	1	0	1	0	1	0
R: Taste in Zeile 3 gedrückt	1	0	0	1	0	1	0
R: Taste in Zeile 4 gedrückt	1	1	0	0	0	1	0
W: Spaltenabfrage	0	0	1	0	1	0	1
R: Taste in Spalte 1 gedrückt	0	0	1	0	0	0	1
R: Taste in Spalte 2 gedrückt	0	0	1	0	1	0	0
R: Taste in Spalte 3 gedrückt	0	0	0	0	1	0	1

Tab. 2: Bestimmung der Zeile und Spalte einer am Kepad gedrückten Taste

ROBO Pro-Treiber

Der ROBO Pro-Treiber für den PCF8574 findet sich in meiner [I²C-Treibersammlung](#). Er umfasst die folgenden Befehle:

- `PCF8574_SetPorts`: Das I²C-Schreib-Kommando stellt die Potentiale der acht I/O-Ports durch das Schreiben eines Byte-Werts ein.
- `PCF8574_GetPorts`: Das I²C-Lese-Kommando liest die Potentiale der acht I/O-Ports aus und liefert sie in einem Byte-Wert zurück.

- `PCF8574_GetKey`: Das Kommando liefert den Zifferwert der an einem geschlossenen 3×4-Keypad gedrückten Taste (0-9). Für „*“ wird die Zahl 11, für „#“ die Zahl 12 zurückgegeben und die Funktion wird über den Ausgang „Star“ respektive „Hash“ verlassen. Dabei wird das Tastenfeld entprellt: Das Unterprogramm kehr erst zurück, wenn die Taste losgelassen wurde. Ist keine Taste gedrückt, wird das Unterprogramm über den Ausgang „NoKey“ verlassen und der Wert 99 zurückgeliefert.

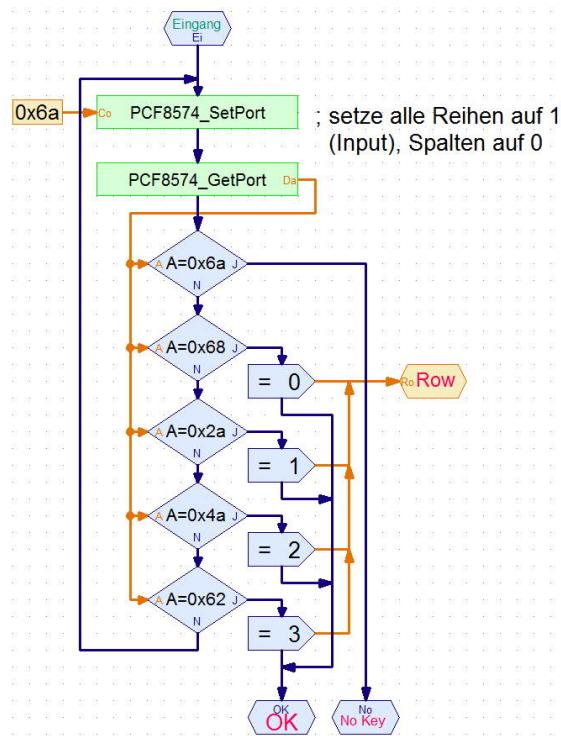


Abb. 7: Unterprogramm zur Identifikation der Zeile (0-3), in der eine Taste gedrückt ist

Die Kommandos des Treibers verwenden die I²C-Default-Adresse 0x20. Ändert man über die Jumper die Adresse des PCF8574-Boards, müssen die Befehle entsprechend angepasst werden.



Abb. 8: Alphanumerisches 3x4-Keypad

Falls die Tastatur über ein alphanumerisches Tastenfeld verfügt (Abb. 8), so können über das wiederholte Drücken einer

Taste innerhalb eines kurzen Zeitraums auch Buchstaben eingegeben werden – eine mögliche Erweiterung des Treibers, die ich euch als kleine „Fingerübung“ überlasse.

Das LCD05

Alternativ zur Verwendung von sieben GPIO-Ports kann auch ein Mikrocontroller verwendet werden, der selbst eine Auswertung des Tastenfelds vornimmt. Das gilt zum Beispiel für das in einem früheren Beitrag vorgestellte *Liquid Cristal Display* LCD05, das auf dem rückseitig montierten PIC18F23K22 sieben Pins zum Anschluss eines 3x4-Tastenfeld besitzt (Abb. 9) [1, 2].

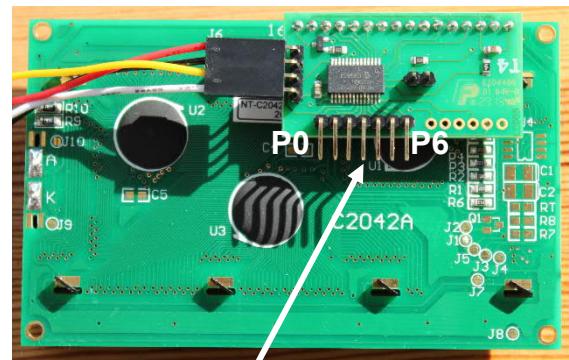


Abb. 9: Keypad-Anschlüsse des LCD05

Anschluss des Keypads

Die sieben Pins des Keypads werden direkt mit den sieben rückseitigen Pins des LC-Display LCD05 verbunden (Tab. 3).

LCD05	Keypad
P0	Pin 2 – C2
P1	Pin 3 – R1
P2	Pin 4 – C1
P3	Pin 5 – R4
P4	Pin 6 – C3
P5	Pin 7 – R3
P6	Pin 8 – R2

Tab. 3: Anschluss des Keypads an den LCD05

Über das LCD05 können dann die auf der Tastatur gedrückten Tasten via I²C-Protokoll abgefragt werden. Die Standard-I²C-Adresse des LCD05 ist 0x63 (7-bit); sie

kann auf die Adressen 0x64-0x67 umgestellt werden [1]. Der I²C-Controller des Boards beherrscht ebenfalls den *Fast Mode* (400 kHz).

Der Controller legt zwei Byte-Werte in den Datenregistern 0x01 und 0x02 ab, die ein Bitmuster der gedrückten Tasten enthalten (Tab. 4) und via I²C vom Master – sprich: dem TX Controller – im direkten Zugriff ausgelesen werden können.

Wert	Taste
0x01	1
0x02	2 abc
0x04	3 def
0x08	4 ghi
0x10	5 jkl
0x20	6 mno
0x40	7 pqrs
0x80	8 tuv

Wert	Taste
0x01	9 wxyz
0x02	*
0x04	0
0x08	#
0x10	-
0x20	-
0x40	-
0x80	-

Tab. 4: Register 0x01 (links) und 0x02 (rechts): Hex- und Tastenwert

ROBO Pro-Treiber

Eine Erweiterung des ROBO Pro-I²C-Treibers für den LCD05 um die Ansteuerung eines 3×4-Keypads zeigt Abb. 10. Er findet sich auch zum Download auf der [I²C-Treiber-Webseite](#) und enthält die folgende Funktion:

- `LCD05_GetKey`: Das Kommando liefert den Zifferwert der an einem angeschlossenen 3×4-Keypad gedrückten Taste (0-9). Werden die Tasten „*“ oder „#“ gedrückt, wird die Funktion über den Ausgang „Star“ respektive „Hash“ verlassen. Dabei wird das Tastenfeld entprellt: Das Unterprogramm kehr erst zurück, wenn die Taste losgelassen wurde. Ist keine Taste gedrückt, wird die Funktion über den Ausgang „NoKey“ verlassen.

