

Editorial

Wir sind so verschieden wie wir zahlreich sind.

Rüdiger Riedel (Rudi)

Der Fernsehkanal ARD alpha beleuchtete am 20.1.2026 in einer Sendung zu Neurodiversität Aspekte von Autismus, ADHS und Legasthenie. Ich selbst hatte nie eine Diagnose in dieser Richtung, aber in meiner Jugend und als junger Erwachsener war mir klar: Ich bin anders. Damals, in den 50er/60er Jahren, wurde das in der Öffentlichkeit gar nicht diskutiert. Eines Tages las ich den Bericht eines Autisten (genauer: Asperger), der mir die Augen öffnete, weil die wesentlichen Merkmale auf mich zutrafen.

Sehr hilfreich ist eine frühzeitige Diagnose. Sie ändert zunächst nichts an den Umständen, aber plötzlich ist man nicht mehr „vom anderen Stern“. Eine Reihe glücklicher Umstände bewahrten mich vor dem Schicksal vieler Autisten: 60% sollen arbeitslos sein.

Was kann ich nicht, wo bin ich eingeschränkt? Smalltalk, reden über Alltägliches. Dadurch ist das Knüpfen von Kontakten schwer bis unmöglich. Freunde finden, Freunde halten. Ich kann Gesichter nicht „lesen“. Das Verhalten anderer kann ich nicht oder nur sehr schwer deuten. Gefühlsregungen äußern sich bei mir oft sehr stark verzögert. Ich hasse Lügen. Gendern ist für mich körperlicher Schmerz.

Was klappt gut? Fachgespräche! Außerdem bin ich pünktlich, zuverlässig, genau. Ich liebe Mathematik, Physik, Chemie, Biologie und Technik. Als Kind habe ich am Metallbaukasten meine Phantasie ausgelebt und als Rentner ab 2016 in verstärktem Maße mit fischertechnik konstruiert. Angefangen mit dem Austausch im Forum der ft:c, dann mit meinen Artikeln in der ft:pedia und als Höhepunkte bei den Con-

ventions waren da plötzlich so viele interessante Menschen, mit denen ich mich völlig problemlos austauschen konnte.

Zu den glücklichen Umständen in meinem Leben zählte meine Mutter. Sie hatte einen Nachbarjungen in meinem Alter animiert, mit mir zu spielen, und er tat das sehr gerne und mit enormem Eifer. Bei jeder Gelegenheit lockte er mich nach draußen, obwohl mein Naturell das eines Stubenhockers war. Meine Eltern schenkten mir im Kindergartenalter einen Trix-Metallbaukasten und ein Spiel- und Bastelbuch. Beides begleitete mich während der ganzen Schulzeit.

Sehr unangenehm wurden die Defizite in der Pubertät. Wo andere Kinder zusammen feierten und Jungs und Mädels sich näherkamen, blieb ich außen vor. Das änderte sich erst, als ich meine erste Frau kennenlernte. Ein großes Glück. Da war ich 25.

Den Neurodiversitätsansatz, die Gesellschaft müsse die Ausprägungen von Autismus, ADHS usw. akzeptieren und inkludieren, teile ich nicht, sondern die alte Ansicht eines Defizits. Denn genau so habe ich es immer empfunden. Meiner Meinung nach ist es die Aufgabe der Gesellschaft, Kinder mit Defiziten zu unterstützen und sie „alltagstauglich“ zu machen. Mindestens ein Teil der Autisten kann beim gemeinsamen Konstruieren mit fischertechnik die sozialen Fähigkeiten verbessern und Hemmungen abbauen. Es stärkt das Selbstbewusstsein und baut das Außenseitergefühl ab, wenn sie merken, dass sie hier ihre Stärken ausleben können und dabei oft anderen voraus sind.

Herzliche Grüße, Euer Rudi

Inhalt

Wir sind so verschieden wie wir zahlreich sind.....	2
Ein Kugel-Dings: der Sphero BB-8.....	4
Ferngesteuerter Liebherr-Bagger mit Linearantrieben und Kettenraupenfahrwerk.....	8
Viergelenkgetriebe	12
Mondphasengetriebe mit höherer Präzision	22
Neues Magnetventil	28
Druckluftmotoren bauen, verstehen, vergleichen	31
Druckluftsteuerungen – Pneumatische Boosterpumpe mit fischertechnik.....	50
Es quietscht und pfeift: Wie man eine Orgel baut (Teil 2).....	60
Linienfolger mit Silberlingen	67
fischertechnik-Plotter mit Parallel-Interface	74
Oxocard und HTTP	83

Termine

Was?	Wann?	Wo?
fischertechnik Fan-Club-Tag	09.05.2026	Waldachtal

Impressum

<http://www.ftpedia.de>

Herausgeber: Dirk Fox, Ettlinger Straße 12-14, 76137 Karlsruhe und Stefan Falk, Ulmenweg 9, 76275 Ettlingen

Autoren: Florian Bauer, Axel Chobe, Arnoud van Delden, Matthias Dettmer, Stefan Falk, Dirk Fox, Lambert Janssen, Peter Krijnen, Claus Ludwig, Rüdiger Riedel.

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

Modell

Ein Kugel-Dings: der Sphero BB-8

Rüdiger Riedel

Inspiziert vom Star-Wars-Robot Sphero BB-8 einer bekannten Klemmbausteinfirma habe ich das Kugel-Dings nachempfunden.

Sphero BB-8 ist ein Roboter mit Kugelbauch und halbkugeligem Kopf, wobei dieser trotz Bewegung der Kugel immer einigermaßen oben bleibt. So weit geht mein Modell allerdings nicht. Wie beim Vorbild der bekannten Klemmbausteinfirma bleiben Kopf und Körper mit einer Achse verbunden.



Abb. 1: Der Kugelrobot

Wenn der Körper leicht schräg gehalten und über den Boden geschleift wird, dreht sich der Kopf rechts- oder linksherum.

Wie meistens habe ich mich mit Versuch und Irrtum ans Werk gemacht:

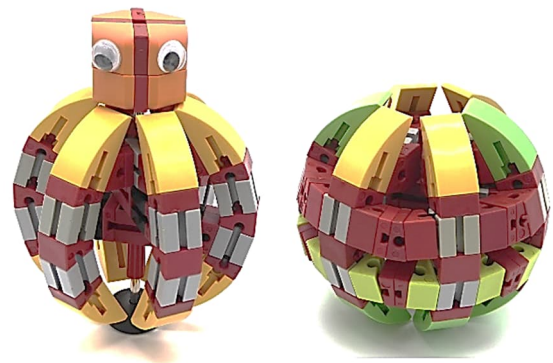


Abb. 2: Die ersten Versuche

Die ersten Exemplare waren recht kompliziert und nicht wirklich „im Raster“.

Der Bau des Sphero

Wir beginnen mit dem Äquator:

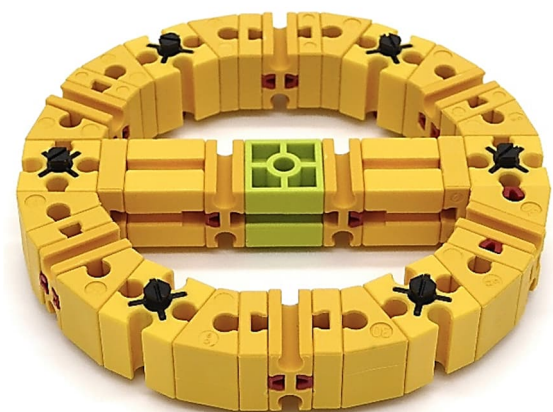


Abb. 3: Ring mit Steg

Der Ring besteht aus vier Baugruppen BS15 + WS30 + BS5 + BS7,5 + WS30 sowie zwei

Baugruppen BS15 + WS30 + BS5 + BS7,5 + BS5 + WS30. Hinzu kommen zwölf Federnocken zu beiden Seiten der BS7,5 und weitere sechs Federnocken in den Unterseiten der BS15. Der Steg in der Mitte besteht aus einem BS15 Loch, zwei BS5, zwei BS7,5, zwei BS15 und zwei Federnocken. Im nächsten Schritt wird das obere Skelett der Kugel erstellt.

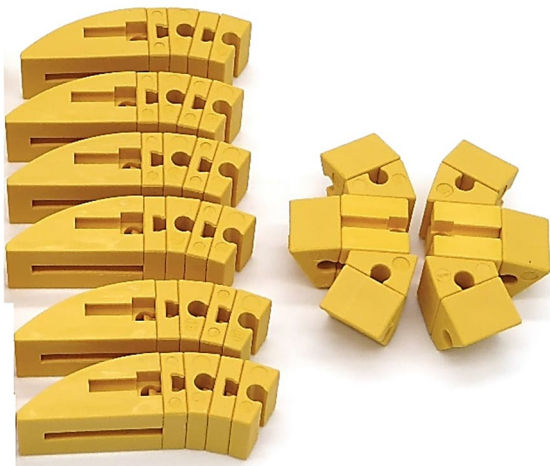


Abb. 4: Bauteile

Die beiden Halterungen (rechts in Abb. 4) bestehen aus jeweils einem BS15, fünf WS30 und zwei Federnocken. daran werden die sechs „Zapfen“ befestigt. Diese setzen sich zusammen aus BS30 rund + BS5 + WS15 + BS5 + WS15. Das ergibt zwei unabhängige Teile gemäß Abb. 5.



Abb. 5: Kugel-Oberteil

Die beiden Baugruppen werden auf die BS15 des Rings aufgeschoben:

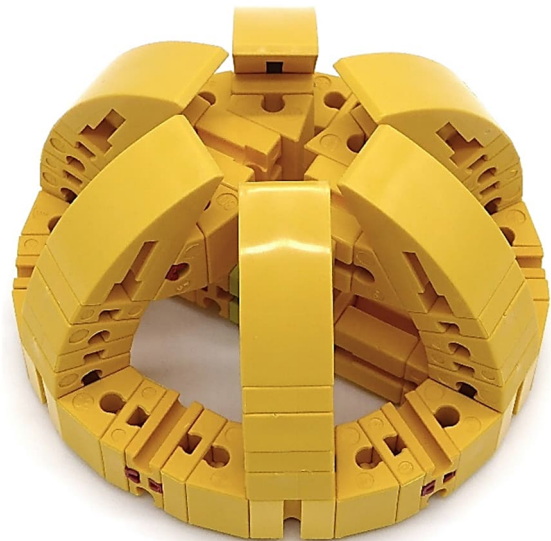


Abb. 6: Obere Halbkugel fast fertig

Weitere sechs „Zapfen“ (wie Abb. 4 links) werden auf die Federnocken der sechs BS15 unten aufgeschoben.



Abb. 7: Das Gerüst

Wir bauen jetzt zwölf BS30 rund, zwölf WS7,5 und zwölf Federnocken nach Abb. 8 zusammen und schieben sie auf die BS7,5 des Rings.



Abb. 8: Die „Zwischenfinger“

In Abb. 9 sehen wir die fertige Kugel.



Abb. 9: Die fertige Kugel

Jetzt fehlen nur noch Kopf und Fuß.



Abb. 10: Halter für Kopf und Fuß

Für die Verbindung von Kopf und Fuß nehmen wir gemäß Abb. 10 von links nach rechts: Eine Flachnabe mit Nabenmutter, eine Achse 30, eine Klemmbuchse 10, eine Klemmkupplung 20, eine Achse 80 und eine Klemmbuchse 5. Das Ganze stecken wir von unten in die Kugel (BS15 Loch).

Die Achse 80 schaut dann ein Stück oben heraus. Darauf schieben wir eine Scheibe mit Hülse (Abb. 10 rechts) mit der Hülse nach unten so weit hinein, dass sich die Achse noch leicht drehen lässt. Darauf kommen eine Klemmbuchse 10 und eine weitere Scheibe mit Hülse mit der Scheibe noch oben.



Abb. 11: Oben und unten

Abb. 11 zeigt das Ergebnis: Die Flachnabe schaut unten ein Stück heraus und oben haben wir ein Stück Achse und eine Scheibe zur Aufnahme des Kopfes.

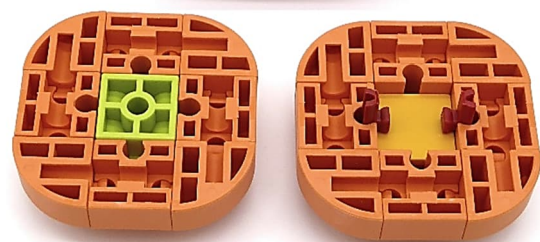


Abb. 12: Der Kopf; oben fertig, unten die Teile

Für den Kopf brauchen wir einen BS15 Loch, zwei Platten 15×15, einen BS7,5, zwei Federnocken, acht Fassensteine 15×15 ([208312](#)) und acht Ecksteine 15×15 abgerundet ([208313](#)). Die beiden Platten werden auf den BS7,5 geschoben und dieses Gebilde drücken wir zum Schluss von oben hinein.



Abb. 13: Fertig ist unser Sphero

Zwei Fremdteile, die Augen, geben dem Sphero im Unterschied zum Original ein Gesicht (siehe Abb. 1).

Sphero wie im Film

Toll wäre es, wenn der Roboter-Kopf trotz Rollbewegung des Körpers immer oben bleiben würde.

Für den Körper hatte ich bereits vor Jahren die Rollmaus für den Einsatz in einer Plastikugel von 14 cm Durchmesser angepasst [1]. Versuchsweise habe ich sie mit einem „Baustein 15 Magnet“ ([108278](#)) ausgerüstet und im Kopf, einem leichten Plastikdeckel, mit einem „Rastketten-Magnetkugelhalter“ ([119850](#)). Die Magnete

habe ich so gewählt, dass sie sich gegenseitig anziehen. Leider entstehen dadurch so große Reibungskräfte, dass ein Betrieb nicht möglich ist. Viele weitere Versuche brachten keine Verbesserung. Schade.



Abb. 14: Kugelmaus mit Kopf



Abb. 15: Kugelmaus

Quellen

- [1] Rüdiger Riedel: *Zweirad*. [ft:pedia](#) 3/2021, S. 11–18.

Modell

Ferngesteuerter Liebherr-Bagger mit Linearantrieben und Kettenraupenfahrwerk

Claus Ludwig

Im aktuellen Beitrag geht es um den Umbau des fischertechnik-Liebherr-Bagger 938 auf Linearantriebe in Kombination mit einem Kettenraupenfahrwerk – ferngesteuert mit der aktuellen fischertechnik-Fernsteuerung und Handsender.



Abb. 1: Gesamtansicht des Liebherr-Baggers, links

Die Idee

Im Sommer letzten Jahres kam zum 60jährigen Bestehen von fischertechnik der neue Baukasten mit dem Liebherr-Bagger 938 heraus – gesteuert über Pneumatik-Zylinder und 4/3-Wege-Handventile. Der Bagger gefiel mir ganz gut, die Lösung mit

den Handventilen überhaupt nicht. Auch beim Fahrwerk war aus meiner Sicht noch „Luft nach oben“. Also beschäftigte ich mich erst einmal nicht weiter mit dieser fischertechnik-Neuheit.

Neugierig wurde ich erst, als kurz nach dem Erscheinen des Baukastens im ftc-Forum

von Arjen Neijzen [1] eine ferngesteuerte Version mit den bekannten elektrischen fischertechnik-3/2-Wegeventilen vorgestellt wurde - später auch noch mit ferngesteuertem Fahrwerk.

Diese Version wollte ich nachbauen, eigene Erfahrungen damit sammeln und nach weiteren Umbau-Lösungen suchen, z. B. dem Einsatz von Linearantrieben, wie wir sie schon von einer Reihe an Modellen von Detlef Ottmann kennen [2].



Abb. 2: Gesamtansicht des Liebherr-Bagger, rechts

Der Oberbau – Umbau auf Linearantriebe

Im ersten Schritt ersetzte ich im Originalmodell die drei Handventile durch sechs elektrische 3/2-Wegeventile von fischertechnik. Das funktioniert ganz gut und wurde im Forum umfassend gezeigt und diskutiert. Was mir nicht gefiel, war, dass es bei den fischertechnik-Ventilen keinen Stutzen für die Abluft gibt und man damit die Abluftdrosseln nur in den Luftleitungen einsetzen kann. Insbesondere für die beiden Zylinder, die den Ausleger bewegen, erfordert das viel Geschick, um den Ausleger auf Position zu halten. Ergänzen möchte ich, dass die alternativen Ventile mit Abluftstutzen von fischerfriendsman [3] eine Zeitlang nicht lieferbar waren. Das sprach für mich eindeutig für den Einsatz von Linearantrieben.

Alle vier Pneumatik-Zylinder wurden daher im nächsten Schritt durch Linearantriebe ersetzt. Die Antriebe haben, wie auch die fischertechnik-Zylinder, einen Hub von 30 mm. Die Stellgeschwindigkeit liegt bei 30 mm/s und die Kraft bei 30 N.

Bei den beiden Antrieben für den Ausleger konnten die Lagerpunkte übernommen werden. Lediglich die Gelenkwürfel der unteren Lager wurden durch Rollenlager ersetzt. Damit sich die Linearantriebe auch ausreichend nach vorne neigen können, ist es erforderlich, die Ecken der Rollenlager abzuschleifen (Abb. 3).



Abb. 3: Lagerung der beiden Antriebe für den Ausleger

Bei den beiden Antrieben für den Stiel und den Löffel mussten die unteren Lagerungen umkonstruiert, etwas verschoben und beim Löffel noch zusätzlich gesichert werden.



Abb. 4: Lagerung Antrieb Löffel

Auch hier wurden die Gelenkwürfel durch Rollenlager ersetzt (Abb. 4).

Für die Steuerung der Linearantriebe werden die Anschlüsse M1-M3 des ersten Empfängers verwendet. Die Drehung des Oberbaus erfolgt durch zwei S-Motoren mit U-Getrieben und einer Rastschnecke. Zur Steuerung wird der Servo des ersten Empfängers eingesetzt und eine Wechselschaltung mittels zweier Taster (Abb. 5, 6, 13).

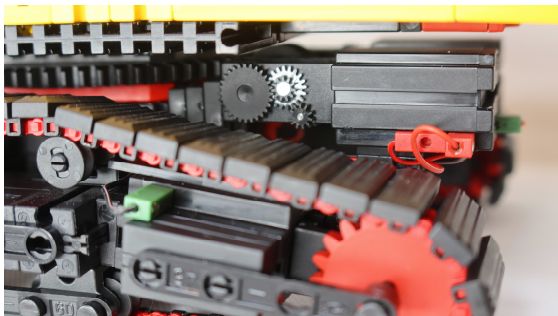


Abb. 5: Antrieb Drehung Oberbau (1)

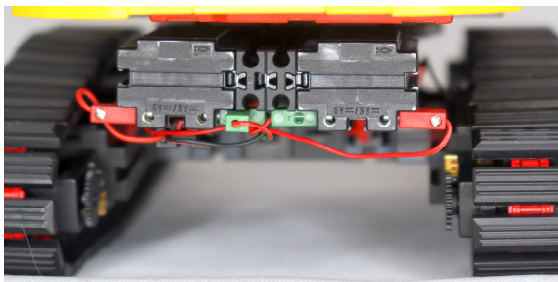


Abb. 6: Antrieb Drehung Oberbau (2)

Unterwagen und Kettenantrieb

Für den Unterwagen wollte ich einen richtigen Kettenantrieb mit Raupenbelägen

haben. Dazu verwendete ich pro Seite 96 Rastkettenglieder und 48 harte Raupenbeläge. Für den Antrieb sorgen auf der Hinterseite des Fahrwerks zwei S-Motoren mit U-Getrieben und Rast-Z 20 (Abb. 7).

Es zeigte sich, dass diese Kombination ziemlich genau die gleiche Länge hat wie die fischertechnik-Konstruktion und sich damit sehr leicht umbauen ließ (Abb. 8).

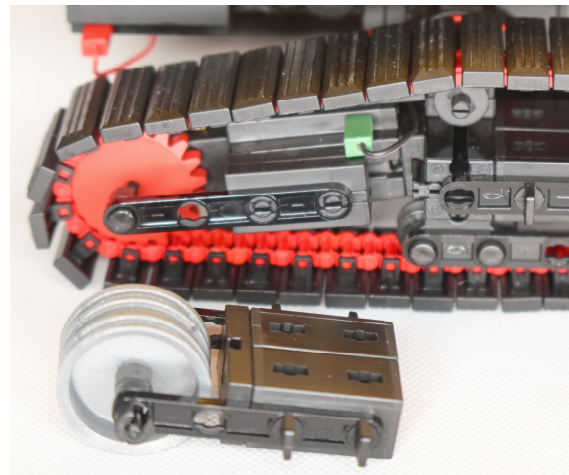


Abb. 8: Vergleich manueller und elektrischer Antrieb Fahrwerk

Zu beachten ist, dass die Motorgetriebeeinheit etwas nach innen verschoben werden muss, damit die Flucht mit dem vorderen Zahnrad und dem Mittelteil stimmt.

Die im Bild zu sehenden Bausteine 15×30×5 mit der I-Strebe haben dabei keine technische Funktion. Sie dienen rein der Optik (Abb. 9, 10).

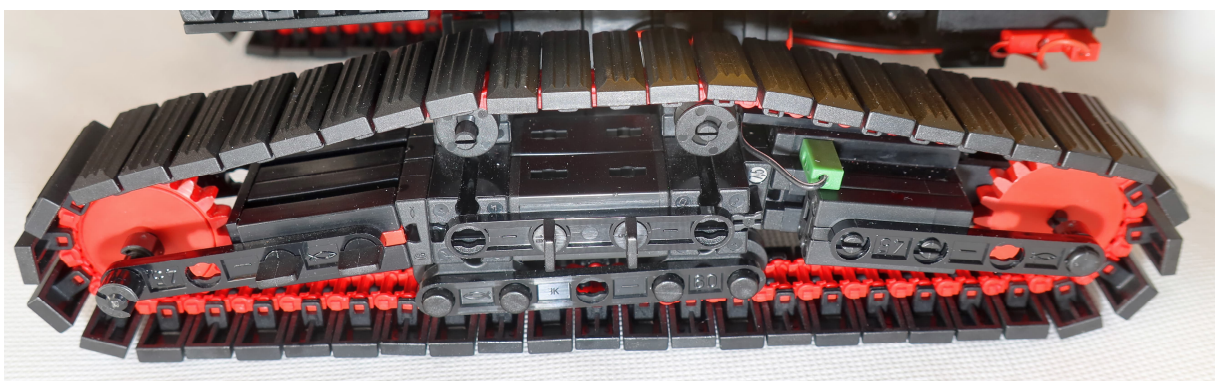


Abb. 7: Kettenraupenfahrwerk

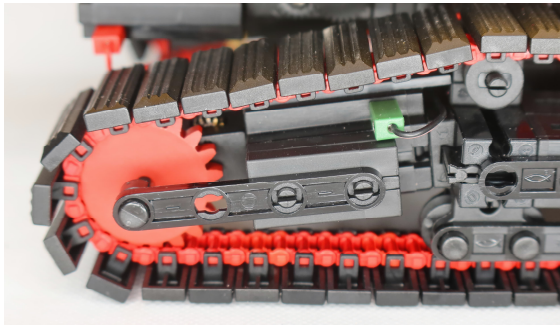


Abb. 9: Hinterer Teil Raupenfahrwerk (1)

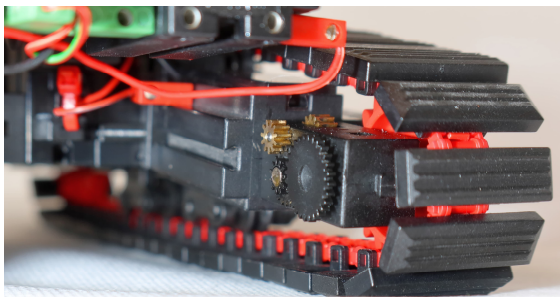


Abb. 10: Hinterer Teil Raupenfahrwerk (2)

Auf der Vorderseite wurden die Statik-Teile gegen 30er-Bausteine ersetzt. Damit können die Radhalterungen in den Nuten der Bausteine verschoben werden und die Ketten so optimal gespannt werden. Zur Sicherung werden die roten Federnocken passgenau gekürzt und in die Nuten eingesetzt (Abb. 11).

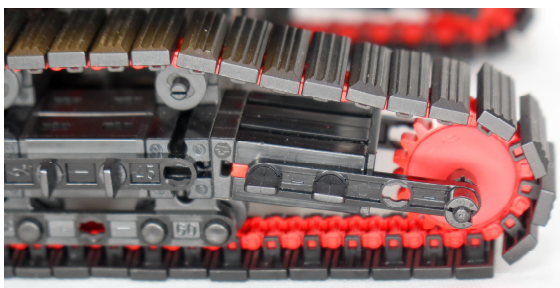


Abb. 11: Vorderer Teil Raupenfahrwerk

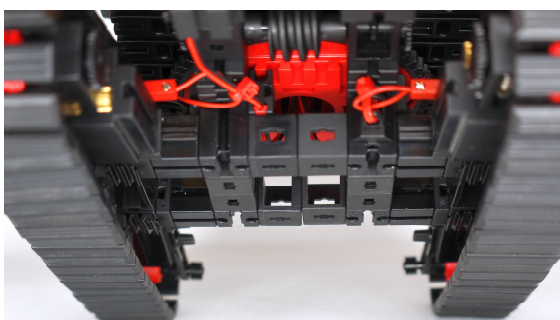


Abb. 12: Unterseite Fahrwerk

Die Steuerung erfolgt über den zweiten Empfänger, der auf Raupensteuerung eingestellt ist.

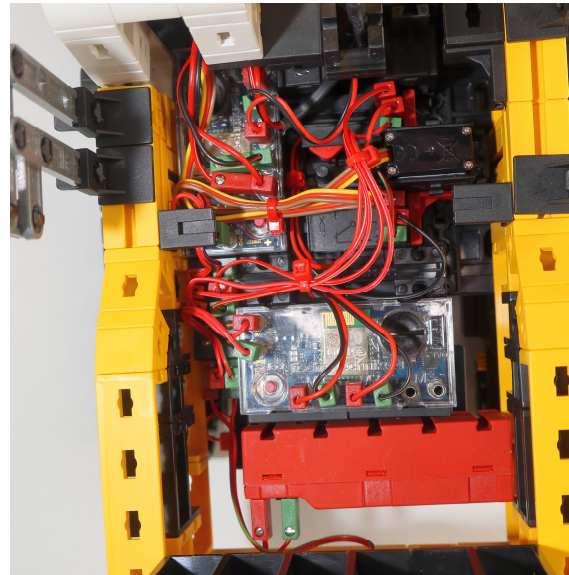


Abb. 13: Baggersteuerung

Stromversorgung

Da ich schon seit ein paar Jahren gute Erfahrungen bei kleinen und kleineren Modellen mit 9-V-Li-Ion-Akkus habe, habe ich die auch beim Bagger eingesetzt. Und es funktioniert erstaunlich gut (Abb. 14).



Abb. 14: Li-Ion-Akku

Referenzen

- [1] ftc-Forum: [Modellideen & -vorstellung](#)
- [2] ftc-Forum: [Bildersammlung: Modelle/Baumaschinen/Bagger](#)
- [3] [fischerfriendsman](#), unabhängiger fischertechnik-Händler

Getriebe

Viergelenkgetriebe

Lambert Janssen

Auf die Frage „was ist eigentlich ein Getriebe“ werden die meisten das Schaltgetriebe im Auto nennen. Falsch ist das zwar nicht, erfasst aber nur einen Teil der möglichen Getriebe. Das Autogetriebe gehört ebenso wie die Rädchen der mechanischen Uhr zur Gruppe der Zahnradgetriebe (Rädergetriebe), die vielfach als einzig bekannte Getriebeart wahrgenommen werden, weil sie uns so häufig begegnen. Darüber hinaus gibt es aber bedeutsame Getriebe ohne Zahn-, Ketten- oder Riemenräder, die weniger bekannt, aber nicht weniger wichtig sind. Eines davon ist das Viergelenkgetriebe als besondere Art der Koppelgetriebe.

Einleitung

Anders als die Rädergetriebe ist das Viergelenkgetriebe in Veröffentlichungen zu fischertechnik wenig sichtbar. Für ausführliche Darstellungen muss man schon in die frühen 1970er Jahre zurückgehen, wo es in der Reihe „fischertechnik hobby Experimente+Modelle“ in den Heften hobby 1 Band 2 und hobby 2 Band 5 recht umfassend behandelt wurde [1]. Zum Verständnis kann auch das Buch „Was hat der Bagger mit Mathematik zu tun?“ [2] sehr beitragen.

Diese geringe Beachtung hat das Viergelenkgetriebe wegen seiner vielfältigen technischen Anwendungen nicht verdient. Wir finden es etwa als Scheibenwischer am Auto, Fußantrieb von Geräten, Crosstrainer, oder Vorschub an Werkzeugmaschinen, aber auch als Klappmechanik an Schränken, Türschließer, Stromabnehmer, bei Klappbrücken, Schwenkarmen von Schreibtischlampen, in Lenktrapezen von Kraftfahrzeugen, in Flugzeugfahrwerken [13] oder Hafenkranen. Das Viergelenkgetriebe ist unverzichtbar, aber häufig wenig sichtbar.

Das Viergelenkgetriebe gehört zur Gruppe der Koppelgetriebe. Es sind Konstruktionen mit Gliedern aus Metall oder sonstigen festen Stoffen, die durch Gelenke verbunden sind. Es ist – von Sonderformen abge-

sehen – ein wiederkehrend ungleichförmig übersetzendes Getriebe. Was bei Räder- oder Riemengetrieben ein schwerer Fehler wäre, ist bei den Koppelgetrieben beachtlich. Die Eingangsbewegung soll gerade nicht gleichförmig auf den Ausgang übertragen werden. Weil das umlauffähige Viergelenkgetriebe Drehbewegungen in Schwingungen wandelt, wird es als Übertragungsgetriebe eingesetzt, indem Drehbewegungen vom Antriebsglied auf den Abtrieb übertragen werden, wie z. B. beim Scheibenwischer. Es kann aber auch als Führungsgetriebe dienen und Punkte auf bestimmte Bahnen führen. Beispiele sind Gelenkscharniere, aber auch das historische Wattsche Parallelogramm, das eine moderne Anwendung bei der Fahrzeugfederung findet. Durch ganz bestimmte Längenverhältnisse der einzelnen Glieder erreicht man eine weitgehende Geradföhrung [3, 4]. Darauf soll hier aber nicht näher eingegangen werden.

Getriebebestandteile und Getriebeaufbau

Das Viergelenkgetriebe ist das einfachste Koppelgetriebe mit der Mindestzahl von vier Elementen. Mit drei Elementen kann man zwar ein Dreieck bilden; Bewegungen sind, weil es sich um ein Fachwerk handelt,

aber nicht möglich. Wenn man beim Viergelenkgetriebe ein Getriebeglied bewegt, folgt zwangsläufig die Bewegung der übrigen Glieder (Zwangslauf). Nach Erweiterung um ein oder mehrere Glieder erhält man auch Koppelgetriebe, allerdings kann man Glieder bewegen ohne Auswirkung auf übrige. Damit sind komplizierte Bewegungen möglich, etwa beim Cabriooverdeck.

Wie der Name schon sagt, besteht das Viergelenkgetriebe aus vier Festkörpergliedern in Form von Schienen, Rohren, Platten oder Streben, die durch vier drehbare Gelenkpunkte verbunden sind. Die Glieder müssen nicht gerade sein, sie können auch gebogen oder geknickt sein. Entscheidend kommt es darauf an, dass die Länge der Glieder und ihr Abstand zu den Gelenkpunkten unveränderbar ist. Das ist der Unterschied zum Schubkurbelgetriebe, wo etwa ein Kolben in einem Zylinder bewegt wird.

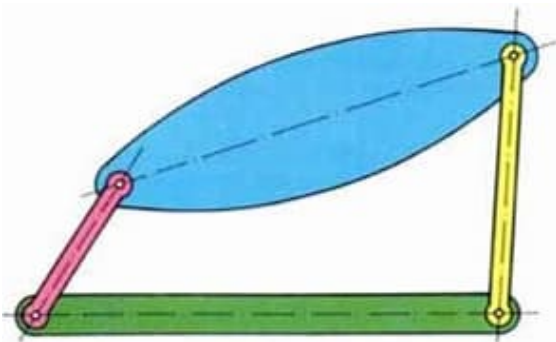


Abb. 1: Viergelenkgetriebe

Das Getriebe für unsere Versuche besteht aus vier Gliedern mit den Längen:

- „l“ mit 120 mm
- „n“ mit 105 mm
- „m“ mit 90 mm
- „k“ mit 60 mm

Dass diese Maße kein Zufall sind, wird noch später erläutert.

Die vier Glieder werden in der Reihenfolge l, k, n und schließlich m zu einer geschlossenen Kette verbunden.

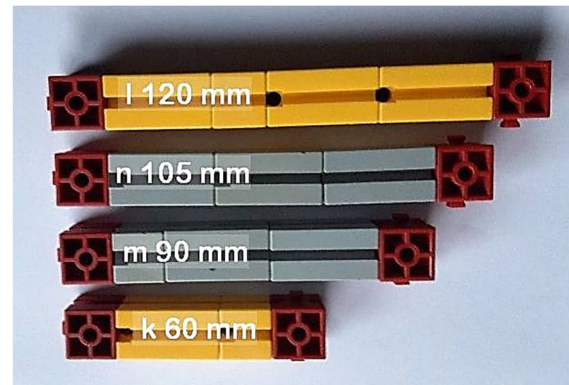


Abb. 2: Die Glieder für das Versuchsgetriebe

Zum Getriebe, das Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen durchführen kann, werden die Teile erst, wenn eines davon mit den darauf liegenden Drehpunkten fest gelagert wird. Es wird dann als Gestell bezeichnet. Die anderen beweglichen Glieder können unterschiedliche Funktionen haben. Die am Gestell befestigten Glieder sind die Lenker. Wenn sich ein Lenker vollständig drehen lässt, nennt man ihn Kurbel. Lenker in ihrer Funktion als Schwingen können nur begrenzt hin und her bewegt werden. Die Verbindung zwischen den Lenkern ist die Koppel.

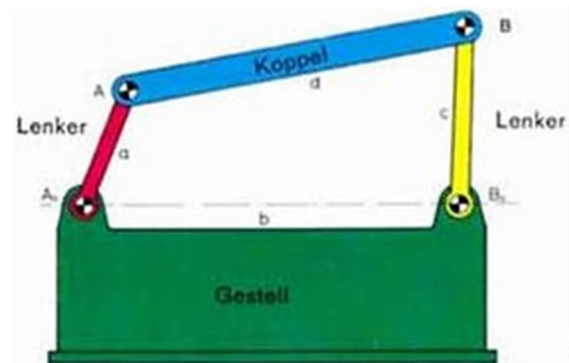


Abb. 3: Viergelenkgetriebe mit Gestell

Kurbelschwingen

Bei der ersten Anwendung unseres Getriebes wird das längste Glied „l“ zum Gestell gemacht. Zur Vereinfachung der Konstruktion werden die Lenker entsprechend der Länge des Gestells auf die Grundplatte gesteckt. Das Element „m“ wird zum rechten Lenker und das zweitlängste Glied wird

gegenüber dem Gestell zur Koppel. Das kürzeste Glied „k“ wird der linke Lenker.

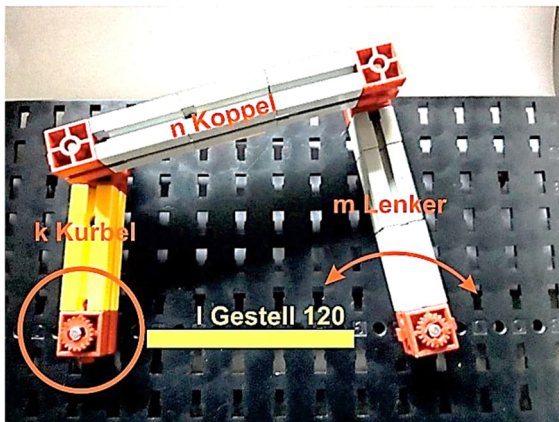


Abb. 4: Getriebe mit „l“ als Gestell

Bei der Inbetriebnahme kann der kurze Lenker als Kurbel eine volle Umdrehung machen, während der rechts gegenüberliegende Lenker eine Schwenkbewegung vollführt. In dieser Form wird eine gleichmäßige Bewegung – der Kreislauf der Kurbel – in eine sich wiederholende, begrenzte und ungleichförmige Bewegung – die Schwingung – umgewandelt.

Auch wenn man das Ganze horizontal spiegelt und das Teil „n“ zum Gestell und das Teil „l“ zur Koppel wird, ergibt sich eine Kurbelschwinge. Die Kurbel kann wieder vollständig umlaufen. Weil die Koppel länger ist, schwenkt das Ganze weiter nach links aus als mit „n“ als Koppel.

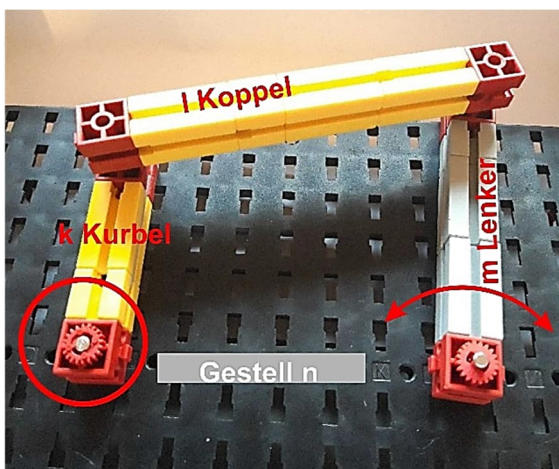


Abb. 5: Getriebe mit „n“ als Gestell

Beide Konstellationen sehen wenig spektakulär aus, sind aber die Grundlage für die häufigste Anwendung des umlaufenden Kurbelgetriebes. Deutlicher wird das schon, wenn wir die Schwinge nach oben verlängern und damit einen primitiven Scheibenwischer erhalten. Die Kurbelschwinge kann auch zur Impulsgebung beim Sperrgetriebe oder zum stoßweisen Transport eingesetzt werden.

Auffällig ist die ungleichförmige Geschwindigkeit. Sie beginnt mit 0 in der Endlage, steigt dann während der Schwingung zur maximalen Geschwindigkeit, um schließlich wieder in der anderen Endlage bei 0 zu enden [5]. Dabei sind die Bahngeschwindigkeiten darüber hinaus aufwärts anders als bei Abwärtsbewegungen. Besonders auffällig ist das alles aber nicht. Die Schwingen bewegen sich auf einem berechenbaren Kreisbogen (dazu noch unten). Die Kurbel kann nur eine vollständige Kreisbahn beschreiben. Interessanter ist aber die Bahnkurve des Mittelpunkts der Koppel. Die könnten wir uns natürlich komfortabel in einer Computersimulation darstellen lassen. Aber mit einer Bleistiftmine, einem BS 30 mit Bohrung und etwas Fummelei erhalten wir unmittelbar ein Ergebnis.

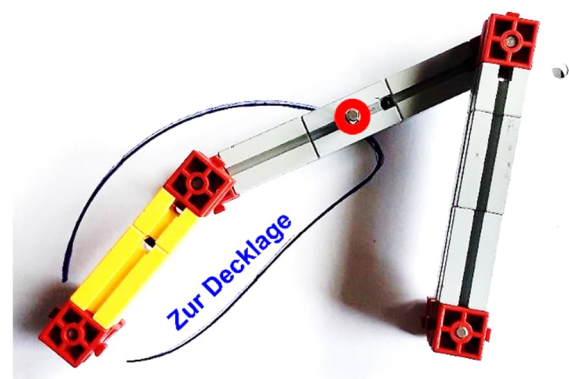


Abb. 6: Bestimmung der Bahnkurve

Bei rechtsdrehender Kurbel legt der Mittelpunkt der Koppel bei der Abwärtsbewegung zur Decklage einen kürzeren Weg zurück als bei der Aufwärtsbewegung. Abwärts ergibt sich in großen Teilen eine

fast gradlinige Kurve. Bei der Aufwärtsbewegung in die Strecklage verläuft der Weg des Koppelmittelpunkts bogenförmig, ist also weiter, was zu einer größeren Bahngeschwindigkeit führt. Die unterschiedlichen Bahnkurven muss man berücksichtigen, wenn etwa die Koppel bei stoßweisem Transport verwenden will.

Der Asymmetrie der Koppelkurve entspricht auch eine Asymmetrie des Kreisbogens, den die Kurbel zwischen den beiden Wendepunkten durchläuft. Bei der Abwärtsbewegung aus der Strecklage ergibt sich ein Kreisbogen von 173° , dann kommt die Kurbel mit 187° zur vollen Umdrehung zurück. Die jeweiligen Kurbelwinkel lassen sich zeichnerisch gut darstellen. Wie man wichtige Winkel berechnet, wird später noch erklärt.

Interessant sind auch Anwendungen, bei denen die Schwingung auf Teilstrecken in eine annähernd gerade Linie umgewandelt wird. Allerdings sind für diese Geradführung spezielle Längenverhältnisse und Konstruktionen erforderlich [3, 4].

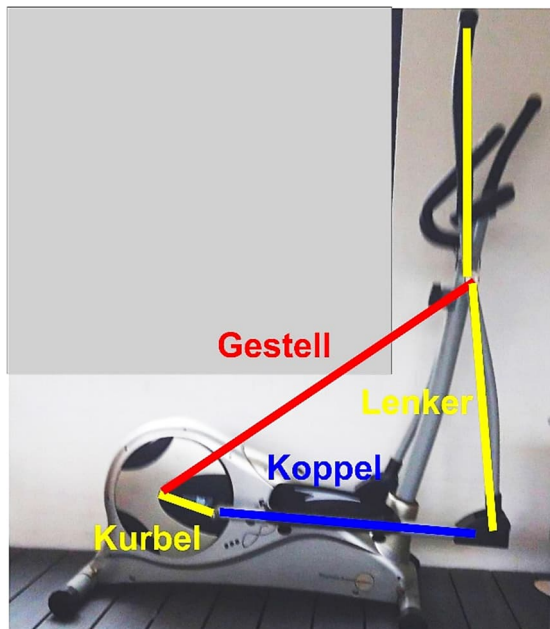


Abb. 7: Viergelenkgetriebe beim Crosstrainer

Man kann die Verlängerung der Schwinge nicht nur als Abtrieb, sondern auch als Antrieb nutzen. Die dafür angeführten Bei-

spiele als Fußantrieb für Nähmaschinen oder Schleifsteine sind nur noch von historischem Interesse. Die menschliche Energie für die Hin- und Herbewegung ist durch Elektromotoren direkt am Antrieb ersetzt worden. Beim Crosstrainer findet eine Kraftübertragung durch verlängerte Lenker statt.

Beim Antrieb über die Schwinge gibt es Probleme bei Decklage und Strecklage. Mit den Lenkern ist dann keine Bewegung möglich. Nur mit aufgebauter Schwingenergie geht es vorwärts. Man muss also durch eine Schwungmasse oder durch ein zweites System für den Ausbruch aus diesen sogenannten Totlagen sorgen. Beim Crosstrainer sorgt dafür der zweite Lenkerhebel, auf der gegenüberliegenden Seite. Beim Antrieb über die Kurbel haben wir diese Probleme nicht.

