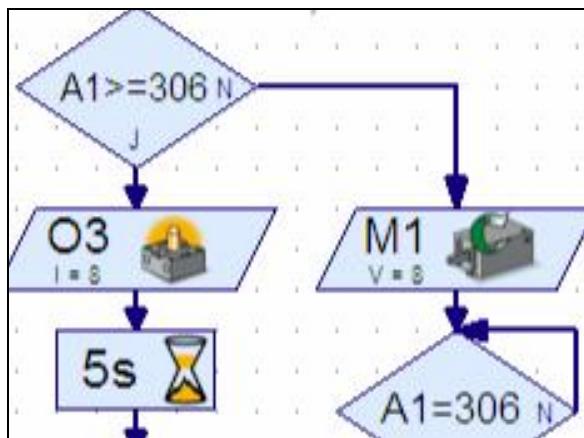
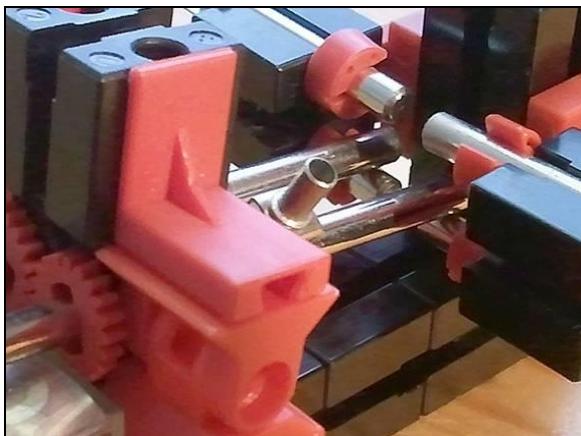
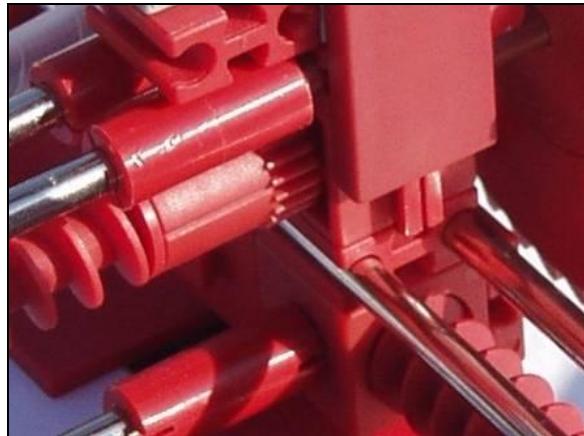
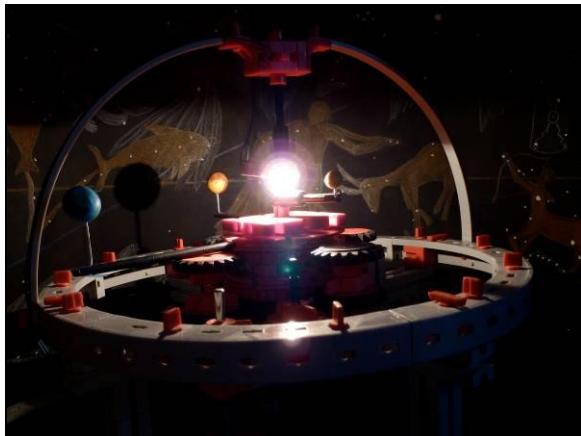


ft:pedia

Heft 4/2011



Herausgegeben von
Dirk Fox und Stefan Falk

ISSN 2192-5879

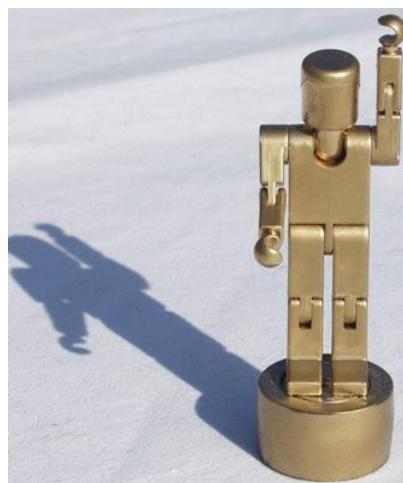
Editorial

Aller guten Dinge sind – vier.

Wir können es selbst kaum glauben – noch kein Jahr ist es her, dass uns die Idee einer fischertechnik-Zeitschrift „heimsuchte“, und schon halten wir die vierte Ausgabe in Händen. Mit 51 Seiten könnte sie glatt als kleines Büchlein durchgehen; zusammen mit den ersten drei Ausgaben sind so schon im ersten Jahr 160 Seiten geballtes fischertechnik-Know-How zusammen gekommen.

Das verdanken wir in erster Linie den Autoren, die sich von unserer Idee begeistern ließen, und ihren wirklich sensationellen Beiträgen – wir waren beim Lesen immer wieder von neuem verblüfft, was wir alles dabei lernen konnten.

Und wir verdanken diesen Erfolg auch den vielen ermutigenden Rückmeldungen von euch, die uns überzeugt haben, dass die Zeit für eine solche Zeitung reif ist (und wir nicht etwa an ein Hirngespinst glaubten). Bis heute wurde jede Ausgabe der ft:pedia zwischen 1.000 und 2.000 Mal von der [Webseite der ft:c](#) abgerufen – so eine hohe Auflage erreichen viele kommerzielle Fachzeitschriften nicht. Und wir sind überzeugt, dass das noch lange nicht das Ende der Fahnenstange ist: Schließlich arbeiten in Deutschland ca. 650.000 Ingenieure und besuchen 11,7 Millionen Kinder und Jugendliche eine allgemein- oder berufsbildende Schule – eine ausreichend große Zielgruppe also.



Dirk Fox, Stefan Falk

Wir haben uns vorgenommen, die Zahl der Downloads im kommenden Jahr auf über 5.000 je Ausgabe zu steigern. Helft uns dabei, indem ihr kräftig die Werbetrommel röhrt!

Die Themen werden uns zweifellos nicht ausgehen. Schon jetzt sind erste Beiträge für den zweiten Jahrgang fertig, weitere in Arbeit und noch mehr angekündigt... und unsere Ideenliste wächst noch schneller als die Seitenzahlen der bisherigen Ausgaben.

Wir freuen uns über jeden Beitrag oder Beitragsvorschlag von euch – ganz gleich, ob es sich dabei um einen kurzen Tipp oder einen ausführlichen Beitrag handelt. Gerne unterstützen wir euch beim „finalen Fein-tuning“.

Jetzt wünschen wir euch aber erstmal eine spannende Lektüre. Und sollte sich das eine oder andere fischertechnik-Päckchen unter eurem Tannenbaum finden, dürfte bei euch in den kommenden Tagen kaum Langeweile aufkommen...

Schöne Weihnachten und ein tolles neues fischertechnik-Jahr,
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

Aller guten Dinge sind – vier.....	2
Die Clubheft-Modelle (1969 – 2011).....	4
Motorsteuerungen (Teil 4)	6
Es muss nicht immer das Interface sein.....	21
Reparieren eines Hubgetriebes (37272, 75067).....	23
HP-GL-Plotter (Teil 1).....	26
Tricks mit Sensoren am Robo-Interface	35
Planetarium	39

Termine

Was?	Wann?	Wo?
<u>fischertechnik-Convention 2012</u>	29.09.2012	Erbes-Büdesheim

Hinweise

Ausgabe 3/2011 gibt es auch als gedruckte Fassung – erhältlich bei Knobloch für 2,50 € (Artikelnummer [80003](#)).

Impressum

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

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

Autoren: Lars Blome (lars.blome), Marcel Endlich
(endlich), Stefan Falk (steffalk), Dirk Fox (Dirk Fox),
Thomas Püttmann (geometer), Harald Steinhaus (Harald).

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.

Modellideen

Die Clubheft-Modelle (1969 – 2011)

Dirk Fox, Stefan Falk

Die fischertechnik-Clubhefte enthalten wahre Perlen – unter anderem viele anregende, interessante und lehrreiche Modelle. Um sie zu finden, muss man jedoch 90 Clubhefte aus 42 Jahren (inzwischen als [pdf-Datei verfügbar](#)) einzeln durchsuchen. Damit ihr schneller zum Ziel kommt, haben wir ein Verzeichnis aller Clubheft-Modelle zusammengestellt.

69-2	Flammenwächter, Schrägaufzug	75-4	Club-Modell Rotor-Antenne
69-3	Zeichenmaschine	76-1	Vogelstimmen-Imitator, Blitzlichtgerät
70-1	Differentialgetriebe	76-1	Club-Modell Ablaufbahn
70-3	Zahnradgetriebe	76-2	Leuchtturm, Kraftumlenkung, Kraftfahrzeuglenkung
71-1	Stempelmaschine, Garagentor mit Licht-Schalter	76-2	Club-Modell Loopingbahn
71-2	Automat zum Zusammenstecken zweier Bausteine 30	76-3	Hochrad, Abfüllanlage
71-3	Warenautomat	76-3	Club-Modell Kartengeber-Kartenmischer
72-1	Reaktionstestgerät	76-4	Türsicherungsanlage, Klappsmühle, Gurtsschlitten
72-2	Katze, Elektrisiermaschine	76-4	Club-Modell Auto der Zukunft
72-3	Fahrrad, Potentiometer	77-1	Drehmaschine, automatischer Schaukelstuhl, Dezimalwaage
72-4	Magnetschwebebahn, Autotrainer	77-1	Club-Modell Roboter
73-1	Uhr, Gleichstrommotor	77-1	Kleinmodelle: Chopper, Tieflader mit Raupe; Wechselgetriebe mit Rückwärtsgang
73-2	Schlauchpumpe, elektronisch gesteuerte Blumengießanlage	77-1	Club-Modell Elektronische Uhr
73-3	Vollautomatisches Horizontalbohrwerk, elektronisches Huhn	77-2	Unimog, Traktor, Ballenpresse
74-1	Portalkran (Container/Stückgut)	77-3	Club-Modell Tresor
74-1	Club-Modell Die Adler	77-3	Geschicklichkeitsspiel „Ruhige Hand“, XY-Schreiber, Periskop
74-2	Achterbahn (Kugelbahn), Scheibenwischer	77-4	Club-Modell Warenautomat
74-2	Club-Modell Schaufellader	77-4	Fahrsimulator, Ampelanlage, Scheibenwischer, Lenkung,
74-3	Geheimschriftmaschine, Radargerät	78-1	Scheibenbremse
74-3	Club-Modell Schaufelradbagger	78-1	Club-Modell Viertaktmotor
75-1	Schiffsschaukel, Kranantrieb	78-2	Flughafen: Wasser-/Toilettenfahrzeug, Gepäck-, Beleuchtungs-, Hubwagen, Hubschrauber
75-1	Club-Modell Morsegerät	78-2	Club-Modell Radargerät
75-2	Brummi (hobbywelt), Würfelline	78-3	Kleinmodelle: Kran, Jeep, Gra-
75-2	Club-Modell Spielautomat		
75-3	Porsche 908/03		
75-3	Club-Modell Autolift		
75-4	Kopiergerät, Schnecke		

	der, Wagenkran mit Anhänger, Hebebühne, Hafenkran, Traktor, Ackerwagen; Rummelplatz: Hau den Lukas, Kettenkarussel, laufende Schießscheibe, Rund fliegerkarussel, Riesenrad	96-2	Club-Modell 9: Harzer Fahrkunst
78-3/4	Club-Modell Autoscooter	97-1	Club-Modell 10: Auflieger für King of the Road
79-1	Nonsense: Batteriedackel Waldi, das doppelte Lottchen, der singende Hamster, Mondkalb Max	97-2	Club-Modell 11: Garagentor mit Solarantrieb
79-1	Club-Modell KKS KW '79 (Klingel-Klapper-Spritz-Knall-Wecker)	98-1	Club-Modell 12: Mobile Walker
79-2	Eisenbahn (BSB): Entladevor richtung für Container, Portal kran, kleiner Kran, Tieflader, Transportwagen, Kranwagen, Stellwerk-Haus, Hauptsignal, Lichtsignal, Lichtmast, Tele grafenmast, Schranke	98-2	Club-Modell 13: Traktor
79-2	Club-Modell Verladeanlage mit Förderband	99-1	Club-Modell 14: Sun Racer
79-3	Automation: Erschreck-Automat, Blumengieß-Automat, automat. Balkenwaage, Aufprall-Auto	99-2	Club-Modell 15: Schwerlast Truck
79-3	Club-Modell Spielautomat	00-0	Ventilator
79-4	Lauf-Drehkran, Berliner Funk turm, Turmdrehkran, Lemnis katenkran, selbst aufrichtender Baukran	00-1	Club-Modell 16: Transportband
79-4	Club-Modell Containerkran	00-2	Club-Modell 17: Pneumatik Bagger
88-3	Ranger	01-1	Club-Modell 18: Speed Crane
88-4	Fahrgeschäft: Zentrifuge	01-2	Club-Modell 19: mobil. Baukran
91-1	Club-Modell Schaufelradbagger	02-1	Club-Modell 20: Kugelbahn
92-1	Safari-Fahrzeug mit Anhänger	02-2	Club-Modell 21: Expeditions team
92-2	Ventilator	03-1	Club-Modell 22: Mobile Pneumatic Robot
92-3	Space-Gleiter	03-2	Club-Modell 23: Dragster
93-1	Tresor mit Codeschloss	04-1	Club-Modell 24: Taschentuch Spender
93-1	Ostereieranmalmaschine, Kran	04-2	Club-Modell 25: Autorampe
93-2	Club-Modell 1: Kettenlader	05-1	Club-Modell 26: Kranwagen
93-3	Club-Modell 2: Autotransporter	05-2	Club-Modell 27: Boxentruck
94-1	Club-Modell 3: Mobilkran	06-1	Club-Modell 28: Förderband mit LKW
94-2	Club-Modell 4: Super Loop	06-2	Club-Modell 29: Löschfahrzeug mit Rettungskorb
94-3	Club-Modell 5: Radar-Truck	07-1	Club-Modell 30: Segelboot mit Rampe
95-1	Club-Modell 6: Space Glider	07-2	Club-Modell 31: RC Greifer Skorpion
95-2	Club-Modell 7: Portalkran	08-1	Club-Modell 32: Feuerwehr Löschboot
96-1	Club-Modell 8: Pneumatik Combi Truck	08-2	Club-Modell 33: Winterdienst fahrzeug
		09-1	Club-Modell 34: Trike
		09-2	Club-Modell 35: Robo-Butler
		10-1	Club-Modell 36: Radarstation
		10-2	Club-Modell 37: Schiffschaukel
		11-1	Club-Modell 38: Traktor mit Anhänger (Kleinmodell)
		11-2	Club-Modell 39: Katapult

Schaltungstechnik

Motorsteuerungen (Teil 4)

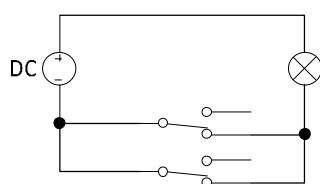
Stefan Falk

In [ft:pedia](#) Ausgabe 3/2011 gab es ja recht viel Theorie. Zur Weihnachtsausgabe wollen wir euch dafür mit mehreren Modellen beschäftigen. Aber natürlich werden wir auch etwas Neues erforschen: Wir werden Aufgabenstellungen meistern, die allein mit Tastern nicht zu realisieren sind, und dafür eine höchst interessante elektromechanische Baugruppe kennen lernen.

Dieses Mal gibt's also nicht nur was zum Lernen, sondern vor allem zum Bauen! Schließlich wollen die Weihnachtstage ja spannend gehalten werden. Fangen wir also gleich an:

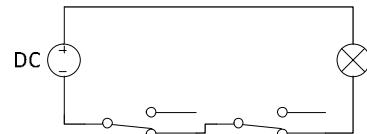
Modell 1: Es werde Licht!

Zum warm werden wollen wir eine Lampe von mehreren weit voneinander entfernten Schaltern aus beliebig ein- oder ausschalten. Was für Schaltungen könnten wir dafür verwenden? Bereits kennen gelernt haben wir die Parallelschaltung zweier Taster oder Schalter:



Schaltung 1: Parallelschaltung

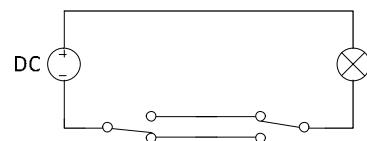
Mit dieser Schaltung könnten wir die Lampe von zwei Stellen aus einschalten – aber leider können wir sie nur ausschalten, wenn wir beide Schalter öffnen. Dazu müssten wir aber zum anderen Schalter laufen. Vielleicht klappt's mit der Serienschaltung?



Schaltung 2: Serienschaltung

So funktioniert's auch nicht: Beide Schalter könnten das Licht nun ausschalten, aber man muss beide einschalten, damit es hell wird. Wir brauchen also eine Schaltung, bei der man mit jedem Schalter das Licht umschalten kann, ganz egal wie der oder die anderen Schalter gerade stehen.

Diese Aufgabe können wir mit normalen Wechselschaltern lösen, indem wir sowohl die Ruhe- als auch die Arbeitskontakte der Schalter verwenden:



Schaltung 3: Wechselschaltung

Baut diese Schaltung einmal auf und probiert sie aus! Egal, wie einer der Schalter gerade steht: Durch Umschalten des jeweils anderen kann man es immer schaffen, dass die Lampe ein- oder ausschaltet wird. Immer gibt es eine Schalterstellung an demjenigen Schalter, an dem wir gerade stehen (die Schalter

sollen ja weit voneinander entfernt sein), die den Stromkreis je nach Wunsch schließt oder öffnet.

Mit den fischertechnik-Polwendeschaltern (Abb. 1) kann man sogar beliebig viele weitere Schalter einfügen, und immer noch kann jeder einzelne das Licht nach Belieben ein- oder ausschalten.

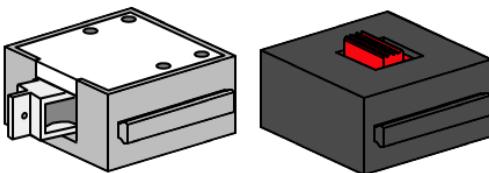
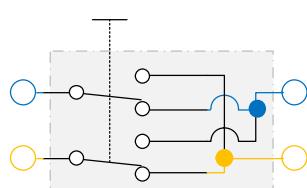


Abb. 1: Die fischertechnik Polwendeschalter 31331/31334 und 36708

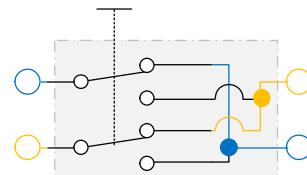
Vom neueren fischertechnik-Schalter 36708 wollen wir die Mittelstellung für unsere Beleuchtungsschaltung außer Acht lassen und annehmen, wir könnten ihn nur ganz in die Endlagen schalten. Dann wirkt dieser Schalter genau wie der ältere, in Abb. 1 links dargestellte Polwendeschalter 31331 bzw. 31334. Der hat sogar eine transparente Frontfläche, damit man genau sehen kann, wie er innen aufgebaut ist. Wer einen solchen Schalter besitzt, möge versuchen, die Drähte und Kontakte im Inneren genau zu verfolgen. Dabei können wir sehen, dass die Polwendeschalter tatsächlich aus zwei geschickt verschalteten Wechselschaltern bestehen, die gleichzeitig betätigt werden. Die Schaltung im inneren sieht nämlich so aus:



Schaltung 4: Polwendeschalter

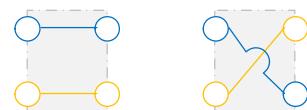
Die beiden Umschaltkontakte werden immer gleichzeitig vom Schalthebel betätigt. In der in Schaltung 4 gezeigten Stellung sind die beiden unteren Kontakte miteinander verbunden, und die beiden

oberen (prüft es nach!). Was ändert sich nun, wenn wir den Schalthebel umlegen?



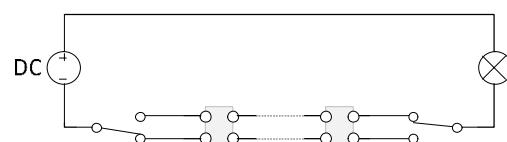
Schaltung 5: Stellung in Kreuzverbindung

Wie wir sehen, sind die Kontakte jetzt „diagonal“ miteinander verbunden, also der untere Kontakt links mit dem oberen rechts und der obere links mit dem unteren rechts. Es ist, als ob wir überkreuzte Leitungen gelegt hätten. Schaltung 6 stellt den Effekt beider Schalterstellungen gegenüber:



Schaltung 6: Die beiden Stellungen des Polwendeschalters

Mit solchen Schaltern können wir unsere Beleuchtung nun von mehr als nur zwei Stellen aus schalten. Tatsächlich geht das sogar mit beliebig vielen Schaltern, und immer noch erfüllt die Schaltung den Zweck, dass man das Licht ein- oder ausschalten kann, egal bei welchem Schalter man steht und egal wie die anderen Schalter gerade stehen:



Schaltung 7: Schalten von beliebig vielen Stellen aus

Die grauen Kästchen sind die Polwendschalter (egal welches Modell ihr gerade habt). Auch für die Schalter ganz links und rechts könnt ihr Polwendeschalter verwenden – lasst einfach einen Kontakt unbeschaltet.

Wer gar keinen Polwendeschalter besitzt, aber zwei der fischertechnik-Minitaster, kann sich auch leicht einen Polwendeschalter selbst bauen. Die Minitaster haben nämlich nicht umsonst auf ihrer Unterseite eine Aussparung: Dadurch kann man mehrere Taster übereinander bauen, und die werden dann (bis auf die Toleranzen) gleichzeitig umgeschaltet. Abb. 2 zeigt einen Bauvorschlag:

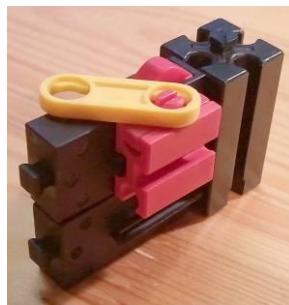


Abb. 2: Polwendeschalter selbstgebaut

Verkabelt die Taster gemäß Schaltung 4. Wichtig: Achtet dabei bitte darauf, wirklich schnell zu schalten. Wenn nämlich einer der beiden Taster ein wenig früher als der andere umschaltet, verursacht ihr damit für einen kleinen Augenblick einen Kurzschluss zwischen den Zentralkontakten! Überzeugt euch anhand des Schaltbilds davon. Deshalb verwendet ihr dabei besser ein fischertechnik-Netzgerät (keine Batterie und keinen Akku), denn die fischertechnik-Netzgeräte schalten bei Kurzschluss einfach ab, ohne Schaden zu nehmen.

Modell 2: Eine sichere Presse

Unser zweites Modell soll eine kleine, „halbautomatisch“ arbeitende Presse sein. Das bedeutet, dass diese Maschine einen Teil der Arbeit automatisch durchführen kann, andere Teile aber nicht.

Zweihandsteuerung

Wir wollen folgende Anforderungen an unsere Presse stellen:

1. Ein Mensch legt das zu pressende Werkstück in die Maschine ein. Dabei darf die Presse auf keinen Fall loslaufen – der Mensch hat ja noch seine Hände drin!
2. Die Maschine darf nur anlaufen, wenn der Mensch mit beiden Händen zwei so weit entfernte Taster drückt, dass er nicht noch versehentlich eine Hand in die laufende Maschine bekommen kann. Das nennt man eine *Zweihandsteuerung*, und das ist ein wichtiges Element für die Sicherheit!
3. Sobald der Mensch auch nur einen Taster loslässt, soll die Maschine automatisch weiterlaufen, bis die Presse wieder ganz geöffnet ist. Dort soll sie automatisch anhalten und nur wie in Punkt 2 beschrieben wieder starten können.

