

Editorial

Neue Welten

Mit den Entwicklungen der beiden vergangenen Jahre hat fischertechnik die Tür zu einigen neuen Welten aufgestoßen.

Da ist zunächst der neue Kompressor – ein Meilenstein: Ordentlicher Druck und sauber verbaubar im fischertechnik-Raster. Die zugehörigen Kästen sind ebenfalls gelungen: Auch für alte Hasen sind der Flipper (aus dem Kasten „Robo TX ElectroPneumatic“) und der Traktor mit Greifarm (aus dem Kasten „Pneumatic 3“) echte Schmankerl. Letzterer ist zudem ein wahrer Augenschmaus, der auch äußerlich den Vergleich mit dem [korrespondierenden Lego-Modell](#) nicht scheuen muss.

Dass die Innovationen auch außerhalb des Kreises eingeschwoener Fans gut ankommen, zeigt nicht zuletzt die Tatsache, dass es in diesem Jahr gleich zwei Kästen – „Rolling Action“ und „Pneumatic 3“ – unter die 29 Nominierungen für die Auszeichnung „[Top 10 Spielzeug 2012](#)“ des Bundesverbands des Spielwaren-Einzelhandels geschafft haben – nur wenige Hersteller haben das bisher erreicht. Der Kasten „Pneumatic 3“ wurde außerdem als eines von 50 Spielzeugen für die Auszeichnung „Das goldene Schaukelpferd 2012“ der Zeitschrift Familie&Co nominiert.

Auch die Flexschienen, die im vergangenen Jahr mit dem „Dynamic“-Kasten auf den Markt kamen, waren eine echte Überraschung. Dass es weit mehr interessante Einsatzmöglichkeiten für sie gibt als Kugelbahnen beweist das Flipper-Modell. Und zweifellos werden wir zukünftig in der ft:c oder auf der Convention noch viele weitere Verwendungen kennen lernen, die

Dirk Fox, Stefan Falk

die Grenzen der bisherigen Bauteile sprengen.

Schließlich sind da das Robo Pro- (3.1.3) und das Firmware-Update (1.30) für den TX, die fischertechnik fast schamhaft heimlich als Osterei verbreitete: Am Ostersonntag, dem 08.04.2012, stand beides plötzlich und ohne Vorankündigung online. Seitdem beherrscht der TX das verbreitete I²C-Protokoll – und hat damit Zugriff auf eine große Zahl IC-gesteuerter Aktoren und Sensoren, wie LED-Anzeigen, Kompass-Module, Beschleunigungssensoren, Echtzeituhren oder Drucksensoren. Auch hier lassen sich die Möglichkeiten erst erahnen.

Dabei ist fischertechnik einem entscheidenden Grundsatz treu geblieben: Jede dieser Innovationen gelang mit (maximal) einem neuen Bauteil – das sich zudem nahtlos ins ft-Raster fügt. Dafür verdient das Unternehmen Bewunderung, denn offenbar erzielen mit Spezialteilen gespickte „Einmalmodelle“ kurzfristig höhere Umsätze, wie die Erfolgsgeschichte von Lego zeigt. Aber während Lego-Spezialteile am Modell oder in Kisten verstauben, wird jedes unserer ft-Bauteile in seinem (langen) Leben an hunderten Modellen verbaut werden. Langfristig wird sich das hoffentlich auch für fischertechnik in einer wachsenden Fangemeinde auszahlen.

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

Neue Welten	2
Bau einer ft-Funkuhr	4
Perlentauchen (Teil 1)	11
Besuch bei einem Hochregallager-Hersteller	19
Kaulquappen (Teil 3)	24
ft-Spezialteile made by TST (Teil 2).....	27
Die Bau-Spiel-Bahn auf Märklin-Gleisen	29
I ² C mit TX und Robo Pro – Teil 1: Grundlagen	32

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Convention 2012	29.09.2012	Erbes-Büdesheim
Modellschau Münster	18.11.2012	Handwerkskammer Bildungszentrum (MS)
Sonderverkauf Salzstetten	01.12.2012	fischertechnik GmbH, Salzstetten
Sonderverkauf Dortmund	08.12.2012	Bildungszentrum Hansemann (DO)

Impressum

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

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

Autoren: Sven Engelke (Sven), Stefan Falk (steffalk), Dirk Fox (Dirk Fox), Dirk Ottensmeyer (ftdirk), Marius Seider (Limit), Harald Steinhaus (Harald), Andreas Tacke (TST)

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

Computing

Bau einer ft-Funkuhr

Dirk Fox, Dirk Ottensmeyer

Der TX Controller kann nicht nur Sensoren auswerten, sondern auch andere analoge und digitale Signale. Ein besonders interessantes Signal, das in ganz Europa empfangen und mit einer Investition von ca. 10 Euro direkt über einen der Digitaleingänge eingelesen werden kann, ist das Zeitsignal DCF77 der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt – die „Atomuhrzeit“. Der Beitrag skizziert die Entstehung dieses Zeitsignals und zeigt, wie ihr mit Robo Pro aus dem TX Controller eine fischertechnik-Funkuhr machen könnt.

Am 1. August 1978 trat in Deutschland ein merkwürdiges Gesetz in Kraft: Das „Gesetz über die Zeitbestimmung“ (Zeitgesetz), das das „Gesetz betreffend die Einführung einer einheitlichen Zeitbestimmung“ aus dem Jahr 1893 ablöste. Es erklärte nicht nur die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) zur „gesetzlichen Zeit“ in Deutschland und ermächtigte die Bundesregierung, durch Rechtsverordnung die Sommerzeit einzuführen, sondern verpflichtete die [Physikalisch-Technische Bundesanstalt](#) (PTB) in Braunschweig, diese Zeit zu definieren, darzustellen und zu verbreiten. Am 12. Juli 2008 ging das Zeitgesetz in einem neuen „Einheiten und Zeitgesetz“ auf [1]. Was hatte es damit auf sich?

Die gesetzliche Zeit

Dem Astronom und Mitbegründer der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (Vorgängerinstitution der PTB) [Wilhelm Julius Foerster](#) (1832-1921) verdanken wir die gesetzliche Zeit in Deutschland. Er setzte sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts intensiv für die Einführung eines einheitlichen Zeitsignals ein. Am 20.07.1869 wurde auf seine Initiative in Berlin die erste „Normaluhr“ aufgestellt, die ihren Sekundentakt von der Königlichen Stern-

warte zu Berlin erhielt. Damals wurde die genaue Zeit astronomisch bestimmt. Die Synchronisation erfolgte über eine direkte Stromverbindung zur Sternwarte, die alle zwei Sekunden einen elektrischen Impuls erhielt, über den die Pendelschwingung der Berliner Normaluhren reguliert wurde.

1895 wurde diese Aufgabe einer privaten Gesellschaft, der Normal-Zeit GmbH (später T&N, dann Telenorma) übertragen, die die Normaluhren-Synchronisation in ganz Deutschland über Telefonverbindungen realisierte [2], nachdem 1893 mit dem bereits erwähnten „Gesetz betreffend die Einführung einer einheitlichen Zeitbestimmung“ die mittlere Sonnenzeit am 15. Längengrad Ost als einheitliche deutsche Zeit festgelegt worden war [3].

Dank der Arbeiten von [Guglielmo Marconi](#) (1874-1937), dem am 27.03.1899 die erste Funkverbindung über den Ärmelkanal gelang, entstanden Anfang des 20. Jahrhunderts erste drahtlose Zeitdienste, zunächst in den USA, dann in Europa. Funk-Zeitdienste ermöglichten eine höchst präzise Bestimmung der geographischen Länge – nicht zuletzt für die Seeschifffahrt ein bedeutender Fortschritt.

Die Nutzung als Funkmast für ein Zeitsignal rettete 1904 übrigens den Eiffelturm

– denn ursprünglich sollte das zur Weltausstellung 1889 errichtete, ungeliebte Bauwerk 1909 abgerissen werden. Es wurde sogar beschlossen, dass es am 01.07.1913 als „Leuchtturm der Zeit“ die Ausstrahlung einer koordinierten Weltzeit übernehmen sollte; der Ausbruch des Ersten Weltkriegs verhinderte allerdings die Umsetzung [2].

Heute wird die gesetzliche Zeit nicht mehr astronomisch, sondern atomphysikalisch bestimmt: Seit 1991 liefert die Cäsium-Uhr CS2, eine von vier so genannten „Atomuhren“, die in der PTB betrieben werden, die Referenzzeit für Deutschland. Sie weicht eine Stunde von der 1972 eingeführten „koordinierten Weltzeit“ (*Coordinated Universal Time*, UTC) ab, während der Mitteleuropäischen Sommerzeit zwei Stunden (MESZ = UTC+2).

Die Standardabweichung (also die Genauigkeit der Zeitangabe) liegt für die CS2 bei $1,2 \cdot 10^{-14}$, also einer Sekunde alle 2,64 Mio. Jahre [3].

Das Zeitsignal wird von der PTB auf drei Wegen verbreitet [4]:

- über das öffentliche Telefonnetz: Europäischer Telefonzeitcode aus 80 ASCII-Zeichen, abrufbar unter der Nummer +49 (0)531 512038 mit einem archaischen 1200 Baud-Modem (voll duplex, keine Parität, 8 Daten- und ein Stopbit, kein Autolinefeed);
- etwas zeitgemäßer über das Internet mit dem *Network Time Protocol* (NTP) von drei Servern (ptbtime1, ptbtime2 und ptbtime3.ptb.de);
- und seit dem 01.01.1959 über eine Langwellen-Sendeanlage in Mainflingen (25 km südöstlich von Frankfurt) mit einer Trägerfrequenz von 77,5 kHz.

Die Verbreitung des Zeitsignals über eine Langwelle hat den Vorteil, dass ihr Empfang durch Vegetation oder Bebauung nicht signifikant beeinträchtigt wird. Die Reichweite des 50 kW-Senders mit dem

Rufzeichen DCF77 liegt bei etwa 2.000 km; er versorgt also ganz Europa mit dem Zeitsignal (Abb. 1). Bis etwa 600 km Entfernung (also innerhalb von Deutschland) ist das Signal sehr stabil; zwischen 600 und 1.100 km können sich Boden- und Raumwelle überlagern und Schwankungen in der Amplitude des Signals verursachen.



Abb. 1: Reichweite des DCF77¹-Signals
(Quelle: PTB/Wikipedia)

Empfangsstörungen können insbesondere durch Fernsehgeräte oder Pulsstörungen von Schaltnetzteilen, aber auch durch Gewitter verursacht werden [3]. Senderseitige Störungen können bei starken Auslenkungen der Antenne (Sturm oder Eisregen) auftreten. Seit dem 01.09.1970 wird das Zeitsignal im Dauerbetrieb ausgestrahlt. Die Verfügbarkeit des Funk-Zeitsignals lag in den vergangenen Jahren bei über 99,85 %; der Betreiber Media Broadcast garantiert vertraglich eine Verfügbarkeit von jährlich 99,7 %. Beim Umschalten auf den Ersatzsender kann es allerdings zu Ausfällen von mehreren Minuten Dauer kommen [3].

¹ D: Deutschland, C: Langwellensender, F: Lage bei Frankfurt, 77: Trägerfrequenz

Bei einem korrekten Datagramm müssen außerdem Bit 0 = 0 und Bit 20 = 1 sein; Bit 17 und 18 dürfen nicht denselben Wert haben. Nicht korrekte Datagramme dürfen nicht zum Stellen einer Funkuhr verwendet werden und müssen daher erkannt und verworfen werden.

DCF77-Empfänger

Waren in den 80er Jahren DCF77-Empfänger zur Uhrensynchronisation noch teuer und daher selten, sind heute viele Wanduhren bereits mit Empfänger und Decoder ausgestattet. Seit einigen Jahren gibt es sie auch als Bausatz – genau das, was wir für unsere fischertechnik-Funkuhr benötigen. Im Internet finden sich zahlreiche Anleitungen, darunter eine von Wolfgang Back (einem der beiden Macher hinter dem WDR Computerclub) aus dem Jahr 2003 [6] und eine Beschreibung eines Unterrichtsprojekts aus dem Jahr 2008 mit der auch von uns verwendeten Empfängerplatine [7].

Die Hardware

Im Elektronik-Versandhandel sind zahlreiche einfache DCF-Empfängerplatinen mit Ferritantenne zum Preis von 5-10 € erhältlich (Abb. 4). Wir empfehlen das Modul von Conrad Electronic [8], das eine Betriebsspannung zwischen 2,5 und 15V benötigt – es lässt sich daher perfekt am 9V-Ausgang des TX Controllers betreiben. Zudem ist es solide konstruiert, hat kräftige Ausgangstransistoren (BC547) mit offenem Kollektor und kommt mit 3 mA aus.³

Das DCF77-Modul hat vier Anschlüsse, von denen zwei mit der Stromversorgung

³ Zwar gibt es preisgünstigere DCF-Module z. B. bei Reichelt und Pollin, die allerdings nicht an 9V arbeiten und wesentlich „empfindlicher“ sind als das Conrad-Modul. Eins der Module braucht einen Treibertransistor am Ausgang, auch wird eine Flanke an einem Eingang zum Start des Empfangs benötigt.

zu verbinden sind (1: GND, 2: +9V). Die beiden anderen sind Ausgänge, an denen das demodulierte DCF-Signal (3: normal, 4: invertiert) anliegt.

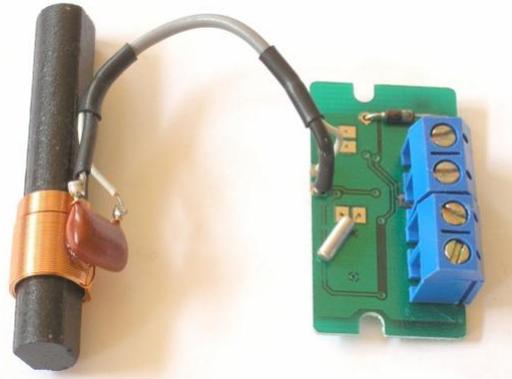


Abb. 4: DCF-Empfängerplatine mit Ferritantenne (Quelle: Wikimedia)

Zum Anschluss an den TX benötigen wir noch einen 4,7 k Ω -Widerstand (Conrad-Best.-Nr. 403334) und einen 100 nF-Kondensator (Conrad-Best.-Nr. 500812). Mit dem Widerstand verbinden wir die Anschlussklemmen 2 und 4, der Kondensator wird an den Klemmen 1 und 2 befestigt (siehe das Schaltbild in Abb. 5).

Damit das Bit-Signal eine positive Flanke liefert, verbinden wir den Ausgang 4 mit einem der Eingänge des TX, den wir auf 5 k Ω digital (z. B. als „Taster“) konfigurieren. Ist der Empfänger korrekt angeschlossen, sollte der Interface-Test jetzt an dem von uns gewählten Eingang im Sekundenrhythmus eine anliegende „1“ anzeigen.

