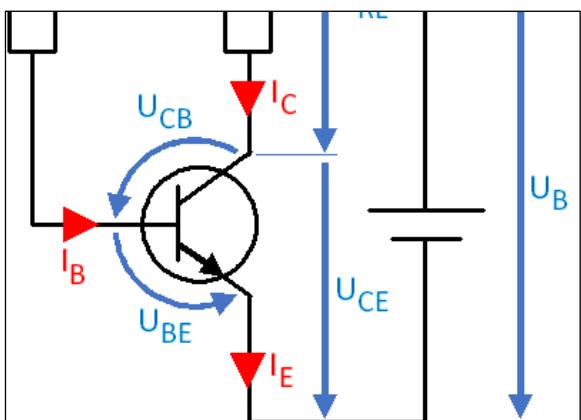
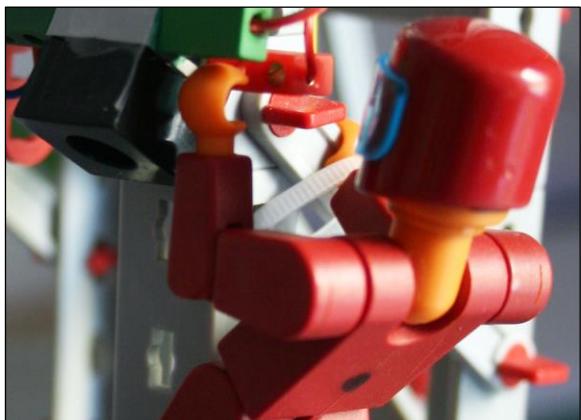
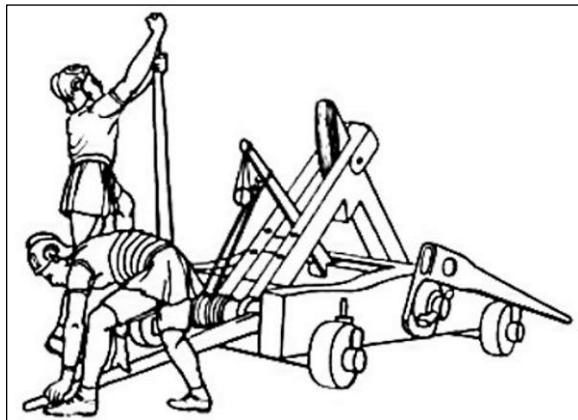
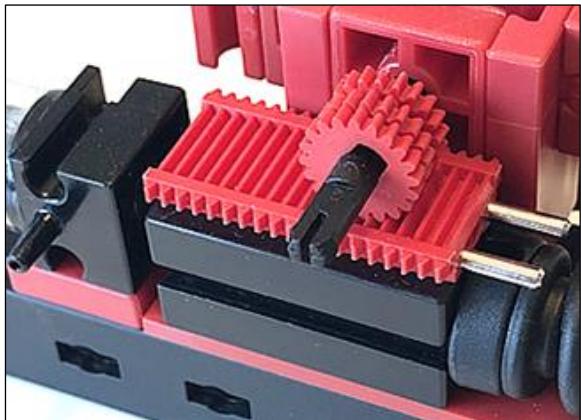


ft:pedia

Heft 3/2020



Herausgegeben von
Dirk Fox und Stefan Falk

ISSN 2192-5879

Editorial

Lernen

Eine der vielleicht größten und wichtigsten zivilisatorischen Errungenschaften ist die Entwicklung eines allgemeinbildenden Schulsystems im 18. Jahrhundert. Zwar war die Teilhabe an dieser Allgemeinbildung noch lange von der sozialen Herkunft abhängig, aber die Weitergabe von Wissen an die nächste Generation war erstmals nicht mehr Kernaufgabe der Familie und wurde damit den „Klauen des Zufalls“ entrissen. Damit entstand zugleich ein erster gesellschaftlicher Konsens darüber, was zu den „Grundkenntnissen“ der Neuzeit zu zählen war, der seitdem unablässig weiterentwickelt und angereichert wird.

Möglicherweise war dies der eigentliche Ursprung der sich überschlagenden Entdeckungen des 19. Jahrhunderts – elektrischer Strom, Elektromagnetismus, elektromagnetische Wellen, Elektromotor, Fotografie, Dynamo, Film und Automobil. Denn vor allem Wissenschaft und Forschung benötigen einen möglichst einheitlichen, verbreiteten Wissenskanon, auf dem neue Erkenntnisse aufbauen können.

Die Idee eines elementaren Wissensuniversums findet sich bereits in der Antike. Die Griechen gründeten Philosophenschulen, die das damalige Wissen zu strukturieren versuchten. Aus den miteinander konkurrierenden Denkschulen entwickelte sich jedoch nie ein gemeinsames Verständnis davon, was als Grundwissen (oder „Allgemeinbildung“) verstanden werden sollte. In einem Punkt waren die Griechen allerdings der Neuzeit voraus: Sie sahen Lernen nie als eine abgeschlossene Lebensphase, sondern verstanden darunter schon immer eine

Dirk Fox, Stefan Falk

Aufgabe und Sinnstiftung für das ganze Leben.

Die Einsicht, dass das in der Schule Gelernnte nicht für das gesamte restliche Leben ausreicht, setzte sich erst wieder im späten 19. und frühen 20. Jahrhundert durch. Vor allem die rasante technische Entwicklung machte ein ständiges Dazulernen unausweichlich. Die Geschwindigkeit des Wissenszuwachses hat seitdem noch einmal erheblich zugenommen. Inzwischen ist erkennbar, dass nicht nur die Institution Schule dank ihrer langen Innovationszyklen sondern in weiten Teilen auch die Hochschulen mit der Erkenntnisentwicklung kaum noch Schritt halten können. Die Vermittlung technischen Wissens entkoppelt sich daher immer mehr von klassischen Bildungsinstitutionen und findet – befeuert von den noch jungen Möglichkeiten der digitalen Wissensverbreitung – mehr und mehr in sich dynamisch formenden Interessengemeinschaften statt.

Wie das funktioniert, müssen wir euch nicht erläutern – mehr als 2.500 Seiten ft:pedia und ein ftc-Forum mit bald 25.000 Beiträgen sprechen eine deutliche Sprache. Auch hier ist die Beschleunigung des Wissenszuwachses geradezu „mit Händen“ zu greifen, verfolgt man die Entwicklung der Community-Modelle über die vergangenen 20 Jahre. Lebenslanges Lernen im besten Sinne – das sich nicht einmal so anfühlt.

Herzliche Grüße, euer ft:pedia-Team

P.S.: Am einfachsten erreicht ihr uns unter ftpedia@ftcommunity.de oder über die Rubrik *ft:pedia* im [Forum](#) der ft-Community.

Inhalt

Lernen.....	2
Reifen wechsel' dich.....	4
Wiederbelebung des Batteriestabes.....	12
Manometer.....	14
Scorpio, Balliste und Onager.....	23
Schrägseilbrücke und Hängebahn	31
Der Transistor	41
Elektronik-Module (Teil 4)	59
Pianophone.....	71
Digitale Uhr	78
startIDE (9): Betrieb eines motorisierten xy-Tischs.....	83
Micro:Bit (Teil 2).....	90
fischertechnik-Roboter mit Arduino (Teil 1): Smartphone-Steuerung über BLE.....	93

Termine

Was?	Wann?	Wo?
Spielemesse Stuttgart	19./22.11.2020	Stuttgart

Alle Conventions für
2020 sind abgesagt.

Hinweise

Seit Mitte September gibt es einen fischertechnik-Baukasten (558717) zum Buch „[fischertechnik-Roboter mit Arduino](#)“, exklusiv [bei Santjohanser](#) für 249 € (inkl. Versand): 2,7 kg mit 760 Bauteilen ([Bauteilliste](#)).

Impressum

<http://www.ftpedia.de>

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

Autoren: Frank Bruder, Axel Chobe, Stefan Falk, Dirk Fox,
Hans-Christian Funke, Ralf Geerken, Rolf Meingast, Rüdiger
Riedel, Tilo Rust.

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

Tipps & Tricks

Reifen wechsel' dich

Ralf Geerken

Das Sortiment an fischertechnik-Reifen ist ja nun schon recht groß, aber es wird, glaube ich, Zeit für einen Reifenwechsel bzw. Zeit, um mal so einiges umzukrempeln.

Ich betrachte sehr gerne die Dinge auch von der anderen Seite, und so kam ich auf die Idee, einen Gummireifen einfach mal „auf Links“ zu drehen. Das ging bei dem ersten Reifen – Reifen 35 ([142251](#)) für Felge 20 – mit dem ich das versucht hatte, relativ einfach.

Was dabei herauskam, war derart verblüffend, dass ich das mit den anderen weichen Gummireifen ebenfalls ausprobiert habe. Auch wenn bei manchem Reifen dafür ein großer Kraftaufwand und manchmal auch etwas Geduld notwendig waren, so hat sich die Mühe doch gelohnt. Die Reifen sind übrigens alle sehr robust und ich hatte bei nicht einem Reifen das Gefühl, dass er beim Umkrempeln Schaden nehmen könnte.

Das größere Problem bestand darin, für diese „neuen“ Reifen passende Felgen zu finden. Schließlich sollten sie auch auf Achsen passen und hübsche Autos, Trikes, exoterrestrische und sonstige Fahrzeuge vorwärtsstreiben können. Am besten sieht man das auf den Bildern oder man probiert es der Einfachheit halber selbst aus.

Es finden sich bestimmt noch viele andere Verwendungen dieser umgekrepelten Reifen, nicht nur ein funktionierender Betonmischer. Ich bin auf alle Fälle sehr gespannt, was noch so alles aus dieser Idee wird.



Abb. 1: Traktor-Gummireifen 80 Power
Tractors ([106766](#))



Abb. 2: Derselbe durchgekehrt



Abb. 3: Drehscheibe 60 als Nabe



Abb. 4: Gummireifen 65 ([38190](#))



Abb. 5: Derselbe, durchgekehrt



Abb. 6: Aufbau einer Nabe dafür



Abb. 7: Traktor-Gummireifen 60 Pneumatic 3
([121661](#))



Abb. 8: Derselbe, durchgekehrt



Abb. 9: Die Nabe dafür



Abb. 10: Traktor-Gummireifen 50 Power
Tractors ([106767](#))



Abb. 13: Gummireifen 50 weich ([32913](#))



Abb. 11: Derselbe, durchgekehrt



Abb. 12: Die Nabe dafür



Abb. 14: Derselbe, durchgekehrt



Abb. 15: Die Nabe dafür



Abb. 16: Gummireifen 45 CombiMot ([32626](#))



Abb. 17: Derselbe, durchgekehrt



Abb. 18: Zwei Nabenvorschläge dazu



Abb. 19: Gummireifen 30 GrandPrix ([31147](#))



Abb. 20: Derselbe, durchgekehrt



Abb. 21: Die Nabe passt

Der Betonmischer

Diese kleine Betonmischmaschine rüttelt und schüttelt sich wie ihr großes Vorbild. Der Antrieb über das Rastritzel Z10 ([35945](#)) vom Mini-Motor zu dem Reifen 45 ([31018](#))

mit Gummiband ([36051](#)) dient hier also nicht nur als Rutschkupplung, falls der Mischer mal klemmt, sondern gibt der kleinen Maschine auch noch eine gewisse Nähe zur Realität.



Abb. 22: Der Betonmischer



Abb. 23: Draufsicht

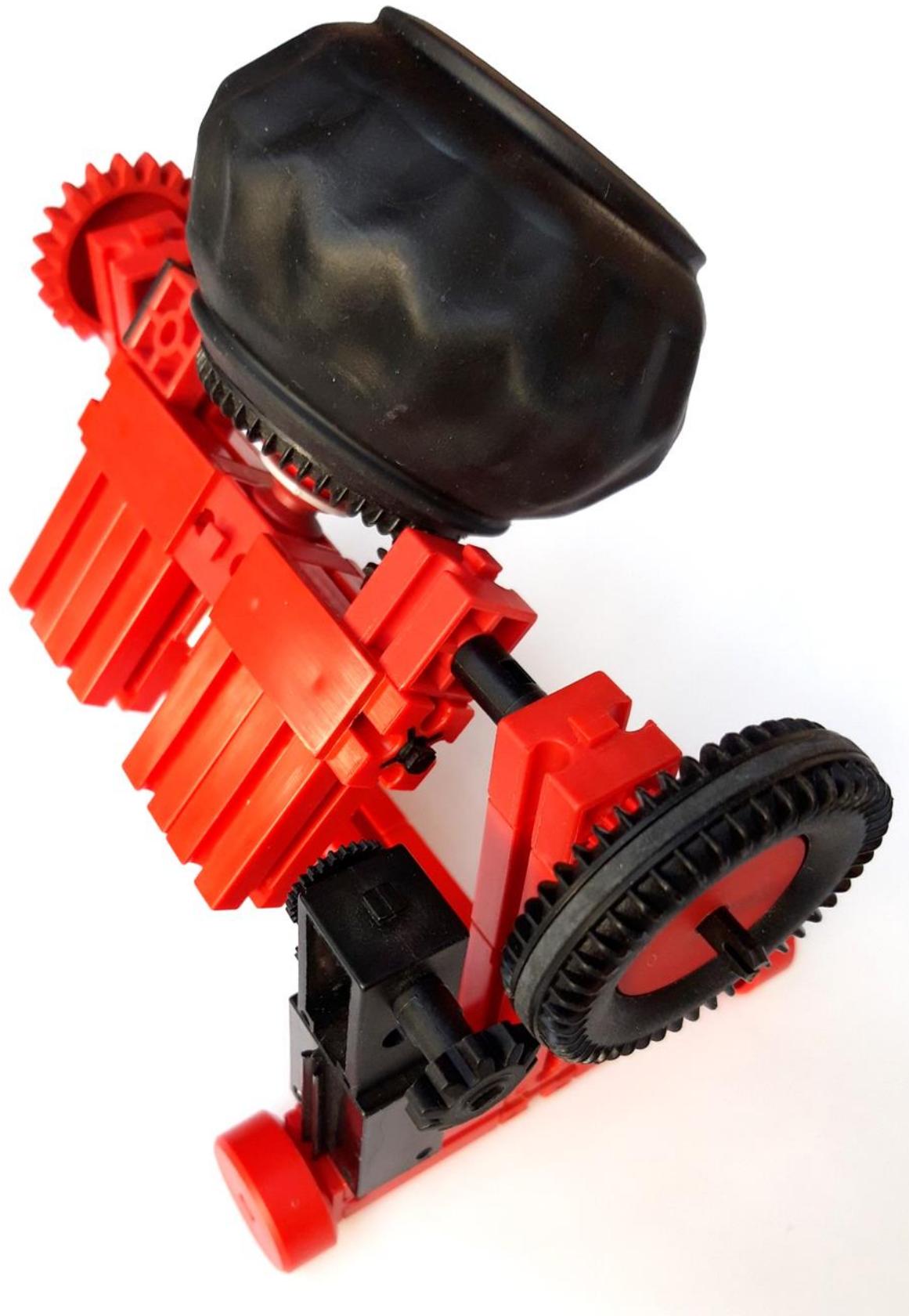


Abb. 24: Ansicht von schräg hinten

Tipps & Tricks

Wiederbelebung des Batteriestabes

Rüdiger Riedel

Der alte Batteriestab konnte mit drei Babyzellen ausgerüstet werden und lieferte damit 4,5 V. Das war selbst für die alten Motoren recht wenig. Zum Wegwerfen ist das Gehäuse aber zu schade – was kann man da tun?

Hintergrund

Die „Babyzellen“ des Batteriestabs (Abb. 1) heißen als Alkali-Mangan-Zellen Typ C bzw. LR14 nach IEC-Norm; drei Stück liefern max. 4,5 V. Als Nickel-Metallhydrid-Zellen heißen sie HR14 und liefern zusammen nur 3,6 V. Damit können wir so gut wie nichts anfangen.



Abb. 1: Der alte Batteriestab ([31041](#))

LED-Taschenlampen gibt es bereits für weniger als 3 €. Wir schrauben so eine auf und finden darin ein Dreierbündel von Mikrozellen. Die heißen oft AAA, aber nach IEC-Norm und als Alkali-Mangan-Zellen LR03; sie liefern damit max. 4,5 V. Nehmen wir Nickel-Metallhydrid-Zellen, dann heißen sie HR03 und liefern zusammen 3,6 V. In den Batteriestab passen aber bequem zwei Stück dieser Dreierbündel hinein, wir müssen nur den verbleibenden Platz überbrücken (Abb. 2).



Abb. 2: Batteriestab mit zwei Einsätzen

Dafür können wir einen Korken nehmen, schneiden ihn passend zurecht und versehen ihn auf beiden Seiten mit Reißzwecken, unter die wir die blanken Enden eines Kupferdrahtes klemmen (Abb. 3).



Abb. 3: Alles sitzt im Batteriestab

Jetzt noch den Deckel aufschieben, fertig.



Abb. 4: Der Batteriestab ist bereit für den Einsatz

Wie am Anfang beschrieben können wir ihn je nach Einsatzzweck mit Alkali-Mangan-Zellen bestücken oder mit Akkus und erzielen so eine Ausgangsspannung von 9 V, für die neuen Motoren, LEDs und Elektronik, oder 7,2 V für die alten Motoren.

Meine Anwendung

Experimentelle Fahrzeuge tun nicht immer das was sie sollen. Da ist es hilfreich zu wissen, wieviel Strom sie während der Fahrt ziehen.



Abb. 5: Betrieb einer Stecklampe

Also nehme ich die Motoranschlüsse von der Fernsteuerung ab und schließe sie über ein längeres Kabel an den Batteriestab an, der mit Strom- und Spannungsmessgerät ausgerüstet ist. Damit kann ich hinter dem Fahrzeug herlaufen und das Fahrverhalten prüfen.