Umlauffähigkeit

Zur Prüfung der Möglichkeiten und Grenzen der Umlauffähigkeit des Getriebes kann man zunächst die Kette auseinandernehmen und z. B. Lenker und Koppel vertauschen. Dass sich die Kurbel bei Vertauschen von Koppel und Gestell drehen kann, haben wir ja schon gesehen. Mit dem Austausch wollen wir es aber nicht bewenden lassen. fischertechnik macht es uns einfach, die Teile zu kürzen oder zu verlängern. Mit den BS 5 und BS 7,5 kann das bei der Kurbel in kleinen Schritten geschehen. Die kleinste Länge der Kurbel ist konstruktionsbedingt auf 15 mm beschränkt, wenn man zwei BS 15 mit Bohrung aneinandersteckt. Der Ausschlagwinkel ist dann recht klein. Mit weiterer Verlängerung der Kurbel wird der Winkel größer. Aber die Verlängerungsmöglichkeit findet ihre Grenze. Wenn wir die Kurbel auf 72,5 mm verlängern, ist sie noch umlauffähig. Bei weiterer Verlängerung auf 75 mm stößt die Kurbel an und kann nicht mehr umlaufen. Auch wenn wir die Koppel um einen BS 30 verkürzen, ist das Getriebe nicht mehr umlauffähig. Ebenso können

sich Veränderungen am Gestell auf die Umlauffähigkeit auswirken.

Diese Ergebnisse folgen einer Gesetzmäßigkeit. Ob die Kurbel als kleinstes Glied volle Umdrehungen bei Schwingungen des Lenkers machen kann, hängt von den Längenverhältnissen der einzelnen Getriebeglieder ab, die der Ingenieur Franz Grashof formuliert hat.

Die Grashof-Regel besagt:

„Die Kurbel als kleinstes Glied einer Viergelenkkette ist voll drehfähig, wenn die Kurbel zusammen mit dem längsten Glied der Kurbelschwinge kleiner ist als die anderen beiden Glieder.“

Allgemein formuliert:

$$l_{min} + l_{max} < l_i + l_k$$

In unserer Konstruktion ist $k + l = 180$ mm kleiner als die Summe der übrigen Teile, also $m + n = 195$ mm. Deshalb kann die Kurbel als kleinstes Getriebeteil eine volle Umdrehung machen.

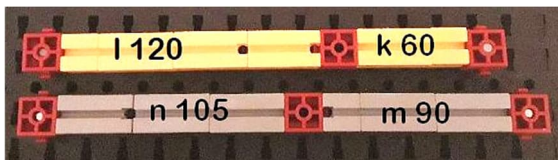


Abb. 8: $k + l$ vs. $n + m$

Aus der Grashof-Regel kann man auch die maximale Länge z. B. der Kurbel für ein funktionsfähiges Viergelenkgetriebe in unserem Beispiel errechnen.

$$k + l < m + n$$

$$k + 120\text{mm} < 105\text{mm} + 90\text{mm}$$

$$k < 75\text{mm}$$

Das haben wir ja im Versuch schon annähernd festgestellt. Ein Sonderfall liegt vor bei gleichen Summen, wenn also

$$l_{min} + l_{max} = l_i + l_k$$

Beispiel:

$$75\text{mm} + 120\text{mm} = 105\text{mm} + 90\text{mm}$$

Dann kann es zu Problemen kommen. Die Schwinge fluchtet mit der Kurbel, gerät in eine „Totpunktlage“ und kann unkontrolliert in die Gegenrichtung umschlagen. Man spricht dann von einem „durchschlagenden“ Getriebe. Was bei der Kurbelschwinge unerwünscht ist, ermöglicht bei der Sonderform des Gelenkvierecks als Parallelkurbeltrieb erst dessen Funktion. Das ist aber ein umfangreiches Gebiet für sich.

Winkelberechnungen

Für die Anwendung kann die Größe des Schwingungswinkels von großer Bedeutung sein. Man kann dazu natürlich eine Winkelscheibe auf die Arbeitsplatte legen und die Ergebnisse ablesen oder die Winkel zeichnerisch ermitteln. Der Ausschlagwinkel bei beiden Endlagen lässt sich aber auch berechnen. Anders als sonstige Berechnungen am Gelenkviereck ist das mit trigonometrischen Kenntnissen aus der Sekundarstufe I möglich. Wir haben sowohl für die linke Strecklage als auch für die rechte Decklage ein Dreieck mit drei bekannten Seitenlängen und können dann mit dem Kosinussatz den Winkel β berechnen.

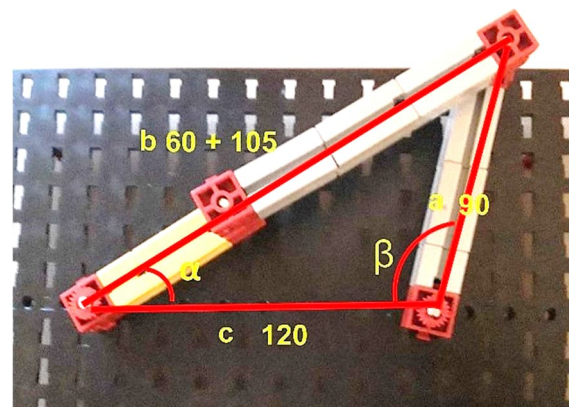


Abb. 9: Zur Berechnung des Winkels β

Bei der Berechnung des Winkels für die Strecklage β haben wir die Seiten a als Schwinge mit 90 mm und b bestehend aus Koppel plus Kurbel mit 165 mm und c als Gestell mit 120 mm.

Der Kosinussatz hat für β_1 diese Form

$$\cos \beta_1 = \frac{a^2 - b^2 + c^2}{2ac}$$

$$\cos \beta_1 = \frac{90^2 - 165^2 + 120^2}{2 \cdot 90 \cdot 120} \text{ mm}$$

$$\approx -0,218$$

Der arccos davon beträgt ca. 102°.

Bei der Berechnung für die Decklage haben wir die Seiten a als Schwinge mit 90 mm, b bestehend aus Koppel minus Kurbel mit 45 mm und c als Gestell mit 120 mm.

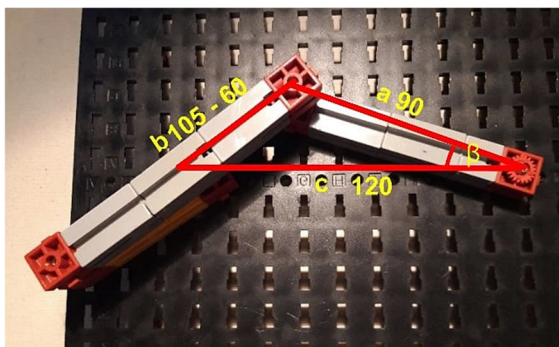


Abb. 10:

Berechnung:

$$\cos \beta_2 = \frac{90^2 - 45^2 + 120^2}{2 \cdot 90 \cdot 120} \approx 0,95$$

Der arccos davon beträgt ca. 18°.

Der Lenker überstreicht also einen Winkel von

$$102^\circ - 18^\circ = 86^\circ$$

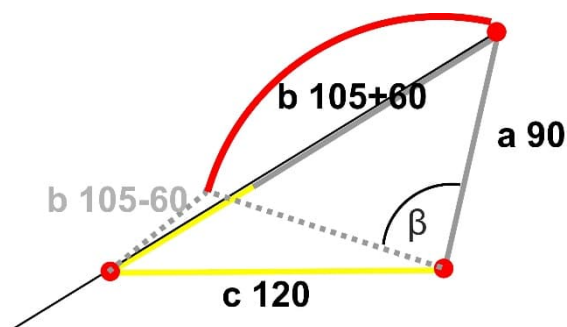


Abb. 11: Der überstrichene Winkel

Solche Ein-Schritt-Berechnungen mit drei Seiten als bekannte Größen sind auch möglich, wenn Gestell und Kurbel miteinander fluchten, entweder als Verlängerung oder

Verkürzung. Großen praktischen Wert hat die Berechnung aber nicht.

Man kann auch andere Winkel berechnen, wenn man dabei einen Rechenschritt zusätzlich auf sich nimmt. Auch das ist mit Trigonometrie der Mittelstufe zu bewältigen. Zur Berechnung des Winkels γ (Gamma) teilt man das Viereck durch eine Diagonale x in zwei Dreiecke auf und berechnet zunächst die Länge dieser Diagonale, was bei zwei bekannten Seiten und einem bekannten umschlossenen Winkel wieder mit dem Kosinussatz möglich ist. Dann wird wie oben mit den drei bekannten Längen weiter gerechnet.

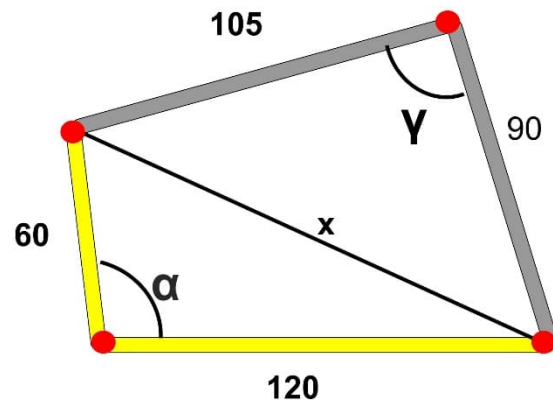


Abb. 12: Berechnung von γ mit der Hilfsdiagonalen x

Die Berechnung nur mit dem Kosinussatz ist aber nur möglich, solange wir ein konvexes Viereck haben, also alle Diagonalen im Viereck liegen. Nur zwischen Strecklage und mit dem Gestell fluchtender Kurbel ist das gegeben. In der übrigen Kurbeldrehung ist unser Viereck kein Viereck, sondern ein wilder Zickzack.

Dieser Winkel gegenüber dem Drehpunkt der Kurbel ist von praktischer Bedeutung für die Wirksamkeit des Getriebes. Die Kraftübertragung ist bei 90° am größten. Das lehrt schon die Erfahrung: Eine Klappe zieht man besten im senkrechten Winkel hoch. Bei dem in sich beweglichen Getriebe wird sich dieser Übertragungswinkel zwar immer ändern, aber man muss bei der Konstruktion bemüht sein, sich nicht allzu

weit vom rechten Winkel zu entfernen ([7], S. 26). Bei unseren Versuchen zur Ermittlung der maximalen Kurbellänge haben wir gesehen, dass der Winkel zwischen Lenker und Koppel kleiner wird bei Verkürzung der Koppel und größer bei Verlängerung.

Wenn man den Rechenweg verstanden hat, kann man sich die Sache sehr mit einem Rechner aus dem Netz erleichtern. Dort wird ähnlich wie hier gerechnet [6].

Doppelkurbel

Eine interessante, umlaufende aber vermutlich wenig einsatzfähige Konstellation ergibt sich, wenn man das kleinste Getriebeglied zum Gestell und „m“ zur Koppel macht. Weil verhindert werden muss, dass die langen Lenker an die Gelenkpunkte des Gestells stoßen, ist ein geteiltes Gestell erforderlich. Wenn die Gelenkpunkte auf verschiedenen Ebenen liegen, können beide Lenker eine volle Umdrehung machen.



Abb. 13: Das kleinste Glied als Gestell

Auch Kurbelschwingen und Doppelschwingen lassen sich auf einem geteilten Gestell mit Gelenkpunkten auf verschiedenen Ebenen konstruieren, aber bei der Doppelkurbeln sind sie erforderlich. Auch hier sind die Grenzen für die Umlauffähigkeit zu beachten. Wir stellen auch hier fest, dass bei kon-

stanter Geschwindigkeit des kleineren Lenkers sich der größere mit unterschiedlicher Bahngeschwindigkeit bewegt [5].

Bei unseren Abmessungen der Getriebeteile wird man kaum eine nützliche Verwendung für diese Variante finden. Anders sieht das beim entfernten Verwandten der Doppelkurbel aus, dem Parallelkurbelgetriebe. Dort können zwar zwei Glieder volle Umdrehungen machen, es sind aber die kurzen Elemente als Lenker. Die langen sind Gestell und Koppel.

Eine Anwendung der Doppelkurbel findet sich bei der Verbindung von zwei Achsen, die horizontal oder vertikal verschoben sind ([8], S. 26; Abb. 14). Allerdings ist das dortige Doppelkurbelgetriebe nur begrenzt mit unserer Konstruktion vergleichbar.

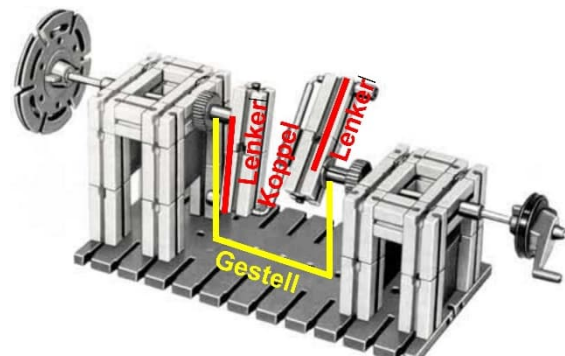


Bild 14: Doppelkurbelgetriebe aus hobby 1 Band 2 [8]

Übereinstimmung besteht insoweit, als das Gestell – der Versatz zwischen den Achsen – die kleinste Abmessung ist. Der entscheidende Unterschied liegt bei den Lenkern mit gleicher Länge, die typisch für die Sonderform des Viergelenkgetriebes als Parallelkurbelgetriebe sind. Zur Kraftübertragung bei Versatz zwischen An- und Abtriebswelle ist die Doppelkurbel nur sehr bedingt geeignet. Üblich ist dazu die Gelenkwelle oder die Schmidt-Kupplung, die mit fischertechnik nachgebaut werden kann [9, 10].

Doppelschwinge

Die bisherigen Gestaltungen waren mit einem Lenker als Kurbel oder mit beiden

Lenkern als Doppelkurbel umlauffähig. Eine mögliche vierte Stellung weist diese Umlauffähigkeit nicht auf. Wenn wir „n“ zum Gestell und „l“ und „m“ zu Lenkern machen, sodass „k“ die Koppel wird, schwingen die beiden Lenker hin und her. Ein Umlauf kann aber nicht stattfinden, selbst wenn wir durch geeignete Lagerung dafür sorgen, dass die Lenker nicht gegeneinander schlagen. Diese Konstruktion nennt man Doppelschwinge (Abb. 15, 16). Weil beide Lenker Schwingbewegungen machen, haben wir mit unseren Abmessungen – anders als bei der Kurbelschwinge – zwei Strecklagen beim weitesten Ausschlag.

Was bei der Kurbelschwinge Definitionsmerkmal ist (die Umlauffähigkeit), spielt hier keine Rolle. Unser umlauffähiges Getriebe erlaubt die Konstruktion von funktionsfähigen Doppelschwingen, aber auch bei nicht umlauffähigen Längenverhältnissen sind Doppelschwingen möglich. Da es bei der Doppelschwinge nicht auf die Umlauffähigkeit ankommt, ist man nicht an die Eingrenzungen durch die Grashof-Formel gebunden. Bis auf die allgemeinen Voraussetzungen für die Bildung von Vierecken sind für die Konstruktion keine Grenzen gesetzt. Die Winkel zwischen den beiden Endlagen lassen sich wieder – wie oben – mit dem Kosinussatz berechnen.

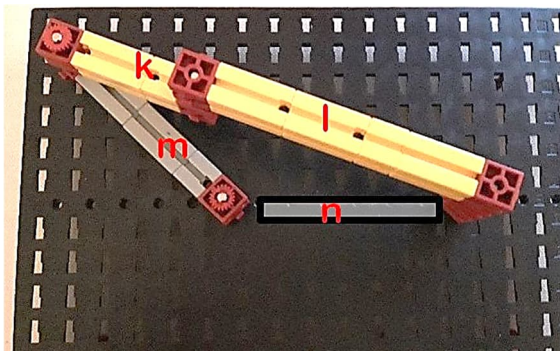


Abb. 15: Doppelschwinge (1)

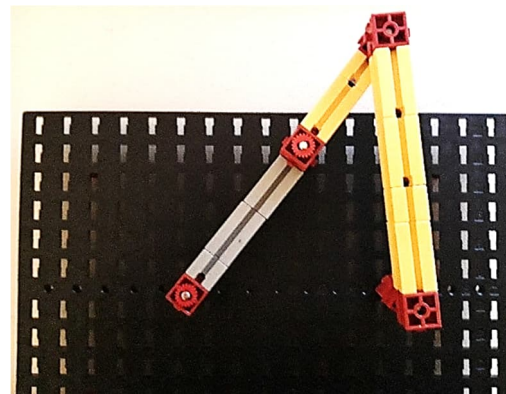


Abb. 16: Doppelschwinge (2)

Das Getriebe kann nicht motorisch angetrieben werden, weil an den Gelenken zum Gestell keine Drehbewegung möglich ist. Soweit Muskelkraft zur Bewegung nicht ausreicht, werden Hydraulikzylinder, Zahnstangengetriebe oder Seilzüge zur Bewegung – meist der Lenker – eingesetzt. Dennoch hat die Doppelschwinge sehr viele Anwendungsmöglichkeiten. So finden wir sie z. B. bei vielen Konstruktionen von Klappen und Verschlüssen (Abb. 17) oder zur Steuerung von Baggerschaufeln (Abb. 18).

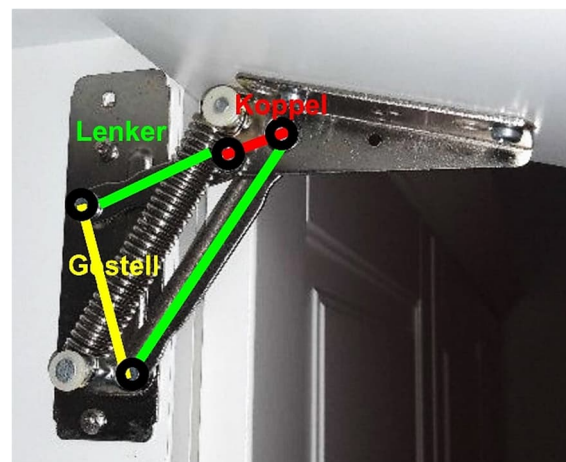


Abb. 17: Doppelschwinge als Lagerung einer Klappe

Interessant ist auch die Verwendung in Hafenkranen bei den sogenannten Wippkranen. Bei entsprechender Abmessung der Einzelteile und der Winkel zueinander kann bei horizontaler Bewegung des Auslegers die Last fast auf gleicher Höhe bleiben [11].

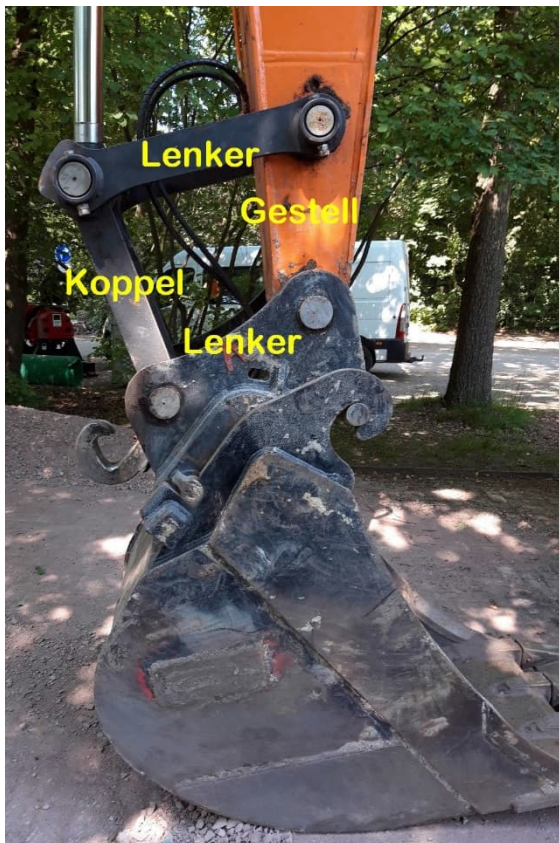


Abb. 18: Doppelschwinge zur Bewegung einer Baggerschaufel

Weiter kommt die Doppelschwinge zum Einsatz etwa bei Klappbrücken mit obenliegendem Hebebalken.

Auch bei der Doppelschwinge und besonders hier kommt es auf den optimalen Übertragungswinkel an. Da die Doppelschwinge nicht auf die Umlauffähigkeit begrenzt ist, kann man den rechten Lenker auch über die maximal nach Grashof möglichen Längen hinaus ausdehnen. Bei entsprechender Gestaltung der Drehlager kann man errei-

chen, dass die Schwingen auch nach unten schlagen können. Ob das von praktischer Bedeutung ist, mag offenbleiben.

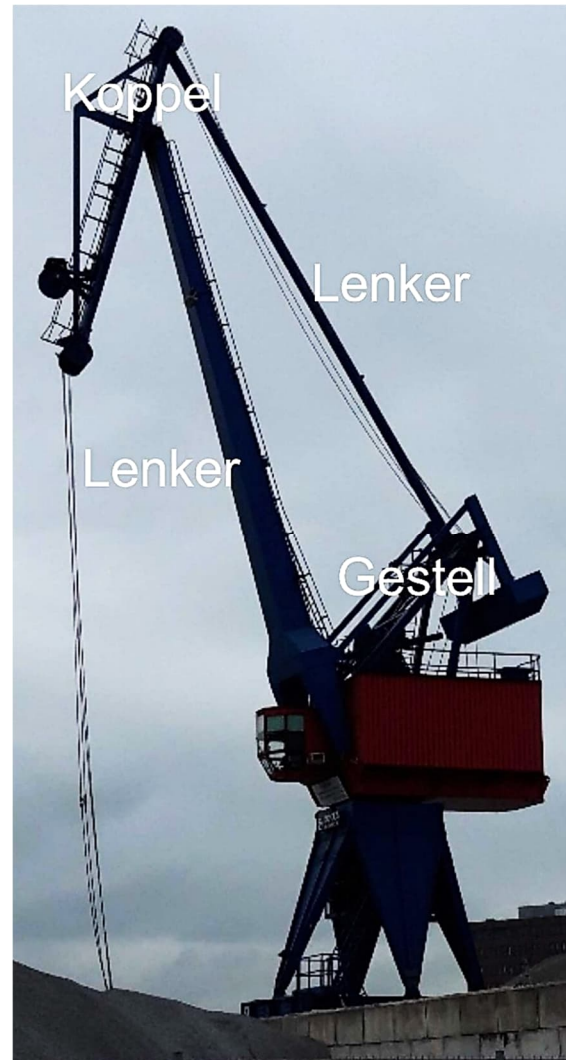


Abb. 19: Doppelschwinge beim Wippkran

Nummer	Getriebeart	Gestell	Koppel	Lenker r	Lenker l
I	Kurbelschwinge	l	n	k	m
II	Kurbelschwinge	n	l	k	m
III	Doppelkurbel	k	m	l	n
IV	Doppelschwinge	m	k	n	l

Tab. 1: Vierecken-Getriebearten

Zusammenfassung

Es sind vier verschiedene Gestaltungen möglich (Tab. 1). Entscheidend ist die Verwendung der Einzelteile als Gestell und Koppel. Die Lenker sind rechts oder links austauschbar.

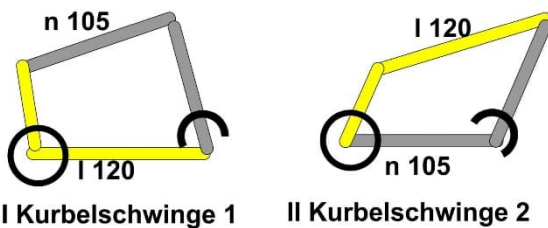


Abb. 20: Kurbelschwingen

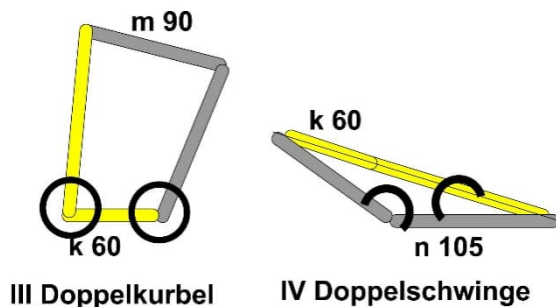


Abb. 21: Doppelschwingen

Computersimulation

Für das Verständnis der Funktionen des Getriebes ist die eigenhändige Konstruktion der Modelle zwar nicht zwingend erforderlich; die Erstellung der Funktionsmodelle vertieft jedoch das Verstehen der Zusammenhänge. Nur so kann man erleben, ob und wie etwas läuft (oder eben nicht). Die unmittelbare Anschauung geht dem Lesen von Texten oder dem Anschauen von Bildern oder Videos vor. Dagegen sind Computersimulationen immer berechnete Darstellungen. Die Wahrheit liegt eben in der Praxis. Wer aber Funktionsmodelle erstellt und verstanden hat, für den können Computeranimationen sehr hilfreich sein und zu weiteren Modellbauten anregen [12].

Quellen

- [1] fischertechnik-Club NL: *Hobby-boeken Duits* (hobby-Begleitbücher deutsch). Auf docs.fischertechnikclub.nl.
- [2] Brian Bolt: *Was hat der Bagger mit Mathematik zu tun?* Klett Verlag, ISBN 9783127227901, 1995 (antiquarisch).
- [3] Dirk Fox: *Geradfürungen*. [ft.pedia 1/2016](https://ft.pedia/1/2016), S. 24–30.
- [4] Ralf Geerken: *Die Geradführung einer Viergelenkkette im Einsatz bei einer kleinen Laufmaschine*. [ft.pedia 4/2012](https://ft.pedia/4/2012), S. 4–10.
- [5] A. Wendt: *Gelenkviereck, Grashofsche Regel*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2022.
- [6] Netpoint Media GmbH: *Viereck – Einfach Aufgabe eingeben und lösen lassen*. Auf mathepower.com, 2022.
- [7] Prof. Dr. Schlenzka: *Koppelgetriebe*. PDF-Datei auf martinbirkholz.de, 2004/2005, S. 26.
- [8] fischertechnik: *Doppelkurbel*. In *fischertechnik hobby Experimente+Modelle hobby 1 Band 2*, auf docs.fischertechnikclub.nl.
- [9] Florian Bauer: *Schmidt-Kupplung*. [ft.pedia 2/2021](https://ft.pedia/2/2021), S. 17–20.
- [10] Thomas Püttmann: *Schmidt-Kupplung*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2021.
- [11] fischertechnik: *hobby Experimente+Modelle hobby 2 Band 4*. Auf docs.fischertechnikclub.nl, S. 37.
- [12] Jürgen Dankert: *Viergelenkkette - interaktive Animation*. Auf tm-aktuell.de.
- [13] Harald Steinhaus: *Flugzeugfahrwerke*. [ft.pedia 2/2012](https://ft.pedia/2/2012), S. 4–10.

Uhren

Mondphasengetriebe mit höherer Präzision

Dirk Fox

In der ft:pedia 2/2022 [1] habe ich ein Kalenderwerk mit Mondphasenanzeige vorgestellt. Sie gilt in mechanischen Uhren als „kleine Komplikation“. Meist wird dafür eine Übersetzung 1:59 verwendet – die allerdings alle etwa zweieinhalb Jahre um einen Tag korrigiert werden muss. Für hochwertige mechanische Uhren ist das zu ungenau – darin werden bessere Näherungen an den synodischen Monat verwendet. Das funktioniert auch in fischertechnik-Uhren.

Lunation

Die Position des Mondes schneidet aus der Sicht der Erde im Schnitt alle 29 Tage, 12 Stunden, 44 Minuten und 2,882 Sekunden – also alle rund 29,530589 Tage – denselben Längengrad. Diese Phase wird Lunation genannt, ihre Dauer synodischer Monat [1]. Da sich der Mond auf einer elliptischen Bahn um die Erde bewegt, ist die Dauer der Lunation unterschiedlich – in den vergangenen rund 100 Jahren schwankte sie um $\pm 6-7$ Stunden [4] (Abb. 1).

In Uhren mit Mondphasenanzeige wird der synodische Monat meist mit einem 1:59-Getriebe angenähert, das eine Scheibe mit zwei Monden antreibt [1, 2] (Abb. 2) – also mit 29,5 Tagen. Es findet sich schon in einem byzantinischen Sonnenuhr-Kalender aus dem 4.-6. Jahrhundert n. Chr. [1].



Abb. 2: Mondphasenanzeige
(Foto: MeisterSinger)

Die Übersetzung 1:59 habe ich auch in meinem Kalenderwerk mit Mondphasenanzeige verwendet, das ich in der ft:pedia 2/2022 vorgestellt habe [1].

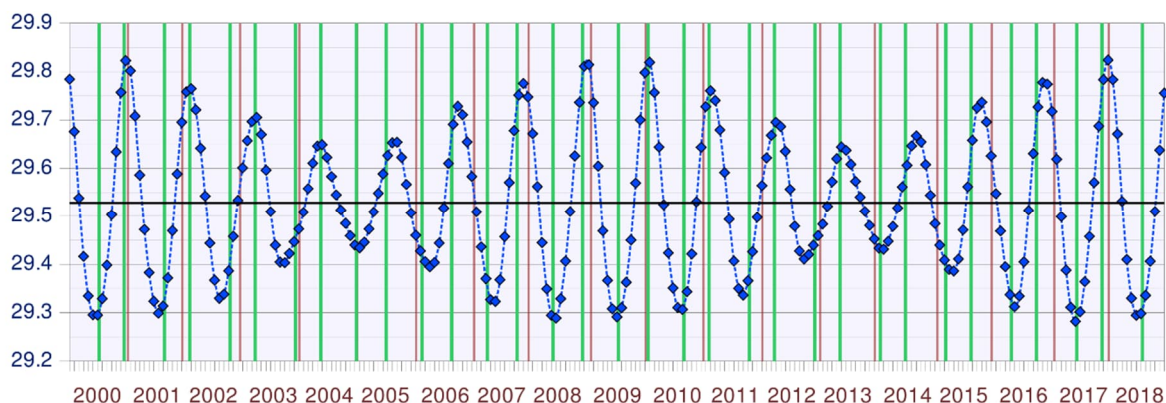


Abb. 1: Dauer der Lunation (Quelle: [Wikipedia](#), W!B, [CC BY-SA 3.0](#))

Thomas Püttmann hat für dieses 1:59-Getriebe eine wunderbar elegante Lösung mit dem Z58 gefunden [2] (Abb. 3), der ich mit meiner Konstruktion in [1] gefolgt bin – horizontal gekippt für die Aufnahme der Scheibe mit den zwei Monden anstelle der von Thomas verwendeten Mondkugel in Abb. 4. Für alle, die es nachbauen möchten, steht im [Downloadbereich dieser ft:pedia](#) eine fischertechnik-Designer-Datei bereit (Abb. 5).

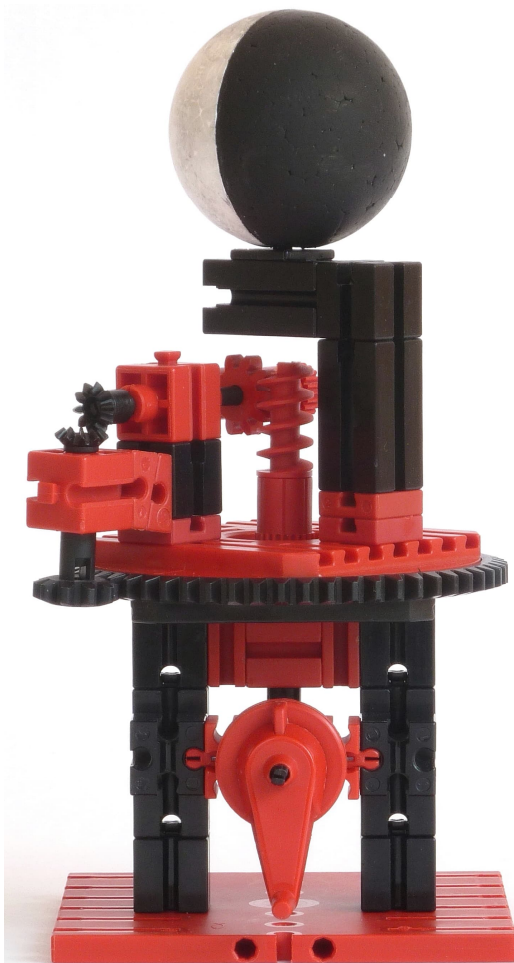


Abb. 3: 1:59-Mondphasengetriebe von Thomas Püttmann [2]

Bei einer Näherung von 29,5 Tagen für die Länge einer Lunation geht die Anzeige je synodischem Monat im Schnitt 44 Minuten und 2,882 Sekunden (oder 0,0305883 Tage) vor. Nach knapp 33 synodischen Monaten, also rund 965 Tagen oder 2,64 Jahren, summiert sich dieser Fehler auf einen Tag – und die Anzeige sollte korrigiert werden [1, 3].

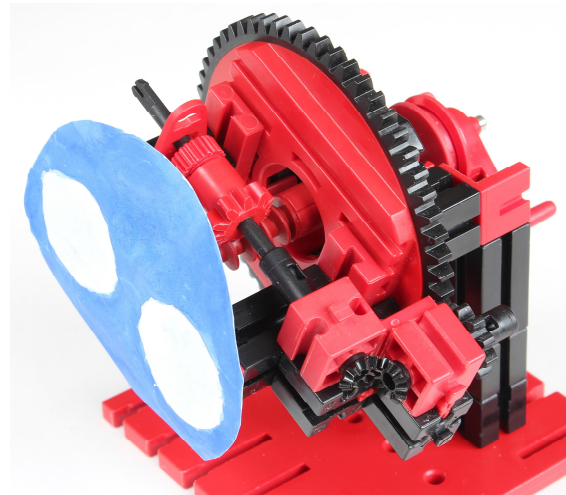


Abb. 4: Mondphasenanzeige mit Mondscheibe

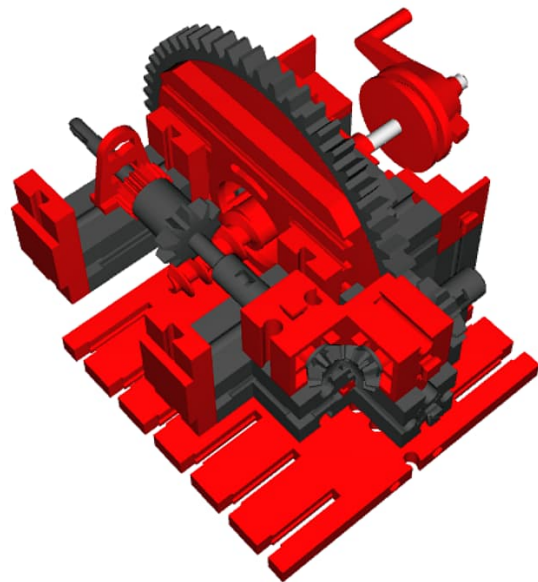


Abb. 5: Mondphasenanzeige mit Mondscheibe (Designer-Datei des Getriebes)

In [3] habe ich als Konstruktionsbeispiel für ein komplexes Getriebe mit Differential eine Übersetzung 1:2953 vorgestellt, mit dem die Dauer der Lunation auf 29,53 Tage angenähert werden kann. Eine Mondphasenanzeige ginge damit im Schnitt nur knapp 51 Sekunden vor; eine Korrektur um einen Tag wäre erst nach rund 137 Jahren erforderlich.

Für eine mechanische Uhr ist die von mir gewählte Konstruktion viel zu komplex. In hochwertigen mechanischen Uhren werden daher Übersetzungen mit anderen Näherun-

gen an die Länge des synodischen Monats für die Mondphasenanzeige gewählt, die durch ein Stirnradgetriebe mit wenigen Zahnrädern gebildet werden können.

Die Genauigkeit dieser Näherungen übersteigt in einigen Uhren bei weitem die meines Getriebes. So erfordert die *Real Moon Joure* von Christiaan van der Klaauw aus dem Jahr 2011 mit einer Mondkugel in der Anzeige eine Korrektur um einen Tag erst nach 11.000 Jahren.

Noch weiter geht die *Sauterelle a Lune Perpetuelle 2M calibre* von Andreas Strehler von 2014: Bei ihr ist eine Korrektur erst nach 2 Mio. Jahren erforderlich.

Den Rekord hält seit 2024 die *Portugieser eternal Calendar* von IWC – sie weicht erst nach 45 Mio. Jahren um einen Tag von der durchschnittlichen Länge einer Lunation ab und erhielt dafür einen Eintrag im Guinness-Buch der Rekorde (Abb. 6). Das wird die Uhr selbst vermutlich nicht mehr erleben.

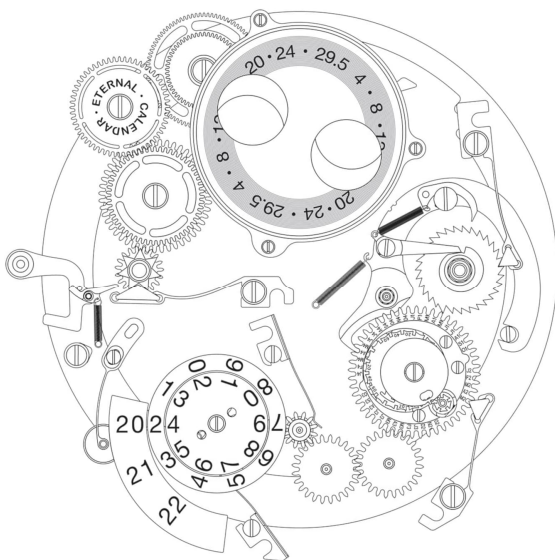


Abb. 6: Getriebe der Portugieser eternal Calendar (Bild: [IWC](#))

Die für diese hochpräzisen Anzeigen verwendeten Übersetzungsverhältnisse und Getriebe werden von den Herstellern leider nicht veröffentlicht – Betriebsgeheimnis.

Präzisionsmondphasenanzeige

Ein Getriebe gibt es allerdings, das von vielen höherwertigen mechanischen Uhren verwendet und seit Jahrzehnten an Uhrenschulen gelehrt wird, daher ist es öffentlich bekannt [e]. Dieses Getriebe nähert die Dauer der Lunation auf 29,53125 Tage an. Das sind etwa 57,1 Sekunden mehr als die Durchschnittslänge; die Mondanzeige geht also nach. Der Fehler addiert sich im Jahr auf im Schnitt 11 Minuten und 46 Sekunden und damit erst nach 122,38 Jahren auf 24 Stunden – dann muss die Anzeige um einen Tag vorgestellt werden. Das ist lang genug, damit der Käufer der Uhr das höchstwahrscheinlich nicht (mehr) selbst tun muss.

Das Getriebe bewegt wie die 1:59-Übersetzung eine Mondphasenscheibe mit zwei Monden. Es hat ein Übersetzungsverhältnis von 1:59,0625. Für den Getriebeaufbau gibt es zwei verbreitete Lösungen, die sich darin unterscheiden, ob als Antrieb für die Mondphasenanzeige die Welle des Stundenzeigers oder, falls vorhanden, die der Wochentaganzeige genutzt wird.

Für die Nutzung der Stundenzeigerwelle als Antrieb gibt es ein in höherwertigen mechanischen Uhren sehr verbreitetes Stirnradgetriebe [1]. Darin sitzt auf der Welle des Stundenzeigers ein Z12, das ein Z105 antreibt (Übersetzung 12:105). Auf dessen Welle sitzt ein Z10, das in die Zähne der Mondscheibe eingreift – ein Zahnrad mit 135 Zähnen (Abb. 7).

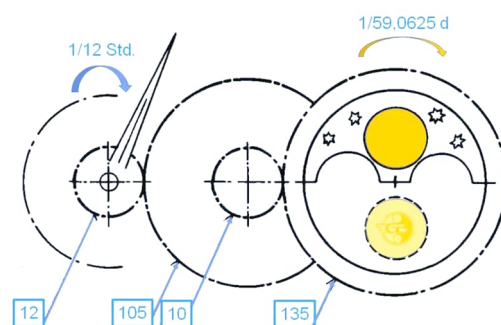


Abb. 7: Getriebe einer Präzisionsmondphasenanzeige (Grafik: mit freundlicher Genehmigung der [Uhrenkosmos GmbH](#))

Die Übersetzung des Getriebes lautet also (ausgehend von der Stundenzeigerwelle):

$$\frac{12}{105} \cdot \frac{10}{135} = \frac{1}{118,125}$$

Da eine Umdrehung der Antriebswelle (des Stundenzeigers) einem halben Tag entspricht, übersetzt das Getriebe also einen Tag in $2/118,125$ Tage – das entspricht zwei Mondphasenanzeigen alle 59,0625 Tage.

Besitzt das Uhrengetriebe eine Wochentag-anzeige, kann auch deren Welle für die Mondphasenanzeige genutzt werden. Dann genügt ein Z16 auf der Wochentagwelle, das direkt die Mondphasenscheibe mit – wie oben – 135 Zähnen antreibt:

$$\frac{16}{135} = \frac{1}{8,4375}$$

Wegen der Richtungsumkehr ist ggf. noch eine Zwischenwelle mit einem beliebigen Zahnrad erforderlich, die am Übersetzungsverhältnis aber nichts ändert.

(Die Wochentagwelle dreht sich im Verhältnis 1:14 zur Welle des Stundenzeigers – eine Woche entspricht 14 halben Tagen. Damit folgt für die Übersetzung dieses Getriebes:

$$\frac{1}{14} \cdot \frac{16}{135} = \frac{1}{118,125}$$

Die Übersetzungen der beiden Getriebevarianten sind also identisch.)

Um nun ein fischertechnik-Getriebe für diese Näherung der Dauer der Lunation zu konstruieren, zerlegen wir das Übersetzungsverhältnis zunächst einmal in Primfaktoren:

$$\frac{1}{14} \cdot \frac{16}{135} = \frac{2^4}{2 \cdot 7 \cdot 3^3 \cdot 5} = \frac{2^3}{3^3 \cdot 5 \cdot 7}$$

Wenn wir diese Primfaktorzerlegung ein wenig umformen, sehen wir, dass wir uns die Übersetzungen ins Schnelle (2^3) sparen können.

$$\frac{2^3}{3^3 \cdot 5 \cdot 7} = \left(\frac{2}{3}\right)^3 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{7}$$

Denn die drei Übersetzungen $\frac{2}{3}$ lassen sich in fischertechnik leicht als Stirnradgetriebe Z20:Z30 konstruieren.

Wie sich die Übersetzungen 1:5 und 1:7 mit einem fischertechnik-Differential bilden lassen, habe ich schon in früheren Beiträgen gezeigt (siehe [1, 3]).

Wenn wir nun diese fünf Teilübersetzungen zu einem Gesamtgetriebe zusammensetzen, sollten die Übersetzungen 1:5 und 1:7 am Antrieb respektive am Abtrieb platziert werden, damit sie die drei Stirnradgetriebe „einrahmen“. Denn Getriebe mit Differential haben sehr wenig Spiel und begrenzen so das Gesamtspiel des Getriebes.

Damit ergibt sich die folgende Reihenfolge für die Teilübersetzungen:

- 1:7 ins Langsame
- dreimal 2:3 ins Langsame
- 1:5 ins Langsame

Konstruieren wir die drei 2:3-Übersetzungen als Stirnradgetriebe, bewirken sie eine Richtungsumkehr der Achse. Damit sich dadurch die Mondscheibe nicht gegen den Uhrzeigersinn dreht, ersetzen wir eines der beiden Getriebe mit Differential (also 1:7 oder 1:5) durch eine Variante mit Richtungsumkehr.