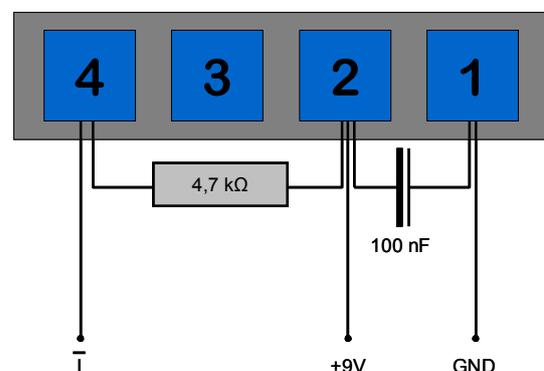


Abb. 5: Schaltbild

Allen, die die Ästhetik von Platine und Ferritstab nicht überzeugt oder die den Empfänger wackelfrei in einem Modell verbauen möchten, sei das Batteriefach (32263) mit Deckel (32958) empfohlen – ggf. dem transparenten (32264).

Bei der Aufstellung des Empfängers müsst ihr darauf achten, dass ihr die Platine nicht zu dicht an einem PC, einem eingeschalteten Handy (mind. 50 cm Abstand) oder dem TX (mind. 20 cm Abstand) platziert, da sonst Störstrahlung den Empfang behindern kann. Die drei Anschlusskabel für Stromzufuhr und Datenausgang solltet ihr also lang genug wählen (mind. 25 cm). Die Ferritantenne sollte horizontal (quer) Richtung Frankfurt/Mainflingen ausgerichtet und so aufgestellt werden, dass möglichst keine Hindernisse dazwischen liegen (z. B. auf einer Fensterbank).

Die Software

Die Decodierung des DCF77-Signals haben wir komplett in Robo Pro implementiert.⁴ Das geht dank der Möglichkeit, parallele Prozesse ablaufen zu lassen, sehr elegant. So besteht das Programm aus zwei Hauptprozessen:

- einer Uhr, die am Montag, dem 01.01.1990 um 00:00:00 Uhr startet und bei jeder ansteigenden Flanke des Input-Signals die Zeit um eine Sekunde weiterzählt, und
- einem DCF-Decoder, der direkt nach dem Einschalten und immer zu Beginn der 59. Minute gestartet wird und nach Dekodierung eines DCF-Datagramms die Zeit- und Datumsanzeige der Uhr aktualisiert.

Der DCF-Decoder synchronisiert sich zunächst auf den Beginn des nächsten Datagramms. Dazu wartet das Unterprogramm

„Sync“ auf den nächsten Flankenwechsel (erst ansteigend, dann fallend) und misst anschließend, wie lange kein Signal am Eingang anliegt. Bleibt der Eingang länger als eine Sekunde auf ‚Low‘ ist die 59. Sekunde des Datagramms erreicht – mit der nächsten ansteigenden Flanke beginnt das nächste Datagramm.

Das Unterprogramm „GetTime“ wertet den ersten Teil des Datagramms, die Zeitangaben (Minute, Stunde) aus. Er beginnt immer mit einer „0“, gefolgt von 16 Bits, die übersprungen werden können. Bit 17 gibt die Zeitzone an („0“ = MESZ, „1“ = MEZ); das nachfolgende Bit wird für die Prüfung der Intaktheit ausgewertet. Bit 20 zeigt den Beginn der Zeitangabe an und hat immer den Wert „1“.

Die folgenden sieben Bits bilden – beginnend mit dem jeweils niederwertigen Bit – die Einer- und die Zehner-Stelle der Variable „Minuten“ (BCD-kodiert). Sie werden über Shift-Operatoren an die richtige Stelle „geschoben“. Es folgt ein Paritätsbit, das mit den sieben vorausgegangenen Bits XOR-verknüpft wird. Da es die Zahl der Einsen auf eine gerade Anzahl ergänzt, muss das Ergebnis der Wert „0“ sein.

Mit den nächsten sechs Bit wird verfahren wie oben: Sie bilden die Einer- und die Zehner-Stelle der Variable „Stunden“ (BCD-kodiert), gefolgt von einem weiteren Paritätsbit. Die XOR-Verknüpfung der Stunden-Bits mit dem Paritätsbit muss wieder den Wert „0“ ergeben. Die invertierten Ergebnisse der Paritätsprüfungen werden mit dem Ergebnis der Prüfung der Intaktheit AND-verknüpft; das Ergebnis wird als „OK“-Wert zurückgeliefert. Ist eine Parität fehlerhaft oder war eine Intaktheitsprüfung nicht erfolgreich, liefert „GetTime“ den Wert „0“.

Anschließend werden analog vom Unterprogramm „GetDate“ die Datumsangaben (Tag, Wochentag, Monat, Jahr) in den Bits

⁴ Unsere Robo Pro-Programme können im Download-Bereich der ft:c (RoboPro) heruntergeladen werden: [Variante 1](#) und [Variante 2](#).

36-57 des Datagramms ausgewertet; der Paritätstest erfolgt hier über alle 22 Datenbits und das Paritätsbit in Bit 58. Das Ergebnis wird invertiert als „OK“-Wert zurückgegeben.

Anschließend sind Minuten-, Stunden- und Datumsangaben noch aus dem BCD-Format in eine Dezimalzahl zu konvertieren. Jeweils vier BCD-Bits bilden dabei den Wert einer Dezimalstelle. Besonders schnell gelingt die Konvertierung mit Bit-Operationen: Die Zehnerstelle erhält man, indem man den Variablenwert zunächst um vier Bits nach rechts shiftet und die so erhaltenen Bits 5-8 mit 10 multipliziert; die Einerstelle erhält man aus den unteren vier Bits – dazu wird die Variable mit dem binären Wert 1111 (15) bitweise AND-verknüpft (Unterprogramm „BCD2DEC“, siehe Abb. 6).

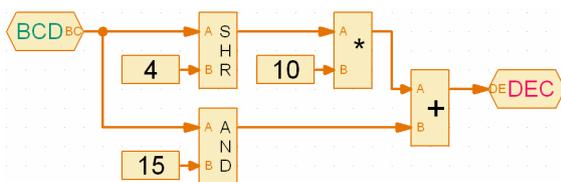


Abb. 6: Wandlung einer 8-Bit-BCD-Zahl in einen zweistelligen Dezimalwert

Schließlich wird noch die Plausibilität der Uhrzeit und der Datumsangabe überprüft: nur, wenn die Angaben im jeweiligen Wertebereich liegen [9], darf das Datagramm zum Stellen der Uhr genutzt werden, anderenfalls ist es zu verwerfen. Das übernehmen die Unterprogramme „TimePlausibilityCheck“ (Abb. 7) und „DatePlausibilityCheck“.

Derweil schaltet die parallel laufende Uhr sekundlich die Uhrzeit (inklusive Minuten und Stunden) fort. Zu Beginn des nächsten Datagramms werden das aktuelle Datum und die Uhrzeit an die Anzeigeeinheit, in unserem Programm das TX-Display, übermittelt. Alternativ kann beispielsweise auch ein mehrzeiliges I²C-LCD-Display für die Ausgabe verwendet werden.

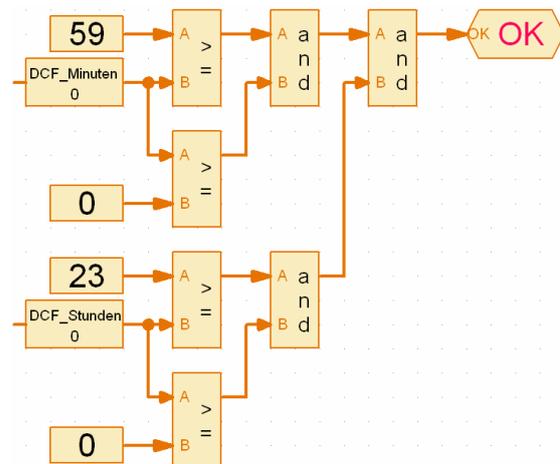


Abb. 7: Prüfung der Plausibilität der empfangenen Zeitangabe

Das „Nachstellen“ unserer ft-Funkuhr erfolgt in unserem Beispielprogramm alle 60 Minuten jeweils zur halben Stunde. Eine mögliche Ergänzung wäre ein „Knopf“, der es erlaubt, die Synchronisation der Uhr zu jedem beliebigen Zeitpunkt zu starten.

Fehlerhafte, also entweder inkorrekte oder unplausible Datagramme, werden verworfen, aber gezählt. Diesen Wert könnte man sich – zum Beispiel zur Messung der Empfangsqualität – auch anzeigen lassen.

Weitere Funktionen

Eine so exakte Uhr kann man nun um allerhand praktische Funktionen ergänzen. Sehr einfach ist die Programmierung eines Kurzzeitweckers für das perfekte Frühstücksei (mit Summer 36119) oder einer Stoppuhr zur automatischen Zeitmessung (mit Fototransistor 36134 oder Reed-Kontakt 36120).

Über die I²C-Schnittstelle könnte man auch eine Echtzeituhr (*Real Time Clock*) initialisieren – dabei könnte man sich sogar die Umrechnung vom BCD ins Dezimalformat sparen. Oder man stellt eine mechanische Uhr nach der gesetzlichen Zeit.

Wir sind gespannt, was Euch noch alles einfällt – und freuen uns auf Fotos Eurer Modellideen mit der ft-Funkuhr im Bilderpool der ft:c.

Quellen

- [1] Wikipedia, [Gesetz über die Zeitbestimmung](#).
- [2] Graf, Johannes: *Wilhelm Foerster, Vater der Zeitverteilung im Deutschen Kaiserreich*. In: PTB-Mitteilungen, 119. Jahrgang, [Heft 3/2009](#), S. 209-215.
- [3] Andreas Bauch, Peter Hetzel und Dirk Piester: *Zeit- und Frequenzverbreitung mit DCF77: 1959 – 2009 und darüber hinaus*. In: PTB-Mitteilungen, 119. Jahrgang, [Heft 3/2009](#), S. 217-240; Vorfassung erschienen in PTB-Mitteilungen, 114. Jahrgang, [Heft 4/2004](#), S. 345-368.
- [4] Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), [Fachbereich 4.4](#) „Zeit und Frequenz“.
- [5] Wikipedia: [DCF77](#).
- [6] Back, Wolfgang: [DCF77 – Unser Zeitnormalsignal](#). 2003
- [7] Elektronikschule Tettang: [Unterrichtsprojekt: DCF77-Funkuhr](#). 2008
- [8] Conrad Electronic, [C-Control DCF-Empfängerplatine](#), Best.-Nr. 641138-62.
- [9] Ottensmeyer, Dirk: [DCF77-Decoder als Bascom-Library](#), RoboterNetz, 12.12.2006.

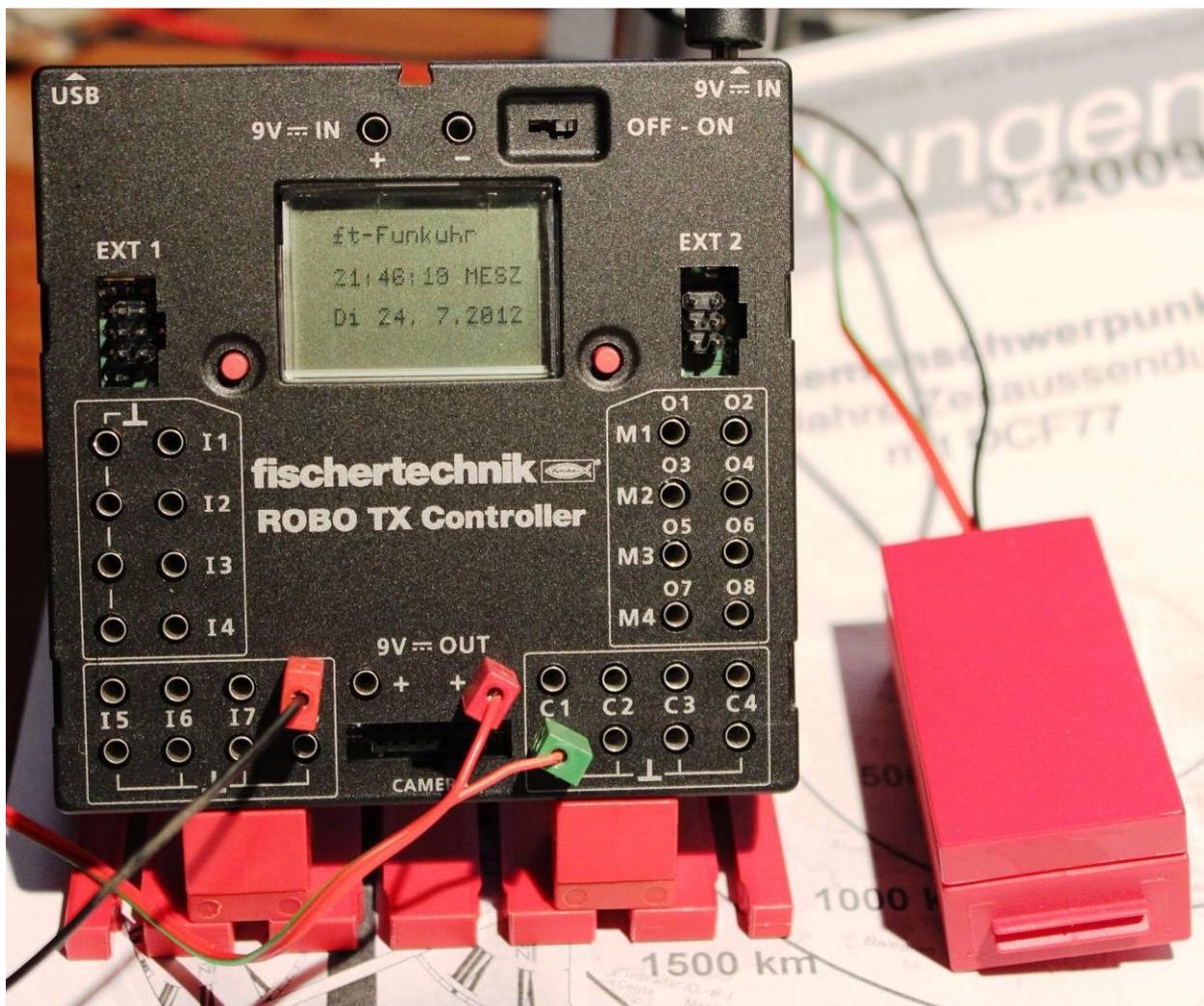


Abb. 8: ft-Funkuhr mit Empfängermodul

fischertechnik-Basiswissen

Perlentauchen (Teil 1)

Stefan Falk

Es kamen schon mehrfach Anfragen an die ft:pedia, wir mögen doch mal einige der heute nicht mehr hergestellten fischertechnik-Teile und natürlich ihre Einsatzzwecke vorstellen. Also bitteschön: Mit diesem Artikel eröffnen wir eine kleine Serie, die ältere Teile von Mechanik bis Elektronik beleuchtet – immerhin sind sie bei Bedarf ja einzeln oder gebraucht zu haben.