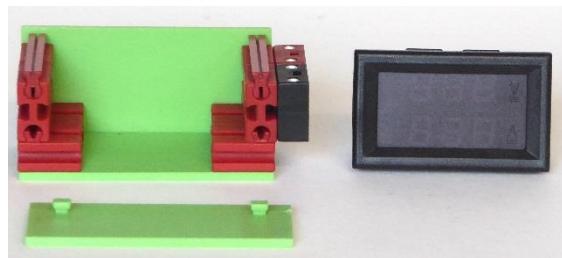


Abb. 5: Betrieb einer Stecklampe

Als Messgerät verwende ich den Typ joy-it VAM10010 [1]. Das Kästchen besteht aus

- acht BS7,5 ([37468](#))
- drei Bauplatten 30x60 2Z (z. B. [152249](#))
- zwei Verbindern 30 ([31061](#))
- fünf Federnocken ([31982](#)) und
- zwei Leuchtsteinsockeln, am besten einem schwarzen und einem roten ([38216](#) und [75315](#)).

Außerdem habe ich vier Kabel einseitig mit Steckern versehen, an die Pins des Messgerätes angelötet (für den Anschlussplan siehe [1]) und von unten an die Leuchtsteinsockel angeschlossen. Der Batteriestab (Polung überprüfen! Wenn ich den Schalter in Abb. 5 nach unten schiebe, ist bei meinem Batteriestab der Pluspol oben) wird an die beiden mittleren Buchsen angeschlossen mit Plus am roten und Minus am schwarzen Sockel. An den beiden äußeren Buchsen wird der Verbraucher angeschlossen.

Referenzen

- [1] Messgerät joy-it, [VAM10010](#).

Pneumatik

Manometer

Stefan Falk

In diesem Beitrag geht es um das Messen von Drücken, insbesondere des Luftdrucks in pneumatischen Modellen. Dafür gibt es Messgeräte – Manometer genannt – und natürlich stellen wir ein solches mit fischertechnik-Mitteln her.

Was genau messen wir hier?

Eine in der Pneumatik zu messende Größe ist der *Luftdruck*, der nichts anderes ist als das Verhältnis der Kraft, die die Luft (oder allgemeiner ein beliebiges Gas oder eine beliebige Flüssigkeit) auf eine Fläche ausübt, geteilt durch eben diese Fläche:

$$p = \frac{F}{A}$$

Der Luftdruck p ist also die ausgeübte Kraft F geteilt durch die Fläche A , über die verteilt diese Kraft ausgeübt wird. Der Sinn dieser Gleichung – im Gegensatz zum reinen Messen der ausgeübten Kraft, ohne die Fläche zu beachten – erschließt sich leicht. Jeder fischertechnik-Pneumatiker lernt schnell, dass man anstatt einen einfach zwei Pneumatikzylinder „parallel“ schalten kann und somit – bei unverändertem Luftdruck des Kompressors – die doppelte Kraft erhält:

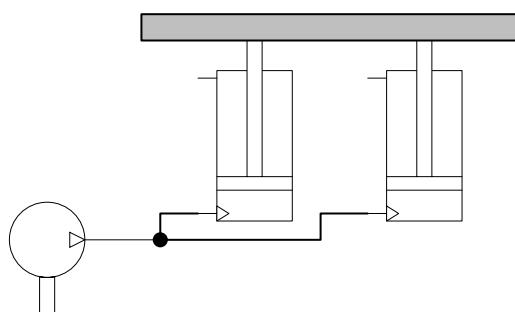


Abb. 1: Zwei Zylinder ergeben die doppelte Kraft

Warum ist das so? Weil derselbe Luftdruck – Kraft pro Fläche – jetzt auf die doppelte Fläche wirkt, nämlich auf zwei anstatt nur einen Kolben. Lösen wir obige Gleichung nach der Kraft auf, ergibt sich mit

$$F = p \cdot A$$

ein proportionaler Zusammenhang zwischen Kraft F und Fläche A bei konstantem Druck p . Die doppelte Fläche bei konstantem Druck ergibt auch die doppelte Kraft.

Mit den SI-Einheiten N (Newton) für die Kraft und m^2 für die Fläche ergibt sich die Einheit für den Druck also als

$$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$$

1 Newton pro Quadratmeter ist 1 Pa (Pascal). Gebräuchlich ist aber auch das Bar, weil 1 Bar ungefähr dem Luftdruck auf der Erdoberfläche entspricht. Es ist einfach ein Newton pro cm^2 , somit gilt:

$$1 \text{ bar} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2} = \frac{100 \cdot 100 \text{ N}}{\text{m}^2} = 10000 \text{ Pa}$$

Verstehen von Druck

Wie immer stehen wir auf den Schultern von Giganten: Die ersten wissenschaftlichen Vorversuche für das, was später zu Barometer und Manometer wurde, führte ein Schüler und Nachfolger des berühmten

Galileo Galilei (1564-1642), der italienische Physiker und Hofmathematiker *Evangelista Torricelli* (1608-1647) aus Florenz durch. Der war ein echtes Multitalent: Seine Forschungen über das Verhalten strömender Flüssigkeiten, Arbeiten zur Infinitesimalrechnung in der Mathematik, die Konstruktion eines der ersten Mikroskope und – deshalb ehren wir ihn hier – seine Erkenntnisse über das Quecksilber-Barometer machten ihn in ganz Europa bekannt.

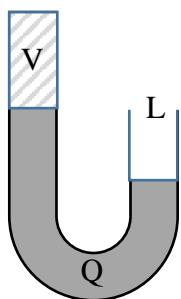


Abb. 2: Funktionsweise eines Quecksilber-Barometers

Man füllt Quecksilber – ein bei Zimmertemperatur flüssiges, schweres Metall – in ein gebogenes, nur einseitig offenes Rohr. Nach dem Drehen des Rohres in die in Abb. 2 gezeigte Lage sinkt das Quecksilber (Q) und hinterlässt im (in der Abbildung links oben) verschlossenen Teil tatsächlich ein Vakuum (V). Die Luft (L) drückt es mit ihrem Luftdruck – proportional zur offenliegenden Fläche des Quecksilbers – nach oben. Am linken Teil des Rohrs kann man nun eine Skala zum Ablesen des Drucks je nach Flüssigkeitsstand anbringen.

Die Idee des Vakuums – des leeren Raums – war den Gelehrten zu dieser Zeit noch zutiefst zuwider. Die „Horror vacui“, die „Abscheu der Natur gegen alles Leere“, ging auf *Aristoteles* (384-322 v. Chr.) zurück und war im 17. Jahrhundert immer noch die unangefochtene wissenschaftliche Meinung. Torricelli widersprach also einer echten wissenschaftlichen und durchaus durch großartige Leistungen verdienten

Autorität und hatte es damit natürlich schwer.

Torricellis Erkenntnisse aber konnte der nicht minder berühmte *Blaise Pascal* (1623-1662) ausbauen. Auch er war ein grandioser Pfiffikus – großartige Beiträge zu Mathematik, Physik, Astronomie und Philosophie stammen von ihm. Und er konnte Torricellis Theorie, dass es der Luftdruck ist, der den Stand eines Quecksilberbarometers bestimmt, durch weiterführende Experimente und Beobachtungen stark stützen.

Dies wiederum nutzte *Otto von Guericke* (1602-1686) für seine überaus einfallsreichen Weiterentwicklungen von Apparaturen und Messgeräten. Ihm gelang es, eine Vakuumpumpe zu konstruieren, und von ihm stammt das in der Physik berühmte Experiment der *Magdeburger Halbkugeln*: Insgesamt sechzehn Pferde schafften es nicht, zwei dicht aneinander gelegte Halbkugeln aus Kupfer, aus denen von Guericke die Luft herausgepumpt hatte, auseinander zu ziehen. Die Verblüffung der Zuschauer – unter ihnen Kaiser Ferdinand III. – war riesig, erst recht, als die Kugeln einfach auseinanderfielen, sobald von Guericke wieder Luft hineinströmen ließ. Und er beschäftigte sich eben nicht nur ausführlich mit dem Über- und Unterdruck von Luft, sondern auch mit Messinstrumenten dafür.

Messgeräte für Drucke

Den Luftdruck eines Kompressors – auf den wollen wir uns im Folgenden konzentrieren – kann mit unterschiedlich konstruierten Messinstrumenten festgestellt werden [1]. Eine hinreichend einfache Variante ist das *Kolbenmanometer*. Wir lassen einen Kolben – einen Pneumatik-Zylinder – gegen eine Feder andrücken und lesen die Strecke, die der Kolben zurückgelegt hat, geeignet ab.

Schon der einfachwirkende Pneumatikzylinder ([133027](#)) von fischertechnik könnte diesen Zweck erfüllen:

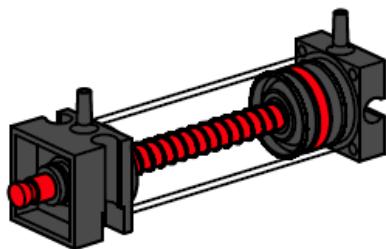


Abb. 3: Einfachwirkender Pneumatikzylinder

Allerdings ist er für kleine Drücke recht schwergängig. Besser geeignet ist der leichtgängigste fischertechnik-Pneumatikzylinder, der *Kompressorzylinder* ([36937](#), mit schwarzer Kolbenstange):

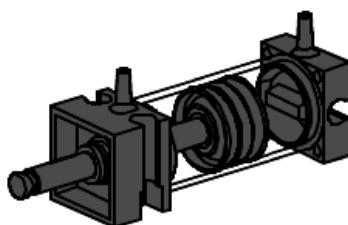


Abb. 4: Der leichtgängige Kompressorzylinder

Wir lassen ihn in folgender Anordnung gegen eine Feder drücken:

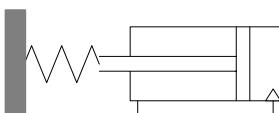


Abb. 5: Zylinder drückt gegen Feder

Nun ist die Kraft, mit der man auf eine (ideale) Feder drückt oder mit der man an ihr zieht, wiederum proportional zu ihrer Auslenkung, also der Strecke, um die sie dabei verkürzt oder verlängert wurde.

Die Kraft, mit der der Zylinder drückt, ist also proportional zum zu messenden Druck, und es ist, da Kraft = Gegenkraft, dieselbe Kraft, die die Feder aufbringt. Definieren wir die folgenden Größen:

A = die wirksame Kolbenfläche des Zylinders

p = der zu messende Druck, der am Zylinder anliegt

L = der Weg, um der sich der Zylinder bewegt und um den die Feder einge drückt wird

D = die Federkonstante = das Verhältnis der Kraft F zur Auslenkung L laut dem *Hooke'schen Gesetz* [2, 3]

Die Kraft, mit der der Zylinder drückt, muss betragsmäßig gleich sein der Kraft, die die Feder aufbringt – dann ist das System im ruhenden Gleichgewichtszustand und bewegt sich nicht weiter:

$$F_{\text{Zylinder}} = F_{\text{Feder}}$$

$$p \cdot A = D \cdot L$$

Damit erhalten wir für den Verfahrweg L in Abhängigkeit von den anderen Größen:

$$L = \frac{p \cdot A}{D} = p \cdot \left(\frac{A}{D} \right)$$

Da A und D Konstanten sind (A ist die immer gleiche Kolbenfläche des Zylinders, und D ist eine inhärente Eigenschaft der verwendeten Feder), ist die wesentliche Aussage dieser Formel, dass die Auslenkung L proportional zum zu messenden Druck ist. Der Umrechnungsfaktor ist einfach der Quotient aus Fläche und Federkonstante.

Das ist für ein Messgerät sehr angenehm, denn wir können dann eine *lineare Skala* verwenden, also eine, in der die abzulesenden Zahlen (der Druck in einer geeigneten Maßeinheit) immer in der gleichen Entfernung zueinander angebracht werden können.

Funktionsmodell eines Manometers

Abb. 6 zeigt den Aufbau der Messstrecke vom Zylinder bis zur Feder. Alles findet auf einem U-Träger 150 Platz. Rechts sitzt, um 5 mm erhöht, der Kompressorzylinder. Seine Kolbenstange steckt in der senkrecht stehenden Nut des Bausteins 30, der über

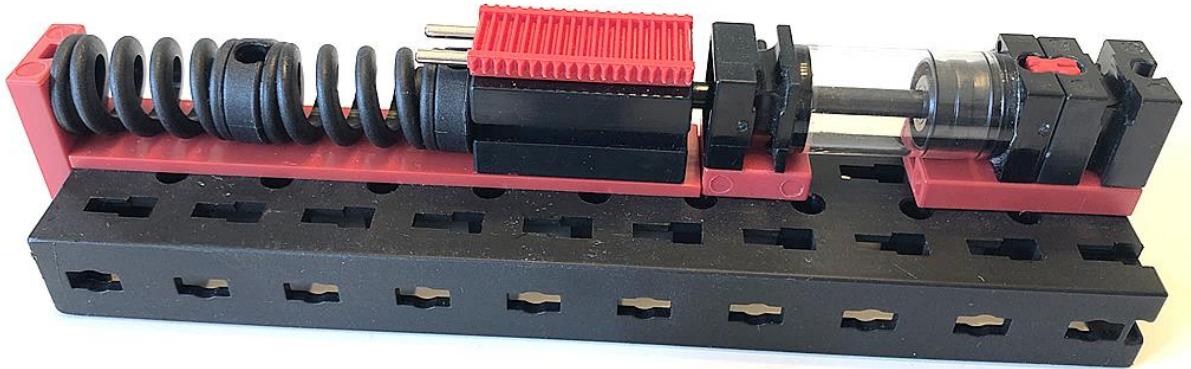


Abb. 6: Der Grundaufbau

zwei Kunststofffedern bis zur „Wand“ in Form eines Bausteins 5·15·30 führt. Die Verwendung von zwei hintereinander liegenden Federn ermöglicht es, den kompletten Verfahrweg des Zylinders auszunutzen. Der Baustein 30 gleitet auf einer Platte 15·90, damit er sich nirgends am U-Träger verhaken kann. Auf dem Baustein 30 sitzt eine fein verzahnte Hubzahnstange 30, zu der wir gleich noch kommen.

Als nächstes kommt ein zusätzlicher Baustein 15 mit zwei Verbindern 15 auf den U-Träger, der unsere Mess-Skala tragen wird:

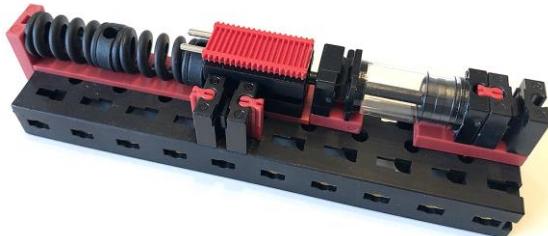


Abb. 7: Ergänzung um den Baustein 15 in der Mitte

Die Anzeige selbst besteht aus den wenigen zusätzlichen Bauteilen aus Abb. 8. Sie werden zum Rundinstrument in Abb. 9 zusammengefügt.



Abb. 8: Bauteile für die Anzeige mit der Mess-Skala

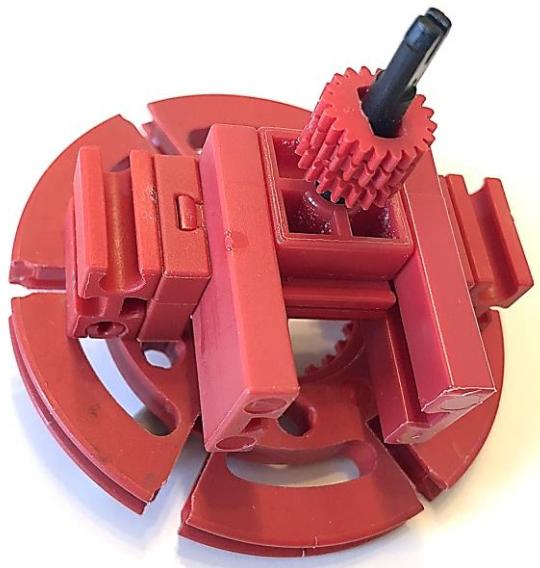


Abb. 9: Die Anzeigeeinheit von hinten unten gesehen

Das drehende Teil der Anzeige besteht aus der Rastachse 30 mit drei S-Riegelscheiben auf der einen sowie einem Rastadapter 20, in der die K-Achse 30 als Zeiger steckt, auf der anderen Seite. Die Drehscheibe als „Skala“ wird über die Kombination von Baustein 5, Baustein 7,5 und Federnocken mit dem mittleren Block verbunden. Der (auf einer Seite flache) Verbinder 15 unten im Baustein 15 mit Bohrung dient dem Einhalten des richtigen Abstands. Die Anzeigeeinheit wird nämlich einfach auf

den Baustein 5 des Basisaufbaus aufgesteckt (Abb. 10 und 11), sodass die Riegelscheiben satt, aber leichtgängig in die Zahnstange eingreifen.

Als Riegelscheiben sollten welche gewählt werden, die stramm auf der Achse sitzen. Zu dritt sorgen sie für eine schlupffreie Drehung der Zeigerachse auch bei schneller Bewegung des Zylinders.

Auf diese Weise erreichen wir, dass sich der Zeiger beim Abrollen der Riegelscheiben auf der Zahnstange proportional zur Auslenkung des Zylinders bewegt und somit die Linearität der Messung erhalten bleibt. Nun bleibt nur noch, den zu messenden Druck über einen Pneumatik-Schlauch der Bodenseite des Zylinders zuzuführen. Er drückt gegen die Federn und dreht dabei die Achse mit dem Zeiger für die Anzeige.