Auch hier ist eine Erweiterung für alpha-numerische Tasten möglich, allerdings erfolgt die Auswertung der Tasten des LCD05 im Vergleich mit dem PDF8574 deutlich verzögert, was die eindeutige Erkennung wiederholter Tastendrücke erschwert.

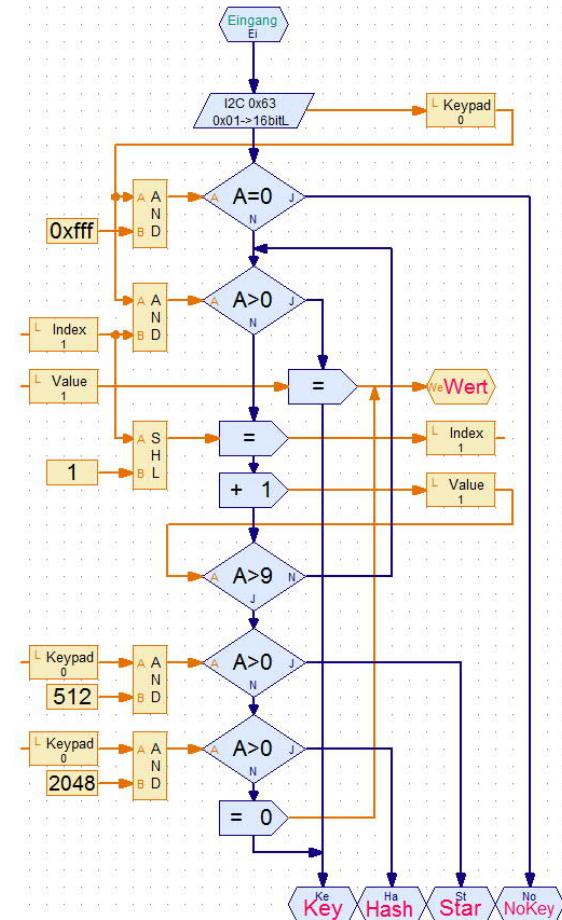


Abb. 10: Robo Pro-Treiber des LCD05-Keypad

Quellen

- [1] Dirk Fox: *I²C mit dem TX – Teil 9: LC-Displays*. [ft:pedia 1/2014](#), S. 47-57.
- [2] Devantech: [LCD05 – I²C/Serial LCD](#), Technical Documentation.
- [3] Georg Stiegler: [I²C mit dem TX\(T\) – Teil 5: Multiplexer](#). ft:pedia 2/2013, S. 50-52.

Modell

Sortieranlage für fischertechnik-Teile

Leon Schnieber, Max-Leo Amberg

Wer räumt schon gerne auf? Diese Frage stellten wir uns auch. Deshalb begannen wir eine Anlage zu entwickeln, die diese Arbeit automatisiert. Sie sollte modular und flexibel konstruiert sein, sodass sie beliebige und wechselnde Teile sortieren kann. Zur Erkennung der Teile dient eine auf neuronalen Netzen basierende KI (künstliche Intelligenz). Nach einer halbjährigen Entwicklungszeit kann die Anlage nun 18 verschiedene fischertechnik-Teile erkennen und in ein Lager einsortieren.

Einleitung

Bei der fischertechnik-Convention 2017 hatten wir nach dem Abbau unserer Exponate eine große Menge verschiedener Einzelteile. Diese in Sortierwannen einzuräumen ist sehr monoton und zeitaufwändig. Bei der Recherche im Internet

stießen wir vor allem auf Anlagen, die speziell für ihren Anwendungszweck angepasst wurden, zum Beispiel auf ganz bestimmte Teile, die sortiert werden können. Da wir uns aber nicht nur auf wenige spezielle Teile festlegen wollten, beschlossen wir, selbst eine modulare und flexible

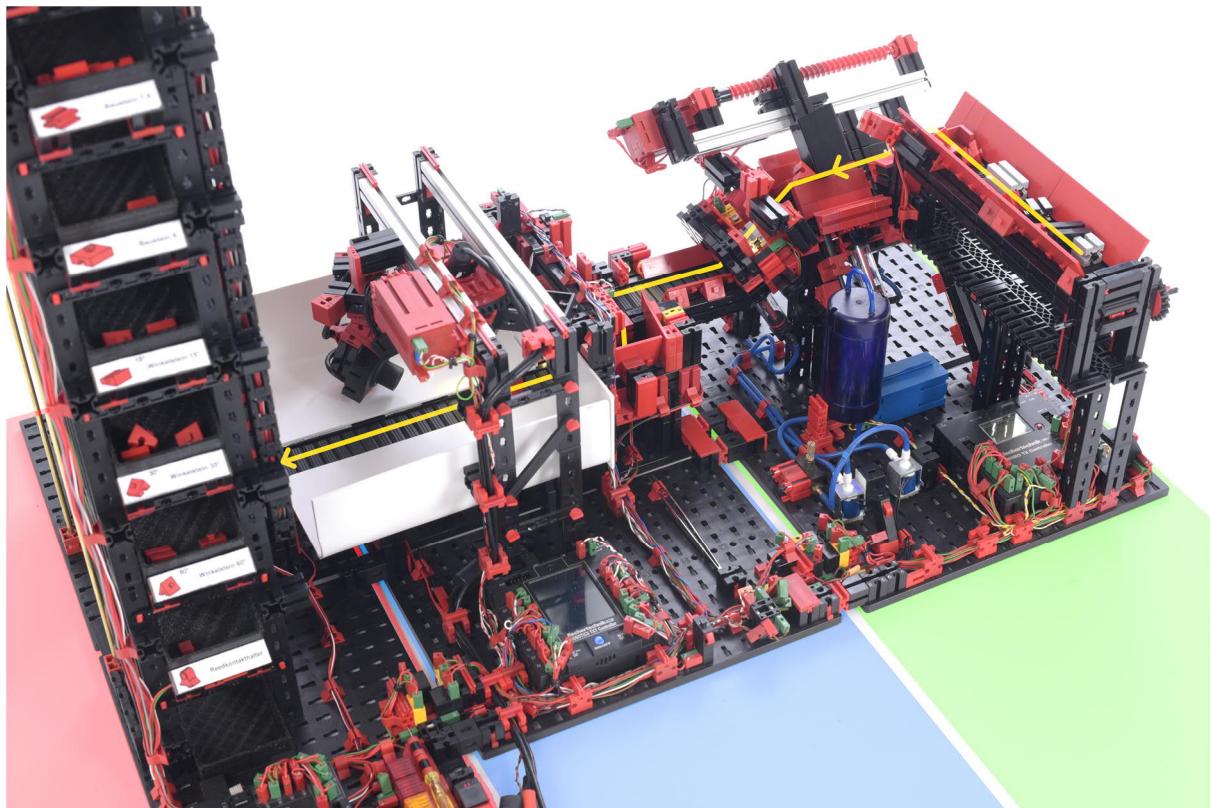


Abb. 1: Aufbau der Sortieranlage: Bauteile werden – entlang des gelben Pfades – vom Vereinzler (grün) über den Scanner (blau) zum Hochregallager (rot) transportiert

Sortieranlage zu entwickeln. Unsere Ziele dafür waren:

- Modularität und Flexibilität – für wechselnde Teilesorten und zum leichten Transport.
- Hohe Genauigkeit – wenn die Maschine auch nur wenige Fehler machen würde, müssten die sortierten Teile zeitaufwändig kontrolliert und von Hand nachsortiert werden.
- Möglichst hohe Geschwindigkeit.
- Komfort für den Bediener – einfaches Befüllen und Entleeren der Anlage.