In einer kleinen Artikelserie zeigen wir also Bauteile, die vielleicht nicht (mehr) weit bekannt sind. Abgesehen vom historischen Interesse gibt es darunter durchaus einige heute leider unersetzte Perlen. Man kann aber schön erkennen, wie sich das fischertechnik-Bauteilesystem über die Jahrzehnte wunderbar weiter entwickelt hat. Wenngleich man in den Anfangszeiten von fischertechnik mit weniger verschiedenen Teilen auskam (bzw. auskommen musste), sind die heutigen Modelle durch den technischen Fortschritt doch oftmals deutlich eleganter und wiegen vor allem weniger.

Winkelsteine 30°

Wir beginnen locker mit den ersten 30°-Winkelsteinen. Da gab es den kaum noch bekannten, aber auch nicht besonders wichtigen [31012 Winkelstein 30° rechtwinklig](#).

Wie in Abb. 1 konnte man damit schräge, aber recht massive Verstrebungen herstellen – Statikstreben wurden „erst“ 1970 eingeführt. Die „Strebe“ hatte eben bis zum Ansatzpunkt eine nur gerade Optik, anders als wenn man sie mit dem heute noch üblichen [31011 Winkelstein 30° gleichschenkelig](#) baute.

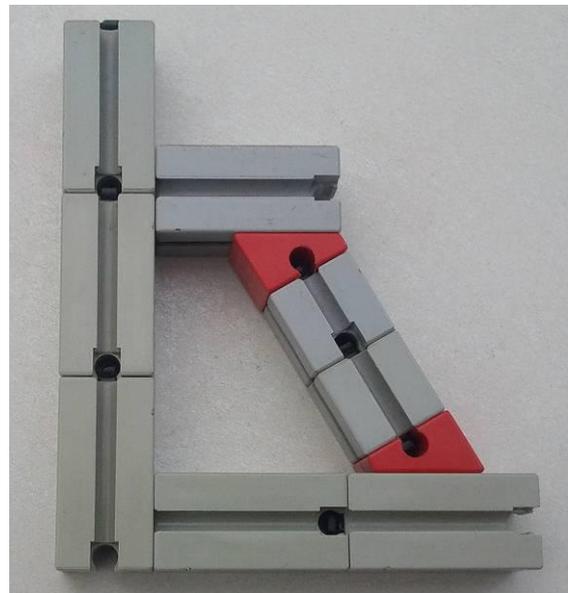


Abb. 1: Winkelstein 30° rechtwinklig

Ein anderer Einsatzzweck des rechtwinkligen Winkelsteines war eine Klinkensperre. Eine ähnliche Mechanik wie in Abb. 2 und 3 wurde im Warenautomat-Modell der Rubrik „Aktuelles zum Nachbauen“ des [Clubheftes](#) 1971-3 verwendet: Man konnte die Schublade mit der Ware nicht herausziehen, bis die Sperre nach Einwurf einer Geldmünze elektromagnetisch angehoben wurde.

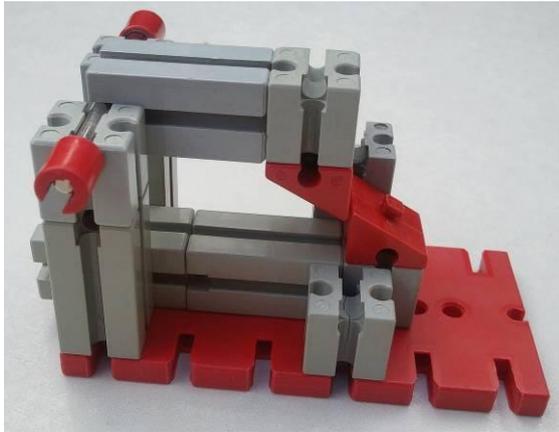


Abb. 2: Sperre mit 31012

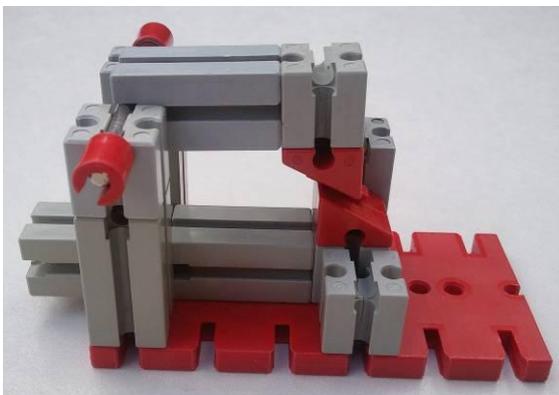


Abb. 3: Angehobene Sperre

Ansonsten wird der Winkelstein 30° rechtwinklig wohl nicht weiter „vermisst“ – seine Funktion kann man leicht auch anders erreichen.

Eine interessante Veränderung hat aber der [31011 Winkelstein 30° gleichschenkelig](#) erfahren. Die früheren Versionen waren nämlich etwas kleiner als die heutigen. Allerdings hatten beide Formgebungen gute, wohldurchdachte Gründe. Die Ur-Version dieses Winkelsteins passte nämlich für bestimmte Arten von schrägen Verstärkungen zumindest in einer Richtung genau ins 15-mm-Raster von fischertechnik:

Wie man sieht, kann man zusammen mit einem Baustein 30 und einem Winkelstein 60° gleichseitig genau 30 mm Höhe überbrücken. Senkrecht dazu passt die Sache, wie man sieht, allerdings nicht genau ins Raster – aber dafür gibt's ja die Nuten, in

denen man Teile genau genug positionieren kann.



Abb. 4: Die Ur-Version des Winkelstein 30° gleichschenkelig

Die jüngere und heute noch aktuelle Version des Winkelstein 30° gleichschenkelig ist größer geworden, und zwar so, dass drei davon genau 7,5 mm überbrücken, ein Halbkreis aus 6 also genau eine Bausteinbreite überbrückt, was auch nützlich sein kann:

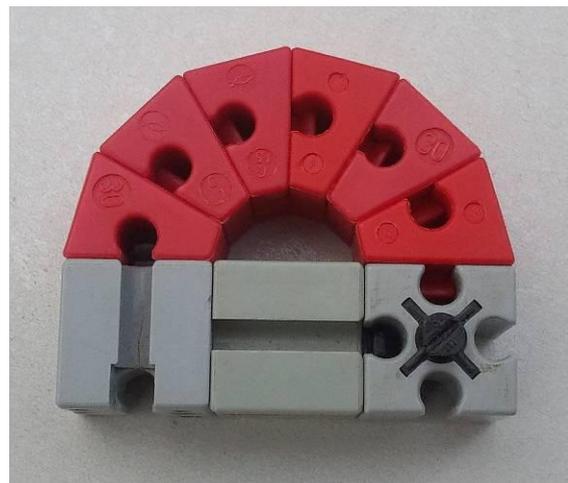


Abb. 5: Die neuere Fassung des Winkelsteins 30° gleichschenkelig

Außerdem sind zwei davon entgegengesetzt aneinander gebaut genau 15 mm hoch:

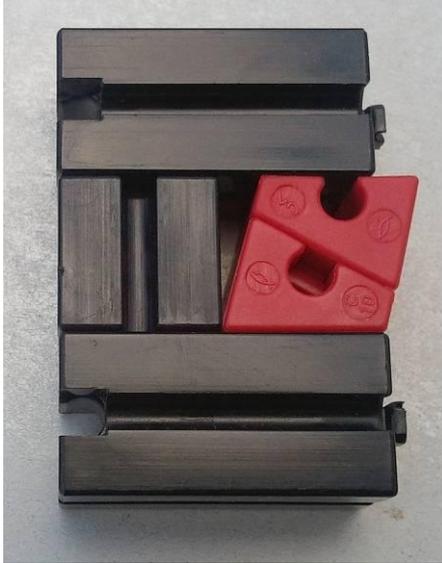


Abb. 6: Zwei der neueren Winkelsteine 30° gleichschenkelig

Wenn wir schon dabei sind, wollen wir den gar nicht alten, aber vielleicht nicht jedermann bekannten [31918 Winkelstein 60° mit drei Nuten](#) nicht unerwähnt lassen:

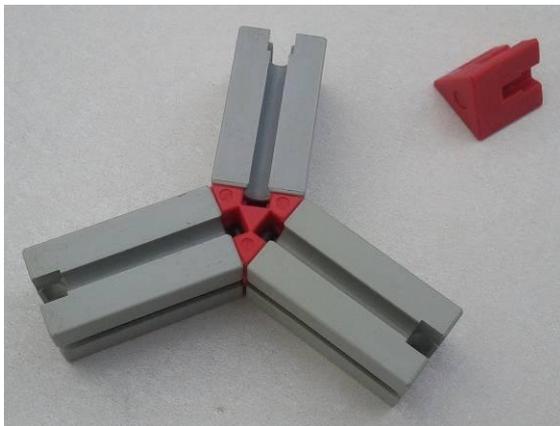


Abb. 7: Winkelstein 60° mit drei Nuten

Rote runde Zapfen

Den Baustein 15 mit zwei Zapfen gibt es auch als Artikelnummer [31007](#) mit zwei roten, runden Zapfen. Ebenso gibt es ihn als [31059](#) bzw. in schwarz [103448](#) mit nur einem runden Zapfen (und Nut auf der gegenüberliegenden Seite).

Abgesehen von nicht ganz leichtgängigen Drehgelenken fand er gerne Einsatz, wenn es darum ging, Lichtschranken mit Linsenlampen zu betreiben. Linsenlampen hatten den Glaskolben des Lämpchens so geformt, dass eine Linse herauskam. Damit konnte mehr Licht weite Strecken bis zu einer Fotozelle überbrücken. So konnte man Lichtschranken bauen, die durchaus einen Meter überspannten.

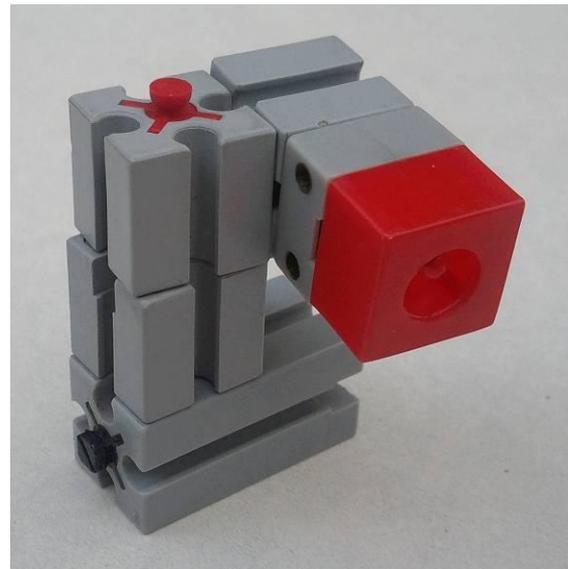


Abb. 8: Bausteine 15 mit rotem Zapfen zur Justierung einer Linsenlampe

Allerdings saßen die Linse und das Lämpchen in der Fassung fertigungsbedingt nicht sauber zentriert. Deshalb hat man die Linsenlampe üblicherweise mittels zweier Bausteine 15 mit rundem Zapfen so justiert, dass der Haupt-Lichtkegel genau die gewünschte Richtung nahm.

Reifen

Ein kurzer Blick auf die frühen Reifen 30, 45 und den etwas später verfügbaren Reifen 60 zeigt Abb. 9:



Abb. 9: Reifen 30, 45 und 60

Ein bisschen mehr als vielleicht auf den ersten Blick sichtbar steckt allerdings schon darin:

- Die erste Fassung des Reifens 30 hatte drei Spurrillen (oben Mitte in Abb. 9), eine spätere nur noch zwei.
- Ohne die Gummis passten die dehnbaren [Antriebsfedern](#) in die Rille, die wir im nächsten Abschnitt noch ausführlicher besprechen. Mit der jüngeren Fassung des Reifens 30 konnte man sie notfalls auch kombinieren.
- Paare von Reifen 45 oder 60 kann man etwas zueinander versetzt durchaus als Zahnradgetriebe einsetzen. Die kleinen Stege an den Flanken dienen dabei als Zähne.
- Im 45°-Winkel verbaut gelingen damit auch Winkelgetriebe.

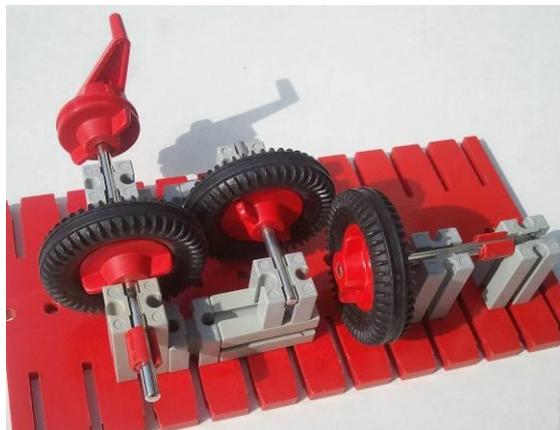


Abb. 10: Reifen 45 als Zahnrad verwendet

- Für die Reifen 45 und 60 standen Gummiringe zur Verfügung, die genau

in die umlaufende Rille passten und so auf glatten Böden mehr Griff boten.

- Auch mit dem [35062 Rastkegelzahnrad](#) lassen sich die Zahnstege dieser Reifen kombinieren, wie man bei Harald sieht: http://www.ftcommunity.de/details.php?image_id=23444

Antriebsfeder

Ein enorm flexibel verwendbares Bauteil ist die schon erwähnte fischertechnik [Antriebsfeder](#). Es handelt sich um eine lange, dünne Spiralfeder aus Metall. Ein Ende ist verjüngt, sodass man es ins andere stecken und mit etwas Hineindreihen zuverlässig verbinden kann:

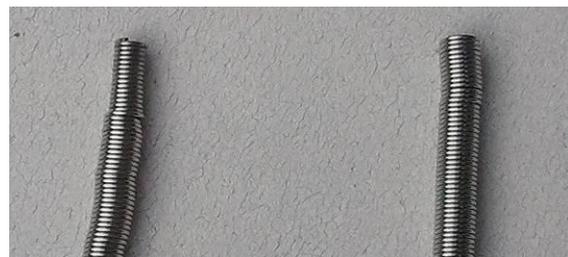


Abb. 11: Die Enden der ft-Antriebsfeder

Auf dieselbe Art und Weise kann man auch beliebig viele Antriebsfedern miteinander verbinden und so verlängern. Ihr Name kommt natürlich nicht von ungefähr, war sie doch nicht weniger als der Vorläufer der 1970 zusammen mit der fischertechnik Statik eingeführten und heute noch beliebten fischertechnik-Kette:

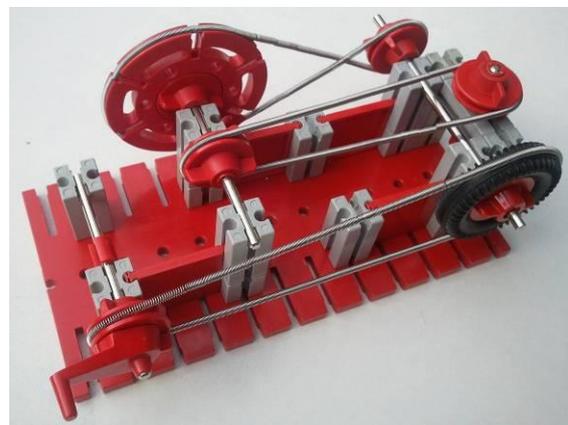


Abb. 12: Einsatzmöglichkeiten der Antriebsfeder

Wie man sieht, macht die Antriebsfeder alles mit, und so können auch schwierige Übertragungswege und -winkel gemeistert werden.