Ein Testaufbau für das Manometer

Um nicht nur qualitativ ablesen zu können, ob nun ein höherer oder geringerer Druck anliegt, sondern tatsächlich Messwerte in Form von Zahlen (z. B. in Bar oder in Pa) zu erhalten, müssen wir das Messgerät noch *kalibrieren*. Das ist technisch gesehen der Vorgang, die Skala des Messinstruments korrekt zu justieren, zu beschriften, kurz:

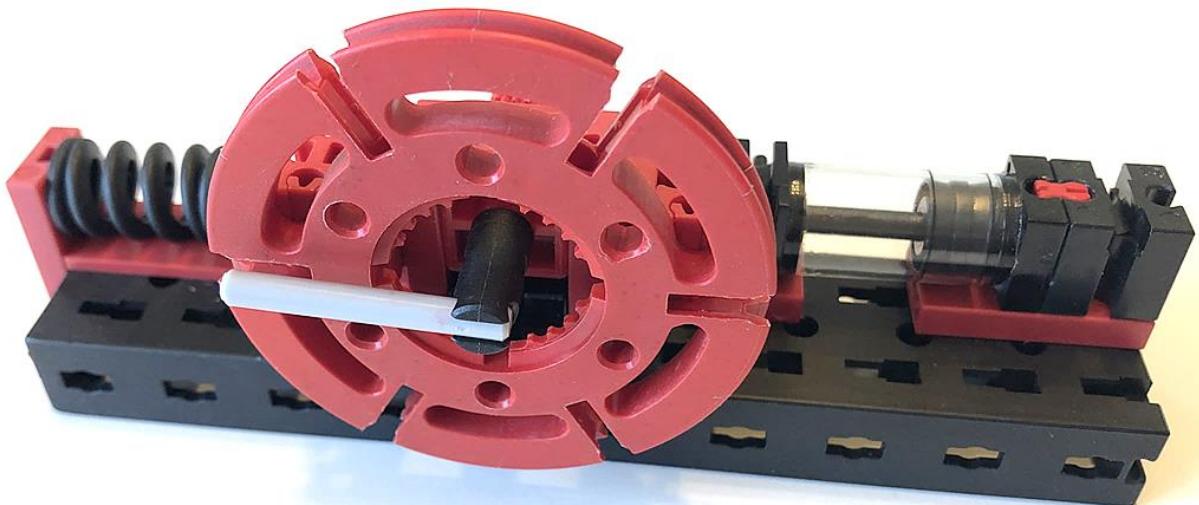


Abb. 10: Das fertige Messinstrument

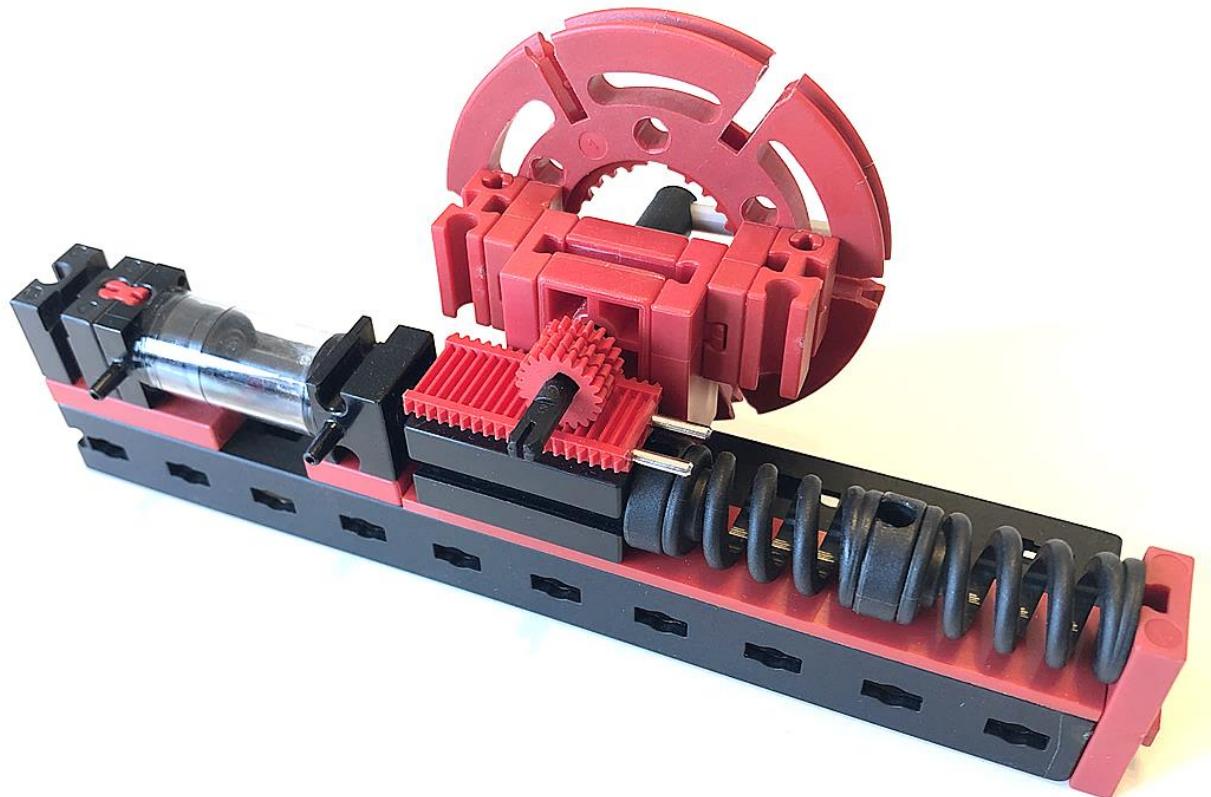


Abb. 11: Das Messinstrument von hinten gesehen

für korrekt abzulesende Messergebnisse zu sorgen. (Nur wenn die Kalibrierung amtlich und damit rechtsgültig vorgenommen wird, spricht man vom *Eichen*. Technisch ist es derselbe Vorgang wie das Kalibrieren.)

Zum Kalibrieren, da hilft alles nichts, brauchen wir ein schon bekannterweise korrekt funktionierendes Messinstrument zum Vergleich. Dazu dient eine kleine Einheit aus Kompressor, Ventil, selbst gebauter Drossel, Drucktank und einem „echten“ Manometer. Die pneumatische Schaltung des Testaufbaus ist nicht kompliziert (Abb. 12). Der Kompressor liefert seinen Druck über ein Handventil (auf das auch verzichtet werden könnte) und eine Drossel in den Drucktank. Durch mehr oder weniger starkes Drosseln können wir also steuern, wie schnell Druckluft in den Tank gelangt.

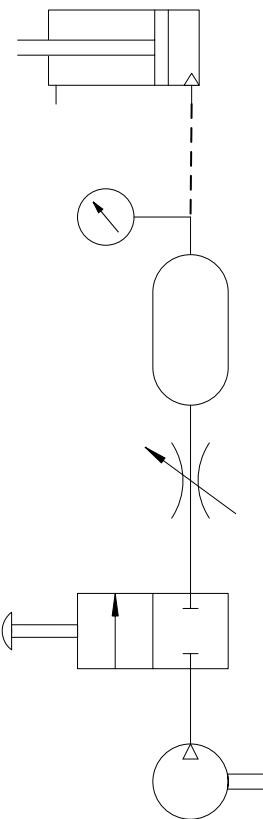


Abb. 12: Schaltbild des Testaufbaus

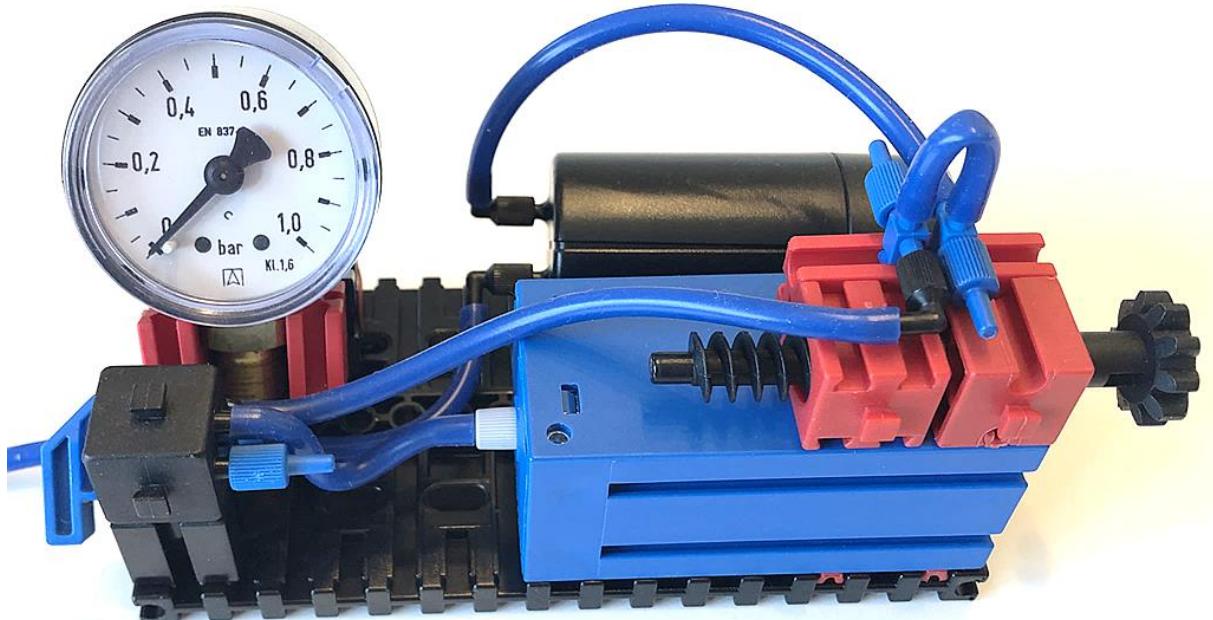


Abb. 13: Der Testaufbau

Die Undichtigkeiten im Restsystem (Anschluss des Manometers und Kompressorzylinder des Messgeräts) genügen völlig, um hinreichend schnell Druckluft ins Freie entweichen zu lassen, sodass wir durch die Einstellung der Drossel den Druck langsam steigern oder verringern können.

Wer keine fertige fischertechnik-Drossel sein Eigen nennt, kann sich aus wenigen Bauteilen leicht selbst eine herstellen. Sie ist fein einstellbar und leichtgängig. ft:pedia-Leser kennen sie vielleicht schon aus [4]. Abb. 14 bis 16 zeigen den Aufbau:

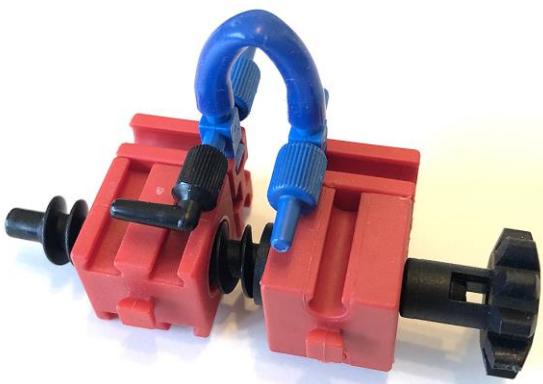


Abb. 14: Die Selbstbau-Drossel von oben

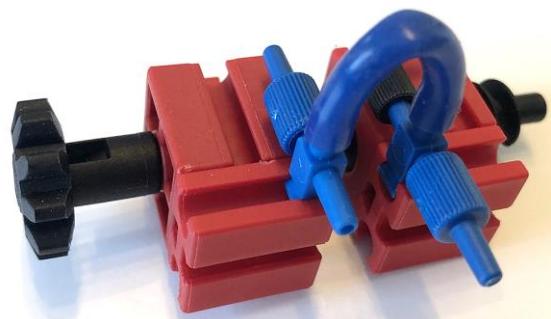


Abb. 15: Die Drossel von der anderen Seite



Abb. 16: Die Unterseite der Drossel

Die Drossel wird mit dem Federnocken auf ihrer Unterseite auf einer Fläche (hier dem fischertechnik-Kompressor selbst) angebracht. Das 30 mm lange Stückchen Schlauch wird durch Drehen am Z10 mehr

oder weniger stark abgeknickt. Auf einer beliebigen Seite lässt man die Druckluft hineinströmen, auf der anderen ist der Ausgang. Die ungenutzten beiden Anschlüsse der T-Stücke werden mit P-Stopfen verschlossen.

Die Kalibrierung – „Wer misst, misst Mist“

Um das Messergebnis des echten Manometers mit dem Zeigerausschlag abzustimmen, wurde ein Video aufgenommen, das sowohl das echte Manometer als auch unser selbstgebautes frontal zeigte. Darin kann man sehr schön in kleinen Schritten vor- und zurückfahren und die beiden Zeigerstellungen ablesen. Das echte Manometer zeigt den Druck in Bar an. Die Skala der Drehscheibe des Selbstbau-Instruments teilte ich willkürlich in je „1“ pro Schlitz ein:

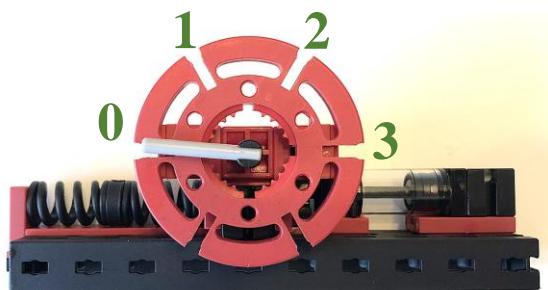


Abb. 17: Willkürliche Skalenteilung in „Einheiten“

Die Bohrungen für Achsen dazwischen entsprechen jeweils 0,5 – 1,5 – 2,5. Bei 3 ist der Endausschlag erreicht; der Zylinder ist dann voll ausgefahren.

Die Messwerte wurden zunächst bei ansteigendem Druck und dann bei abfallendem gewonnen. Heraus kamen die Messergebnisse in Tab. 1. In einem Diagramm aufgetragen zeigt das Abb. 18.

Die Kurve beginnt bei 0 Bar. Der Zeiger wurde so justiert, dass er dann auch auf 0 steht. Bei ansteigendem Druck erkennt man, dass zunächst ein wenig Widerstand überwunden werden musste (auch der

Kompressorzylinder und die ganze Messmechanik unterliegen ja innerer Haft- und Gleitreibung). Die Anzeigewerte stiegen dann aber recht gut linear mit dem tatsächlichen Druck an.

Druck/Bar	Einheiten
0,00	0,0
0,09	0,5
0,15	1,0
0,20	1,5
0,26	2,0
0,32	2,5
0,38	3,0
0,23	2,5
0,19	2,0
0,13	1,5
0,09	1,0
0,04	0,5

Tab. 1: Messergebnisse

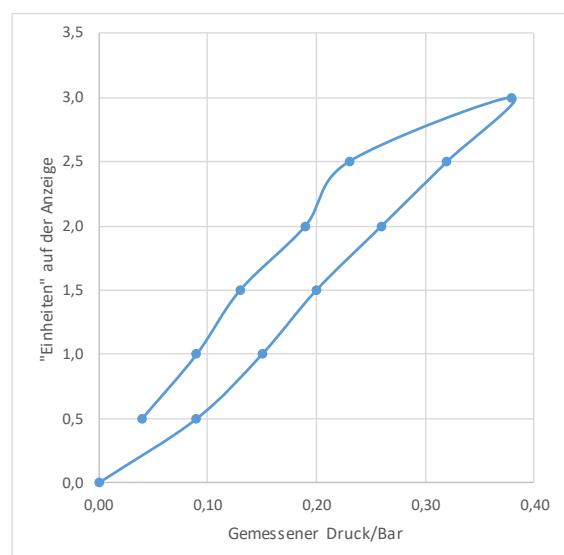


Abb. 18: Grafische Darstellung der Messergebnisse

Interessant wird es, wenn man den Druck langsam wieder senkt. Die Anzeige des Selbstbau-Messinstrumentes folgt dem geminderten Druck nämlich nur verzögert – sie zeigt gegenüber den Ergebnissen bei ansteigendem Druck zu hohe Werte an. Das

liegt natürlich wieder an den Reibungswiderständen im Instrument. Der Druck muss also relativ stark abfallen, bis sich Zylinder und Federn bequemen, die Haftreibung am Ende des Messbereichs zu überwinden und endlich wieder zurückzufahren. Das ergibt die im Diagramm gut sichtbare *Hysteresis* [5], laut Duden „das Zurückbleiben einer Wirkung hinter der sie verursachenden veränderlichen Kraft“. Wir bekommen beim Zurückfahren immer noch 0,5 Einheiten angezeigt, obwohl der tatsächliche Druck schon fast 0 Bar beträgt.

Für eine ungefähre Messung des Drucks genügt der Aufbau aber – und wir haben

immerhin ein Manometer nur aus fischer-technik hergestellt. Ideen und Weiterentwicklungen für genauere Messinstrumente und größere Wertebereiche (der fischer-technik-Kompressor kann ja fast 1 bar Druck liefern) können nun daraus entwickelt werden.

Quellen

- [1] Wikipedia: [Druckmessgerät](#).
- [2] Wikipedia: [Hooke'sches Gesetz](#).
- [3] Wikipedia: [Federkonstante](#).
- [4] Falk, Stefan: [Druckluftsteuerungen \(Teil 3\)](#). In: ft:pedia 3/2014, S. 25.
- [5] Wikipedia: [Hysteresis](#).

Modell

Scorpio, Balliste und Onager

Rüdiger Riedel

Der Bogen als Jagd- und Kriegswaffe wurde bereits in der Steinzeit verwendet und war aus Holz gefertigt. Die Griechen erfanden Torsionskatapulte, die verdrillte Seilbündel aus Sehnen und Haaren zur Energiespeicherung verwendeten.

Geschichte

Ein einfacher (Holz-) Bogen besteht aus dem Griff und den anschließenden elastischen Wurfarmen, an denen die Sehne befestigt ist. Weil ein Pfeil nicht wie ein Geschoss durch explosive Treibmittel beschleunigt wird, sondern durch die Wurfarme, „schießt“ ein Bogen nicht – ein Bogen „wirft“ [2]. So genau will ich hier nicht sein, ich verwende die beiden Worte synonym.