Für ein Übersetzungsverhältnis 1:(-5), also $x = -5y$ liefert uns die Grundgleichung des Differentials [3, 6]:

$$z = -2y$$

Das Getriebe wird dadurch sogar noch kompakter (Abb. 8). Natürlich ist das gesamte Getriebe dennoch durch die Verwendung der Differentiale erheblich „voluminöser“ als die elegante Stirnrad-Lösung in Armbanduhren (Abb. 7). Aber es funktioniert.

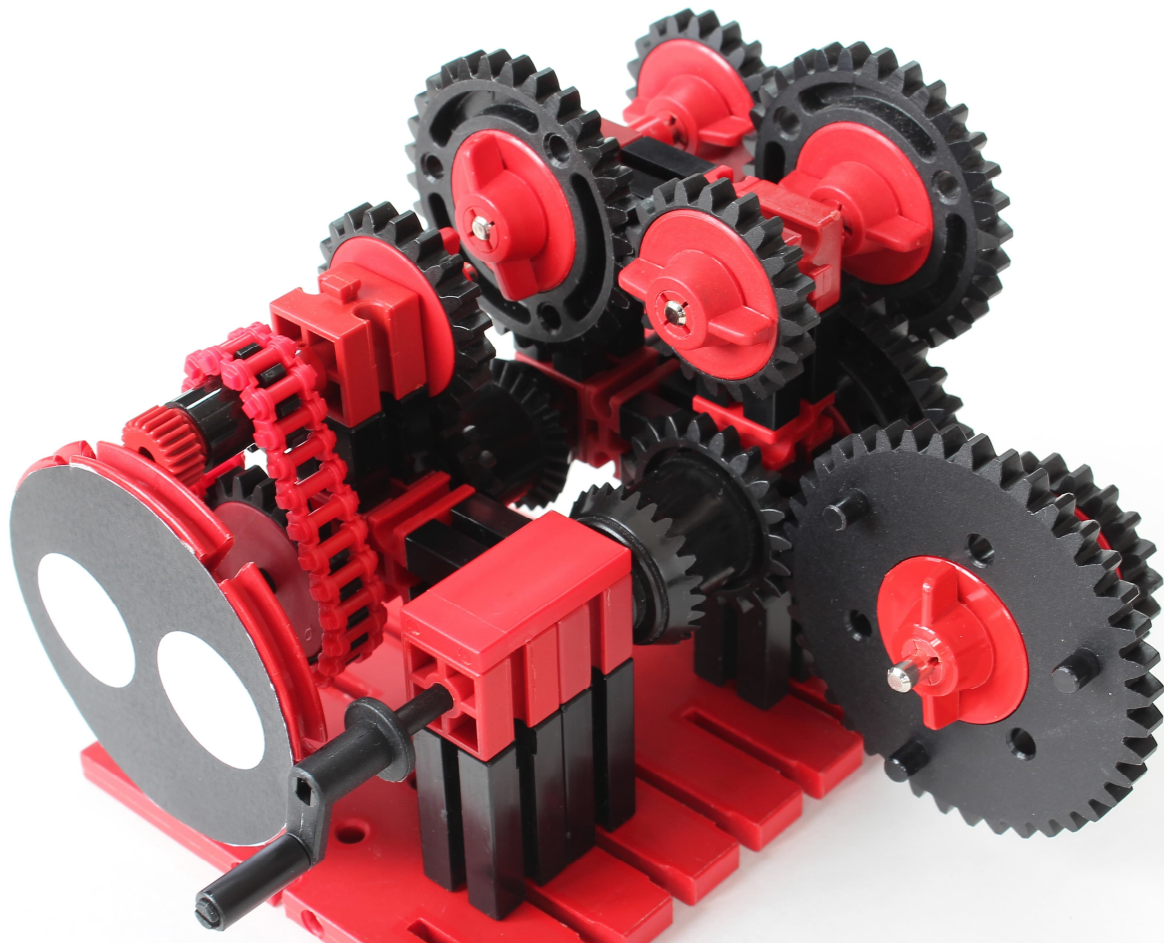


Abb. 9: Fertiges Mondphasengetriebe (Übersetzung 1:118,125)

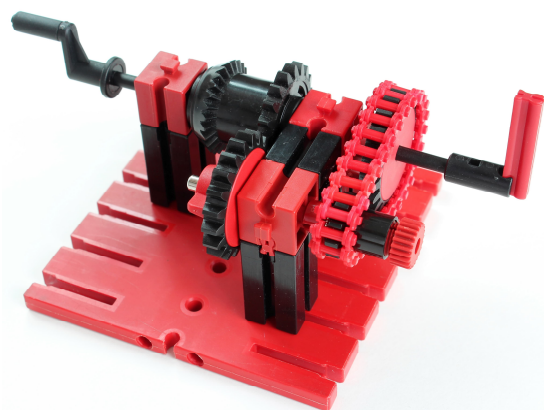


Abb. 8: Teilgetriebe 1:5 mit Richtungsumkehr

Abb. 9 zeigt das fertige Getriebe mit allen fünf Teilübersetzungen, der Richtungsumkehr 1:(-5) vorne links und der Mondscheibe auf einer Drehscheibe 60 (31019). Eine Blende muss sie noch zur Hälfte verdecken; Vorlagen gibt es im [Downloadbereich dieser ft:pedia](#). Die Kurbel entspricht der 12-Stunden-Achse.

Referenzen

- [1] Dirk Fox: *Kalenderwerk mit Mondphasenanzeige*. [ft:pedia 2/2022](#), S. 49–60.
- [2] Dirk Fox, Thomas Püttmann: *Technikgeschichte mit fischertechnik*. dpunkt Verlag, 2015 (Nachdruck 2016, 2021), Kapitel 5: Das Planetarium.
- [3] Dirk Fox: *Zahnradgetriebe für beliebige Übersetzungsverhältnisse*. [ft:pedia 4/2025](#), S. 80–87.
- [4] Wikipedia: [Lunation](#).
- [5] Ludwig Lehotzky: *Mechanische Uhren*. Band I+II, 1960/1961.
- [6] Thomas Püttmann: *Das Differentialgetriebe*. [ft:pedia 4/2014](#), S. 12–19.

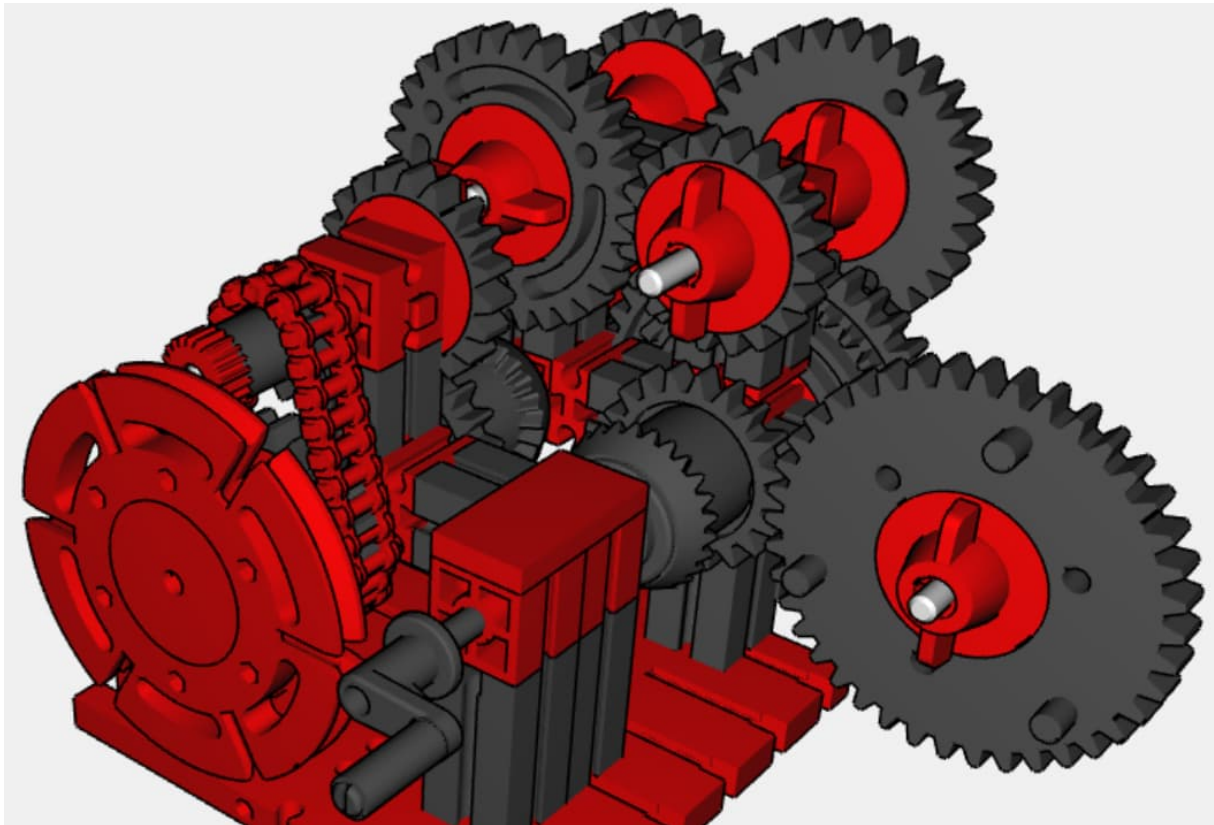


Abb. 10: Designer-Entwurf des Getriebes



Abb. 11: Mondphasengetriebe von hinten (Mitte/rechts: drei Übersetzungen 2:3)

Pneumatik

Neues Magnetventil

Rüdiger Riedel

Wieder einmal geschummelt! Das Magnetventil ist nicht neu, sondern wird von Elektro- auf Handbetrieb umgebaut.

Ich habe immer die Magnetventile von fischerfriendsman gekauft [1], weil sie viel preisgünstiger sind als die von fischertechnik. Sie sind sehr zuverlässig; bei keinem meiner Modelle gab es einen Ausfall.

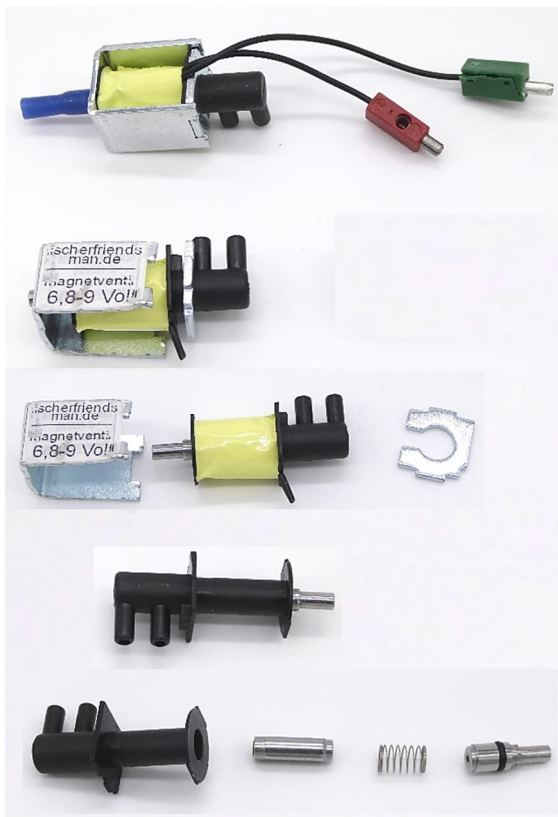


Abb. 1: Der Aufbau

Aufgrund meiner unstillbaren Neugier musste ich mal eines auseinandernehmen. Mit Schraubstock und Zange lässt sich der Metallbügel öffnen und vom restlichen Körper abziehen; er zerfällt dann in zwei Teile. Vorsicht an der Abluftdüse, die ist in den Kunststoffkörper nur eingeschoben. Sie

hält nur mit einem O-Ring, der auch die Abdichtung übernimmt.

Auf Abb. 1 ist der Aufbau des Magnetventils von oben nach unten zu sehen: Oben das vollständige Magnetventil, dann mit dem aufgebogenen Metallbügel. Im vierten Bild ist die Spule entfernt und unten sieht man die Innereien. Rechts die Abluftdüse mit dem O-Ring, dann die Feder und schließlich der bewegliche Metallkern. Im Ruhezustand drückt die Feder den Kern nach links vor den Lufteinlass und sperrt diesen.

Die Funktionsweise des Ventils entspricht der des Reed-Relais: Durch ein äußeres Magnetfeld werden das Metall der Abluftdüse und der bewegliche Kern unterschiedlich magnetisiert und ziehen sich an. Der Metallkern bewegt sich nach rechts und gibt den Lufteinlass frei: Das Magnetventil ist geöffnet.

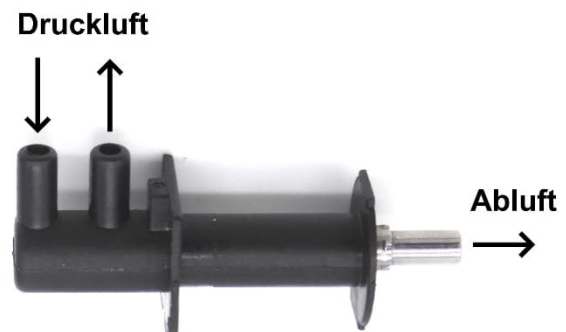


Abb. 2: Luftströme

Wird das Magnetfeld abgeschaltet, drückt die Feder den Kern wieder nach links und dieser sperrt die Luftzufuhr ab.

Aber Vorsicht: Wenn wir das Magnetventil (ohne die Spule) wieder zusammensetzen, muss die Abluftdüse unbedingt gesichert werden. Ich habe außen Zweikomponentenkleber draufgetan; das kann man in Abb. 3 erkennen.

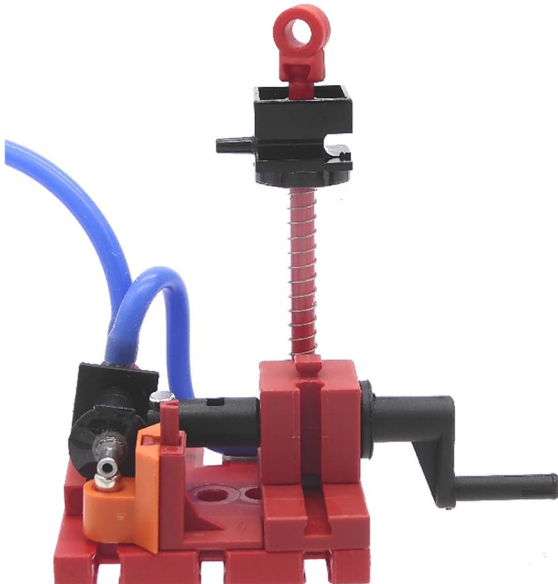


Abb. 3: Der Aufbau des neuen Ventils

Und jetzt kommt das Neue: Wir erzeugen das Magnetfeld durch einen außen angelegten Stabmagnet.

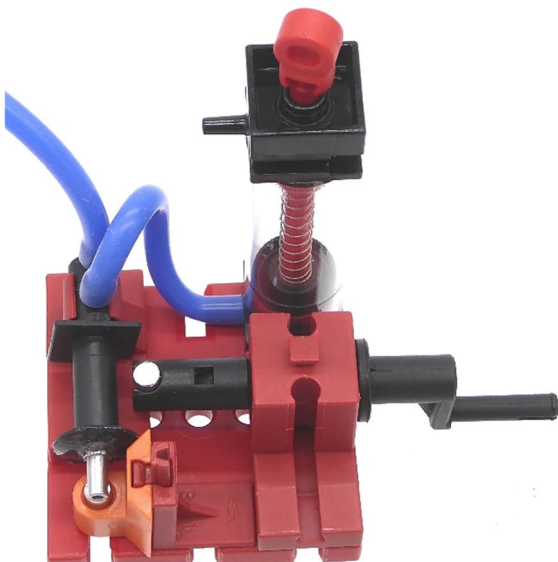


Abb. 4: Draufsicht

Wir nehmen wieder einen Magnet mit 4 mm Durchmesser und 10 mm Länge. Den

gibt es z. B. bei [1] unter der Nummer 7348fg.

Ganz zuverlässig schaffen die kleinen Magnete das Schalten nicht, aber mit etwas Vormagnetisierung klappt es wunderbar. Dazu wird am Abluftrohr in einem Drehgelenklager ([189570](#) oder [172805](#)) ein zweiter Stabmagnet angebracht.

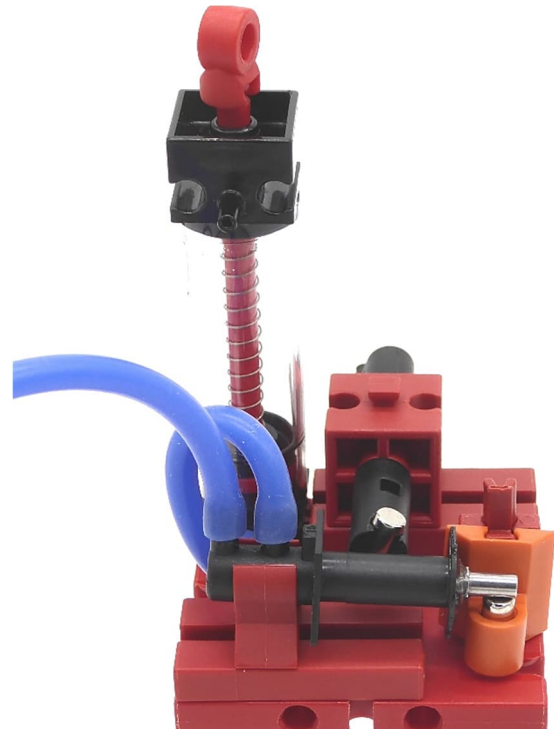


Abb. 5: Seitenansicht

Der Versuchsaufbau besteht aus

- einer Grundplatte 45×45 ([36593](#)),
- zwei Bausteinen 5 15×30 ([35049](#)),
- einem Reedkontakt-Halter ([35969](#)),
- einem Baustein 15 mit Bohrung ([32064](#)),
- einem Winkelstein 10×15×15 ([38423](#)),
- einem Drehgelenklager ([189570](#) oder [172805](#)),
- einer Federnocke ([31982](#)),
- einer Rastachse 30 ([35063](#)),
- einem Rastadapter 20 ([36227](#)) und
- einer Rast-Gelenkkurbel ([35088](#)).

Zur Demonstration der Funktion dient ein Pneumatik-Zylinder 60 mit Rückstellfeder ([133027](#)).

Zum Schluss brauchen wir noch Silikon-
schläuche und einen Kompressor.

Die Kurbel lässt sich sehr leicht drehen und
der Kolben im Zylinder folgt mit eifrigem
AUF und AB.

Quellen

[1] Stefan Roth: fischerfriendsman.de.

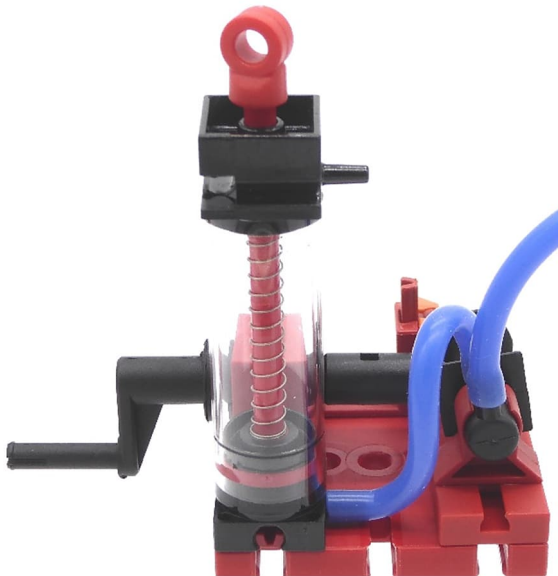


Abb. 6: Rückansicht

Pneumatik

Druckluftmotoren bauen, verstehen, vergleichen

Florian Bauer

Dieser Beitrag stellt Druckluftmotoren aus fischertechnik als anschauliche Modelle zur Vermittlung klassischer Motorkinematik vor. Verschiedene Bauformen und Ventilsteuerungen bis hin zur mikrocontroller-gestützten Lösung werden praktisch umgesetzt und verglichen. Die Modelle eignen sich besonders für die Lehre, für Experimente und weiterführende Eigenentwicklungen.

Motoren faszinieren – auch im Modellmaßstab

Motoren sind seit über 200 Jahren der zentrale Treiber technischer Entwicklung. Mit der Dampfmaschine begann die Industrialisierung; sie machte erstmals unabhängig von Muskelkraft und natürlichen Energiequellen [23]. Wenig später folgten die Verbrennungsmotoren, die über mehr als ein Jahrhundert hinweg den Fortschritt der Mobilität prägten und in immer neuen Varianten weiterentwickelt wurden, vom einfachen Einzylinder bis zum hochkomplexen Mehrzylindermotor.

Heute jedoch vollzieht sich ein grundlegender Wandel. Die Ära der Verbrennungsmotoren neigt sich langsam ihrem Ende zu, und das Zeitalter der Elektromotoren hat begonnen. Elektromobilität, Automatisierung und digitale Regelungstechnik bestimmen zunehmend unseren Alltag. Verbrennungsmotoren verschwinden aus immer mehr Anwendungen, aus Neufahrzeugen, aus dem täglichen Erleben.

Doch ihre technische Faszination haben sie keineswegs verloren. Kolben, Pleuellwellen, Ventiltriebe und Zündfolgen bleiben beeindruckende Beispiele für

ingenieurtechnische Kreativität und mechanische Eleganz.

Mit fischertechnik lassen sich zwar keine realen Verbrennungsprozesse mit Hitze, Explosion und Abgasen nachbilden. Wohl aber kann die Kinematik von Verbrennungsmotoren, also das Zusammenspiel von Pleuelldarm, Pleuellwelle und Ventilsteuerung, durch Druckluftmotor-Modelle anschaulich und begreifbar gemacht werden. Druckluftmotoren ermöglichen es, klassische Motorprinzipien sichtbar und sicher darzustellen und eröffnen damit einen guten Zugang zum Verständnis historischer und moderner Antriebskonzepte.

Luftdruckmotoren vs. Verbrennungsmotoren

Luftdruckmotoren und Verbrennungsmotoren haben gemeinsame Prinzipien und Komponenten:

- Zylinder
- Pleuelldarm
- Pleuellwelle
- Ventilsteuerung
- Pleuellmasse

Dennoch gibt es einen gravierenden Unterschied: Während beim Verbrennungsmotor die Gewinnung der mechanischen Energie

durch Explosion eines Treibstoff-Luft-Gemisches geschieht, wird sie beim Druckluftmotor in Form von gespeicherter Druckluft extern zugeführt.

Der übliche Verbrennungsmotor (Ottomotor) arbeitet nach dem 4-Takt-Prinzip mit den Phasen

- Ansaugen
- Verdichten
- Zündung & Expansion (Arbeitstakt)
- Ausstoßen

Ein wesentlicher Vorteil von Verbrennungsmotoren ist die hohe Energiedichte von Benzin und Diesel, die nach wie vor eine Herausforderung für die Elektromobilität darstellt. Als Nachteil ergeben sich Hitze, Emissionen und eine komplexe Mechanik.

Der Luftdruck-Motor kommt dagegen mit zwei Takten aus (wobei es auch 2-Takt-Verbrennungsmotoren gibt):

- Expansion
- Ausstoßen

Zwar ist die Energiedichte der gespeicherten Luft deutlich geringer als die eines Treibstoffs für einen Verbrennungsmotor. Dafür arbeitet der Luftdruckmotor sauber, erzeugt praktisch keine Hitze und ist sicher, was ihn für Spezialanwendungen aber auch als didaktisches Bindeglied zwischen Dampfmaschine und Verbrennungsmotor prädestiniert.

Durch Verwendung von doppeltwirkenden Zylindern können Expansion und Ausstoßen in den beiden Kammern gleichzeitig stattfinden (double-action), was bei einem Verbrennungsmotor nicht ohne weiteres möglich ist.

Luftdruckmotoren mit fischertechnik

Die Begeisterung für pneumatische Motormodelle mit fischertechnik hat mit dem ersten Pneumatik-Baukasten von fischertechnik begonnen. Den Startschuss für eine

lebhaftere Entwicklung waren die damit realisierbaren Luftdruckmotor-Modelle von fischertechnik. Inzwischen haben viele fischertechniker weitere Modelle für Luftdruckmotoren gebaut, die man teilweise im Betrieb auf YouTube betrachten kann.

Während Ein- oder Zweizylindermotor-Modelle noch relativ einfach zu bauen sind, ist das für Mehrzylinder-Reihenmotoren nicht der Fall. Eine Herausforderung stellt dabei eine stabile Kurbelwelle dar. Die Metall-Kurbeln von fischertechnik ([31080](#)) sind nur für zwei Zylinder geeignet und auch die Abstände sind für den Hub der Pneumatik-Zylinder nicht optimal, was teilweise raumgreifende Konstruktionen (z. B. [17]), spezielle Hebelkonstruktionen oder selbst gebogene Kurbeln erfordert.

Der Aufbau von Kurbelwellen aus einzelnen Metallachsen ist schwieriger als bei bekannten Klemmbaustein-Konkurrenten, weil die runden fischertechnik-Achsen nicht fixiert werden können. Eine Möglichkeit sind spezielle 3D-Druckteile für den Bau einer Kurbelwelle, wie ich sie im nächsten Abschnitt vorstelle.

Man kann sich der Problematik auch anders nähern, indem man ein alternatives Motor-Design wählt: Neben Reihenmotoren oder V-Motoren sind Boxermotoren, Sternmotoren oder Axialkolbenmotoren weitere Varianten.

Als besonders vielseitig erweist sich dabei der Sternmotor. Das in [19] vorgestellte Modell erlaubt eine Verstellung des Kurbelabstands zur Motorachse und bietet eine ideale Grundlage für weiterführende Varianten, etwa mit variabler Zylinderzahl oder unterschiedlichen Ventilsteuerungskonzepten.

In der folgenden Übersichtstabelle habe ich die verschiedenen Modell-Varianten aufgelistet, die ich gefunden bzw. mit denen ich experimentiert habe. Sie sind nach einer Nomenklatur benannt, die Zylinderanzahl,

Motor	Zylinder	Anordnung	Ansteuerung	Push/Pull	Referenz
SP1_PP	1	-	pneumatisch	Ja	[11] ^k
SEM1	1	-	elektromechanisch	Nein	[10]
V2P	2	V	pneumatisch	Nein	[12] ^k , [14]
SEM2_PP	2	Stern	elektromechanisch	Ja	[13]
SP3	3	Stern	pneumatisch	Nein	[15] ^k , [19]
RP3	3	Reihe	pneumatisch	Nein	[17]
REM3	3	Reihe	elektromechanisch	Nein	[16], [18]
REM4	4	Reihe	elektromechanisch	Nein	*
SP3_PP	3	Stern	pneumatisch	Ja	*
SEM3	3	Stern	elektromechanisch	Nein	*
SEM4	4	Stern	elektromechanisch	Nein	*
BEL2_PP	2	Boxer	elektronisch	Ja	*
SEM6	6	Stern	elektromechanisch	Nein	*
SEM5	5	Stern	elektromechanisch	Nein	*
REL4	4	Reihe	elektronisch	Nein	*
AP4	4	Axial	pneumatisch	Nein	[21], [22]

Tab. 1: Übersicht über fischertechnik Modellvarianten; * verweist auf diesen Artikel, ein hochgestelltes k bedeutet, dass Schlauch-Knickventile verwendet werden

Anordnung und Ansteuerung beinhaltet und ob Push-Pull-Ansteuerung verwendet wird.

Vierzylinder-Reihenmotor mit elektromechanischer Ventilsteuerung (REM4)

Eine stabile Kurbelwelle für einen Vierzylindermotor mit vier Pneumatik-Zylindern 60 kann aus fischertechnik-Grundbausteinen konstruiert werden, die mit Seiltrommeln verbunden sind, welche als exzentrisch angeordnete Gelenkachsen fungieren, auf die die Kolbenstangen wirken. Damit sich die Kolbenachsen um die Seiltrommeln drehen können, habe ich ein 3D-Druck-Joch entwickelt, das man als Manschette um die Seiltrommeln klicken kann und das an einer Stelle die Achse eines fischertechnik-Pneumatik-Zylinders auf-

nimmt (siehe [1]). Ein Modell, das mit diesen Pleueladaptern arbeitet, ist in Abb. 2 zu sehen.

Während bei Verbrennungsmotoren die Pleuelstange gelenkig am Kolben angreift, besitzen fischertechnik-Pneumatikzylinder eine starre Kolbenachse. Der Zylinder muss daher mit einem Gelenk am Motorblock gelagert werden und schwenkt während der Hubbewegung um diesen Befestigungspunkt.

Als Ventile kommen fischertechnik-Magnetventile zum Einsatz. Die Ventilsteuerung erfolgt über vier im Kreis um die Motorachse angeordnete Taster, die von einer Schaltnocke auf der Motorachse betätigt werden. Auf eine eigene Nockenwelle mit Schaltnocken für jedes Ventil,

wie man sie von üblichen Verbrennungsmotoren kennt, wurde der Einfachheit halber verzichtet. Für eine präzisere Steuerung und für didaktische Zwecke wäre dies aber interessant.

Wenn die elektrischen und pneumatischen Anschlüsse korrekt befestigt sind und die Schaltnocke phasenrichtig ausgerichtet ist, läuft der Motor an.

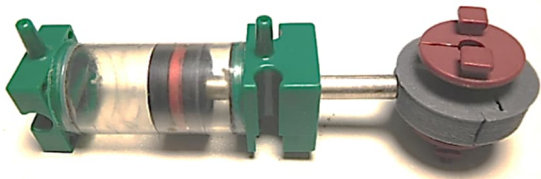


Abb. 1: Pleuel-Adapter/Achs-Manschette als „Auge“ für Pneumatik-Kolbenstangen aus dem 3D-Drucker

Der Motor hat auf der anderen Seite der Achse ein Schwungrad für eine gleichmäßigere Bewegung.

Die Versorgungsspannung für die Magnetventile wird von einem Gleichrichterbaustein bereitgestellt, welcher von einem fischertechnik-Transformator gespeist wird.

Zweizylinder-Boxermotor mit elektronischer Ventilsteuerung (BEL2_PP)

Ein anderes erfolgreiches Motor-Design ist der Boxermotor, bei dem zwei Kolben gleichzeitig gegeneinanderdrücken. Der große Vorteil des Boxermotors gegenüber einem V-Motor mit gleicher Zylinderanzahl ist ein ebenmäßiger Lauf wegen des Ausgleichs der Trägheitskräfte. Dieser Motor ist wegen eines kürzeren Kurbelgehäuses leichter und durch seine flache Bauweise

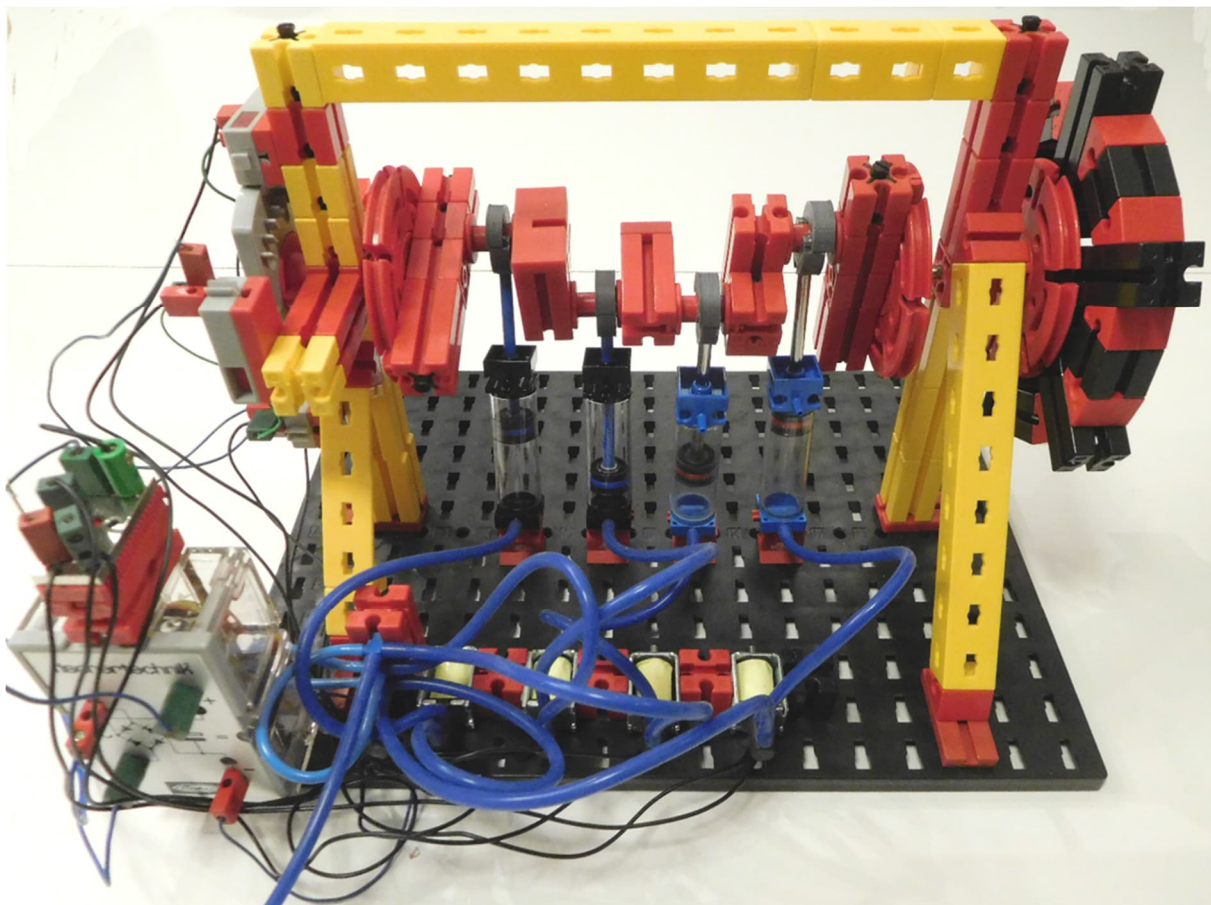


Abb. 2: Vierzylindermotor mit elektromechanischer Ventilsteuerung

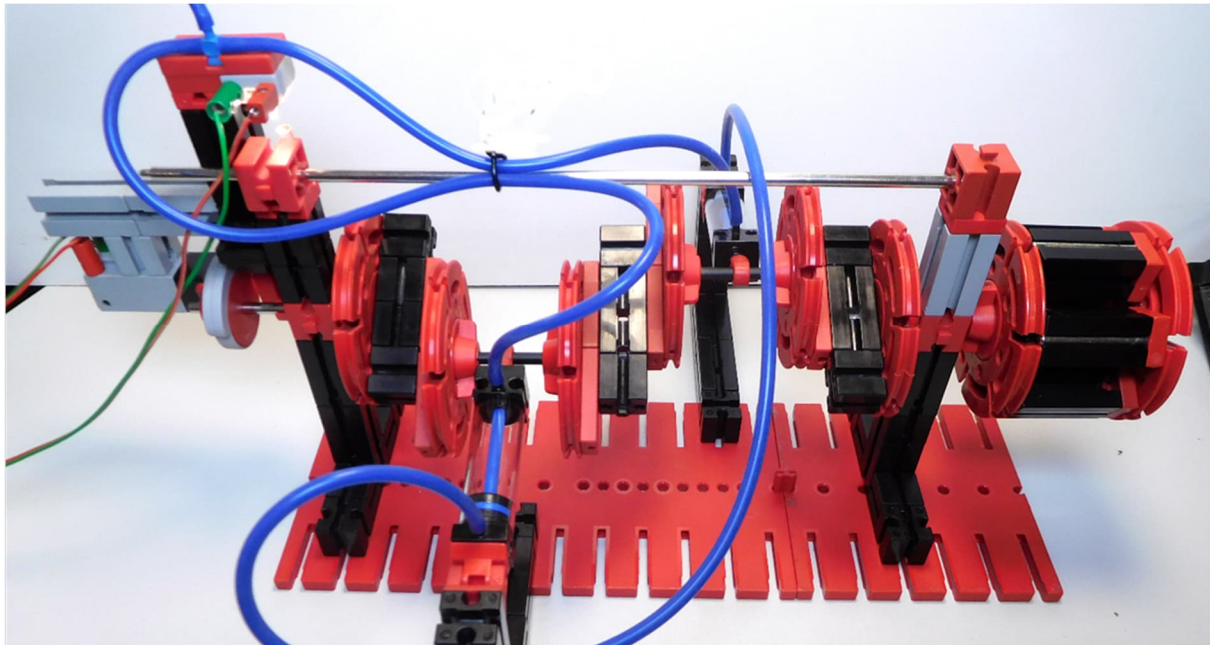


Abb. 3: 2-Zylinder Boxermotor mit Push-Pull-Antrieb und elektronischer Ventilsteuerung

kann er in Fahrzeugen weiter unten eingebaut werden, was der Stabilität aufgrund des tiefliegenden Schwerpunkts zuträglich ist. Boxermotoren sind etwas aufwändiger im Aufbau und bei der Ventilsteuerung (siehe dazu [3]).

Das in Abb. 3 gezeigte Modell besitzt einen Push-Pull-Antrieb, der die Kolben in ihren doppelwirkenden Zylindern in beiden Richtungen antreibt. Die Kurbelwelle ist aus versetzt und verschiebbar montierten Drehscheiben 60 aufgebaut, um einen für den Hub der Pneumatikzylinder optimalen Abstand der Kurbelachsen zur Motorachse erzielen zu können. Wegen dieser etwas voluminösen Konstruktion kann der vorher als Vorteil erwähnte Platzgewinn nicht realisiert werden.

Bei diesem Motor ist es von Vorteil, die mechanische Reibung der an die Schalter drückenden Nocken zu vermeiden. Dazu habe ich die Ventilsteuerung mit einer Lichtschranke (LDR + Grundbaustein) aufgebaut, die durch die Schaltnocke unter-

brochen wird. Bei Unterbrechung wird ein fischertechnik-Relais getriggert, das wechselseitig die zwei erforderlichen Magnetventile ansteuert. Das Licht für die Lichtschranke wird über einen Lichtleitstab in die Lichtschranke geführt. Um den Totpunkt bei diesem Zweizylinder-Modell zu überwinden, wird eine Schwungmasse eingesetzt.

Dreizylinder-Sternmotor mit pneumatischer Ventilsteuerung (SP3_PP)

Neben der Reihenanordnung ist auch eine Sternanordnung möglich. Das in [19] vorgestellte Modell ist eine ausgezeichnete Basis für eine Vielzahl von Motorvarianten.

In Abb. 4 sieht man das abgewandelte Modell mit drei bidirektional betriebenen Druckzylindern in Sternanordnung. Die Push-Pull-Ansteuerung erfolgt mit sechs fischertechnik Festo-Pneumatikventilen, welche von zwei Nockenscheiben betätigt werden (siehe Abb. 5).

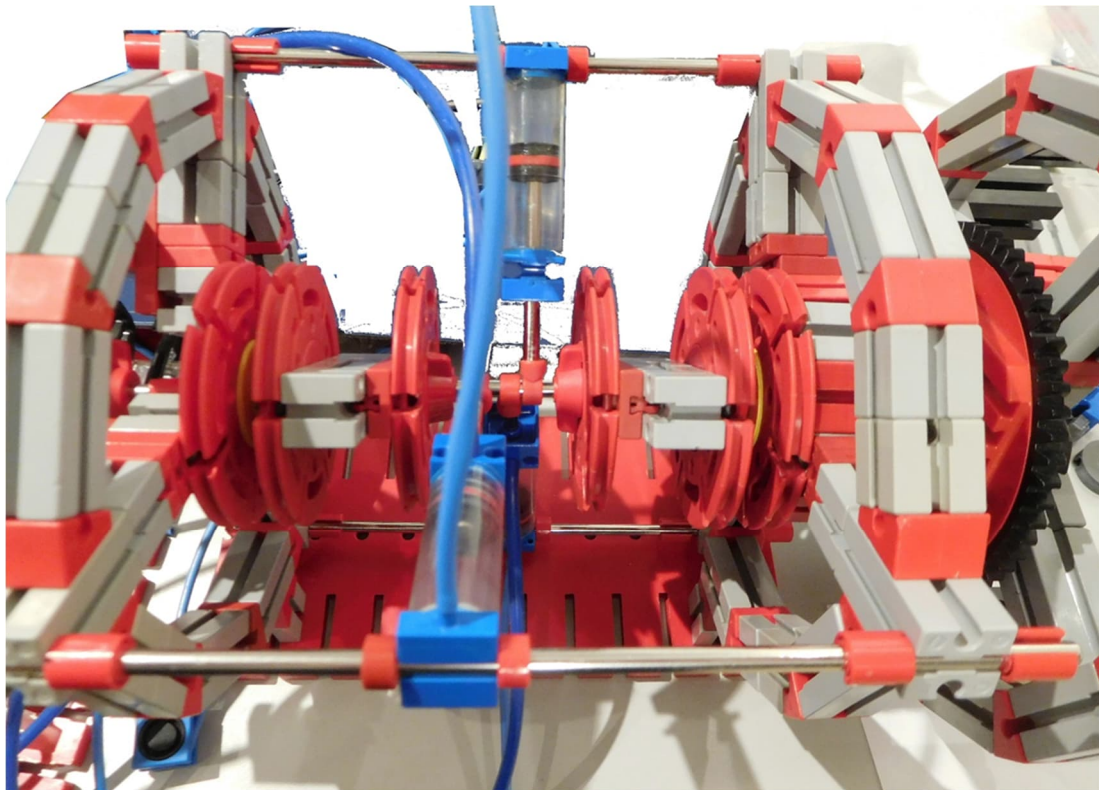


Abb. 4: Dreizylinder-Sternmotor mit doppeltwirkenden Zylindern (push-pull)



Abb. 5: Pneumatische Ventilsteuerung für Dreizylinder-Sternmotor; vordere Ventilreihe für „Push“, hintere Ventilreihe für „Pull“

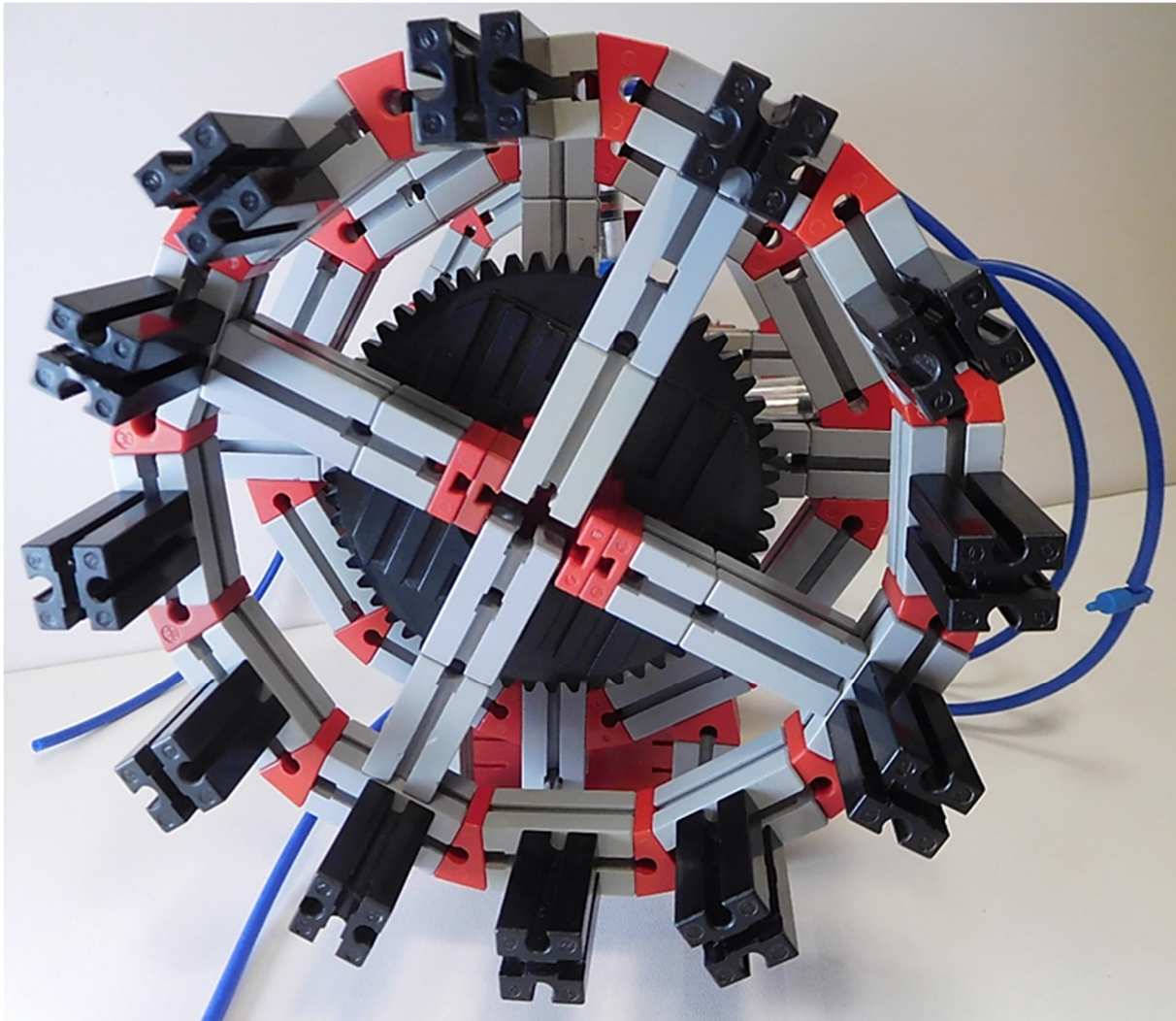


Abb. 6: Massives Schwungrad für die Sternmotor-Plattform

Dreizylinder-Sternmotor mit elektromechanischer Ventilsteuerung (SEM3)

Die Ansteuerung des vorigen Modells kann auch elektromechanisch erfolgen. Statt der Festo-Pneumatikventile von fischertechnik setzt man Taster ein, welche Magnetventile ansteuern.