Abb. 3 und 4 zeigen einen Modellvorschlag (fast identisch gab es dieses Modell übrigens schon in fischertechnik-Anleitungen aus den 1970er Jahren). Wer mehr Teile zur Verfügung hat, kann das alles natürlich beliebig ausbauen.

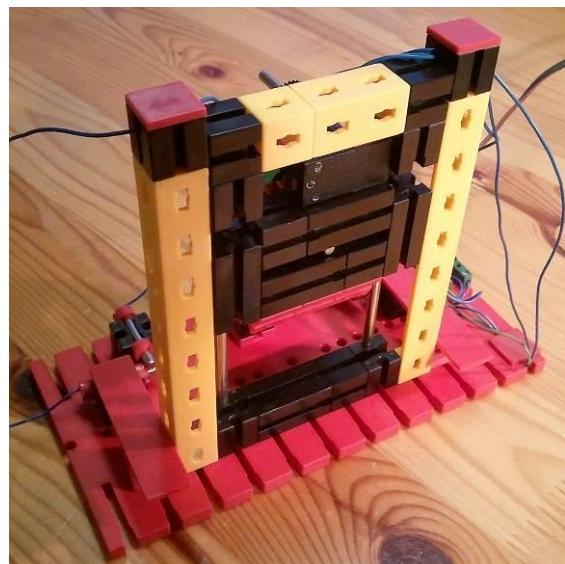


Abb. 3: Frontansicht der Presse

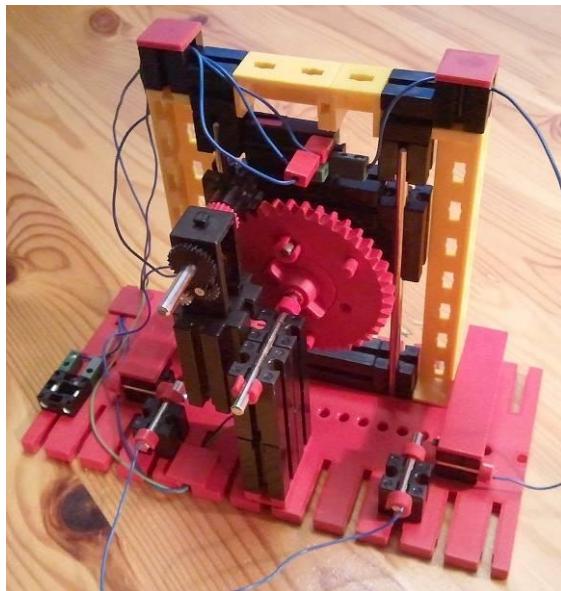


Abb. 4: Rückansicht der Presse

Selbstgebaute Taster

In unserem Modell zeigen wir auch eine Möglichkeit für den Fall, dass ihr nicht über drei Taster verfügt. Die beiden vom Arbeiter zu betätigenden Taster haben wir nämlich mit ganz normalen Standardteilen gebaut: Zwei Metallachsen stellen den Kontakt her, wenn man vorne auf die Bauplatten $15 \cdot 30$ drückt, und diefedern auch etwas.

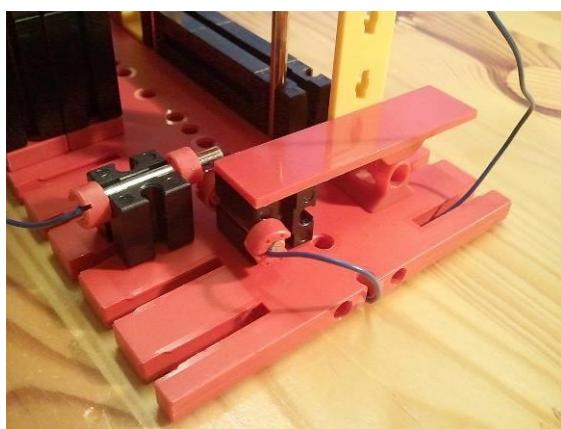


Abb. 5: Selbstbau-Taster

Zum Anschließen der Kabel an diese Selbstbautaster seien auch zwei Möglichkeiten genannt:

- Entweder, ihr schraubt einen Stecker je Leitung ab und klemmt die nun offene Litze einfach unter einen Klemmring.

- Oder ihr verwendet, falls ihr welche habt, die aus dem früheren Elektromechanikprogramm von fischertechnik stammenden [Klemmkontakte 31338](#) (bei einem unserer weiteren Modelle werdet ihr die noch verbaut sehen):



Abb. 6: Elektromechanik-Klemmkontakt 31338

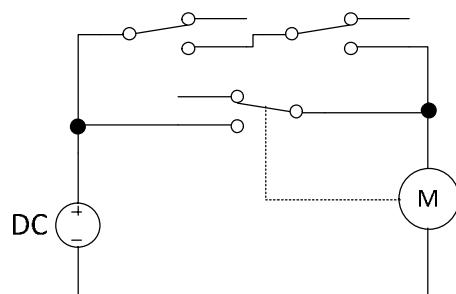
Und nun überlegt vielleicht erst selbst, wie wir die drei Taster und den Motor so verschalten können, dass er a) läuft, bis er in der oberen Endlage ankommt und b) nur durch gleichzeitiges Drücken der beiden äußeren Taster auch in dieser Endlage Strom bekommt.

Bevor ihr weiter lest natürlich!

Na! Nicht spicken!

Habt ihr's? Ausprobiert? Funktioniert?

Richtig! Wir setzen eine Kombination von Parallel- und Serienschaltung ein. Die Serienschaltung der beiden äußeren Taster bewirkt, dass da nur Strom durchfließen kann, wenn beide Taster *gleichzeitig* gedrückt werden. Nur dann darf der obere Endlagentaster, der den Motor rechtzeitig abschaltet, via Parallelschaltung überbrückt und somit der Motor doch zum Laufen gebracht werden:



Schaltung 8: Die Pressensteuerung

Die gepunktete Linie soll andeuten, dass es der Motor ist, der den Endlagentaster letztlich betätigt. Man muss also beide äußeren Taster gleichzeitig betätigen, um den Endlagentaster zu überbrücken – der Motor läuft an. Die Presse führt ihren so genannten „Hub“ aus und sollte so schnell durch ihre untere Endlage kommen, dass der Mensch seine Hände nicht mehr hinein bringen kann. Nach dem Loslassen auch nur eines der beiden Taster läuft die Presse nur noch bis zur oberen Endlage und bleibt dort stehen.

Modell 3: Alarmanlage

Unser nächstes Modell ist zwar mechanisch sehr einfach, aber elektromechanisch sehr interessant:

In manchen Krimis kommen „Stolperdrähte“ vor: Sobald man hindurch läuft, zerreißt man unbemerkt einen feinen Draht. Damit fließt kein Strom mehr durch ihn hindurch, und am Arbeitsplatz eines Wächters leuchtet eine rote Lampe auf.

Wie war das? Die Lampe leuchtet, wenn *kein* Strom mehr fließt? Bislang hatten wir immer Schaltungen gebaut, bei denen das Schließen eines Kontaktes auch direkt eine Lampe oder einen Motor einschaltet. Hier brauchen wir es aber genau andersherum: Sobald die Stromleitung *unterbrochen* wird, muss eine Warnlampe aufleuchten.

Umkehrung eines Signals

Anstatt eines Drahtes, der zerrissen wird, wollen wir einfach eine lange fischertechnik-Achse auf zwei andere Achsen auflegen und so den Kontakt herstellen.

Das geht noch ganz einfach: Sobald man die lange Achse irgendwie abhebt, wird dadurch der Kontakt zwischen den beiden Anschlüssen unterbrochen.

Wie bekommen wir aber unsere Warnleuchte genau dann eingeschaltet, wenn die beiden kurzen Achsen *nicht* verbunden sind?



Abb. 7: „Stolperdraht“

Das Relais

Überlegen wir: Wenn die Achsen Kontakt haben, fließt Strom. Damit könnten wir einen Verbraucher ansteuern. Und der muss nun eben dafür sorgen, dass ein anderer Verbraucher ausgeschaltet wird.

Man kann sich sicher viele Lösungen für dieses Problem ausdenken, aber eine ist besonders einfach und klar: Das so genannte *Relais* (dieses englischsprachige Wort wird ausgesprochen wie *Relee* oder *Reläi*). Es handelt sich einfach um einen Elektromagneten, der mit seiner magnetischen Kraft Kontakte ein-, aus- oder umschaltet, sobald er Strom bekommt.

Relais haben bei fischertechnik schon eine lange Geschichte. Mit den ersten Elektromechanik-Baukästen von 1969 konnte man bereits selber welche bauen, und schon seit den frühen 1970er Jahren gab es auch fertige Relais zu kaufen.

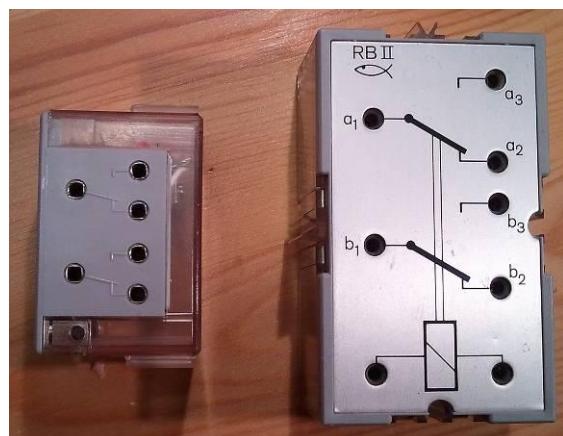


Abb. 8: Relais em-5 von 1971 (30075), Relais em-10 bzw. RB II von 1974 (30246, 37683)

Abb. 8 und 9 zeigen die zwei meistverwendeten rein elektromechanisch funktionierenden Relais, die es von fischertechnik gab (es gab noch weitere, die etwas Elektronik eingebaut hatten – dazu kommen wir in einer anderen Ausgabe der ft:pedia).



Abb. 9: Blick auf das Innere der Relais

Beide leisten genau dasselbe: Ein Elektromagnet betätigt gleichzeitig zwei Umschaltkontakte. Das auf dem RB II aufgedruckte Schaltbild zeigt es deutlich (aufgezeichnet ist immer der Ruhezustand, also bei ausgeschaltetem Elektromagneten).

Damit kann man richtig viel anfangen: Verbraucher *einschalten*, *ausschalten*, oder sogar (denkt an unsere Schaltung 4!) einen Motor *umpolen*. Und wir werden nachher noch sehen, dass Relais noch viel mehr können als das.

Relais sind tatsächlich vielseitig genug, dass man mit hinreichend vielen davon sogar richtige frei programmierbare Computer bauen kann. Solche gab es tatsächlich, zum Beispiel den von [Konrad Zuse](#) erbauten [Zuse Z3](#) von 1941, in dem viele hundert Relais verbaut waren:



Abb. 10: Relaiscomputer Zuse Z3
(Quelle: Wikipedia)

Ein Relais – selbst gebaut!

Leider gibt es im aktuellen Programm von fischertechnik keine Relais mehr (man kann sie aber noch gebraucht kaufen). Das hält uns als fischertechniker aber natürlich nicht auf – bauen wir eben selber eines! Es genügen ein kräftiger Elektromagnet, ein paar Metallachsen und einige Standardteile. Hier ist eine Möglichkeit:

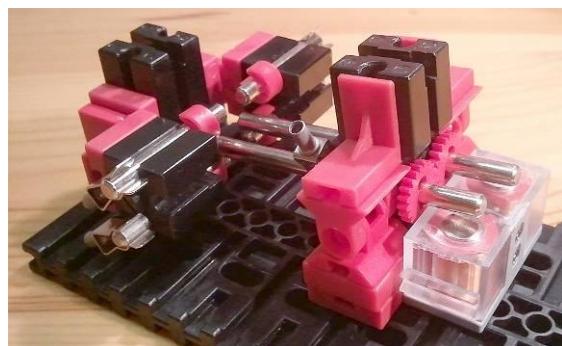


Abb. 11: Relais im Eigenbau

Diese Variante ist eine mit dem etwas neueren, recht starken Elektromagneten, der unten einen Zapfen hat und damit leicht zu befestigen ist. Zwei Metallachsen sind gelenkig gelagert und fallen links im Bild auf zwei kurze Metallachsen unten. Damit sind schon zwei Kontakte hergestellt. Bekommt der Magnet Strom, zieht er die längeren Metallstangen an. Dadurch werden diese links im Bild nach oben bewegt, trennen sich also von den unteren Kontaktstangen und liegen dann an den oberen an.

Damit haben wir ein Relais mit zwei Umschaltkontakte gebaut – und können all das damit anfangen, was man auch mit den fertigen Relaisbausteinen tun kann!

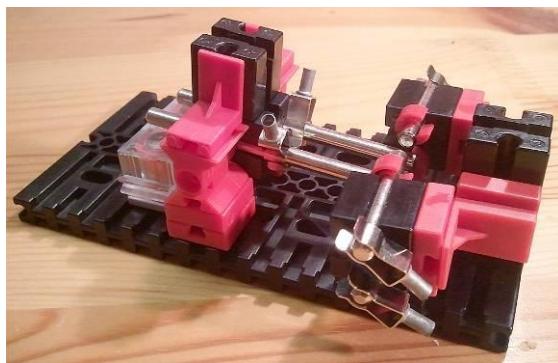


Abb. 12: Relais im Eigenbau

Zum Bau des Relais noch einige Hinweise:

- Ganz wichtig: Über den Elektromagneten müsst ihr einen Streifen Tesafilm kleben. Der Magnet besteht nämlich aus einem *durchgehenden* Metallbügel, um den Draht gewickelt ist. Ohne eine Isolation würden die beiden langen Achsen beim Anziehen des Magneten durch diesen Metallbügel kurzgeschlossen, also elektrisch verbunden. Das können wir in unseren Schaltungen aber nicht gebrauchen; da benötigen wir zwei getrennte Umschaltkontakte.
- Zur Justage: Die Achsen müssen leichtgängig kippen können. Die kurzen Kontaktachsen müsst ihr in der Höhe so justieren, dass die langen Achsen bei ausgeschaltetem Magneten guten Kontakt mit den unteren Kontaktachsen haben, und dass bei eingeschaltetem Magneten guter Kontakt mit den oberen kurzen Achsen hergestellt wird. Dabei ist es hilfreich, dass die Gelenkbausteine etwas Spiel haben. Erst wenn alles zuverlässig funktioniert, werden auch die damit gebauten Modelle gut funktionieren.
- Wer die in den Bildern sichtbaren Kontaktfedern aus dem älteren Elektromechanik-Programm von fischer-

technik nicht besitzt, verwendet stattdessen einfach wie im ersten Modell Klemmringe, nimmt von den Leitungen je einen Stecker ab und klemmt die Litze unter die Klemmringe.

- Falls ihr die Kontaktfedern einsetzt, ist es nützlich, die Bausteine 15 so einzubauen dass ihr Zapfen zwischen den Kontaktfedern zu liegen kommt. Dadurch können sich die Kontakte mit Steckern darin nicht so weit verdrehen, dass sie einander berühren und wiederum einen Kurzschluss verursachen.

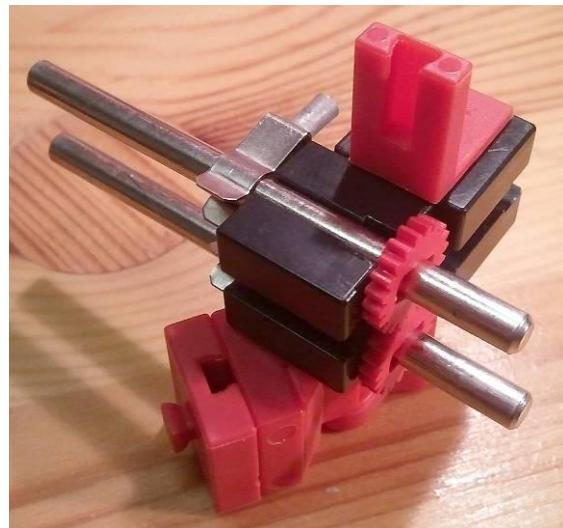


Abb. 13: Relais im Eigenbau

Falls ihr den älteren Elektromagneten habt, der unten den Metallbügel herausstehen hat und für 6,8 V Spannung gedacht ist, müsst ihr diesen etwas anders befestigen; auch dafür haben wir einen Vorschlag (der für beide Magnet-Typen geeignet ist):

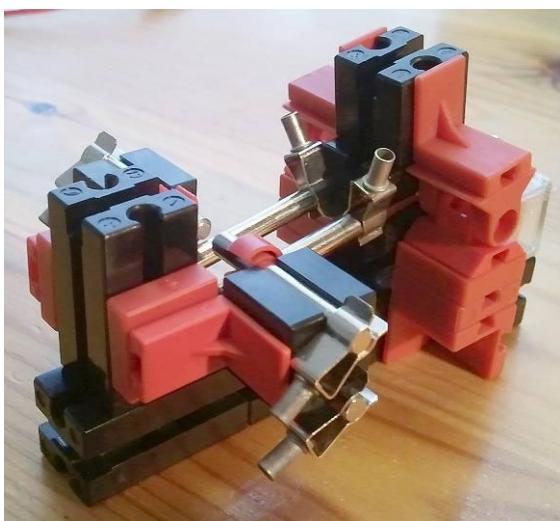
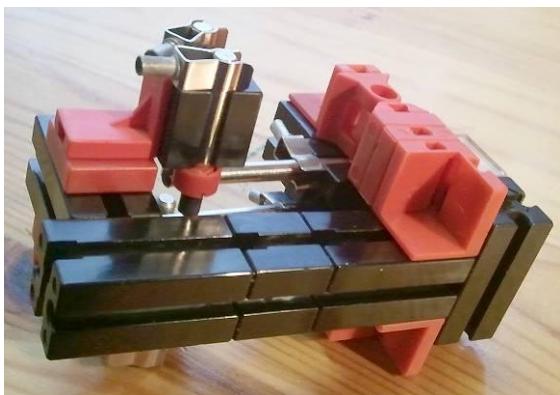
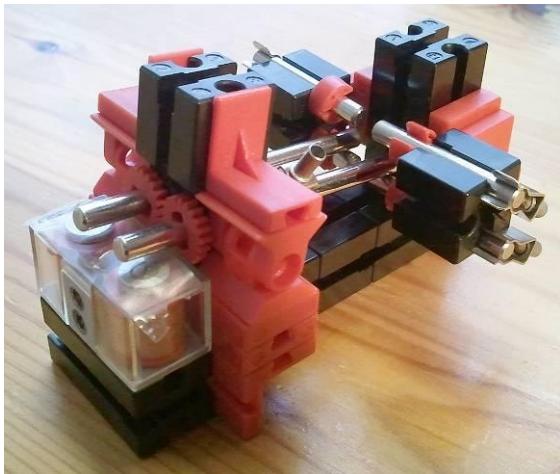
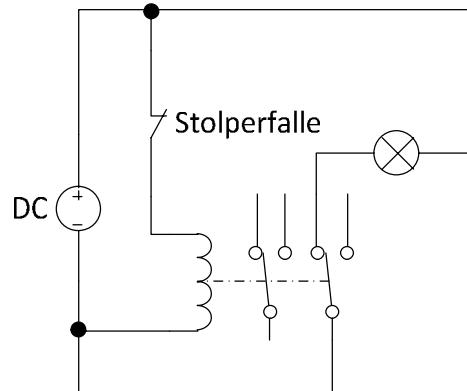


Abb. 14: Variante für den älteren E-Magneten

Die Schaltung der Alarmanlage

Nun wollen wir unser Relais für unsere Alarmanlage verwenden (natürlich könnt ihr auch eines der fischertechnik-Relais verwenden, wenn ihr eines besitzt). Der Magnet des Relais wird nun also über unseren Stolperdraht-Ersatz versorgt und

schaltet eine Lampe aus, solange er anzieht. Das ergibt folgendes Schaltbild:



Schaltung 9: Alarmanlage

Die Lampe wird also über einen Ruhekontakt des Relais angesteuert und erhält somit Strom, wenn das Relais *nicht* angezogen hat. Das passiert, sobald die Achse unserer „Stolperfalle“ entfernt wird und der Elektromagnet des Relais also keinen Strom mehr bekommt.

Voilà! Damit leuchtet die Warnlampe auf, wenn der Stromkreis des Elektromagneten *unterbrochen* wurde! Wer einen besitzt, kann natürlich auch einen Summer oder ersatzweise einen Motor verwenden, um auch akustisch Alarm zu schlagen.

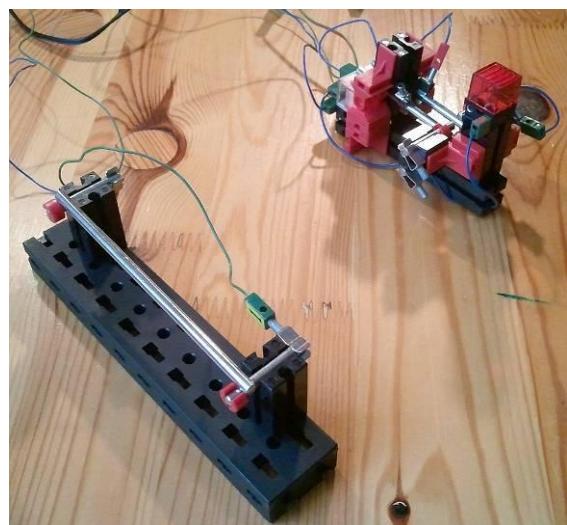


Abb. 15: Die fertige Alarmanlage

Modell 4: Geheimfach

Diese einfache Anwendung eines Relais wollen wir noch etwas erweitern. Stellt euch vor, der Wächter schaut gerade mal kurz nicht auf die Warnlampe, ein Einbrecher nimmt unsere Achse weg (die Lampe leuchtet auf, aber der Wächter sieht es nicht), geht hindurch – und legt die Achse einfach wieder auf. Dadurch erlischt die Warnlampe wieder, weil der Elektromagnet jetzt wieder anzieht. Damit bleibt der Einbruch unbemerkt, wenn der Wächter mal kurz nicht aufpasst.

Wünschenswert wäre es also, dass die Warnlampe *weiterhin* leuchtet, auch wenn der Einbrecher die Achse wieder auflegt. Sobald also die Achse ein Mal – und sei es nur ganz kurz – entfernt wurde, soll die Lampe aufleuchten und *leuchten bleiben*.

Das wollen wir an unserem nächsten Modell erforschen, einem kleinen Geheimfach. Eine Warnleuchte soll leuchten, wenn jemand das Fach geöffnet hatte, während ihr gerade nicht da wart. Insbesondere soll sie auch weiter leuchten, wenn die geheime Schublade wieder geschlossen wurde!

Einen Modellvorschlag für das Geheimfach seht ihr in den folgenden Bildern.