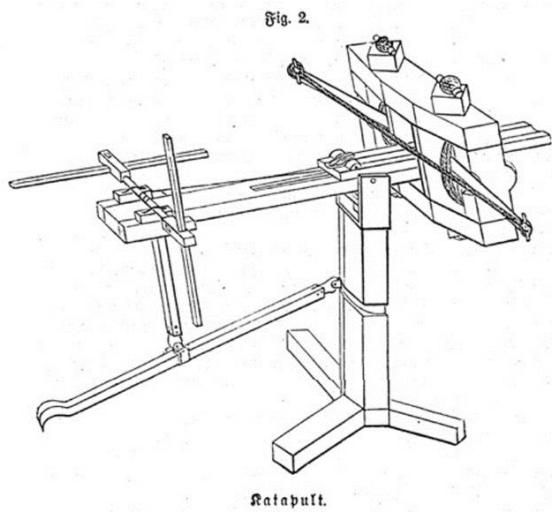


Abb. 1: Katapult [1]

Der römische Ingenieur und Architekt Vitruv (81 bis 15 v. Chr.) beschreibt zwei Arten von Standardkatapulten: Den Scorpio zum Verschießen von Pfeilen bzw. Bolzen und die Balliste für Steingeschosse. Die Bauart war ähnlich, aber während der Scorpio im flachen Bogen schoss, war die

erheblich größere Balliste nach schräg oben gerichtet, sodass der Stein einen hohen Bogen beschrieb.

Der Scorpio

Kernstück des Scorpio in Abb. 2 sind die in Torsionsgehäusen untergebrachten Bündel aus Sehnen und Haaren.



Abb. 2: Mein erster Entwurf eines Scorpio

Wir benutzen Pneumatik-Silikonschläuche ([122363](#)) als Energiespeicher: Je Torsionsgehäuse werden zwei Stück von etwa 9,8 cm Länge oben und unten an Pneumatik-T-Stücken ([31642](#) oder [156042](#)) befestigt; der dritte Anschluss an den T-Stücken erhält ein etwa 0,7 cm langes Stück Schlauch. Dieser

wird in das mittlere Loch einer S-Strebe 30 L ([36912](#), [38538](#) oder [143235](#)) gesteckt.

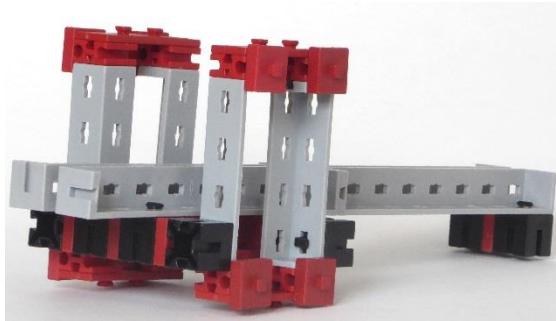


Abb. 3: Beide Torsionsgehäuse halbfertig

Je vier S-Winkelträger 60 (z. B. [36921](#)) werden mit acht Bausteinen 7,5, vier Bausteinen 5 2Z ([37238](#)) und vier Bausteinen 2,5 15 x 45 2+2Z ([38277](#)) zu einem Torsionsgehäuse zusammengesetzt und das Schlauchgebilde entsprechend Abb. 4 eingesetzt.

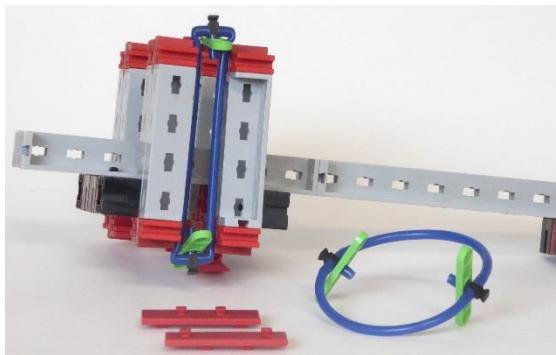


Abb. 4: Aufbau der Torsionsgehäuse

Die vier Bausteine 5 2Z stehen senkrecht und verbinden jeweils zwei BS 7,5 miteinander (Abb. 3).

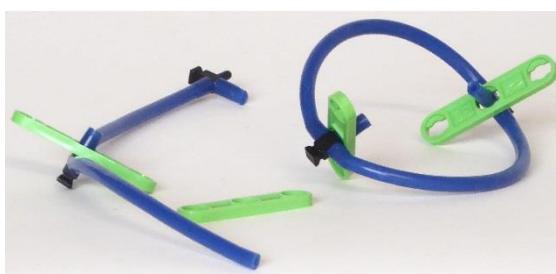


Abb. 5: Die „Seilbündel“

Wir brauchen zwei spiegelsymmetrische Torsionsgehäuse, da je einer der S-Winkelträger um 90° gedreht eingebaut wird, damit

die Wurfarme möglichst weit nach hinten gezogen werden können.

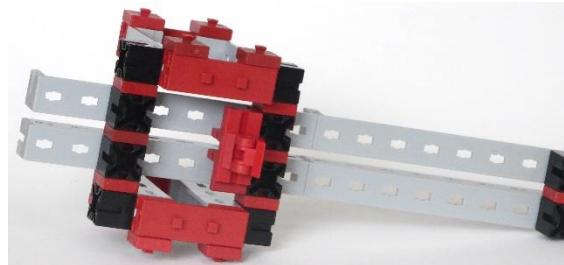


Abb. 6: Die Schussbahn

Vier S-Winkelträger 120 (z. B. [36293](#)) werden paarweise mit Bausteinen 5 2Z und S-Riegelsteinen 15x15 ([32850](#)) zur Schussbahn zusammengefügt. Ebenfalls über Bau steine 5 2Z und S-Riegelsteine 15x15 werden die Torsionsgehäuse daran befestigt.

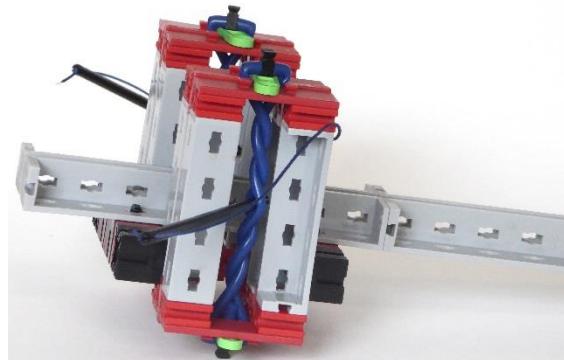


Abb. 7: Torsionsgehäuse

Zwischen die Schläuche werden V-Achsen 98 ([35414](#)) gesteckt, die mit einem Seil ([35039](#)) von etwa 32 cm Länge verbunden werden. An jedem Ende versehen wir das Seil mit einem Knoten; die Seilenden werden in die Slitze der V-Achsen gezogen.

Die Vorspannung erreichen wir durch zunächst drei halbe Umdrehungen der S-Streben 30 oben und unten. Damit sind die Torsionsgehäuse für erste Versuche einsatzbereit.



Abb. 8: Spannvorrichtung

Eine Rastachse 75 ([35087](#)), eine Seiltrommel 15 ([31016](#)) mit zwei Klemmringen Z36 m0,5 ([31020](#)) und zwei Rast-Gelenkkurbeln KR12 ([35088](#)) werden in zwei Bausteinen 15 mit Bohrung ([32064](#)) gelagert. Statt einer Sperrklinke wird hier eine Bremse eingesetzt, bestehend aus einem Baustein 5 15x30 ([35049](#)), einem BS 7,5, einer Federnocke ([31982](#)) und einer Kufe ([31602](#)) (Abb. 8). Der Haken an der Sehne besteht aus einem Schlauchanschluss D4 abgewinkelt ([163203](#)), einem BS 7,5 und einer Federnocke.

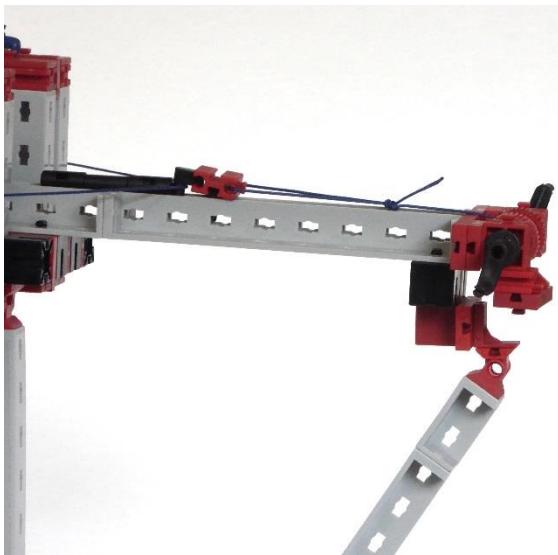


Abb. 9: Bolzen, Haken und Spannseil

Mit einer Gelenkwürfel-Zunge ([31426](#)) und einer Gelenkwürfel-Klaue 7,5 ([31436](#)) setzen wir die Schussbahn auf ein Dreibein mit Stütze zur Höhenverstellung.



Abb. 10: Bolzen

Als Pfeile oder Bolzen verwende ich z. B. eine Kunststofffachse 30 ([38413](#)) mit zwei Klemmbuchsen 10 ([31023](#)) oder eine Rastachse 30 ([35063](#)) mit zwei Rastkupplungen 15 ([35073](#)). Letztere habe ich noch mit einer Lagerhülse 15 ([36819](#)) verschönert.

Verbesserter Scorpio

Wie wir in Abb. 7 sehen, gehen die Wurfarme im Ruhezustand zu weit nach hinten. Außerdem müssen sie immer wieder in die horizontale Lage (Abb. 8) ausgerichtet werden.



Abb. 11: Verbessertes Torsionsgehäuse

Zwei wesentliche Verbesserungen sind die Führung der Wurfarme durch zwei Bauplatten 30x45 3Z ([38248](#)) und die Begrenzung der Bewegung durch zwei BS 5, eine Bauplatte 15x30x3,75 1N ([32330](#)) sowie Federnocken. Hierfür ersetzen wir einen S-

Winkelträger 60 durch zwei BS 30 (in Abb. 4 und 7 der vordere Linke). Alles weitere erfolgt wie oben beschrieben.

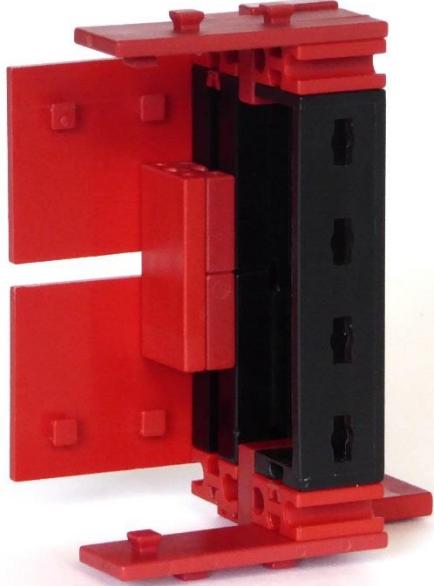


Abb. 12: Geänderter Aufbau

In Abb. 2 habe ich das Gerät mit einem Seilzug gespannt, wie man es auf Abb. 1 erahnen kann. Schauen wir aber genauer hin und berücksichtigen die Beschreibungen in [3], dann sehen wir: Gespannt wurde die Sehne oft mit der kompletten Schussbahn.

Dies und die verbesserten Torsionsgehäuse führen zu Scorpio Nr. 2.



Abb. 13: Verbesserte Ausführung des Scorpio in gespanntem Zustand

Die Führungsschiene besteht aus neun BS 30 und einem nach unten gerichteten BS 15, damit vorne und hinten an der Schiene Nuten sind. Dieser befindet sich zwischen den beiden letzten BS 30 rechts. In die obere Nut der Bausteine schieben wir sechs Verbinder 30 ([31061](#)), zwei Verbinde 45 ([31330](#)), jeweils mit der runden Seite nach oben, sowie einen Verbinder 15 am rechten Ende mit der flachen Seite nach oben. Das ergibt eine bessere Führung des Zugseiles. Die Reihung ist von links nach rechts: ein Verbinder 45, sechs Verbinder 30 und der Verbinder 5. Auf diese Weise werden seitliche Verschiebungen der Bausteine verhindert.



Abb. 14: Führungsschiene unten und Schieber oben

Rechts und links sind jeweils drei Winkelsteine 10x15x15 ([38423](#)) zur Unterstützung des Schiebers. Unten, etwa 45 mm vom linken Ende entfernt, befindet sich die Kombination aus zwei BS 15 und dazwischen einem Baustein mit zwei Zapfen. Weiter sitzen unten zwei Gelenkwürfel ([31426](#) + [31436](#)) zur Verbindung mit dem Ständer.

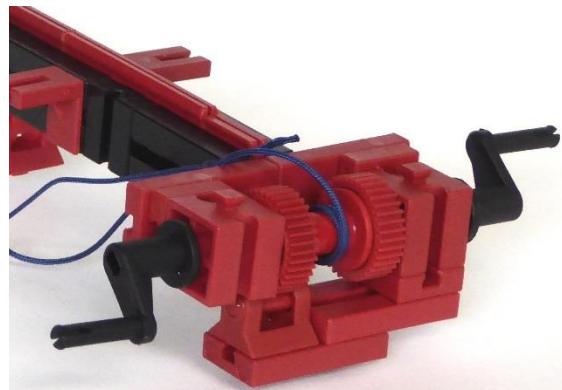


Abb. 15: Spannmechanismus

Zur Spannung des Katapults wird der Schieber mit dem Seilzug nach Abb. 15 und 16 zurückgezogen. An einem Verbinder 30 sitzen zwei Bausteine 5 15x30 ([35049](#)), daran je ein BS 5 und daran wiederum je ein Baustein 15 mit Bohrung ([32064](#)). Aus einer Rastachse 75 ([35087](#)), zwei Rast-Gelenkkurbeln KR12 ([35088](#)) und einer Seiltrommel 15 ([31016](#)) mit zwei Klemmringen Z36 m0,5 ([31020](#)) wird der Mechanismus zusammengebaut.

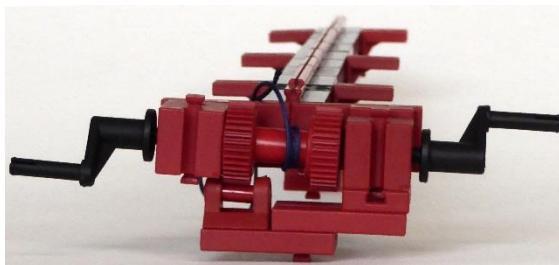


Abb. 16: Führungsschiene mit Kurbeln

Die Bremse der Seiltrommel besteht aus zwei Bausteinen 5 15x30, einer Gelenkwürfel-Klaue ([31436](#)), darin zwei Abstandsringe 3 ([31597](#)) und eine Kunststoffachse 15 (Seilklemmstift, [107356](#)).



Abb. 17: Der Schieber oder Schlitten

Den Schieber bauen wir aus vier S-Winkelträgern 120 zusammen mit je zwei Streben 120 und 45 oder 60 dazwischen sowie vier S-Riegeln 8 ([36457](#)).



Abb. 18: Auslöser

Der Auslöser für die Sehne bzw. den Bolzen sitzt an zwei Lenkhebeln 15 ([38473](#)) und einer V-Achse 34 Clipachse ([32870](#)) mit zwei Klemmbuchsen 5 ([37679](#)).



Abb. 19: Einzelheiten des Auslösers

Weiterhin brauchen wir drei BS 7,5, einen Winkelstein 10x15x15, zwei Schlauchanschlüsse D4 abgewinkelt ([163203](#)), eine Klemmkupplung 20 ([31024](#)) als Handgriff und zwei Federnocken. Links in Abb. 18 und 19 erkennt man eine V-Achse 20 Rastachse ([31690](#)); sie wird auf der anderen Seite von einer Klemmbuchse gesichert. In diese Achse wird die Schlinge vom Zugseil eingehängt (Abb. 15).

Die Balliste

Die Balliste ist ähnlich konstruiert wie der Scorpio aber meistens deutlich größer. Das Gestell des Scorpio ist etwa 1,2 m hoch, dagegen kann eine Balliste mehr als dreimal so hoch sein.



Abb. 20: Balliste

Sie ist auf große Reichweite ausgelegt, deshalb schießt sie in steilerem Winkel, und sie verschießt schwere Speere oder bis etwa 40 kg schwere Steinkugeln (die haben einen Durchmesser von etwa 30 cm).

In den Abb. 20 und 21 sehen wir ein waagerechtes Kästchen am Gestell, darin können die Bolzen aufbewahrt werden.

Der Schussvorgang eines Scorpio oder einer Balliste umfasst die folgenden Schritte:

1. Der Schlitten oder Schieber wird nach oben bzw. nach vorne zur Sehne geschoben und diese wird eingehakt.
2. Der Schlitten und mit ihm die eingehakte Sehne werden mit einer Winde am Ende der Führungsschiene zurückgezogen; die Sehne zieht dabei die Wurfarme zurück, welche wiederum die Sehnenstränge weiter verdrehen und so die Energie speichern.

Sperrklinken arretieren die Winde, so dass sie nicht zurück schnellt.

3. Ist die gewünschte Spannkraft erreicht, wird die Kugel bzw. der Bolzen auf den Lauf des Schlittens gelegt.

4. Der Richtschütze löst die Sperre aus und gibt die Sehne frei. Die Kugel oder der Bolzen werden über den Schlitten fortgeschleudert.

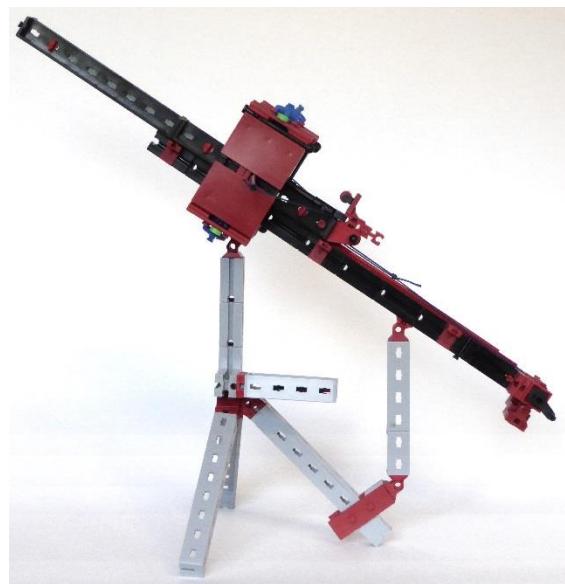


Abb. 21: Balliste im Ruhezustand

Der Onager

Für Belagerungen hatten die Römer ein einarmiges Katapult, das über Entfernungen von 300 bis 400 m Steine und mit „Teufelszeug“ gefüllt Tongefäße in hohem Bogen verschoss.