Ein etwas kompakteres, aber sehr elegantes Modell eines Dreizylinder-Sternmotors mit einer Rastkurbelachse wurde von Holger im fischertechnik-Forum [4] vorgeschlagen. Der Nachbau ist in Abb. 7 und die ebenfalls elektromechanische Ventilsteuerung in Abb. 8 zu sehen.

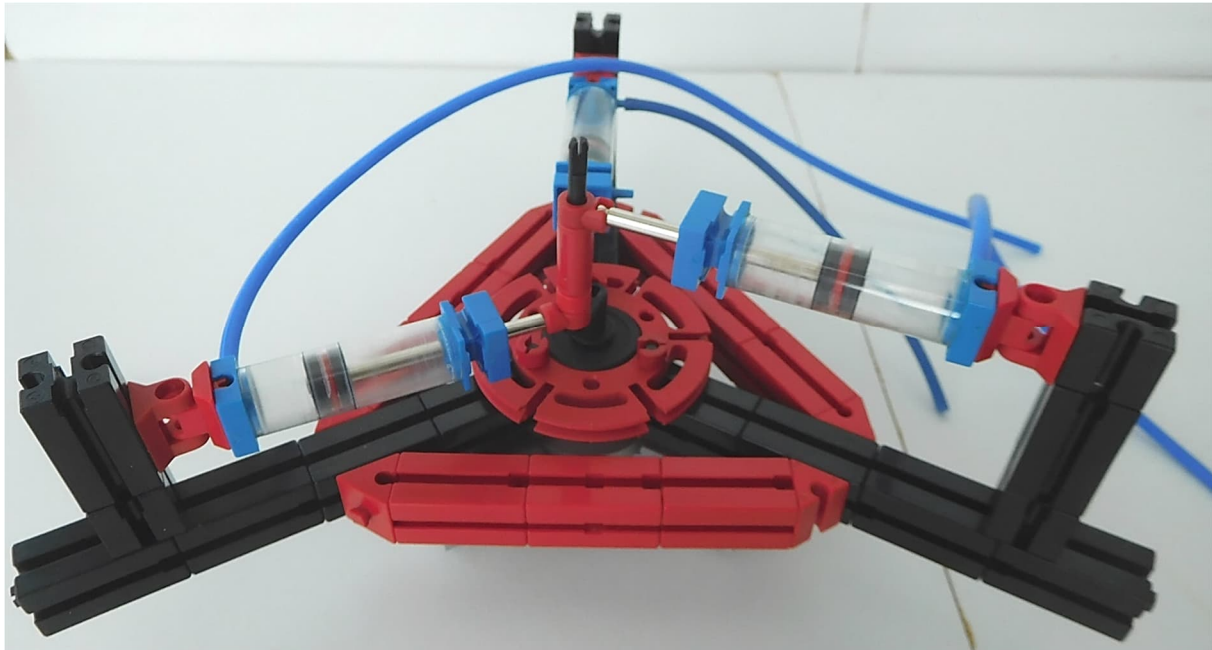


Abb. 7: Kompakter 3-Zylinder-Sternmotor

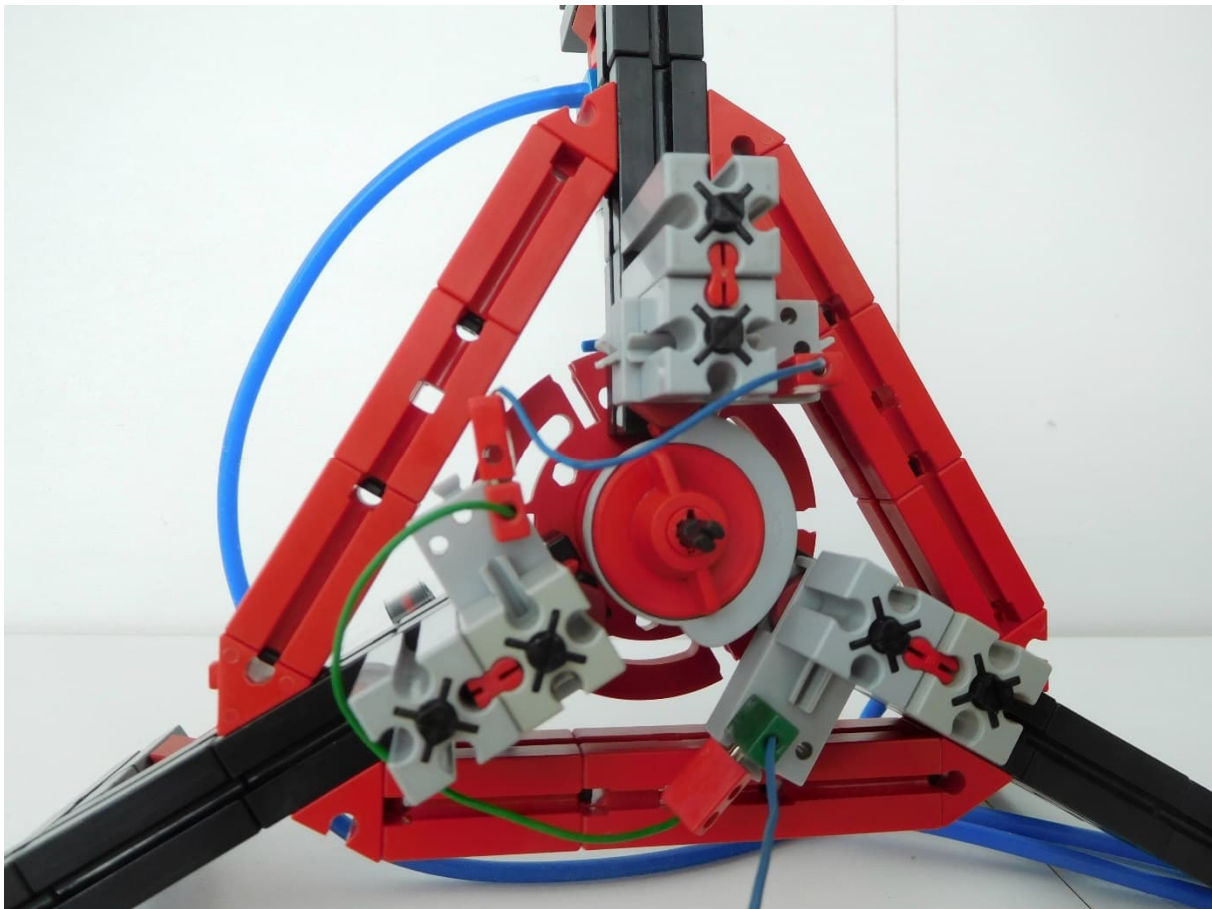


Abb. 8: Elektromechanische Ventilsteuerung für kompakten 3-Zylinder-Sternmotor

Vierzylinder-Sternmotor mit elektromechanischer Ventilsteuerung (SEM4)

Abb. 9 zeigt das Modell eines Vierzylinder-Sternmotors mit elektromechanischer Ventilsteuerung. Die vier Taster und die Nockenscheibe sind in Abb. 10 zu sehen. Man beachte auch das massive Schwungrad (siehe auch Abb. 6) auf der rechten Seite, welches in allen Modellen der hier verwendeten Sternmotor-Plattform zu finden ist.

Sechszylinder-Sternmotor mit elektromechanischer Ventilsteuerung (SEM6)

Sofern genügend Pneumatik-Bauteile und Ventile sowie eine ausreichend leistungsfähige Druckversorgung zur Verfügung

stehen, kann man die Zahl der Zylinder noch weiter steigern. Der in Abb. 11 abgebildete Sechszylinder-Sternmotor mit elektromechanischer Ventilsteuerung (Abb. 12) begeistert durch seine sanfte flüssige Bewegung. Eine pneumatische Steuerung mit sechs fischertechnik Festo-Ventilen ist mir wegen des bei teilweiser Betätigung auftretenden undichten Übergangszustandes bis jetzt noch nicht gelungen.

Es könnte aber interessant sein, den Drehwinkel der Motorachse über einen magnetischen Winkel-Encoder abzufragen und die Ventile per Microcontroller anzusteuern, wie für den im übernächsten Abschnitt besprochenen Vierzylindermotor.

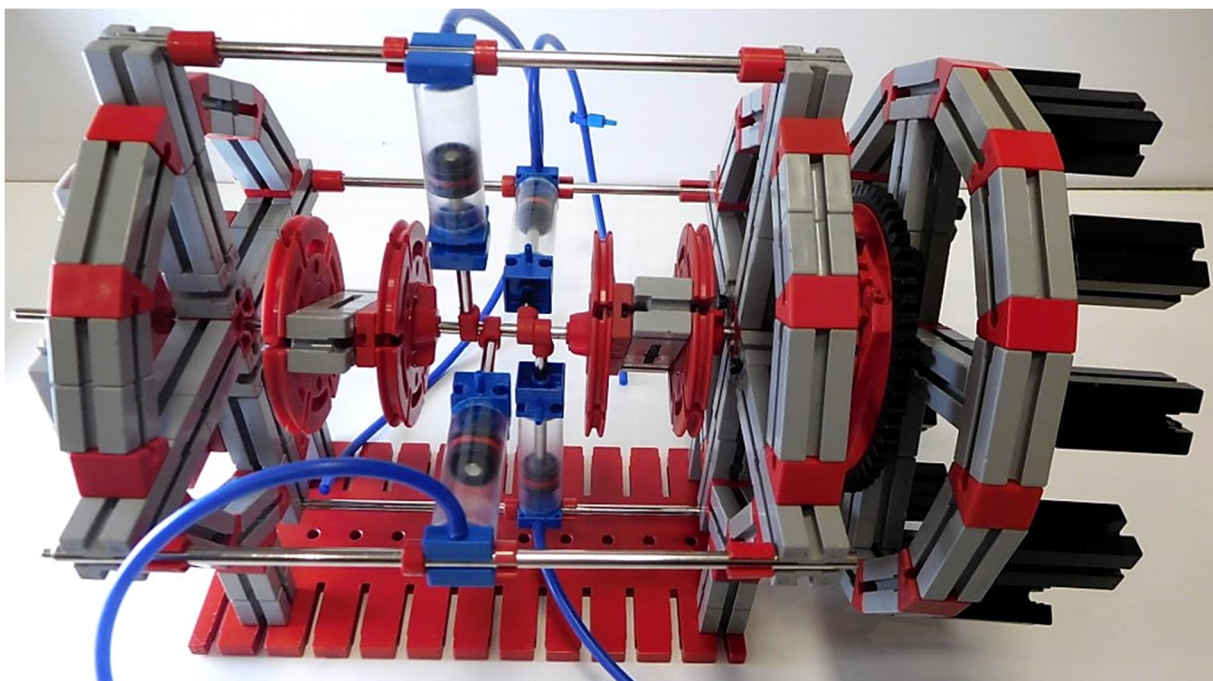


Abb. 9: Vierzylinder-Sternmotor

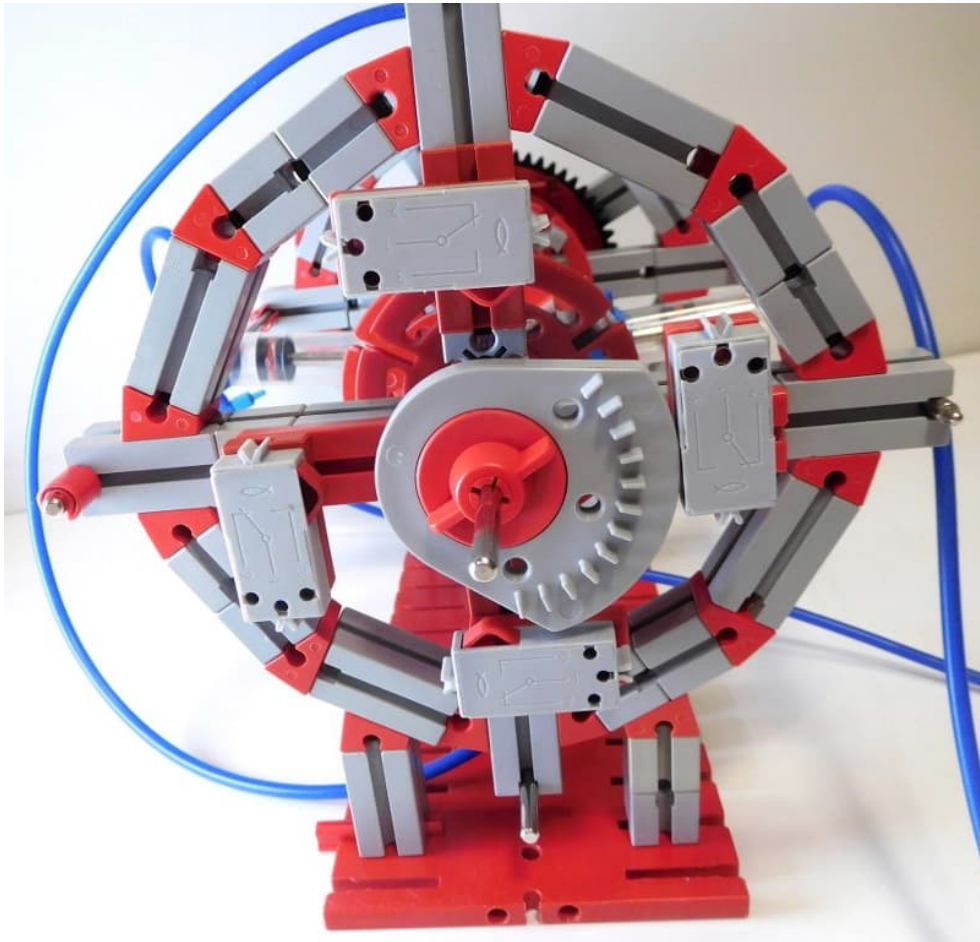


Abb. 10: Steuernocke und Anordnung der Taster für die elektromechanische Ventilsteuerung des Vierzylinder-Sternmotors

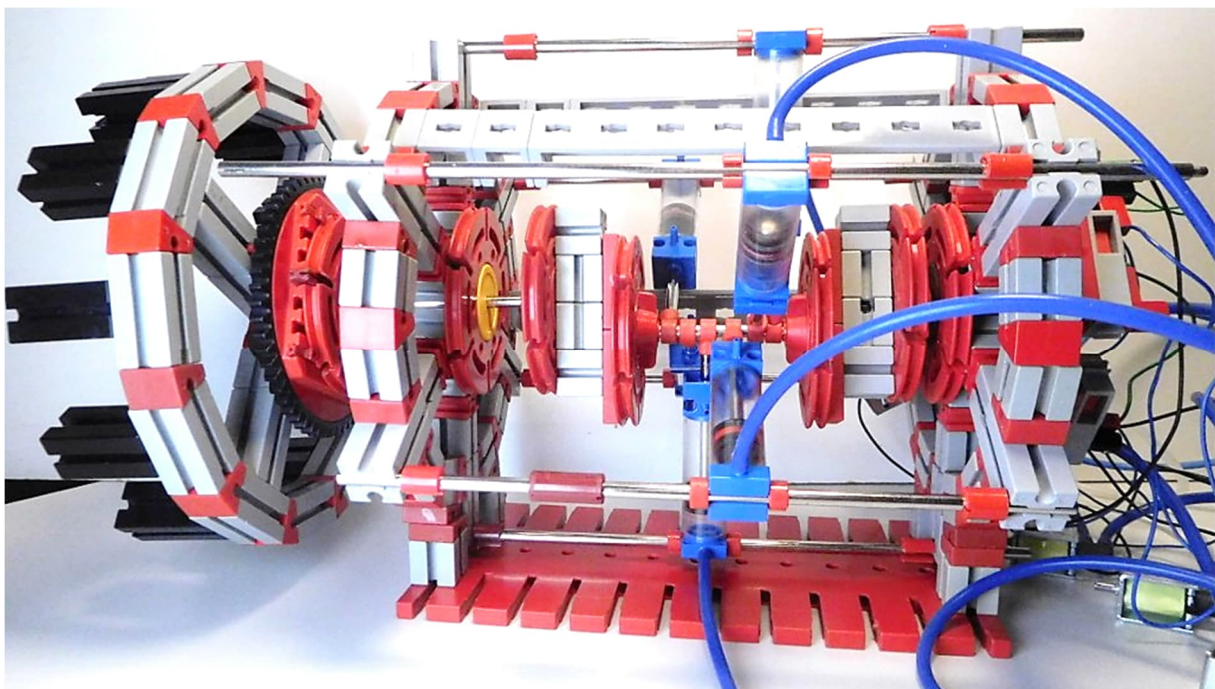


Abb. 11: Sechszylinder-Sternmotor mit elektromechanischer Ventilsteuerung

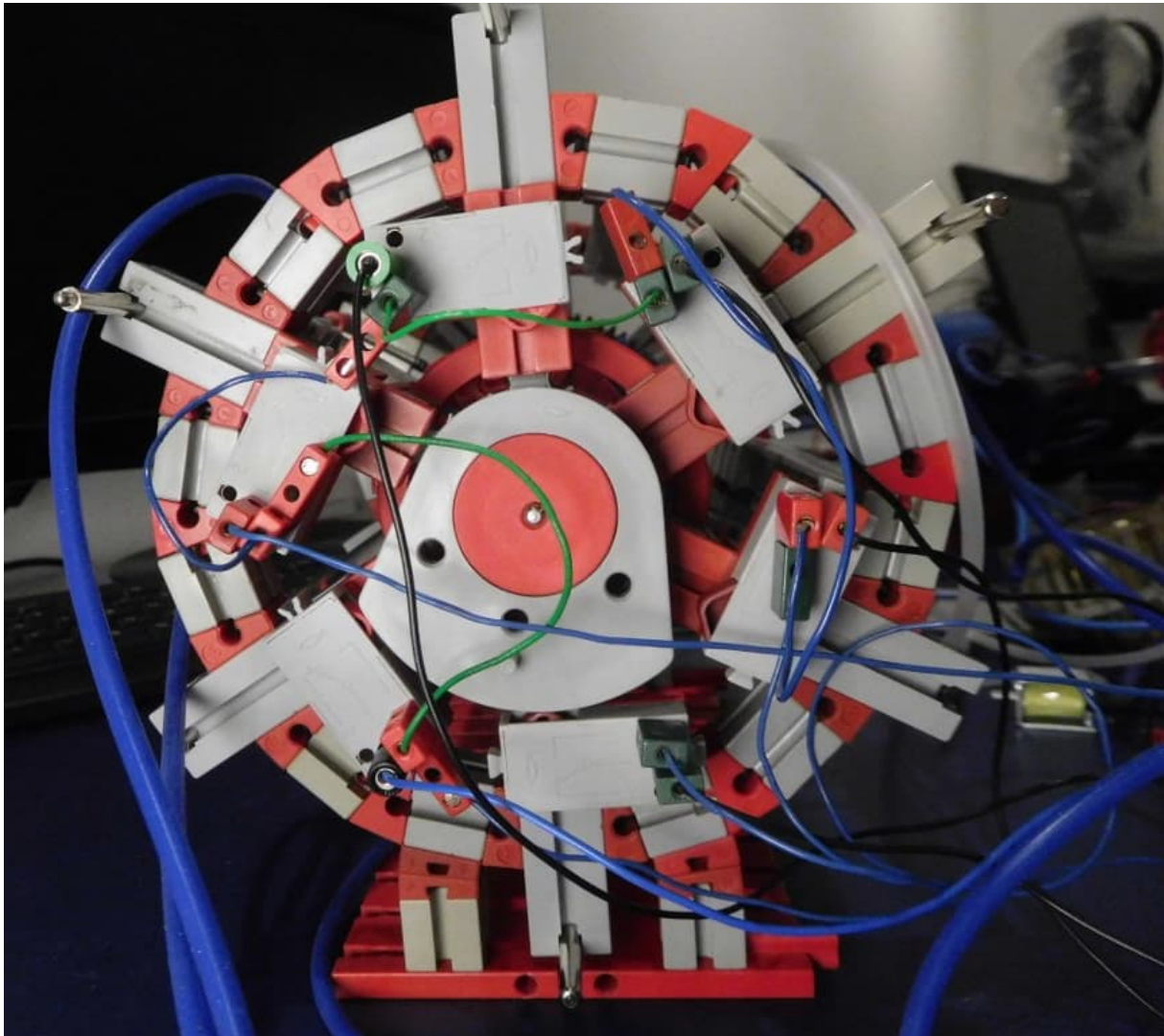


Abb. 12: Elektromechanische Ventilsteuerung für Sechszylinder-Sternmotor

Ebener Sechszylinder-Sternmotor mit elektromechanischer Ventilsteuerung (SEM6)

Sternmotoren wurden ursprünglich für den Flugzeugbau entwickelt, um bei hoher Zylinderzahl eine möglichst kurze Motorbaulänge zu erreichen [6]. Beim zuvor betrachteten Sternmotor-Modell greifen die Pleuel direkt an der Kurbel an und sind axial hintereinander angeordnet. Da die Zylinder dadurch nicht in einer gemeinsamen Ebene liegen, ergibt sich ein vergleichsweise großer Platzbedarf entlang der Motorachse.

Um einen flacheren Aufbau zu realisieren und sowohl Zylinder als auch Pleuel in einer Ebene anordnen zu können, wird ein alter-

natives kinematisches Konzept verwendet. Dabei greifen die Pleuel nicht unmittelbar an der Kurbelwelle an, sondern an einer zusätzlichen Antriebsscheibe, deren Mittelpunkt die Kurbelachse umläuft. Der Kurbelzapfen bildet den Anlenk- und Lagerpunkt der Antriebsscheibe, über den die von den Pleueln eingeleiteten Kräfte auf die Kurbelwelle übertragen werden. Diese Scheibe wirkt als weiteres mechanisches Element innerhalb eines ebenen Getriebes.

Durch die Einführung der zusätzlichen Scheibe entsteht zunächst ein zusätzlicher Freiheitsgrad, da sich die Scheibe nicht nur um die Kurbelachse bewegen, sondern auch um ihre eigene Achse drehen kann. Um diese unerwünschte Eigenrotation zu ver-

hindern, wird ein konstruktiver Kniff angewendet: Einer der Pleuel wird starr mit der Scheibe verbunden. Dieser Pleuel wird als *Hauptpleuel* bezeichnet. Die übrigen Pleuel bleiben gelenkig mit der Scheibe verbunden und werden als *Nebenpleuel* bezeichnet.

In Abbildung Abb. 13 ist für einen Dreizylinder-Sternmotor die Anzahl der Freiheitsgrade mithilfe der Grüblerschen Gleichung [5] für zwei Fälle dargestellt. Im ersten Fall (a) sind ausschließlich Nebenpleuel vorhanden, was zu einem Getriebe mit zwei Freiheitsgraden führt. Im zweiten Fall (b) wird ein Hauptpleuel eingeführt. Dadurch entfällt das rot markierte Gelenk, und das zuvor separate Element 9 fällt mit der Scheibe zusammen. Das resultierende Getriebe besitzt nun noch einen Freiheitsgrad. Dieses Ergebnis ist unabhängig

von der Anzahl der Zylinder und lässt sich entsprechend auch auf Sternmotoren mit höherer Zylinderzahl übertragen.

Abb. 14 zeigt den ebenen Sechszylinder-Sternmotor in der Rückansicht mit einem Hauptpleuel und fünf Nebenpleueln. In der Draufsicht (Abb. 15) sind die Anordnung der Kurbelachse in einer Freilaufnabe (gelb), das Hauptpleuel (blau) sowie ein benachbarter Nebenpleuel (grün) zu sehen.

Alle kinematischen Elemente liegen hierbei in einer gemeinsamen Ebene, was zu einem besonders kompakten axialen Aufbau führt.

Die elektromechanische Ventilsteuerung des ebenen Sechszylinders Sternmotors ist in Abb. 16 dargestellt. An der Motorachse wäre bei einer Anwendung im Flugzeugbau der Propeller befestigt.

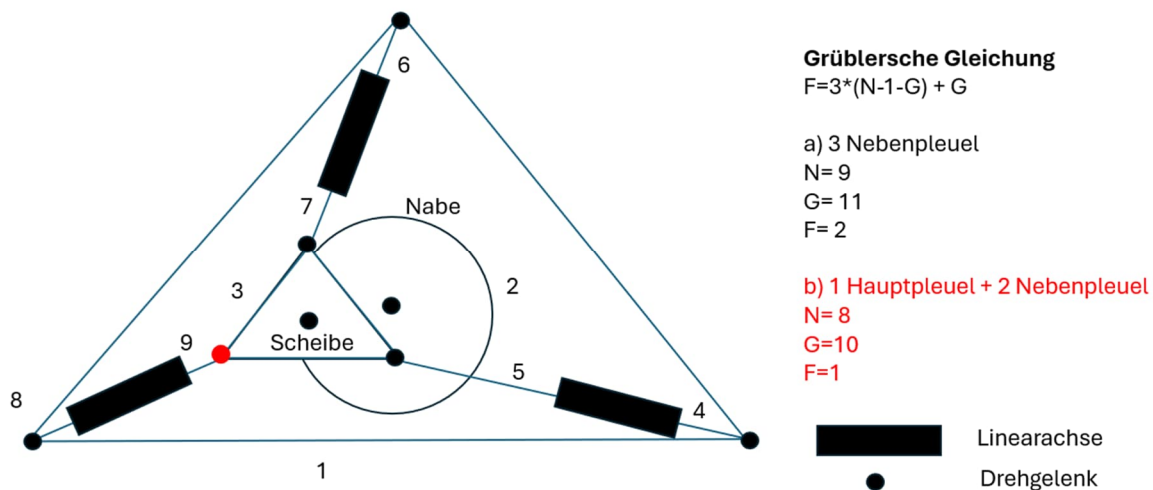


Abb. 13: Freiheitsgrade eines ebenen Getriebes für einen Dreizylinder-Sternmotor gemäß der Grüblerschen Gleichung

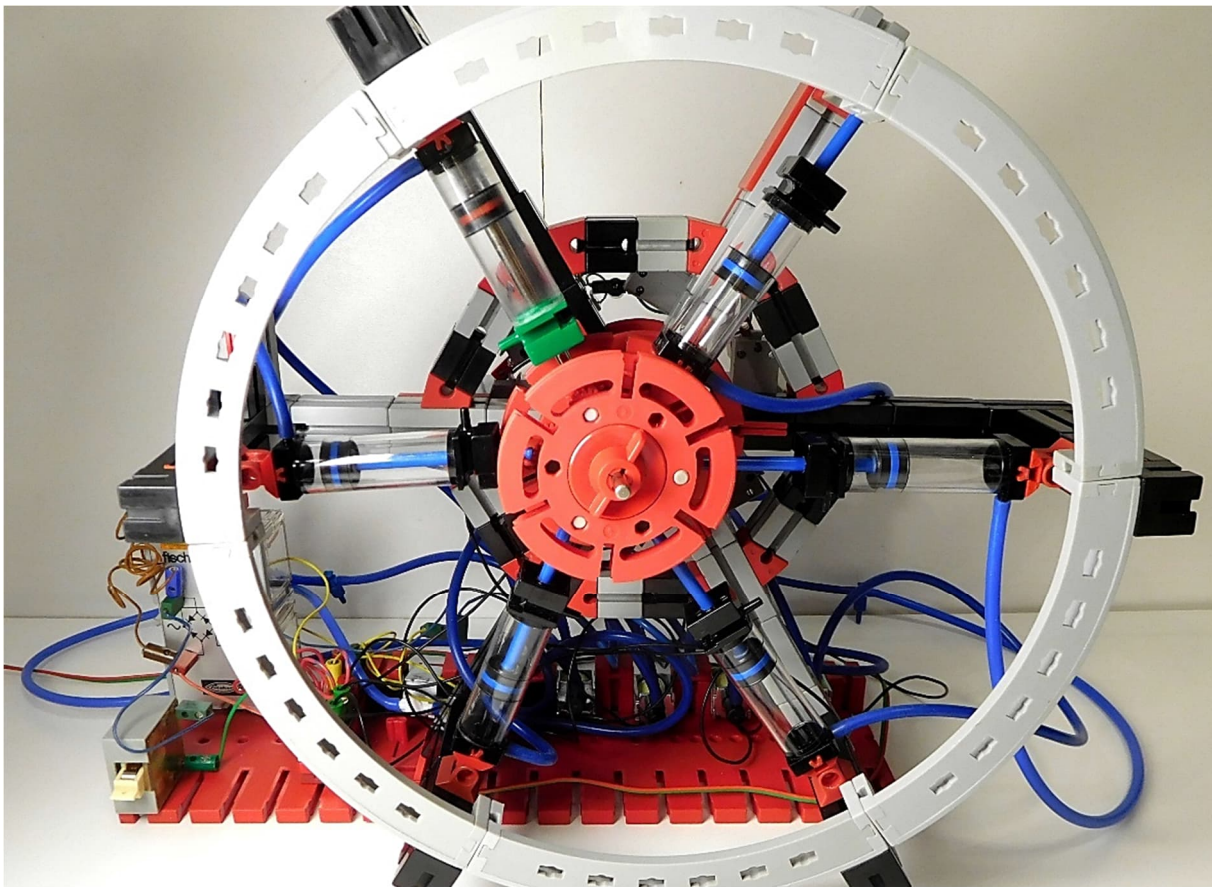


Abb. 14: Ebener Sechszylinder-Sternmotor (Rückansicht) mit Hauptpleuel (1-Uhr-Position) und 5 Nebenpleuel

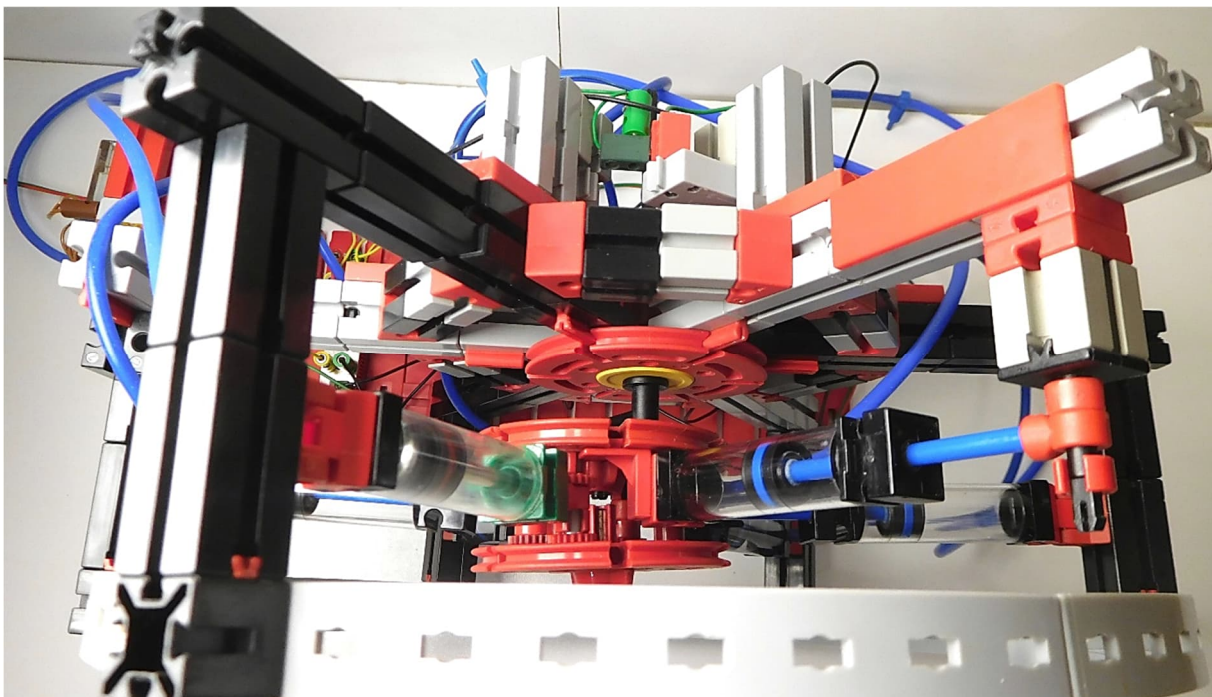


Abb. 15: Blick von oben in den ebenen Sechszylinder-Sternmotor; Hauptpleuel (blau) ist mit der Antriebscheibe fest (daher umgekehrt), Nebenpleuel (grün) ist gelenkig mit der Scheibe verbunden

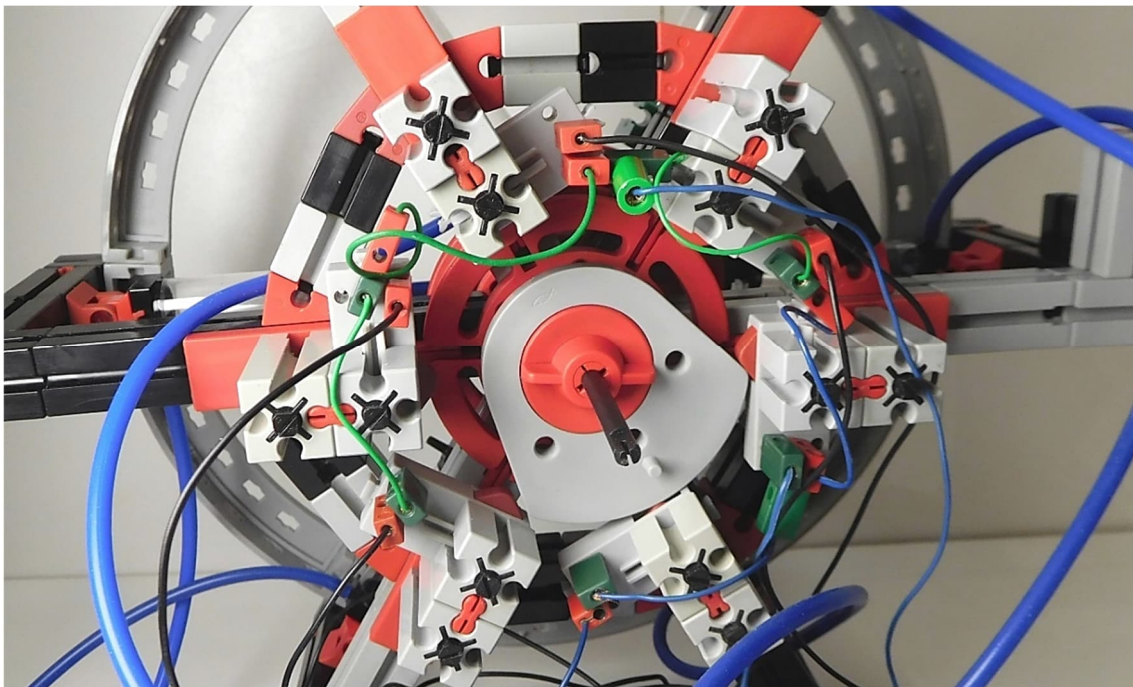


Abb. 16: Elektromechanische Ventilsteuerung des ebenen Sechszylinder-Sternmotors (Vorderansicht)

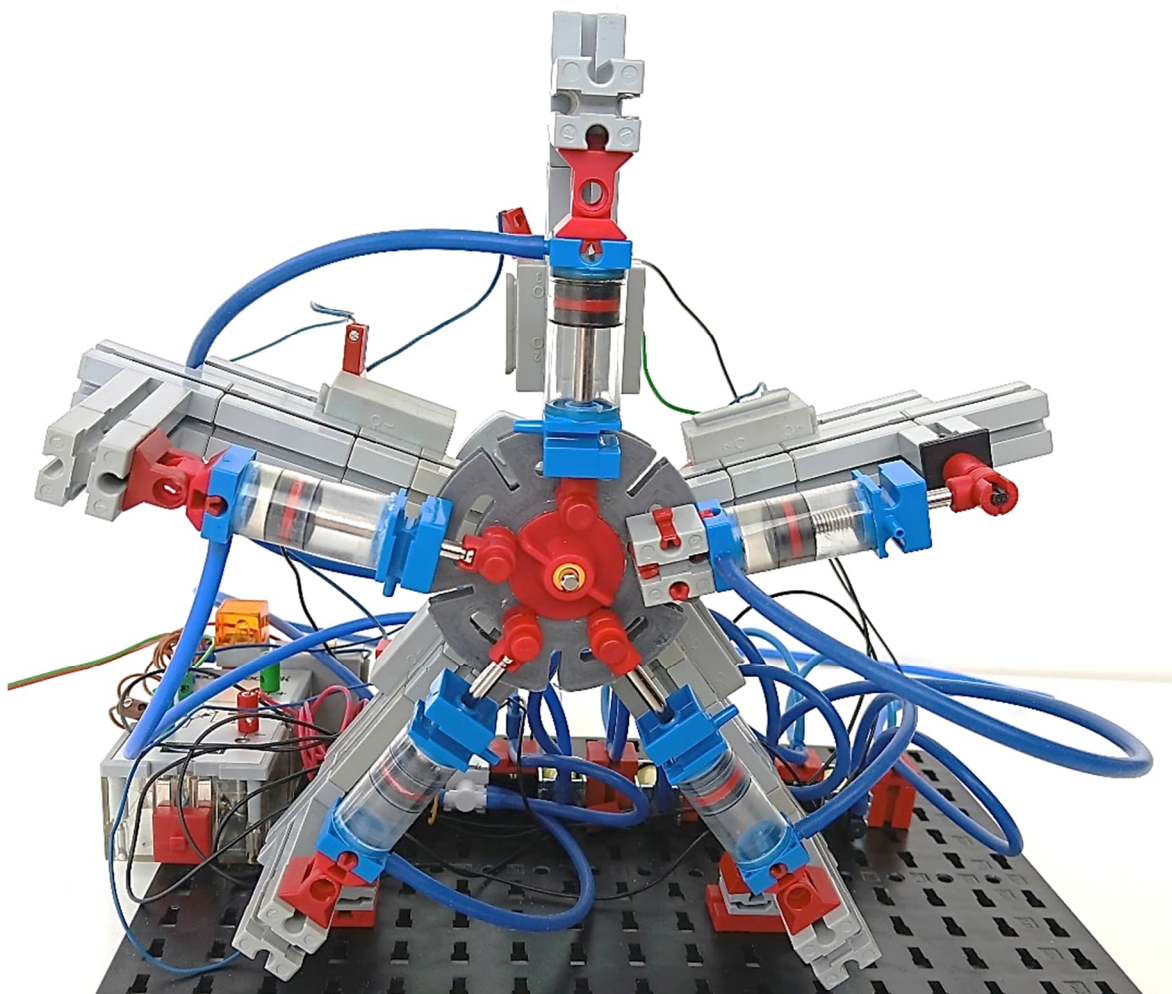


Abb. 17: Fünfzylinder-Sternmotor mit kurzen Pneumatikzylindern

Ebener Fünfzylinder-Sternmotor mit elektromechanischer Ventilsteuerung (SEM5)

Typische Flugzeug-Sternmotoren besitzen nahezu immer eine ungerade Anzahl von Zylindern. Der Grund dafür liegt in der gleichmäßigen Zündfolge bei Viertakt-Verbrennungsmotoren, die zu einem ruhigeren Motorlauf führt. Bei einer ungeraden Zylinderzahl zündet während zweier Kurbel-

wellenumdrehungen (720°) jeder Zylinder genau einmal, wobei sich die Arbeitstakte gleichmäßig über den Zyklus verteilen.

Bei einer geraden Anzahl von Zylindern stünden sich hingegen jeweils zwei Zylinder direkt gegenüber. In diesem Fall müsste der arbeitende Kolben seinen gegenüberliegenden Kolben unmittelbar in dessen Zylinder hineinschieben, was aus mechanischer und lafruhiger Sicht ungünstig ist.