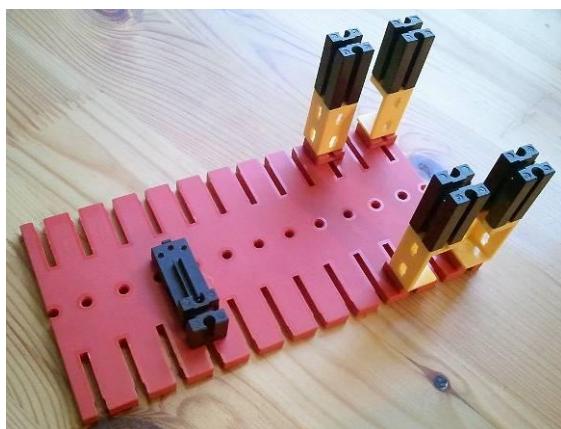


Abb. 16: Baustufe 1 des Geheimfachs

Dies ist die Grundlage: Vier Pfeiler, die unsere Schublade führen, und ein Taster, der gedrückt werden wird, wenn die Schublade geschlossen ist.



Abb. 17: Die Geheimfach-Schublade

Die Schublade hat vorne einen Griff (den Baustein 15 rechts) und hinten einen Verbinder 30, der den Taster betätigen, aber auch dafür sorgen wird, dass man die Schublade nicht zu weit herausziehen kann.

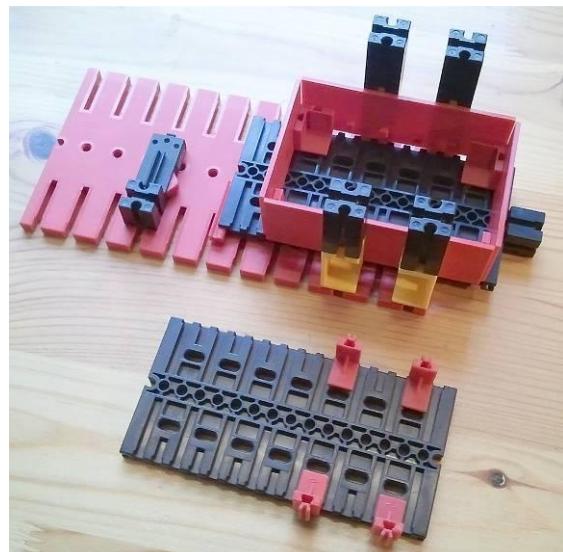


Abb. 18: Zusammenbau des Geheimfachs

Schließlich kommt noch die Abdeckung von oben über die Schublade – fertig.

In geschlossenem Zustand sieht man nicht ins Innere der Geheimschublade, und der Taster wird gedrückt. Wenn man das Fach herauszieht, wird dieser Taster losgelassen.

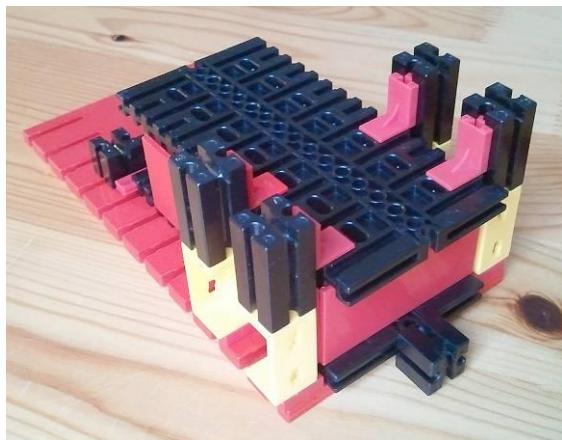


Abb. 19: Das Geheimfach – geschlossen

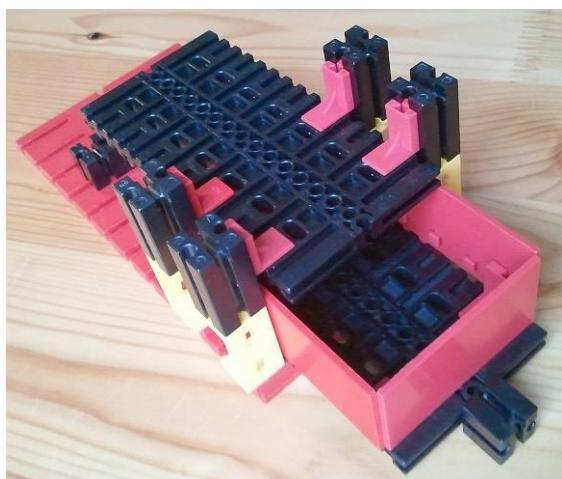
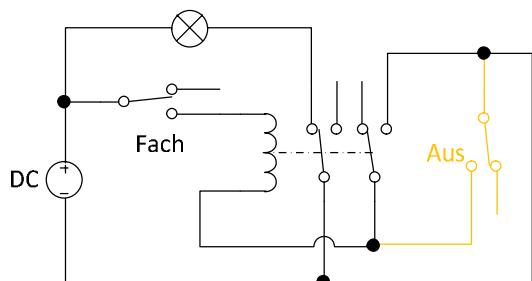


Abb. 20: Das Geheimfach – geöffnet

Selbstsperrung eines Relais

Nun brauchen wir noch die Elektrik wie bei unserer ersten Alarmanlage, nur dass die Lampe auch dann weiter leuchten soll, wenn die einmal geöffnete Schublade wieder geschlossen wurde. Schauen wir uns dazu die folgende Schaltung an:



Schaltung 10: Geheimfach-Schaltung

Wie in unserer ersten Alarmanlage wird die Lampe leuchten, sobald das Relais

abfällt (der Magnet also stromlos wird). Nehmen wir an, das Fach sei geschlossen, der zugehörige Taster also gedrückt. Nun muss das Relais anziehen, damit die Warnleuchte erlischt. Nur – das Relais kann nicht anziehen, denn es versorgt *sich selbst*, also seinen Magneten, über einen seiner eigenen Arbeitskontakte. Deshalb benötigen wir noch einen Taster, der den zunächst ja unterbrochenen Kontakt überbrückt. Der ist in orange im Schaltbild eingezeichnet und dient also dazu, die Alarmanlage zurück zu setzen.

Nach dem Einschalten des Stroms wird also die Warnlampe leuchten – der Magnet bekam ja noch nie Strom – bis wir einmal kurz den Aus-Taster betätigen (während das Fach geschlossen ist). Dann wird das Relais die ganze Zeit angezogen sein – die Warnlampe bleibt aus.

Sobald jemand die Schublade öffnet, wird der Taster losgelassen. Dadurch kann kein Strom mehr durch den Magneten fließen und das Relais fällt ab. Die Warnlampe leuchtet also auf, und außerdem nimmt sich das Relais *selbst* die Möglichkeit, wieder anzuziehen! Es unterbricht ja seine eigene Stromzufuhr, selbst wenn das Fach wieder geschlossen wird.

Diesen Schaltungstrick nennt man die *Selbstsperrung* des Relais. Wenn es also einmal abgefallen ist, kann es nicht mehr ohne weiteres wieder anziehen. Es „merkt“ sich sozusagen selbst, dass es einmal abgefallen war. Also leuchtet die Warnlampe weiterhin, wenn wir wieder ins Zimmer kommen. So können wir feststellen, ob jemand unser Geheimfach in unserer Abwesenheit öffnete. Der Aus-Taster muss natürlich irgendwo versteckt angebracht werden.

Überlegt und probiert bitte noch aus, was passiert, wenn der Strom ausfällt, während ihr abwesend seid. Was geschieht, wenn der Strom wieder kommt?

Modell 5: Ein komfortables Tor

Die Fähigkeit eines Relais, sich bei richtiger Verschaltung einen nur kurzzeitig bestehenden Zustand zu merken, wollen wir noch etwas ausbauen. Dazu wollen wir ein komfortabel zu bedienendes automatisches Tor mit folgenden Eigenschaften bauen:

- Es soll je einen Taster für „auf“ und „zu“ geben.
- Es soll genügen, den „auf“-Taster *kurz* zu drücken, damit das Tor sich ganz öffnet (auch wenn dieser Vorgang länger dauert als wir den Taster gedrückt halten).

- Ebenso soll es genügen, den „zu“-Taster *kurz* zu drücken, damit sich das Tor wieder schließt.
- Wenn das Tor bereits auf bzw. zu ist, soll sich nichts ändern, wenn wir den auf- bzw. zu-Taster weiterhin oder nochmal betätigen.

Unser Modellvorschlag passt auf eine Bauplatte 500, mitsamt dem Tor, dem Antrieb, den Tastern und einem Relais. Das Tor könnt ihr natürlich nach Belieben größer und aufwändiger bauen.

Rechts vorne seht ihr die beiden Taster für „auf“ und „zu“. Das Tor selbst besteht einfach aus zwei Verkleidungsplatten $30 \cdot 60$, die auf einen Baustein 30 aufgeschoben werden. Dieser Baustein gleitet an

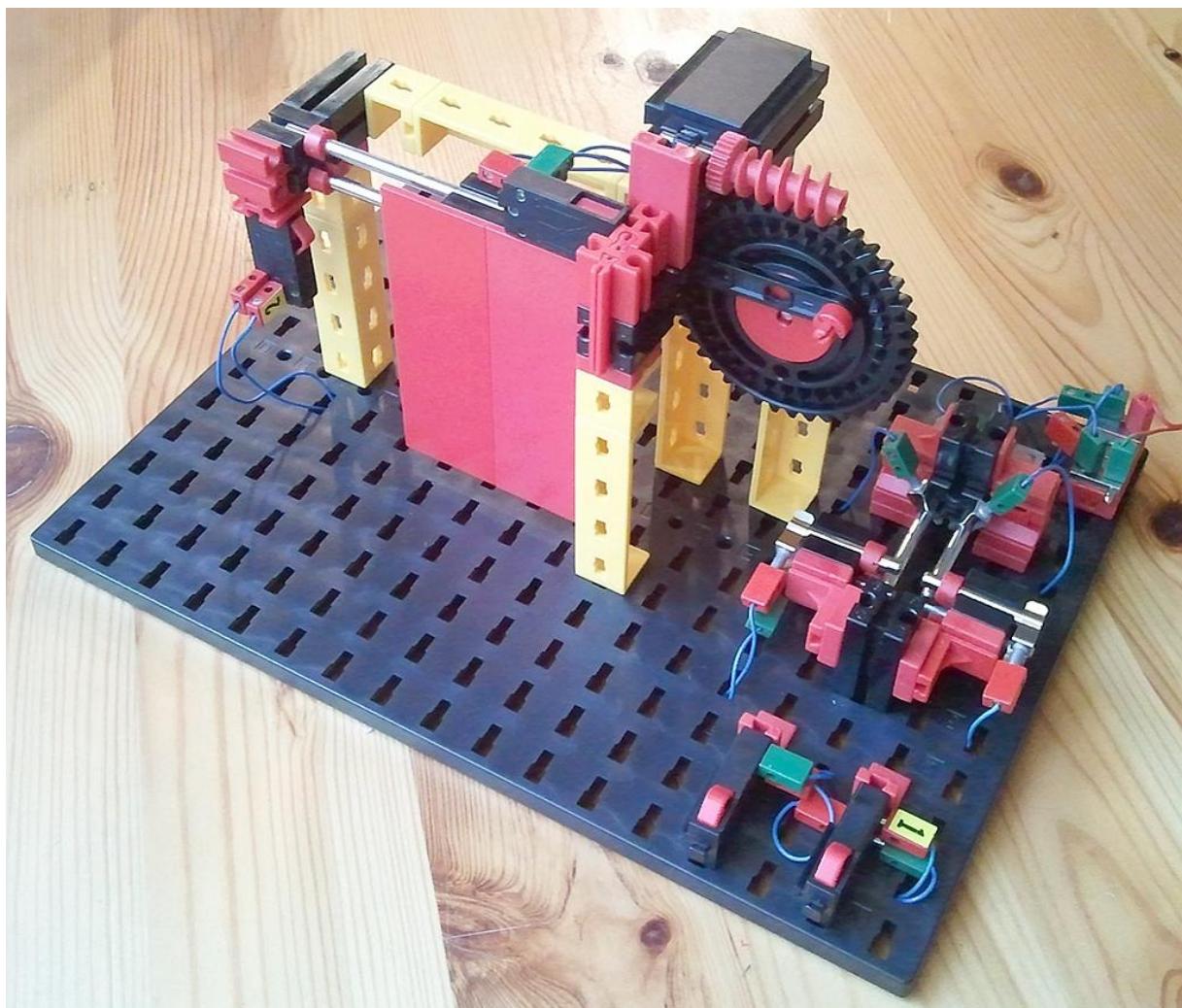


Abb. 21: Frontansicht des Tors

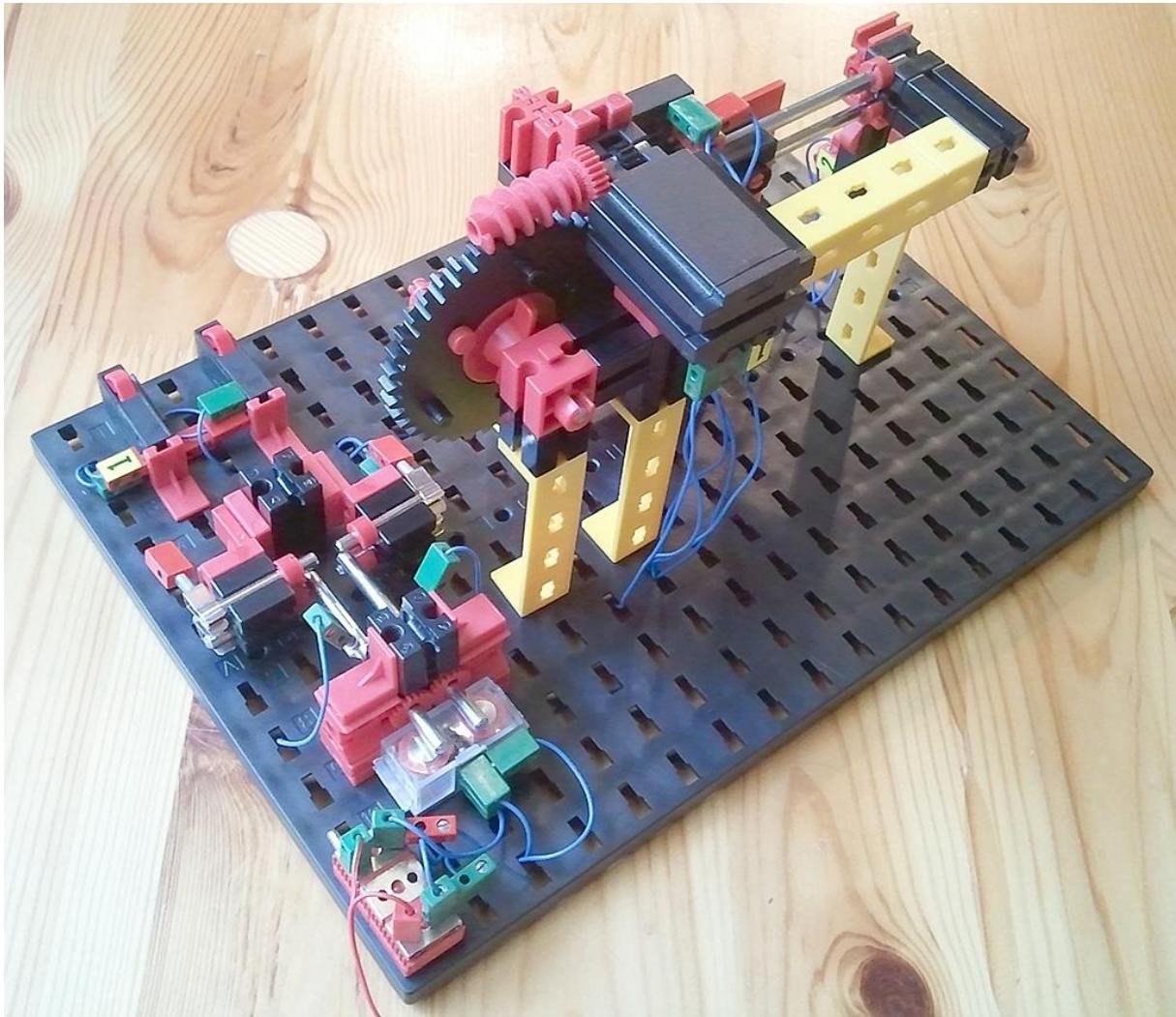


Abb. 22: Rückansicht des Tors

zwei Achsen 110 entlang, die links und rechts mit Klemmringen fixiert sind.

Obenauf sitzt ein Motor, der ein Z40 dreht, welches als Exzenter wirkt: Eine Statikstrebe, in einem der Löcher des Z40 fixiert und am anderen Ende mit einem [Strebenadapter 31848](#) am hin und her gleitenden Baustein 30 befestigt, bewirkt, dass beim endlosen Drehen des Z40 das Tor ständig auf und zu geht.

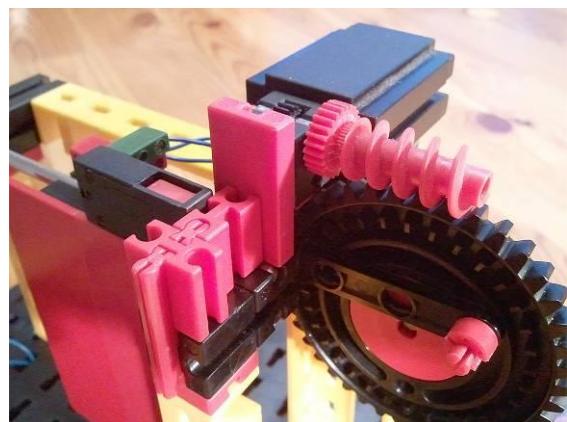


Abb. 23: Detailblick aufs Exzenter

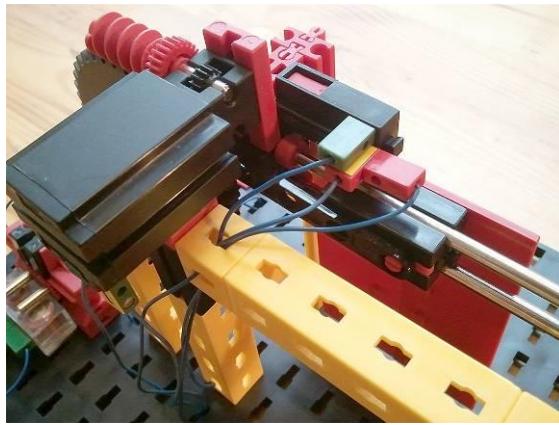
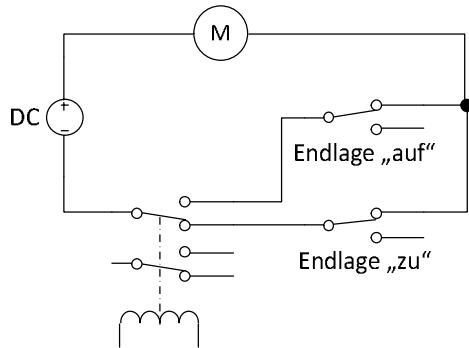


Abb. 24: Detailansicht des Torantriebs

An beiden Endlagen des Tores sind Taster angebracht, die also gedrückt werden, wenn das Tor *ganz geöffnet* bzw. *ganz geschlossen* ist. Würden wir den Motor einfach endlos laufen lassen, würde er durch den Exzenter das Tor ständig öffnen und wieder schließen.

Signalspeicherung

Unser Relais soll nun mit seinem abgefallenen bzw. angezogenen Zustand bewirken, dass das Tor geschlossen bzw. geöffnet wird. Das heißt, bei abgefallenem Relais muss der Motor so lange Strom bekommen, bis der „geschlossen“-Endlagentaster gedrückt wird, und bei angezogenem Relais muss der Motor so lange laufen, bis der „geöffnet“-Endlagentaster gedrückt wird. Das leistet die folgende Schaltung:



Schaltung 11: Schaltungsentwurf I für das Tor

Je nach Zustand des Relais – abgefallen oder angezogen – bekommt der Motor über den jeweils zuständigen Endlagentaster

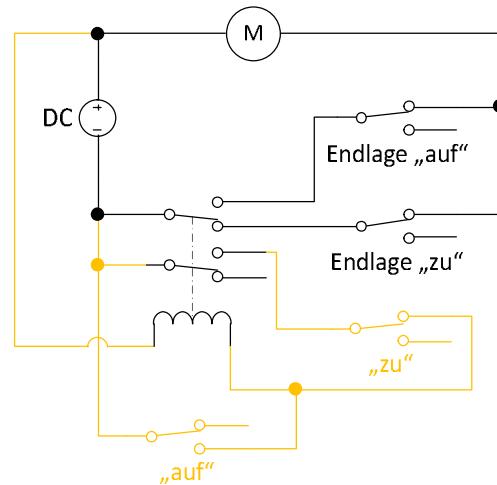
Strom, bis dieser gedrückt wird. Die Endlagentaster werden als Öffner, also über Zentral- und Ruhekontakt, angeschlossen.

Selbsthaltung eines Relais

Jetzt müssen wir noch unsere Bedienungstaster anschließen und alles so verschalten, dass sich das Relais beide Tastendrücke „merkt“. Drücken wir den „auf“-Taster kurz, muss das Relais anziehen *und angezogen bleiben*, auch wenn wir den „auf“-Taster wieder loslassen. Dadurch wird der Motor das Tor zuverlässig *ganz öffnen*, also laufen bis der „auf“-Endlagentaster seine Stromzufuhr unterbricht.

Ebenso muss danach das Relais beim Drücken des „zu“-Tasters abfallen *und abgefallen bleiben*, auch wenn wir den „zu“-Taster wieder loslassen. Dadurch wird der Motor also so lange laufen, bis das Tor *ganz geschlossen* ist.

Ähnlich wie die Selbstsperrung in unserer ersten Alarmanlagen-Schaltung gibt es auch eine *Selbsthaltung*, also das „Merken“, dass das Relais einmal angezogen war. Für unsere Torschaltung benötigen wir beides, denn das Relais muss den jeweils letzten Tastendruck – „auf“ oder „zu“ – speichern, damit das Tor auch wirklich ganz auf oder zu geht. Das gelingt mit dieser orangefarben eingezeichneten Ergänzung zu Schaltung 11:



Schaltung 12: Die fertige Torschaltung

Wie funktioniert diese Schaltung? Nach dem Einschalten der Stromversorgung ist das Relais zunächst abgefallen. Falls das Tor nicht bereits geschlossen ist, wird der Motor es also schließen, bis der „zu“-Endlagentaster betätigt ist.

Nun drücken wir den „auf“-Taster, denn wir wollen das Tor öffnen. Dieser Taster versorgt dann den Relaismagneten mit Strom. Das Relais zieht also an; der Motor beginnt, das Tor zu öffnen. Das Relais gibt nun aber auch Strom auf den „zu“-Taster, der ja im Moment nicht gedrückt ist, also leitet! Deshalb bekommt das Relais auch *weiterhin* Strom, selbst wenn wir den „auf“-Taster wieder loslassen. Es genügt also ein *kurzer* Druck auf den „auf“-Taster, und das Relais wird anziehen und durch die Selbsthaltung *angezogen bleiben*, sodass das Tor Zeit hat, sich ganz zu öffnen.