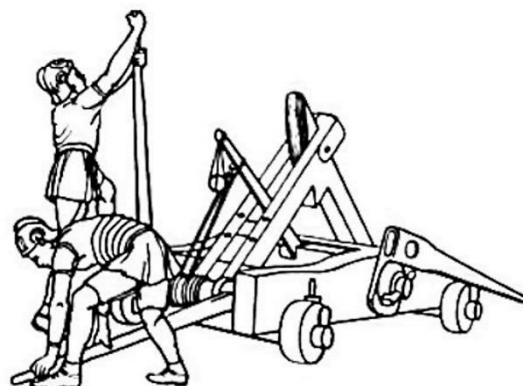


Abb. 22: Der Onager – Wildesel [6]

In Abb. 23 sieht ihr ein einfaches Modell eines Onagers ohne Spannsystem, in Abb. 24 nach dem Abschuss.

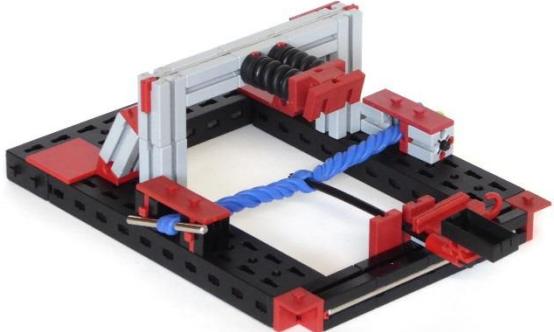


Abb. 23: Onager gespannt

Der Grundrahmen besteht aus drei U-Trägern 150 ([32854](#)) und vorne aus vier BS 30 und zwei V-Bausteinen 15 Eck ([38240](#)). Die BS 30-Zeile wird ebenso wie oben der Prellbock mit einer Metallachse verstärkt. Zum Abbremsen des Wurfarmes dienen zwei Kunststoff-Federn.

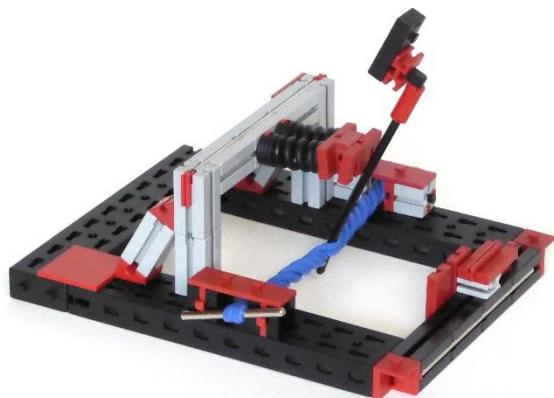


Abb. 24: Wurfarm am Prellbock gebremst

Der Pneumatik-Silikonschlauch ist 62,5 cm lang (wir verwenden hier nur einen) und wird doppelt genommen. Auf einer Seite wird er von einer Metallachse 50 gehalten, auf der anderen Seite analog zum Scorpio von einem Pneumatik-T-Stück in einer S-Strebe 30 L.

Als Sperre gegen das Zurückschnurren dienen vier Federnocken. Auf der linken Seite sind sie verschiebbar, so dass sich die S-Strebe leichter umdrehen lässt.

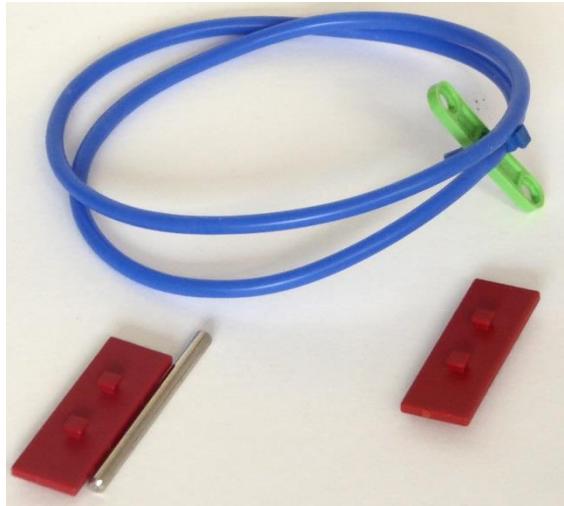


Abb. 25: Der Torsionsschlauch und Halteteile

Das Schloss für den Wurfarm besteht aus einem S-Scharnier ([36329](#)), einem Baustein 5 15x30 ([35049](#)) und einem Verbinder 30 ([31061](#)). Der Baustein 5 15x30 wird rechts herunter gedrückt, der Wurfarm unter den etwas herausstehenden Verbinder geklemmt und als Sperre ein Seilhaken 30 ([31025](#)) untergeschoben. Zum Abschießen wird dieser einfach herausgezogen.

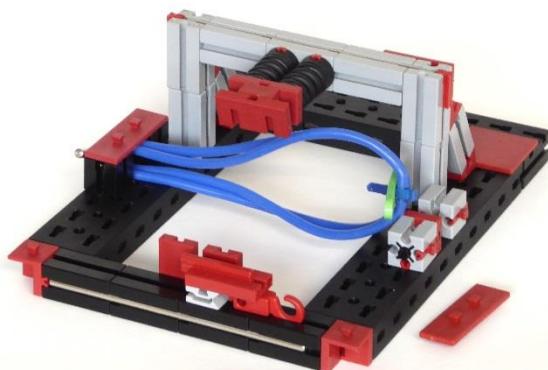


Abb. 26: Der Torsionsschlauch ist gelockert

Der Silikonschlauch ist in Abb. 23 auf beiden Seiten mit sieben halben Umdrehungen gespannt. Als Löffel habe ich ein Anschlussplatten-Gehäuse ([152059](#)) verwendet. Im Original (Abb. 22) wurde gern eine Schlinge benutzt, um die Reichweite zu erhöhen.

Quellen

- [1] Meyers Konversationslexikon: *Katapult*. 9. Band: Irdeeen – Königsgrün. Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig und Wien, Vierte Auflage, 1885-1892.
- [2] Wikipedia: [Bogen \(Waffe\)](#).
- [3] Alan Wilkins: [Roman Artillery at the Roman Army Museum](#). Blog-Beitrag vom 17.04.2020. Vindolanda Charitable Trust.
- [4] Forum „Rund um die Römer“: [Die römische Artillerie](#). die-roemer-online.de.
- [5] Brigitte Cech: *Technik der Antike*. Theiss Verlag 2012, S. 204 ff.
- [6] Wikipedia: [Onager](#).

Modell

Schrägseilbrücke und Hängebahn (Teil 1)

Tilo Rust

In diesem Zweiteiler stelle ich mein Großprojekt vor, das eigentlich zwei Projekte umfasst. Zum einen die Brücke als Bauwerk, zum anderen den Antrieb des Fahrzeugs mit gegenläufigen Seilen und einer elektromechanischen Regelung. In diesem Projekt sind einige technische Raffinessen versteckt, die bei erster Betrachtung nicht erkennbar sind – hier aber in den Mittelpunkt gestellt werden. Der zweite Teil des Beitrags wird sich mit dem Seilantrieb, der Regelung sowie Energiemanagement und Fernbedienung beschäftigen.

Die Challenge

Mein Sohn Jan (damals sieben Jahre alt) wünschte sich eine Brücke über unseren Gartenteich. Als gestalterisches Vorbild wollte er eine Brücke ähnlich jener Schrägseilbrücke von Speyer über den Rhein. Dazu legte er mir sogar eine Entwurfszeichnung vor. Er begann selbst zu bauen und zu experimentieren. Nicht lange und die Strecke von 90 cm stand stabil im Garten. Da noch Teile übrigblieben, ver-

größerten wir die Spannweite und entdeckten, dass wir an der Statik arbeiten mussten. Jan ist ein Experte in Sachen Statik. Und so verstrebte er den Turm vorbildlich.

Da aber Gigantismus bekanntlich keine Grenzen kennt (mein Wahlspruch) wurde die Brücke größer und größer... Bis wir in der Endversion eine freie Spannweite von 340 cm überbrückten, die Türme 160 cm hoch und das Bauwerk über alles 520 cm maß.

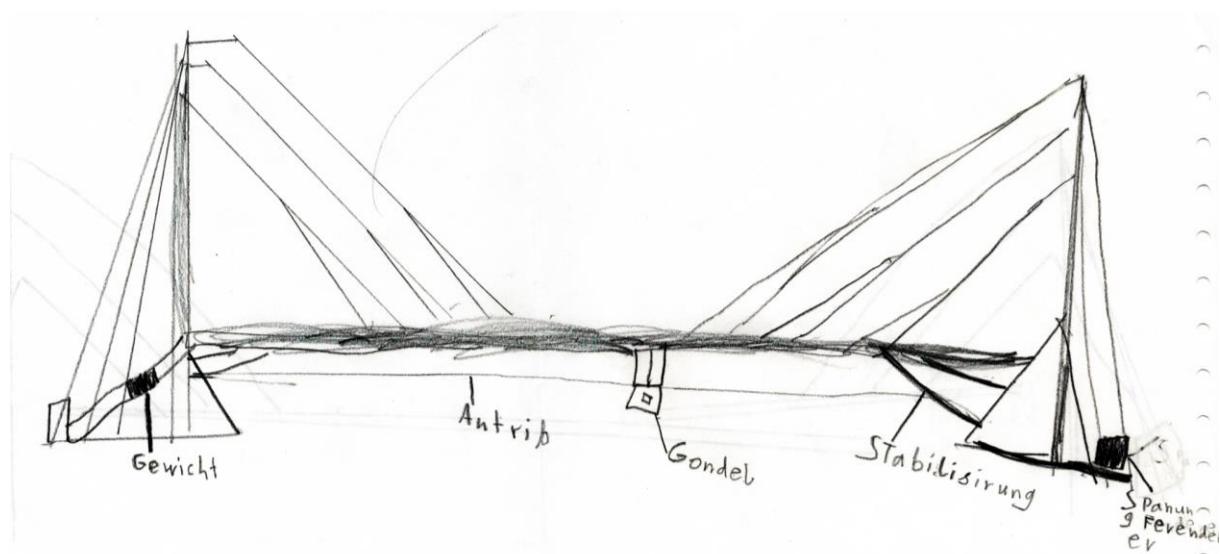


Abb. 1: Der Originalentwurf meines Sohnes Jan (7) zeigt schon viele Details, die wir später genau so umsetzen konnten. Auch die Gondel (siehe Teil 2) ist bereits berücksichtigt.

Das Konstruktionsprinzip

Bei einer Schrägseilbrücke wird die Brücke (Fahrbahn) an schrägen Seilen gehalten. Hinter den Türmen sind diese landseitig im Grund fest verankert. Die Last wird so auf eine rein senkrechte Kraft in den Turm abgeleitet.

Dies ist auch bei unserem Bauwerk der Fall.

Die Besonderheit aber ist, dass wir den oberen Turmabschnitt landseitig nach hinten kippen lassen. Damit trägt sein Gewicht die Brücke zum großen Teil mit, was zusätzlich durch eine Flaschenzug-Konstruktion erreicht wird. Solche Brücken gibt es tatsächlich. (Beispiel: [Puente del Alamillo](#), Sevilla.)

In Abb. 2 zeigen die sechs Teilbilder die Theorie des Brückenbaus:

- ① Die Schrägseilbrücke ist aufgebaut wie ein Kran: Die Last der Fahrbahn wird über den Turm in das Gegengewicht geleitet.
- ②③ Das Gegengewicht kann erheblich reduziert werden, wenn das Gewicht des Turmes mit in die Balance einbezogen wird.
- ④ Bei einer Brücke wird das Gegengewicht des Kranes durch einen Erdanker ersetzt. Gleichzeitig haben wir eine andere

Seilkonstruktion gewählt. Nun muss der Oberträger aber nicht nur druckstabil, sondern auch biegestabil sein.

⑤ Zusätzliche Erdkabel stabilisieren den Oberträger gegen Durchbiegung.

⑥ Bei der finalen Konstruktion werden alle Lasten der Fahrbahn über den Mast in den Boden abgeleitet. Dabei entstehen Schubkräfte, welche die Fahrbahn zum Turm drücken – sie werden durch den zweiten „Kran“ abgefangen (die Fahrbahn also auf Zug belastet). Dafür muss der Turm nach hinten abgestützt werden.

Zwei Kräne

Nun könnte man die Brücke auch unter anderem Winkel betrachten – dann könnte man sie als „Zwei Kräne, die sich an der Spitze des Auslegers berühren“ bezeichnen.

Und tatsächlich: Wenn man die Fahrbahn in der Mitte teilt, passiert – nichts!

Die Kräne halten die Fahrbahn-Teile wie ihren Ausleger. Dabei werden Belastungen aufgrund der schrägen Seile in die Horizontale umgelenkt und die Fahrbahn so gegen den Mast gedrückt. Das ist der Grund, warum eine Fahrbahn druckstabil in der Längsrichtung sein muss.

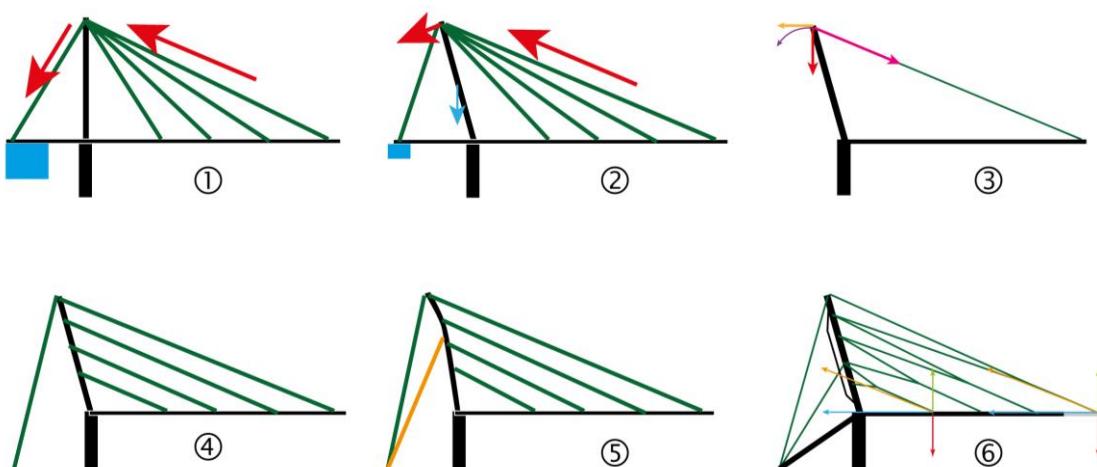


Abb. 2: Zur Theorie der Brücke

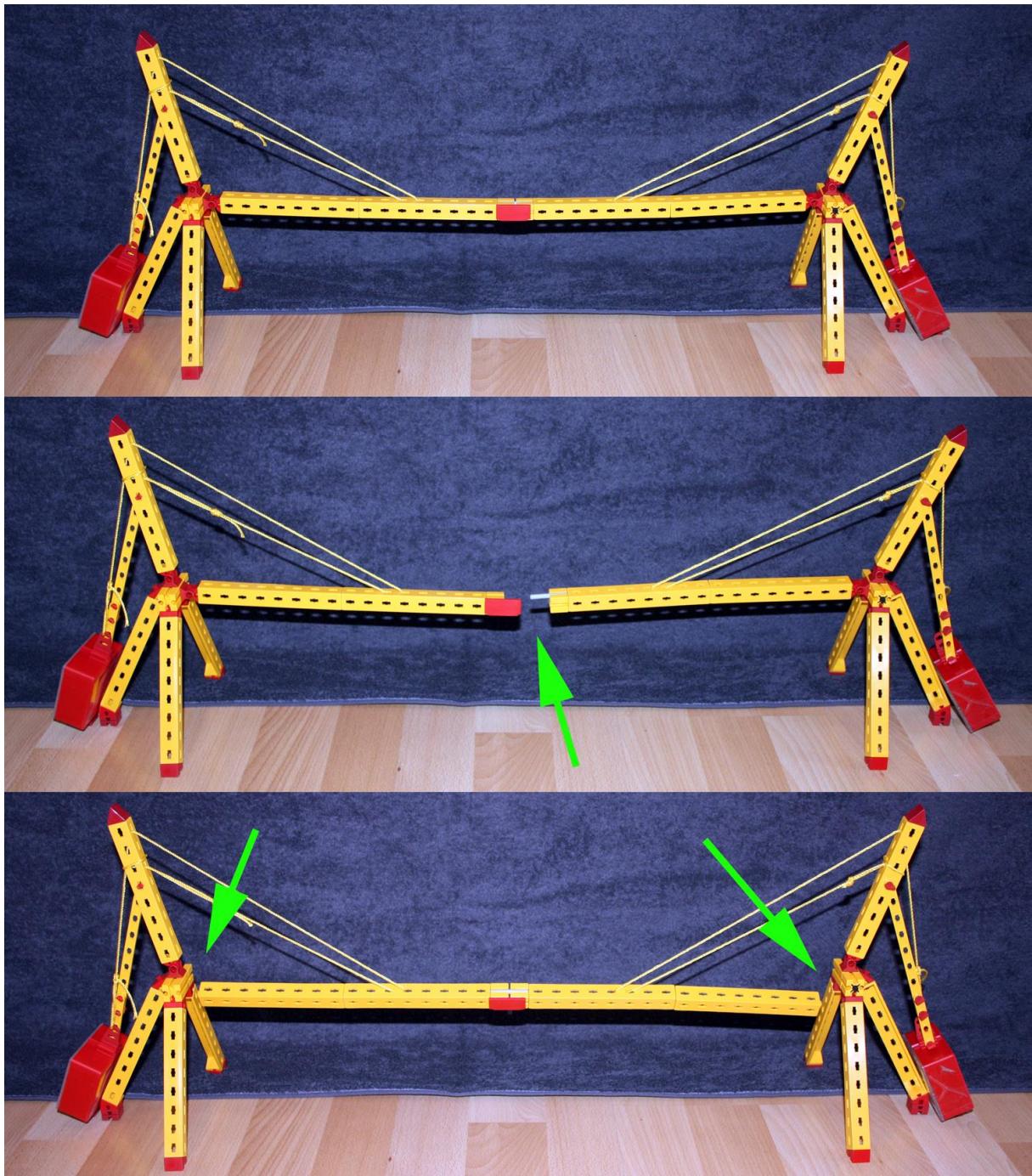


Abb. 3: Die Brücke besteht aus zwei symmetrischen Kränen. Zieht man sie auseinander, bleibt das System dennoch stabil. Sowohl beim Trennen in der Fahrbahnmitte (zwei Kräne mit Ausleger, mittleres Bild) als auch beim Entfernen der Auflagelager (unten).