Zentrales Element dabei war die Erkennung der Teile. Herkömmliche Erkennungsmethoden von Kanten oder Kontrasten waren durch die Vielfalt der Teile zu unflexibel und kompliziert, weshalb wir uns schnell auf eine Erkennung mit neuronalen Netzen festlegten. Die Einteilung unserer

Sortieranlage in verschiedene Module war noch einem weiteren Aspekt geschuldet: Da wir beide ca. 300 km entfernt voneinander wohnen, mussten wir große Teile der Anlage getrennt entwickeln. Über ein Chatprogramm stimmten wir uns aber regelmäßig über die mechanischen, elektrischen und datentechnischen Schnittstellen zwischen den drei Modulen ab.

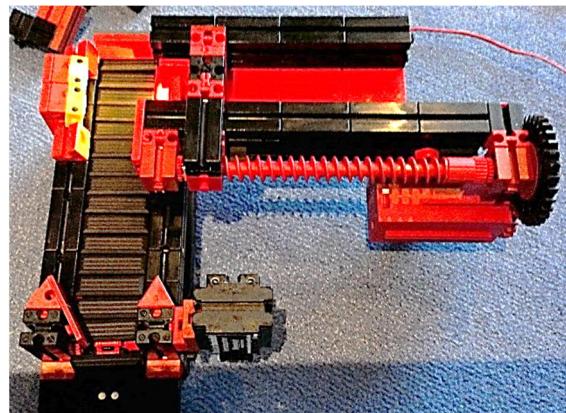


Abb. 2: Prototyp des Vereinzlers

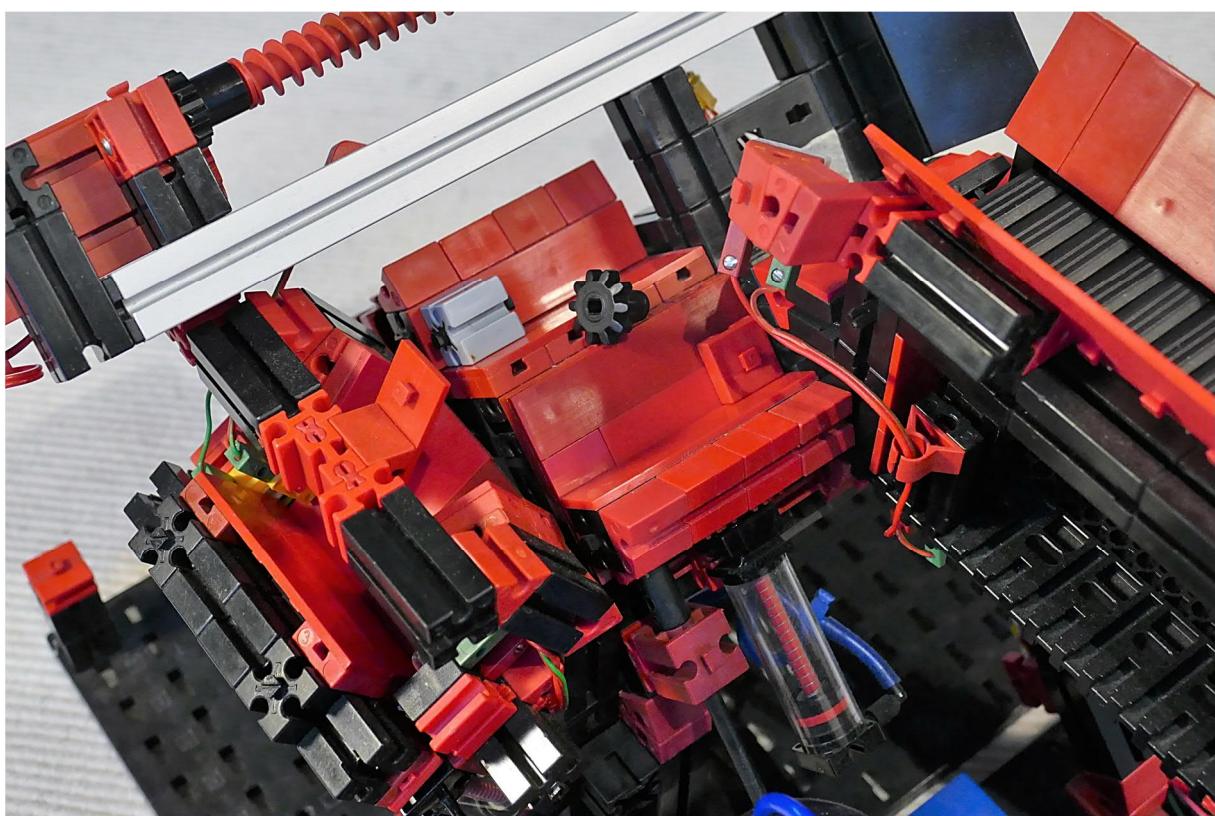


Abb. 3: Schiebermechanismus am Vereinzeler –
Pneumatikzyliner heben die Teile wieder auf die Fallkante an

Das Startmodul zum Vereinzen der Teile

Zunächst begannen wir den Bau unserer Anlage mit dem Vereinzler. Der Prototyp (siehe Abb. 2) bestand lediglich aus einem Schieber, der die Teile in einer Rinne nach vorne über eine Kante auf ein Förderband herabfallen ließ. Eine unter der Rinne montierte Lichtschranke sollte das herabfallende Teil erkennen und den Schieber anhalten. Es zeigte sich allerdings sehr schnell, dass eine einzelne Fallkante die Teile nicht zuverlässig vereinzen kann, vor allem, wenn die Bausteine sehr dicht auf dem Förderband liegen.

Bei der finalen Version des Moduls werden die Teile vom Bediener auf ein Förderband geschüttet. Dieses lässt sie in kleinen Portionen in eine Rinne fallen. Ein Schieber bewegt die Teile auf eine Fallkante zu. Zu ihrem Ende hin wird die Rinne immer

schmäler. Über- und nebeneinander liegende Teile fallen dann links und rechts hinab. An der Spitze befinden sich so alle Teile sauber aufgereiht. Sie fallen einzeln, von einer Lichtschranke kontrolliert, auf das nächste Förderband zum Scanner-Modul. Wenn alle Teile auf der Rinne vereinzelt worden sind, fährt der Schieber wieder zurück. Zwei Pneumatikzylinder heben dann die nach links und rechts heruntergefallenen Teile wieder zurück auf die Rinne.