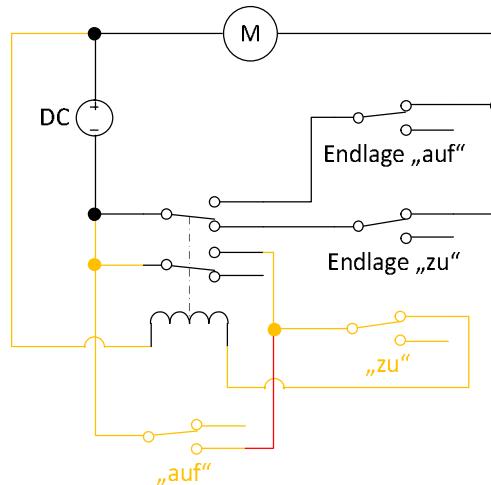
Die Selbsthaltung des Relais wird aufgehoben, wenn wir den „zu“-Taster drücken. Der unterbricht dann die Stromzufuhr des Magneten, denn den „auf“-Taster haben wir ja längst losgelassen. Das Relais fällt also ab; das Tor schließt sich. Vor allem *bleibt* das Relais abgefallen, denn es hat sich gerade selbst die eigene Stromzufuhr gekappt – auch wenn wir den „zu“-Taster wieder loslassen.

Wir haben hier also die Selbsthaltung und die Selbstsperrung eines Relais in ein und derselben Schaltung vor uns. Experimentiert ausgiebig mit dem Tor und beobachtet, was passiert, wenn man etwa einen der Bedienungstaster einfach gedrückt hält, oder wenn man beim sich öffnenden Tor einen der beiden Taster nochmal drückt, usw. Das Tor sollte sich immer „*ordentlich*“ nach unseren Anforderungen verhalten. Falls nicht, prüft nochmal eure Verdrahtung. Vielleicht müsst ihr auch die Kontakte des Relais etwas nachjustieren.

Vorrang

Eine Frage bleibt noch: Was passiert denn, wenn wir *beide* Taster, also „auf“ und „zu“, *gleichzeitig* drücken? Überlegt anhand des Schaltbilds, und probiert es aus!

Schaltung 12 ist so angelegt, dass „auf“ Vorrang hat. Das Tor wird sich bei gleichzeitigem Betätigen beider Taster also öffnen, weil der „auf“-Taster nicht nur den Relaiskontakt, sondern auch den „zu“-Taster einfach überbrückt. Durch ändern einer einzigen Verbindung können wir auf Wunsch aber auch erreichen, dass „zu“ Vorrang hat, das Tor sich also bei beiden gedrückten Tastern schließen wird:



Schaltung 13: Die rote Leitung gibt Taster „zu“ Vorrang

Jetzt kann der „auf“-Taster nur noch den Relaiskontakt überbrücken, das Relais also einschalten, wenn es abgefallen war. Aber nur, wenn „zu“ gerade unbetätigt ist! Der Strom für den Magneten des Relais muss jetzt immer durch den „zu“-Taster, und wenn der gedrückt wird, bekommt der Magnet niemals Strom. Das Tor wird sich also im Zweifelsfall schließen. Je nach Anforderung könnte ja beides erwünscht sein, und ihr seht, dass all dies durch einige geschickt verlegte Leitungen – und mit dem Relais – erreicht werden kann.

Wie geht's weiter?

Wenn ihr die ersten vier Folgen dieser Reihe in der ft:pedia durchgearbeitet und verstanden habt, will ich euch dafür mal ein dickes „Danke!“ sagen. Ich hoffe, es hat euch ebenso viel Freude und Neues gebracht, wie mir das Schreiben Spaß machte.

Und selbstverständlich geht es weiter! Im nächsten Jahr werden wir weitere Schaltungen kennenlernen, mehrere Relais

gleichzeitig einsetzen, programmgesteuerte Maschinen (ohne Computer!) bauen und eine ganze Reihe furchtbar interessanter Schaltungen und Tricks mit einfacher Elektronik kennenlernen. Wie bisher werden wir natürlich mit einem Minimum an Bauteilen auskommen, damit möglichst viele von euch alles nachbauen und studieren können.

Euch ein schönes Weihnachtsfest, und über die Weihnachtsfeiertage viele spannende Stunden mit euren Relais-Modellen.

Einstigermodell

Es muss nicht immer das Interface sein

Marcel Endlich

Ich hatte eine Modellidee, bei der ich zunächst dachte, ich bräuchte das Robo Interface oder den TX Controller, aber nach längerem Nachdenken kam ich auf eine Idee, wie ich mein Modell auch ohne Interface in Betrieb nehmen kann.

In den letzten Ausgaben der ft:pedia hast du verschiedene einfache und anspruchsvollere Schaltungen kennengelernt. Nun möchte ich dir hier meinen Geldautomaten mit Kartenleser vorstellen, den du ganz einfach ohne Interface oder TX Controller bauen kannst.



Abb. 1: Geldautomat

Bei vielen Radfahrzeugen, Gebäuden oder bei Mechanikmodellen brauchen wir kein Interface. Aber geht das auch mit einem Geldautomaten mit Kartenleser? Ja! Bei einem einfachen Geldautomaten kann man mit einem Taster, einem Magnetventil, zwei Handventilen, mehreren Pneumatikschläuchen, einem Kompressor und natürlich einer Stromversorgung ohne Interface oder TX Controller ein ganz einfaches und unkompliziertes Modell bauen, das auch für den Laien verständlich ist.



Abb. 2: Taster + Karte im Kartenleser

Der Geldautomat hat zwei verschiedene „Steuerkreise“: die elektrische Schaltung und die pneumatische Steuerung, die z. B. die Pneumatikzylinder beinhaltet. Du hast also zwei Kreise, einmal einen Stromkreis und einmal einen „Druckluftkreis“.

Am besten wir schauen uns das einmal im Schaltplan genauer an:

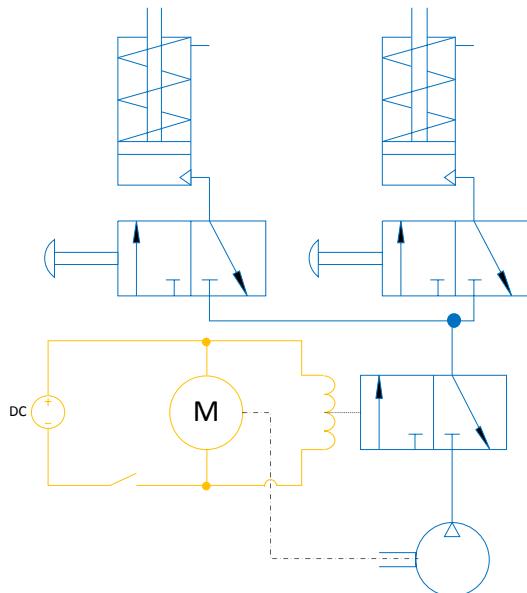


Abb.3: Schalt- und Druckluftplan

Die elektrischen Komponenten sind orange gezeichnet, die pneumatischen blau. Im Schaltplan von Abbildung 3 kannst du die verschiedenen Komponenten der elektrischen Schaltung gut erkennen. Wenn du den Taster drückst, werden die beiden Aktoren, Kompressor-Motor und Magnetventil, mit Strom versorgt.

Der Kompressor erzeugt nun Luftdruck und das Magnetventil schaltet den Luftweg vom Kompressor zu den Handventilen frei.

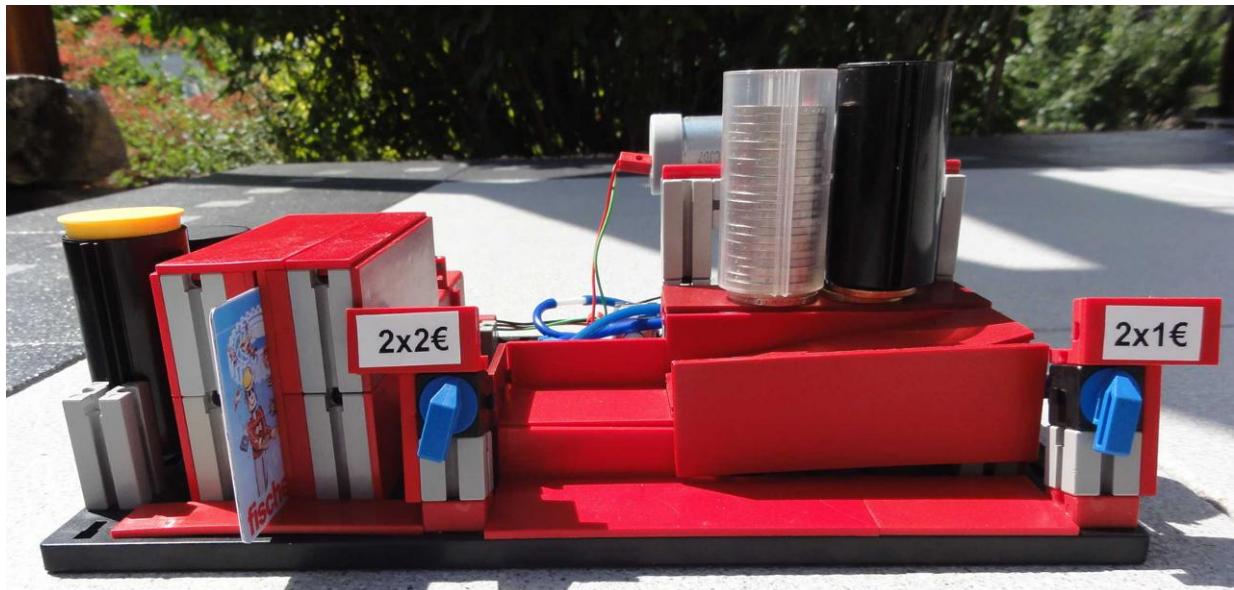
Nun kannst du an einem der Handventile drehen und der zugehörige Zylinder fährt heraus und schiebt gleichzeitig eine der Münzen in das Ausgabefach.

Wenn du nun die Handventile in die Ausgangsposition drehst, gehen die Zylinder zurück, da ich die roten Zylinder mit der integrierten Feder verwendet habe. Alternativ kannst du den Geldautomaten um zwei Schläuche ergänzen und stattdessen auch die blauen Zylinder benutzen.

An meinem Geldautomaten siehst du, wie einfach es ist, dass ein Modell auch ohne Interface oder TX Controller funktioniert. Mein Artikel soll dir Anstoß geben, gezielt darauf zu achten, ob du ein Modell auch ohne Interface oder TX bauen kannst.

Bei etwas größeren Modellen, wo du ohne Interface oder TX Controller nicht mehr auskommst, darfst du gerne zum elektronischen Gerät greifen.

Und nun wünsche ich dir ein frohes Weihnachtsfest und einen guten Rutsch ins neue Jahr!



Tipps & Tricks

Reparieren eines Hubgetriebes (37272, 75067)

Harald Steinhäus

In vielen ft-Teilesammlungen genießt das Hubgetriebe „Reliquienstatus“ – denn schon immer war es nur in wenigen (eher hochpreisigen) Kästen enthalten, wie heute im Profi E-Tec oder Robo TX Training Lab – und es fehlt selbst im Motor Set XS. Mit einem Einzelteil-Neupreis von knapp 9 Euro zählt es auch nicht gerade zu den „Schüttgut-Komponenten“. Umso ärgerlicher, wenn dem seltenen Spezialgetriebe etwas zustößt ...

Der Kraftfluss durch das Hubgetriebe, vom Motor zur Hubzahnstange, verläuft in einer Spirale: vom Eingangszahnrad (unten Mitte) nach links oben, dann auf der rechten Seite bis zur Mitte nach unten, dann nach innen und dort wieder nach oben. In dieser Reihenfolge spielen die folgenden Zahnräder mit:

- Z14 (75108), Eingang Motorschnecke
- Z11 (75104)
- Z11/Z20 (75106)
- Z28 (75106)
- Z11 (75104)
- Z11/Z20 (75105)
- Z11x5,5 (75107), innen
- Z14 (75108); Abtrieb, greift in Hubzahnstange

Es tauchen einige Teile mehrfach auf – ein Zeichen guter Konstruktionsarbeit, die die Teilevielfalt in Grenzen hält. Das gilt nicht nur für das Hubgetriebe, denn diese Zahnräder werden auch in anderen ft-Getrieben eingesetzt.

Die große Schwachstelle des Hubgetriebes heißt „Z11“ und kommt dreifach vor, davon einmal mit einem Bund, der es auf 5,5 mm Breite bringt. Wenn das Getriebe rutscht oder an einer bestimmten Stelle

hakt, ist sehr wahrscheinlich eins der Z11 ausgeleiert oder weist einen Riss auf.

Unter der Teilennummer 75067 gibt es auch ein Hubgetriebe, dessen höchst belastetes Z11 bereits in Messing ausgeführt ist (Abb. 1).

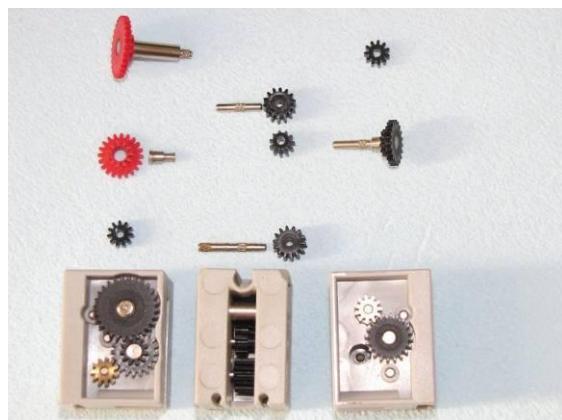


Abb. 1

Einen Riss findet man, indem man eine Zahnstange ganz langsam von Hand durchs Getriebe schiebt und die Stelle sucht, an der das gerissene Zahnrad wegen des Spaltes zwischen zwei Zähnen nicht mehr sauber in seinen Nachbarn eingreift.

Der Bohrungsdurchmesser beträgt 4 mm beim Z28, 3 mm beim Z11/Z20, und 2 mm bei Z11 und Z14. Das Z11/Z20 ist frei laufend auf einem Bolzen gelagert, der im Gehäuse vernietet ist. Die anderen Zahnräder sitzen auf Achsen mit Rändelungen.

Sollte der genietete Bolzen ausreißen, hat man einen Totalschaden vor sich. Alle anderen Elemente kann man ausbauen und wieder einsetzen; sprich: hier ist Reparieren möglich.

Die Ersatzteile sind bei [Knobloch](#) erhältlich. Bei der Zuordnung insbesondere der Achsen helfen die Vorschaubilder im Webshop und auch die 3D-Skizzen der [ft-Datenbank](#):

- Zahnrad Z11 m 0,5 ([75104](#))
- Zwischenzahnrad Z11/Z20 m 0,5 ([75105](#))
- Abtriebszahnrad Z28 m 0,5 ([75106](#))
- Zahnrad Z11x5,5 (innenliegend) m 0,5 ([75107](#))
- Ritzel Z14 m 0,5 ([75108](#))
- Hubachse 1 ([75109](#))
- Achse 2 ([75110](#))
- Hubachse 3 ([75111](#))
- Hubachse 4 ([75112](#))
- Hubachse 5 ([75113](#))

Wer auf „Nummer Sicher“ gehen will und auf eine Drehbank zugreifen kann, kann die Zahnräder Z11 auch durch solche aus Messing ersetzen. Eine Bezugsquelle ist z. B. [Lemo-Solar](#), Stirnzahnrad mit Bund Messing, Artikel RBM0511 (1,90 €), 6 mm breit.



Abb. 2: Zahnräder Z11 aus Messing

Diese 6 mm Breite sind etwas zu viel für den Einsatz auf Position 7 (vgl. Abb. 1) im Innenraum des Hubgetriebes, erst recht für

die Positionen 2 und 5. Es muss daher etwas schmäler gemacht werden. Zahnräder kann man in ein Drehfutter spannen, wenn man sie in eine geschlitzte Messinghülse einpackt (Abb. 2).

Nun zur Reparatur: Öffnet man auf der Knobloch-Webseite die Detailseite zu einem der Ersatzteile, findet man folgenden Hinweis:

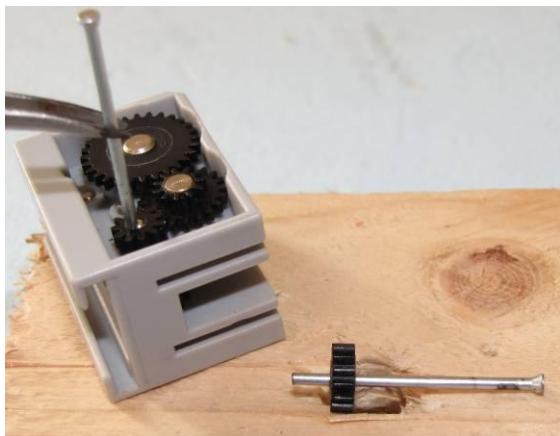
„Bitte beachten Sie: Der Austausch der Zahnräder ist ohne Fachwerkzeug / Vorrichtungen und ohne entsprechende Kenntnisse nicht möglich!!!“

An diesen Kenntnissen arbeiten wir gerade, und das angesprochene Fachwerkzeug lässt sich in jedem Haushalt finden. Meine „Vorrichtung“ besteht aus:

- einem Bildernagel (Durchmesser kleiner als 2 mm) mit abgefeilter Spitze,
- einem Stück Holz mit einer Bohrung,
- einer Seilrolle (38258),
- einem S-Riegel 4 mm,
- einer 1-Cent-Münze,
- einer Pinzette,
- einem Verbindungsstück 15 (31060) und
- einem leichten Hammer.

Der Nagel dient dazu, das defekte Zahnrad von seinem Sitz zu lösen, indem seine Achse mit leichten Hammerschlägen nach unten heraus getrieben wird. Dazu wird das Hubgetriebe so über der Bohrung ausgerichtet, dass die Achse nach unten heraus fallen kann (Abb. 3).

Für den Austausch des Z11 an Position 5 muss das gegenüber liegende Z28 mitsamt der Achse ausgetrieben werden; dazu muss die Bohrung größer als 15 mm sein oder man behilft sich durch „Hochbocken“ des Gehäuses.



*Abb. 3: Hammer, Nagel,
Holz mit Bohrung – das ist alles*

Wenn das defekte Teil heraus ist, sollte man es sofort markieren oder entsorgen, damit es nicht aus Versehen wieder eingebaut wird.

Beim Z11 auf Position 2 sollte man die Achse nur so weit heraus treiben, bis das Z11 frei ist. Klopft man weiter, ist auch das Z14 von Position 1 frei und muss später mit der Pinzette wieder auf seinen Platz gefummelt werden. Diese Fummelerei ist bei Position 7 immer angesagt.

Zum Einbau des neuen Zahnrads wird es mittig auf seine Achse aufgelegt und mit

leichten Hammerschlägen wieder auf seinen Sitz befördert. Damit die Achse dabei nicht entweicht, wird entweder die Cent-Münze auf der anderen Seite untergelegt, das Verbindungsstück 15 gegenüber eingeklemmt (für Z11 auf Position 7) oder der S-Riegel eingesetzt (Z14 auf Position 8, Abb. 4).

Die Seilrolle dient zum Unterlegen, wenn die Achse weiter auf ein unten liegendes Zahnräder wandern soll.

Zum Schluss prüft man das Getriebe auf Leichtgängigkeit. Wenn Zahnräder zu eng sitzen und das Gehäuse zwischen sich einklemmen, wird das Getriebe schwergängig. Dann muss man noch etwas klopfen, bis alle Achsen ein bisschen seitliches Spiel zeigen.

Damit sollte der eigenhändigen Reparatur des edlen Teils nichts mehr im Wege stehen. Wer sich dennoch nicht traut, der sollte sein Getriebe zur Reparatur an die Firma Knobloch GmbH schicken – billiger als ein Neuerwerb ist das allemal.



Abb. 4: Kleine Fummel-Hilfen

Projekt

HP-GL-Plotter (Teil 1)

Dirk Fox

Einen minimalistischen Plotter zu entwickeln, der weitgehend ohne Spezialteile auskommt und von vielen fischertechnik-Fans nachgebaut werden kann – das war das Ziel eines kleinen ft:pedia-Projekts, das ich im Juni 2011 – anlässlich des 50sten Geburtstags des ersten Plotters – in Angriff nahm. Gesteuert wird der Plotter von einem Robo Pro-Programm, das die Standard-Kommandosprache HP-GL „versteht“. Im ersten Beitragsteil wird die Konstruktion der „Plotter-Hardware“ vorgestellt.

Plotter liefern präzise Zeichnungen, die die Druckqualität moderner Drucker oft übertragen. CAD-Zeichnungen werden daher auch heute noch häufig auf großen Plottern ausgedruckt. Der Selbstbau von Plottern ist nicht nur deshalb so faszinierend, weil Plotter viel Geld kosten. Plotter sind auch technisch faszinierend: So kann man die bei Entwurf und Aufbau des Modells aufgewendete Sorgfalt unmittelbar am Ergebnis erkennen – denn auch geringste Ungenauigkeiten und Bauteil-Spiele von Bruchteilen von Millimetern sind in den Zeichnungen als Fehler erkennbar.

Außerdem haben Plotter eine spannende Geschichte: [Konrad Zuse](#), der Entwickler des ersten programmierbaren Computers, entwickelte mit seiner 1956 gegründeten Zuse AG den weltweit ersten Plotter – den [Graphomat Z64](#), vorgestellt vor 50 Jahren auf der Hannovermesse 1961 (Abb. 1).



Abb. 1: Graphomat Z64 (Bild: [Steve Parker](#)), [Deutsches Technik-Museum](#), Berlin

Die Zeichengenauigkeit des Geräts lag bei beachtlichen 0,02 mm, die Plot-Geschwindigkeit bei 22,5 mm/sec. Mit einem Gewicht von 1,4 Tonnen und einem Preis von 128.000 DM war das Gerät jedoch eher ungeeignet für das heimische Arbeits- oder Kinderzimmer.

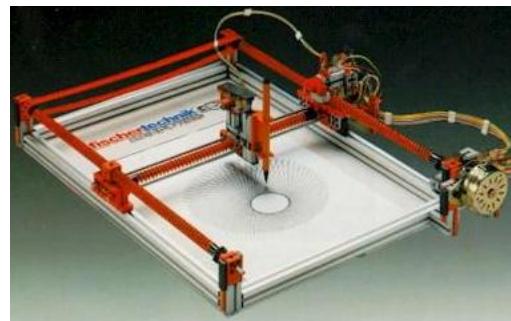


Abb. 2: ft-Plotter von 1985 (30571)

Kein Wunder also, dass sich Plotter-Modelle wie ein roter Faden durch die Geschichte von fischertechnik ziehen. Ein erster „XY-Schreiber“ mit Handsteuerung findet sich im Clubheft 4/1977 [1]. Und gleich mit den ersten Computing-Baukästen gab es Plottermodelle wie den Plotter-Scanner von 1985 (30571) mit Schrittmotoren und Basic-Programm (Abb. 2, [2, 3]).

Es folgte der Plotter des Baukastens Profi Computing (30490) mit Impulsscheiben zur Stiftabsenkung und programmiert in Turbo-Pascal, beschrieben im „Experiment-

tierbuch Profi Computing“ aus dem Jahr 1991 (36069) [4, 5]. Weitere, sehr unterschiedlich realisierte [Plotter-Modelle](#) finden sich in der ft-Community. Remadus veröffentlichte 2003 in einem kleinen [Essay](#) einige Überlegungen zum Bau eines Präzisionsplotters [6].

Der im Folgenden vorgestellte Plotter ist daher weder eine neue Idee noch eine komplett neuartige Konstruktion – ganz im Gegenteil: er greift viele gute Entwurfsideen anderer Modelle auf. Allerdings ist er weitestgehend mit Standard-Teilen realisiert – und zugleich besonders präzise in der Ansteuerung. Auf die Urheber der wesentlichen Konstruktionsideen, die nicht von mir stammen, weise ich an den entsprechenden Stellen hin – sollte ich jemanden vergessen haben, bitte ich um Nachricht (und Nachsicht...).