Selbst der Gegenversuch gelingt: Hakt man die Fahrbahn an den Lagern am Mast aus, so scheint sie an den Seilen zu schweben – die Schrägseile ziehen die Fahrbahn gegenseitig zum eigenen Mast.

Höhenunterschied

Eine Besonderheit fällt kaum auf, wenn man die Brücke nicht im Ganzen sieht: Die Bergstation steht höher als die Talstation. Grund dafür ist in unserem Garten zu

finden: Die Terrasse liegt ca. 9 cm niedriger als der Rasen.

Dadurch müssen die Obertürme unterschiedlich gekippt werden und die Schrägsäle unterschiedlich lang sein. Da aber die Fahrbahn an den Stationen möglichst waagerecht ankommen sollte, wurde die Fahrbahn labil (also nicht als Kastenkonstruktion) ausgeführt. Das brachte uns zur Idee, die Bodenanker der Tragseile so zu gestalten, dass man mit wenigen Handgriffen die Seillängen millimetergenau einstellen kann. Und daraus wiederum entsteht die Option, die Bergstation bis zu 40 cm höher zu positionieren und dennoch das Bauwerk stabil zu halten. In diesem Fall biegt sich die Fahrbahn erheblich, doch durch die Justierung der einzelnen Seillängen ist das kein Problem bei der Auslastung. (Später sollte sich diese Option als Grund gegen ein umlaufendes Antriebsseil herausstellen.)

Bei jedem Aufbau des Modells an einem anderen Ausstellungsort müssen die Spannseile mit diesem Block nachgespannt werden. (In der Realität wird eine Brücke nicht transportiert, daher ist solch eine Vorrichtung nicht vorhanden – die Seile sind fest im Grund eingelassen.)

Die Tragseile sind hinter dem Turm mit dem Block in Abb. 4 (hier die Bergstation) als Bodenanker auf der Bauplatte befestigt. Sie kommen im Bild von links oben aus dem Oberturm und führen auf einzelne Achsen bzw. Spulen, die jeweils mit unterschiedlichen Zahnrädern als „Anfasser“ leicht gedreht werden können. Blockiert werden sie mit verschiebbaren Bauteilen, die in die Zahnräder greifen. So lässt sich jedes der vier Seile millimetergenau in der Länge anpassen und damit nicht nur ein Höhenunterschied der Stationen ausgleichen und die Spannung auf der Fahrbahn und dem Turm verteilen, sondern auch das genaue Fahrbahnprofil erstellen.

Die Last wird im Block mit insgesamt elf Nuten in die Bauplatte eingeleitet; der Block selbst ist mit Verbindern und Stahlachsen so weit wie möglich versteift. Links am Block sieht man eine der LED zur Bauwerksbeleuchtung.

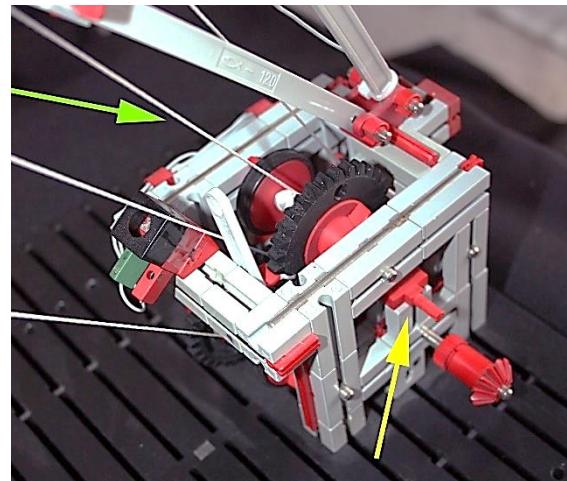


Abb. 4: Die Tragseile am Bodenanker

Lose Lager

Da bei unserer Konstruktion die Last der Fahrbahn in Schubkräfte längs der Fahrbahn gewandelt wird, wird ein Fahrzeug, das später als Gondel an der Brücke hängt, unterschiedliche Last auf die Türme erzeugen, wenn es sich bewegt. Daher müssen die Enden der Fahrbahn an beiden Enden beweglich aufgehängt werden.

Wir realisieren dies mit Alu-Profilen, die in zwei Winkelachsen 90° ([31035](#)) eingeschoben sind. So kann sich das Fahrbahnende nicht nur längs bewegen, sondern auch nach oben und unten (Durchbiegung), aber nicht seitlich ausweichen.

Die Fahrbahn (kommt von links unten, Abb. 5) ist in Längsrichtung durch die gleitenden Winkelachsen 90° (blauer Pfeil) geführt. Diese kippen in den doppelten BS15 mit Loch. Bevor wir diese Notwendigkeit erkannten, war sie mit einer durchgehenden Achse in der Ebene (magentafarbene Linie) fixiert.

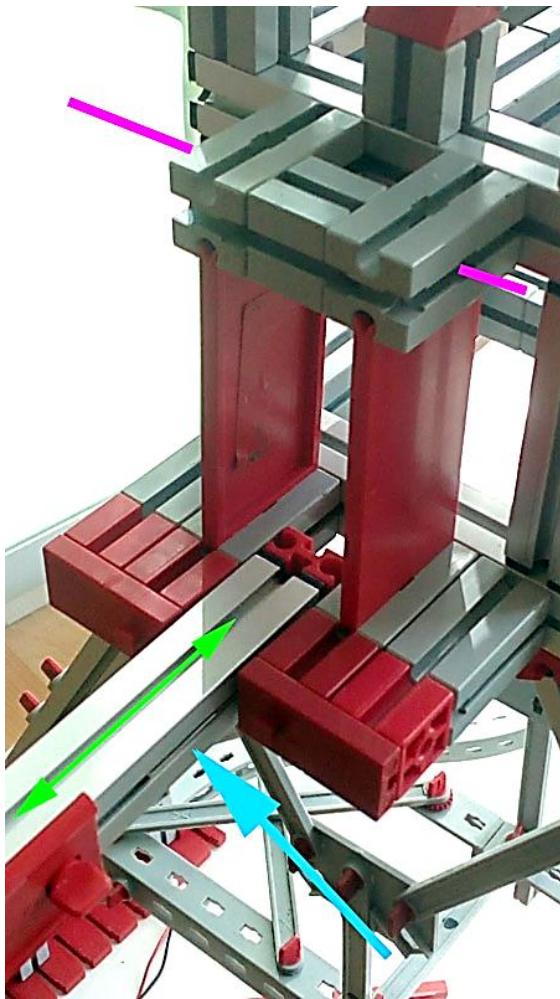


Abb. 5: Lose Lager

Optimierungen

Als die Türme größer wurden und die Fahrbahn länger, war es nötig, die Winkel der Seile besser zu gestalten. Ziel war es, am Oberturm die Lager gleichmäßig möglichst weit über die Fahrbahn zu heben.

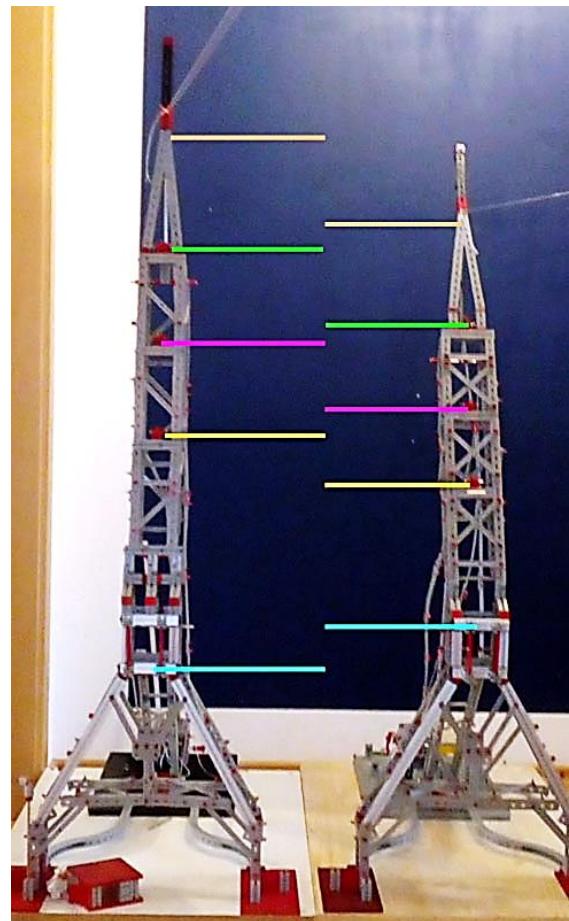


Abb. 6: Optimierter (links) vs. ursprünglicher Turm (rechts) von der Fahrbahnseite aus gesehen

Abb. 6 und 7 zeigen die ursprüngliche Version des Turms (rechts) und die optimierte, größere (links) mit Markierungen, die zeigen, in welcher Höhe sich die Seile befinden und (in Cyanblau) die Fahrbahn. Damit konnte eine größere Spannweite realisiert werden. Die geschwungenen „Gabeln“ am Boden verbinden die Türme mit der hinteren Stütze – sie sind nicht wirklich nötig, aber das Design hat Jan so gefallen, dass wir es dran ließen.



Abb. 7: Optimierter (links) und ursprünglicher Turm (rechts) von der Seite gesehen

Transportabel

Jeder Modellbauer eines Großmodells steht vor der Herausforderung, sein Modell zur Ausstellung zu transportieren, ohne viel auseinander nehmen zu müssen. Glücklicherweise haben wir das gleich von Anfang an berücksichtigt.

Prinzipiell besteht die Anlage aus der Fahrbahn, die in der Mitte getrennt und zusammengeklappt werden kann (= 175 cm), aus dem Fahrzeug, der Fernbedienung (Klein-kram) und den beiden Türmen. Die Fahrbahnbeleuchtung wird an der Bergstation ausgehängt und durch die Talstation versorgt. Auch alle später zugefügten elektrischen Teile wie Endschalter und Turmbeleuchtung werden ausschließlich von der Talstation versorgt. Unsichtbar führt unter

der Fahrbahn ein serielles Kabel. Somit hat die Anlage nur einen Stromanschluss.

Die Türme der Stationen können etwa in Fahrbahnhöhe nach hinten umgekippt werden (die Streben und Tragseile liegen lose auf dem Boden). Zur Transportsicherung hilft eine kleine Aluschiene, die Turm spitze zu stützen. Beide Türme stehen auf Holzplatten und sind dort festgeschraubt, was das Tragen erleichtert und später für schnelles Aufstellen sorgt.

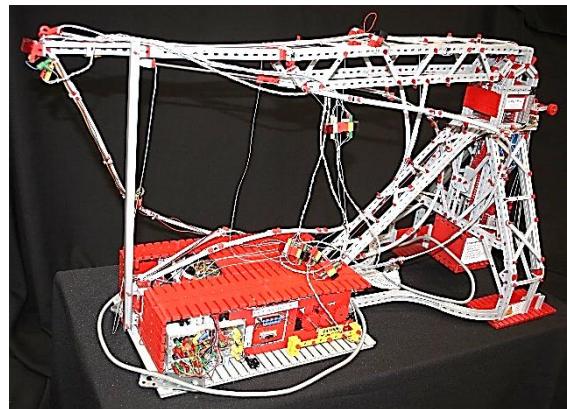


Abb. 8: Die Talstation in Transportstellung.
Die Alustütze an der Spitze hält den Turm (links). Die ganze Anlage ist auf dem Brett (mit schwarzem Dekostoff) festgeschraubt (mit Metallplatten an den Ecken der Bauplatte, am unteren Bildrand.)



Abb. 9: Im Auto gut verstaut geht es los zur Convention. Die Holzkisten beinhalten die Deko und sorgen für unterschiedliches Geländeneveau. Die Cola-Kisten dienen als Unterbau, damit das Bauwerk nicht auf dem Boden steht.

Über den Auf- und Abbau, der inkl. Einhängen der Förderseile und Kalibrieren der Gondel in weniger als 10 Minuten erfolgt, gibt es ein Video auf meinem YouTube-Kanal [1].

Die Gondel (Abb. 10) wird durch die zwei gegenläufigen Seile (blauer und roter Pfeil, Seile farbig markiert) an der Fahrbahn gezogen. Diese hängt an den Schrägleinen (grüner Pfeil), welche durch die Löcher der Statik-Bausteine geführt und unter den Schienen um diese gelegt wurden. Unter der Fahrbahn ist das serielle Kabel (gelber Pfeil) versteckt, welches die Bergstation mit Strom für Licht versorgt und Schaltsignale überträgt. Für den Transport werden die Stecker ausgesteckt und die Fahrbahn kann mit dem Kabel entnommen werden. Das „Dach“ über der Gondel ist das Fahrgestell mit einer Schräge, die später unter eine Gabel fährt, um die Endposition in der Station zu signalisieren (siehe Teil 2 in einer späteren ft:pedia-Ausgabe).

Fails

Natürlich gibt es bei einer Entwicklung auch Rückschläge. Nachdem wir den Obergurt einmal beim Aushängen der Fahrbahn nach hinten fallen ließen, rissen die Gelenke aus. Die neue Version überträgt die Kräfte besser.

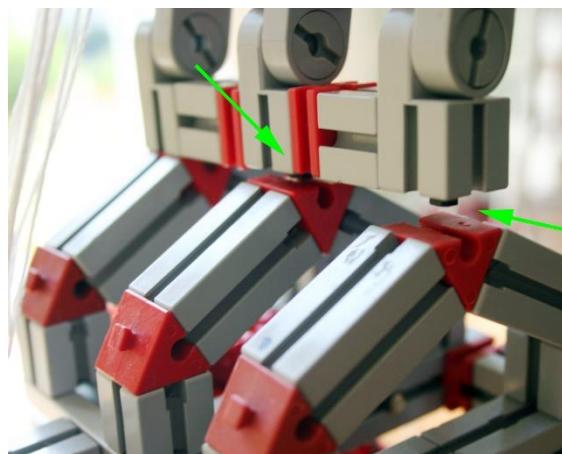


Abb. 11: Ausgerissene Gelenke

Aber genau das ist die „Seele von fischertechnik“: das Tüfteln! Dazu gehören Rückschläge, Ursachenforschung, das Nachdenken, wie eine Lösung besser sein könnte – und dank einzelner Bauteile die leichte Veränderung von Details.

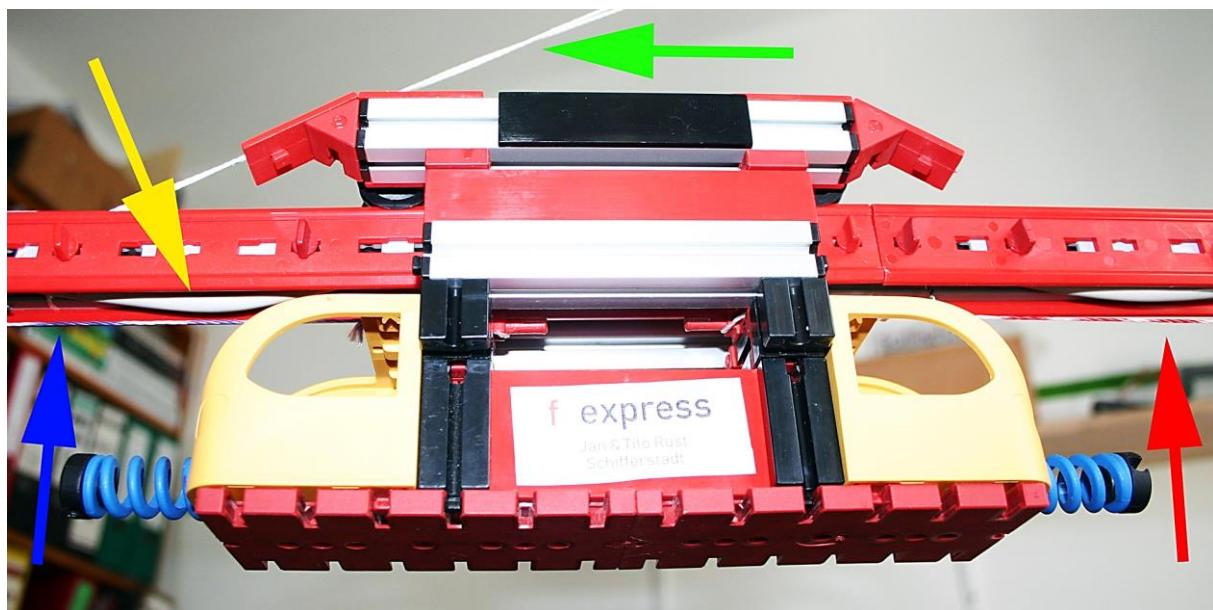


Abb. 10: Die Gondel

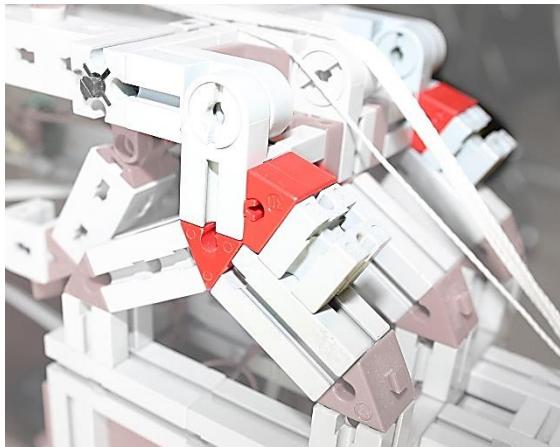


Abb. 12: Verbesserte Befestigung der Gelenke

Die Problemlösung führte insgesamt zu einem besseren und stabileren Aufbau des oberen Maschinenraumes und dem Gelenk zum Oberturm.