Das Scan-Modul

Als der Vereinzler schließlich zuverlässig funktionierte, begannen wir mit dem Bau des Scan-Moduls.

Die Teile vom Vereinzler werden zunächst von einer Pufferposition auf ein langes Förderband geschoben. Kontrolliert von einer Lichtschranke werden die Teile so weit vorgefahren, dass sie im Fokus der

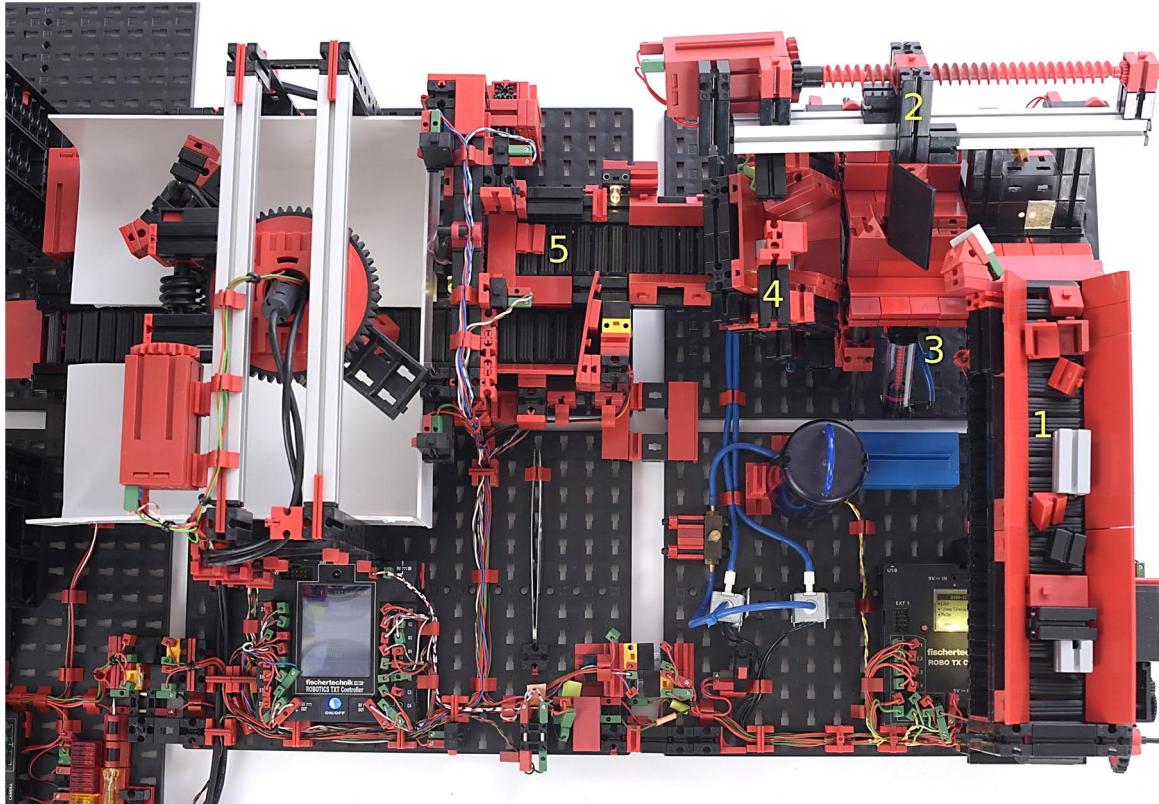


Abb. 4: Draufsicht von Vereinzler und Scanmodul. (1) Einfüll-Förderband, (2) Schieber, (3) Pneumatikzylinder, (4) Kontroll-Lichtschranke, (5) Pufferposition

beiden Kameras liegen. Diese sind an einem Dreharm befestigt und können sich so um mehr als 180° um das Teil herumdrehen. Eine LED-Beleuchtung um die Kamera-linsen herum sorgt für eine frontale Beleuchtung ohne störende Schatten um das Objekt.

Trotz der Vorarbeiten durch andere Forschergruppen war unsere Anpassung des bestehenden Netzes an das neue Trainings-set sehr zeitaufwändig: Die Daten durchliefen 50.000 bis 300.000 Trainingsschritte, bevor das neuronale Netz für den Praxiseinsatz tauglich war. Durch die beiden Blickwinkel der Kameras, flach und steil, entstehen mit geringem Mehraufwand mehr Daten für unsere Analyse (Abb. 5).

Für die Auswertung der Kameraaufnahmen kamen zwei Erkennungsmethoden in Frage. Unseren ersten Ansatz, die Bilderkennung mit der Software *Open-CV* [1] zu realisieren, verworfen wir schnell. Problematisch

waren die verschiedenen Ausrichtungen, in denen die Teile im Scanmodul fotografiert werden (siehe Abb. 6). Obwohl die Bibliothek speziell auf die maschinelle Bildverarbeitung ausgelegt ist und eine gute Dokumentation bietet, müssten wir pro Teilesorte mindestens vier Referenzbilder mit der Originalaufnahme vergleichen. Also wären bei 20 Teilesorten mindestens 80 Bildvergleiche nötig, um das Teil sicher bestimmen zu können – ein zeitaufwändiger Prozess, der trotzdem keine hohe Genauigkeit garantiert.

Unsere Wahl fiel auf das Software-Framework *Tensorflow* [2]. Mit ihm konnten wir neuronale Netze erstellen und trainieren.

Zur Erläuterung: Ein neuronales Netz besteht aus sogenannten „Neuronen“, auch Knoten genannt. Sie addieren die eingehenden Signale und geben ihrerseits ein Signal an verbundene Neuronen weiter, wenn ein gewisser Schwellenwert überschritten ist –