Ebenso kann sie als Federelement, etwa in einem [kleinen Auto](#), verwendet werden:

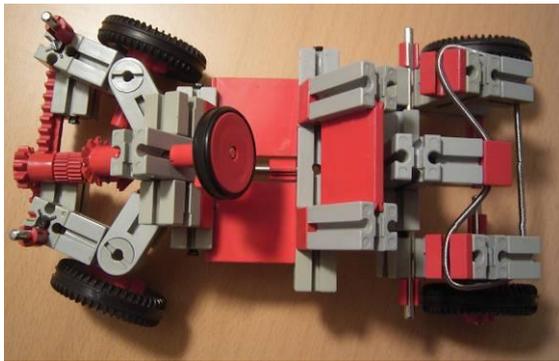


Abb. 13: Einsatz in einer Fahrzeugfederung

Achsverbindungen

Um Achsen zu verlängern, gibt bzw. gab es zwei Bauteile:



Abb. 14: Achsverbindungen und Distanzstücke

Für große Drehmomente ist die [31036 Achskupplung 40](#) zu gebrauchen (ganz links in Abb. 11), bei kleineren genügt die [31024 Klemmkupplung 20](#) (direkt daneben). Obwohl sie ähnlich aussehen wie die rechts gezeigten Distanzstücke, stecken in den linken beiden Bauteilen von Abb. 11 je *zwei* Achsen, während rechts drei Achsen durch die Abstandshalter *hindurch* gehen.

Verbinden von Achsen mit Bausteinen

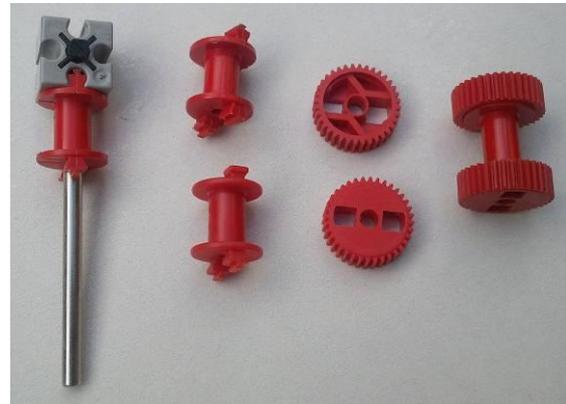


Abb. 15: Seiltrommeln

Um eine Drehbewegung auf Bausteine zu übertragen, gibt es nicht nur die [31019 Drehscheibe 60](#), sondern auch die ersten Seiltrommeln von fischertechnik konnten dafür verwendet werden.

Man beachte, dass es von der [31016 Seiltrommel 15](#) zwei Varianten gibt: Die jüngere Version (im Bild die untere) hat auf einer Seite flachere Zapfen, die auch in die Nuten von Bausteinen 5 passen. Die frühere Fassung (oben im Bild) konnte das noch nicht – da gab es aber auch noch keine Bausteine 5 und 7,5.

Der [31020 Klemmring Z36](#) (rechts im Bild) passt nicht nur genau da drauf, man kann ihn durch Verdrehen auch sicher eingerastet fixieren – er fällt nicht ab und klemmt zudem die Seiltrommel noch etwas fester auf die Achse.

In neuerer Zeit kam die [38844 Achsverschraubung](#) hinzu (Abb. 16).



Abb. 16: Achsverschraubung

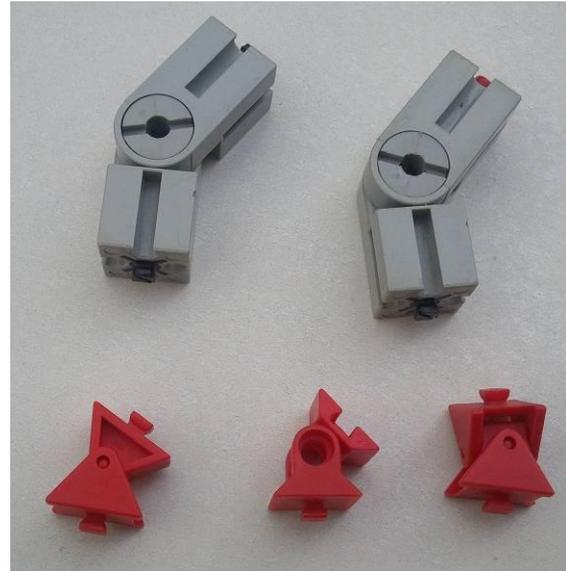


Abb. 18: Gelenksteine

Kardangelenke



Abb. 17: Kardangelenke

Abb. 14 zeigt, von links nach rechts, die Urversion des 31044 Kardangelenks, seine etwas moderner geformte nächste Fassung, und zum Vergleich das heutige Rast-Kardangelenke.

Gelenksteine

Gelenkbausteine waren in den Anfangszeiten von fischertechnik eine echte Rarität: Der damals größte Kasten überhaupt, der [fischertechnik 400](#), enthielt gerade mal zwei Stück davon:

Es gibt ihn (oben rechts im Bild) auch mit einem roten runden Zapfen. Dieser Gelenkstein ist sehr robust, aber eben auch etwas klobig. Und hier haben wir ein Paradebeispiel dafür, dass sich das fischertechnik-System nicht nur immer treu bleibt – auch die ersten Teile von 1968 passen mit den neuesten von heute zusammen – sondern auch immer wieder durch pfiffige Neuentwicklungen verbessert wird. Links unten im Bild sehen wir die erste Version eines nur 15 mm großen Gelenksteins. Das mittlere Bauteil in der Reihe ist das aktuelle Gelenk – trotz der geringen Größe kann man wieder, wie ganz früher, eine Achse mitten hindurch stecken.

Ganz rechts schließlich sehen wir eine tolle Symbiose: Die äußere Gelenkklaue des linken Gelenks aus Abb. 15, kombiniert mit dem Kardanwürfel aus dem Ur-Kardangelenke von 1968 ergibt ein kardantisches Gelenk für Bausteine anstatt Achsen.

Wie perfekt man das einsetzen kann, zeigt zum Beispiel der Greifarm aus dem aktuellen Kasten Profi Pneumatic III (Abb. 19).



Abb. 19: Kardanisch aufgehängter Greifarm

Die Gelenksteine gab es übrigens schon sehr früh auch als [31308 Federgelenkstein](#):

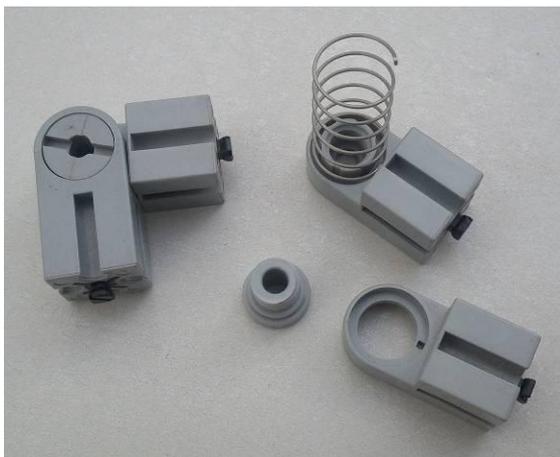


Abb. 20: Federgelenkstein

Im aufschraubbaren Inneren verbirgt sich eine auf Verdrehung beanspruchte Feder. Deren kurz umgeknickte Enden greifen in die winzigen Löcher ein, von denen man in der geöffneten Gelenksteinhälfte rechts

unten im Bild eines erkennen kann. Heraus kommt ein Gelenkbaustein, der immer wieder in eine Richtung klappen möchte. Warum der Federgelenkstein so wichtig war, werden wir noch bei der Besprechung der Elektromechanik-Teile sehen.

Die Winkelachse



Abb. 21: Winkelachse 30

Ein heute exotisch anmutendes, früher aber oft verbautes Teil ist die [31035 Winkelachse 30](#).

Wie man sieht, ist sie an der Knickstelle verjüngt. Sie hat im Wesentlichen zwei Anwendungsbereiche: Zum einen als Sperrklinke, etwa bei handbetriebenen Kranseilen (Abb. 22).

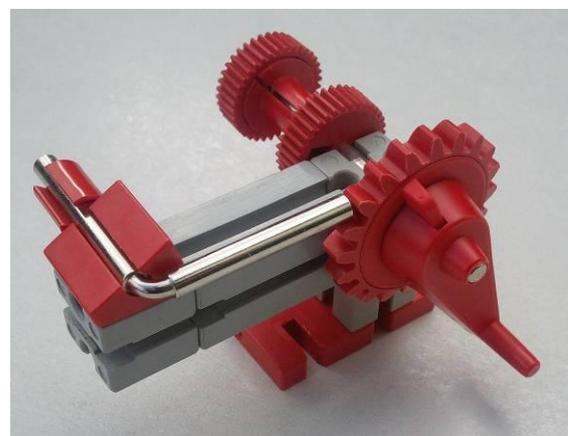


Abb. 22: Winkelachse als Sperrklinke

Man kann das Zahnrad nur in eine Richtung kurbeln, typischerweise, um das auf der Seiltrommel aufgewickelte und in dessen Schlitz fixierte Kranseil anzuheben. So bleibt ein anzuhebendes Gewicht von alleine oben.

Erst wenn man die Klinke etwas anhebt, wird die andere Drehrichtung freigegeben. Dabei kann man auch noch ausnutzen, dass der verjüngte Mittelteil der Winkelachse es erlaubt, sie direkt in Baustein-Nuten einzuschieben: Die Sperrklinke bleibt offen:

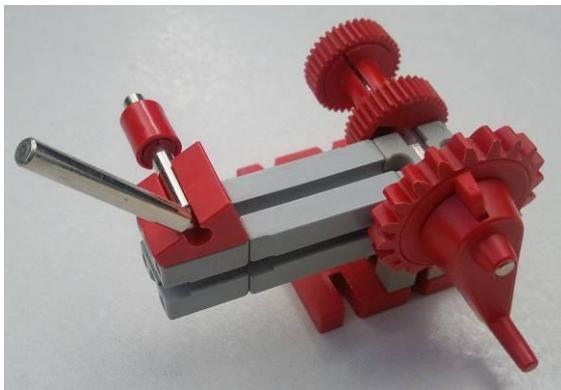


Abb. 23: Bleibend geöffnete Sperre

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit sind Gleitlager (Abb. 24).

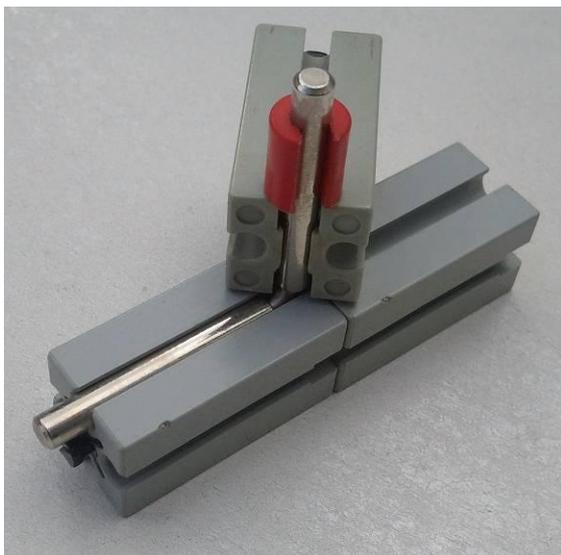


Abb. 24: Winkelachse im Gleitlager

So kann man leicht gleitende Maschinenteile realisieren. Durch die drehbare Aufhängung des einzelnen Bausteins in Abb. 21 kann man dort auch exzentrische Antriebe ansetzen.

Mit vier dieser Winkelachsen kann man sogar ein homokinetisches Gelenk bauen und eine Drehbewegung gleichförmig „um die Ecke“ leiten:

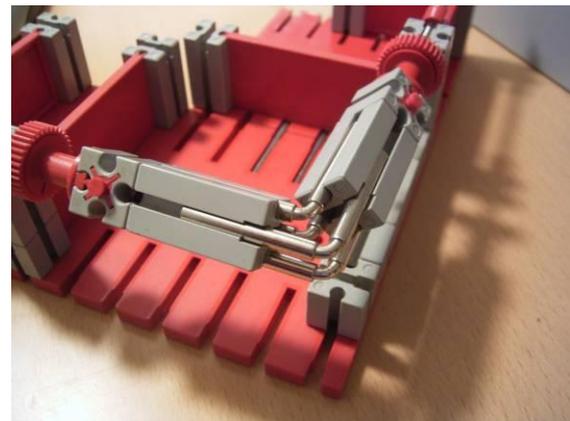


Abb. 25: Homokinetisches Gelenk

Mehr Bilder gibt es auf der [ft Community](#). Ein Video verdeutlicht die Funktionsweise: <http://www.youtube.com/watch?v=tOIFqSwZJEI>.

Wie geht's weiter?

In der nächsten Folge werden wir einige weitere mechanische Bauteile und vor allem die vielen verschiedenen Motoren vorstellen, die im Laufe der Zeit auf den Markt kamen. Spätere Folgen stellen das weite Feld der fischertechnik-Elektromechanik dar und werden sich ausführlich mit sämtlichen Elektronik-Generationen befassen – vom 1969er Lichtelektronik-Stab bis zum heutigen E-Tec-Modul.

Reportage

Besuch bei einem Hochregallager-Hersteller

Marius Seider

Schon viele Modelle von Hochregallagern sind aus fischertechnik gebaut worden. In den großen Vorbildern steckt allerdings viel mehr als nur das einfache Verfahren einer Ein-/Auslagerungs-Mechanik. Dieser Artikel stellt einige der besonderen Anforderungen und Lösungen vor, die in echten Hochregallagern umgesetzt werden.

Auf der Welt existieren immer mehr Waren. Damit diese zu einem günstigen Preis angeboten werden können, dürfen sie nur wenig Lagerfläche und somit Grundfläche beanspruchen. Darum baut man Regale immer höher.