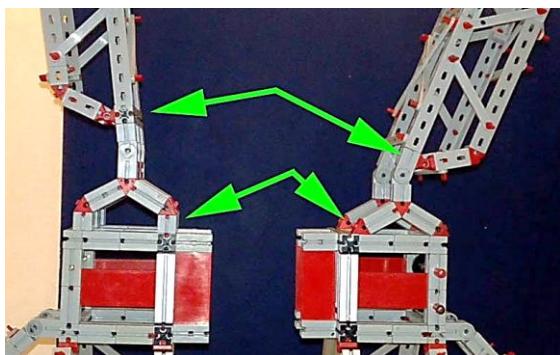


Abb. 13: Verbesserte Gelenkstellen zum Oberturm

Stabilität

Über all die Jahre haben wir jedoch unser Bauwerk so weit entwickelt, dass es fähig ist, 4 kg in der Mitte der Fahrbahn zu tragen! Ein Video davon gibt es auf meinem YouTube-Kanal [1].

Die Last wird planmäßig über die Türme in die Bodenanker abgeleitet. Die flexible Fahrbahn leitet die Kräfte gleichmäßig in die $2 \cdot 4$ Schrägseile ein. Klar, das Bauwerk bewegt sich, aber das wäre auch bei einer echten Brücke der Fall.

Dennoch – die Augen der Besucher wurden immer größer, jedes Mal, wenn ich das Gewicht bei einer Ausstellung einging.

Deko

Zu einem Modell, das auf Ausstellungen gezeigt wird, gehört natürlich auch Dekoration. Am Turm montiert Herr Fischer die Fahrbahnbeleuchtung, während Artur mit der Handlampe für Erleuchtung sorgt. Schilder und Abschrankungen sorgen für Sicherheit.

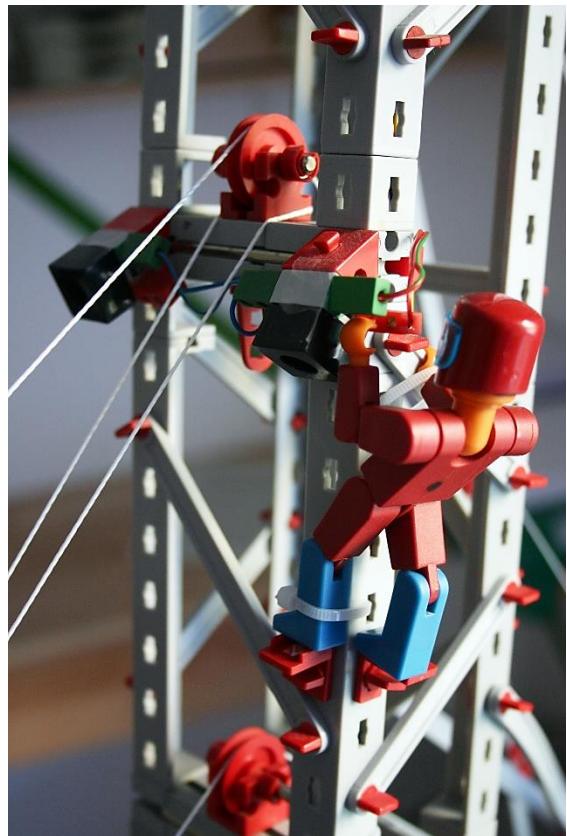


Abb. 14: Montagearbeiten



Abb. 15: Artur

Fahrbahn- und Bauwerksbeleuchtung, beleuchteter Bedienstand und Arbeitslichter in den Türmen sowie im Maschinenraum sorgen auch abends für ein spannendes Spielerlebnis.

Die Hängebahn – Vorschau auf Teil 2

Kaum war die Brücke fertig gestellt, kam Jan und brachte mir die Gondel mit den Worten: „So, Papa, die muss jetzt daran fahren!“ Mein letztes Wort vor einer wirklichen technischen Herausforderung war „Klar – kein Problem!“ Wie hatte ich mich doch geirrt.

Nicht die Konstruktion der Gondel war schwierig. Da brauchten nur Details verbessert zu werden. Es war der Antrieb selbst. Denn durch die (absichtlich) labil ausgelegte Fahrbahn entsteht eine erhebliche Längenänderung, die mit einem umlaufenden Antriebsseil nicht zu machen war. Das Problem: Erhöht man die Seilspannung, um genügend Reibung am Antrieb zu erzeugen, zieht man quasi die Türme zueinander – die Fahrbahn würde ein Versagen zweiten bis vierten Grades aufweisen (also in S-Form).

Zudem müsste sich die Seillänge auf unterschiedliche Geländehöhen anpassen lassen (siehe oben) und alles leicht abzubauen sein – alles Argumente gegen ein umlaufendes Antriebsseil.

Die Lösung: zwei gegenläufige Seile mit automatischer Längenregelung ohne Verwendung eines Controllers. Und genau um diese Lösung dreht sich Teil 2 des Beitrags in einer kommenden ft:pedia.

Spielzeug

Details für Aussteller: Alle Riegel wurden soweit nötig mit Scheiben gesichert (an den Turm-Spannern). Alle Kappen der LEDs wurden mit Tesa befestigt. Alle Stecker wurden frisch „gespitzt“ und ggf. mit Isolierband gesichert und versteckt. Herr Fischer wurde mit Kabelbindern befestigt und die Kabel sauber geführt (siehe auch mein Beitrag „Verkabelung (Teil 3)“ [4]).

Die Brücke wurde so konstruiert, dass sie ohne viel Erklärung den Besuchern zum Spielen mit der Gondel überlassen werden kann. Alle Abschnitte sind gesichert und die Bedienung „failsafe“ konstruiert. So ist sie ein Ausstellungsstück zum Betrachten geworden, das unsere Gäste ab und zu auch im

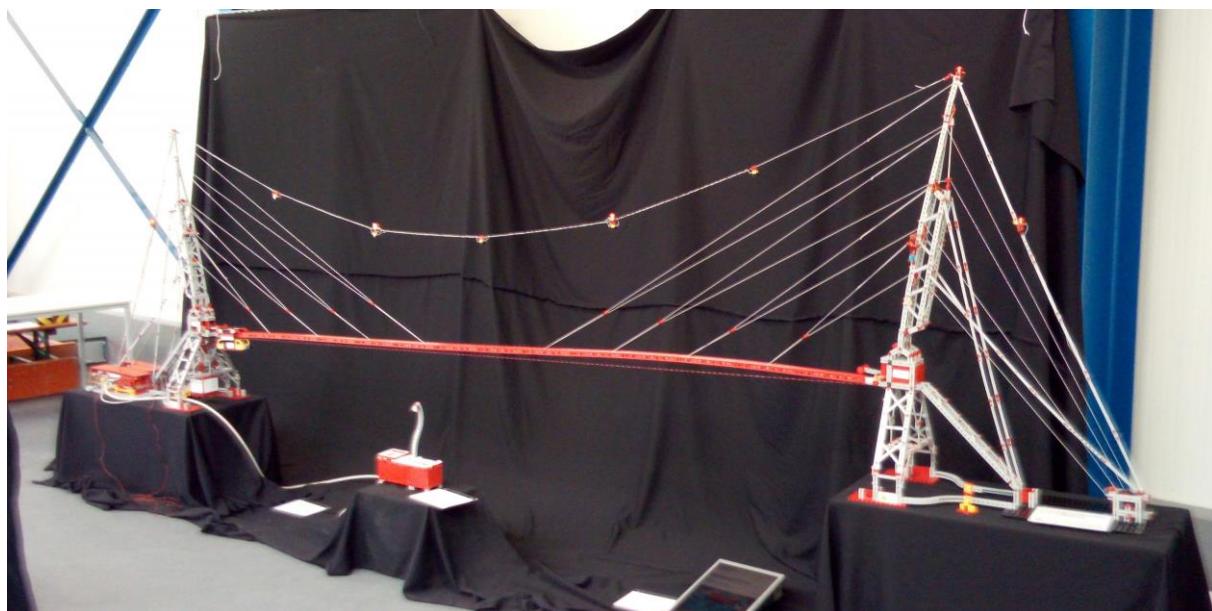


Abb. 16: Das Gesamt-Bauwerk auf der Süd-Convention 2019

Garten bei Nacht sehen können. Damit bleibt fischertechnik das, was es ist: ein Technik-Erlebnis für Groß und Klein mit Herausforderungen zum Tüfteln bei der Konstruktion und als Anschauungsobjekt für faszinierende Ingenieurleistungen aus dem richtigen Leben.

Alle Bauteile sind im Privatbesitz und stammen zum großen Teil noch aus den 1970er Jahren. Die Schräglseilbrücke war vier Jahre lang auf vielen Ausstellungen unterwegs und wurde vielen Schülern und Studenten als Lehrstück vorgeführt. Sie sollte zum letzten Mal auf der Süd-Convention im Oktober 2020 im Erlebnismuseum Fördertechnik in Sinsheim zu sehen sein (die ja leider ausfallen muss), bevor sie in alle Einzelteile zerlegt wird, denn die Teile werden für Prototypen des Community-Projektes „Seilbahn“ [3] (Bericht folgt) benötigt.

Das ganze Bauwerk mit 540 cm Länge (Abb. 16) steht auf Holzplatten (Transporthilfe) und Holzkästen, die mit Cola-Kisten angehoben sind. Die Talstation (links) liegt ca. 9 cm tiefer. Oben drüber hängt die Fahrbahnbeleuchtung mit Positionslampen. In der Mitte unter der Brücke ist die Kabelfernbedienung (siehe Teil 2) zu sehen. Die Gondel steht gerade an der Bergstation. Gut zu erkennen sind die Schräglseile und die Profilierung der Fahrbahn. Die Abspannungen an der Bergstation führen alle in den Bodenanker (rechter unterer Bildrand). Man erkennt, wie der Oberturm landseitig gekippt ist. Anmerkung: Die Strebe, die ca. Mitte des Oberturms ansetzt und fast senkrecht nach unten geht, wurde später aus optischen Gründen entfernt; sie hat keine Wirkung. Als Deko ist Herr Fischer in der Mitte des Oberturms der Bergstation zu erkennen. Unten auf dem Boden befindet sich ein Monitor, auf dem Bilder von Details zu sehen sind. Der schwarze Vorhang hilft, die Seile besser zu sehen.

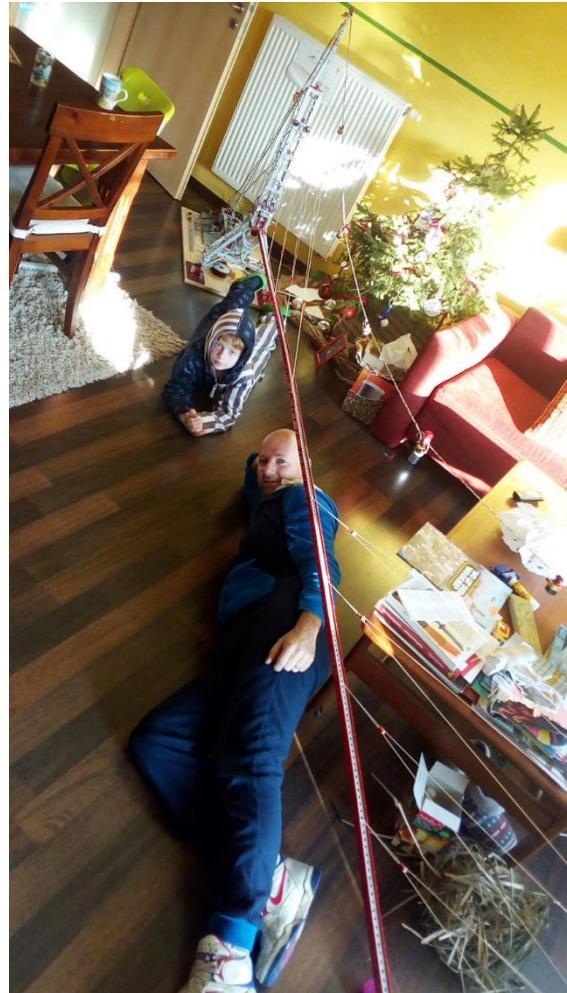


Abb. 17: Weihnachten 2016 war es so weit: Vater und Sohn konnten sich nicht nur untern den Weihnachtsbaum (im Hintergrund) legen, sondern auch „unter der Brücke schlafen.“ (Anmerkung: So ein Bauwerk im Wohnzimmer ist übrigens kein Scheidungsgrund.)

Quellen

Alle Fotos und Grafiken: Tilo Rust aka „ClassicMan“.

- [1] YouTube Channel [ClassicMan](#)
- [2] Tilo Rust: *Schräglseilbrücke*. [Im Bilderpool](#) der ft:Community, 2016.
- [3] Community Projekt *Seilbahn* [im fischertechnik-Forum](#).
- [4] Tilo Rust: [Verkabelung \(Teil 3\)](#). In ft:pedia 2/2020, S. 61-67.

Elektronik

Der Transistor

Frank Bruder

Bald 100 Jahre wird er alt, der Transistor. Auch wenn seine offizielle Geburtsstunde erst 1947 schlug und mit einem Nobelpreis belohnt wurde, reicht seine Geschichte doch bis ins Jahr 1925 zurück. Julius Edgar Lilienfeld (1882-1963) ließ sich in diesem Jahr ein elektronisches Baulement patentieren, das mit den heutigen Feldeffekttransistoren vergleichbar ist. Eine praktische Anwendung gelang nicht. Die technischen Voraussetzungen zur Herstellung waren einfach noch nicht gegeben.

John Bardeen (1908-1991), Walter Brattain (1902-1987) und William Shockley (1910-1989) aus den Bell Laboratories stellten 1947 den ersten bipolaren Spitzentransistor vor. Bipolar, weil es im leitenden Material definierte Bereiche mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften gibt; Spitzentransistor, weil die Anschlüsse durch Drahtspitzen realisiert wurden, die einfach auf die unterschiedlichen Bereiche gedrückt wurden.

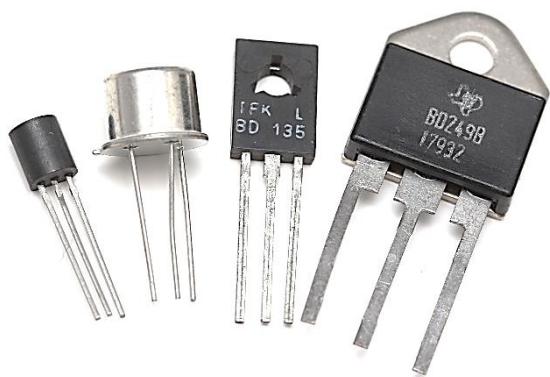


Abb. 1: Bauarten von Transistoren (von links): Kleinsignal-, Kleinleistungs- und zwei Leistungstransistoren

1969 stellten die Fischerwerke den Baukasten *l-e* bzw. *l-e1* ([30081](#)) mit dem legendären Schaltstab ([31360](#)) vor. Mit diesem war ein erster Einstieg in die Schaltungstechnik mit Transistoren möglich. Der Schaltstab enthält einen so einfachen

Transistorverstärker, dass Experimente nahe am Transistor möglich sind [1].

1974 folgte der Schulkasten *u-t4* mit dem Verstärkerbaustein VB ([36733](#)), der ähnlich einfach wie der Schaltstab aufgebaut ist. Viel interessanter ist aber der enthaltene Transistor-Poti-Baustein TP ([36735](#)). Hier stand erstmals ein Transistor als natives Bauelement zur Verfügung (vom Basis-Schutzwiderstand einmal abgesehen).

1977 kam der erste richtige Elektronikbaukasten *Elektronik Praktikum* ([30629](#)) auf den Markt. Dieser hatte durchaus das Potenzial, den derzeit populären Experimentierkästen von kosmos und Philips Paroli zu bieten. Einzigartig war natürlich, dass sich fischertechnik-Modelle damit steuern ließen (Leistungstransistor BD 135, [36929](#)).

Nach einer langen Pause und Einstieg in komplexe Elektronikbausteine bzw. das Computing wurden erst 2014 mit dem Baukasten *PROFI Electronics* ([524326](#)) wieder Experimente mit diskreten elektronischen Bauteilen ermöglicht. Die direkte Steuerung von Modellen ist zwar nur über das Electronics Modul ([152063](#)) oder dessen Vorgänger (E-Tec/E-Tech Modul) möglich, mit wenigen Cent lässt sich dieses Manko aber beheben.

Warum dieser Streifzug durch die Geschichte von fischertechnik und Elektronik?

Für Experimente mit Transistoren benötigen wir eine Basis, die es uns erlaubt, diskrete elektronische Bauteile im „Raster“ zu verwenden. Das funktioniert, wie wir gesehen haben, mit folgenden Teilen:

- Transistor-Potentiometer-Baustein TP aus *u-t4* ([36735](#))
- Stecksockel aus *Elektronik-Praktikum* ([38229/38230](#) und [38227/38228](#))
- Transistorplatine und Elektronikgehäuse aus *PROFI Electronics* ([152218/152059](#))
- und natürlich dem Steckbrett.