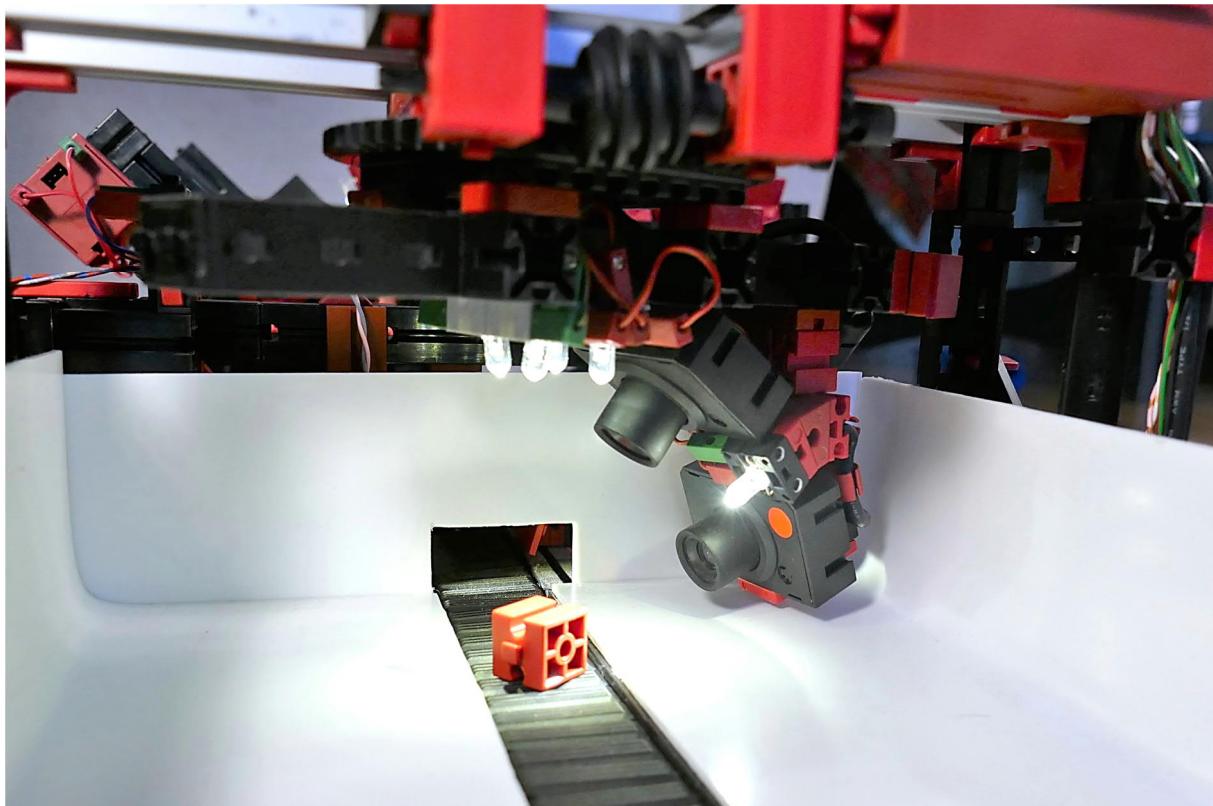


Abb. 5: Das Scan-Modul mit zwei schwenkbaren Kameras. Die weißen Flächen sorgen für einen möglichst gleichmäßigen Hintergrund

analog zum Nervensystem eines Lebewesens. Die Verbindungen („Kanten“) zwischen den Neuronen sind dabei unterschiedlich gewichtet, der Einfluss von Neuron zu Neuron variiert daher ebenfalls.

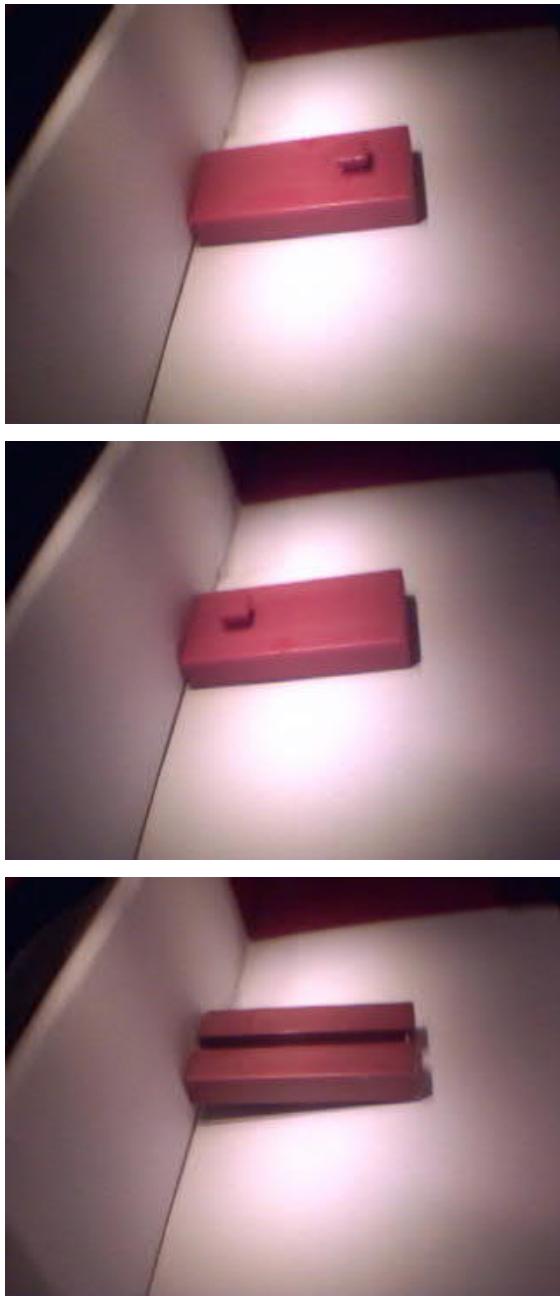


Abb. 6: Verschiedene Ausrichtungen desselben Bauteils

Ein einfaches neuronales Netzwerk besteht grundsätzlich aus drei Neuronentypen. Sogenannte Eingangsneuronen empfangen eingehende Daten und geben sie an die „hidden neurons“, also versteckte Neuronen

weiter. Dieser Name ergibt sich aus ihrer Position in der mathematischen Darstellung als Graphen: Die befinden sich im Gegensatz zu Ein- und Ausgangsneuronen in der Mitte und sind somit von außen nicht „sichtbar“. Der dritte Typ sind die Ausgangsneuronen. Sie geben das Ergebnis der Berechnungen aus. Nach dieser Grundstruktur sind zwar alle Kantengewichte zufällig festgelegt, aber noch nicht optimiert. Wir mussten sie erst über unzählige Entwicklungsschritte trainieren, will heißen: Bei jedem Trainingsschritt verändert die Software an zufälligen Stellen des Graphen die Kantengewichte und Schwellenwerte. Über einen Testdatensatz ermittelt sie dann, ob diese neue „Generation“ bessere Ergebnisse als die vorherige erzielt. Falls dies nicht der Fall ist, verändert sie ein anderes Kantengewicht [3].

Das Lager-Regal

Die Entwicklung des Lager-Systems konzentrierte sich auf wenige Punkte: Es sollte von Anfang an schnell und gleichmäßig arbeiten, sodass nach Beschleunigung der restlichen Prozesse kein „Flaschenhals“ entsteht. Als einfache, platzsparende Lösung legten wir uns hier auf ein einfaches Hochregallager, bestehend aus einem mittleren Aufzug und seitlich angeordneten Fächern fest (Abb. 7).

Getragen wird der Aufzugswagen von zwei Ketten, die am obersten Punkt um je ein Zahnrad laufen und auf der anderen Seite mit einem Gegengewicht verbunden sind. Dieses gleicht das Gewicht des Wagens aus, reduziert die vom Motor aufzubringende Kraft und erhöht damit die mögliche Geschwindigkeit. Mit den Rückmeldesignalen des Encoder-Motors ist eine exakte Positionierung des Wagens möglich. Am unteren Ende wird eine Lichtschranke als Endschalter genutzt. Sie dient zur Initialisierung beim Programmstart und gleicht zudem übersprungene Impulse aus. Damit stellen wir sicher, dass der Aufzug auch wirklich ganz unten angekommen ist und keine Teile

vom Förderband in den Fahrbereich des Aufzugs fallen oder sich verklemmen.



Abb. 7: Lagertürme des Hochregallagers

Der Aufzugswagen selbst besteht aus einem Förderband, welches quer zu dem der Scanner-Einheit steht (Abb. 8). Steht der Aufzug ganz unten, fallen die Teile vom Scanner-Förderband auf den Querförderer des Aufzuges. Dabei unterbricht das Teil eine Lichtschranke.