Zielsetzung

Damit der Plotter von möglichst vielen fischertechnik-Fans nachgebaut werden kann, stellte ich die folgenden Anforderungen an das Projekt:

- Beschränkung auf ausschließlich originale und unmodifizierte fischertechnik-Bauteile,
- weitestgehender Verzicht auf Spezialteile (wie bspw. Alu-Profile), die sich nur in wenigen fischertechnik-Sammlungen finden und deren Beschaffung eine nennenswerte Investition darstellt,
- Verwendung einer möglichst geringen Gesamtzahl an Bauteilen („minimalistische“ Realisierung),
- hohe Steifigkeit des Modells und
- hohe Präzision der Ansteuerung.

Einige dieser Anforderungen lassen sich nicht ohne Einschränkung gleichzeitig erfüllen – so lässt sich ein Maximum an

Steifigkeit z. T. nur mit Spezial-Bauteilen wie Alu-Profilen oder einer großen Zahl an Bausteinen erreichen. Allerdings gilt auch: Jede zusätzliche Komplexität des Aufbaus erhöht die Anzahl der Stellen, an denen verrutschte Bausteine oder lockere Verbindungen die Genauigkeit des Plotters beeinträchtigen können. Daher ist auch bei der Steifigkeit weniger manchmal mehr.

Auch das Gewicht spielt eine Rolle: Je leichter – und damit leichtgängiger – die beweglichen Teile, desto geringer die Beeinträchtigung der Genauigkeit des Antriebs. Daher kann sich eine minimalistische Konstruktion ebenfalls positiv auf die Präzision auswirken.

Zwar habe ich nicht alle denkbaren Konstruktionsvarianten ausprobiert. Dennoch war die Zahl der Prototypen nicht klein – daher glaube ich behaupten zu können, dass das hier vorgestellte Modell einen ziemlich guten Kompromiss zwischen den genannten Zielsetzungen darstellt.

Mit Blick auf diese Zielsetzungen habe ich außerdem die Steuerung des Plotters vollständig in Robo Pro implementiert. Zwar ist mit anderen Programmierumgebungen eine in verschiedener Hinsicht flexiblere und leistungsfähigere Realisierung möglich. Aber der Nachbau des Plotters soll auch Programmieranfänger gelingen und weder die Installation und Konfiguration noch den Erwerb anderer Programmierumgebungen erfordern.

Die Implementierung erfolgte für einen TX Controller mit Encodermotoren, die eine sehr genaue Ansteuerung erlauben. Da es sich dabei jedoch um nicht ganz billige Komponenten handelt, stelle ich eine Alternativkonstruktion mit einem Impulszähler vor, die ohne Schrittmotoren auskommt und sich daher auch mit dem Robo Interface oder der Robo Extension steuern lässt.

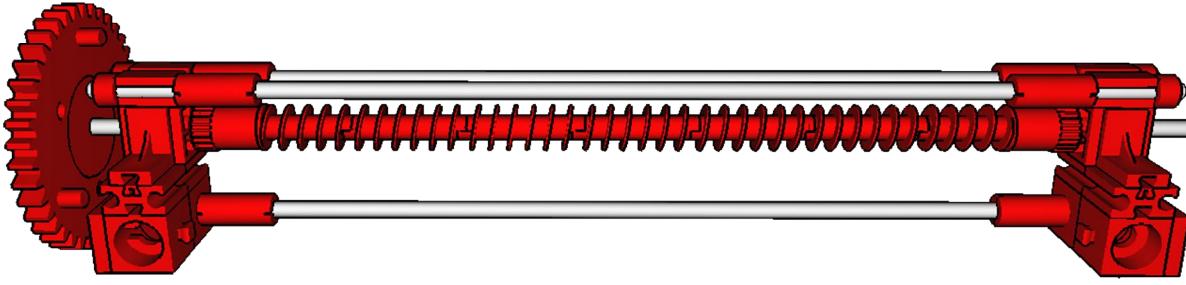


Abb. 3: Konstruktion des Schlittens (X-Achse); darauf wird später der Schreibkopf montiert.

Konstruktion

Grundplatte

Als Grundplatte für den Plotter habe ich wie im 1991er fischertechnik-Modell [4] die Experimentierplatte 500 gewählt, da sie in vielen Baukästen enthalten ist. Obwohl die Zeichenfläche sich damit auf weniger als DIN A5 reduziert, bietet sich diese Platte aus einem weiteren Grund an. Denn statt der Alu-Profile verwende ich fischertechnik-Achsen für die stabile und spielfreie Führung der Ansteuerungsmechanik, wodurch die Größe des Plotter-Modells durch die maximale Länge der fischertechnik-Metallachsen begrenzt ist. Sie reichen mit 20 cm gerade für den Antrieb an der Schmalseite der Experimentierplatte aus.¹

Um nun einen Stift auf der „Schreibfläche“ des Plotters zu bewegen, benötigt man für jede der beiden Dimensionen – die X- und die Y-Achse – einen eigenen Antrieb. Ein solcher Antrieb lässt sich mit fischertechnik auf sehr unterschiedliche Art und Weise realisieren, z. B. mit Hubgetrieben, Zahnstangen, Schneckengetrieben, Kettenantrieb oder Rädern auf Schienen.

Alle diese Varianten erlauben nur eine begrenzte Genauigkeit bei der Positionierung: So verringern Fertigungstoleranzen bei den Bauteilen, die geringe Steifigkeit

(die unter Krafteinwirkung zu Verformungen führt) und das Spiel der Antriebe die Präzision, die sich z. B. mit Schrittmotoren theoretisch erreichen ließe. Von den genannten Antriebsvarianten gelingt vor allem mit einem Schneckengetriebe eine sehr einfache (und in der Summe vergleichsweise spiel- und reibungsarme) und zugleich sehr hoch aufgelöste Positionierung; zudem lässt sich das verbleibende Spiel mit wenigen Bauteilen aus der Konstruktion verbannen. Daher entschied ich mich für diesen Antrieb.

Schlitten

Damit der Stift (genauer: der Schreibkopf) an jede Position des Zeichenfelds bewegt werden kann, benötigt man einen „Schlitten“, auf dem der Schreibkopf in der Horizontalen (der X-Achse) bewegt wird. Dazu montierte ich ein Schneckengetriebe auf drei Metall-Achsen, da ich – um Stangen und Schneckengetriebe zu sparen – die lange Seite der Experimentierplatte als X-Achse verwende, das Zeichenblatt also im Querformat nutze. Die Breite des Schlittens übersteigt dadurch aber die maximale fischertechnik-Achslänge von 20 cm bei Metall- und 18 cm bei Kunststoffachsen. Die Achsen mit dem Schneckengetriebe werden dazu mit etwas Spannung zwischen die beiden Kupplungsstücke „geklemmt“ (Abb. 3). Die Spannung wird später von zwei seitlichen Schneckengetrieben (Y-Achse) gehalten.

Um den Schreibkopf gerade auf dem Schlitten zu führen, verwende ich drei Metallachsen 200: zwei parallele (verlängert mit Hilfe von Klemmkupplungen um zwei Metallachsen 30) in einem Baustein

¹ Natürlich ist es möglich, den Plotter größer zu konstruieren, z. B. auf einer Grundplatte 1000. Dazu benötigt man jedoch längere Metallachsen (50 cm) – oder eine andere Antriebskonstruktion, die entweder mehr Bau- oder Spezialteile benötigt oder aber eine geringere Steifigkeit (und damit Präzision) erreicht.

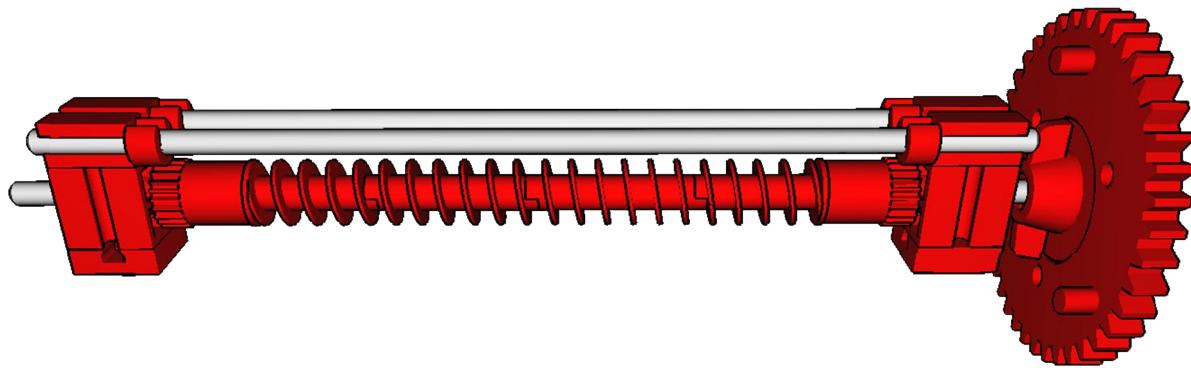


Abb. 4: Seitlicher Schneckenantrieb (Y-Achse); Montage auf beiden Seiten der Experimentierplatte.

7,5 und eine dritte, die an beiden Enden mit je einer Klemmkupplung (31024) auf den runden Zapfen der Schneckenmutter (37925) aufgesetzt wird. Diese Konstruktion ähnelt der des 1985er Modells; dort wurden je eine Führungsstange ober- und eine unterhalb der Schnecke montiert (Abb. 2) [2].

Schlittenantrieb

Der gesamte Schlitten muss wiederum in der Vertikalen (der Y-Achse) bewegt werden. Dafür verwende ich zwei weitere, an den Schmalseiten der Experimentierplatte zu montierende Schneckenge triebe (Abb. 4), die durch eine Kette miteinander verbunden werden. Da fischertechnik-Ketten etwas Spiel haben, sollten für die Verbindung der beiden Y-Achsen-Schneckenantriebe möglichst große Zahnräder verwendet werden. So lässt sich der Einfluss des Spiels auf die Positionierung bei einem Richtungswechsel des Antriebs verringern. Für den ft:pedia-Plotter nutze ich zwei Z40. Damit die Schnecken trotz der großen Zahnräder noch dicht über der Zeichenfläche positioniert bleiben (um das vertikale Spiel des Schreibkopfs zu begrenzen), lasse ich beide Z40 über den Rand der Grundplatte ragen. Im Betrieb muss die Grundplatte des Plotters daher auf einer mindestens 1,5 cm hohen Unterlage oder an einer Tischkante aufgestellt werden.

Das hätte fischertechnik übrigens auch mit dem 1985er Plotter tun sollen: Dort wurden Z10er zur Kopplung der seitlichen Schneckenge triebe verwendet. Auf den Bildern in der Anleitung kann man das

Durchhängen der Kette gut erkennen (Abb. 2), das bei Richtungswechseln deutliche Verschiebungen verursacht haben dürfte [2]. Mit einer leichten Ketten spannung kann man das Kettenspiel fast vollständig ausgleichen. Der Lauf der Kette lässt sich schließlich noch ein wenig verbessern, indem die Kettenglieder mit der „offenen“ Seite nach außen montiert werden.

Bei der Montage der Schneckengetriebe sollte man auf gut zueinander „passende“ Schneckenelemente achten, die an den Übergangsstellen keine Kanten im Schneckenantrieb bilden. Wie beim Schreibkopf wird der Schlitten auf den beiden seitlichen Schneckenge trieben in einem BS 7,5 auf je zwei parallelen Metallachsen 170 gelagert (Abb. 4, 5), die Krümmungen des Schneckengetriebes ausgleichen und für eine exakte und reibungsarme Führung sorgen.

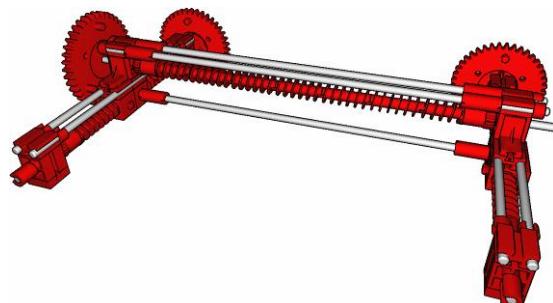


Abb. 5: Gesamtkonstruktion

Spiel des Schneckenantriebs

Leider haben die Schneckenmuttern auf der Spindel Spiel – sie lassen sich teilweise um mehr als einen Millimeter auf der unbewegten Spindel verschieben oder kippen. Dieses Spiel lässt sich, wie Remadus schon 2003 vorschlug [6], durch eine zweite, „be-

nachbar“ Schneckenmutter beseitigen. Damit verkürzt man zwar den „Hub“ der Spindeln und verkleinert so die ansteuerbare Zeichenfläche, man verhindert aber, dass z. B. bei einem Richtungswechsel Drehimpulse vom Spiel der Spindel „verschluckt“ werden oder Verzerrungen durch ein „Kippen“ des Schreibkopfs entstehen.

Für die stabile Montage der zusätzlichen Schneckenmuttern am Schlitten benötigt man nur je drei weitere Bauteile: einen BS 7,5, einen Federnocken und einen Winkelstein 10x15x15 (38423). Bei der Befestigung der zweiten Schneckenmutter muss man darauf achten, dass beide zusammen nicht zu „stramm“ auf der Spindel sitzen, da sonst die Spindel an den Übergangsstellen verkanten kann oder der Antrieb zu schwergängig wird.

Stefan Falk hielt dazu in seinem [Plotter-Modell von 2005](#) die beiden Schneckenmuttern durch Federn auf Distanz. Es geht aber auch ohne: Bei meinen Schnecken war eine um 90° gedrehte, benachbarste Schneckenmutter optimal.

Schreibkopf

Eine besondere Herausforderung stellt die Konstruktion des Schreibkopfs dar. Denn der Stift muss so stabil auf dem Schlitten sitzen, dass er beim Zeichnen kein Spiel hat, die Halterung sich also während des Zeichnens, z. B. bei einem Richtungswechsel, nicht verzieht. Zugleich muss er beweglich montiert sein, damit er sehr schnell auf dem Blatt abgesetzt und wieder abgehoben werden kann.

In einigen Plotter-Modellen wird das Seilwindengestell 30 als Stifthalter verwendet, in das auch etwas dickere Stifte geklemmt werden können. Der von mir verwendete 15 mm „größere Bruder“ (31997) reduziert jedoch das Spiel des Stifts und hat eine deutlich größere Materialstärke, wodurch Verwindungen der Halterung praktisch ausgeschlossen sind.

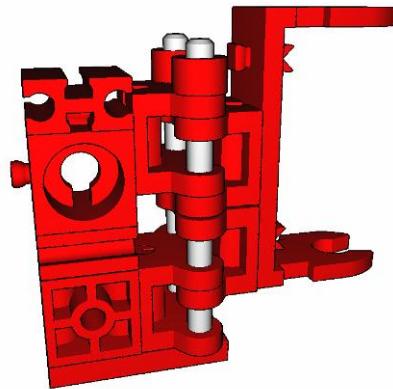


Abb. 6: Schreibkopf des Plotters

Für die Führung des Stifthalters in der Senkrechten (zum Anheben und Absenken des Stifts) habe ich ebenfalls Metallachsen gewählt, da sie eine sehr stabile Führung nahezu ohne Spiel bei zugleich hoher Beweglichkeit erlauben. Das Seilwindengestell wird dazu auf zwei Rollenböcken (32085) montiert. Zwei weitere, gegenüberliegend und versetzt angeordnete Rollenböcke verbinden die beiden Metallachsen 50 mit dem Lochstein, dem BS 7,5 und der Schneckenmutter auf dem Schneckengetriebe (Abb. 6).

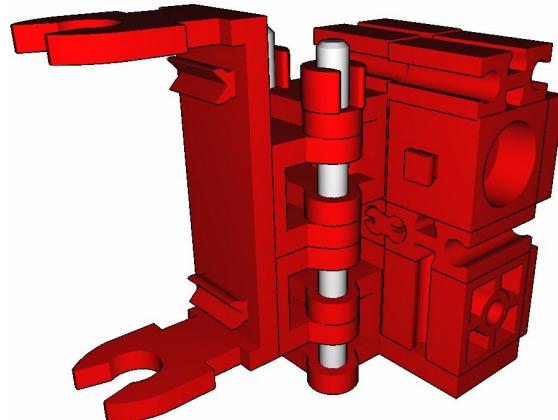


Abb. 7: Schreibkopf, zweite Schneckenmutter

Durch den relativ großen Abstand der Stiftspitze von der Achse des Schlittens (knapp 4,5 cm) verstärkt sich allerdings die Wirkung des Spiels des Schneckengetriebes; daher muss der Schreibkopf mit einem zweiten Lochstein, einer zweiten Schneckenmutter und einem weiteren BS 7,5 mit der Achse so versteift werden, dass kein Spiel bleibt (Abb. 7).

Statt mit den von mir verwendeten Rollenböcken kann der Stifthalter auch mit Bausteinen 30, 15 oder 7,5, mit Gelenkwürfeln-Klauen (31436 mit Lagerhülse 36819) oder mit Rollenlagern (37636) auf den beiden Führungsachsen gleiten. Die Rollenböcke sorgen durch den größeren Abstand der Führungsstangen voneinander jedoch für eine größere Stabilität als die genannten Alternativen.

Heben und Senken des Stifts

Zum Heben und Senken des Stifts kommen drei Antriebe in Frage, für die sich in der ft-Community jeweils zahlreiche Konstruktionen finden:

- Magnetismus (Elektromagnet)
- Luftdruck (Pneumatik-Kolben)
- Motor (mit Hubgetriebe, Schnecke oder Exzenter/Schalscheibe)

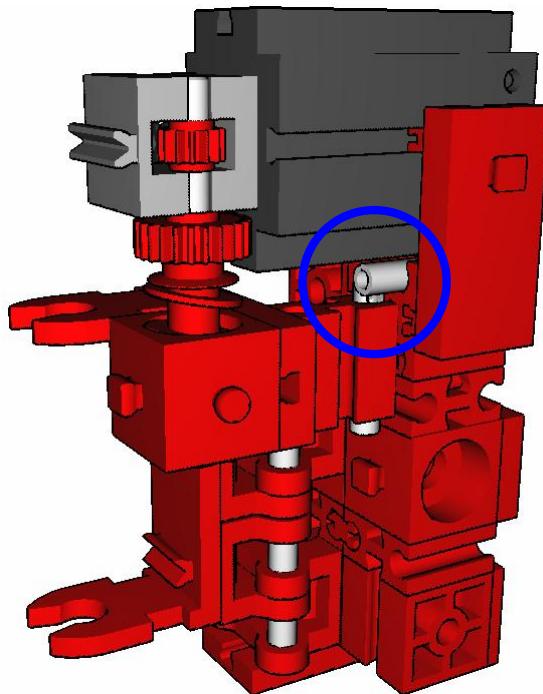
Besonders schnell schalten Konstruktionen mit Elektromagnet, allerdings findet dieser sich nur in wenigen Kästen und ist als Einzelteil nicht ganz billig. Die grauen Exemplare aus den Elektromechanik-Kästen der späten 60er und frühen 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts sind außerdem nicht für 9 V ausgelegt und deutlich schwächer in der Leistung. Die Konstruktion ist zudem nicht einfach, da der Hub (1-2 mm) vergleichsweise klein ist.

Pneumatik-Kolben gibt es auch nicht in jeder fischertechnik-Sammlung; zudem „blähen“ sie Volumen und Komplexität des Schreibkopfes erheblich auf. Daher entschied ich mich auch gegen diese Variante.

Aber auch ein Motor-Antrieb hat seine Tücken. Mit dem Hubgetriebe ist mir keine elegante Konstruktion geglückt: Getriebe und erforderliche Endlagenschalter machen den Schreibkopf klobig.

Einigermaßen elegant und schnell ist mir der Hebemechanismus mit einem S-Motor (alternativ Mini- oder XS-Motor), dem

Getriebehalter mit Schnecke (31075) und einer Schneckenmutter ($m = 1,5$) gelungen (Abb. 8).

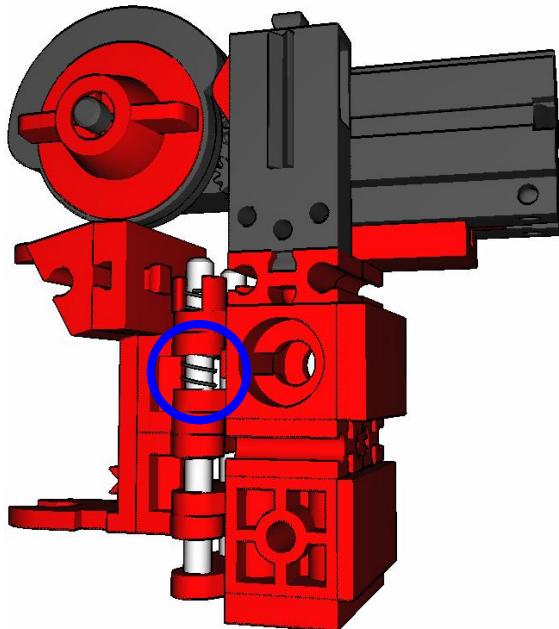


*Abb. 8: Heben und Senken des Stifts:
Getriebehalter mit Schnecke und
Schneckenmutter*

Die Idee zu dieser Konstruktion geht auf einen [Lenkhebel von thomas004](#) zurück. Ein Taster lässt sich in dieser kompakten Konstruktion schlecht als Endlagenschalter verwenden, da dessen Befestigung unschön herausstehen würde. Daher habe ich statt dessen zwei Steckerbuchsen 21 (35307) aus den alten em-Kästen verwendet, die sich in die Nuten zweier BS 7,5 einschieben lassen. Sie schalten bei Berührung (blauer Kreis in Abb. 8). Aber auch diese Variante ist aus zwei Gründen nicht optimal: Der Andruck des Stifts auf dem Papier ist nicht zuverlässig einstellbar (Nachlauf des Motors), und die Steckerbuchsen finden sich eher in ft-Sammlungen älterer Fans.

Eine noch elegantere und kompaktere Konstruktion gelang mir schließlich mit den Schalscheiben (37727) (Abb. 9). Die Grundidee findet sich schon im ft-Plotter von 1991 [4].

Dabei drücken die Schalscheiben den Stift aufs Papier, und eine Rückstellfeder hebt ihn ab, sobald jene ihn freigeben. Ein zugleich von den Schalscheiben betätigter Taster dient als Endlagenschalter.



*Abb. 9: Heben und Senken des Stifts:
Schalscheiben und Rückstellfeder*

Angetrieben werden die Schalscheiben von einem S-Motor mit U-Getriebe. Zwar schaltet ein Achsgetriebe etwa um den Faktor 4,63 schneller, allerdings kann es dabei – abhängig von der Stärke der Rückstellfeder – mit der Motorkraft eng werden und die Schalscheibe bleibt hängen. Auch ginge es mit einem XS-Motor noch kompakter, aber weder bei diesem noch bei meinen alten Mini-Motoren reichte das Drehmoment, um den Stift gegen die Federspannung herunterzudrücken.