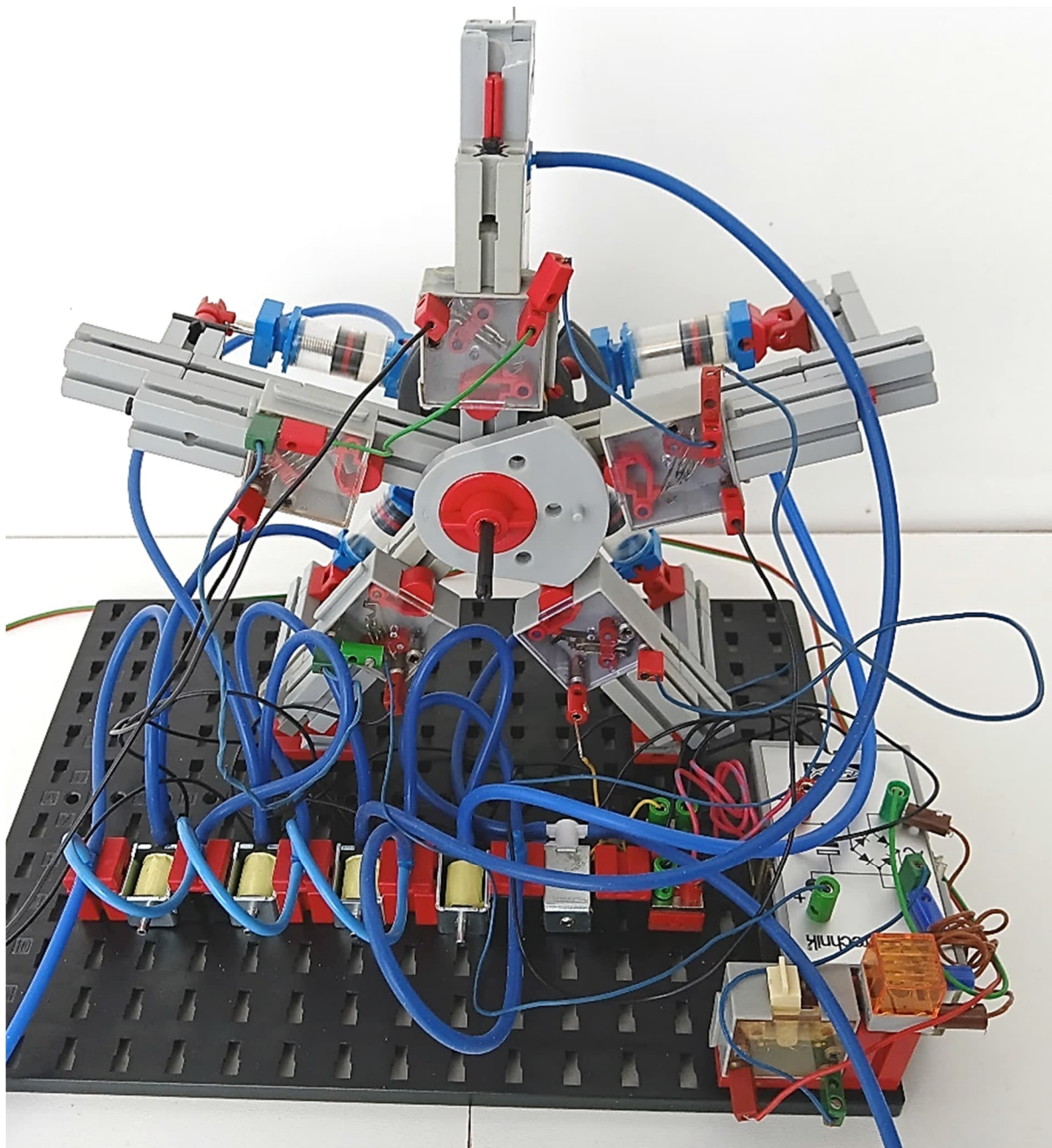
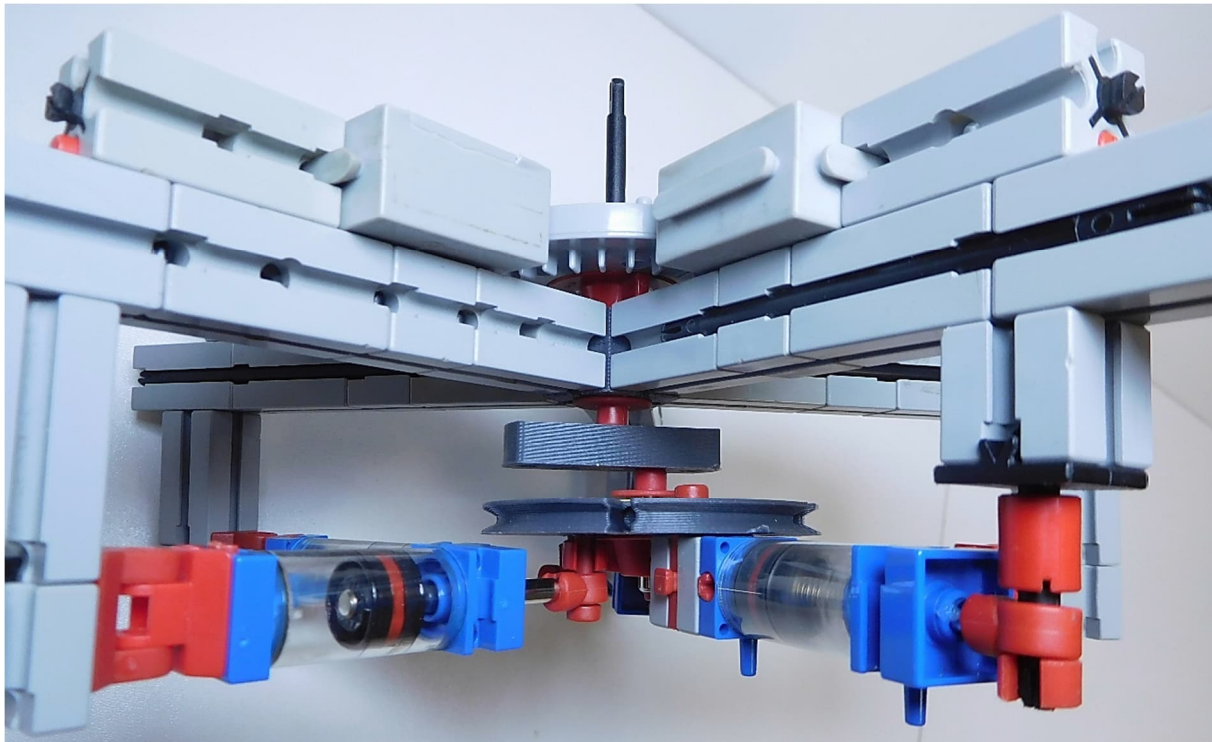


Abb. 18: Ventilsteuerung für Fünfzylinder-Sternmotor



*Abb. 19: Blick von oben in den Fünfzylinder-Sternmotor;
sichtbare 3D-Druckteile: Rast-Kurbelblock und Drehscheibe mit 5 Löchern*

Dieses Prinzip ließe sich jedoch bei einem Druckluftmotor mit doppeltwirkenden Zylindern gezielt nutzen.

Um mit Fischertechnik einen Fünfzylinder-Sternmotor zu realisieren, habe ich drei Spezialteile mittels 3D Druck gefertigt:

- einen pentagonalen Baustein mit zentrischer Bohrung [7],
- eine Drehscheibe mit fünffacher Symmetrie [8] sowie
- einen Rast-Kurbelblock [9], dessen Abstand zwischen Kurbelzapfen und Achse exakt auf den Hub der Fischertechnik-Zylinder abgestimmt ist.

Das fertige Modell (Abb. 17) arbeitet mit kurzen Fischertechnik-Zylindern.

In Abb. 18 ist die Ventilsteuerung dargestellt. Die Draufsicht in Abb. 19 zeigt die Ausbildung der Kurbelmechanik.

Ventilsteuerung per Software

Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen werden heute nahezu durchgängig elektronisch mithilfe von Mikrocontrollern gesteuert. Dies ermöglicht eine präzisere Zünd- und Einspritzsteuerung, flexible Parametrierung sowie eine Anpassung an unterschiedliche Betriebsbedingungen.

Gleichzeitig zeigt der sogenannte Diesel-Skandal, dass softwarebasierte Steuerungen prinzipiell auch erkennen können, unter welchen Bedingungen ein Motor betrieben wird, und ihr Verhalten entsprechend anpassen.

Ein vergleichbarer Ansatz lässt sich auch auf Druckluftmotoren übertragen. Hier kann die Ventilsteuerung mithilfe eines Mikrocontrollers realisiert werden, indem der Drehwinkel der Kurbelwelle beispielsweise mit einem Magnetsensor erfasst und die Magnetventile über einen Arduino Mikrocontroller mit einem 4-Kanal-Motorshield oder ein Darlington-Transistor-Array

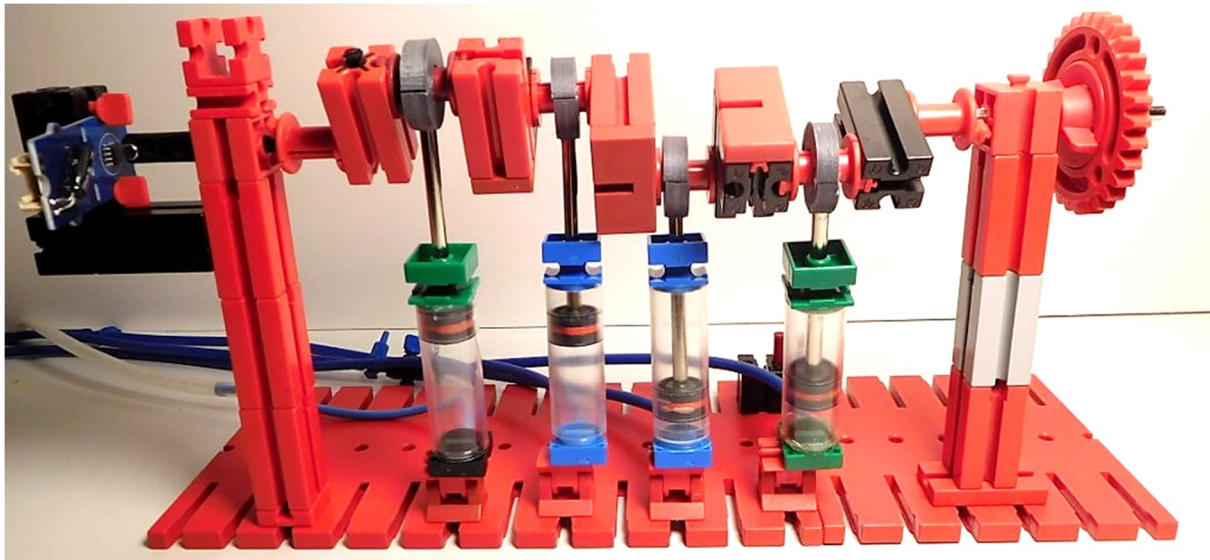


Abb. 20: Vierzylinder-Reihenmotor mit elektronischer Ventilsteuerung. Ermittlung des Kurbelwellen-Drehwinkels über einen magnetischen Encoder AS5600, der mittels I2C ausgelesen wird. Die Ansteuerung der Magnetventile erfolgt über einen Arduino.

(z. B. ULN 2003) angesteuert werden. Der Vorteil dieses Konzepts besteht darin, dass auf mechanische Schalter und auf eine Nockenwelle verzichtet werden kann und jeder Zylinder exakt so lange mit Druckluft beaufschlagt wird, wie es seiner Hubbewegung entspricht. Das zeitliche Verhalten der Ventilsteuerung („Zündzeitpunkt“) lässt sich vollständig in Software definieren und einfach variieren, wodurch sich unterschiedliche Steuerstrategien experimentell untersuchen lassen. Das Modell auf Abb. 13 beweist, dass mit dieser Art der Steuerung auch ohne Schwungrad ein ruhiger Motorlauf erreicht werden kann.

Zusammenfassung & Ausblick

Nach einer kurzen Gegenüberstellung von Verbrennungs- und Druckluftmotoren wurden letztere als anschauliche kinematische Modelle für Motoren eingeführt.

In diesem Beitrag wurden verschiedene Pneumatikmotoren auf Basis des fischertechnik-Systems vorgestellt. Für unterschiedliche Motorbauarten – Reihen-, Stern- und Boxermotor – wurden konkrete Realisierungsmöglichkeiten sowie konstruktive Varianten beschrieben.

Für den Reihenmotor wurde ein spezieller Pleueladapter als 3D-Druck-Bauteil entwickelt, der den Aufbau einer stabilen Kurbelwelle ermöglicht.

Das Sternmotor-Modell ([Video](#)) erweist sich als besonders vielseitige Experimentierplattform, da sich sowohl die Zylinderanzahl als auch unterschiedliche pneumatische und elektromechanische Ventilsteuerungen flexibel und leicht realisieren lassen.

Es wurde auch der Einsatz einer magnetischen Drehwinkel-Messung samt einer mikrocontrollergestützten elektronischen Ventilsteuerung vorgestellt.

Darüber hinaus wurde gezeigt, wie doppelwirkende Zylinder gezielt genutzt werden können, um bei jeder Kolbenbewegung Antriebskraft zu bewirken und so den Wirkungsgrad zu erhöhen.

Insgesamt zeigt sich, dass mit dem Pneumatik-System von fischertechnik sehr anschauliche und lehrreiche Funktionsmodelle realisierbar sind. Rein pneumatische Steuerungen mit fischertechnik/Festo-Ventilen stoßen jedoch aufgrund von Leckagen bei nicht vollständig betätigten Ventilen an ihre praktischen Grenzen. Diese

Einschränkung besteht bei elektromechanisch angesteuerten Magnetventilen nicht. Letztere schlagen zudem eine Brücke zur Mikroelektronik und ermöglichen den Aufbau sowie die Untersuchung elektronischer und mikrocontrollerbasierter Steuerungskonzepte.

Was in diesem Beitrag nicht untersucht wurde ist die Ventilsteuerung mittels Knickventilen. Dies wäre insofern interessant, da die fischertechnik Festo-Ventile nicht mehr Bestandteile des aktuellen fischertechnik-Programms sind.

Ein vielversprechender Ausblick besteht darin zu untersuchen, ob sich ein kompakter fischertechnik-Druckluftmotor entwickeln lässt, der den Antrieb eines druckluftbetriebenen Fahrzeugmodells übernimmt.

Vergleichbare Modelle der „Konkurrenz“ – wie etwa ein ferngesteuerter LKW mit Druckluftmotor [2] – setzen hier bereits neue Maßstäbe. Dies eröffnet ein spannendes Entwicklungsfeld für zukünftige Experimente und Konstruktionen.

Also: ran ans Werk!

Quellen

- [1] Florian Bauer: *Fischertechnik Pleuel Adapter for Pneumatic Cylinders*. Auf thingiverse.com, 2025.
- [2] Brick Technology: *Kann ein Luftdruck Motor einen Lego LKW antreiben?* Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2023.
- [3] Wikipedia: [Boxermotor](https://de.wikipedia.org/wiki/Boxermotor).
- [4] Holger Howey im [ftc-Forum](https://www.ft-community.com/forum) in einem Thread über Druckluftmotoren.
- [5] Wikipedia: [Grüblersche Gleichung](https://de.wikipedia.org/wiki/Grüblersche_Gleichung).
- [6] Wikipedia: [Sternmotor](https://de.wikipedia.org/wiki/Sternmotor).
- [7] Florian Bauer: *Fischertechnik Pentagonal Block*. Auf thingiverse.com, 2026.
- [8] Florian Bauer: *Fischertechnik Disk with 5 holes*. Auf thingiverse.com, 2026.
- [9] Florian Bauer: *Fischertechnik Crank Element for pneumatic cylinders (Sternmotorteil 2)*. Auf thingiverse.com, 2026.
- Einzylinder-Motoren:*
- [10] (SEM1) Ciitv: *Fischertechnik „Druckluftmotor“*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2015.
- [11] (SP1) Stefan Falk: *fischertechnik Druckluftmotor aus ft:pedia 2015-2*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2015.
- Zweizylinder-Motoren:*
- [12] (VP2) Stefan Reinmüller: *fischertechnik Zweizylinder-Pneumatikmotor*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2016.
- [13] (SEM2_PP) Leon Lopol: *Fischertechnik 2 Zylinder Druckluftmotor*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2016.
- [14] (VP2) FT Frank: *Fischertechnik Pneumatik Zweizylinder-V-Motor Teil 2 „mit der Drehzahl am Limit“*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2025.
- Dreizylinder-Motoren:*
- [15] (SP3) Stefan Falk: *fischertechnik Dreizylinder-Druckluftmotor mit Schlauchventilen*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2015.
- [16] (REM3) Elmar Brix: *3-Zylinder Druckluftmotor*. Im [Bilderpool](https://www.bilderpool.com) der ft Community, 2012.
- [17] (RP3) supersonicturboboost: *fischertechnik pneumatic motor III*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2024.
- [18] (REM3) gummel97: *Funktio-nierender (!) 3-Zylindermotor*. Im [Bilderpool](https://www.bilderpool.com) der ft Community, 2010.
- [19] (SP3) supersonicturboboost: *fischertechnik 3 Zylinder Druckluft Motor, Sternmotor*. Auf [YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=...), 2025.

[20] (SP3) FT Frank: *Fischertechnik Dreizylinder Pneumatik Druckluft Motor*. Auf [YouTube](#), 2024.

Vierzylinder-Motoren:

[21] (AP4) Stefan Reinmüller: *fischertechnik Axialkolbenmotor*. Auf [YouTube](#), 2017.

[22] (AP4) Peter Damen: 4-Zylinder-Axialkolbenmotor PDP + Festoventilen. Im [Bilderspool](#) der ft Community, 2017.

[23] Dirk Fox: *Die Dampfmaschine*. [ft:pedia 4/2012](#), S. 38–45.

Pneumatik

Druckluftsteuerungen – Pneumatische Boosterpumpe mit fischertechnik

Florian Bauer

Pneumatische Anlagen stoßen oft dort an ihre Grenzen, wo lokal ein höherer Druck benötigt wird, ohne die gesamte Versorgung anzuheben. Eine mögliche Lösung bietet die pneumatische Boosterpumpe. Dieser Beitrag erklärt zunächst ihr Funktionsprinzip und beschreibt anschließend die wesentlichen Bauteile einer solchen Druckluftsteuerung. Anhand von fischertechnik-Modellen wird gezeigt, wie sich die Boosterpumpe anschaulich aufbauen und experimentell nachvollziehen lässt.

Einleitung

Für den kostengünstigen Betrieb von pneumatischen Anlagen ist man bestrebt, den Arbeitsdruck der zentralen Druckversorgung nur so hoch wie nötig zu halten, denn die Leistung der Luftversorgung hängt vom Druck und der Förderleistung der Druckluftversorgung ab. Je höher der Druck, desto höher die benötigte Leistung.

Was aber, wenn der Druck für eine mit Luftdruck betriebenen Maschine im Verbund nicht ausreicht? Anstatt den Druck der gesamten Anlage zu erhöhen, was zu höheren Betriebskosten führen würde, kann man eine Boosterpumpe zur lokalen Druck-

verstärkung vor die betroffene Maschine schalten [1].

Druckübersetzung

Bei einer Boosterpumpe wird der physikalische Zusammenhang zwischen Kraft, Fläche und Druck ausgenutzt. Die Kraft, die ein Kolben ausüben kann, ist gegeben durch das Produkt von Druck und Fläche des Kolbens:

$$F = p \cdot A$$

Betrachten wir nun die folgende pneumatische Anordnung zweier Pneumatik-Zylinder (Abb. 1).

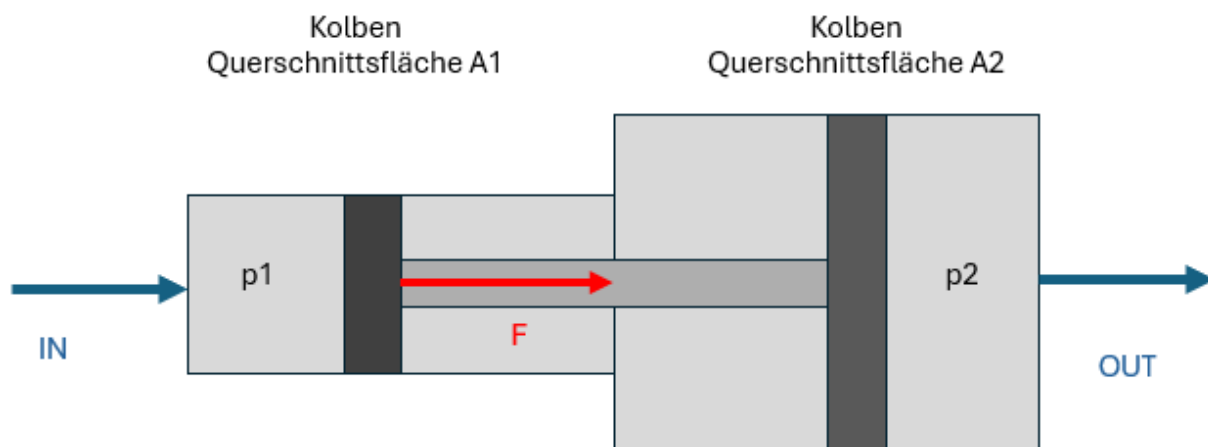


Abb. 1: gekoppelte Pneumatik-Zylinder mit unterschiedlichen Querschnittsflächen

Im linken Zylinder, dessen Kolben eine Querschnittsfläche A_1 hat, wird Luft mit einem Druck p_1 über den Eingang IN eingeleitet. Dadurch wird der Kolben mit einer Kraft

$$F = p_1 \cdot A_1$$

nach rechts gedrückt. Die Stange des Kolbens ist mit dem Kolben eines zweiten Zylinders verbunden, dessen Querschnittsfläche A_2 ist. Dieselbe Kraft F wirkt auf den zweiten Kolben und drückt das Luftvolumen in der rechten Kammer zusammen. Es gilt:

$$F = p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2$$

Daher ist der Druck in der rechten Kammer

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{A_1}{A_2}$$

Dieser Druck herrscht am Ausgang OUT, sofern dieser geschlossen ist.

Das Druck-Übersetzungsverhältnis beträgt

$$\frac{A_1}{A_2}$$

Mit $A_1 > A_2$ erreicht man eine Druck-erhöhung.

Boosterpumpe

Um eine kontinuierliche Druckversorgung auf einem erhöhten Druckniveau zu realisieren ist ein zweistufiger Prozess erforderlich. Dabei wird der vorhandene Ausgangsdruck zunächst in eine Kompressionskammer geleitet und anschließend verstärkt:

- Phase 1: Befüllen der Kompressionskammer
- Phase 2: Durchführung der Kompression

Dieses Prinzip findet sich beispielsweise in Kolbenpumpen wieder. Dort wird ein Kompressionskolben durch einen Elektromotor angetrieben. Am Ausgang der Pumpe ist über ein Rückschlagventil ein Druckspeicher (Tank) angeschlossen, der den verdichteten Druck aufnimmt.

Nun wäre es wünschenswert, die Kompression rein durch den Arbeitsdruck, also ohne eine zusätzliche mechanische Energiezuführung zu bewerkstelligen. Dazu schaltet man zwei Antriebszylinder parallel und koppelt sie mechanisch mit einem Kompressionszylinder. Für den kontinuierlichen Betrieb ist ein Umschaltventil erforderlich, das bei jedem Erreichen der Endlage die Bewegungsrichtung des Kolbens wechselt.

Auf diese Weise arbeitet das System wie ein Kompressor, dessen Antrieb nicht elektrisch, sondern durch einen integrierten Druckluftmotor erfolgt.

Wenn man im Netz nach dem Aufbau einer Boosterpumpe sucht, findet man eine interessante Konstruktion, die Antrieb und Kompression in einem Doppel-Zylinder vereinigt. In Abb. 2 ist eine Prinzip-Skizze davon zu sehen [2].

Die Boosterpumpe besteht aus zwei gekoppelten Kolben, die in der Mitte miteinander starr mechanisch verbunden sind. Die Kolben bilden vier getrennte – voneinander abgedichtete – Kammern K1 bis K4, die abwechselnd mit Druck beaufschlagt oder entlüftet werden.

Das Aggregat besitzt einen Druckluft-Eingang IN, einen Druckluft-Ausgang OUT und eine Entlüftungsöffnung E. Der Ausgang OUT ist an einem Puffertank angeschlossen, aus dem dann die verdichtete Druckluft abgegriffen werden kann.

Die beiden mittleren Kammern K2 und K3 werden abwechselnd für den Druckaufbau und den Antrieb verwendet. Die beiden äußeren Kammern K1 und K4 werden abwechselnd mit Druck beaufschlagt und entlüftet. Bei dieser Anordnung wirkt auf jeweils zwei Kolbenflächen Arbeitsdruck p in dieselbe Richtung. Kompression erfolgt in derjenigen mittleren Kammer, deren andere Kolbenseite mit Druck beaufschlagt wird.

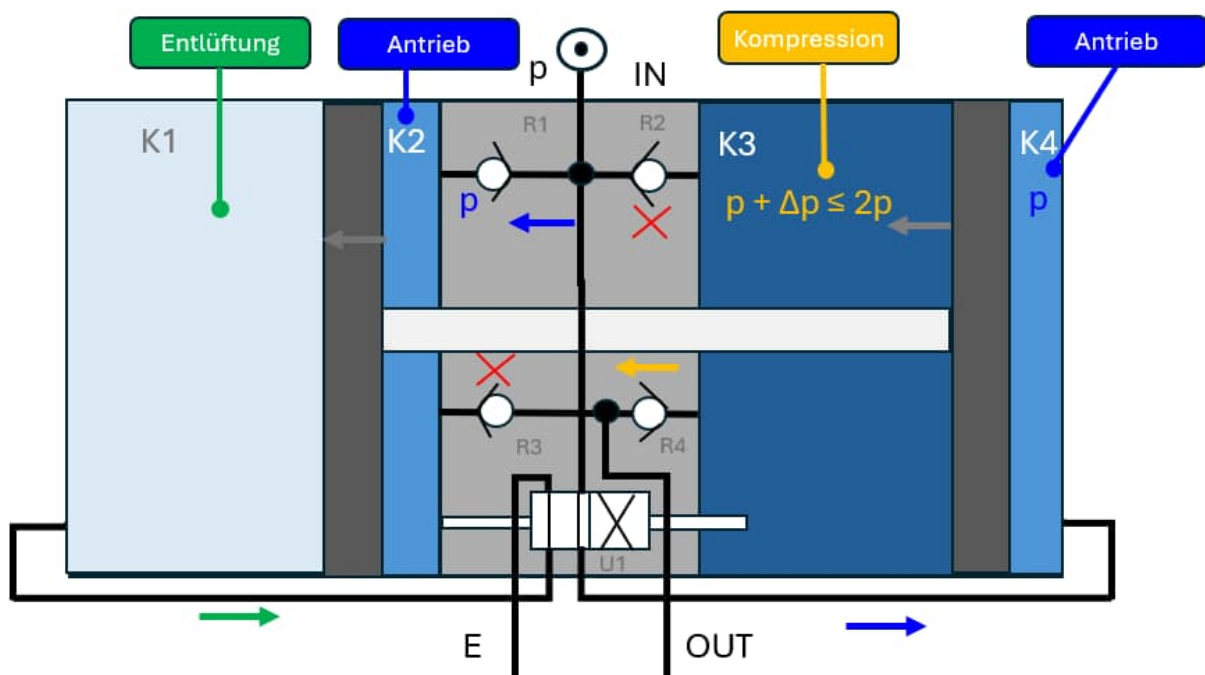


Abb. 2: Schema einer Boosterpumpe: Zwei gekoppelte Kolben (dunkelgrau) bewegen sich rein vom Arbeitsdruck p angetrieben hin und her und verdichten die Luft in den mittleren Kammern K2 und K3 bis in etwa der doppelte Arbeitsdruck $2 \cdot p$ erreicht ist.

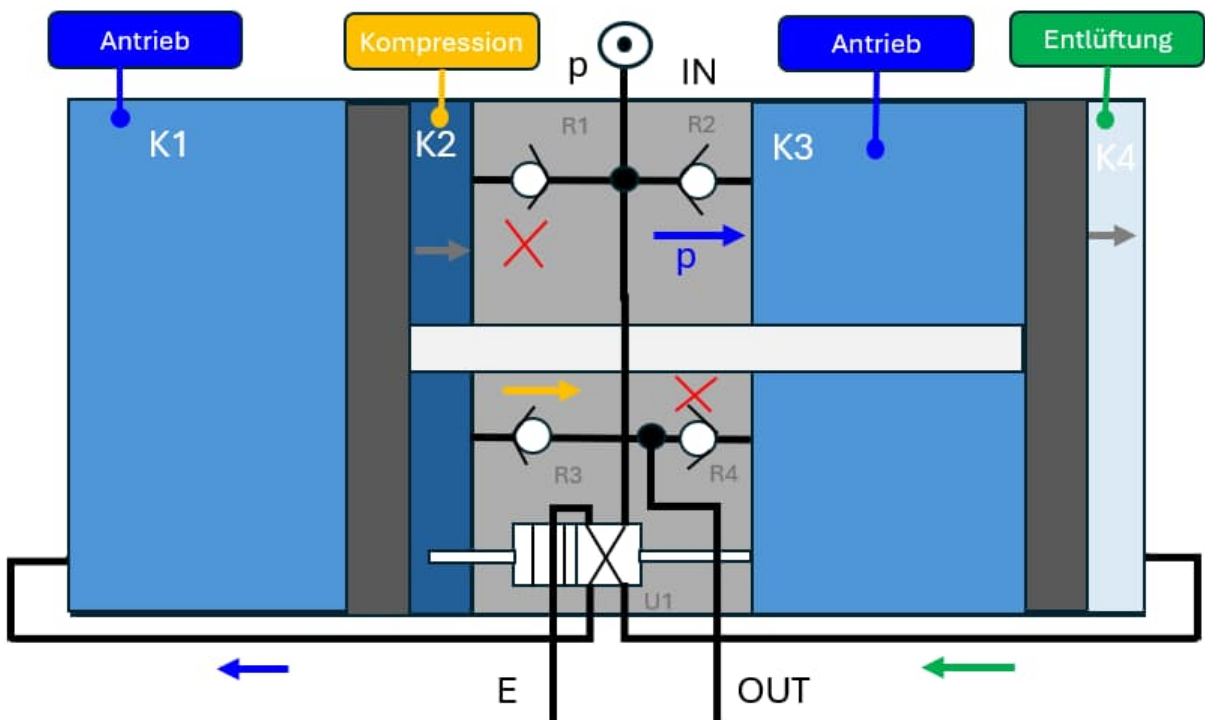


Abb. 3: Schema einer Boosterpumpe – Verhältnisse bei der Rückbewegung

Des Weiteren erkennt man vier Rückschlagventile R1 bis R4 und ein Umschaltventil U1, das beim Anschlag der Kolbenplatten umgeschaltet wird.

Im Ausgangszustand sind die Kolben, wie in Abb. 2 gezeigt, auf der rechten Seite. Das Umschaltventil steht so, dass Luft mit Arbeitsdruck p in die Kammer K4 einströmt

und die Kammer K1 entlüftet wird. Über das Rückschlagventil R1 strömt Luft mit Arbeitsdruck in die Kammer K2 und die Luft in der Kammer K3 wird bei der Bewegung nach links komprimiert. Das bedeutet, dass Druckluft gleichsinnig auf die Flächen der beiden Kolben wirkt und die Kompression nur auf einer Kolbenseite stattfindet.

Dadurch kommt es, wie vorher dargelegt, zu einer Druckverstärkung. Die Druckluft wird über das Rückschlagventil R4 an den Ausgang OUT abgegeben. Mit der beschriebenen Anordnung lässt sich der Druck prinzipbedingt verdoppeln.

Wenn der Kolben in der Mitte anstößt, betätigt er das Umschaltventil U1, so dass die Zylinderkammer K4 entlüftet und die Kammer K1 mit Druck beaufschlagt wird. Die Verhältnisse bei der Rückbewegung sind in Abb. 3 dargestellt.

Luft mit Arbeitsdruck p strömt einerseits über das Rückschlagventil R2 in Kammer K3 und andererseits über das Umschaltventil in Kammer K1 ein. Dadurch wird eine Bewegung nach rechts eingeleitet, bei der die Luft in Kammer K2 komprimiert wird.

Am Ende der Bewegung wird das Umschaltventil wieder in die andere Richtung verschoben, so dass sich die Verhältnisse umkehren und der Zyklus von neuem beginnt.

Erreicht der Druck am Ausgang OUT den doppelten Arbeitsdruck, stoppt die Bewegung automatisch. Der Betrieb endet damit selbsttätig beim Erreichen dieses Druckniveaus, weshalb die Einheit als Booster-Regler bezeichnet wird.

Diese Anordnung ist deshalb so elegant, weil die Energie zum Antrieb aus der Druckluft entnommen wird. Es ist keine zusätzliche elektrische Pumpe notwendig.

fischertechnik-Modell

fischertechnik bietet alle Zutaten für so eine Pumpe: doppelwirkende Zylinder ([36938](#)), Rückschlagventile ([36970](#)) und Schaltventile ([36082](#) und [36083](#), die allerdings leider nur noch gebraucht erhältlich sind). Die Frage ist nun: Wie können wir damit eine solche Boosterpumpe bauen?

Die Kompressions-Stufe kann aus zwei mechanisch gekoppelten Pneumatik-Zylindern aufgebaut werden. Auch Rückschlagventile ([36970](#)) können entsprechend des obigen Schaubilds installiert werden.

Eine manuelle Umschaltung lässt sich mit einem fischertechnik-Pneumatik-Handventil ([36934](#)) realisieren. Mit Manometern am Ein- und Ausgang können wir uns leicht davon überzeugen, dass unser Prinzip funktioniert. Leider ist das Umschaltventil zu schwergängig, so dass eine direkte Umschaltung durch eine Kolbenstange nicht gelingen will.

Daher brauchen wir einen anderen Umschaltmechanismus. Es ist naheliegend, klassische fischertechnik Festo-Pneumatikventile zur Steuerung zu verwenden. Stößt der Kolben an einer Seite an, wird ein Ventil umgeschaltet und die Bewegung in die jeweils andere Richtung eingeleitet.

Der Haken an der Sache ist, dass das Ventil dann nur kurz aufmacht, wenn es betätigt wird, und nicht über die gesamte Bewegungsstrecke. Was wir also benötigen, ist ein Ventil, das durch einen Druckimpuls dauerhaft umgeschaltet werden kann: ein sogenanntes Impulsventil. Kommerzielle Impulsventile sind z. B. als 5/2-Wegeventil verfügbar [7]. Das pneumatische Schaltzeichen ist in Abb. 4 gezeigt.

Das Ventil schaltet Port 4 zwischen 1 und 5 und Port 2 zwischen 1 und 3 um. Wählen wir 1 für den Druckanschluss, 3 und 5 für die Entlüftung sowie 2 und 4 für die Arbeitsanschlüsse eines doppelwirkenden Zylinders, kann man das Ventil über kurze

Druckimpulse an I1 und I2 umschalten. Das Ventil speichert die Stellung und ist daher das pneumatische Pendant eines elektrischen RS-Flip-Flops. In kommerziellen Anlagen werden die Entlüftungsöffnungen oft mit Schalldämpfern versehen. Ein Erklärvideo zu diesem Ventil ist in [8] zu finden.

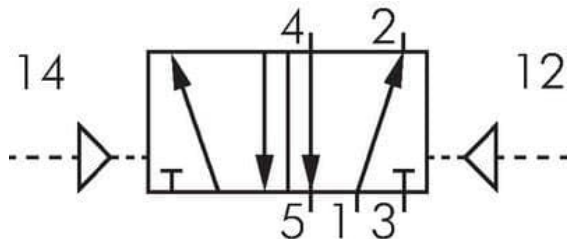


Abb. 4: Pneumatisches Schaltzeichen eines 5/2-Wege-Impuls-Ventils. Das Ventil wird über Druckluft-Stöße umgeschaltet und behält danach seine Stellung bei.

Impulsgesteuertes pneumatisches Umschaltventil

Ein Aufbau für ein Impuls-Ventil ist in der Anleitung zum Baukasten „Pneumatik+“ [3] beschrieben. Da ich mit dieser Anordnung nicht zufrieden war, habe ich eine alternative Variante ausgedacht, die sich etwas leichter schalten lässt. Das fertige Ventil ist in Abb. 5 zu sehen.

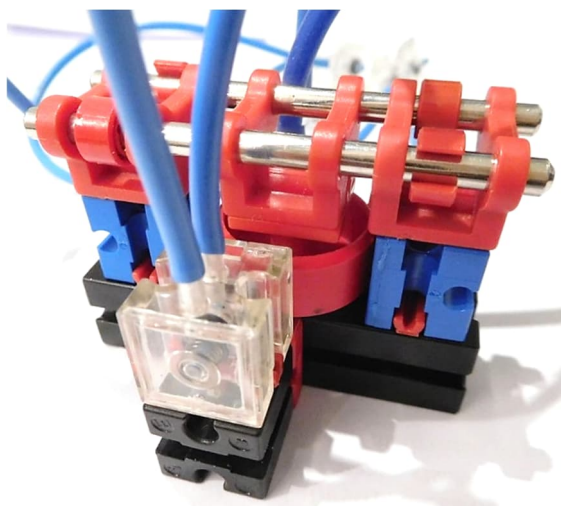


Abb. 5: Druckluftgesteuertes Impuls-Umschaltventil mit fischertechnik

Um das Arbeitsprinzip zu verdeutlichen, dienen die pneumatischen Schaltbilder in den zwei Schalt-Stellungen Abb. 6 und 7.

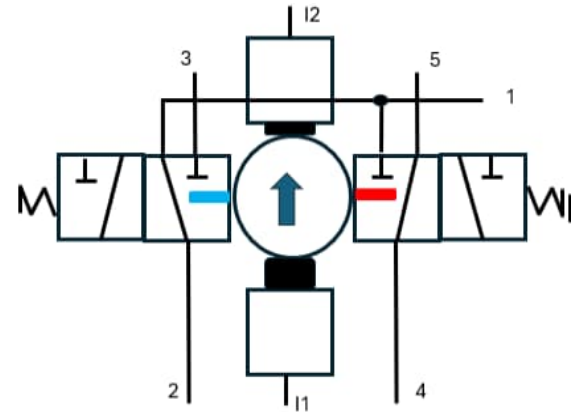


Abb. 6: Pneumatisches Schaltbild eines aus fischertechnik aufgebauten Impuls-Ventils. Die Ausgänge 3 und 5 sind Entlüftungsausgänge, die nicht extra herausgeführt sind. Stellung: 2 mit 1 verbunden und 4 mit 5

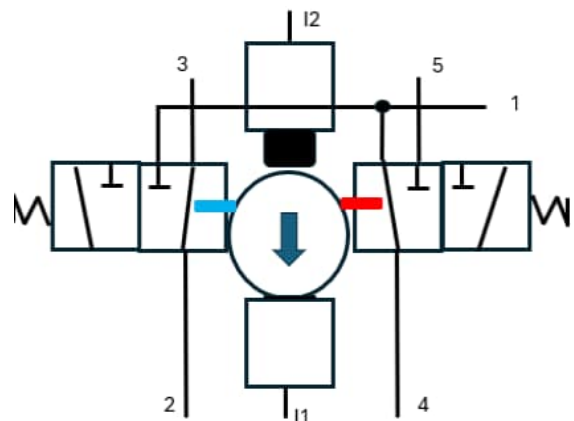


Abb. 7: Pneumatisches Schaltbild für Impuls-Ventil. Stellung: 2 mit 3 verbunden und 4 mit 1

Es kommen zwei Betätiger zum Einsatz, die einen von Stahlachsen geführten Schlitten mit einem Rad hin- und herschieben. Das Rad drückt dann die Zapfen von zwei klassischen, beidseitig angebrachten fischertechnik Festo-Pneumatikventilen. Eines der Ventile ist ein Öffner mit blauem Zapfen (36082), das andere ein Schließer mit rotem Zapfen (36083). Wenn es vorsichtig justiert ist, arbeitet es als zuverlässiges pneumatisch gesteuertes Impuls-Umschaltventil.

In jedem der beiden Zustände ist jeweils ein Ventil dicht, während das andere offen ist. Die Ausgänge der Ventile sind mit den

äußeren Anschlüssen der doppelwirkenden Pneumatik-Zylinder unserer Boosterpumpe verbunden. Durch einen kurzen Druckimpuls an jeweils einem der Betätiger (36075) kann das Ventil und damit die Bewegungsrichtung der gekoppelten Pneumatik-Zylinder umgeschaltet werden. Das Ventil behält seine Position durch Reibung der Schaltzapfen des Ventils an dem Rad. Es wird zwischen den Schaltzapfen eingeklemmt.

Bei der Justage ist zu beachten, dass die fischertechnik Festo-Pneumatikventile einen undichten Übergangszustand aufweisen, wenn der Zapfen nicht vollständig eingedrückt ist. In diesem Zustand kommt es zu Druckverlust, der möglichst vermieden werden bzw. nur kurzzeitig bestehen sollte.

Eine leicht abgewandelte, aber leichtgängigere Variante (Abb. 8) arbeitet mit 2 Öffner-Ventilen, die gegeneinander versetzt angebracht sind. Das Rad drückt immer nur

einen Zapfen, und kann sich deshalb drehen, was den mechanischen Widerstand senkt. Der Zapfen des jeweilig anderen Ventils wirkt in gewissem Maße als leichte Sperre, die das Rad in Position hält.

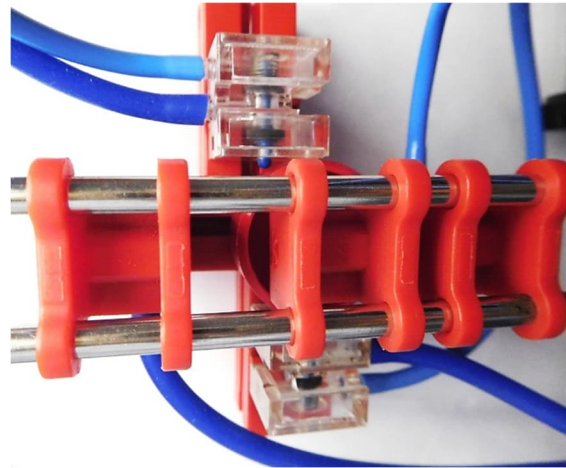


Abb. 8: Impuls-Ventil mit fischertechnik unter Verwendung von zwei Öffner-Ventilen

Für eine noch präzisere Umschaltung verwende ich eine Kombination aus einem weiteren Betätiger, einem weiteren fischer-

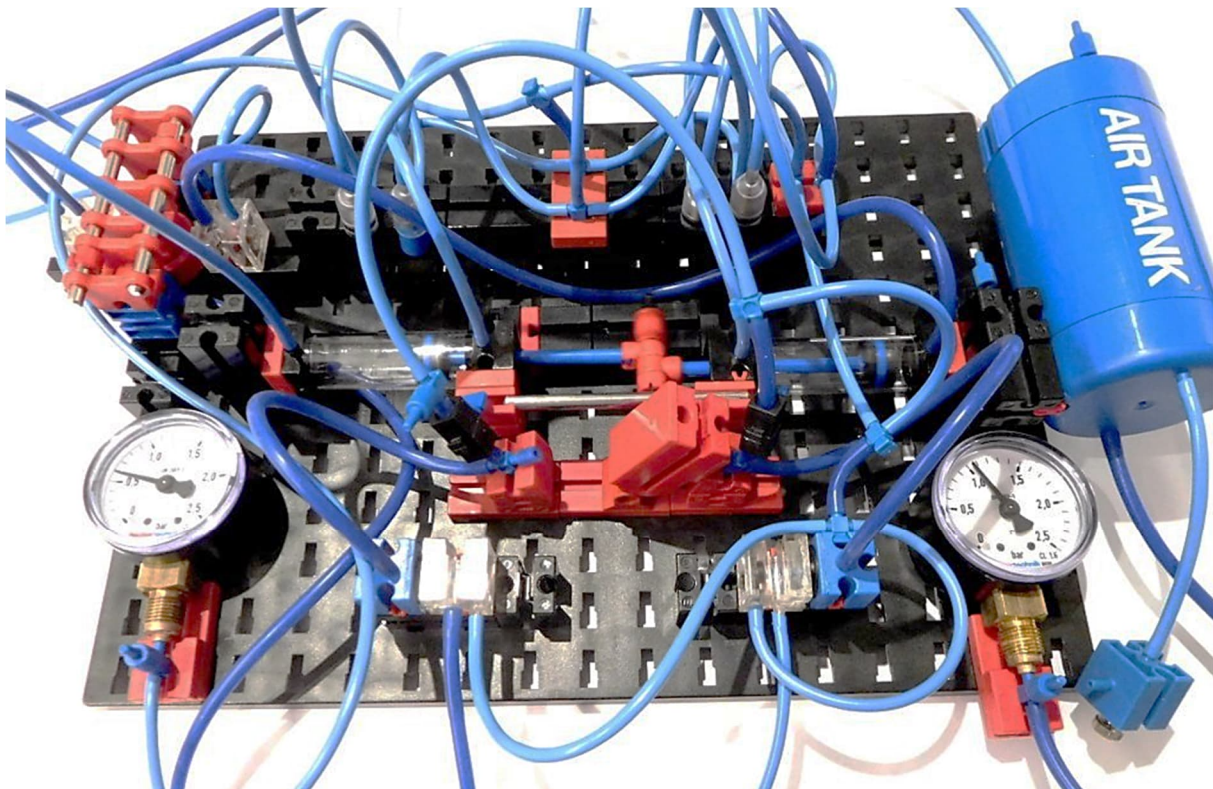


Abb. 9: Boosterpumpe zur Druckverdoppelung mit fischertechnik

technik-Öffner-Ventil und einer gedrosselten Abluftöffnung.