Die so genannten Hochregallager (HRL) sparen nicht nur Kosten, weil sie extrem wenig Grundfläche verbrauchen. Durch die

Möglichkeit, diese auch noch vollständig zu automatisieren, wird der Ein- und Auslagerungsvorgang beschleunigt, so dass die Waren schneller beim Kunden sind.

Auch mit fischertechnik kann man HRLs bauen. Seit dem Kasten „Robo TX Automation Robots“ gibt es einen offiziellen Vorschlag dazu. Doch mich hat interes-



Abb. 1: Ein Hochregallager

siert, wie die Regale in der Realität funktionieren. Darum habe ich die Firma Klinkhammer in Nürnberg besucht.

Ein „richtiges“ Hochregallager

Das Ausstellungs-HRL von Klinkhammer ist im Grunde ein kleines Hochregal. Dennoch haben 1.500 Behälter Platz, die man nochmal unterschiedlich einteilen kann, so dass 2.900 verschiedene Artikel unterkommen. Die Abmessungen der Fachböden im HRL orientieren sich an den Maßen der [Europalette](#) [1]. Darum ist auch das Regal aufgebaut wie ein Quader, denn bei einem Zylinder hätte man ja überall tote Ecken wie Abb. 2 zeigt:

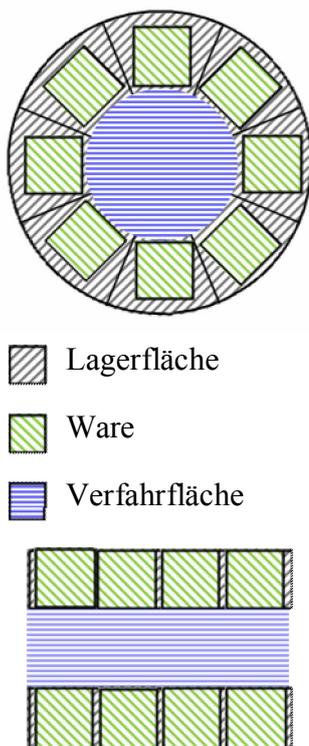


Abb. 2: Vergleich zwischen zylindrischer und rechteckiger Bauform

Paternostersysteme, also eine Art Umlaufregal, haben den Nachteil, dass teilweise sehr viel Zeit vergeht, bis sie das gewünschte Fach an der Zugriffsposition haben.



Abb. 3: Eingelagerte Warenkörbe

Die Geschwindigkeit ist ein sehr wichtiger Aspekt, denn ‚Zeit ist Geld‘. Darum ist der Wagen, der die Behälter ein- und auslagert, im Hochregallager mit 6 m/s (knapp 22 km/h) unterwegs, was für so kleine Strecken sehr schnell ist. Um so hohe Geschwindigkeiten zu erreichen, braucht man eine hohe Beschleunigung.



Abb. 4: Blick in den Lagerbereich

Dabei werden die Beschleunigungskräfte so geregelt, dass der verfahrbare Wagen nicht kippt. Des Weiteren wird auf zusätzliche Lasten verzichtet. So erfolgt zum Beispiel die Stromversorgung des Fahrwagens mit Hilfe einer Stromschiene, weil Energieketten einfach ein zusätzliches Gewicht darstellen würden. Dennoch muss man den Energieketten zu Gute halten, dass sie praktisch keinen Verschleiß haben – im Gegensatz zu den Kohlebürsten, die durch die Reibung auf der Stromschiene doch einen gewissen Abrieb haben. Andere Stromübertragungstechnologien wie zum Beispiel Induktion (also kontakt- und kabellose Stromübertragung durch schnell

wechselnde Magnetfelder) haben den Nachteil, dass die Abnehmerspulen teilweise derart groß dimensioniert sind, dass man eine lange Strecke bräuchte, die nicht genutzt werden kann, weil die Abnehmer länger sind als der komplette Fahrwagen.

Damit sich das Hochregallager bewegen kann, wird eine Leistung von ca. 33 kW benötigt, die über Frequenzumrichter Drehstromservomotoren antreibt. Die Frequenzumrichter werden mit unterschiedlichen Parametern für Beschleunigung, Abbremsen usw. angesteuert, die in der Speicher programmierbaren Steuerung (SPS) festgelegt sind.

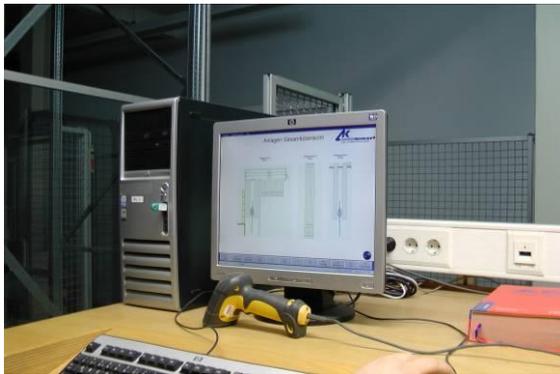


Abb. 5: Steuerplatz

Nichts anderes machen wir mit unserem fischertechnik-Interface, wenn auch in einem wesentlich kleineren Rahmen. Dass eine SPS wesentlich komplizierter steuern kann, sehen wir schon daran, dass die Brems- und Beschleunigungsparameter für die X-Achse festgelegt sind, während sie bei der Z-Achse, also der Achse, die die Waren nach oben hebt, dynamisch berechnet werden.

Wegmesssysteme

Die Z-Achse ist ein besonderer Fall, weil eine Energierückspeisung hier sinnvoller wäre als bei der X-Achse. Damit aber die gesamten Parameter rechtzeitig greifen und der Wagen punktgenau positioniert werden kann, wird ein Wegmesssystem benötigt.

Bei den Wegmesssystemen gibt es zwei unterschiedliche Kategorien: die inkrementalen und die absoluten.

Bei einem inkrementalen Wegmesssystem werden nur Impulse gezählt. Wir stehen bei Punkt B, wollen zu Punkt C und wir wissen, dass wir zwischen den Punkten fünf Impulse bekommen. Also laufen wir los bis wir fünf Impulse bekommen haben und bleiben dann stehen. Weil wir aber manchmal etwas schusslig sind, verzählen wir uns versehentlich ab und zu. Darum haben wir bei Punkt A einen so genannten Referenzpunkt. Das ist der einzige Punkt auf der gesamten Strecke, an dem wir wirklich wissen, wo wir sind.

Ganz anders das absolute Wegmesssystem: Dort wissen wir immer, wo wir sind, weil wir keine Impulse bekommen, sondern jeder Ort einen einzigartigen Namen hat. Das kann man mit einem so genannten Barcodeleseband realisieren (jede Position hat einen Strichcode), mit einem speziellen Glasmaßstab oder bei größeren Anlagen mit einem Lochband. Auch hat bereits die Laserdistanzmessung den Einzug in den HRL-Bau gehalten. Das Ausstellungs-HRL bei Klinkhammer arbeitet mit einem Lochband, um seine Position bestimmen zu können (Abb. 6).



Abb. 6: Lochband zur Positionierung

Pick-by-sound und Pick-by-light

Aber das HRL kann mehr als nur ein- und auslagern. Denn bei Artikeln, die zum

Beispiel ständig gebraucht werden (so genannte Schnelldreher-Artikel), ist es nicht gerade sinnvoll, das Hochregallager auf den Weg zu schicken. Solche Posten sind beim Ausstellungs-HRL in den ersten zwei Reihen auf ergonomischer Höhe angeordnet. Man kann auf diese Artikel auch zugreifen, ohne dass man den Wagen loschicken muss. Damit aber auch hier jeweils die richtige Anzahl entnommen wird, gibt es verschiedene Kommissionierungssysteme.



Abb. 7: Pick-by-light in einem HRL-Fach

Das erste nennt sich „Pick-by-sound“: Der Mitarbeiter hat Kopfhörer auf und eine Computerstimme sagt ihm: „Gehe zu Kiste 23 und entnimm 3 Artikel“. Ein anderes System nennt sich „Pick-by-light“: Hier leuchten kleine Anzeigen mit der Anzahl der zu entnehmenden Teile unter den Kisten auf. So leuchtet dann in unserem Beispiel bei der Kiste 23 ein Licht, welches unsere Aufmerksamkeit auf sich zieht, und auf dem Siebensegmentdisplay wird uns die 3 angezeigt. Damit das System weiß, dass wir hier die Artikel entnommen haben, müssen wir noch eine Taste zur Bestätigung drücken. Wie man am Bild sieht, ist auch das „Pick-by-light“ System im Ausstellungs-HRL verbaut (siehe Abb. 7 und 8). Da man aber nicht immer nur etwas in Regale auslagert, sondern auch einlagert, gibt es das „Pick-by-light“ System auch umgekehrt. Dieses nennt sich dann „Put-to-light“.



Abb. 8: Pick-by-light Detailansicht

Anbindung an andere Systeme

Ein HRL kann nicht nur Kommissionierungssysteme ansteuern. Es hat auch Schnittstellen, um unter anderem mit fahrerlosen Transportsystemen (FTS) oder auch mit Buchungs- und Warenwirtschaftssystemen wie z. B. SAP zu kommunizieren.

Laufende Pflege

Wo bewegliche Teile sind, kommt man leider nicht um eine gewisse Wartung herum. So werden die HRL vierteljährlich gewartet. Dort werden zum Beispiel die Stromabnehmerkohlen kontrolliert und die Parameter für Beschleunigung etc. überprüft. Falls aber dennoch mal etwas ausfallen sollte, kann man per Fernwartung auf die Lagersteuerung zugreifen, um zu sehen, welches Problem die Anlage hat.

Sicherheit

Da die Anlage sehr stark automatisiert ist, aber auch Menschen mit ihr arbeiten, sind die Sicherheitsanforderungen an die Technik sehr hoch. Um zu erreichen, dass kein Mitarbeiter durch die Anlage irgendwie verletzt wird, ist die Anlage gekapselt. Das heißt, die Anlage umgibt ein Zaun, der jeden daran hindert, unbeabsichtigt in den Gefahrenbereich einzudringen.



Abb. 9: Gekapselter Transportbereich

Falls man aber diesen dennoch betreten muss, zum Beispiel für Wartungszwecke, betritt man ihn durch Türen, die sofort den Not-Aus der Anlage auslösen, wenn man sie öffnet. (Ein kleiner Haushaltstipp am Rande: Es empfiehlt sich immer, Anlagen, die man wartet, vorher in einen stromlosen Zustand zu versetzen.) Für den extrem unwahrscheinlichen Fall, dass sich dennoch etwas in Bewegung setzt, gibt es an beiden Enden des Fahrweges Fluchttüren.

Wie man sieht, bringt die Kapselung sehr viel Sicherheit. Trotzdem kann man nicht die komplette Anlage einzäunen. Denn wie sollte man sonst an die Kisten kommen, die man ausgelagert hat, wenn der Zugang durch einen Zaun versperrt wird?

Dieser Arbeitsplatz wird so gebaut, dass man nur absichtlich in den Gefahrenbereich kommen kann. Das wird realisiert, indem man über den Bereitstellungstisch eine Art Regal baut (siehe Foto). Dieses Regal befindet sich in einer Höhe, aus der

man bequem Sachen greifen kann, aber dennoch unten problemlos die Kisten durchpassen. Wenn man also wirklich in den Gefahrenbereich will, in dem man eigentlich während des Betriebes nichts zu suchen hat, müsste man über das Regal klettern. Man sieht, der Weg ist so umständlich, dass man da nicht wirklich „aus Versehen“ hineingerät.



Abb. 10: Arbeitsplatz zum Ein- und Auslagern

Wer jetzt verständlicherweise auch ein HRL bei sich zuhause haben möchte (vielleicht für seine fischertechnik-Teile?), der kann mit Kosten von ca. 500.000 € rechnen. Dafür bekommt er aber ein Regal, in das er so ziemlich alles hinein sortieren kann und auch bestimmt nichts mehr verliert.

Quellennachweis

[1] Wikipedia: [Europoolpalette](#).

Tipps & Tricks

Kaulquappen (Teil 3)

Harald Steinhaus

Wie aus den Teilen 1 und 2 dieses Artikels bereits bekannt ist, entstehen ft-Modellbauprinzen in einem langwierigen und zuweilen schmerzhaften Prozess, nach Heranreifen einer Kaulquappe zu einem entwicklungstechnischen Frosch und einem mutationsauslösenden Kuss durch eine Muse. Die jüngste Brut wird nachfolgend vorgestellt.



Abb. 1: Haken-Hülle

Großartigen praktischen Nutzen hat die Anordnung in Abb. 1 nicht, aber es sieht halt ordentlich aufgeräumt aus, wenn man den Haken bei Nichtgebrauch wegklappt.

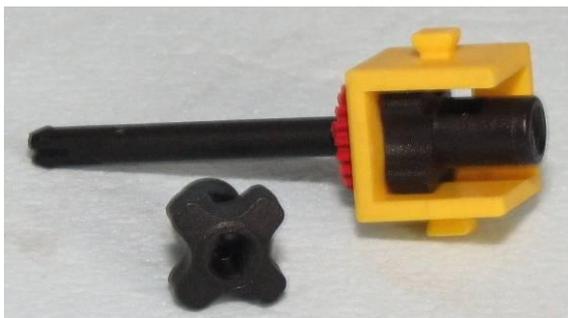


Abb. 2: Stabiler Mitnehmer

Seitdem es die Rastachse mit Platte (130593) gibt, ist das Problem eines Übergangs von Rastachse auf einen drehenden Hebel eigentlich gelöst. Trotzdem verbleiben noch ein paar Anwendungen, wo es anders gehen muss. Hier etwa (Abb. 2), um der Achse etwas Verschiebung in Längsrichtung zu ermöglichen. Das Kupplungsteil ist ein Impulszahnrad 4 (37157).

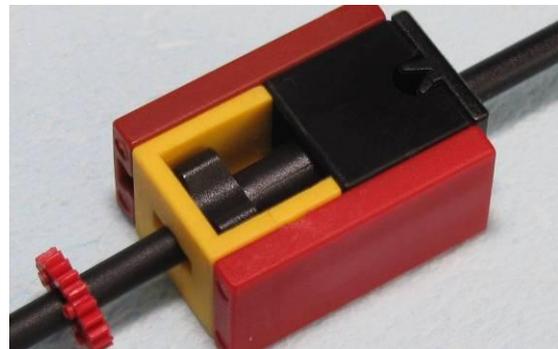


Abb. 3: Teleskopachse

Oh, bei Längsverschiebung von Achsen klingelt etwas. Also gut, bauen wir noch einen V-Stein 15x15x15 (31934) dahinter und wir erhalten eine Teleskopachse (Abb. 3), die nicht von alleine auseinander fällt.



Abb. 4: Gleitführung

Eine Gleitführung mit dem Statikadapter 35975, die auf beliebige Länge gebracht werden kann (Abb. 4).