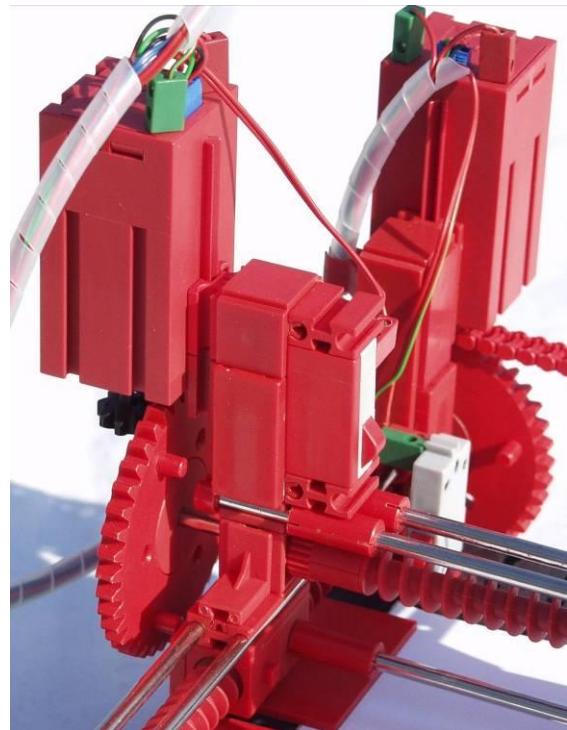
Als Rückstellfeder verwende ich eine kurze Kugelschreiberfeder – die ft-Druckfedern 15 x 5 sind zu lang, und zum Modding konnte ich mich nicht durchringen. Eingesetzt auf der Metallstange an der in Abb. 9 mit dem blauen Kreis markierten Stelle sorgt die Feder für ein kraftvolles Abheben des Plotterstifts.

Antrieb

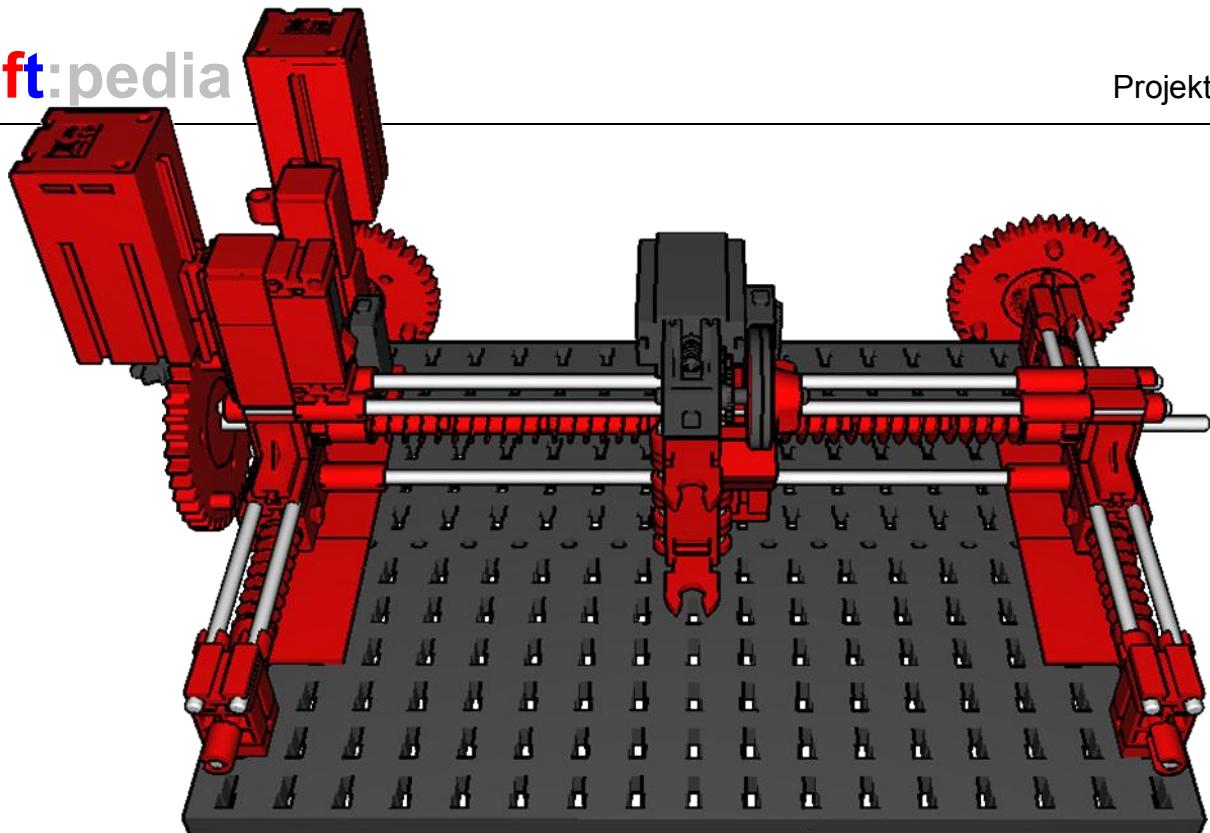
Angetrieben werden die Schnecken von je einem – um Bauteile zu sparen senkrecht montierten – Encodermotor (135484) mit aufgesetztem Rast-Ritzel Z10 (35945), der das Z40 als Kronenrad nutzt (Abb. 10).

Zwar zählen die Encodermotoren sicherlich nicht zu jenen Standard-Bauteilen, die sich in fast jeder fischertechnik-Sammlung finden, aber der Plotter erreicht mit ihnen eine beachtliche Genauigkeit:

Bei 75 Impulsen je Motor-Umdrehung und einer Untersetzung von 32 : 10 (Z40 als Kronenrad) benötigt der Plotter sowohl in X- als auch in Y-Richtung 240 Impulse für eine Umdrehung des Schneckengetriebes, also für eine Bewegung des Schlittens bzw. Schreibkopfs um 0,5 cm. Damit erreicht der Plotter eine theoretische Auflösung von 0,02083 mm – das ist sogar besser als die Default-Auflösung von HP-Plottern mit $1/1.016" = 0,025$ mm und entspricht fast dem Wert von Zuses Graphomat Z64.



*Abb. 10: Encodermotor mit Ritzel Z10
und Kronenrad; Endlagentaster*



Wer keine Encodermotoren besitzt, kann sich auch mit S-Motoren, U-Getriebe und Impulsrad 4 (37157) behelfen. Über einen Mini-Taster lassen sich die Umdrehungen zählen. Sehr kompakt geht das mit der [von Stefan Falk in der ft-Community publizierten Lösung](#) (Abb. 11).

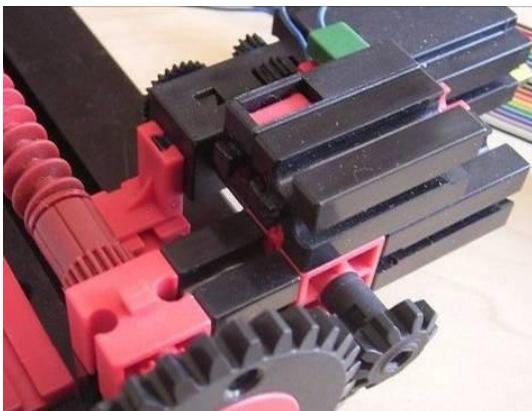


Abb. 11: S-Motor mit Impulsrad 4
(Bild: Stefan Falk)

Dabei werden die acht Impulse je Getriebenumdrehung 1 : 3 (vom Rast-Ritzel Z10 auf ein Z30) untersetzt, so dass 24 Impulse eine Schneckenumdrehung (0,5 cm) ergeben. Damit liegt die Auflösung des Plotters nur noch bei 0,21 mm. Verwendet man statt des Z30 ein Z40, so verbessert sich die Auflösung auf 0,16 mm Strichlänge je Impuls.

Schließlich lassen sich die Impulse auch – wie beim ft-Plotter-Modell von 1991 [4] – über eine Lichtschranke am Kettenantrieb gewinnen; jedes Kettenglied liefert dabei zwei Impulse. Die Schrittweite liegt dann (bei Verwendung von Z40) immerhin noch bei 0,0625 mm je Impuls – ein Drittel der mit den Encodermotoren erreichbaren Auflösung.

Stift

Bleibt zum Schluss noch die Wahl eines geeigneten Stiftes. Originale Plotter-Stifte verwenden Tusche und haben eine Strichstärke von 0,2 bis 0,7 mm – und einen beachtlichen Preis, den man vielleicht lieber in einen ft-Kasten investiert. Zudem sind sie dicker als die 7 mm Durchmesser des Seilwindengestells.



Abb. 12: Ball-Pen-Mine (0,7 mm)

Nach einigen Experimenten entdeckte ich eine Ball Pen-Mine von Parker (Abb. 11):

der „Schaft“ passt mit 0,7 cm Durchmesser perfekt ins Seilwindengestell, die Strichstärke von 0,7 mm ist fast so fein wie ein Plotter-Stift – und der Preis von zwei bis vier Euro ist im Vergleich konkurrenzlos günstig. Die dünne Spitze lässt sich mit einer Klemmbuchse 10 fest in der unteren Führung des Seilwindengestells befestigen. Sie sollte bei angehobenem Stift ca. 2-3 mm über dem Papier stehen.

Tipps

Bei der gesamten Konstruktion muss sehr exakt gearbeitet werden, denn selbst kleinste Ungenauigkeiten können eine fehlerhafte Ansteuerung verursachen. Vor allem die Führungen auf den Stangen, sowohl beim Schreibkopf als auch beim Schlitten, sollten möglichst leichtgängig sein; sie dürfen weder bremsen noch verkanten. Bei allen Bausteinen, insbesondere denen, die die Lage der Führungsstangen betreffen, sollten die Zapfen fest in den Nuten sitzen – lockere Verbindungen sollte man lieber ersetzen, damit sich der Plotter im Betrieb nicht verzieht.

Vor längeren Plots sollte der gute „Sitz“ des Schlittens auf den Schnecken noch einmal überprüft werden. Denn jedes Spiel

der Schneckenmuttern kann sich leicht zu deutlich sichtbaren Fehlern im Plot-Ergebnis summieren.

Jetzt fehlt nur noch die Ansteuerung des Plotters über das Robo-Pro-Programm, und der Plotter surrt zufrieden vor sich hin. Mehr dazu im zweiten Teil des Beitrags, der in der nächsten Ausgabe der ft:pedia erscheinen wird.

Quellen

- [1] XY-Schreiber, [Clubheft 4/1977](#), S. 8-10.
- [2] [Bauanleitung Plotter-Scanner](#), fischertechnik, 1985.
- [3] Ulrich Müller: [Der Plotter/Scanner 30 571 von 1985](#), ftComputing,
- [4] Plotter, [Experimentierbuch Profi Computing](#), fischertechnik, 1991, S. 127-137.
- [5] Ulrich Müller: [Profi Computing von 1991: Plotter/Scanner](#), ftComputing,
- [6] Martin Romann, [Gedanken zum Präzisionsplotter](#), 05.09.2003.

Elektronik

Tricks mit Sensoren am Robo-Interface

Lars Blome

Die digitalen und analogen Eingänge des Robo Interface erbringen in unzähligen Modellen zuverlässig ihren Dienst. Dieser Beitrag zeigt Wege auf, die bekannten Sensoren auf ungewöhnliche Art und Weise für neue Anwendungsfälle zu verwenden.

Die etwas andere Lichtschranke

Eine klassische Lichtschranke besteht aus einer (meist gebündelten) Lichtquelle (Linsenlampe) und einem Fototransistor:

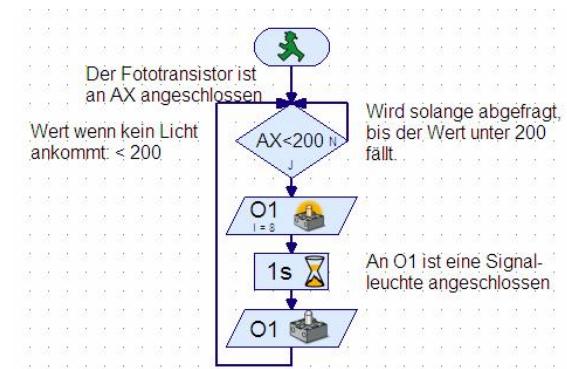


Abb. 1: Konventionelle Lichtschranke

Wenn der Lichtstrahl unterbrochen wird, gibt der Fototransistor ein Signal ans Interface.

Nun kann es vorkommen, dass man keinen I-Eingang mehr frei hat. Dann kann man den Fototransistor verpolt (+ und - vertauscht) an den AX/AZ-Eingang anschließen. Das hat mit einer Besonderheit des Robo-Interface zu tun: Bei den digitalen Eingängen liegt der Anschluss (+) außen am Interface, bei den analogen liegt (-) außen. Der Fototransistor muss also wegen der unterschiedlichen Belegung der Buchsen andersherum angeschlossen werden als an Digitaleingängen. Man erhält damit einen Analogwert vom Fototransistor. Der Wert verändert sich stark, wenn kein Licht auf den Fototransistor fällt. Anstatt eines „Warten auf...“-Befehls muss man eine vom gemessenen Analogwert abhängige Verzweigung ins Pro-

gramm einbauen. In folgendem Beispiel wird eine Lampe eingeschaltet, wenn die Lichtschranke unterbrochen wird:



Programm 1: Fototransistor am Analogeingang

Nun kann es aber vorkommen, dass einem die Fototransistoren ausgehen und man dennoch so etwas wie eine Lichtschranke benötigt. Als Ersatzlösungen bieten sich die Verwendung eines Ultraschallsensors, Farbsensors oder einer Gabellichtschranke an.

Die Gabellichtschranke anzuschließen ist etwas schwierig, denn die IR-Diode darin braucht 1 V Versorgungsspannung. Die beiden anderen Anschlüsse einer solchen Lichtschranke werden wie bei einem Fototransistor an einen I-Eingang angeschlossen und können dann z. B. als Impulszähler oder der Kommunikation zwischen zwei Interfaces dienen.

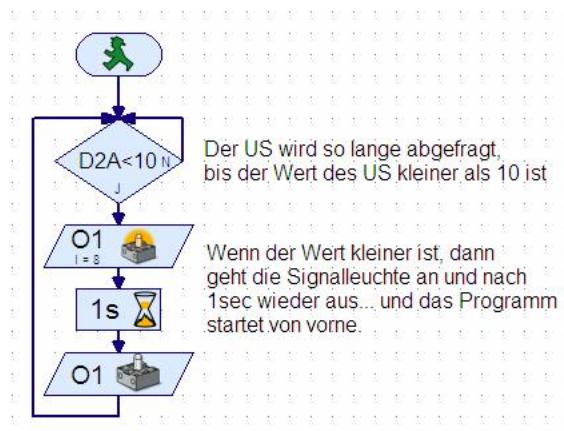
Ultraschall-Schranke

Schauen wir uns zunächst das Beispiel mit dem Ultraschallsensor an:



Abb. 2: Ultraschall-Schranke

Wenn jetzt ein Objekt in den gestrichelten Bereich gelangt, verringert sich der vom Ultraschallsensor gelieferte Messwert. Dies muss man im Programm auswerten (der Sensor ist am Eingang D2 und die Signalleuchte an O1 angeschlossen):



Programm 2: Ultraschall-Schranke

Farbsensor-Lichtschranke

Das Programm für die Farbsensor-Lichtschranke funktioniert ähnlich, nur dass A1/A2 anstatt D2 abgefragt werden müssen. Natürlich liefern A1 bzw. A2 einen anderen konkreten Wert als der Ultraschallsensor, sodass die Vergleichskonstante angepasst werden muss.

Allerdings hat der Farbsensor bei dieser Verwendung auch Nachteile gegenüber dem Ultraschallsensor:

- Er reagiert nur auf Reflexion und könnte somit ausgetrickst werden.

- Der Wert des Farbsensors ändert sich mit dem Umgebungslicht.
- Die gelieferten Werte sind nicht so zuverlässig wie beim Ultraschallsensor.

Die Messgenauigkeit lässt sich verbessern, indem man die Umgebung abdunkelt oder eine Art Dunkelkammer baut.

Gabellichtschranken

Gabellichtschranken können mit den oben genannten Lichtschranken nicht ganz mithalten, da man sie wegen der kleinen überwachten Strecke meist nur als Impulszähler verwenden kann. Für Lichtschranken, die größere Strecken überbrücken sollen, scheiden sie leider aus.

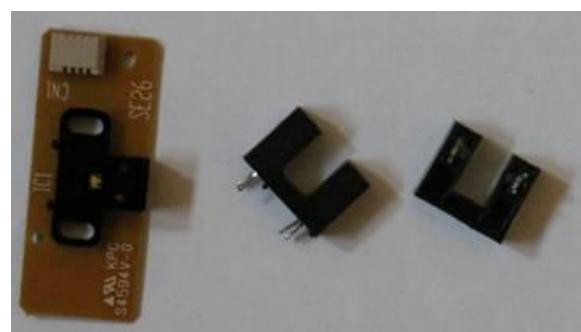
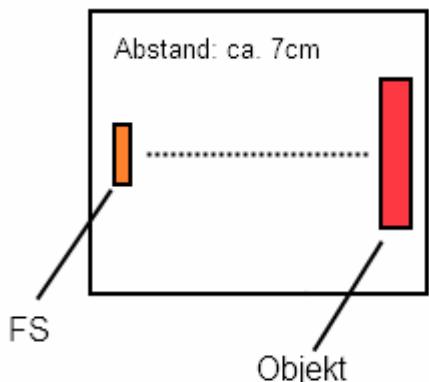


Abb. 3: Verschiedene Bauformen von Gabellichtschranken

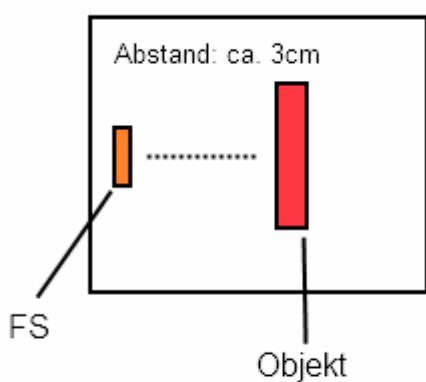
Messen von Abständen mit Farbsensoren

Nicht nur mit einem Ultraschallsensor lassen sich Abstände messen, sondern auch mit einem Farbsensor. Wird das zu vermessende Objekt vom Sensor entfernt, misst man einen größeren Analogwert, nähert es sich dem Sensor, wird der Messwert kleiner:



Analogwert: 336
Der Analogwert ist ein Beispielwert.

Abb. 4: Farbsensor mit entfernt liegendem Objekt



Analogwert: 306
Der Analogwert ist ein Beispielwert.

Abb. 5: Farbsensor mit nahegelegenem Objekt

Bei dieser Lösung können die folgenden Probleme auftreten:

- Starke Fremdeinstrahlung durch Sonnenlicht oder Lampen
- Wertegleichheit (etwa ein Messwert 300 sowohl bei nahem als auch bei entferntem Objekt)

Der Ultraschallsensor liefert Messwerte direkt in cm ($D1A = 10$ heißt, dass ein Objekt 10 cm vom Sensor entfernt ist). Der Farbsensor dagegen liefert einen Analogwert, der nicht direkt einem Abstand

entspricht. Um diesen für bestimmte Distanzen zu verwenden, muss der als Vergleichskonstante zu verwendende Analogwert zunächst per Probemessung ermittelt werden, wenn sich das Objekt in der bevorzugten Entfernung befindet. Anschließend kann dieser Wert für Vergleiche im Programm verwendet werden.

Ein Beispiel soll die Funktionsweise verdeutlichen. Der grundsätzliche Modellbau sieht so aus:

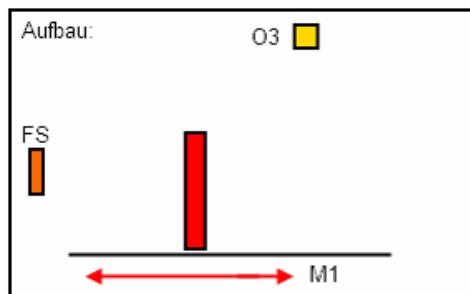


Abb. 6: Schema des Modellaufbaus

Das (rote) Objekt kann mit einem Motor über eine Schiene in Richtung Farbsensor oder von ihm weg bewegt werden. An O3 ist eine Signalleuchte angeschlossen.

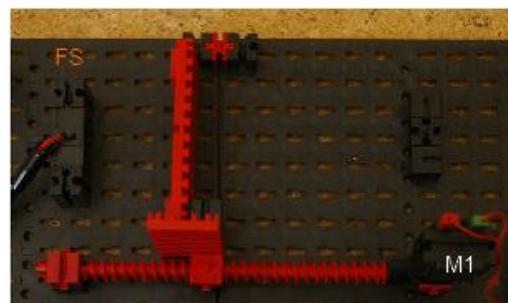
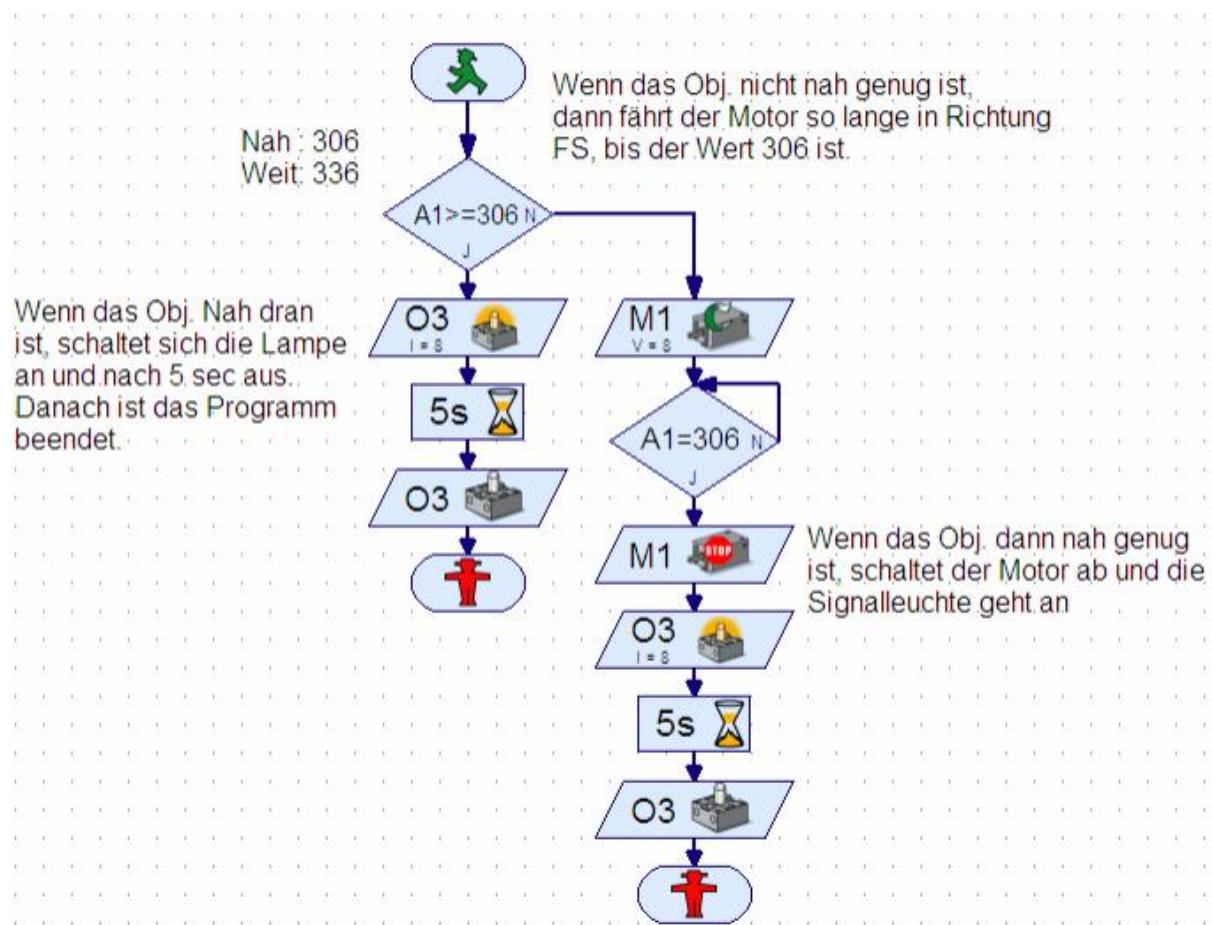


Abb. 7: Modellvorschlag

Das Programm fragt nach, ob sich das Objekt nahe genug am Sensor befindet. Ist das nicht der Fall, fährt M1 in Richtung des Farbsensors, bis das Objekt nahe genug dran ist. Das ist eine Alternative zum Ultraschallsensor, misst allerdings nicht immer so genau und zuverlässig.