Luft gelangt über eine gedrosselte Leitung an den mittleren Anschluss eines T-Stücks. Ein weiterer Anschluss des T-Stücks ist mit einem kurzen Stück Gummischlauch versehen und bildet den Auslass eines Steuerventils. Die dritte Seite des T-Stücks geht an einen Betätiger für das Öffner-Ventil. Wird die Steueröffnung kurz verschlossen, indem z. B. eine Platte auf das Schlauchstück gepresst wird, baut sich Druck im Betätiger auf, der das Öffner-Ventil schaltet.

In Abb. 9 ist das gesamte Modell der Boosterpumpe zu sehen. Es ist auf einer Bauplatte 500 aufgebaut. Links oben im Bild erkennt man das pneumatische Impuls-Umschalt-Ventil, oben den Riegel des Schlauch- und Ventilmanagements (Rückschlagventile) für die Kompression. In der Mitte sind die miteinander gekoppelten doppelwirkenden Pneumatik-Zylinder 60 ([36938](#)) zu sehen. An der Verbindung der beiden Kolbenstangen befindet sich eine Rastachse, die in die Nut eines kippbar gelagerten BS30 eingreift und diesen bei Bewegung der Kolben umkippt.

Der BS-30 ist beidseitig mit glatten Verblendplatten versehen, die auf die Steuerdüsen für die Umschaltung drücken. Unten sieht man auch die beiden Betätiger-Öffner-Ventilkombinationen, die das pneumatische Umschaltventil ansteuern.

Links unten ist das Manometer für den Eingangsdruck, rechts das für den Ausgangsdruck.

Auf der rechten Seite sieht man den Puffer-tank für den erhöhten Ausgangsdruck samt Ablass-Drosselventil.

Nach dem Einschalten bewegen sich die Kolben so lange hin und her, bis in etwa der doppelte Druck erreicht ist. Die Bewegung wird erst langsamer, kommt schlussendlich zum Erliegen und setzt wieder ein, wenn Druck abgelassen wird.

Es sei angemerkt, dass für dieses Modell ein ausreichend hoher Luftstrom erforderlich ist. Ich habe für mein Modell einen Mini-Kompressor [6] eingesetzt (siehe Abb. 10).

Dieser Kompressor kann einen Druck bis ca. 0,7 bar mit einem relativ großen Luftstrom (bis zu 15 L/min) erzeugen und hat sich für meine Pneumatik-Versuche sehr bewährt. Der Kompressor läuft ab 5 V und arbeitet dabei sehr leise. Mit ein oder zwei fischertechnik-Kompressoren konnte ich das Modell nicht zum Laufen bringen.



Abb. 10: Mini-Kompressor

Durch die versetzte Anordnung der Pneumatik-Zylinder bewegen sich die Kolbenstangen nicht entlang derselben Achse. Das in Abb. 11 gezeigte Modell vermeidet diesen Schwachpunkt und die Umschaltung erfolgt durch direkte Betätigung der fischertechnik Festo-Pneumatikventile.

Als Impuls-Umschalt-Ventil nutzt das Modell die oben beschriebene Variante mit versetzt angeordneten Öffner-Ventilen. Die Rückschlag-Ventile sind gegen Herausdrücken gesichert. Wichtig bei diesem Modell ist eine Drosselung des Luftstroms zu den beiden Auslöse-Schaltventilen ([36082](#)) durch eine Abluft-Drossel ([180925](#) + [180926](#)), die hier als Zuluft-Drossel verwendet wird, um den Druckverlust bei einer unvollständigen Betätigung zu begrenzen.

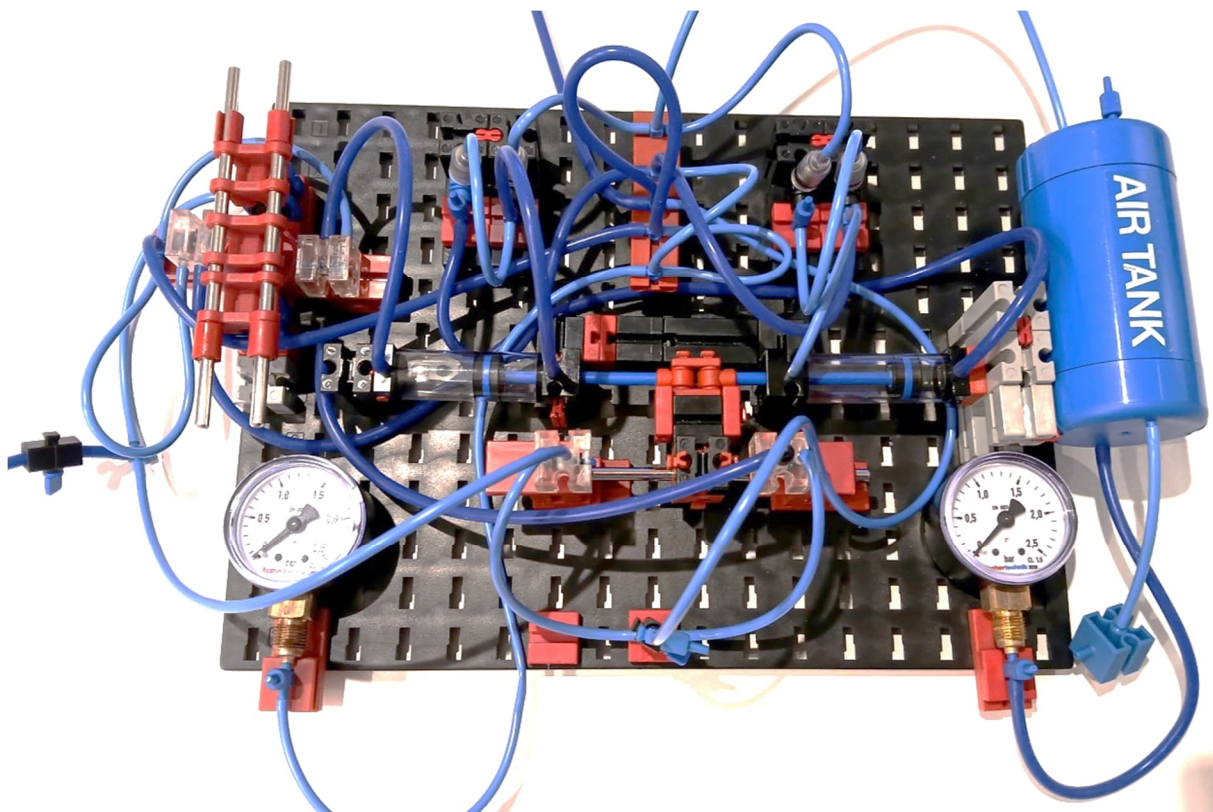


Abb. 11: Boosterpumpe-Variante

Pneumatisches Impuls-Umschaltventil aus Schläuchen

Leider sind die fischertechnik Festo-Pneumatikventile nicht mehr offiziell im fischertechnik-Sortiment, sondern nur noch über den Second-Hand-Markt erhältlich. Daher wird im Folgenden ein Ventil vorgestellt, das mit Komponenten aus den aktuell verfügbaren Bauteilen aufgebaut werden kann.

Ein bistabiles Umschaltventil kann auch als Schlauch-Knick-Ventil realisiert werden.

In diesem Ventil (Abb. 12) werden Pneumatik-Schläuche aus Silikon als Schaltelemente verwendet. Man macht hierbei von der Eigenschaft Gebrauch, dass man den Luftstrom durch Knicken eines Silikon-schlauchs sehr leicht unterbrechen kann. Wir können dazu das in [4] beschriebene Ventil nutzen, indem wir es anstatt mit einem Servo mit einem kurzen doppeltwirkenden Pneumatik-Zylinder ansteuern. Die beiden Einlässe des Zylinders sind die

Steueranschlüsse des Ventils. Je nachdem, an welchem Eingang der Druck angelegt wird, bewegt sich der Ventilschlitten in die jeweilige Richtung und gibt so Druckluft am entsprechenden Ausgang ab. Das Ventil muss leicht verspannt werden, damit die Endpositionen durch Reibung gehalten werden.

Das Prinzip ist in Abb. 12 dargestellt. Ein an Eingang I1 ankommender Druckluft-Impuls verschiebt den Kolben im Steuerzylinder, der den Ventilschlitten S nach links bewegt. Dadurch werden die Schlauch-Schleifen links abgeklemmt und die rechten Schleifen durchgängig. Druckluft gelangt über Ausgang 4 in die rechte Zylinderkammer des Arbeitszylinders. Die linke Kammer des Arbeitszylinders wird über Ausgang 5 entlüftet. Reibung hält den Schlitten in dieser Position, bis er durch einen Druckluft-Impuls an I2 zurückgeschoben wird und sich die Verhältnisse umkehren.

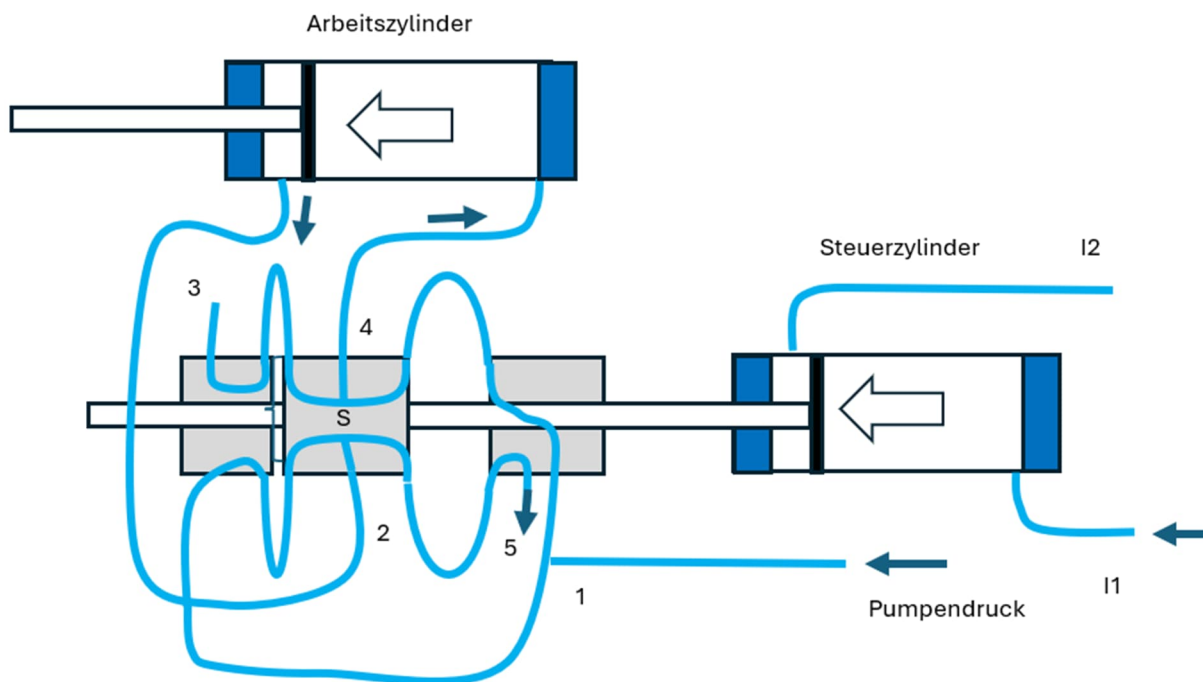


Abb. 12: Prinzip-Skizze des Schlauch-Knick-Ventils; 1: Drucklufteingang; 3, 5: Entlüftung; 2, 4: Arbeitsausgänge; 11, 12: Impulseingänge

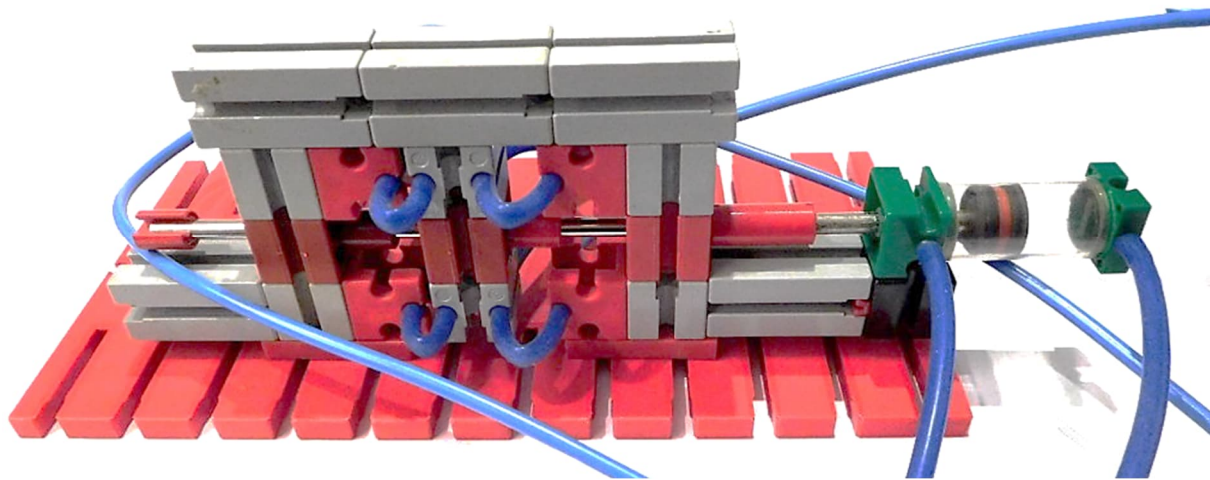


Abb. 13: Impuls-Umschaltventil mit Schlauchventilen

Der Schaltweg des Ventils beträgt nur etwa 5 mm, d. h. es wird nur ein kurzer Hub des Steuerzylinders verwendet, was nicht viel mehr Luft benötigt als ein Betätiger.

Es sei angemerkt, dass Stefan Falk in seinem Artikel zu Druckluftsteuerungen [5] ebenfalls ein gut funktionierendes Druckluft-Impulsventil vorgestellt hat, welches man bei der Boosterpumpe einsetzen könnte.

Zusammenfassung und Fazit

In diesem Beitrag wurde das Prinzip der Boosterpumpe vorgestellt – einer Vorrichtung, mit der sich der Druck in einer Pneumatik-Anlage gezielt und lokal erhöhen lässt. Der Antrieb der Boosterpumpe erfolgt dabei ausschließlich durch die vorhandene Versorgungsdruckluft.

Der Aufbau der Pumpe wurde analysiert, in funktionelle Baugruppen gegliedert und ihre Umsetzung mit fischertechnik-Pneumatik-Komponenten aufgezeigt. Ein zentrales Element ist dabei ein pneumatisches Impuls-Umschaltventil, das durch kurze Druckimpulse betätigt werden kann. Dieses Ventil stellt eine universell einsetzbare Komponente dar und lässt sich auch in anderen pneumatischen Anwendungen sinnvoll verwenden.

Selbstverständlich ist das vorgestellte Pumpenmodell nur für geringe Drücke ausgelegt und kann als Konstruktions-spielzeug nicht mit industriellen Aggregaten konkurrieren. Dennoch zeigt es eindrucksvoll, welches technische Potenzial in der fischertechnik-Pneumatik steckt und wie komplexe pneumatische Funktionen damit realisiert werden können.

Abschließend stellt sich die Frage, ob es künftig standardisierte pneumatische „Silberlinge“ geben könnte – etwa in Form eines Impuls-Umschaltventils oder eines Verzögerungsventils. Vielleicht kann dieser Beitrag dazu anregen, über solche Bausteine nachzudenken und eigene Lösungen zu entwickeln.

Quellen

- [1] Ludwig Meister: *EnergySaving in der Druckluft-Anlage: Pneumatische Druckverstärker*. [Auf YouTube](#), 2024.
- [2] Ms. Pneumatic: *Booster regulator: Working principle | Animation*. [Auf YouTube](#), 2024.
- [3] fischertechnik: *Speicherspeicher*. In: *Pneumatik+*, Anleitung zum gleichnamigen Baukasten, 1987. [Auf docs.fischertechnikclub.nl](#), S. 39-45.
- [4] Florian Bauer: *Servopneumatik mit fischertechnik*. [ft:pedia 4/2025](#), S. 100, Abb. 14.
- [5] Stefan Falk: *Druckluftsteuerungen (Teil 2)*. [ft:pedia 2/2014](#), S. 20–29.
- [6] Susanne-flek: *12V Vakuumpumpe Luftpumpe Kompressor elektrische Vakuum Luft Pumpe klein mini*. [Auf ebay](#).
- [7] Festo: *5/2-Wege-Impulsventil, beidseitig druckluftbetätigt*. [Auf festo.com](#).
- [8] Schnell&Einfach: *Pneumatik Schaltplan Nr.4 mit 5/2 Wege-Impulsventil - schnell & einfach erklärt*. [Auf YouTube](#), 2020.

schiede gibt, die den Betrieb des SN7400 in dieser Schaltung verhindern. Ich hätte auch den im Taktgeber 2 verwendeten SN74132N (Abb. 3) verwenden können – mehr dazu in einem zukünftigen ft:pedia-Beitrag.

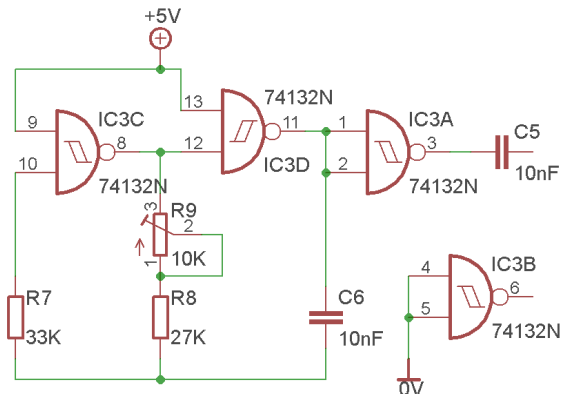


Abb. 3: Immer noch dieselbe Schaltung, aber jetzt mit dem SN74132, wie er im Taktgeber 2 verwendet wird

Der Anfang

Wie gesagt begann ich mit dem Inhalt des Baukastens *Elektronik* (30253). Nachdem ich alle Silberlinge nachgebaut hatte, musste ich natürlich auch die IC-Module

nachbauen, sonst hätte ich diesen Beitrag nicht schreiben können. Textlich ja, praktisch nein.

Es war jedoch einiges an Arbeit nötig, um alles zum Laufen zu bringen. Zuerst musste ich neue Layouts zeichnen, die ich von JLCPCB erstellen ließ. Nach der Lieferung der Platinen musste ich die Lötstifte anbringen. Da die Enden der Lötstifte, die durch die Platinen gepresst werden mussten, quadratisch und die Löcher selbst nur 1,3 mm groß sind, musste ich die Stifte einhämmern. Der Vorteil ist, dass sich die Stifte, auch weil die Platinen doppelseitig sind, nicht mehr entfernen lassen. Bei den Originalen musste ich die Stifte regelmäßig nachlöten.

Den Schaltplan findet man auf Seite 54 des *Elektronik-Handbuchs* [3]. Abb. 4 zeigt meinen Aufbau. Zunächst hatte ich bereits die Originalmodule verwendet, um die erforderlichen Kondensator- und Widerstandswerte zu ermitteln: 82 k Ω für die Widerstände und zwischen 390 und 680 nF für die Kondensatoren.

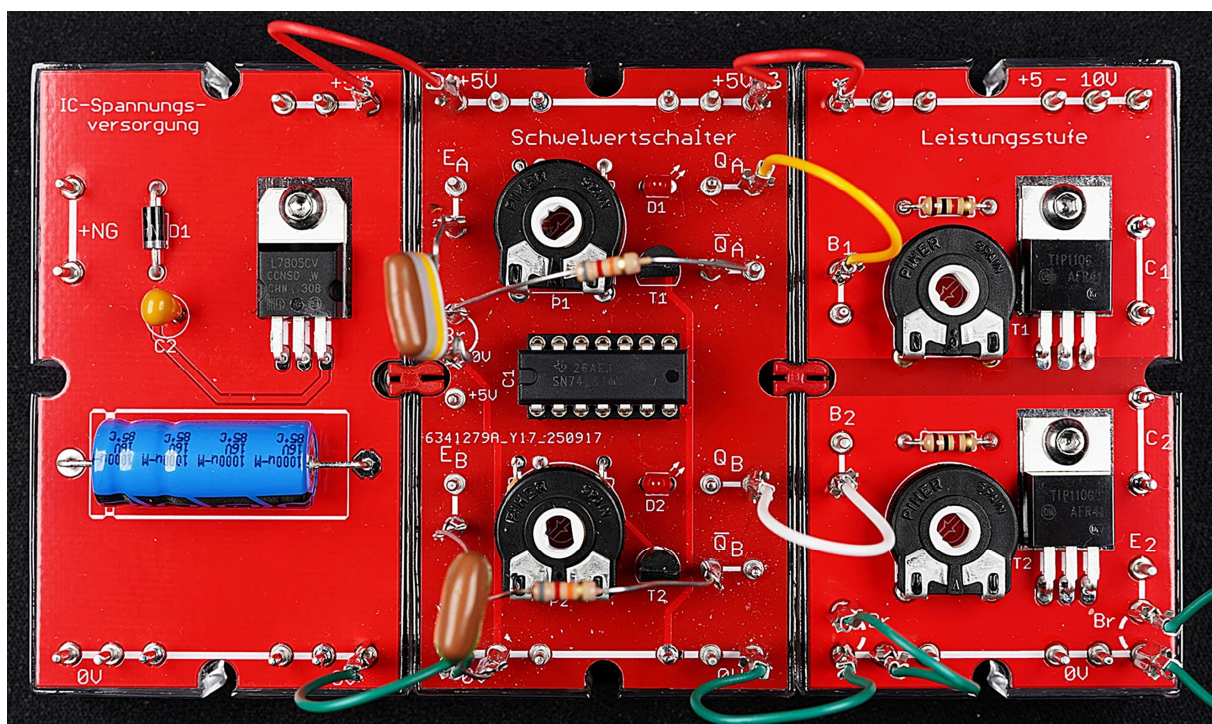


Abb. 4: Grundsaltung zur Tonerzeugung

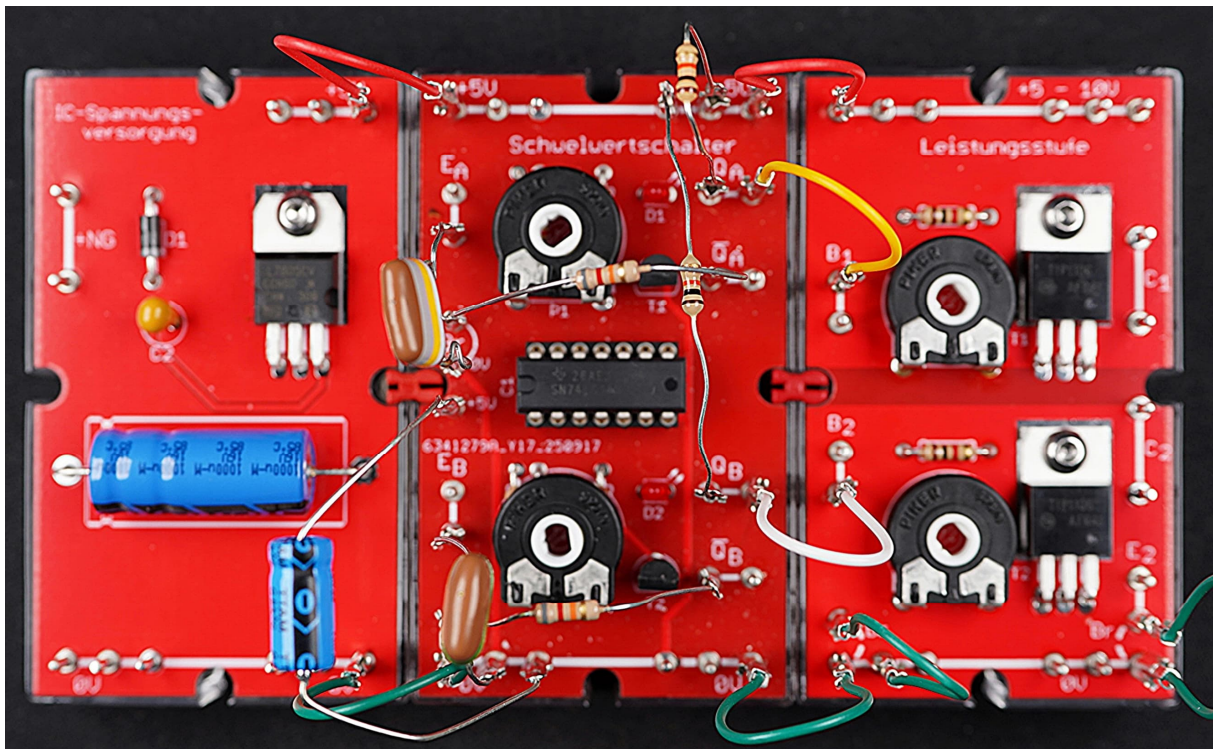


Abb. 5: Jetzt mit dem zusätzlichen Kondensator und Widerständen

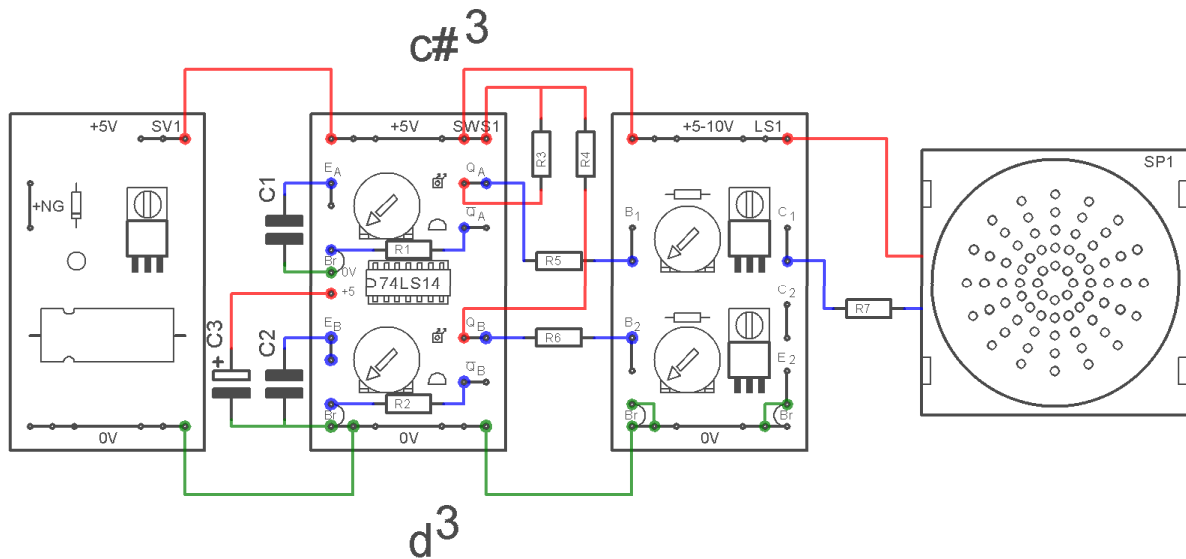


Abb. 6: Der Schaltplan zu Abb. 5

Problem 1: Es stellt sich heraus, dass dies nicht ganz korrekt ist. Mit dem SN7414N, der im ursprünglichen Schwellwertschalter verwendet wurde, funktionierte es, leider jedoch nicht mit dem von mir verwendeten SN74LS14N. Der SN7414N ist nirgendwo mehr erhältlich, zumindest nicht zu vernünftigen Preisen. Die Funktion

der Schaltung war davon jedoch nicht beeinträchtigt. Lediglich die benötigten Kondensatorwerte erwiesen sich als niedriger als mit dem SN7414N.

Außerdem stellte sich heraus, dass die Ton-erzeugung instabil ist. Zuerst vermutete ich eine instabile Versorgungsspannung. Daher habe ich einen 100- μ F-Elektrolytkonden-

sator und einen 100-nF-Kondensator an den Versorgungsspannungsanschluss (Pin 14 des ICs) angeschlossen. Da dies nicht zum gewünschten Ergebnis führte, habe ich zusätzlich 10-k Ω -Widerstände an die Q-Ausgänge angeschlossen (Abb. 5 und 6).

Frequenzteilung

Der nächste Schritt bestand darin, die Frequenzteilung für die niedrigeren Frequenzen zu realisieren. Ich hätte Flipflop-ICs verwenden können. Davon gibt es verschiedene Typen. Das hätte die Anzahl der Module jedoch um mindestens 13 erhöht. Daher suchte ich nach Teiler-ICs.

Auch hiervon sind verschiedene Ausführungen erhältlich. Schließlich entschied ich mich für den SN74LS393. Dies ist ein „Dual-4-Bit-Binärzähler“ im 14-Pin-Gehäuse. Er passt also auf das IC-14-Modul. Da sich zwei Zähler auf einem Modul befinden, passt es auch perfekt zum Schwellenwertschalter, der ebenfalls zwei Schaltungen enthält.

Nachdem alle Module bestückt waren, konnten sie zu einer Einheit zusammengebaut werden: insgesamt 14 Module und ein Lautsprecher. Um nicht für jede Ände-

rung der Tonerzeugung separate Verbindungsleitungen für die Tasten herstellen zu müssen, habe ich eine Leiterplatte mit fünf Anschlüssen für das Elektronikgehäuse ([152059](#)) entwickelt. Dies ist alles in Abb. 7 und 8 dargestellt.

Anschließend musste alles so eingestellt werden, dass die Oszillatoren die korrekte Frequenz erzeugten. Dies erwies sich mit dem Piher-Trimмер als recht schwierig. Ich konnte mit diesen Trimmern die korrekte Frequenz nicht erreichen. Daher verwendete ich, wie bereits bei der Silberling-Version, einen 10-k Ω -25T-Trimмер. Dieser ermöglichte mir die Feinabstimmung (Abb. 11).

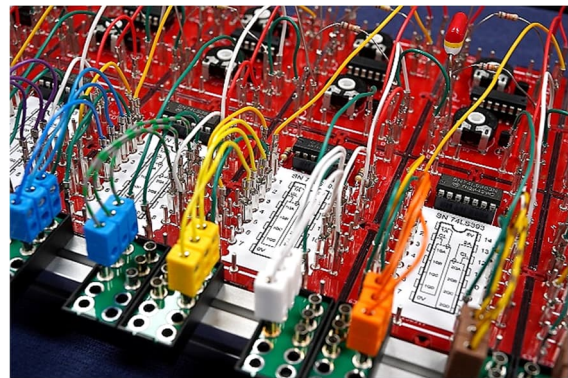


Abb. 8: Es werden viele Drähte benötigt. Ohne sie würde es nicht funktionieren.

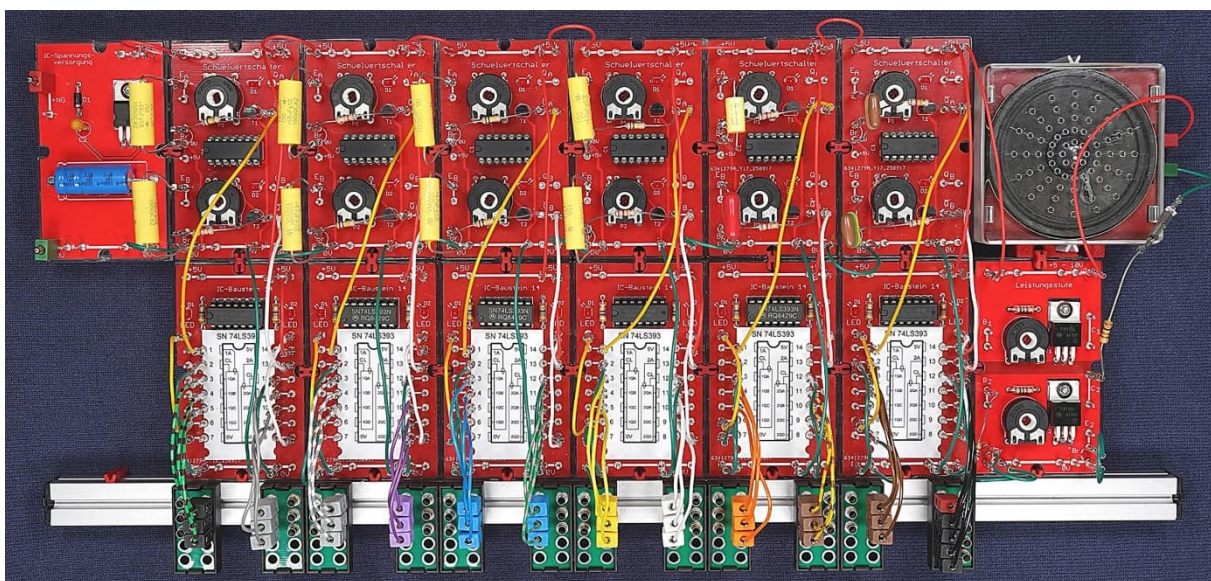


Abb. 7: Die erste Version

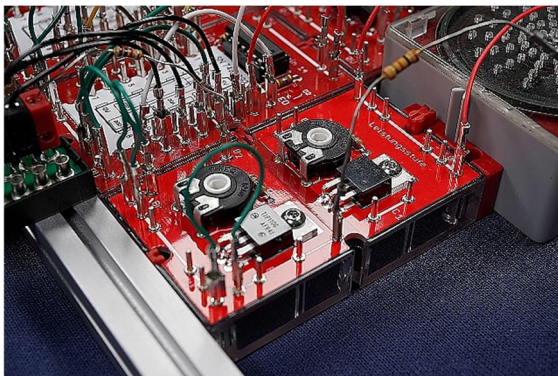


Abb. 9: Etwas überdimensioniert, aber mit einem 1-kΩ-Widerstand am Eingang und einem 100-Ω-Widerstand am Lautsprecher ist es mehr als ausreichend

Dennoch war ich mit der Stabilität der erzeugten Töne nicht ganz zufrieden. Die zu erzeugenden Frequenzen lagen eine Oktave höher als die höchste benötigte Frequenz. Diese wurden dann durch den 74LS393 viermal geteilt. Für das C benötigte ich alle vier Ausgänge.

Für die anderen Töne verwendete ich die Ausgänge 1, 2 und 3 (Abb. 10). Mir war bereits aufgefallen, dass die Stabilität nicht bei allen Frequenzen gleich schlecht war. Daher erhöhte ich die Frequenzen um eine weitere Oktave und verwendete die Ausgänge 2, 3 und 4. Es gab eine Verbesserung, die aber nicht ausreichte.

Der nächste Schritt zu stabileren Frequenzen war der Austausch der TTL-ICs gegen

Versionen der CMOS-4000-Serie. Der CD40106BE wird für den 74LS14 verwendet, und anstelle des 74LS393 fand ich den CD4520BE. Der CD40106BE ist Pin-kompatibel mit dem 74LS14. Der CD4520BE ist in einem 16-poligen Gehäuse untergebracht und daher nicht Pin-kompatibel. Dies bedeutete jedoch, dass ich auch die IC-16 Bausteine nachbauen musste.

+9 Volt statt +5 Volt?

Ja, warum nicht? Die TTL-ICs vertragen nur 5 V, die CMOS-ICs hingegen sogar bis zu 18 V. Ein weiterer Vorteil von 9 V ist, dass in Kombination mit den Silberlingen keine Spannungsunterschiede auftreten.

Mir fiel sofort auf, dass die Frequenzen deutlich niedriger waren. Ich musste sogar die Widerstände auf 220 kΩ erhöhen und die Kondensatoren etwas verkleinern. Später dachte ich, es wäre besser gewesen, den Trimmer und den Widerstand durch einen 250-kΩ-Trimmer zu ersetzen.

Die Frequenzstabilität schien mit den CMOS-ICs auch nicht viel besser zu sein, zumindest nicht bei einer Versorgungsspannung von 5 V. Eine Erhöhung der Spannung auf 9 V scheint eine Verbesserung zu bringen. Die Schwankungen sind weniger hörbar, aber auf dem Oszilloskop und dem Frequenzmesser weiterhin sichtbar.

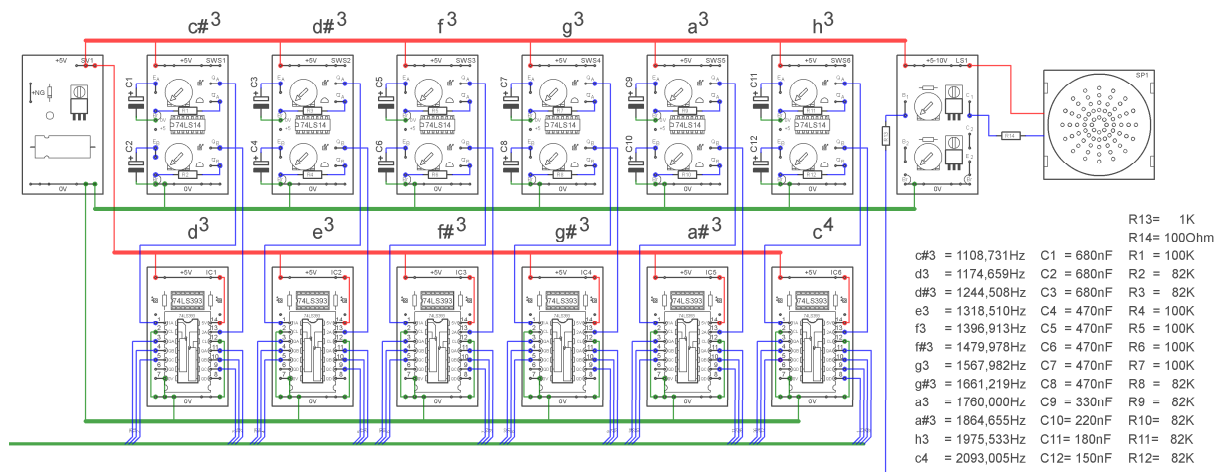


Abb. 10: Vollständiges Schaltbild der ersten Version mit den niedrigen Frequenzen

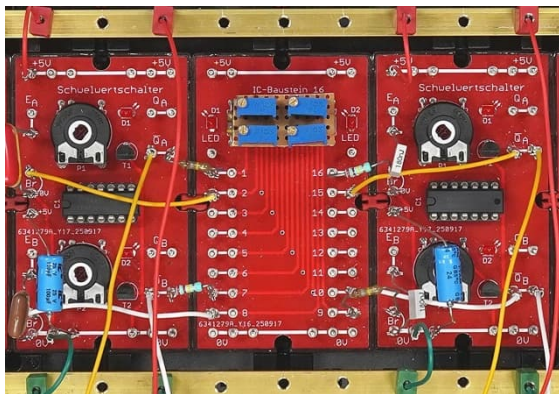


Abb. 11: Vier 10-kΩ-25T-Trimмер auf einer Lochrasterplatine, als IC auf dem Baustein IC-16 platziert

Auf einem Steckbrett lief der Schwellenwertschalter bereits mit 12 V. Dabei flossen jedoch 29 mA durch die LEDs. Leider hatte ich die Platinen bereits in ihre Gehäuse geklebt. Andernfalls hätte ich die Vorwiderstände der LEDs von 470 Ω auf 1,5 kΩ erhöht. Die vorhandenen LEDs sind nur für einen Strom von 10 mA bei 5 V geeignet.

Bei 9 V floss bereits zu viel Strom. Die erzeugten Frequenzen waren jedoch wesentlich stabiler.

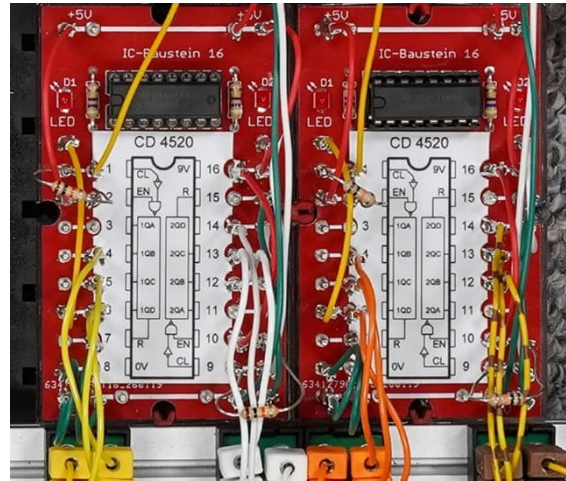


Abb. 13: Zwei der sechs Teilermodule

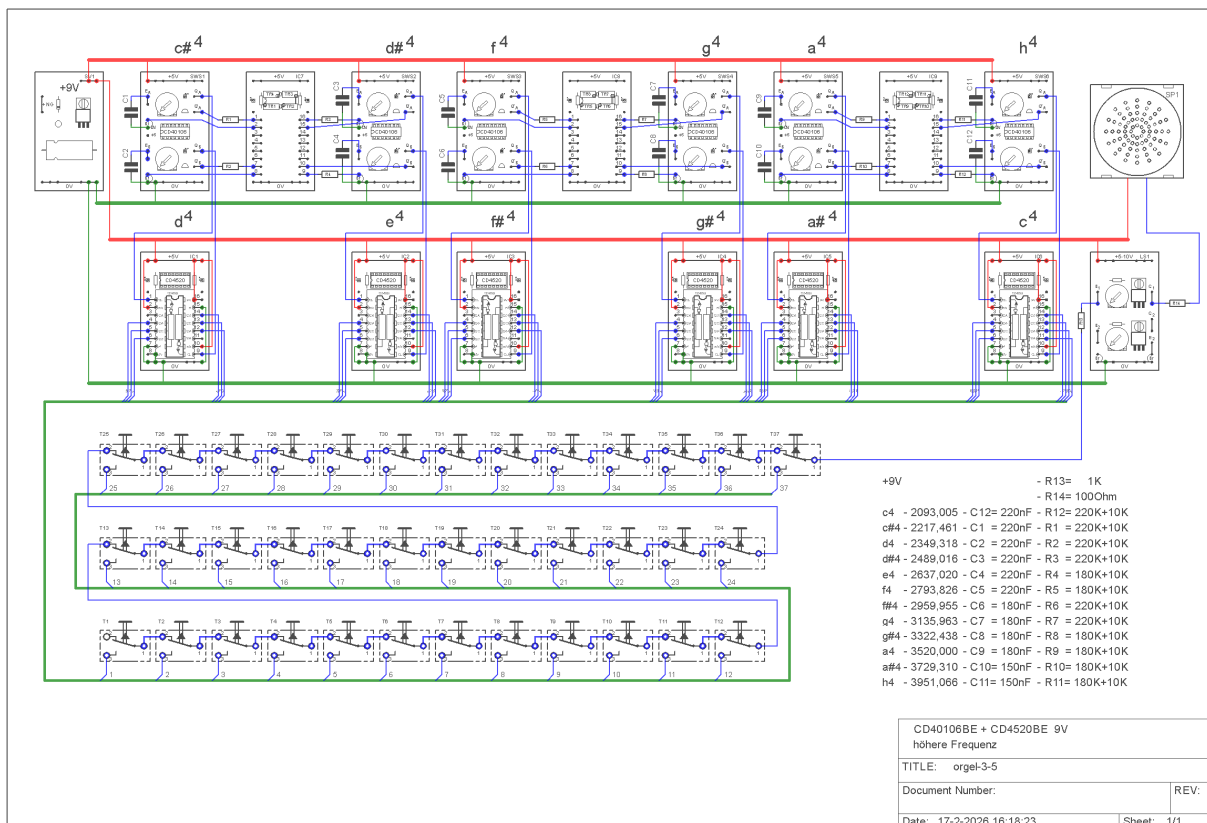


Abb. 12: Der vollständige Schaltplan. Zur besseren Übersicht habe ich die 10-kΩ-Widerstände und die 100-μF-Kondensatoren weggelassen. Siehe dazu Abbildung 6.