Eine Tür, die von außen am Griff eines S-Riegels ver- und entriegelt wird, zeigt Abb. 5. Die Mechanik passt komplett in den Winkelträger 30 hinein.



Abb. 5: Türverriegelung

Das könnte der Zapfen für einen Sattelaufleger mit geringer Bauhöhe sein. Oder ein Gelenk, das einen seitlichen Versatz von einem halben Rastermaß mitbringt. Die Winkelklammer 31538 verhindert, dass die Rastachse mit Platte (130593) einfach so abgezogen wird (Abb. 6).



Abb. 6: Stabiler Zapfen

Der Drehschieber 31070 (Abb. 7) zeigt sich sehr störrisch bei der Suche nach anderen Verwendungsbereichen. Hier tüt' er nun passen, in einem Untersetzungsgetriebe mit zwei Schnecken m1.

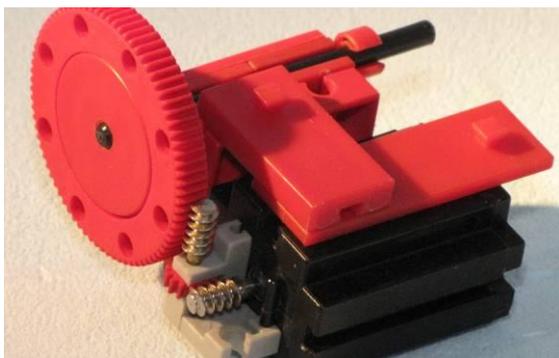


Abb. 7: Drehschubteil

In Teil 2 des ‚Kaulquappen‘-Artikels wurde eine Tür mit beidseitiger Öffnungsmöglichkeit vorgestellt. Von der Sorte gibt es hier noch mal eine weitere (Abb. 8, 9).

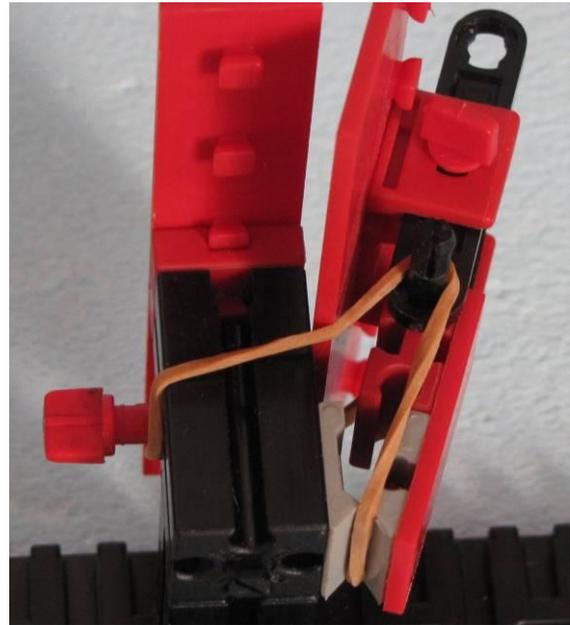


Abb. 8: Zwei-Wege-Tür (1)



Abb. 9: Zwei-Wege-Tür (2)

Ein echter Prinz ist das in Abb. 10 gezeigte Freilaufgetriebe. Innen drin befindet sich ein Differenzial alter Bauart, das umgeben ist von einem Käfig aus zwei Z30 und drei Rastachsen. Die Z30 sitzen beide lose, über Freilaufnaben, auf den Achsen des Differenzials.

Bei Drehung der rechten Achse „links herum“ werden die Z30 von den Gelenkwürfeln mitgenommen, anders herum rattern letztere einfach über den Differenzialkäfig hinweg.

Ein weiterer Prinz ist aus dem [Teleskop-Kardan](#) entstanden. Mit den Teilen V-Stein 15x15x15 schwarz (31934) und Impulszahnrad Z4 (37157) bekommt man auch stabile Antriebswellen, die für gefederte Fahrzeuge (Abb. 11) und sogar für Fahrzeuglenkungen tauglich sind.

Die V-Steine 15 blau (35298) oder gelb (35297) haben keine seitlichen Zapfen und eignen sich besser, wenn es eng zugeht.

An der Lenkung wird aber noch gearbeitet.



Abb. 10: Freilauf

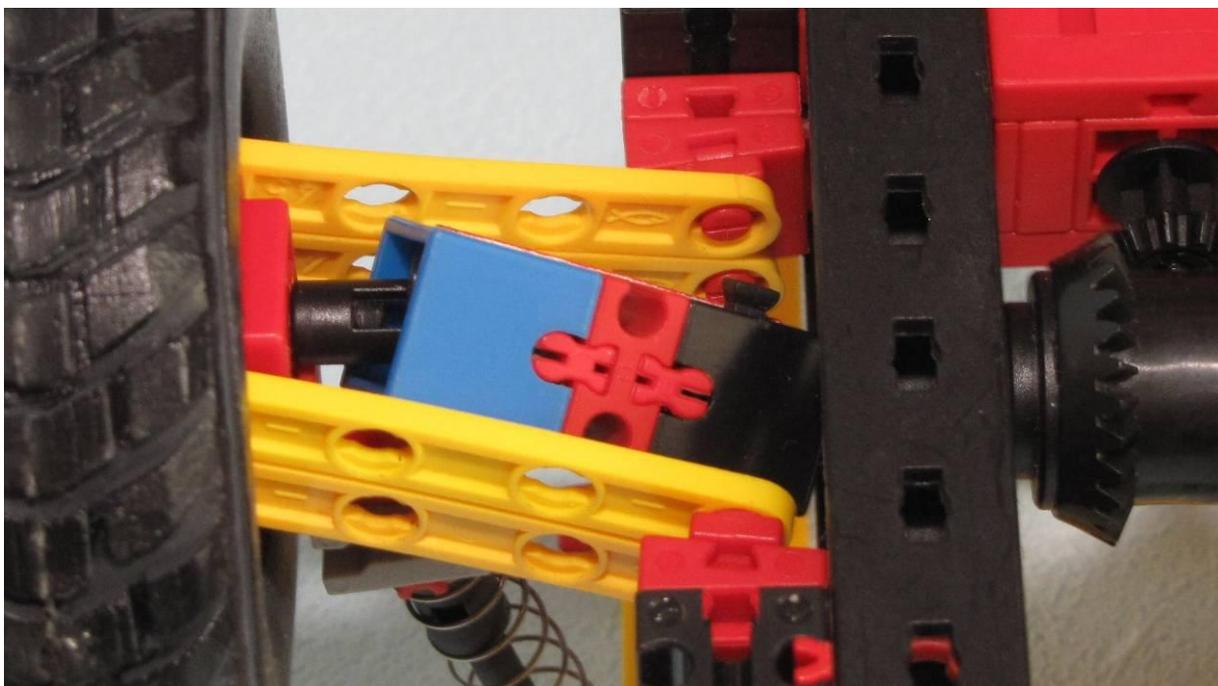


Abb. 11: Antriebswelle

Tipps & Tricks

ft-Spezialteile made by TST (Teil 2)

Andreas Tacke

In einer lockeren Reihe stellt TST einige von ihm entwickelte Spezialteile vor, die so manche Lücke des fischertechnik-Systems schließen. Diesmal zu einem Thema, das zweifellos schon viele Fans der Verzweiflung nahe gebracht hat: Wie lässt sich bloß ein Power-Motor stabil in einem Modell befestigen?

In diesem Beitrag geht es rund um das Thema „Powermotor, Befestigung und Adapter“.

Der Powermotor ist, wie der Name schon sagt, ein Motor mit sehr viel „POWER“. Nur leider passt er durch sein Getriebe, welches einen Durchmesser von 33 mm hat, und seine runde Bauform nicht wirklich gut ins Raster von fischertechnik. Auch die stabile Befestigung gestaltet sich manchmal schwierig.



*Abb. 1: Powermotor 20:1
mit Anbauplatte 35090*

Wer kennt sie nicht, die Standard-Anbauplatte von ft: klein, kompakt und leider mit nur einer Schraube am Getriebe befestigt (Abb. 1). Dabei ginge es auch stabiler und

im fischertechnik-Raster. Daher habe ich eine Anbauplatte entwickelt, die die Befestigungsprobleme löst. Sie hat die Maße 30 mm x 60 mm x 7,5 mm und wird mit zwei Schrauben am Getriebe befestigt (Abb. 2). Die Schrauben greifen exakt in die beiden im Kopf der Power-Motoren bereits vorhandenen Gewinde.

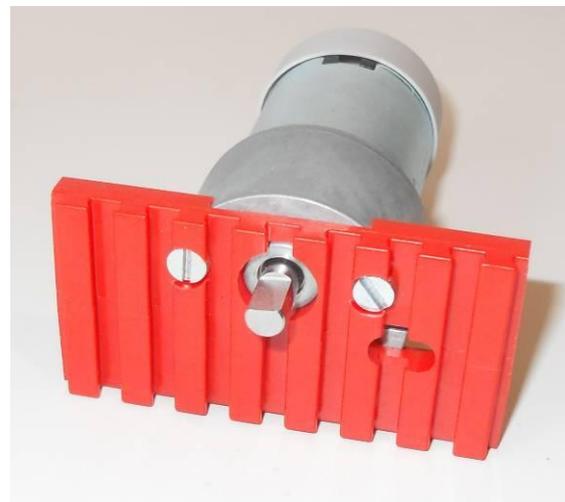


Abb. 2: Anbauplatte 30x60x7,5

Mit dieser Platte lässt sich der Motor nun stabil befestigen. Ein weiterer großer Vorteil dieser Lösung ist die Möglichkeit, auch an der Rückseite der Anbauplatte weiter zu bauen, um den Motor so z. B. fest in einem Fahrzeug zu integrieren (Abb. 3).

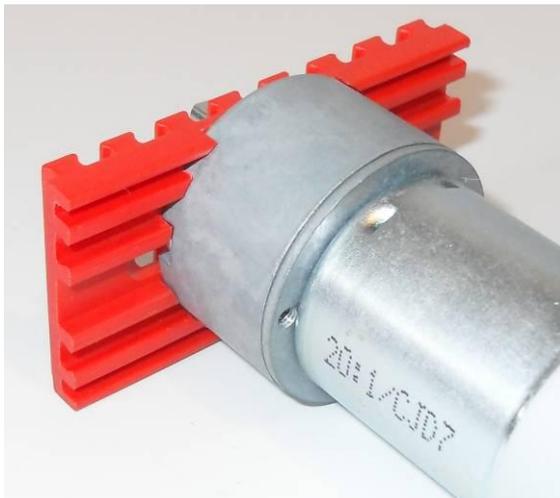


Abb. 3: Anbauplatte von hinten

Der Powermotor hat zudem noch eine 5 mm-Achse am Getriebeausgang. Wie wir alle wissen, liegt das Standard-Maß der ft-Achsen jedoch bei 4 mm. Es gibt die Antriebshülse 35142, mit der sich die Rastachsen mit dem Powermotor verbinden lassen. Ist aber das Drehmoment zu hoch, versagen die Achsen oder die Hülse den Dienst.

Was also tun? Metallachsen wären nicht schlecht, aber wie verbinden?

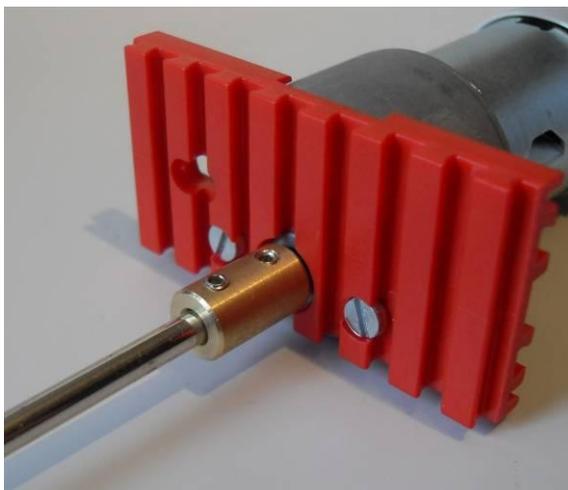


Abb. 4: Adapter 4 auf 5 mm

Für dieses Problem habe ich einen Adapter 4 mm auf 5 mm aus Messing entwickelt, der mittels Madenschrauben mit der Getriebewelle und der Metallachse befestigt wird (Abb. 4).

Aber lässt sich auch eine Schnecke auf der Achse des Getriebes stabil befestigen?

Auch dafür habe ich eine Lösung gefunden. Mit einem selbst gedrehten Adapter lässt sich die Schnecke 35109 fest mit der Ausgangswelle des Getriebes verbinden (Abb. 5).

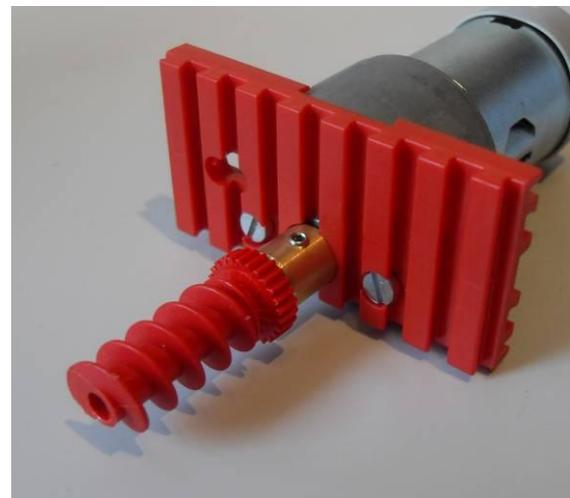


Abb. 5: Schnecke 35109 auf Powermotor

Ganz lässt sich der Nachteil des mit 33 mm für das fischertechnik-Raster (5/7,5/15/30 mm) etwas zu großen Getriebes aber auch durch diese Teile nicht beseitigen.

Dennoch gilt: Der Powermotor ist mit den richtigen Teilen gut zu verbauen und bringt so auch seine volle Kraft zur Entfaltung.

Auch beim Power-Motor heißt es also: Geht nicht, gibt's nicht! Man muss sich nur etwas einfallen lassen ...

Modellbahn

Die Bau-Spiel-Bahn auf Märklin-Gleisen

Sven Engelke

Dieser Artikel stellt eine Möglichkeit vor, die fischertechnik Bau-Spiel-Bahn mit Märklin-Gleisen zu kombinieren. Auch die Ansteuerung von Märklin-Weichen mit einem fischertechnik-Computer-Interface wird beschrieben.

Normalerweise werden bei der Bau-Spiel-Bahn (BSB) fleischmann-Gleise verwendet, da der Fahrstrom über die linke und rechte Schiene abgegriffen wird.

In letzter Zeit überlegte ich immer wieder, ob ich nicht irgendwie meine alten Märklin-Gleise für die gute alte Bauspielbahn nutzen kann. Bei den Märklin-Gleisen sind die rechten und linken Schienen miteinander verbunden. Der zweite Stromleiter befindet sich in der Mitte und wird über einen so genannten Mittelschleifer abgegriffen, der den Strom zum Motor der Lok leitet (Abb. 1).