Programm 3: Farbsensor-Messaufbau

Astronomie

Planetarium

Thomas Püttmann

Das hier vorgestellte kleine Planetarium verdeutlicht den Lauf von Merkur, Venus und Erde um die Sonne. Insbesondere werden die von der Erde mit dem Feldstecher oder Fernrohr beobachtbaren Phasen der beiden inneren Planeten Venus und Merkur simuliert.

Einleitung

Astronomische Beobachtungen kann man mit unterschiedlichen Hilfsmitteln machen. Wer sich bisher nicht oder nur wenig für Astronomie interessiert hat, erwartet normalerweise, dass nur Teleskope interessante Phänomene zeigen können. Natürlich sehen die Saturnringe oder der rote Fleck des Jupiter in einem gehobenen Teleskop phantastisch aus. Tatsächlich kann man aber schon mit bloßem Auge sehr schöne Beobachtungen machen und viel über die Himmelsmechanik lernen.



Abb. 1: Venusphasen 2004 (Quelle: VT 2004-Programm des ESO, Fotograf: Statis Kalyves)

Mit einem einfachen Feldstecher gar kann man an geeigneten Tagen den Planeten

Venus als schmale Sichel sehen oder innerhalb von wenigen Stunden beobachten, wie die vier großen Monde des Jupiter ihre Position verändern.

Diese beiden Phänomene wurden direkt nach der Erfindung der Fernrohrs von [Galileo Galilei](#) (1564-1642) entdeckt und lieferten entscheidende Argumente dafür, dass die Erde nicht mehr als Mittelpunkt des Weltalls angesehen wurde.



Abb. 2: Galileo Galilei

Dieser Beitrag stellt ein kleines Planetarium vor (Abb. 3), mit dem sich die Venus- und Merkurphasen simulieren lassen.

Wenn dieser Aufsatz zu Weihnachten 2011 erscheint, ist die Gelegenheit zur Beobachtung der beiden Planeten günstig, so dass man Wirklichkeit und Simulation sehr gut überprüfen kann.

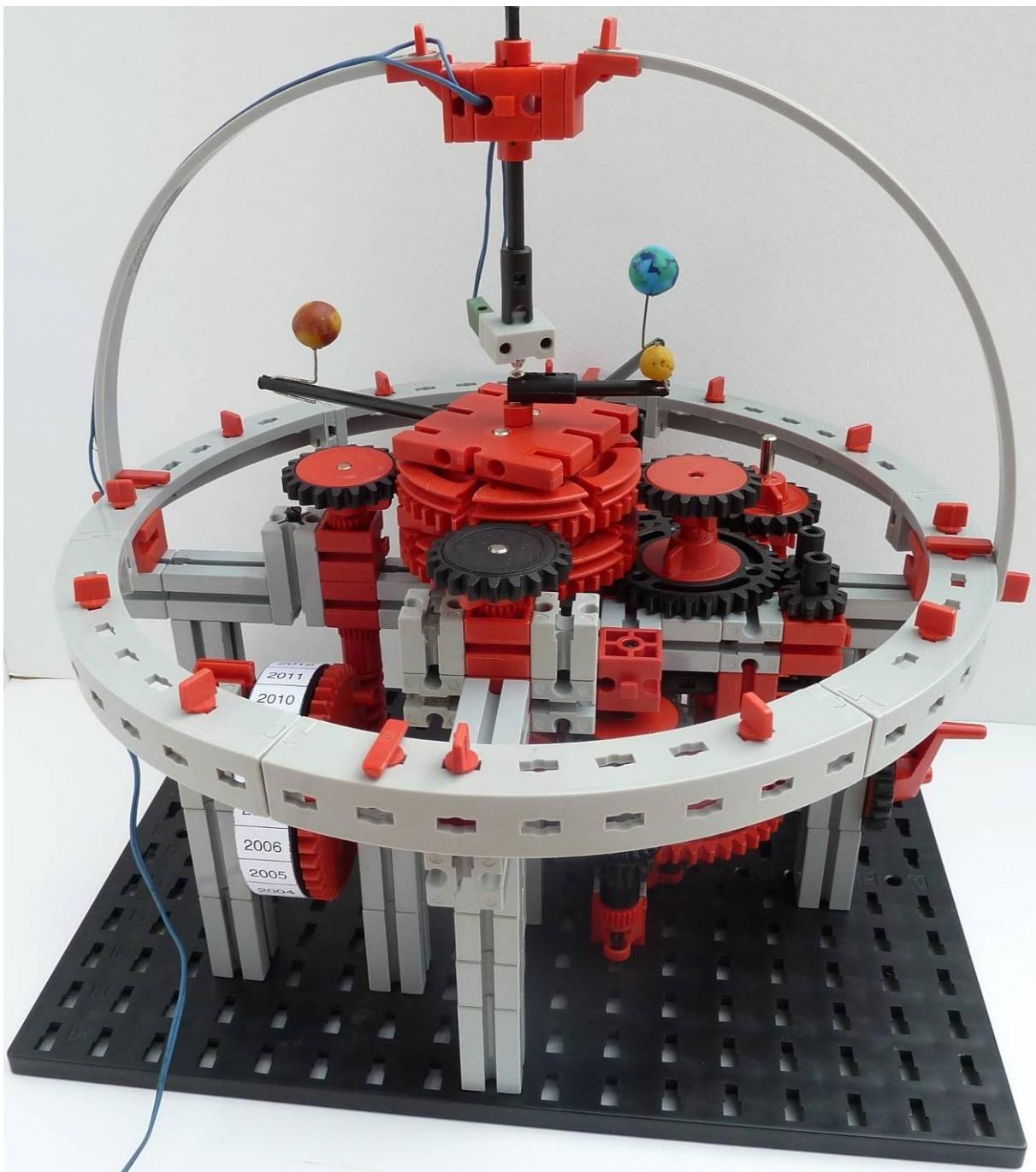


Abb. 3: Kleines fischertechnik-Planetarium

Bei klarem Himmel kann man Merkur morgens nach 7 Uhr knapp über dem Horizont im Südosten sehen und Venus abends nach 17 Uhr im Südwesten (Abb. 4 und 5). Die Merkurphasen sind prinzipiell nur in einem Teleskop zu sehen und wegen der Horizontnähe und des damit verbundenen Dunstes immer schwierig zu erkennen – es ist aber etwas besonderes, Merkur über-

haupt einmal in seinem Leben gesehen zu haben. Die Venusphasen kann man im Gegensatz zu den Merkurphasen schon durch einen guten Feldstecher mit Stativ oder Auflage beobachten. Im Lauf des nächsten halben Jahres wird die Venus wie in Abb. 1 immer größer und schmäler und spätestens im April sollte dann sogar ein einfaches Fernglas mit Auflage ausreichen.

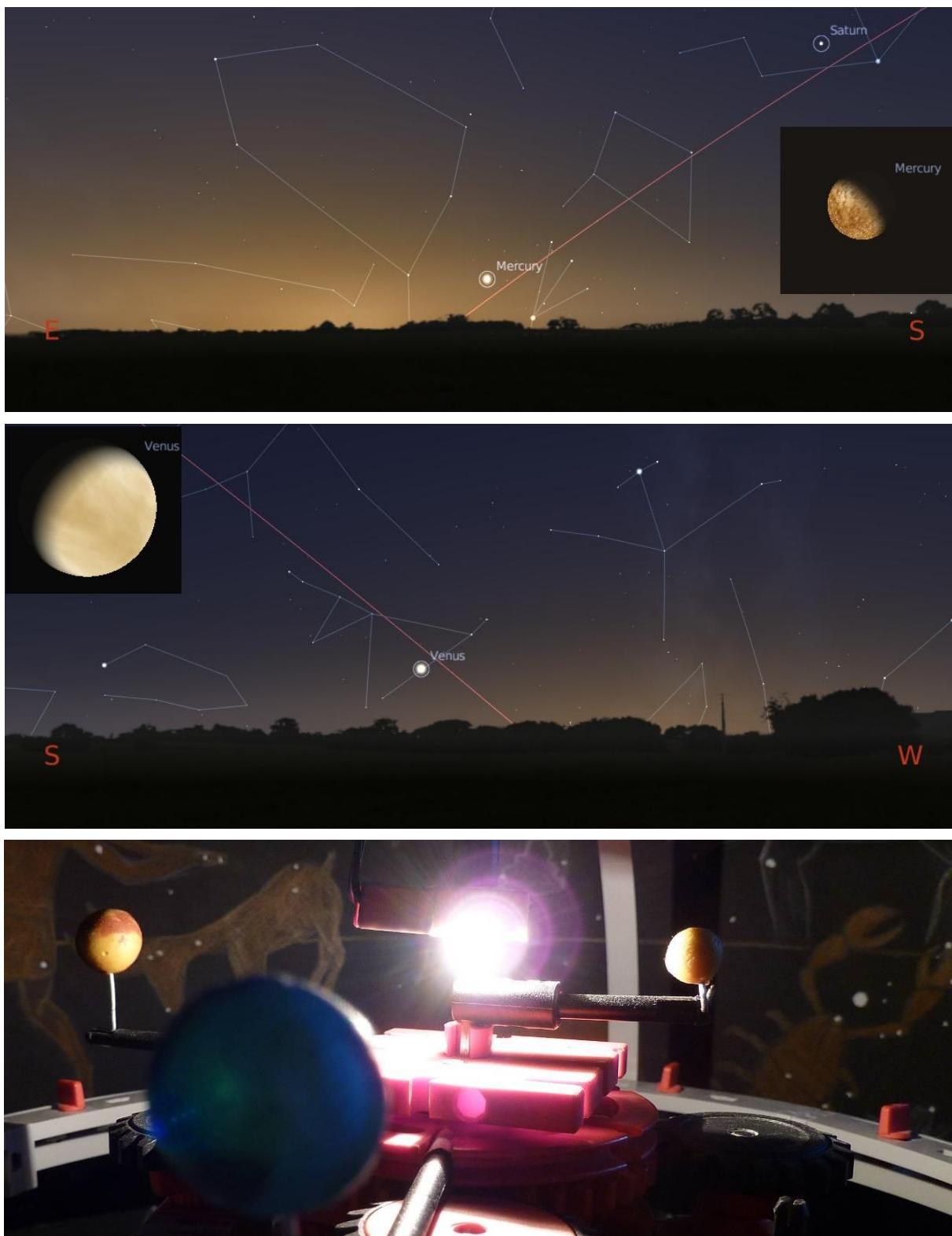


Abb. 4-5: Himmelsanblick am 25.12.2011 um 7:35 Uhr
und um 17:35 Uhr (simuliert mit [Stellarium](#) [8]),
Abb. 6: Weihnachten 2011-Simulation mit fischertechnik-Planetarium

Das Sonnensystem

Die Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun (und Pluto) umlaufen die Sonne (Abb. 7).



Abb. 7: Das Sonnensystem

Die ersten vier Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars bilden das so genannte innere Sonnensystem. Danach folgen der Asteroidengürtel und dann das äußere Sonnensystem mit den restlichen Planeten.

Die Planetenbahnen und Planetengeschwindigkeiten werden in hoher Genauigkeit durch die drei Keplerschen Gesetze beschrieben (Abb. 8).

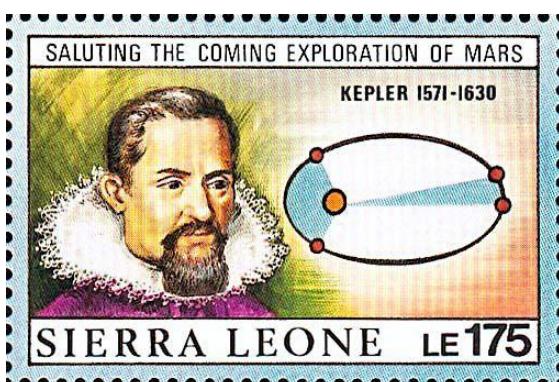


Abb. 8: Die Keplerschen Gesetze

Die Keplerschen Gesetze würden exakt gelten, wenn sich die Planeten nicht gegenseitig beeinflussen würden. Nach dem ersten Keplerschen Gesetz sind die Bahnen der Planeten Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Insbesondere umläuft jeder einzelne Planet die Sonne in einer Ebene. Für uns ist natürlich die

Ebene am wichtigsten, in der die Erde um die Sonne läuft. Sie heißt Ebene der Ekliptik. Die Umlaufebenen der anderen Planeten sind gegen diese Ebene bis zu 7° geneigt (18° bei Pluto, siehe Abb. 7).

Das zweite Keplersche Gesetz stellt einen Zusammenhang her zwischen der momentanen Geschwindigkeit eines Planeten und seiner momentanen Entfernung zur Sonne. In Sonennähe ist der Planet am schnellsten und in Sonnenferne am langsamsten.

Das dritte Keplersche Gesetz schließlich beinhaltet eine Formel, die es erlaubt, die Umlaufzeit der Planeten aus ihrer mittleren Entfernung zur Sonne zu berechnen. Je weiter sie von der Sonne entfernt sind, desto länger brauchen sie für einen Umlauf. So benötigt Merkur nur 88 Tage für seinen Weg um die Sonne, Neptun dagegen 165 Jahre. Das ist 685 mal so lang. Neptun ist 77,7 mal so weit von der Sonne entfernt wie Merkur. Der genaue Zusammenhang zwischen diesen Verhältnissen ist $685^2 = 77,7^3$.

Von der Erde aus

Dieses Bild unseres Sonnensystems ist uns heute im Zeitalter von Teleskopen, Raketen und Raumsonden selbstverständlich geworden. Bis zur Erfindung des Fernrohrs im 17. Jahrhundert in den Niederlanden war der Mensch aber ausschließlich auf Beobachtungen mit bloßem Auge angewiesen. Damals wie heute sah man von der Erde aus, dass sich Sonne, Mond, Planeten und Fixsterne am Himmel alle einmal am Tag um den Polarstern drehen und im Osten auf- und im Westen untergehen.

Die Sonne durchwandert im Laufe eines Jahres von der Erde aus gesehen einen bestimmten Kreis vor dem Fixsternhimmel, die so genannte Ekliptik (die rote Linie in Abb. 4, 5 und 6). Längs der Ekliptik wurden deshalb zwölf markante Sternkonfigurationen zu den Sternbildern des Tierkreises zusammengefasst (Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau,

Waage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische). Die Planeten sind ebenfalls stets vor dem Hintergrund dieser Tierkreissternbilder zu sehen. Ihre Helligkeit schwankt und sie wandern den Tierkreis bis auf regelmäßig stattfindende Schleifen in einer Richtung entlang.

Die astronomischen Tierkreissternbilder weichen übrigens heute um ziemlich genau ein Sternbild von den in der Astrologie definierten Tierkreiszeichen mit gleichen Namen ab. Falls jemand zum Beispiel am 1. Januar geboren wird, ist er der Astrologie nach ein Steinbock, obwohl die Sonne bei seiner Geburt nicht vor dem Sternbild des Steinbocks, sondern vor dem Sternbild des Schützen steht (siehe Abb. 4, 5 und 6). Vor etwa 2000 Jahren stimmten beide Begriffe noch überein. Die zunehmende Abweichung liegt an der so genannten [Präzession](#) der Erde.

Ein neues Weltbild

Bis ins 16. Jahrhundert sah der Mensch sich und damit die Erde im Zentrum des Weltalls. Man nahm an, dass alle anderen Himmelskörper sich im Wesentlichen um die Erde drehten. Viele der am Himmel sichtbaren Bewegungen ließen sich so überzeugend erklären, aber nicht die Helligkeitsschwankungen und Schleifenbewegungen der Planeten. Im ausgehenden 16. Jahrhundert und zu Beginn des 17. Jahrhunderts setzte sich dann langsam das von [Nicolaus Copernicus](#) (1473-1543) begründete heliozentrische Weltbild durch.



Abb. 9: Nicolaus Copernicus

Die Erde verlor ihre zentrale Position und wurde selbst zu einem Planeten. Die Helligkeitsschwankungen konnten nun auf

die unterschiedlichen Entfernung zwischen der Erde und den anderen Planeten auf ihren Bahnen um die Sonne zurückgeführt werden. Die Schleifenbewegungen fanden ihre Erklärung in den Überholvorgängen der Planeten untereinander.

Gleichzeitig lieferte das heliozentrische Weltbild auch eine einfache Ursache dafür, dass alle Himmelskörper einmal am Tag um den Polarstern drehen: die Eigenrotation der Erde um ihre Achse. Die Erklärungen für die anderen am Himmel beobachtbaren Bewegungen wurden nicht komplizierter: Das sichtbare jährliche Wandern der Sonne durch die Ekliptik erklärte sich durch die Bewegung der Erde um die Sonne; das sichtbare monatliche Wandern des Mondes und dessen Phasenwechsel von Neumond über Vollmond zurück zum Neumond behielt seine Erklärung in der monatlichen Bewegung des von der Sonne angestrahlten Mondes um die Erde.

[Johannes Kepler](#) (1571-1630) konnte mit seinen Gesetzen die Bewegung des Mars am Himmel wesentlich genauer vorausberechnen als alle vor ihm, und Galileo Galilei entdeckte mit einem der ersten Fernrohre die Jupitermonde und Venusphasen. Die Jupitermonde zeigten klar, dass sich nicht alle Himmelskörper um die Erde drehten, und der genaue Verlauf der Venusphasen war mit dem geozentrischen Weltbild nicht verträglich.

Trotzdem blieb ein Unbehagen gegenüber dem heliozentrischen Weltbild. Daher wurden bald erste mechanische Apparate gebaut, die die unterschiedlichen Bewegungen im Sonnensystem gemäß der neuen Theorie sichtbar und greifbar machen konnten. Auch heute noch kann kein Buch und kein Film den Lehrwert eines solchen Modells erreichen.

Planetarien, Tellurien, Orreries

Mit dem Begriff [Planetarium](#) verbinden die meisten Menschen heutzutage eines der Projektionsplanetarien, die man häufig in größeren Städten findet. Als Planetarien wurden aber schon vor der Erfindung der Projektionsplanetarien Apparate bezeichnet, die den Lauf der Planeten um die Sonne mechanisch veranschaulichen.

Tellurien sind Apparate, die speziell die Bewegungen der Erde um die Sonne, des Monds um die Erde und die Drehung der Erde um ihre Achse wiedergeben. Die Verwendung des Wortes [Orrery](#) war und ist uneinheitlich: Häufig versteht man darunter Geräte, bei denen neben Erde, Sonne und Mond auch Planeten bewegt werden. Als Grand Orreries wurden oft die Geräte bezeichnet, die zusätzlich zu Sonne, Erde und Mond alle zum Zeitpunkt des Baus bekannten Planeten umfassen.

Geschichte

Die Geschichte der Planetarien ist komplex und wird hier nur lückenhaft wiedergegeben. Zwei sehr interessante und umfangreiche Bücher zu diesem Thema sind [1, 2]. Schon Kepler entwarf im Jahre 1598 eine heliozentrische Planetenmaschine. Seine Pläne waren aber in einigen Details unpraktisch und zu ambitioniert, weshalb er sie schließlich verwarf. Bedeutende frühe Planetarien wurden von

Ole Rømer (1644-1710) und vor allem [Christiaan Huygens](#) (1629-1695) entwickelt (Abb. 10). Huygens Maschine war ihrer Zeit in mehrfacher Hinsicht weit voraus.

Populär wurden Planetarien im 18. Jahrhundert in England. In dieser Zeit hatte Bildung in den mittleren und oberen Schichten einen hohen Stellenwert (Abb. 11) und gerne verschönerte man seine Bibliothek mit einem schmucken, lehrreichen Gerät.



Abb. 11: The Orrery – Gemälde von Joseph Wright of Derby

Der Name Orrery stammt aus dem Jahre 1704, als ein Apparat für den 4. Earl of Orrery von John Rowley nach einer Vorlage von G. Graham gebaut wurde.

Planetarien wurden damals vor allem von Herstellern wissenschaftlicher Instrumente wie Sextanten, Globen usw. angefertigt

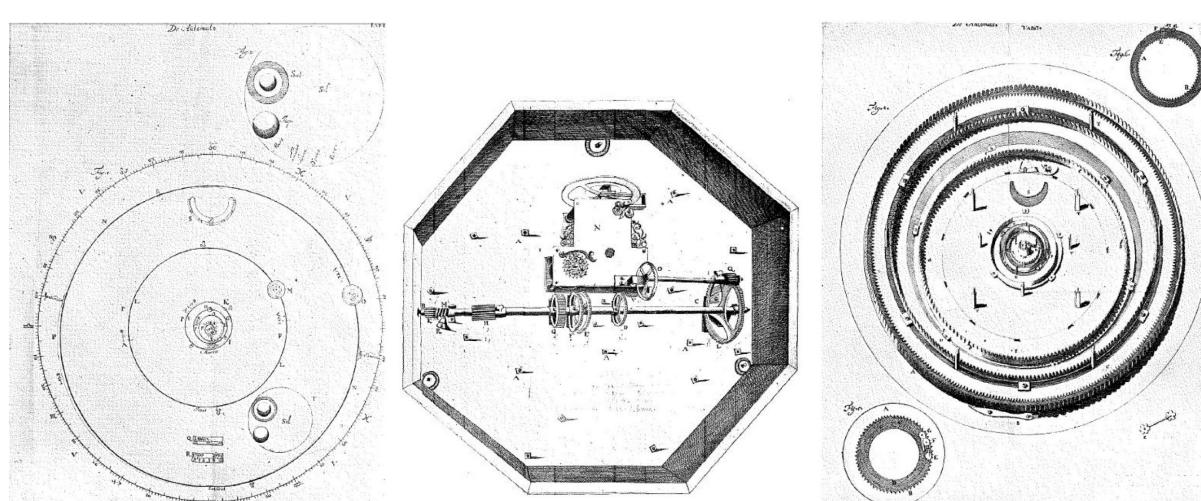


Abb. 10: Das Planetarium von Christiaan Huygens aus seinen Opuscula postuma von 1703

und vertrieben. Bedeutend waren unter anderem Benjamin Martin (Abb. 12), James Ferguson und William Pearson.



Abb. 12: Ein Orrery von Benjamin Martin von 1767 (Quelle: Wikipedia, Fotograf: Sage Ross)

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts und zu Beginn des 19. Jahrhunderts gab es herausragende Planetariumsuhrnen von meisterlichen Uhrmachern wie Philipp Matthäus Hahn in Deutschland, David Rittenhouse in den USA und Antide Janvier in Frankreich (Abb. 13).