Die Zentralsteuerung sendet dem TX-Controller die Adresse des anzusteuernden Faches zu. So wird das Teil auf die richtige Höhe zum passenden Lagerfach gefahren. Ist der Aufzug am Ziel angelangt, wirft der Querförderer das Teil nach links oder rechts in das entsprechende Fach aus.

Die unterste Regalebene dient nicht zum Einsortieren von Teilen. Wir verwenden eines der Fächer als Ausschussfach – dort landen alle Teile, die nicht eindeutig erkannt wurden.

Steuerung der Anlage

Die Modularität des Modells wollten wir auch bei der Software beibehalten. Deshalb besitzt jedes Modul einen eigenen Controller (zwei TX-C und ein TXT) mit einem unabhängigen Steuerungsprogramm. Die Kommunikation zwischen den Modulen läuft dabei über selbstgebaute Optokoppler aus einer Glühlampe und einem Fototransistor. Schnell war aber klar, dass die zentrale Koordination der Prozesse vom Scanmodul ausgehen würde: Durch die zentrale Position in der Anlage müssen nur wenige Befehle an die benachbarten Module übertragen werden.

Das Programm startet mit der Initialisierungsphase: Das Vereinzler-Modul bewegt seinen Schieber in die Startposition, füllt den Drucklufttank und stellt das erste Teil bereit. Danach schaltet es seine Kommunikations-LED ein. Ein Fototransistor des Scanner-Moduls erkennt dieses Signal. Die Software weiß nun, dass ein neues Teil bereitliegt und startet die Initialisierung des Kameraarms. Nachdem alle drei Module ihren vordefinierten Startzustand erreicht haben, nimmt die Anlage ihren normalen Betrieb auf: Sobald die Pufferposition vom Scan-Modul geleert wurde, liefert der Vereinzler automatisch ein neues Teil. Der Kameraarm schwenkt um das Teil im Scanner herum, die beiden USB-Kameras fertigen aus verschiedenen Positionen je sechs Fotos an. Noch während sich der Kameraarm um das Teil dreht, verarbeitet das neuronale Netzwerk die Fotos und speichert die errechneten Ergebnisse in einer Tabelle. Das eingescannte Teil wird ein Stück weitergeschoben. Ein neues Teil wird auf das Scan-Förderband gelegt. Während der Positionierung des neuen Teils unter den Kamerafokus fällt das alte,

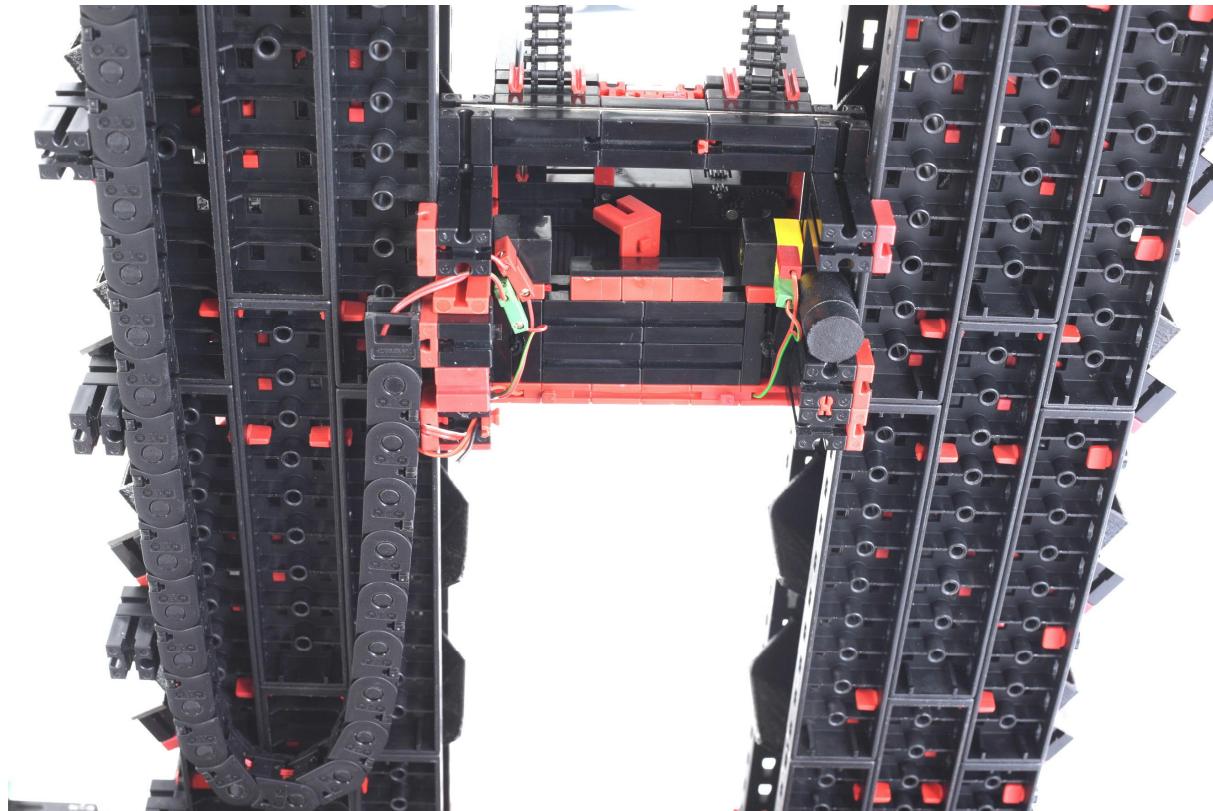


Abb. 8: Aufzugswagen mit Querförderer

bereits klassifizierte Teil auf den Transportwagen des Lagermoduls.

Sobald die Verarbeitung der Fotos abgeschlossen ist, werden die einzelnen Messwerte in der Tabelle gemittelt. Es entsteht eine Art „Ranking-Liste“. Bei einem geringen Abstand zwischen Erst- und Zweit-Wahl war sich der Erkennungsalgorithmus nicht sicher; das Teil wird dann nicht einsortiert und in den Ausschuss befördert. Ein

großer Abstand zwischen Erst- und Zweitwahl deutet dagegen auf eine große Sicherheit bei der Entscheidung hin (Abb. 9).