Und wie geht es weiter?

Das hängt ganz davon ab, ob ich alle benötigten ICs bekomme. Der SN7414N ist nicht mehr erhältlich. Glücklicherweise gibt es die LS-Version. Für die nächste Klangzeugung benötige ich hauptsächlich den SN7413. Der 74LS13 funktioniert jedoch nicht im Taktgeber. Zum Glück ist der SN7413 noch verfügbar. Allerdings zu unverschämten hohen Preisen. Ich möchte auch mit VCOs wie dem 74LS624N oder dem CD4060 experimentieren. Es gibt also noch viel zu tun.

Quellen

- [1] Peter Krijnen: *Es quietscht und pfeift: Wie man eine Orgel baut.* [ft:pedia 3/2025](#), S. 21–31.
- [2] fischertechnik: *Elektronik-Praktikum.* Anleitung zum gleichnamigen Baukasten, 1977. Auf [docs.fischertechnikclub.nl](#).
- [3] fischertechnik: *Elektronik.* Anleitung zum gleichnamigen Baukasten, 1981. Auf [docs.fischertechnikclub.nl](#).

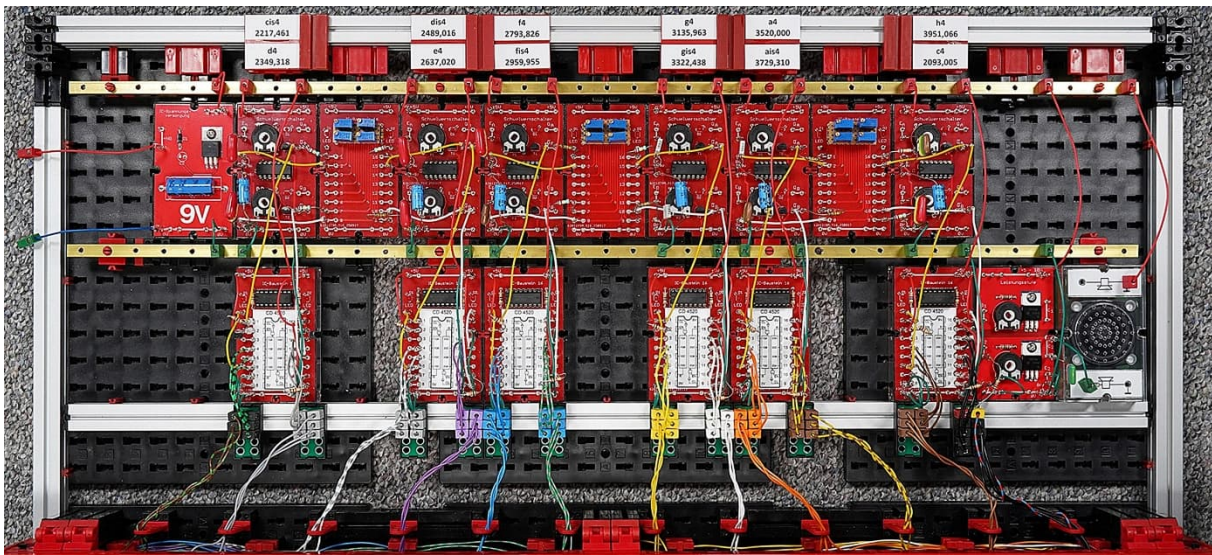


Abb. 14: Und so sieht es aus, inklusive der beiden Spannungsschienen, 17 Module und einem Lautsprecher

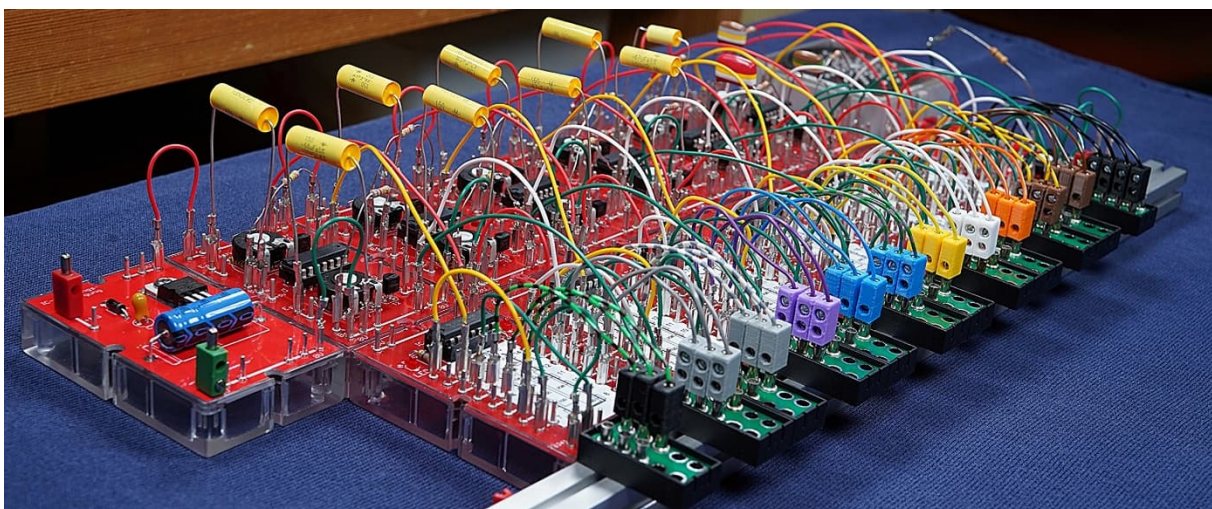


Abb. 15: Nochmals die erste Version, von links gesehen.

Elektronik

Linienfolger mit Silberlingen

Arnoud van Delden

Es gibt verschiedene Methoden, um ein Modellfahrzeug autonom über eine Parcourslinie fahren zu lassen. Wenn hierfür ein Mikrocontroller verwendet werden kann, sind weitreichende Algorithmen wie eine PID-Motorsteuerung in der Software möglich, um das Fahrzeug auf Kurs zu halten. Auf diese Weise lassen sich relativ einfach Spurfolger mit mehreren IR-Sensoren oder einer Kamera mit Bilderkennung herstellen. Es zeigt sich jedoch, dass auch mit herkömmlicher Elektronik und Komponenten aus dem (klassischen) fischertechnik-Programm ein schneller Robocar gebaut werden kann. Auch der ist intelligent genug, um die Linie wiederzufinden, wenn er sie verloren hat.

Vor einiger Zeit habe ich online für ein paar Euro einen Bausatz für ein einfaches Linienfolgefahrgeschafft gekauft. Das Licht von zwei LEDs beleuchtet zwei lichtempfindliche Widerstände (LDRs). Die Motorsteuerung ist (über zwei Differenzverstärker eines LM392-Operationsverstärker-ICs) so ausgelegt, dass die Sensoren, die sich jeweils auf einer Seite der Linie befinden, der Linie selbst „ausweichen“ wollen. Da immer nur ein Motor gleichzeitig läuft, bewegt sich das Wägelchen ziemlich nervös in einer Zickzackbewegung immer wieder über die Linie hin und her. Durch die einstellbaren Schwellenwerte der beiden LDRs lässt sich jedoch eine Art „bevorzugte Richtung“ programmieren, aber ob das Fahrzeug tatsächlich die richtige Ausfahrt aus dem Kreisverkehr nimmt, bleibt eine Frage des Zufalls. Die Wahrscheinlichkeit, dass es bis zum Entladen seiner Batterien im Kreisverkehr

herumfährt, ist in der Praxis leider viel größer.

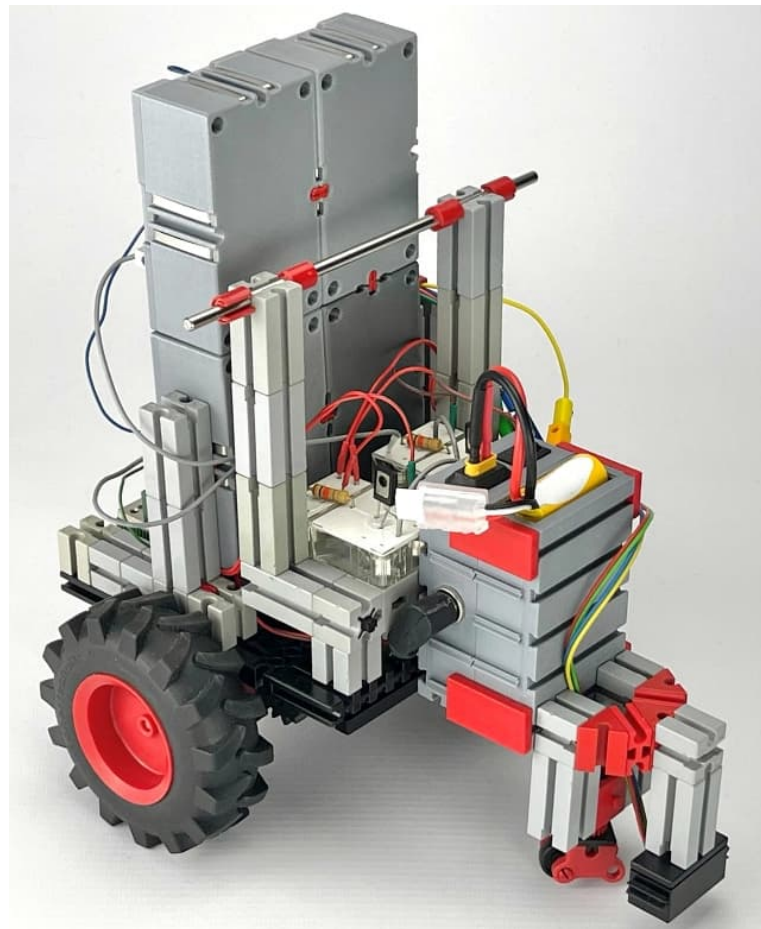


Abb. 1: Linienfolger mit Silberlingen und XM-Motoren

Mit einem TXT-Controller oder einem anderen Mikrocontroller lässt sich dies natürlich mit intelligenter Software lösen. In der letzten ft:pedia habe ich bereits meine Linienfolger-Wagen beschrieben, die mit mehreren IR-Sensoren und einer KI-Kamera ausgestattet sind [1]. Die meiste Zeit habe ich dabei mit der Feinabstimmung der Software verbracht. Aber trotz der Tatsache, dass diese beiden „Robocars“ eine Wettbewerbsstrecke des niederländischen fischertechnik-Clubs innerhalb von 20 Sekunden zurücklegten (mehr als sechsmal so schnell wie der letztendliche Sieger), waren die Reaktionen aus dem Club sehr verhalten. Es stellte sich heraus, dass ich mich mit 3D-gedruckten Teilen, einem „fischertechnik-fremden“ ESP-32 Controller mit (kaum sichtbarer) maßgeschneiderter Software für die PID-Regelung als einziger Außenseiter in die „Maker-Kategorie“ manövriert hatte. Um mich selbst neu zu motivieren und hoffentlich mehr Resonanz und Feedback von anderen zu erhalten, beschloss ich daher, einen Robocar mit einfacher analoger Elektronik zu bauen. Dieses Mal stellte ich zusätzlich die Anforderung, dass alles mit Teilen aus dem originalen fischertechnik-Programm gebaut werden musste.

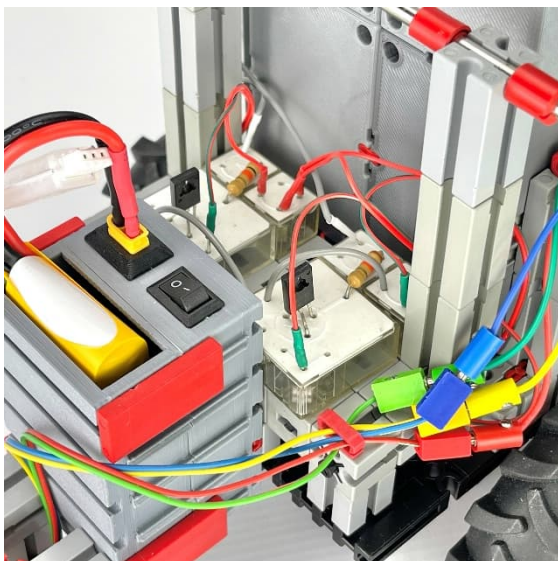


Abb. 2: BD135-Transistoren in Würfeln aus dem Elektronik-Praktikum

Ich habe den IR-Spursensor ([128598](#)) verwendet. Der Sensor wird mit 9 V betrieben und enthält zwei IR-Sensoren mit digitalen Ausgängen. Befindet sich ein Sensor über einer schwarzen Spur, wird an diesem Ausgang eine sehr niedrige Spannung (nahezu Null) ausgegeben. Bewegt sich der Sensor neben der Linie im weißen Bereich, entspricht der Ausgang nahezu der Versorgungsspannung. Für die Steuerung der XM-Motoren entschied ich mich nicht für Relais, sondern für einfache BD135-Transistoren, die 1977 offiziell die fischertechnik-Nummer [36929](#) erhielten, da sie Teil des Elektronik-Praktikums ([30629](#)) waren [4]. Die kleinen weißen Steckdosen für Transistoren ([38230](#)) und Drahtverbindungen ([38228](#)) aus dieser Box waren dafür ebenfalls sehr nützlich (Abb. 2).

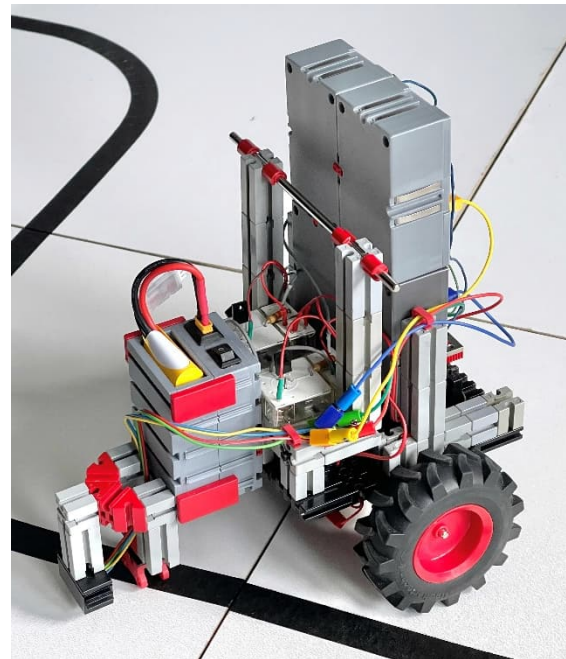


Abb. 3: Linienfolger mit 100 % analoger Elektronik

Es wurde schnell klar, dass es für die Regelung einfacher wäre, wenn neben den Sensorausgängen auch der invertierte Signalpegel verfügbar wäre. Dadurch fiel die Wahl schnell auf die traditionellen Elektronikmodule von fischertechnik, die Silberlinge. Da alle Silberlinge sowohl das normale als auch das komplementäre

Ausgangssignal bieten, spielt es keine Rolle, welche Silberlinge wir direkt hinter die IR-Sensorausgänge schalten. Funktional benötigen wir lediglich zwei Inverter, und sowohl der Grundbaustein als auch der AND/NAND- oder der OR/NOR-Baustein können hierfür verwendet werden. Ich habe mich für einen (Selbstbau-) AND/NAND- und einen OR/NOR-Silberling entschieden (die originalen fischertechnik-Silberlinge sind mittlerweile leider teure Sammlerstücke, aber sie können nachgebaut werden [2]). Eine andere Kombination ist jedoch ebenfalls möglich. Es geht nur darum, dass wir sowohl das normale als auch das invertierte Signal jedes Sensors zur Verfügung haben. Theoretisch könnten dafür sogar die Relais-Silberlinge verwendet werden, obwohl dies die Entscheidung für eine „moderne“ Motorsteuerung mit Transistoren eigentlich zunichtemacht. Ich habe mich daher für eine weniger laute, vollständig halbleiterbasierte Lösung entschieden.

Die Grundidee der Regelung besteht darin, dass immer mindestens ein Motor läuft. Das Zurückführen auf die Spur müsste also dadurch erreicht werden, dass jeweils der Motor auf der anderen Seite des Wagens (vorübergehend) abgeschaltet wird. Sobald der Wagen wieder auf der Spur ist, dürfen beide Motoren wieder laufen, bis eine neue Lenkkorrektur erforderlich ist. In der einfachsten Form könnten die Motoren direkt durch die Logiksignale beider Sensoren gesteuert werden. Dann müsste jedoch unbedingt jederzeit ein Sensor auf der Linie bleiben. Sobald beide Sensoren die Linie verlassen, würden nämlich beide Motoren anhalten und das Fahrzeug zum Stillstand kommen. Dies schränkt die Geschwindigkeit des Fahrzeugs erheblich ein.

Intelligenter wird es schon, wenn wir eine Art „Speicher“ schaffen können, indem wir jeden Sensor ein Flip-Flop ansteuern lassen. Die gewünschte Steuerung bleibt dann so lange gültig, bis das Fahrzeug von der Seite,

auf der es die Spur verlassen hat, wieder auf die Spur zurückgeführt wurde. Da die Motorstromsteuerung mit den Transistoren im Prinzip der positiven Logik folgt, können wir dafür die invertierten Ausgänge der Flip-Flops verwenden. Bevor diese Regelung jedoch wirklich „intelligent“ ist, müssen einige Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Beim Einschalten des Wagens auf der Strecke müssen grundsätzlich beide Motoren laufen. Da die Steuerung über Flip-Flops erfolgt, müssen diese eine feste, vorhersehbare Startbedingung (beide „aktiv“) haben. Dies ist nicht selbstverständlich: In welchem Zustand ein Flip-Flop startet, ist grundsätzlich nicht festgelegt. Und wenn beide Flip-Flops zunächst entgegengesetzt starten, fährt der Wagen sofort von der Strecke ab und kehrt nie wieder zurück.
2. Es muss immer mindestens ein Motor laufen, selbst wenn (z. B. aufgrund der Geschwindigkeit des Fahrzeugs und des Nachlaufens der Lenkbewegung bei einer rechtwinkligen oder zu scharfen Kurve) das Fahrzeug auch den benachbarten Sensor von der Linie abkommen lässt. In diesem Fall muss nur die erste Sensorerkennung gültig bleiben, bis dieser Sensor, der als erster die Linie verlassen hat, wieder auf die Linie zurückgeführt ist.

Wenn wir das Fahrzeug einschalten, sobald es sich in der Mitte der Linie befindet, können wir davon ausgehen, dass beide Sensoren eine niedrige Ausgangsspannung haben. Für die Silberlinge mit ihrer negativen Logik ist das „aktiv“. Die erste Bedingung kann also einfach erfüllt werden, indem das invertierte Sensorsignal am S_A -Eingang des entsprechenden Flip-Flops verwendet wird. Wenn wir das nicht invertierte Signal des Sensors (in meinem Fall den Z_{NAND} - oder Z_{NOR} -Ausgang) am CP-Eingang des Flip-Flops verwenden, wird dieses das Flip-Flop jedes Mal zurücksetzen, sobald der Sensor die Linie verlässt.

Der Motor schaltet sich aus und nur der Motor auf der Seite, auf der die Linie verlassen wurde, läuft weiter, sodass das Modellfahrzeug wieder auf die Linie zurückkehrt.

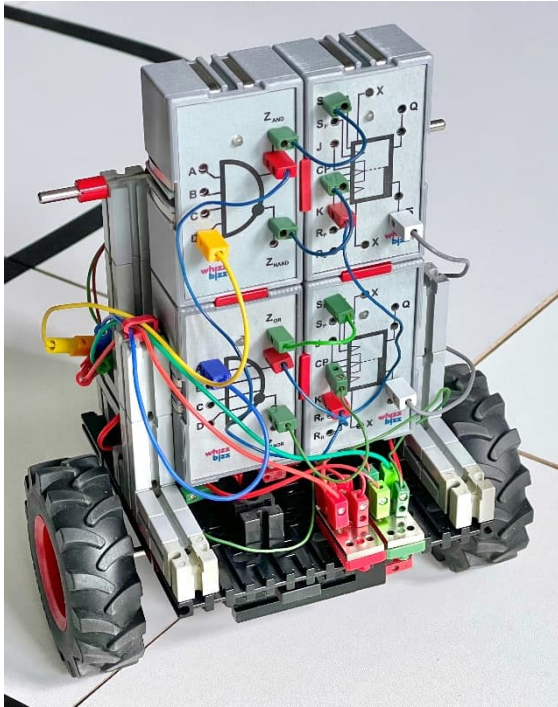


Abb. 4: Die vier Silberlinge, die ich verwendet habe, um einen Robocar mit „Lenkgedächtnis“ zu bauen

Damit sind wir schon ein gutes Stück weiter, müssen aber noch Bedingung 2 erfüllen, da das Fahrzeug sonst komplett zum Stillstand kommt, wenn auch der andere Sensor die Linie verlässt, bevor das Fahrzeug wieder auf die Linie zurückgeführt werden kann.

Wir suchen also nach einer Methode, um das Flip-Flop „einzufrieren“, das den (einigen) zu diesem Zeitpunkt noch laufenden Motor steuert. Mit anderen Worten: Nur der erste Sensor, der die Leitung verlässt, bestimmt, welcher Motor ausgeschaltet wird, bis dieser Sensor wieder auf die Linie zurückkehrt. Bis zu diesem Zeitpunkt müssen die Messwerte des anderen Sensors einfach ignoriert werden. Schließlich muss immer ein Motor laufen bleiben.

Dies ist mit den J- und K-Eingängen des Flip-Flops möglich, die, wenn sie nicht angeschlossen sind, als „1“ oder „aktiv“ betrachtet werden. In der Beschreibung des fischertechnik-Flip-Flop-Moduls [5] lesen wir, dass wir, wenn wir nur Eingang K anschließen (J = „1“), mit der Situation konfrontiert sind, dass bei K = „0“ der Ausgang Q des betreffenden Flip-Flops immer „1“ ist. Das ist genau das, was wir wollen, denn dann läuft der betreffende Motor einfach weiter!

Wir können also Bedingung 2 erfüllen, indem wir jeden Sensor-Inverter-Ausgang an den K-Eingang des anderen Flip-Flops anschließen. Dadurch sorgt der erste Sensor, der die Linie berührt, dafür, dass die Informationen des anderen Sensors vorübergehend ignoriert werden, bis er selbst wieder auf die Linie zurückgekehrt ist. Der andere Motor läuft weiter. So ist gewährleistet, dass immer mindestens ein Motor läuft, und die „Speicherfunktion“ des Wagens ist realisiert.

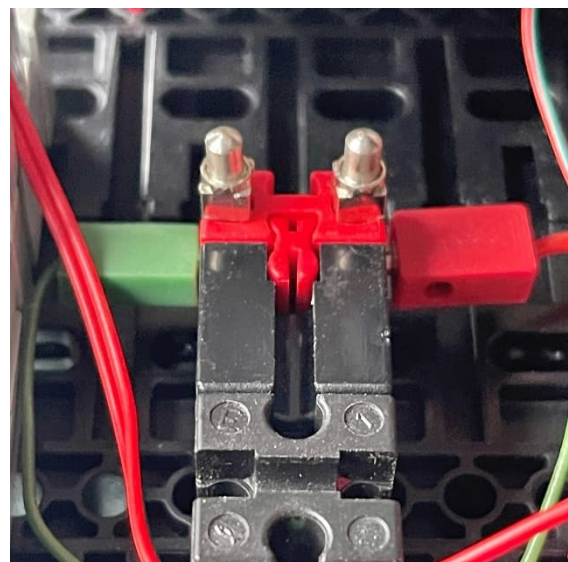


Abb. 5: Platzsparender Anschluss der Versorgungsspannung

Wer als (einen der) Sensor-Signalinverter den Grundbaustein (36391) verwendet, kann die Versorgungsspannung einfach an Pins 9 (+) und 3 (-) dieses Silberlings anschließen.

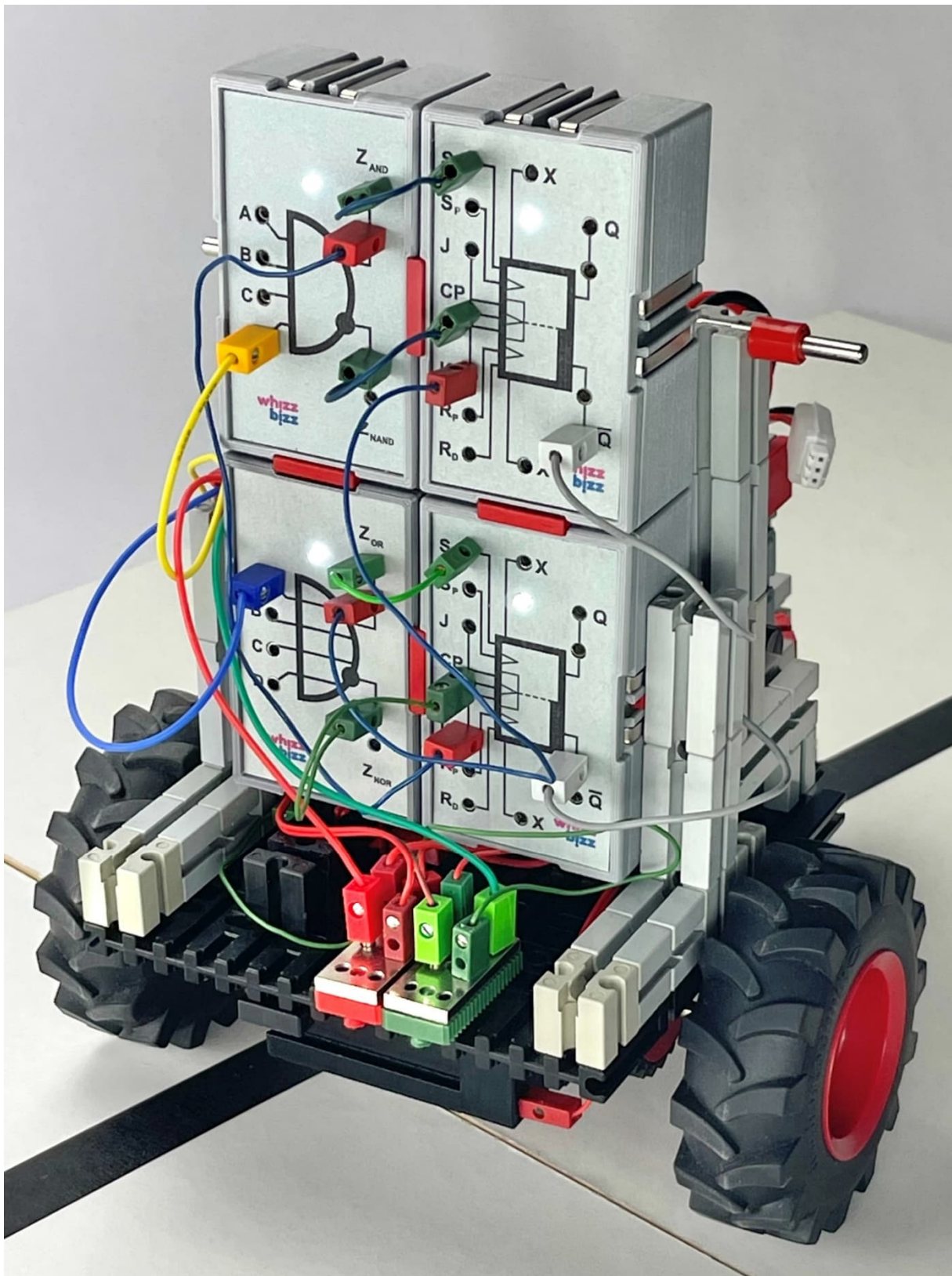


Abb. 6: Analoger Linienfolger mit zwei XM-Motoren

Wer – wie ich – dafür keinen zusätzlichen Gleichrichter-Silberling (36393) anschließen möchte, kann zum Anschließen der Versorgungsspannung einen Baustein 7,5 (37468) mit zwei Federkontakten aus einem 8-Stufen-Drehschalter (31312) verwenden.

Auf diese Weise konstruiert hat dieser Robocar wenig Probleme mit scharfen Kurven, T-Kreuzungen oder dem „Kreisverkehr“ in einem Linienfolgeparcours. Darüber hinaus kann er dank seines „Kurven-Speichers“ deutlich schneller fahren als die Wagen, die ihre Geschwindigkeit stark drosseln müssen, um zu verhindern, dass beide Sensoren die Linie verlassen. Für mich war es das erste Mal, dass ich den K-Eingang des Flip-Flops sinnvoll nutzen konnte. Nach den Robocars mit fortschrittlicheren Spurverfolgungstechniken und Mikrocontroller-Steuerung ist dieses Modell buchstäblich der letzte Teil der Trilogie von Robocar-Fahrzeugen, die ich gebaut habe. Dieser Robocar benötigt keine zusätzlichen Sensoren, verwendet keine Relais oder Mikrocontroller und kann vollständig aus Teilen aus dem fischertechnik-Programm aufgebaut werden.

Fazit

Nach den beiden Robocars, bei denen der Schwerpunkt auf der Programmierung der Steuerung mit einem Mikrocontroller lag, tat es nun gut, einen Schritt zurück (in der Zeit) zu machen und dasselbe mit traditioneller analoger Elektronik zu versuchen.

Dies unterstreicht einmal mehr, dass die Grundtechniken für die autonome Steuerung bereits im letzten Jahrhundert vorhanden waren. Theoretisch ist es möglich, diese mit Silberlingen aufgebaute Logik noch weiter auszubauen und sogar eine einfache P-Regelung mit mehreren Sensorpaaren zu erstellen. Für ein flott fahrendes Robocar, dass auch mit scharfen Kurven keine Probleme hat, ist dies jedoch keineswegs notwendig.

Auf der Projektseite meiner Website [3] habe ich alle Informationen zusammengestellt. Dort ist auch ein Video zu sehen, in dem gezeigt wird, wie sich dieser Robocar durch die Kurven bewegt. Da sich beide Sensoren vorübergehend von der Linie entfernen dürfen, kann die Geschwindigkeit deutlich höher sein als bei den traditionellen Linienfolger-Modellen, die fischertechnik bisher veröffentlicht hat.

Quellen

- [1] Arnoud van Delden: *Robocar mit Pixy2-Kamera*. [ft:pedia 4/2025](#), S. 149–156.
- [2] Arnoud van Delden: *Baue deinen eigenen 'Silberling'!* Auf [whizzbizz.com](#).
- [3] Arnoud van Delden: *Line follower with analog electronics*. Auf [whizzbizz.com](#).
- [4] fischertechnik: *Elektronik-Praktikum*. Anleitung zum gleichnamigen Baukasten, 1977. Auf [docs.fischertechnikclub.nl](#).
- [5] fischertechnik: *h4 FF Flip-Flop Elektronik-Baustein*. Auf [docs.fischertechnikclub.nl](#), 1972.

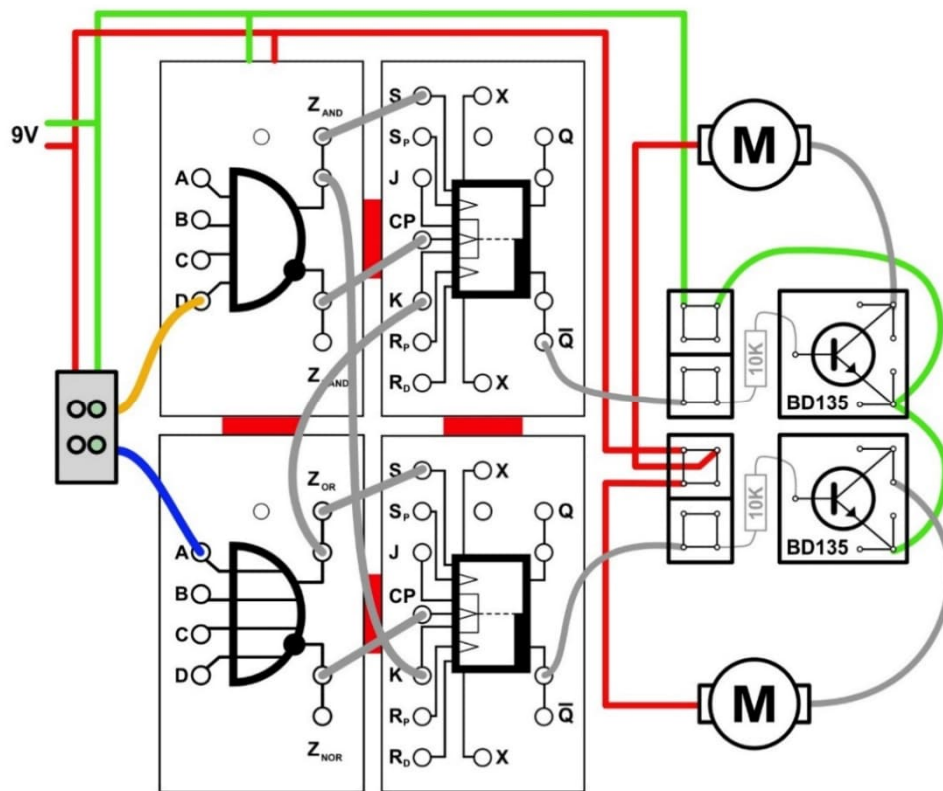


Abb. 7: Die vollständige Logik besteht aus zwei signalinvertierenden Silberlingen und zwei Flip-Flops



Abb. 8: Drei Generationen Robocars

Computing

fischertechnik-Plotter mit Parallel-Interface

Matthias Dettmer

Etwa 1985 brachte fischertechnik seine „COMPUTING“-Reihe heraus. Damit gab es für die damals gängigen Heimcomputer Apple II, VC20 und VC64, IBM-PC, Atari und Amiga und wie sie alle hießen, jeweils ein Interface und dazu passende Baukästen wie „Teach-In-Robot“, „Plotter-Scanner“ und den „Trainings-Roboter“. Der Beitrag beschreibt, wie die alten Modelle wieder zum Leben erweckt werden – ohne zusätzliche Schaltungen oder Klimmzüge.

Vergangenheit...

Allein die Bandbreite an verschiedenen Computern mit ihren spezifischen parallelen Schnittstellen, von denen der Apple II noch am weitesten aus der Reihe fällt, war bemerkenswert.

Die Schnittstelle blieb zum Modell hin immer gleich: Das Interface erlaubte das Ansteuern von vier Motoren und das Auslesen von acht Tastern und zwei Potentiometern. Mittels eines Flachbandkabels wurde ein „Steckbrett“ angefahren, auf dem man die jeweiligen Ein- und Ausgänge mit dem Modell verbinden konnte.

Wir reden hier über eine Zeit, in der Signalpegel noch 5 Volt hoch waren, in der es Drucker gab, die über eine sogenannte „Centronics-Schnittstelle“ an die Computer angeschlossen wurden und in der typische CPU-Taktzeiten noch zwischen einem und acht Megahertz lagen. Damals tat ich gerade meine ersten beruflichen Schritte als Programmierer bei einer mittelständischen Firma, die Drehmomentsensoren, Dehnmessstreifen, Messverstärker und kleinere Prüfstände hergestellt hat.

Mein dienstlicher und auch mein privater PC war damals ein Apple II, um ehrlich zu sein, ein sogenannter „kompatibler“. Und natürlich war ich damals vom fischertechnik-Interface und den zugehörigen

Modellen elektrisiert. In der Folge wurden sowohl das Interface für den Apple als auch der erste Computing-Kasten beschafft. Wie so häufig war das Budget für Spielzeuge damit erstmal aufgebraucht, und es war kein weiteres Geld für den Plotter da.

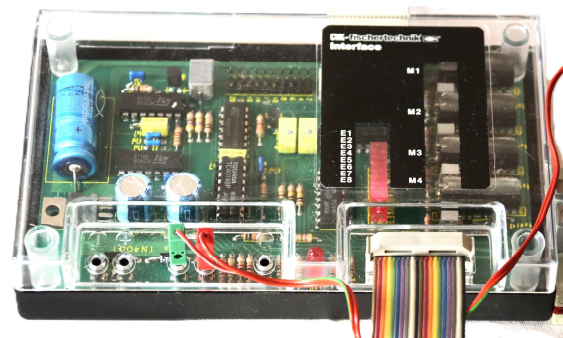


Abb. 1: CVK-Interface mit LEDs

Inzwischen haben eine ganze Menge von ft:pedia-Autoren wie Jens Lemkamp, Dirk Uffmann, René Trapp und Helmut Jawtuschk (siehe Tab. 1, ohne Anspruch auf Vollständigkeit) die alten Interfaces wieder zum Leben erweckt, meist unter Zuhilfenahme eines Arduino oder eines Raspberry Pi. Die Verbindung zu aktuellen Betriebssystemen wurde durch Treiber hergestellt, und die Modelle wurden in Hochsprachen programmiert.

... und Gegenwart

Vor etwas mehr als einem Jahr hat dann ein freundlicher ebay-Händler den Plotter für

einen annehmbaren Preis angeboten, und kurz darauf war auch der Plotter endlich mein Eigentum. Nun lagen zwischen dem letzten Gebrauch des bzw. der Interfaces und dem Erwerb des Plotters bestimmt 38 Jahre. Erster Impuls also: alles zusammenschöpfeln, Programm laden und schauen, ob der Plotter noch geht. Natürlich hatte ich mittels zweier Polwendeschalter zuerst probiert, ob die Schrittmotore denn noch funktionierten – und das taten beide.

Der alte – noch vorhandene! – Apple wurde als steuernder Computer verworfen: Zu groß sind die Unterschiede und der Aufwand für die notwendige Wieder-Inbetriebnahme im Vergleich zu einem (IBM-) PC.

Nun kamen zwei große Herausforderungen auf: erstens die heute an nahezu keinem PC noch verfügbare parallele Schnittstelle und zweitens ein „genügend altes“ Betriebssystem. Ja, warum soll ich mir die Welt denn so schwer machen, genügend Ansätze dazu gibt es doch?

Besonders für den Plotter wollte ich den alten BASIC-Code wiederverwenden. Sicher hätte ich das auch aus der Original-Bedienanleitung abtippen können, im Idealfall sogar einscannen und per OCR zu Text machen. Sicher hätte ich auch einen eigenen Treiber entwickeln oder einen der Arduino- oder Pi-Ansätze verfolgen können. Aber da war dann der Ehrgeiz, das Ganze wirklich so gut es geht und ohne zu große Abweichungen von den Original-Bedingungen „zum Fliegen“ zu bringen.

Meine bisherigen Erfahrungen mit alter fischertechnik-Elektronik waren sehr gut: Bislang habe ich Gabellichtschranken, Relais mit negativer Logik und allgemein die Silberlinge funktionstüchtig in Modellen einbauen können.

Steuercomputer

Ein altes und lauffähiges IBM T40 Notebook mit Netzteil und Windows XP war für knapp 90 € zu haben – wobei ich den

Parallel-Port erst „geglaubt“ habe, als ich ein Bild der Rückseite des Zielobjektes sehen konnte (Abb. 2). Das Windows startete ordentlich, der Parallel-Port war in der Gerätesteuerung zu sehen.

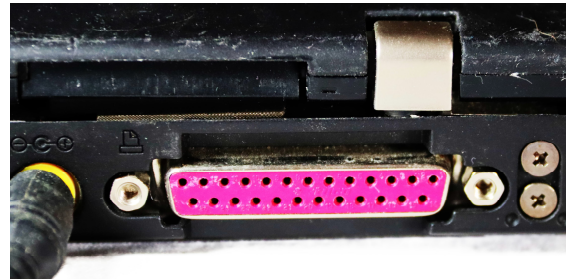


Abb. 2: Parallelport

Moderne Betriebssysteme erlauben in den seltensten Fällen einen direkten Zugriff auf Ein- Ausgabemöglichkeiten des Computers wie etwa den Parallel-Port – zu viele gleichzeitige Interessen würden sonst zu Konflikten und im schlimmsten Falle zu Systemabstürzen führen. Also sollte ein „Uralt-System“ installiert werden, maximal mit Windows 3.1 (aktuelle Version: 11 😊) oder noch besser mit DR- oder MSDOS.

Microsoft hat den Quellcode von MSDOS Version 4 im Jahr 2015 veröffentlicht. Unter <https://rufus.ie/de/> kann ein Tool heruntergeladen werden, das ohne Umwege einen bootfähigen USB-Stick erstellt. Also: Tool heruntergeladen, gestartet, einen leeren (nicht zu großen, 2 GB reichen) USB-Stick anstecken und MSDOS schreiben. Microsoft nennt diese MS-DOS Variante „Millenium-Edition“.

Für die Basic-Programmierung brauchen wir jetzt noch ein passendes Programm wie GWBASIC. Das laden wir von <https://archive.org/details/gwbasic.exe/> herunter. Unter MSDOS kann es direkt so wie es kommt gestartet werden. Dazu habe ich GWBASIC.EXE in das Root-Verzeichnis („C:\“) des gerade erstellten USB-Sticks kopiert.