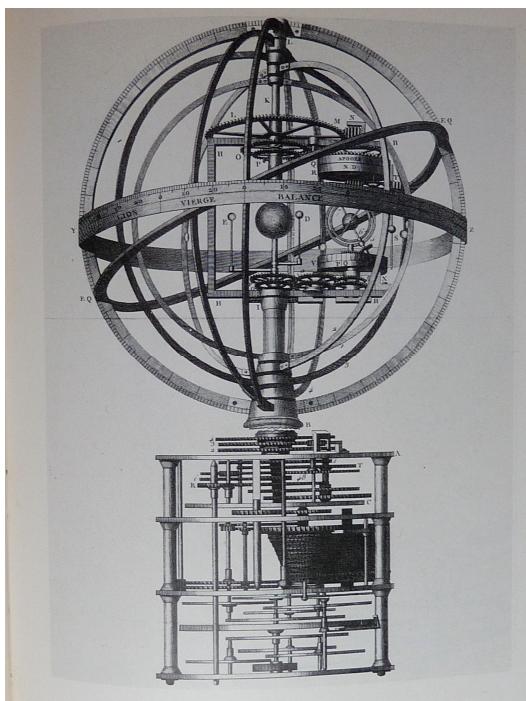


Abb. 13: Sphère mouvante von Antide Janvier [2]; das Bild stammt ursprünglich aus einem Buch von F. Berthoud aus dem Jahr 1802

Am 9. November 2010 wurden vier Werke von Janvier bei Sotheby's versteigert, darunter eine Sphère mouvante für € 324.750 [3]. Das lange Zeit größte Planetarium mit 3,5 m Durchmesser hat sich der Wollkämmerer Eise Eisinga aus Friesland in seine Wohnzimmerdecke gebaut. Die Mechanik befand sich im Raum darüber.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde schließlich das Projektionsplanetarium von Walther Bauersfeld (1879-1959) erfunden. Mechanische Planetarien wurden zu dieser Zeit nur noch selten gebaut. In Deutschland kann man mehrere Planetarien und Himmelsgloben im Astronomisch-Physikalischen Kabinett des Hessischen Landesmuseums in Kassel sehen. Werke von Philipp Matthäus Hahn stehen z. B. im Deutschen Uhrenmuseum in Furtwangen.

Technik

In nahezu allen mechanischen Planetarien wurden Zahnradgetriebe eingesetzt, um die mittleren Geschwindigkeiten herzustellen. Um Übersetzungen wie 206:7 zu erzielen, wurden meist Zahnräder mit den entsprechenden Zahnzahlen kombiniert (Abb. 14).

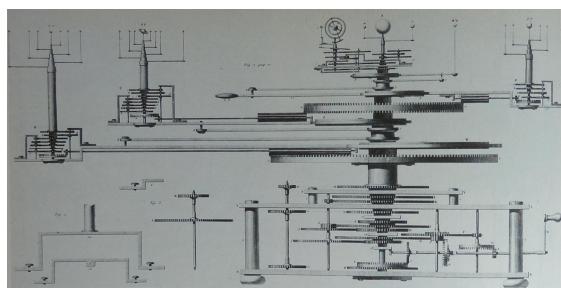


Abb. 14: Entwurf eines Orreries von Antide Janvier [2]; das Bild stammt ursprünglich aus einem Buch von Janvier aus dem Jahr 1812

Das bedeutete, dass man nicht auf Standardzahnräder zurückgreifen konnte (die es in der vorindustriellen Zeit wahrscheinlich ohnehin nur in sehr begrenztem Umfang gab), sondern dass nahezu jedes Rad speziell angefertigt werden musste. Bei vielen Planetarien wurden der Einfachheit halber die realen Planetenbahnen

durch Kreise ersetzt und auf die Wiedergabe der Exzentrizitäten und Geschwindigkeitsschwankungen während eines Umlaufs um die Sonne verzichtet.

Von den bedeutenderen Konstrukteuren wurden allerdings eine Vielzahl raffinierter Mechanismen zur genauen Umsetzung der Bahnbewegungen ersonnen. So ließen z. B. in einigen Planetarien die Planeten auf echten Ellipsen und wurden aus dem Brennpunkt, in dem die Sonne nicht steht, mit konstanter Winkelgeschwindigkeit angetrieben. Das ergibt eine ausgezeichnete Annäherung an die durch das zweite Keplerschen Gesetz beschriebenen Geschwindigkeitsschwankungen.

Zu gleichem Zweck wurden abrollende elliptische Zahnräder, Doppelkurbelschleifengetriebe und 1:2-übersetzte, in geeigneter Weise geneigte Kardangelenke eingesetzt. Wir gehen hier nur auf Huygens' Planetarium ein, das trotz seiner hohen Qualität in der damaligen Zeit so gut wie ohne Einfluss auf die unmittelbar folgenden Geräte blieb.

In Huygens' Planetarium werden die einzelnen Planetenbahnen durch exzentrische Kreise dargestellt, d. h. der Mittelpunkt eines Kreises ist von der Sonne verschieden. Außer beim Merkur sind wegen der geringen Exzentrizitäten Ellipsen optisch kaum von exzentrischen Kreisen zu unterscheiden. Die Geschwindigkeitsschwankungen gemäß dem zweiten Keplerschen Gesetz sind viel wesentlicher.



Abb. 15: Ungleichförmig übersetzendes Getriebe von C. Huygens

Um diese in hoher Qualität nachzubilden, erfolgte der Antrieb des Planeten durch ein ungleichförmig übersetzendes Getriebe, in dem nochmals die gleiche Exzentrizität vorkommt. Ein fischertechnik-Funktionsmodell dieses Getriebes zeigt Abb. 15.

Der Planetenzeiger besteht im Wesentlichen aus einem Grundbaustein (BS) 15 und einem Grundbaustein 30, die über die seitlich angebrachten BS 7,5 so zusammengefügt sind, dass man zwei Achsen 30 unmittelbar nebeneinander hindurch stecken kann. Die eine Achse, die durch die Nut des BS 30 geht, wird in der Bauplatte drehbar gelagert. Auf die andere, die durch die Nut des BS 15 geht, kommt ein Klemmring, in dessen Öffnung der Zapfen des BS 15 steckt, so dass die Achse blockiert ist. Über den Klemmring wird ein Z40/Z32 angebracht, dessen Kronenrad von einem Z10 angetrieben wird.

Die Sonne befände sich bei diesem Funktionsmodell jetzt zwischen dem Z10 und der Achse durch den BS 30. In Abb. 14 kann man sehr gut erkennen, wie Janvier genau diese Technik in seinem Entwurf verwendet hat. Für weitere technische Details verschiedener Planetarien im Laufe der Geschichte sei noch einmal auf [1, 2] verwiesen.

Baukastenmodelle und Bausätze

Im 20. Jahrhundert wurden die Konstruktionssysteme Meccano, Lego und fischertechnik erfunden. Schon im Jahre 1918 gab es ein erstes Meccano-Planetarium, allerdings noch mit vollkommen unrealistischen Umlaufzeitverhältnissen. Einen umfassenden Überblick über Meccano-Modelle kann man in [4] finden.

Aus Lego kenne ich zwei nennenswerte Modelle: Die NASA stellt eine Bauanleitung für ein Planetarium mit vier Planeten und einem Mond zur Verfügung [5]. Allerdings wird dabei nicht unser Sonnensystem simuliert. Vielmehr geht es um eine Computer gestützte Demonstration, wie

man erdähnliche Planeten in anderen Sonnensystemen findet. Das zweite Lego-Modell ist kein Planetarium im eigentlichen Sinn, sondern eine hervorragende Umsetzung des Antikythera-Mechanismus' in Lego von Andrew Carol [6]. Der Antikythera-Mechanismus ist ein antiker Analogcomputer zur Berechnung von Sonnen- und Mondfinsternisse. Andrew Carol war wahrscheinlich der erste, der die altbekannte Methode, Differentialgetriebe zum Erzielen beliebiger Übersetzungen zu nutzen, zum Bau astronomischer Apparate mit Konstruktionssystemen eingesetzt hat.

Zwei schöne, aber sehr unterschiedliche Tellurien aus fischertechnik wurden von [Thomas Habig](#) und [Michael Samek](#) (wesentliche Verbesserungen von [Robert Reiter](#)) gebaut. Man kann diese im Bilderpool der [ft-community](#) finden.

Seit ein paar Jahren liefert die Firma Astromedia für € 34,95 einen schönen Kartonbausatz für ein Planetarium, das Sonne, Merkur, Venus und Erde mit Mond umfasst [7]. Das fertige Gerät eignet sich hervorragend zur Demonstration der verschiedenen Bewegungsarten der beteiligten Himmelskörper, aber weniger zur genauen Vorhersage von Konstellationen und Simulation der Venusphasen. Die Übersetzungen werden nämlich über Riemengetriebe statt mit Zahnrädern realisiert. Daher tritt Schlupf auf, der ein halbwegs genaues Einstellen des Datums schwer möglich macht oder häufiges Rekalibrieren erfordert. Nachteilig ist auch die lange Bauzeit von über 30 Stunden.

Mein Modell

Mein fischertechnik-Planetarium gibt die Position der Planeten Merkur, Venus und Erde auf ihren Bahnen um die Sonne zu einem einstellbaren Datum zwischen 2004 und 2023 an und simuliert die von der Erde sichtbaren Venus- und Merkurphasen. Die Positionsgenauigkeit von der Modellsonne aus gesehen beträgt bei der Erde $\pm 3^\circ$, bei

der Venus $\pm 4^\circ$ und beim Merkur $\pm 25^\circ$ über einen Zeitraum von 50 Jahren.



Abb. 16: Vorderansicht des Planetariums

Wenn man ein Auge unmittelbar über oder neben einen Modellplaneten bewegt, erscheint die leuchtende Modellsonne genauso groß, als stünde man real auf dem Planeten und würde die reale Sonne anschauen. Die anderen Modellplaneten sieht man dagegen so groß, als würde man ein Fernrohr mit 1.700facher Vergrößerung benutzen.

- **Planeten:** Die Planeten selbst sind aus Knetmasse geformt und haben einen Durchmesser von 15 mm (Erde), 14 mm (Venus) und 6 mm (Merkur). Sie wurden mit Hilfe zurechtgebogener Büroklammern an den äußeren Enden von Rastachsen befestigt. In den Abbildungen sind die Rastachsen von Erde und Venus unnötigerweise eine Stufe zu lang gewählt. In der aktuellen Version des Planetariums kommen Rastachsen 90, 75 und 30 zum Einsatz. Die Entfernung von der Sonne betragen im Modell 10 cm bei der Erde, 7,2 cm bei der Venus und 3,8 cm beim Merkur.
- **Sonne:** Die Sonne wird durch eine alte fischertechnik-Lampe dargestellt. Der Glühwendel hat eine Ausdehnung von

1mm x 2mm. Damit passt er genau zum Maßstab der Planetenbahnen.

- **Planetenbahnen:** Die Planeten laufen in dem Modell auf konzentrischen Kreisen mit konstanten Geschwindigkeiten um die Sonne. Die realen Planetenbahnen sind mit hoher Genauigkeit Ellipsen mit Exzentrizitäten 0,017 (Erde), 0,007 (Venus) und 0,206 (Merkur), in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet. Die numerischen Werte bedeuten, dass die reale Erdbahn und insbesondere die reale Venusbahn optisch kaum von exzentrischen Kreisen zu unterscheiden sind. Der Mittelpunkt der Erdbahn wäre in unserem Modell 1,7 mm von der Sonne entfernt, der der Venusbahn 0,7 mm. Bei unseren Planetendurchmessern ist diese Exzentrizität vom optischen Eindruck her vernachlässigbar. Beim Merkur ist das allerdings anders: Der Mittelpunkt seiner Bahn wäre deutlich wahrnehmbare 7,6 mm von der Sonne entfernt. Das zu vernachlässigen, ist ein prinzipieller Fehler des Modells.
- **Geschwindigkeiten:** Die Exzentrizitäten der Bahnen wirken sich nicht nur auf die Bahnform aus, sondern verursachen vor allem indirekt über das zweite Keplersche Gesetz Geschwindigkeitsschwankungen im Laufe eines Umlaufs. In meinem Modell wie in den meisten Planetarien sind die Planetengeschwindigkeiten konstant bezogen auf die simulierte Zeit. Dies führt zu einem Positionsfehler bei der Erde von maximal $2,5^\circ$ von der Sonne aus gesehen und bei der Venus von etwa 1° . Beide Abweichungen fallen nicht stark ins Gewicht, wenn man das Planetarium von außen betrachtet. Blickt man dagegen von der Erde aus auf die Venus in der Nähe einer unteren Konjunktion, dann können aufgrund der kleinen Entfernung nennenswerte Winkelabweichungen entstehen. Beim Merkur

beträgt der Fehler von der Sonne aus gesehen bis zu über 20° und es kommt zu Ungenauigkeiten bei der Vorhersage von oberen und unteren Konjunktionen bis zu fast einer Woche. All diese Fehler akkumulieren sich natürlich nicht über die Jahre hinweg.



Abb. 17: Getriebe

- **Getriebe:** Die Verhältnisse der Planetengeschwindigkeiten sind im Modell konstant. Das Verhältnis der Geschwindigkeiten von Erde und Venus beträgt 8:13 und das von Erde und Merkur 20:83. Damit benötigt die Venus im Modell 224,77 Erdtage für einen Umlauf um die Sonne und in der Realität 224,71 Erdtage. Beim Merkur sind es im Modell 88,01 Erdtage und in der Realität 87,97 Erdtage. Das bedeutet, dass die Verhältnisse der mittleren Geschwindigkeiten der Planeten so gut realisiert sind, dass in 50 Erdjahren hieraus nur ein Fehler von 3° bei der Venus und 2° beim Merkur resultiert. Wie die Getriebe mit Hilfe von Differentialen konzipiert wurden, ist in Ausgabe 3/2011 der [ft:pedia](#) beschrieben worden (Abb. 17).

- **Getriebekopf:** Der Getriebekopf ist in Abb. 19 dargestellt. Er ermöglicht es, drei Zeiger konzentrisch um eine Achse zu bewegen und eignet sich daher auch sehr gut für Uhren mit Stunden-, Minuten- und Sekundenzeigern. Das obere Z40 besitzt überhaupt keine Nabe,

wird von außen durch die vier Z20 gelagert und durch eines davon angetrieben. Das untere Z40 besitzt eine Freilaufnabe. Seine Drehbewegung wird mit Hilfe der Drehscheibe, der Bauplatte und zweier Achsen 30 durch die obere Kombination von Z40 und Drehscheibe zu einer weiteren Bauplatte weitergeleitet.

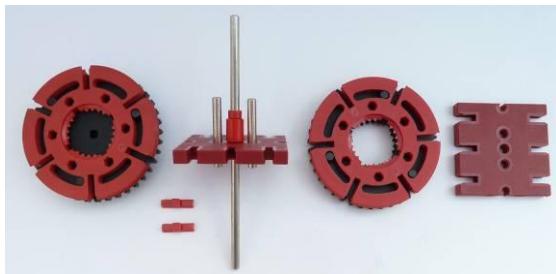


Abb. 18: Getriebekopf

- **Maßstäbe:** Im Modell werden nur zwei Maßstäbe verwendet. Die Planetenbahnen und die Größe der Sonne sind im Maßstab $1 : 1,5 \cdot 10^{12}$ (Abstand Erde-Sonne im Modell 10 cm). Die Planeten selbst sind etwa im Maßstab $1 : 9 \cdot 10^8$. Also gegenüber dem ersten Maßstab etwa 1.700fach vergrößert.
- **Datumseinstellung:** Die Datumseinstellung funktioniert über den durch eine Schnecke angetriebenen Jahreszähler und die Positionierung der Erde über dem äußeren Datumskranz (Abb. 19).

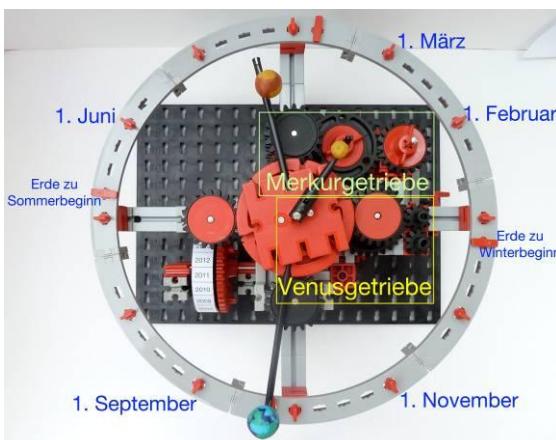


Abb. 19: Datumseinstellung

Die S-Riegel markieren dabei ungefähr die Monatsersten und die Streben-

adapter das Frühlings- und das Herbstäquinoktium sowie die Tage der Sommer- und Wintersonnenwende. Wegen der gleichmäßigen Verteilung der Markierungen auf dem Kranz im Gegensatz zu den ungleichen Monatslängen im Jahr entsteht eine Ungenauigkeit der Einstellung von ± 3 Tagen.

- **Motorisierung:** Mit geringem Aufwand kann das Modell motorisiert werden (Abb. 20). Der Polwendeschalter wird unmittelbar am Jahreszähler angebracht und von den Noppen des Z40 geschaltet. So läuft das Planetarium einstellbare sieben Jahre immer wieder vor und zurück.

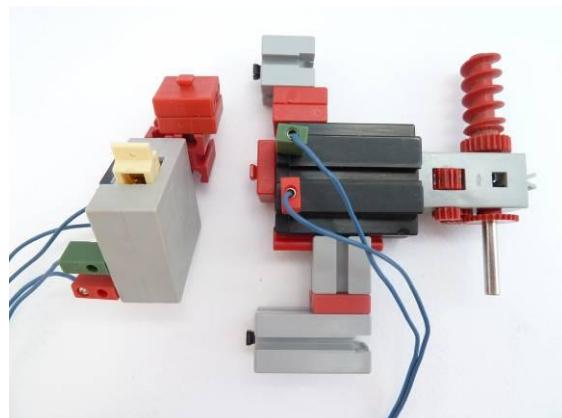


Abb. 20: Motorisierung

- **Sternbilder:** Mit Hilfe des Planetariumsprogramms Stellarium habe ich eine Merkatorprojektion des Sternenhimmels um die Ekliptik herum erstellt. Meine Tochter Jutta hat die Sterne mit Nadeln auf drei Bögen Tonpapier übertragen und die Sternbilder künstlerisch gestaltet. Die Helligkeit der Sterne wird durch die Dicke der aufgemalten weißen Punkte wiedergegeben. Der Maßstab der Projektion ist so gewählt, dass ein Tonpapierbogen genau an vier Flachträger mit Bogenstücken 30° angeschraubt werden kann. Immer zwei Tonpapierbögen können so je nach gewünschter Blickrichtung als Hintergrund verwendet werden.

Venustransit 2012

Am 6. Juni 2012 wird man bei klarem Himmel ein astronomisches Jahrhundert-Ereignis beobachten können: Die Venus zieht morgens als kleiner dunkler Kreis vor der Sonnenscheibe her. Der nächste solche Venustransit wird danach erst wieder am 11. Dezember 2117 zu beobachten sein. Um in die Sonne zu schauen, sollte man spezielle Schutzbrillen zur Sonnenbeobachtung benutzen, wie sie zum Beispiel 1999 bei der Sonnenfinsternis eingesetzt wurden.

Aber Achtung: *Niemals sollte man ohne geeigneten Schutz die Sonne beobachten. Es besteht die Gefahr schwerer Augenschäden!*



Abb. 21: Venustransit am 06.06.2012

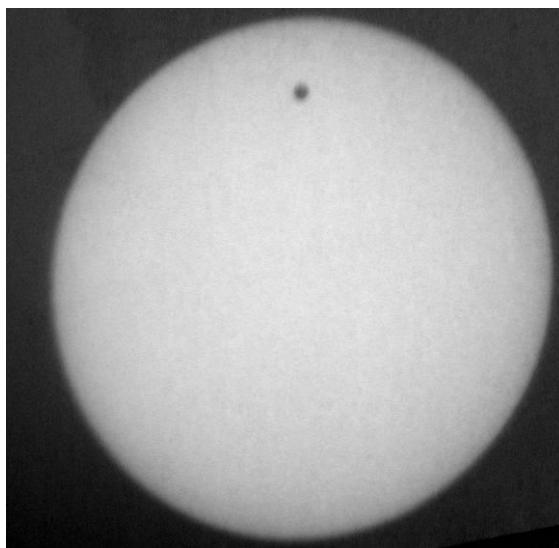


Abb. 22: Aufnahme des Venustransits aus dem Jahr 2004

Die letzten beiden Abbildungen zeigen die Konstellation von Sonne, Erde und Venus am 6. Juni 2012 mit dem Planetarium und eine Aufnahme des letzten Venustransits von 2004, die ich angefertigt habe, indem ich die Sonne durch einen Feldstecher auf einen Papierschirm projiziert habe.

Nachbau

Auf der ft-Convention 2011 und der Modellschau in Münster wurde ich verschiedene Male nach einer Bauanleitung gefragt. Falls jemand das Modell nachbauen möchte und diese Bilder und die der letzten Ausgabe nicht reichen, bitte ich um eine Nachricht. Bei entsprechendem Bedarf werde ich mehr Details bereitstellen.

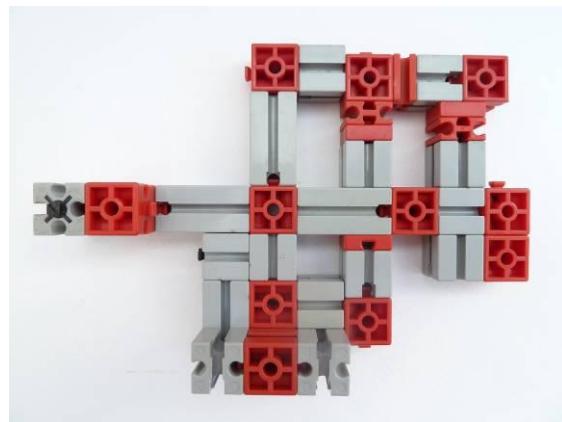


Abb. 23: Gerüst des Getriebes

Literatur und Links

- [1] Ludwig Meier: *Der Himmel auf Erden. Die Welt der Planetarien.* Johann Ambrosius Barth, Leipzig, Heidelberg, 1992.
- [2] Henry C. King: *Geared to the Stars. The Evolution of Planetariums, Orreries, and Astronomical Clocks,* University of Torronto Press, Torronto, Buffalo, 1978.
- [3] [http://journal.hautehorlogerie.org/en/
passion/auction/none-2252/](http://journal.hautehorlogerie.org/en/passion/auction/none-2252/)

- [4] Michel Whiting: Orrery Developments: The Use of Meccano in Constructing Planetaria, Bulletin of the Scientific Instrument Society, 94 (2004), 26-30.
- [5] <http://kepler.nasa.gov/files/mws/LEGOrrery2011.pdf>
- [6] http://acarol.woz.org/antikythera_mechanism.html
- [7] <http://astromedia.eu>
- [8] Stellarium: Kostenlose Planetariumssoftware, <http://www.stellarium.org>
- [9] Mathematiker auf Briefmarken: <http://www.w-volk.de/museum/stamps.html>, <http://jeff560.tripod.com/stamps.html>