Die Kommunikation mit dem Lager erfolgt über einen Umweg: Die Software des Scanmoduls sendet die Lageradresse an einen Arduino. Dieser legt den Wert in seinem Speicher ab. Der TX-Controller bekommt parallel dazu über einen Optokoppler den Einlagerungs-Auftrag. Er liest über I²C das

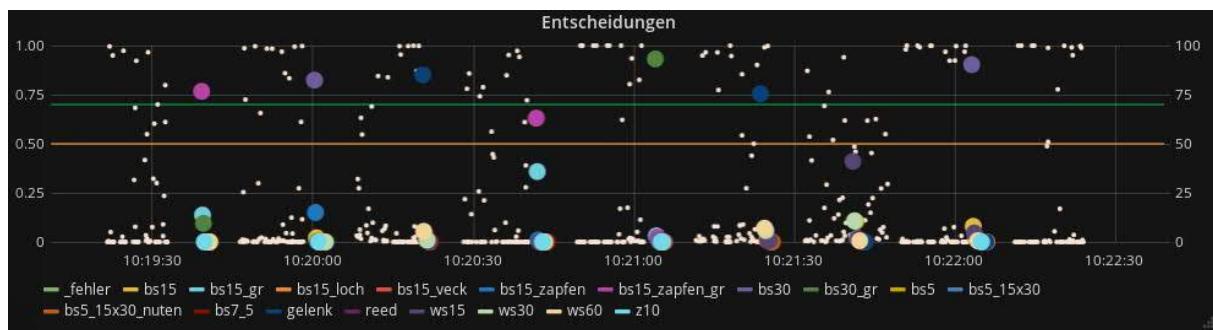


Abb. 9: Diagrammausschnitt der Software „Grafana“ – Erkennungsgenauigkeit des Algorithmus (farbige Punkte) über die Zeit aufgetragen. Je größer der Abstand zwischen dem höchsten farbigen Punkt und dem nächsten darunter, desto sicherer die Entscheidung

Speicherregister des Arduinos aus. Die Laufkatze setzt sich in Bewegung und lässt das Teil in die passende Box fallen. Der ursprüngliche Plan, die Lageradresse über die Optokoppler zu übertragen, ließ sich leider nicht umsetzen: Nach einer guten Stunde Betrieb machte das Lagersystem immer mehr Übertragungsfehler, die wir nicht rekonstruieren konnten.

Am Anfang der Programmierphase der Anlage hatten wir Probleme mit der Synchronisierung der Module untereinander: Das Vereinzler-Modul war schneller fertig als vom Scanmodul erwartet, zwei Teile kollidierten miteinander und verfälschten die Erkennung. Also strukturierten wir die gesamte Software um und erweiterten sie um ein Absicherungs- und Überwachungssystem: Ein Modul durfte so ein Teil an das nächste Modul nur noch weitergeben, wenn dieses explizit eine Freimeldung aussendet. Außerdem messen wir die Dauer einzelner Vorgänge in der Anlage, zum Beispiel die Zeit, bis ein Teil vereinzelt oder fotografiert wurde.

Zusammen mit den Messwerten der künstlichen Intelligenz und einem Vorschaufoto leiteten wir diese Daten an eine Datenbank weiter [4]. Über einen Webbrowser und die Visualisierungssoftware *Grafana* [5] können wir den korrekten Betrieb der Anlage auf einen Blick erfassen. Ein verklemmtes Teil oder eine schlecht fokussierte Kamera erkennt man schnell an ausgeschlagenden Graphen oder unscharfen Fotos (siehe Abb. 9).

Lernprozess der künstlichen Intelligenz

Das Training der künstlichen Intelligenz nahm viel Zeit in Anspruch. Anfangs war die Trefferquote bei den trainierten neuronalen Netzen sehr schlecht; nur ca. 60% der Fotos führen zu einer korrekten Einordnung. Deshalb testeten wir verschiedene andere neuronale Netzwerke [6], die bei standardisierten Tests bessere Ergebnisse

erzielten. Allerdings war bei diesen entweder der benötigte Rechenaufwand überproportional größer als der Genauigkeitsgewinn oder umgekehrt: Der Rechenaufwand war deutlich niedriger, dafür aber die Ergebnisse ungenau, weshalb wir nach einigen Tests wieder zum anfänglichen Testmodell *Inception-v3* [7] zurückkehrten.

Die Genauigkeit der Algorithmen bestimmten wir jeweils mit Testreihen auf der Anlage. Hierbei erfasssten wir nach einem Durchlauf von ca. 120 Einzelteilen die Teileanzahl in den jeweiligen Fächern des Lagers. Falsch oder gar nicht eingesortierte Teile schlüsselten wir nach ihrem Typ auf. So konnten wir schnell erkennen, welche Teile mit anderen Teilesorten verwechselt wurden (Tab. 1).

Anhand dieser Messdaten und weiteren Testreihen fanden wir auch das Optimum zwischen Präzision und Geschwindigkeit: Wenn sich die Genauigkeit bei mehreren Bildaufnahmen nicht bedeutend verbessert, lohnt es sich vom Geschwindigkeitsaspekt her nicht, noch mehr Fotos zu aufzunehmen.

Da ein neuronales Netzwerk direkt aus den Testdaten „lernt“, hilft es enorm, den Datensatz zu vergrößern. Die Webcams erstellen pro Betriebsminute ca. 50 bis 80 Fotos, die in den Testdatensatz sortiert werden müssen. Um diesen Prozess zu beschleunigen entwickelten wir ein zusätzliches, von der Anlage unabhängiges Sortierprogramm: Über eine Website bekommt der Benutzer jeweils die Aufnahmeserie eines Teiles im Scanner gezeigt; mit einem Klick auf das Bauteil-Piktogramm wird es automatisch in den passenden Ordner eingesortiert. Besonders die Teiletypen „Winkelstein 7,5“ und „Baustein 5“ konnte die Anlage nicht unterscheiden: Die Kameraperspektiven konnten die zur Sortierung nötigen Details nicht erfassen. Deshalb ersetzten wir den Winkelstein 7,5 mit dem Zahnrad Z10. Hier zeigt sich die Stärke der Flexibilität der Anlage: Nach

V Fach Inhalt >	bs5	bs5_15x30	bs5_15x30_nuten	bs7_5	bs15	bs15_gr	bs15_loch	bs15_veck	bs15_zapfen	bs15_zapfen_gr	bs30	bs30_gr	gelenk	reed	ws7_5	ws15	ws30	ws60	SUMME	Falsch in Prozent	
Ausschuss	0	4	2	9	10	6	2	8	6	8	0	3	6	1	2	2	4	4	77		
bs5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
bs5_15x30	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0%	0 3	
bs5_15x30_nuten	0	8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	44%	8 10	
bs7_5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0%	0 3	
bs15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
bs15_gr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
bs15_loch	0	0	0	0	0	1	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	18%	2 9	
bs15_veck	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0%	0 1	
bs15_zapfen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0%	0 1	
bs15_zapfen_gr	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	33%	1 2	
bs30	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	5	60%	3 2	
bs30_gr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	5	20%	1 4	
gelenk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0%	0 5	
reed	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ws7_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ws15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ws30	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7	0	0	0	3	0	12	75%	9 3
ws60	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3	7	57%	4 3	
SUMME	0	15	13	12	12	8	11	13	8	11	3	7	18	2	2	2	7	7	151	28	123

Tab. 1: Genauigkeitsanalyse anhand einer definierten Bauteilemenge: Grau-rötliche Felder visualisieren Fehler des Algorithmus, richtig sortierte Teile liegen auf der grauen Diagonalen

einer Stunde hatte die Anlage genügend Fotos vom Neuzugang angefertigt und konnte diese nach einem erneuten Training des neuronalen Netzes erfolgreich einsortieren.

Mit der Zeit optimierten wir auch die Geschwindigkeit der Anlage. Anfangs fiel nur alle 35 bis 40 Sekunden ein Teil in ein Lagerfach. Deshalb setzten wir uns ein Ziel von mindestens drei Teilen, die pro Minute sortiert werden sollten. Eine Aufteilung des Programms in mehrere, nebenläufige Teile verringerte die Wartezeiten der Module aufeinander um insgesamt fünf Sekunden. Mit größeren Antriebsmotoren an den Förderbändern konnten wir unsere geplante Zykluszeit von 20 Sekunden pro Teil sogar übertreffen: Im Durchschnitt fällt alle 12 Sekunden ein Teil in ein Fach des Hochregallagers.