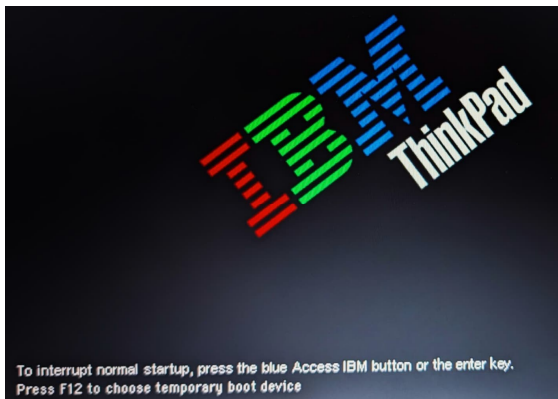


Abb. 3: Startbild des PC / Notebook

Am Notebook muss noch die Boot-Reihenfolge angepasst werden, sodass das Betriebssystem vom USB-Stick startet. Bei meinem Notebook mussten alle anderen möglichen Boot-Laufwerke inklusive der internen Festplatte deaktiviert werden.

Interface-Hardware

Die Hardware der vielen verschiedenen Interfaces ist schon lange ausgiebig beschrieben worden und wird hier nicht noch einmal wiederholt – bei Interesse empfehle ich die Lektüre eines der zutreffenden Artikel aus Tabelle 1.

Zwischen 1986 und dem Beginn der 2000-er Jahre gab es eine von wenigen Benutzern bemerkte, aber zum Gebrauch der Interfaces sehr wichtige Veränderung. Zuerst waren nämlich die Pegel der Ausgabe an parallelen Schnittstellen mit 5 Volt herausgeführt. Das entsprach den in den 1980er Jahren üblichen Betriebsspannung von CPUs und ihren Schnittstellen-Hilfschips.

Mit immer schnelleren und immer höher integrierten und getakteten CPUs musste die Betriebsspannung seit Beginn der 1990-er Jahre in Richtung 3,3 Volt abgesenkt werden. Und spätestens ab 2000 waren auch die Parallel-Port-Leitungen nur noch mit 3,3-Volt-Pegeln verfügbar. So etwa ab 2005 gab es schon fast keine Parallel-Ports mehr; sie wurden durch den heute üblichen USB abgelöst.

Nun gibt es in den Interfaces eine sehr wichtige Signalleitung, nämlich den CLOCK. Sowohl die beiden Schieberegister als auch die Trigger für die Potentiometer-Zähler begnügen sich und funktionieren mit 3,3-Volt-Pegeln genauso gut wie mit 5 Volt. Lediglich die Freigabe der Motorleitungen klappt mit 3,3-Volt-Pulsen nicht. Eine Lösung dafür hat Helmut Jawtusch ([7], S. 35) beschrieben: Der vorgeschlagene 47 kOhm Widerstand zieht die Basisspannung des Transistors in Richtung 0 Volt (Abb. 4). Den Trick habe ich an insgesamt drei Interfaces ausprobiert; alle drei Interfaces ließen danach mit sich reden.

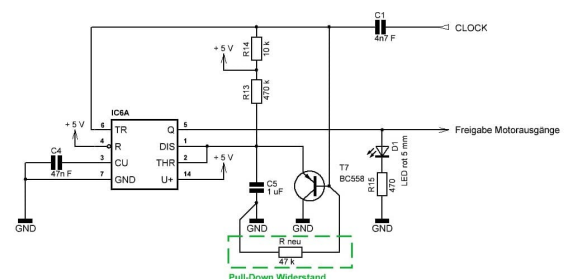


Abb. 4: Pull-Up der Clock-Leitung

Inhalt	ft:pedia-Ausgaben	Autor
Interface an Arduino	1/2014, 2/2014, 3/2014 [1, 2, 3]	Jens Lemkamp
Interface an Controller	2/2024 [10]	Dirk Uffmann
Schaltung der Interfaces	2/2017, 3/2017, 4/2017 [4, 5, 6]	René Trapp
Interface an LPT Windows 98	4/2017 [7]	Helmut Jawtusch
I2C Anschluss an TXT	1/2023 [11]	René Trapp
Interface an LPT Windows 10	4/2018 [8]	Helmut Jawtusch

Tab. 1: Beiträge in der ft:pedia

Noch ein Wort zu USB-zu-Parallel-Port-Adaptern. Diese Adapter machen sich leider nicht einmal die Mühe, die alten IO-Ports effektiv zu spiegeln. Deshalb bleiben die Aufrufe des Ports ohne Wirkung. Zudem gab es zu MS-DOS-Zeiten noch kein USB, so dass diese Möglichkeit wohl verschlossen bleibt.

Struktur der Software

Die von fischertechnik damals vertriebene Software gab es auf 5¼-Zoll-Disketten, eine für das Interface „alleine“ und je eine für die oben genannten Baukästen „Computing“, „Trainings-Roboter“ und „Plotter Scanner“. Dabei musste die spezifische Diskette, wenn sie nicht schon dem Baukasten beilag, mittels eines dem Baukasten beiliegenden Gutscheines von fischertechnik angefordert werden.

Der eigentliche hardware-spezifische Treiber ist in der Datei „INTERFAC.COM“ abgelegt. Dieser Treiber „bedient“ die Hardware des Interface, also die beiden Schieberegister für 8 Bit einlesen und 8 Bit für die vier Motoren sowie den Start der beiden Monoflops für die Potentiometer-Eingänge. Die entsprechenden Zeit-Diagramme sind sowohl in der Original-Bedienungsanleitung (Abb. 5, 6) als auch in den Beiträgen von René Trapp und Dirk Uffmann sehr gut beschrieben.

fischertechnik
COMPUTING

Interface IBM Personal Computer

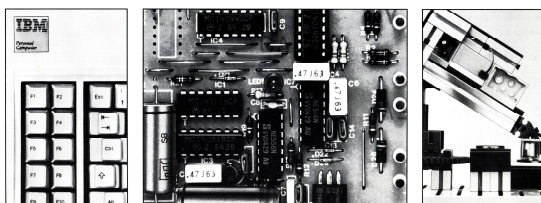


Abb. 5: Anleitung für das Interface

So, wie die Datei auf den Disketten abgelegt ist, kann sie aber noch nicht verwendet werden. Dazu muss vorher einmal „FISCHER.BAS“ gestartet werden. Hier können dann einer von drei möglichen

Parallel-Ports eingestellt – meist klappt es schon mit dem ersten, #03BC – sowie die Geschwindigkeit des PCs berücksichtigt werden.

fischertechnik
COMPUTING

Bauanleitung Plotter/Scanner - Instructions Plotter/Scanner - Mode d'emploi de la table traçante/du scanner

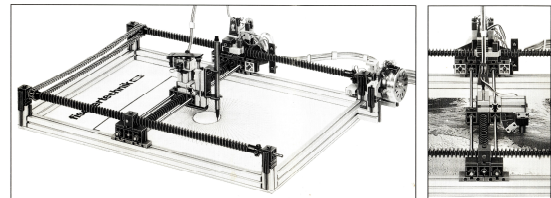


Abb. 6: Anleitung für den Plotter

FISCHER.BAS lädt INTERFAC.COM in den obersten GWBASIC – Speicherbereich, überschreibt die zuvor leeren Stellen für den Parallel-Port und – für schnellere PCs – zwei je zweimal NOP mit einem Links-Schiebe-Befehl. Warum das? Schnellere PCs sind auch schneller mit dem Zählen fertig, und mit Links-Schieben multipliziert man die Zahl mit 2. Dazu später mehr.

FISCHER.BAS lädt INTERFAC.COM von der Diskette (A:\) und schreibt es dort auch wieder hin. Man mag es glauben oder nicht, aber damals hatte noch nicht jeder PC eine Festplatte. Deswegen habe ich den Basic-Code in FISCHER.BAS und „zeitgemäße“ Ablageorte für Laden und Speichern angegeben. Damit wird jetzt das Programm INTERFAC.COM im gleichen Verzeichnis „erwartet“, in dem auch die BASIC-Programme abgelegt sind.

Alle Programme waren als Basic-Programme beigelegt, wobei die „BAS“-Dateien im Falle von IBM-PCs von GWBASIC geladen werden können, nicht aber von einem Text-Editor. Das ist etwas gewöhnungsbedürftig. Für das Arbeiten an Text-Dateien kann man die .BAS – Datei in GWBASIC laden und mit

```
SAVE"{Dateiname}.TXT",a
```

wieder speichern. Textdateien kann man ohne weitere Zusätze unter Angabe des

gesamten Dateinamens, also mit „.TXT“, in GWBASIC laden.

Wo wir schon dabei sind... Jedes der fischertechnik-Basic-Programme fängt mit der Abfrage an, ob man die Farben von Bildschirm, Rahmen und Schrift ändern möchte. Die Auswahl ist hier riesengroß – so etwa acht unterschiedliche Farben stehen zur Auswahl. Ändert man hier nichts, dann bleibt es bei weißer Schrift auf schwarzem Grund. Deswegen habe ich alle Programme so umgestellt, dass nur noch das Laden von INTERFAC.COM, die Definition der Hauptvariablen und die Bildschirmweite 80 (statt der 40 im Original) abgehandelt werden und die Abfrage ausbleibt.

Ab hier wird es etwas steiniger, vor allem für Anwender und Anwenderinnen, die ein GUI wie unter Windows, Apple oder Linux gewohnt sind. Denn ab hier heißt es erstmal ähnlich wie auf dem berühmten Wiener Opernball: ALLES KONSOLE.

Das Rotor-Modell

Schrittmotoren sind eine hoch komplexe Sache, und bevor ich „aufs Ganze“ gehen wollte, war ein gründlicher Test des Interfaces angesagt. Das Rotor-Modell, also gleich das erste aus dem ersten Computing-Kasten, beinhaltet einen Motor und die beiden Potentiometer.

Das Modell ist schnell gebaut. Um die Drehrichtung des Motors anzuzeigen, habe ich zwei „über Kreuz“ parallel zur Motorzuleitung verkabelte LED-Lampen dazugefügt. Und eine Kollision mit dem Endanschlag wollte ich mit je einem Taster erkennen.

Das Programm „DIAGNOSE.BAS“ erlaubt einen ersten Blick (besonders) auf die Potentiometer-Werte. Hier der erste Schreck: Die Ausgabe der Schalterwerte flackerte wie verrückt, und teilweise zeigten zwei Leitungen eine 1 für „An“, obwohl nur ein Taster angeschlossen und betätigt war.

Zuerst schob ich das auf das im Vergleich zu damals verwendeten PCs mehrere hundertmal schnellere Notebook, insbesondere weil das unabhängig von der Eingangsnummer (1 bis 8) auftrat. Eine Kontrolle der Verkabelung am Steckbrett ergab aber, dass die Leitung an E8 einen Wackelkontakt hatte. Also neu abisoliert und achtsam wieder verschraubt, neuer Versuch – und der Fehler war weg.

Weil ich einen schnellen PC vermutete, habe ich INTERFAC.COM entsprechend eingestellt. Zwischen den beiden Anschlängen zeigten die Potentiometer Zahlen zwischen > 16 und < 700 . Dann habe ich INTERFAC.COM wieder auf „langsame Computer“ gestellt, die Potentiometer ergaben Werte zwischen 4 und 230. Das entspricht in etwa der Erwartung. Schaut man die großen Werte genauer an, dann hatten sie jeweils vier „Digits“ Abstand. Außer höheren Zahlen gewinnt man also kein Bisschen Genauigkeit – wie oben erwähnt ist die Behandlung von „schnellen PCs“ ja nur eine Multiplikation mit 4 (also zweimal ein Bit nach links geschoben).

Nachdem das Diagnoseprogramm angezeigt hat, dass alle Komponenten richtig arbeiten oder erkannt werden, wurde ROTOR.BAS ausprobiert. Das hat dann tatsächlich auf Antrieb funktioniert. Wie programmiert wurde die am Handrad eingestellte Position über Motor, Schnecke und Zahnrad an der „Antenne“ eingestellt.

Das Plotter-Modell

Betrachtet man das Plotter-Modell vom mechanischen Aufbau her, dann ist alles in der üblichen fischertechnik-Einfachheit und Perfektion gestaltet. Der Rahmen besteht aus Aluminium-Profilen, die X-Achse stellt die Längsseite der Fläche dar und die Bewegung des Y-Achsen-Schlittens wird über zwei parallel verlaufende Spindeln geführt. Die Spindeln sind mit einer Kette verbunden, so dass nur ein Schrittmotor für die X-Achse notwendig ist.

Die Führung des Stifthalters in Y-Richtung geschieht über zwei parallellaufende Achsen, in deren Mitte wiederum eine Spindel für die Links-Rechts-Bewegung sorgt – der zweite Schrittmotor. Beide Schrittmotoren sind auf einfachste Weise spielfrei gelagert und treiben ihre jeweilige Spindel über eine Wellenkupplung an.

Der Schreibstift wird von Federn in der oberen Stellung in Ruhestellung, also ohne Berührung des Papiers gehalten. Über einen Elektromagneten und ein kleines Blech kann der Stift auf das Papier abgesenkt werden.

Unter dem Rahmen aus Alu-Profilen schließt eine Plexiglasscheibe das Ganze nach unten hin ab – auf diese Scheibe wird das zu beschreibende Papier gelegt.

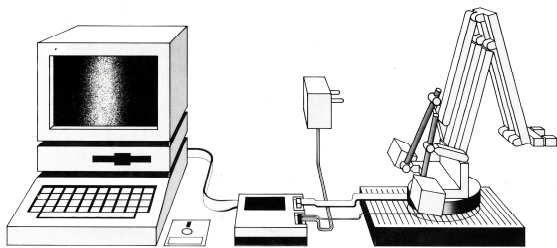


Abb. 7: So war es mal gedacht ...

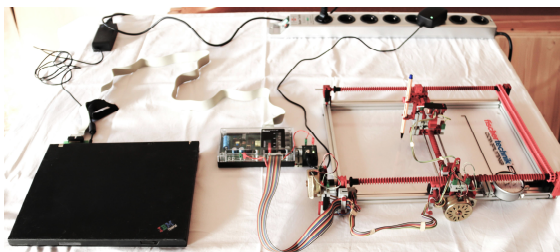


Abb. 8: ... und so wurde es umgesetzt.

Nach fast 40 Jahren waren die Raupenkettenglieder, die die Achslagerungen in Position halten sollen, sehr brüchig und teilweise schon abgebrochen. Nach deren Ersetzung war aber alles „wie neu“.

Ein kurzer Test zur Beweglichkeit zeigte, dass die X-Achse sehr schwergängig war. Hier war unter dem Achslager zwischen Schrittmotor und Spindel statt eines Bausteins 5 ein Winkelstein $7,5^\circ$ eingebaut. Das ist wohl beim Zusammenbau passiert – es

gibt im Bausatz einen Winkelstein $7,5^\circ$, der aber nur für die Halterung der Fotozelle im Scanner-Modell Verwendung finden sollte.

Der Plotter war nun gewartet und aus meiner Sicht betriebsbereit. Also: Programm starten – und auf den nächsten Schreck warten. Das Programm „PLOT.BAS“ will nämlich damit beginnen, den Plotter in eine Ausgangsposition „HOME“ zu bringen, bevor irgendetwas Weiteres passiert. Beide Schrittmotoren gaben aber nur ein sonores Brummen von sich – eine Menge Lärm um keinerlei Bewegung. Mit dem dafür vorgesehenen Programm „STEP.BAS“ konnte ich prüfen, ob sich der X-Achsen-Schrittmotor überhaupt bewegt – das tat er. Wo also lag der Fehler?

Um es kurz zu machen: Hier schlug der „zu schnelle PC“ dann doch noch zu. Das Programm steuerte die Schrittmotoren so schnell an, dass die Spulen der Motoren buchstäblich nicht mehr mitgekommen sind. Ein etwas eingehenderes Studium des PLOT-Programmes ergab zwei zentrale Stellen, die nach jedem einzelnen Schritt aufgerufen werden, um Endlagen oder das Herausfahren aus dem Arbeitsbereich des Plotters feststellen zu können.

An beiden Stellen habe ich als neue Zeilen 60010 und 61010 eine „Zeitverschwendungs-Schleife“

```
( FOR W = 1 TO 8000 : NEXT W )
```

eingebaut – und das wars. Prompt fuhr der Plotter seine „HOME“ Stellung an.

fischertechnik hat dem Plotter drei verschiedene „Bilder“-Programme spendiert: einen Kreis (PARAM.F), eine 3D-Darstellung für einen Tisch (3D.BAS) sowie den Grafen einer mathematischen Funktion (FUNKTION.BAS). Diese Programme werden mit dem GWBASIC-Befehl MERGE {Dateiname} zum zuvor geladenen Programm PLOT.BAS hinzugeladen.

In allen drei Programmen wird skaliert, das heißt, die einzelnen Schritte werden für die Darstellung in Plotter-verständlichen Ma-

ßen errechnet. Dazu verwendet das Original die Variablen XM und YM, die die zulässigen Maximalwerte festlegen. In den ersten Gehversuchen konnte ich feststellen, dass die ursprünglich vorgesehenen XM = 640 und YM = 500 ein Bild ergeben haben, das größer als DIN A4 war (der Stift zeichnete auch „außerhalb“ des Blattes).

In einer „quick and dirty“-Laune habe ich die Werte jeweils auf $\frac{3}{4}$ des jeweiligen Originalwertes gekürzt, nämlich auf XM = 510 und YM = 375. Damit blieben die Diagramme auf dem Blatt.

Nach einer leichten Justage der Stiftmimik haben alle drei Programme „erwartungsgemäß“ beinahe genau das getan, was sie sollten.

Bei der Funktion „ $Y = \sin(X) \cdot \exp(-X/10)$ “ haben GWBASIC und das PLOT-Programm dann ein kleines Auflösungs-Problem gezeigt. Beim Beschriften der Y-Achse wurden für drei obere positive und den ersten negativen Wert zu viele Stellen ausgegeben, also etwa „0.9000001“ an Stelle von einfach „0.9“ (Abb. 11). Durch Angabe einer anderen Funktion konnte dann allerdings auch ein „richtig“ beschrifteter Funktionsgraf ausgegeben werden.

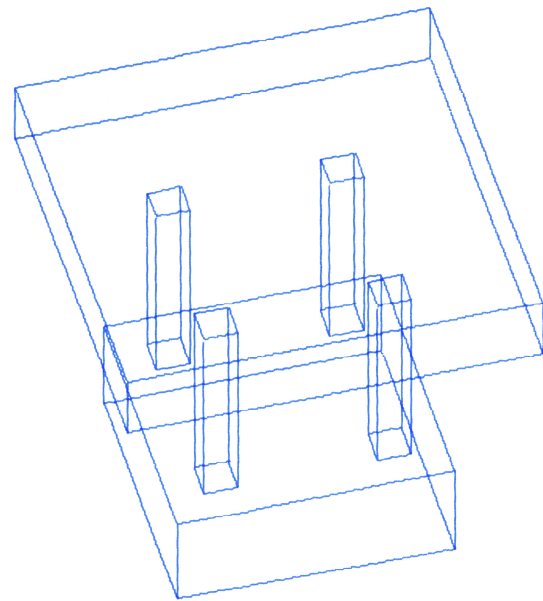


Abb. 10: 3-D-Darstellung eines Tischchens (3D.BAS)

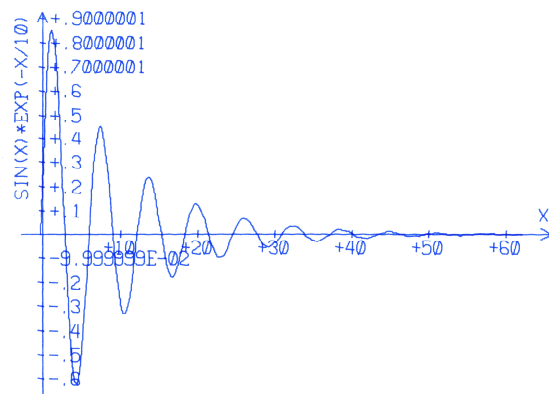


Abb. 11: Neuer Rechner = bessere Auflösung?

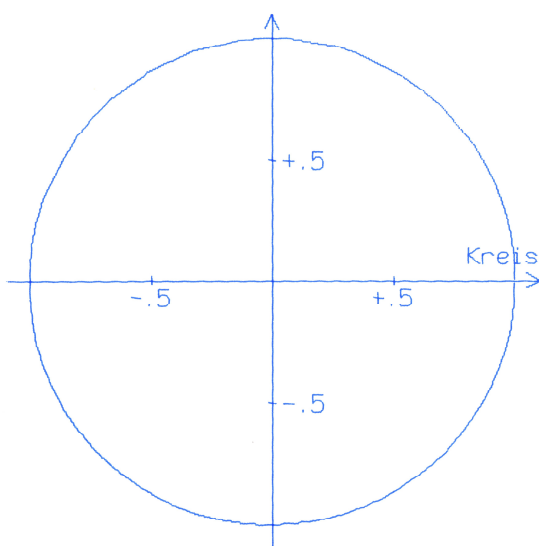


Abb. 9: Kreis (PARAM.F.BAS)

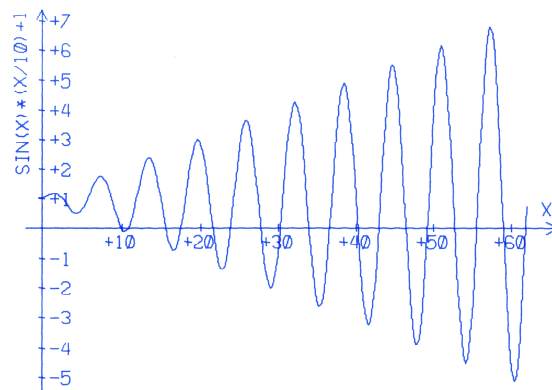


Abb. 12: Frei eingegebene Funktion (modifiziert in FUNKTION.BAS)

Zugegeben, nach all den Anstrengungen den Plotter einfach nur noch schnurren zu hören und zeichnen zu sehen, ist schon ziemlich befriedigend.

Genauigkeit bei Wiederholung

Als vor ein paar Jahren der fischertechnik-3-D-Drucker herauskam, hatte ich mir eine Messuhr gekauft, um die Parallelität der Druckplatte überprüfen zu können. Mit diesem Gerät wollte ich nun auch noch wissen, wie genau der Plotter denn arbeitet und wie genau die Positionen wiederholbar angefahren werden. Dazu habe ich die Uhr zuerst am Ende der X-Achse so angebaut, dass der Weg des Y-Schlittens gemessen werden konnte.

Damit ich den Plotter-Stift auch in beide Richtungen X und Y und mit einem, 4 und 102 Schritten in beide Richtungen anfahren konnte, habe ich das Programm FTPLDIAG.BAS geschrieben (es liegt im [Downloadbereich](#) zu diesem Beitrag).

Da die Messuhr nur etwas mehr als einen Millimeter in 1/100 mm Schritten auflöst, kann die gesamte Strecke nicht in einem Rutsch durchgemessen werden. Man darf aber davon ausgehen, dass die Spindeln über die gesamte Strecke gleiches Verhalten zeigen werden – deswegen wird der eine Millimeter als stellvertretend für den ganzen Rest der Strecke genommen.

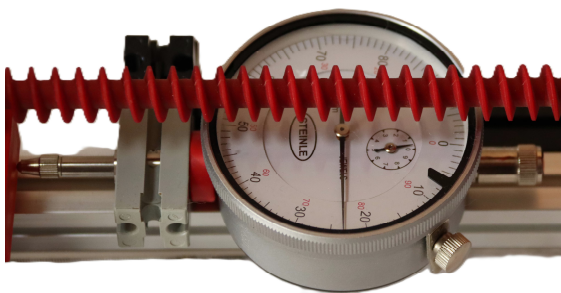


Abb. 13: Messuhr in der X-Achse

Löst man eine Umdrehung in Einzelschritte auf, dann zeigt sich, dass $360^\circ / 7,5^\circ = 48$ Schritte eine Umdrehung der Spindel ergeben. Zuerst dachte ich, dass eine Spindel-Windung eine Strecke von genau 5

mm ergeben würde – irgendetwas im fischertechnik-Bausteinraster eben. Die Messung zeigt, dass das nicht passt. Für 5 mm muss die Spindel noch ein Stückchen weitergedreht werden.

Nun gut, also müssen wir rechnen. Die verwendeten Spindeln sind passend zu den fischertechnik-Zahnrädern im Modul 1,5 gehalten. Und dieser Modul ergibt eine Spindel-Steigung von 4,71 mm pro Umdrehung. Damit bewegt der Plotter die betreffende Schneckenmutter um 0.0982 mm entsprechend etwa 1/10 mm.

Für einen cm müssen also 102 (101,86) Schritte angesteuert werden; ganz genau ergeben 102 Schritte einen Verfahrweg von 1,002 cm.

Jetzt hätte ich erwartet, dass die Schritte auch etwa gleiche Abstände auf der Uhr anzeigen – und wurde wieder überrascht. Mit einiger Regelmäßigkeit haben die „zweiten Schritte“ jeweils kürzere Abstände bewirkt. Ein weiteres Mal habe ich die Ansteuerung verlangsamt, indem ich an strategischer Stelle das Warten verlängert habe:

```
1540 FOR W = 1 TO 24000 : NEXT W
```

Nun haben die Einzelschritte auch die jeweils erwarteten 1/10-mm-Schritte ergeben.

Der eine „verfahrbare“ Zentimeter konnte recht gut wiederholt werden. Nur manchmal fehlte ein einzelner Schritt – interessanterweise aber auch nicht immer. Dem bin ich aber nicht weiter nachgegangen. Ursachen für diese Hysterese sind zuerst in der Lagerung der Achsen zu sehen, und es ist sehr schwer, das messtechnisch sinnvoll zu erfassen. Schon ein leichtes Anfassen ist auf der Uhr als Bewegung des Zeigers zu sehen.

Für eine Untersuchung eventuell fehlender Schritte müsste ich beide Spulenwindungen über die ganze Bewegung hinweg mit dem Oszilloskop mehrfach aufzeichnen und suchen. Als Beispiel in Abb. 14 die Aufzeichnung von fünf Einzelschritten:

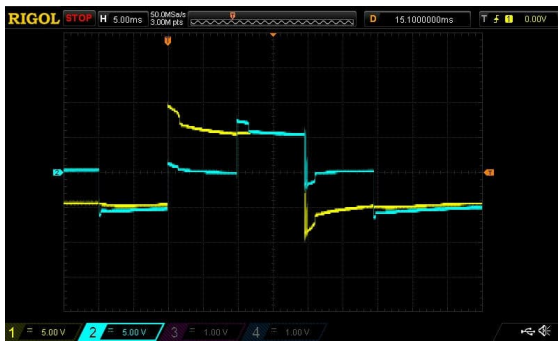


Abb. 14: Fünf Schritte, beide Wicklungen

Es wäre einfach gewesen, die Schrittweiten auch entlang der Y-Achse nachzumessen. Darauf habe ich aber im Vertrauen auf die Gleichartigkeit der verwendeten Bauteile verzichtet.

Manöverkritik

Es fasziniert mich immer wieder, wie gut und zuverlässig diese alten Komponenten noch zusammenspielen und funktionieren – nach all den Jahren. Die beschriebenen Untersuchungen zeigen auch, dass das System nicht starr ist; eigene Programme wie FTPLDIAG können immer noch neu entwickelt, angepasst und benutzt werden.

Natürlich lockt die alte „Spaghetti-Code-Programmierung“ in Basic heute keinen Hund mehr hinter dem Ofen hervor. Wichtige in heutigen Programmierumgebungen verfügbare Sprachelemente wie erweiterte String-Bearbeitung, WHILE ... WEND oder auch nur ein wirklich funktionierendes Type Casting fehlen in GWBASIC.

Trotzdem haben Features wie Assembler-Programmierung und direkter Zugriff auf I/O-Ports oder auch auf das RAM des Computers ihren Charme nicht verloren.

Nächster logischer Schritt wird es sein, dem Basic-Plot-Programm beizubringen, wie es

Diagramme oder Bilder aus Dateien einliest und ausdruckt, etwa aus HPGL [9].

Referenzen

- [1] Jens Lemkamp: *Parallel-Interface durch Arduino gesteuert (1)*. [ft:pedia 1/2014](#), S. 24–30.
- [2] Jens Lemkamp: *ft-Interface durch Arduino gesteuert (2)*. [ft:pedia 2/2014](#), S. 36–39.
- [3] Jens Lemkamp: *Parallel Interface – durch Arduino gesteuert (3)*. [ft:pedia 3/2014](#), S. 61–65.
- [4] René Trapp: *V. I. P. – Ein I²C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 1)*. [ft:pedia 2/2017](#), S. 63–73.
- [5] René Trapp: *V. I. P. – Ein I²C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 2)*. [ft:pedia 3/2017](#), S. 57–68.
- [6] René Trapp: *V. I. P. – Ein I²C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 3)*. [ft:pedia 4/2017](#), S. 36–49.
- [7] Helmut Jawtusich: *Das Universal-Interface am LPT-Port*. [ft:pedia 4/2017](#), S. 34–35.
- [8] Helmut Jawtusich: *Das Universal-Interface am LPT-Port unter Windows 10/64 bit*. [ft:pedia 4/2018](#), S. 64–66.
- [9] Dirk Fox: *HP-GL-Plotter (Teil 2)*. [ft:pedia 1/2012](#), S. 4–12.
- [10] Dirk Uffmann: *Nutzung des Universal-Interfaces 30520 als Port-Erweiterung an einem Mikrocontroller*. [ft:pedia 2/2014](#), S. 30–35.
- [11] René Trapp: *V. I. P. – Ein I²C-nach-Computing-Interface-Umsetzer (Teil 4)*. [ft:pedia 1/2023](#), S. 111–122.

Computing

Oxocard und HTTP

Axel Chobe

Das Hypertext Transfer Protocol (HTTP) wurde entwickelt, um die Kommunikation zwischen Clients und Servern zu ermöglichen. Es ist die Grundlage des World Wide Web und definiert, wie Client-Anfragen und Server-Antworten strukturiert sind und Daten übertragen werden. Die Oxocard unterstützt die beiden am häufigsten verwendeten HTTP-Methoden: GET und POST. Unter der offiziellen Programmierumgebung NanoPy werden die Methoden allerdings etwas anders angewendet, als man es unter Python gewohnt ist.

Motivation

In der Hilfe von ROBO Pro Coding sind die Blöcke für GET und POST rudimentär beschrieben. Funktional sind sie dabei aber nur in der Browserversion. Auf Rückfrage bei fischertechnik wurde mitgeteilt, dass die Online-Version nicht offiziell unterstützt wird, da sie nur für Testzwecke vorgesehen ist. Da die Oxocard häufig in meinen fischertechnik-Modellen zum Einsatz kommt, war es naheliegend, sich mit dem Thema HTTP näher zu beschäftigen.

Definition

HTTP GET ist eine Standard-Anfragemethode im HTTP, mit der ein Webbrowser Daten von einem Webserver anfordert. Die angeforderten Daten werden dabei als Teil der URL übergeben (z. B. ?waerme=1), sind also sichtbar und können gespeichert oder verarbeitet werden, was bei Passwörtern nicht unbedingt erwünscht ist.

```
http://192.168.11.142/test.php?waerme=1
```

HTTP POST ist eine weitere HTTP-Anfragemethode, die ebenfalls dazu dient Daten von einem Client an einen Webserver zu senden, wie z. B. beim Absenden eines Formulars oder Hochladen von Dateien.

```
http://192.168.11.142/test.php
```

Die Daten werden nicht in der URL, sondern in der Nachricht (Body) gesendet, was auch größere Datenmengen ermöglicht.

Entwicklungsumgebung

Um die hier aufgezeigten Programme nachzuvollziehen sind einige Softwarevoraussetzungen zu schaffen. Außerdem ist es zweckmäßig, wenn Grundkenntnisse von HTML und PHP vorhanden sind. Da es hier um die Kommunikation zwischen Client und Server geht, wird ein Webserver benötigt, der gleichzeitig auch mit PHP umgehen kann. Dazu ist das kostenlose XAMPP sehr gut geeignet (X: Cross-Platform, A: Apache HTTP Server, M: Datenbank MariaDB, P: Skriptsprache PHP, P: Skriptsprache Perl). Das Tool gibt es kostenlos zum [Download](#).

Nach der Installation kann der Server mit „localhost“ aufgerufen werden. Für den Test von PHP wird im oberen Feld „PHPInfo“ angeklickt und es sollte folgender Eintrag erscheinen:

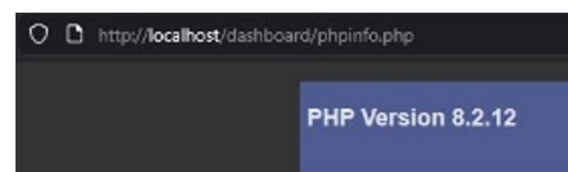


Abb. 1: Test: PHPInfo

Um den Server anzusprechen kann aber nicht die Adresse „Localhost“ oder „127.0.0.1“, sondern muss die IP-Adresse des Rechners benutzt werden. Unter cmd (Windows-Taste + R) kann diese mit dem Kommando ipconfig ausgelesen werden.

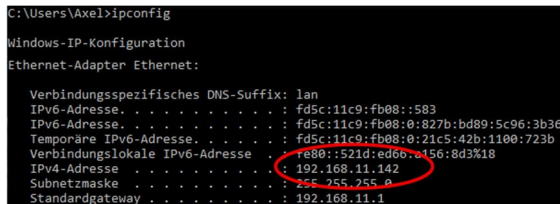


Abb. 2: IP-Adresse mit ipconfig auslesen

Als letzte Voraussetzung für die Übungen muss noch der Ort der Dateiablage bekannt sein: Alle selbst erzeugten HTML- und PHP-Dateien werden auf dem lokalen Datenträger unter (C:)/xampp/htdocs abgelegt. Der Aufruf erfolgt dann z. B. über `http://192.168.11.142/temp.html`

Test ohne Oxcocard

Um Verständnis für die Materie zu erlangen und zu testen, ob alle Voraussetzungen erfüllt sind, ist es sinnvoll, ein Beispiel ohne zusätzliche Hardware zu erstellen. Im Folgenden soll über eine Eingabemaske ein Temperaturwert abgefragt und anschließend ein Kommentar ausgegeben werden.

```
<html>
<head><title>Waerme</title></head>
<body>
  <form action="test.php"
method="GET">
    Temperatur: <input type="number"
name="waerme"></br>
    <input type="submit">
  </form>
</body>
</html>
```

Listing 1: temp.html



Abb. 3: Bildschirmausgabe

Als erstes wird die Datei temp.html erstellt, die nach Aufruf die Eingabemaske ausgibt.

Nach Eingabe eines Wertes wird der Button „Daten absenden“ betätigt.

```
<html>
<body>
<?php
$temp = $_GET['waerme'];
if ($temp < 15) {
    echo "<br> das ist schon kalt!";
}
else { echo "<br> das ist warm!"; }
?>
</body>
</html>
```

Listing 2: test.php

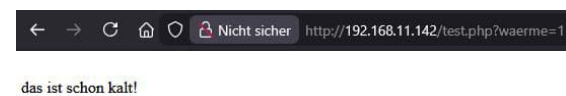


Abb. 4: Bildschirmausgabe

Die zweite Datei, test.php, wird nun automatisch geöffnet und gibt in Abhängigkeit vom übergebenen Wert den entsprechenden Kommentar zur eingegebenen Temperatur aus.

Dateiinhalte auslesen

Um Dateninhalte aus Dateien auszulesen wird eine HTML-Datei benötigt. Im folgenden Beispiel wird die folgende sehr einfache HTML-Datei erzeugt

```
<html><body>Testtext</body></html>
```

Listing 3: testtext.html

und unter xampp/htdocs/testtext.html gespeichert. Nach deren Aufruf im Browser wird nur „Testtext“ ausgegeben.

```
1 url = "http://192.168.11.142/
testtext.html"
2 print (getRequest (url))
3 print (readRequest (0))
4 print (strSubstring (readRequest (15),
0, 10))
5 print (readRequestLength ())
```

In Zeile 1 wird die Variable URL initialisiert, der die IP-Adresse und der Name der HTML-Datei zugewiesen wird. Zeile 2 gibt ein true (1) aus, wenn die Anforderung erfolgreich war. In der dritten Zeile wird ab Position 0 der gesamte Text ausgegeben. Da das nicht immer sinnvoll ist, wird in Zeile 4 mit „strSubstring“ nur ein Teil des Textes ausgegeben. Er beginnt ab Position 15 und beinhaltet die Zeichen von 0 bis 10. Als

letztes wird die Länge aller Bytes der Datei ausgegeben.

```
1
<html> <body>Testtext</body></html>
Testtext
45
```

Abb. 5: Bildschirmausgabe

Interaktion mit getRequest

Anstatt nur Werte auszulesen ist es auch möglich an den Server Anfragen zu stellen und entsprechende Antworten zu bekommen. Im Beispiel soll eine Temperatur übergeben werden und als Antwort ein entsprechender Kommentar zurückkommen.

Als Grundlage dient die Datei test.php aus dem Abschnitt „Test ohne Oxocard“.

```
1 url = "http://192.168.11.142/
test.php?waerme=6"
2 print(getRequest(url))
3 print(readRequest(0))
```

In Zeile 1 wird der Variablen URL die IP-Adresse und der Name der aufzurufenden Datei zugewiesen. Die Besonderheit ist nun, dass nach einem Fragezeichen auch der anzufragende Wert für die Variable „waerme“ an die PHP-Datei übergeben wird. Zur Sicherheit wird wieder bei erfolgreicher Verbindung zur URL in Zeile 2 ein true ausgegeben. In Zeile 3 wird dann die entsprechende Antwort angezeigt. Allerdings inklusive des HTML-Codes. Mit strSubstring zu arbeiten ist nicht sinnvoll, da die Länge der Antwort nicht bekannt ist. Da es aber keine Ausgabe auf dem Browser gibt, kann in der Datei „test.php“ der HTML-Code weggelassen werden.

Somit ergibt sich nachfolgende Ausgabe.

```
1
Das ist warm!
```

Abb. 6: Bildschirmausgabe

Daten auslesen

JSON (JavaScript Object Notation) ist ein textbasiertes Datenformat. Die häufigste Verwendung von JSON-Dateien besteht

darin, Daten von einem Server zu lesen, damit sie auf einer Website oder in einer Webanwendung angezeigt werden können.

Die JSON-Daten besteht dabei hauptsächlich aus Namen-Objekt-Paaren. Für den folgenden Test wird eine Datei (person.json) im Ordner htdocs angelegt.

```
Datei Bearbeiten Format Ansicht Hilfe
{"Name": "James", "Nachname": "Bond", "Beruf": "Agent"}
```

Abb. 6: person.json

```
1 url =
"http://192.168.11.142/person.json"
2 getRequest(url)
3 print(readRequestJSON("Nachname"))
```

Nachdem in Zeile 1 der Pfad und der Dateiname an die Variable URL übergeben wurden, folgt in der zweiten Zeile der get-Aufruf. Für die Ausgabe in der dritten Zeile muss noch das entsprechende Schlüsselwort übergeben werden.

```
Terminal:
Bond
```

Abb. 7: Bildschirmausgabe

Dasselbe Ergebnis erhält man beim Aufruf der Position (wenn bekannt) des Wertepaars: print(readRequestJSON(1))

Wie eingangs erwähnt gibt es neben „get“ noch den „post“-Aufruf. Der erste Unterschied liegt in der Sichtbarkeit der Anfrage in der Browser-URL, was beim Einsatz mit der Oxocard ja keine Bedeutung hat. Der zweite Unterschied ist der, dass bei „get“ nur 2048 Zeichen genutzt werden können. Außerdem können bei „post“ auch binäre Daten übergeben werden.

Auf Nachfrage bei den Entwicklern von NanoPy wurde mitgeteilt, dass der post-Request noch überarbeitet wird, da noch nicht alle Möglichkeiten implementiert sind. Im Folgenden ein Beispiel über „post“:

```
1 url = "http://192.168.11.142/
person.json"
2 body="Beruf"
3 postRequest(url,body)
4 print(readRequestJSON(body))
```

Wiederum wird in Zeile 1 die URL mit dem Dateinamen an die Variable url übergeben. Der Variable body (Zeile 2) wird das Schlüsselwort übergeben. In Zeile 3 erfolgt der Aufruf mit postRequest. Dieser Aufruf erwartet die beiden Parameter url und body. Zum Schluss erfolgt die Ausgabe auf dem Terminal.

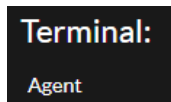


Abb. 8: Bildschirmausgabe

Ein anderes Beispiel für „get“ gibt als Ergebnis die eigene öffentliche IP-Adresse aus. Dazu erfolgt die Abfrage an einen http-Request- und Response-Service für Entwickler. Dies ist ein Werkzeug, um zu prüfen, wie Anwendungen auf verschiedene HTTP-Szenarien reagiert.

```
1 url = "http://httpbin.org/ip"
2 getRequest(url)
3 print(readRequestJSON("origin"))
```

Shelly-Relais schalten

Shelly-Elemente sind Smart-Home-Geräte, die über WLAN Schalter, Steckdosen oder Aktoren schalten. Für diesen Test wurde ein Shelly-1Mini-Gen3-Relais verwendet.



Abb. 9: Shelly 1 Mini Gen3

Voraussetzung ist dabei die Benutzung der entsprechenden App, um die IP-Adresse des Relais zu bekommen (hier die Adresse 192.168.178.137).

```
1 url = "http://192.168.178.137/relay/0?turn=toggle"
2 def onDraw():
3     if getButton() > 0:
4         getRequest(url)
```

```
5     while(getButton())
6         delay(50)
```

In der ersten Zeile wird der Variablen URL wiederum die Adresse zugewiesen. Wie bei get üblich wird nach dem Fragezeichen noch ein Kommando hinzugefügt.

turn=toggle bedeutet: Ändere den aktuellen Schaltzustand. In Zeile 2 wird eine Dauerschleife erzeugt, um eine ständige Abfrage zu ermöglichen. In Zeile 3 wird nun der Joystick auf der Oxocard abgefragt. Sollte er betätigt werden, wird in Zeile 4 die get-Anfrage an das Relais gesendet. Die folgende Konstruktion in Zeile 5 und 6 dient dem Entprellen des Joysticks.

Wie eingangs bereits erwähnt, gibt es auch für ROBO Pro Coding in der Browserversion die Möglichkeit, mit den Blöcken GET und POST zu arbeiten. Mit dem folgenden Programm wird das bereits eingesetzte Shelly-Relais für je 2 Sekunden ein- und ausgeschaltet.

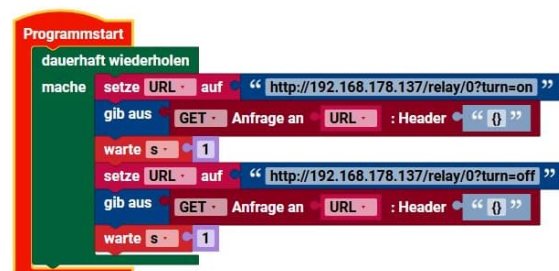


Abb. 10: ROBO Pro Coding-Programm

Fazit

Auch dieser Teil der Oxocard-Programmierung erweitert die Möglichkeiten bei fischertechnik-Projekten. So können Werte aus einer json-Datei ausgelesen werden, um z. B. Steuerungsaufgaben durchzuführen. Leider funktionieren noch nicht alle Elemente in NanoPy, aber es wird ständig weiterentwickelt. Vielleicht gibt es auch jemanden, der die Benutzung der Elemente GET und POST von ROBO Pro Coding beherrscht und für alle zur Verfügung stellt.