Abb. 1: Märklin-Schleifer

Abbildung 2 zeigt den Vergleich der beiden Gleissysteme. Vorne im Bild sieht man das Fleischmann-Gleis, welches fischertechnik auch mit der BSB lieferte, im Hintergrund die Märklin-Schiene. Im Folgenden werden wir eine BSB-Lok so umbauen, dass sie von den Märklin-Gleisen Strom beziehen und darauf fahren kann.

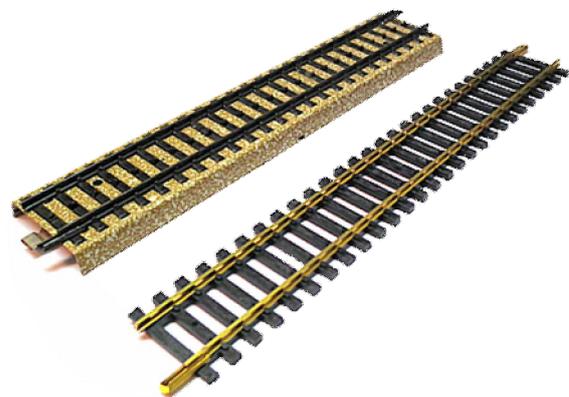


Abb. 2: Gleissysteme Fleischmann (vorne) und Märklin (hinten)

Der Umbau

Für den Umbau benötigen wir eine BSB-Lok, einen Baustein 5, ein Stück einadrige Litze und einen Märklin-Schleifer, den man auch einzeln zu einem Preis von ca. 3 Euro pro Stück kaufen kann.



Abb. 3: Die Litze, angelötet am Schleifer

Als erstes löten wir das Stück Litze wie in Abb. 3 gezeigt an den Märklin-Schleifer. Nun kleben wir den Baustein 5 an das BSB Lok Chassis an. Ich habe Heißkleber hierfür verwendet (Abb. 4).

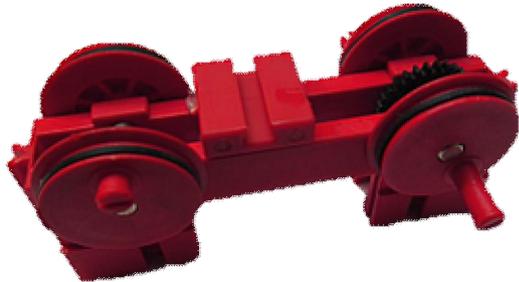


Abb. 4: BSB Chassis mit angeklebten BS5

Anschließend wird der Schleifer auf den Baustein 5 geklebt. Auch hier habe ich wieder zur Heißklebepistole gegriffen. Der Vorteil von Heißkleber ist, dass man alles wieder rückstandslos entfernen kann. Abb. 5 zeigt den fertig montierten Schleifer.

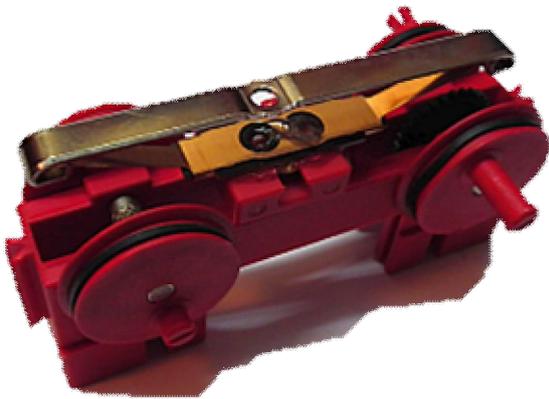


Abb. 5: Der fertig montierte Schleifer

Wer sich nicht scheut, den Baustein 5 zu „opfern“, kann den Schleifer auch wie im Original bei Märklin mittels einer kleinen Schraube in den Baustein 5 schrauben. Anstelle eines Bausteins 5 könnte auch ein anderes Stückchen Kunststoff verwendet werden.

Das fahrbereite Lok-Chassis sieht damit so aus:



Abb. 6: Chassis mit Motor auf Märklin-Gleis

Weichen automatisch steuern

Als nächstes soll die Bau-Spiel-Bahn computergesteuert fahren. Dazu gehört auch das Stellen von Elektro-Weichen. Die Lok selbst mittels RoboPro zu steuern ist kein Problem: Einfach die Stromschiene an M1 des fischertechnik Interface anschließen, und schon kann man mit einem RoboPro-Programm oder einfach mit der Interface-Diagnose fahren.

Schließt man allerdings Märklin-Weichen direkt an, so schalten diese leider nicht. Das liegt daran, dass die 9 V Betriebsspannung nicht ausreichen, da Märklin mit einer höheren Spannung arbeitet. Davon lassen wir uns aber natürlich nicht entmutigen!

Wir können uns hier mit einem Relais behelfen, etwa einem der älteren [fischertechnik-Relais](#) (ohne Verstärker), einem [ft:pedia-Selbstbaurelais](#) (siehe [ft:pedia 4/2011](#)) oder auch einem Relais von Fremdherstellern. Allerdings brauchen wir pro Weiche zwei Stück. Ich habe mir eine Relaisplatine mit zehn nicht von fischertechnik stammenden Relais gebastelt. Damit kann ich fünf Weichen schalten. Einen Schaltungsvorschlag zeigt Abb. 7.

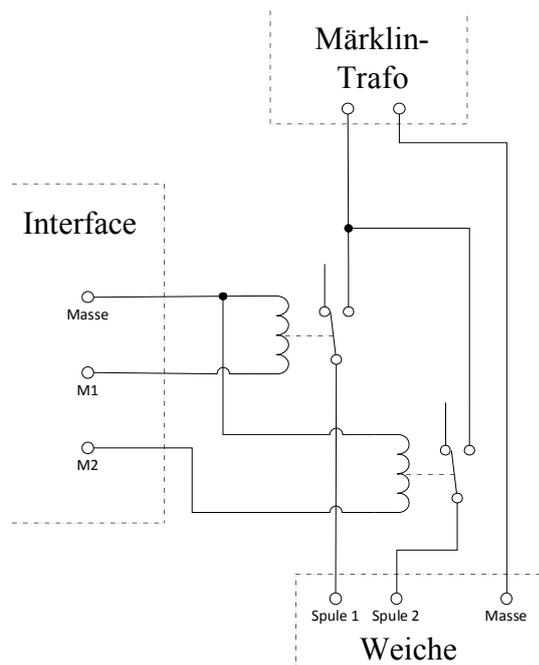


Abb. 7: Schaltung

Die Stromversorgungen des Interface und der Weiche sind also strikt getrennt. Die Relais werden vom Interface angesteuert und schalten dann den Strom zu den beiden Spulen in der Weiche durch. Je nachdem, ob man einen Impuls auf M1 bzw. M2 des Interface gibt, wird die Weiche also in die eine oder die andere Richtung eingestellt.

Ganz wichtig: Die Lampe aus der Weiche muss unbedingt entfernt werden! Sonst

gibt es einen Kurzschluss, denn der Anschluss der Weiche ist über die Lampe aufs Gleis geschaltet.

Wer die automatisch gesteuerten Weichen mit der BSB auf Märklin-Schienen kombinieren möchte, wird allerdings feststellen, dass der Zug mit dem angeklebten Schleifer nicht richtig über die Weichen fährt. Da ist also noch etwas Tüftelarbeit zur Verbesserung gefragt.

Noch ein wichtiger Hinweis: Die BSB darf nur mit 9V Gleichstrom betrieben werden. Bitte nicht den Märklin-Trafo benutzen – das würde den fischertechnik-Motor zerstören!

Bezugsquellen für Märklin-Schleifer

Ich hatte den Schleifer bei Amazon bestellt; er wurde dort von einem Händler namens BWBahn verkauft. BWBahn hat aber auch einen eigenen [Shop](#). Eine weitere Bezugsquelle für die Schleifer ist [Retail International](#), und es gibt noch eine Anzahl weiterer.

Computing

I²C mit TX und Robo Pro – Teil 1: Grundlagen

Dirk Fox

Mit der im April 2012 veröffentlichten Robo Pro-Version 3.1.3 und dem TX-Firmware-Update 1.30 hat fischertechnik das Tor zur „I²C-Welt“ aufgestoßen: Am TX Controller lassen sich nun nahezu beliebige I²C-Module anschließen und nutzen. Was steckt technisch dahinter? Und wie spricht man I²C-Komponenten in Robo Pro-Programmen an?

Hintergrund

I²C – *Inter-Integrated Circuit* – bezeichnet ein verbreitetes Bus-Protokoll für die Kommunikation zwischen IC-gesteuerten Komponenten elektronischer Schaltungen. Es wurde vor über 30 Jahren von Philips Semiconductors (der heutigen [NXP Semiconductors](#)) entwickelt. 1992 veröffentlichte Philips die Spezifikation 1.0, die bereits verschiedene Erweiterungen umfasste (schnellere Übertragungsmodi und einen größeren Adressraum); sie wurde in den Jahren 1998, 2000 und 2007 durch die Versionen 2.0, 2.1 und 3.0 abgelöst. Am 13.02.2012 publizierte NXP die heute gültige Version 4.0 der Spezifikation [1].

Der erste Teil unserer „I²C-Beitragsserie“ führt in die Grundlagen des I²C-Busses ein, soweit sie für den Betrieb von I²C-Komponenten am TX relevant sind. In Folgebeiträgen werden wir ausgewählte I²C-Sensoren und –Aktoren vorstellen und deren Ansteuerung in Robo Pro erläutern.

Das I²C-Bus-Protokoll

I²C ist ein sehr einfacher serieller Bus mit einem *Master-Slave*-Protokoll: Ein *Master Device* (hier: unser TX Controller) sendet die Befehle, und ein oder mehrere *Slave Devices* (hier: an den TX angeschlossene I²C-Sensoren oder Aktoren) reagieren oder antworten. Der Bus benötigt lediglich zwei

Leitungen: eine serielle Datenleitung (*Serial Data Line*, SDA) und eine Taktleitung (*Serial Clock Line*, SCL). Der *Master* gibt den Bus-Takt (und damit die Übertragungsgeschwindigkeit) vor.

Betriebsarten

Bis zur Veröffentlichung der Spezifikation 1992 war die Bus-Geschwindigkeit auf maximal 100 kBit/s begrenzt. Inzwischen unterscheidet die Spezifikation fünf Betriebsarten mit den folgenden maximalen Takt- (Übertragungs-) Raten:

- *Standard Mode*: 100 kBit/s
- *Fast Mode*: 400 kBit/s (seit Version 1.0)
- *Fast Mode Plus*: 1 MBit/s (seit 2007, Version 3.0)
- *High Speed Mode*: 3,4 MBit/s (seit 1998, Version 2.0)
- *Ultra Fast Mode*: 5 MBit/s (seit 2012, Version 4.0)

Der TX unterstützt den *Standard* und den *Fast Mode*, daher werden in der weiteren Darstellung Besonderheiten der anderen Betriebsarten nicht betrachtet.

Datenübertragung

Im Ruhezustand sind die Pegel beider Leitungen (SDA und SCL) auf *High*. Der Beginn einer Datenübertragung wird vom

Master mit dem Steuerbefehl *Start* (S) signalisiert: Dazu wird bei $SCL = High$ eine fallende Flanke auf der Datenleitung (SDA) „gesendet“. Der Bus ist damit für den sendenden *Master* reserviert (Abb. 1).

Während der Übertragung wird die Datenleitung nur bei $SCL = Low$ geschaltet. Ein *High*-Pegel auf der SCL-Leitung signalisiert dem Empfänger das Anliegen eines Datenbits.

Beendet wird die Übertragung mit einem *Stop*-Steuerbefehl (P), einer steigenden Flanke auf SDA bei $SCL = High$ (siehe Abb. 1).

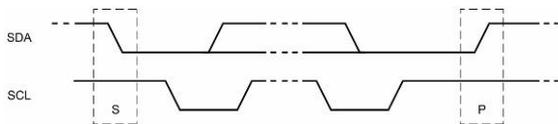


Abb. 1: Startsignal – Daten – Stoppsignal [1]

Statt eines *Stop*-Befehls kann auch mit einem *Repeated Start*-Steuerbefehl (Sr) der Beginn einer weiteren Datenübertragung desselben *Masters* signalisiert werden.

Die Übertragung von Befehlen oder Daten erfolgt byteweise seriell, beginnend jeweils mit dem höchstwertigen Bit (*Most Significant Bit First*). Der Empfang muss vom Empfänger mit einem *Acknowledge* (ACK) Bit ($SDA = High$) bestätigt werden (siehe Abb. 2).

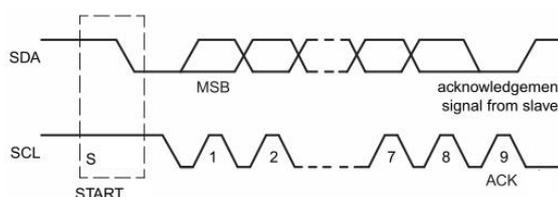


Abb. 2: Sendung eines Daten-Bytes, Bestätigungs-Bit (ACK) [1]

Empfängt der Sender kein ACK-Bit, geht er davon aus, dass der Empfänger entweder nicht erreichbar ist, die gesendeten Daten (bspw. wegen eines Übertragungsfehlers) nicht interpretieren oder keine weiteren Daten empfangen kann und bricht die Übertragung mit einem *Stop*-Steuerbefehl zur Freigabe der Leitung ab.

Adressierung

An einen Bus können mehrere *Master* und *Slave Devices* angeschlossen werden. Jede I²C-Komponente besitzt eine feste 7-Bit-Adresse, über die sie angesprochen werden kann.⁵ Damit lassen sich auf einem Bus theoretisch bis zu 112 verschiedene Komponenten adressieren; 16 Adressen sind für Sonderzwecke reserviert (siehe Abschnitt unten und Tab. 1).

Damit an denselben I²C-Bus auch mehrere gleichartige Komponenten angeschlossen (und getrennt adressiert) werden können, erlauben einige *Devices* die Einstellung der niederwertigen zwei bis drei Adress-Bits mittels Jumpers [2]. Beim Anschluss mehrerer gleicher *Devices* an einen Bus müssen diese Jumper so gesetzt werden, dass keine Adresse doppelt vergeben wird.

Die Datenübertragung beginnt immer mit der Adresse des Empfängers, die in den ersten sieben (also höchstwertigen) Bits des ersten Datenbytes übermittelt wird.

Befehle: Write und Read

Das I²C-Protokoll kennt nur zwei elementare Befehle: *Write* (Datenübertragung vom *Master* an einen *Slave*) und *Read* (Datenübertragung vom *Slave* an den *Master*).