Die hohe Geschwindigkeit der Anlage brachte allerdings auch den ursprünglichen Steuerungscomputer an seine Grenzen. Genügend Rechenleistung brachte ein ausgerichter Server mit insgesamt 24 Rechen-

Threads, eine erhebliche Steigerung gegenüber dem alten Computer mit lediglich vier Threads.

Fazit

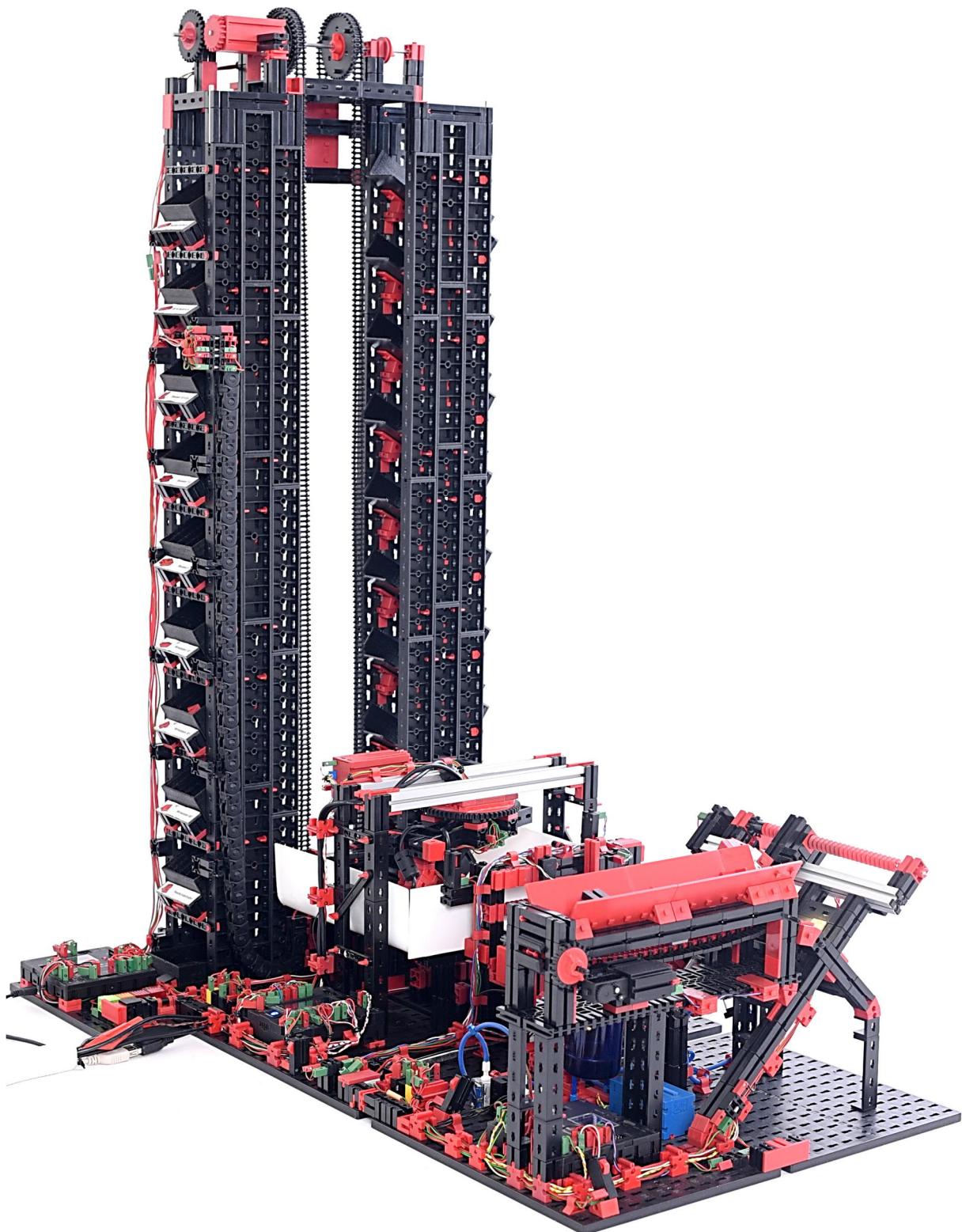
Im aktuellen Lernzustand des neuronalen Netzwerkes erreicht die Anlage eine Sortiergenauigkeit von ungefähr 99,5%, das heißt, nur jedes zweihundertste Teil wird in ein falsches Fach eingesortiert. Deutlich höher ist der Anteil der Teile, die in den Ausschuss gegeben werden: Ungefähr 5% der Teile müssen den Scanprozess nochmals durchlaufen. Leider ist die Geschwindigkeit der Anlage im Vergleich zu aktuellen Sortiersystemen aus der Industrie immer noch sehr niedrig; konventionelle Systeme sortieren oft mehrere Tausend Einzelteile in der Sekunde, im Gegensatz zu unserer Anlage aber oft nur nach Größe oder Farbe und in maximal drei Sorten unterteilt.

Obwohl wir es am Anfang des Projektes im Herbst 2017 nicht schafften, extrem ähnliche Teile verlässlich zu unterscheiden, da diese auf den Kamerabildern zu ähnlich

aussehen, sind wir mit der Leistung der Anlage zufrieden. Trotzdem ist das Projekt keinesfalls perfekt. Mit einer genaueren Positionierung der Teile und einer besseren Kamera könnte man z. B. das genannte Erkennungsproblem lösen. Der große Vorteil der KI-gestützten Bilderkennung ist jedoch, dass neue Teile ohne größeren Aufwand eingelernt werden können. Um ein Teil einzupflegen ist lediglich ein Bild-datensatz von einigen tausend Fotoaufnahmen des Teils nötig, die automatisch beim Durchlaufen der Anlage entstehen.

Quellen

- [1] OpenCV Team: [Open Computer Vision Library](#), abgerufen am 20.12.2018.
- [2] Google Brain Team: [Image Recognition with Python API](#), abgerufen am 20.12.2018.
- [3] Sebastian Otte: [Künstliche neuronale Netze – Das Perzeptron](#). 2009, abgerufen am 20.12.2018.
- [4] InfluxData Inc.: [InfluxDB](#). Open-Source Zeit-Serien-Datenbank, abgerufen am 20.12.2018.
- [5] Grafana Visualisierungs-Tool [auf GitHub](#), abgerufen am 20.12.2018.
- [6] Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun: [Deep Residual Learning for Image Recognition](#). 2015, abgerufen am 20.12.2018.
- [7] Christian Szegedy, Vincent Vanhoucke, Sergey Ioffe, Jonathon Shlens, Zbigniew Wojna: [Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision](#). 2015, abgerufen am 20.12.2018.
- [8] Leon Schnieber, Max-Leo Amberg: [Selbstlernende Sortieranlage für fischertechnik-Bauteile](#) auf youtube, 2019.



KI-gesteuerte Sortieranlage für fischertechnik-Teile