Der Befehl wird vom *Master* im niederwertigen Bit des ersten gesendeten Byte übermittelt (0 = *Write*, 1 = *Read*), dessen höchstwertige sieben Bit die Adresse des *Slave* enthalten. Die angesprochene *Slave*-Komponente bestätigt mit einem ACK-Bit ihre Empfangs- bzw. Sendebereitschaft.

⁵ Seit Version 1.0 der Spezifikation ist auch ein 10-Bit-Adressierungsschema spezifiziert, mit dem bis zu 1.136 verschiedene Komponenten auf einem Bus adressiert werden können. Dieses Schema hat sich bisher nicht durchsetzen können; offenbar genügt die 7-Bit-Adressierung in der Praxis.

Ablauf der Übertragung

Welche und wie viele Daten-Bytes dem Adress-Byte (mit Befehlsbit) folgen, hängt vom Befehlsbit (*Read* bzw. *Write*) und vom Typ der *Slave*-Komponente ab und wird vom Hersteller im Datenblatt der Komponente dokumentiert. Die Gesamtzahl der Datenbytes je Übertragung ist seitens des I²C-Protokolls nicht beschränkt.

Der Ablauf entspricht immer dem folgenden generellen Schema:

- Einem *Write*-Befehl folgt meist zunächst ein Byte, das eine „Subadresse“ enthält – eine Komponenten spezifische Adresse eines Registers des *Slave* –, gefolgt von einem Wert, mit dem der *Master* dem *Slave* die Bedeutung der anschließenden Daten-Bytes mitteilt.
- Bei einem *Read*-Befehl dreht sich die Übertragungsrichtung um und es folgt eine Sequenz von Datenbytes, die der *Slave* an den *Master* übermittelt. Der Empfang jedes Bytes muss vom *Master* mit einem ACK-Bit bestätigt werden; der *Master* stoppt die Datenübermittlung mit einem NACK-Bit (*Not Acknowledged*).
- Auch ein Wechsel der Übertragungsrichtung innerhalb des Protokolls ist möglich. Dazu sendet der *Master* statt eines *Stop*- ein *Repeated Start*-Steuer-signal, gefolgt von der Adresse⁶ des *Slave* mit einem neuerlichen *Read/Write*-Befehlsbit.

Reservierte Adressen

Zwei Gruppen von je acht Adressen (0000 XXX und 1111 XXX, siehe Tab. 1) sind für Sonderfunktionen vorgesehen, die von speziellen Komponenten benötigt werden. Die in Tab. 1 grau unterlegten Funktionen

können für am TX betriebene Komponenten relevant sein und werden daher im Folgenden kurz erläutert.

Adresse	R/W	Funktion
0000 000	0	General Call
0000 000	1	Start Byte
0000 001	X	CBUS Address
0000 010	X	Different Bus
0000 011	X	Future Purpose
0000 1XX	X	High-speed Mode
1111 100	X	Device ID
1111 1XX	X	Future Purpose
1111 0XX	X	10 Bit Address

Tab. 1: Reservierte Adressen [1]

So können mit der *General Call Address* alle am I²C-Bus angeschlossenen *Slave Devices* zugleich angesprochen werden. Die Unterstützung dieser Adresse durch eine I²C-Komponente ist optional; Komponenten dürfen den Ruf daher ignorieren. Zur Unterscheidung von der *Start Byte*-Adresse wird das Befehlsbit 0 gesendet.

Sofern von mindestens einem *Slave* ein ACK-Bit gesendet wird, schickt der *Master* als zweites Byte

- entweder 0000 0110 (= 6) bzw. 0000 0100 (= 4; mit/ohne Software-Reset), gefolgt von einem *Device*-spezifischen Byte zum Schreiben des programmierbaren Teils der *Slave*-Adresse, oder
- ein Adressbyte mit seiner eigenen Adresse und dem Befehlsbit 1 (= *Read*), beantwortet von *n* Daten-Bytes eines Hardware-Slaves (z. B. den Eingaben an einer PIN-Tastatur).

Der Beginn eines Datentransfers kann auch mit dem *Start Byte* (0000 0001) signalisiert werden. Bei leistungsschwachen *Slave*-Komponenten hat das den Vorteil, dass sie den Steuerbefehl „Start“ ignorieren können und den Bus nur mit der Taktrate der

⁶ Hier kann auch die Adresse einer anderen *Slave*-Komponente gewählt werden; dann richtet sich der Befehl an ein anderes *Device*.

Betriebsart abfragen müssen: Empfangen sie sieben „0“-Bits in Folge, zeigt ihnen das den Beginn der Übertragung an. Nach dem *Start Byte* schickt der *Master* den Steuerbefehl „Sr“ (*Repeated Start*), danach erst das Adress-Byte mit Befehlsbit.

Einige Komponenten sind mit einer eindeutigen, drei Byte langen *Device ID* ausgestattet, die sich aus 12 Bits für die von NXP vergebene Hersteller-ID, neun Bits für die Teile-ID und drei Bits für die Versionsnummer zusammensetzt. Verfügt ein *Slave* über eine *Device ID*, kann diese wie folgt ausgelesen werden:

- *Start*-Steuerbefehl, gefolgt von der reservierten Adresse 1111 100 und dem Befehlsbit 0 (= *Write*).
- Adress-Byte: *Slave*-Adresse mit beliebigem Befehlsbit.
- *Repeated Start*-Steuerbefehl, gefolgt von der reservierten Adresse 1111 100 und dem Befehlsbit 1 (= *Read*).
- *Slave* sendet die drei Byte lange *Device ID*; letztes Byte wird von *Master* mit NACK bestätigt, gefolgt von einem *Stop*-Steuerbefehl.

Kollisionsauflösung

Damit an einem I²C-Bus mehrere *Master Devices* gleichzeitig betrieben werden können, muss das Protokoll verhindern, dass mehrere *Master* gleichzeitig senden. Vor Beginn einer Übertragung muss ein sendebereiter *Master* daher zuerst prüfen, ob der Bus belegt ist. Beginnen zwei *Master* gleichzeitig Daten zu senden, wird die Kollision erkannt, da jeder *Master* auf der Datenleitung „mitliest“: Falls ein *Master* ein *High*-Signal sendet, auf der Datenleitung aber ein *Low*-Signal liest, bricht er die Übertragung ab (*Collision Avoidance*), ohne ein Steuersignal zu senden. Dadurch bemerkt der „siegreiche“ *Master* nichts von der Kollision, und die Datenübertragung wird auch nicht gestört.

Vorteile des Protokolls

Zwar ist ein serieller Datenbus wesentlich langsamer als ein paralleler, dafür reduziert er wichtige Teile der Komponentenkosten erheblich:

- die Steuerung (da Datenbits nicht in Registern gepuffert werden müssen),
- die Ein- und Ausgänge (da nur ein Daten-Pin benötigt wird, was ein kleineres IC-Gehäuse ermöglicht), sowie
- die Verkabelung (da neben der Taktleitung nur eine einzige Datenleitung erforderlich ist).

Der hohe Nutzdatenanteil (*Payload*) des I²C-Protokolls – ein *Start*- und ein *Stop*-Bit je Übertragung sowie ein ACK-Bit je Datenbyte – reduziert den Geschwindigkeitsvorteil paralleler Protokolle, die meist zusätzliche Bytes für die Fehlererkennung (CRC, Zähler), die Adressierung und das *Acknowledgement* benötigen.

I²C-Komponenten können sogar während des Betriebs hinzugefügt oder herausgenommen werden (*Hot Plugging*); daher eignet sich der Bus gut für Schaltungstests.

Der Datenbus ist zudem relativ robust (hohe Störsicherheit) und hat einen geringen Stromverbrauch. Allerdings ist die Reichweite begrenzt – für eine Datenübertragung über mehrere Meter oder mehr sind Feldbussysteme (z. B. CAN, Profibus, ...) geeigneter.

I²C und der TX Controller

Für die Nutzung IC-gesteuerter Komponenten wie komplexer Sensoren, Displays, Schrittmotoren oder Echtzeituhren am TX ist der I²C-Bus ideal:

- Der Bus ist sehr verbreitet und inzwischen in vielen ICs bereits integriert; es gibt daher nicht nur eine große Auswahl an direkt nutzbaren, I²C-gesteuerten Sensoren und Aktoren, sie sind zudem zu moderaten Preisen erhältlich.

- Über denselben Bus können mit Hilfe eines passiven Verteilers zahlreiche I²C-Komponenten gleichzeitig an einen TX angeschlossen und von diesem genutzt werden. Der Bus belegt am TX nur den EXT 2-Anschluss – keiner der 12 Ein- und acht Ausgänge wird benötigt.
- Die Ansteuerung von I²C-Komponenten lässt sich in Software sehr einfach realisieren; die I²C-spezifischen Elemente lassen sich durch die Implementierung geeigneter Unterprogramme oder Hilfsfunktionen („Treiber“) weitestgehend „verbergen“.

Die eingeschränkte Eignung des Busses für eine Datenübertragung über größere Distanzen fällt bei vielen ft-Modellen in der Praxis nicht ins Gewicht. Die Kabellänge der Verbindung von Sensor bzw. Aktor mit dem TX sollte jedoch immer möglichst kurz gewählt werden und die Länge des mitgelieferten sechsadrigen Extension-Kabels nicht wesentlich überschreiten.

Anschluss an den TX

Angeschlossen werden die I²C-Devices an den Erweiterungsport EXT 2 des TX. Die Belegung der Kontakte zeigt Abb. 3.

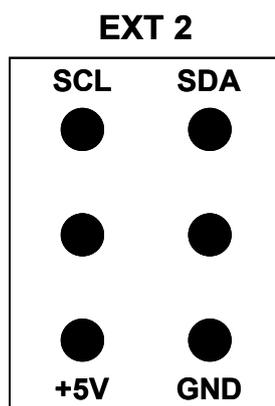


Abb. 3: Belegung der I²C-Leitungen am EXT 2-Anschluss des TX Controllers

Für den Anschluss genügen ein vier- oder sechsadriges Flachbandkabel und ein 2 x 3-poliger Pfostenverbinder (Wannenstecker). Sollen an den *Master* zugleich weitere TX Controller über den Erweite-

rungs-Port angeschlossen werden, muss dafür der EXT 1-Anschluss verwendet werden.

Einige interessante I²C-Komponenten sind bereits mit der richtigen Anschlussbelegung und einem 2 x 3-poligen passenden Pfosten- oder Wannenstecker ausgestattet. Sie lassen sich ganz ohne LötKolben und Bastelei direkt mit dem Extension-Kabel an den Erweiterungsport EXT 2 des TX anstecken – echtes *Plug and Play*.

Unter diesen „100% TX-kompatiblen“ I²C-Devices finden sich sowohl Sensoren (Beschleunigungssensor, Kompass) als auch Aktoren (Schrittmotoren, Displays). Zwar wird die Hardware zumeist ohne Gehäuse geliefert, aber die Module lassen sich z. B. an einer ft-Grundplatte befestigen oder in einem Batteriefach bzw. einer Kassette mit Deckel unterbringen.

I²C-Befehle in Robo Pro

Die Ansteuerung von I²C-Devices am TX erfolgt in Robo Pro mit den seit Version 3.1.3 verfügbaren Befehlen „I²C Lesen“ (*Read*) und „I²C Schreiben“ (*Write*).



Abb. 4: Konfiguration des I²C-Write-Kommandos in Robo Pro

Der „I²C Schreiben“-Befehl ist ab Level 4 im Menu unter „Senden/Empfangen“ auswählbar. Er ermöglicht es, einen komplexen Sendevorgang in einem einzigen

Kommando zusammenzufassen. So kann der TX veranlasst werden, das Adress-Byte (inklusive *Write*-Bit) und bis zu vier weitere Daten-Bytes zu senden [4]. In den Eigenschaften des Befehls (rechte Maustaste) sind dafür festzulegen (Abb. 4):

- Die Geräteadresse des *Slave* (7 Bit, Angabe ohne das *Write/Read*-Bit).
- Eine bis zu zwei Byte lange Unteradresse (*Subaddress*); die Länge und Auswertungsreihenfolge (LSB = *Least Significant Byte* oder MSB = *Most Significant Byte* zuerst) kann gewählt werden.
- Ein bis zu zwei Byte langer Datenwert, dessen Länge und Auswertungsreihenfolge ebenfalls gewählt werden kann. Der Datenwert kann fest vorgegeben oder über einen Dateneingang (Häkchen setzen) übermittelt werden.

Schließlich müssen dem Bus-Controller des TX noch die gewünschte Übertragungsgeschwindigkeit (Betriebsart) und Fehlerbehandlung mitgeteilt werden:

- Der TX kann den I²C-Bus wahlweise mit 100 oder 400 kHz takten, also im *Standard* oder im *Fast Mode* betrieben werden. Die gewählte Betriebsart sollte der des langsamsten am I²C-Bus angeschlossenen *Device* entsprechen.
- Bei Übertragungsfehlern oder Kollisionen kann entweder die Übertragung abgebrochen, eine zehnmalige Wiederholung oder dauerhafte Wiederholungen bis zu einem erfolgreichen Versand gewählt werden. In den beiden ersten Fällen erhält der Befehl automatisch einen zweiten (Fehler-) Ausgang; bei der letzten Option „hängt“ das Programm, wenn es z. B. ein *Device* nicht erreichen kann.

Sollen weitere Datenbytes gesendet werden, setzt man bei „Offen lassen“ ein Häkchen, damit die Verbindung nicht mit einem *Stop*-Steuerbefehl beendet wird, und schickt die gewünschte Anzahl Daten-

pakete (Länge der Unteradresse = „Keiner“) hinterher.

Der „I²C Lesen“-Befehl ist in Robo Pro ebenfalls ab Level 4 im Menu „Senden/Empfangen“ verfügbar. Auch dieser Befehl fasst mehrere Schritte des Kommunikationsprotokolls zusammen: das Sendekommando an den *Slave* (Adress-Byte plus bis zu zwei weitere Bytes) und den Empfang der vom *Slave* übermittelten Daten (bis zu zwei Bytes).



Abb. 5: Konfiguration des I²C-Read-Kommandos in Robo Pro

Wie nun eine bestimmte I²C-Komponente konkret angesteuert wird und welche Befehle für welche Funktionen erforderlich sind, muss den Datenblättern des jeweiligen Sensors oder Aktors entnommen werden. In den folgenden Beiträgen stellen wir euch ausgewählte I²C-Komponenten und deren Ansteuerung aus Robo Pro im Detail vor.

Quellen

- [1] NXP: [I²C-bus specification and user manual](#), UM10204, Rev. 4 vom 13.02.2012.
- [2] Wikipedia: [I²C](#).
- [3] Ralph Timmermann: [I²C-Grundlagen](#). (abgerufen am 26.07.2012)
- [4] fischertechnik: *Robo Pro Online-Hilfe*, Abschnitt 8.2.7 und 8.2.8, Version 3.1.3, 2012.



*Fahrzeugmodell aus dem neuen fischertechnik-Kasten
[Cars & Drives](#) (Foto: fischertechnik)*