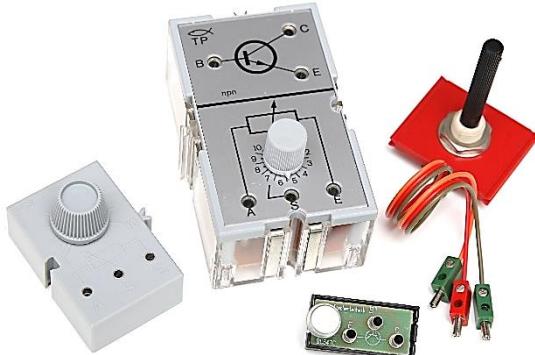


Abb. 2: Verwendbare Bauelemente

Wer noch nicht ausgerüstet ist, kann sich z. B. ein oder zwei Transistorplatinen ([152218](#)) und die passenden Elektronikgehäuse ([152059](#)) bei den einschlägigen Quellen gebraucht organisieren.

Weitere Bauteile können für kleines Geld bei diversen Elektronik-Versendern bezogen werden. Hier eine kleine Materialliste mit den Bauteilen, die wir verwenden werden:

- 1 Transistor-Potentiometer-Baustein TP aus *u-t4* ([36735](#)) oder
- 1 Stecksockel aus *Elektronik-Praktikum* ([38229/38230](#)) oder
- Transistorplatine und Elektronikgehäuse aus *PROFI Electronics* ([152218/152059](#)) mit Transistor BC547, BC107, BC140 oder vergleichbar.

- 2 Multimeter oder ein Multimeter und ein Volt-/Amperemeter-Baustein ([37142](#)).
- 1 Potentiometer 10...100 kΩ (größer geht auch), z. B. Elektronikbaustein hPB ([37158](#)), die Potis aus *u-t4* oder einen Eigenbau.
- 1 Widerstand 100 Ω mit Steckern.
- 1 Widerstand 18 kΩ mit Steckern.
- 1 Widerstand 5,6 kΩ mit Steckern.
- 1 Widerstand 33 Ω 1 W ([37206](#)) mit Steckern.
- 1 Stecklampe 9 V mit Fassung.
- Kleinteile, Stecker, Kabel, Verbindungen zwischen fischertechnik und Multimeter, Bausteine.
- Stromversorgung 9 V.

Transistor Inside – was steckt da eigentlich drin?

Ein Transistor ist erst einmal nichts weiter als ein sehr reiner Halbleiterkristall. Anfänglich war Germanium das Material der Stunde. In den 1950er und 1960er Jahren wurde schnell klar, dass Silizium einige Vorteile bietet, einfacher zu beschaffen, einfacher zu handhaben und damit preiswerter ist. Daneben hat die Forschung weitere Halbleiter hervorgebracht wie Galliumarsenid (LED), Organische Halbleiter (OLED) und weitere teils keramische Verbindungen.

Der Kristall wird gezielt mit einem geeigneten Stoff verunreinigt. Man spricht von *Dotieren*. In den Kristall werden an zwei dicht nebeneinander liegenden Stellen weitere kleine Dotierungen mit einem anderen Stoff vorgenommen (*Umdotieren*). Es wird darauf geachtet, dass zwischen diesen beiden Stellen ein sehr dünner Kanal des ursprünglichen Materials erhalten bleibt. Es entstehen drei Bereiche. Jeder Bereich erhält noch einen Anschluss und fertig ist der Transistor.

Die Dotierung sorgt dafür, dass im Siliziumkristall an den entsprechenden Stellen entweder zu viele oder zu wenige

Bindungsmöglichkeiten zu Nachbaratomen vorhanden sind. Das besondere Kristallgefüge, das Silizium zu einem eher schlechten Leiter macht, wird verändert. Dem Kristall werden Stoffe mit einer Bindungsmöglichkeit zu viel (*n-Dotierung*) oder zu wenig (*p-Dotierung*) untergeschoben.

Damit gibt es plötzlich freie Elektronen oder Stellen – man spricht von *Löchern* oder *Defektelektronen* – die mit einem Elektron besetzt werden könnten. Die Elektronen haben natürlich nichts Besseres zu tun, als die Löcher zu stopfen. Sie diffundieren und rekombinieren mit den Löchern. Auch die Löcher diffundieren in die gegenüberliegende Zone und rekombinieren dort mit freien Elektronen. Bis in eine gewisse Tiefe (Diffusionslänge) des Materials gelingt das auch, dann ist aber schnell Schluss, weil

sich durch die Wanderung der Ladungsträger ein elektrisches Feld bildet, das diesem Prozess entgegenwirkt. Es stellt sich ein Gleichgewicht ein.

Das elektrische Feld bewirkt die Diffusionsspannung U_D . Diese beträgt für Silizium etwa 0,7 V. Das Bilden dieser Zone ist der Trick, mit dem bipolare Transistoren und auch Dioden, Thyristoren, Triacs und ähnliche Halbleiterbauteile funktionieren. Sie wird als *Sperrschiicht* oder *Raumladungszone* bezeichnet. Da ein Transistor aus drei Bereichen besteht, bilden sich zwei Sperrsichten.

Die Reihenfolge der Dotierung entscheidet über die elektrischen Eigenschaften des Transistors. Es gibt zwei Kombinationsmöglichkeiten (Abb. 3 und 4).

Transistor	Verwendung bei fischertechnik	U_{CE}/V	I_C/A	P_{tot}/W	U_{CESat}/V	B
BC 108 A	Transistor/Poti u-t4 TP (30609 , 36735) Verstärker u-t4 VB (30609 , 36733) Schaltstab I-e1 (30081 , 31360)	20	0,1	0,3	0,07-0,2	110-220
BC 140-16	Verstärker u-t4 VB (30609 , 36733) In jüngeren u-t4 VB ist BC 140-16 verbaut	40	1	3,7	0,8	100-250
BC 238 A, B, C	Elektronik Praktikum (30629 , 35651)	30	0,1	0,5	0,07-0,2 180-460 380-800	(A) (B) (C)
BC 250 C	hobby 4, Relais h4RB (30804 , 37140)	20	0,1	0,3	0,4	200-600
BC 547 C	PROFI electronics (524236 , 152860)	45	0,1	0,625	0,09-0,3	420-800
BD 135 -6, -10, -16	Elektronik-Praktikum (30629 , 36929)	45	1,5	12,5	< 0,5	40-100 (-6) 63-160 (-10) 100-250 (-16)

Tab. 1: Transistoren, die in Experimentierkästen von fischertechnik Verwendung finden. Die Tabelle enthält die wichtigsten Parameter, die für Schaltanwendungen interessant sind.

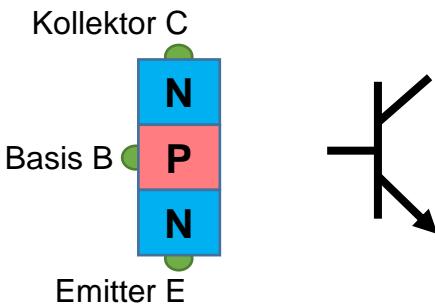


Abb. 3: Dotierungsfolge und Schaltbild des NPN-Transistors

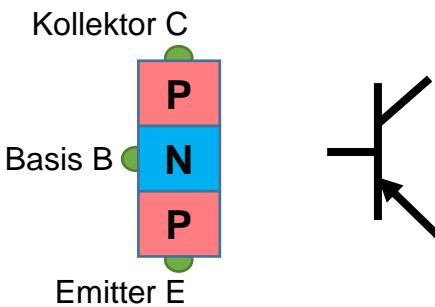


Abb. 4: Dotierungsfolge und Schaltbild des PNP-Transistor

Legen wir an die Basis eines NPN-Transistors eine gegenüber dem Emitter positivere Spannung an U_{BE} , passiert bis zu einer Höhe der Diffusionsspannung von etwa 0,6 bis 0,7 V (Silizium) nichts. Dann geht es allerdings richtig los: Das elektrische Feld, das die anliegende Spannung an der Basis-Emitter-Strecke hervorruft, wirkt dem elektrischen Feld der Sperrsicht entgegen und drängt dieses zurück. Wird die Spannung größer als die Diffusionsspannung, ist das Feld der Sperrsicht im Prinzip neutralisiert. Die Elektronen und Löcher lösen ihre Rekombination auf und wirken als freie Ladungsträger. **Es fließt ein Strom I_B .**

Hat die Spannung eine gegensätzliche Polarität, ziehen beide Felder gewissermaßen an einem Strang, die Sperrsicht wird breiter, es fließt praktisch kein Strom. Das bedeutet, dass die technische Stromrichtung in einem PN-Übergang immer von P nach N verläuft und damit der Bewegungsrichtung der Löcher entspricht. Die Elektronen bewegen

sich bei Stromfluss demzufolge von N nach P. Der Zusammenhang zwischen Basisspannung und Basis-Emitter-Strom ergibt die Eingangskennlinie eines Transistors. Sie ist die erste von vier Kennlinien, die benötigt werden, um Transistororschaltungen zu berechnen.

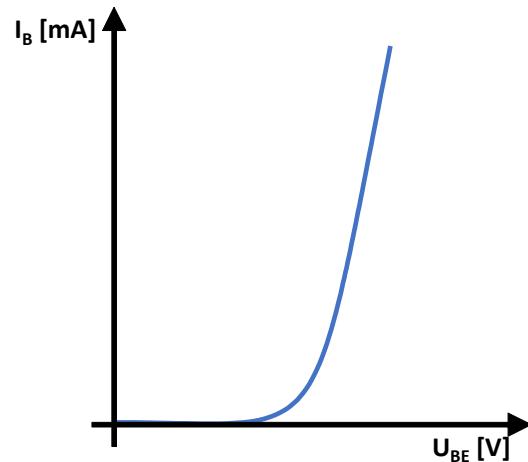


Abb. 5: Eingangskennlinie eines Silizium-NPN-Transistor

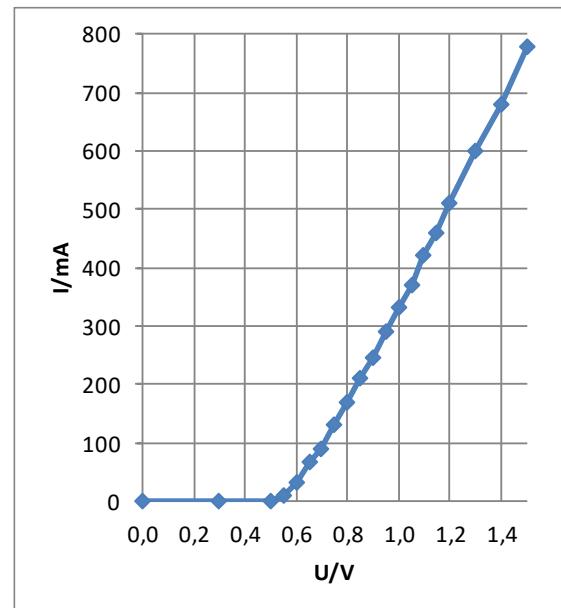


Abb. 6: Ergebnis der eigenen Messung am Elektronikbaustein TP

Mit der in Abb. 7 gezeigten Messanordnung können die Eingangskennlinie und die Durchbruchspannung ermittelt werden. Zum Einsatz kommt der Elektronikbaustein TP. Der Knick im Bereich der Durchbruchspannung ist sehr schön zu sehen.



Abb. 7: Messanordnung zur Bestimmung der Eingangskennlinie

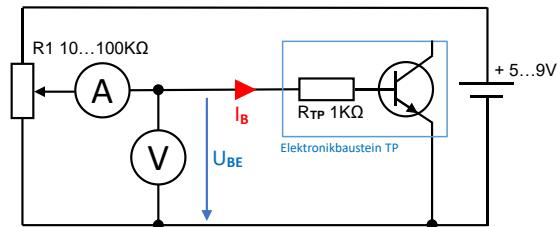


Abb. 8: Schaltplan zur Bestimmung der Eingangskennlinie

Der im Schaltplan angegebene Widerstand R_{TP} von $1\text{k}\Omega$ ist im Elektronikbaustein TP fest eingebaut. Er sollte bei Messungen an einem nackten Transistor explizit zum Schutz vorgesehen werden ($100\ \Omega\dots 1\text{k}\Omega$). Das Potentiometer $R1$ kann einen Wert „aus der Bastelkiste“ haben. Das hier verwendete Potentiometer aus dem Baustein TP hat $27\text{k}\Omega$.

Da war doch noch eine zweite Sperrschicht? Richtig: Die Sperrschicht zwischen Kollektor und Basis. Hätte der Kollektor ein negativeres Potential als die Basis, würde bei Überschreiten der Diffusionsspannung auch hier ein Strom von der Basis zum Kollektor

fließen. In einem einfachen Experiment kann das bewiesen werden.

Der Kollektor ist schwächer dotiert als der Emitter, die Basis-Kollektor-Sperrschicht zeigt aber trotzdem ein ähnliches Verhalten wie die Basis-Emitter-Sperrschicht.

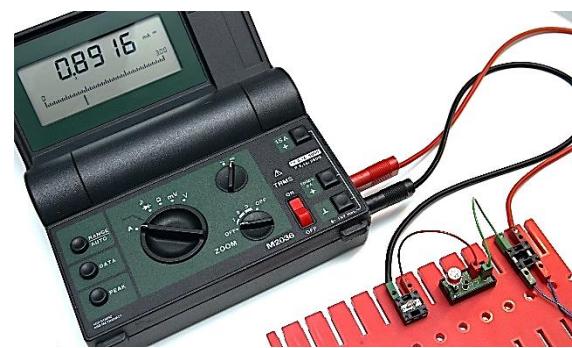


Abb. 9: Betrieb der Basis-Kollektordiode in Durchlassrichtung: BC 140 Kleinleistungstransistor mit Basisvorwiderstand $10\text{k}\Omega$

Ein erster Versuch – es werde Licht!

Im weiteren Verlauf dieses Beitrags befassen wir uns mit NPN-Silizium-Transistoren. Diese sind in den eingangs beschriebenen fischertechnik-Kästen enthalten und auch deutlich weiter verbreitet. Für meine Versuche habe ich den Kleinleistungstransistor BC 140-16 ausgewählt. Dieser ist für wenige Cent bei einschlägigen Versendern zu haben. BC 107/8, BC 237/8, BC 547/8 und Vergleichstypen können ebenso verwendet werden. Sie sind nicht so leistungsfähig (max. 500 mW).

PNP-Transistoren funktionieren, bis auf die umgekehrte Polarität aller Spannungen, wie NPN-Transistoren.

Im Schaltplan für die Ermittlung der Eingangskennlinie hängt der Kollektor in der Luft. Verbinden wir ihn über einen Leuchtbaustein mit LED oder über eine Stecklampe mit dem Pluspol der Spannungsversorgung, können wir den Transistor in Aktion sehen. Wir sind in der Lage, über den Basisstrom den Kollektorstrom zu steuern.

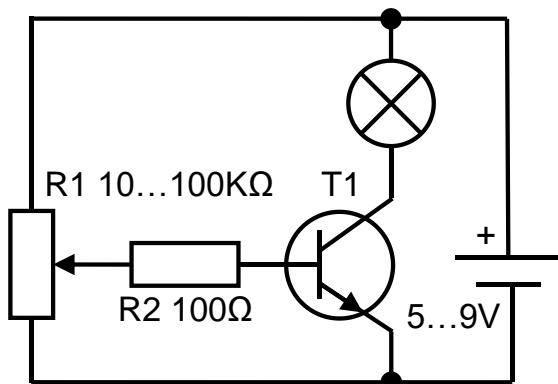


Abb. 10: Einfache Transistorschaltung

Wird der Schleifer des Potentiometers bewegt, ändert sich die Helligkeit der LED oder Lampe (bei welchem Drehwinkel der Effekt eintritt, ist vom Potentiometer abhängig). Was geht da vor? Die Sperrsicht zwischen Kollektor und Basis wird doch in Sperrrichtung betrieben.

Durch den Strom von Basis zu Emitter befinden sich sehr viele Ladungsträger, Elektronen und Löcher, in der Basis. Es herrscht so ein Gedränge, dass immer mehr Ladungsträger in die Sperrsicht zwischen Basis und Kollektor ausweichen – sie diffundieren. Der Vorgang wird begünstigt, weil die Basis sehr schwach und der Kollektor nicht so stark dotiert ist wie der Emitter. Damit ist auch die Sperrsicht zur Basis relativ klein und ruckzuck überschwemmt. Da, wo es Ladungsträger gibt, kann Strom fließen, und das tut er auch. **Vom Kollektor fließt der Strom I_c zum Emitter.**

Die Stärke des Stroms ist dabei vom Ladungsträgerangebot in der Basis abhängig. Ohne unterstützenden Basisstrom kommt der Vorgang zum Erliegen. Das passiert nicht abrupt, sondern braucht eine kurze Zeit. Die vielen Ladungsträger müssen abfließen. Das ist der Grund warum ein Transistor nicht unendlich schnell schalten kann, er hat eine Grenzfrequenz. Damit sind schnellen Anwendungen, z. B. in Computern, Grenzen gesetzt. Eine weitere Konsequenz: ein Transistor schaltet deutlich schneller ein als aus.

Stromverstärkung

Die Stromverstärkung B ist ein vom Hersteller bestimmter Parameter. Sie gibt die Abhängigkeit zwischen Basisstrom I_B und Kollektorstrom I_C an. Die Stromverstärkung bewegt sich je nach Typ in einem Bereich von 5 bis 1000. Da dieser Zusammenhang nicht in jeder Betriebssituation gleich ist, wird er als Kennlinie angegeben. Wir sprechen von der *Stromverstärkungs-, Stromsteuer- oder Übertragungskennlinie*. Die Kennlinie wird für eine bestimmte Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} angegeben (oft 5 V). Das bedeutet, es handelt sich eigentlich um eine Kennlinienschar.

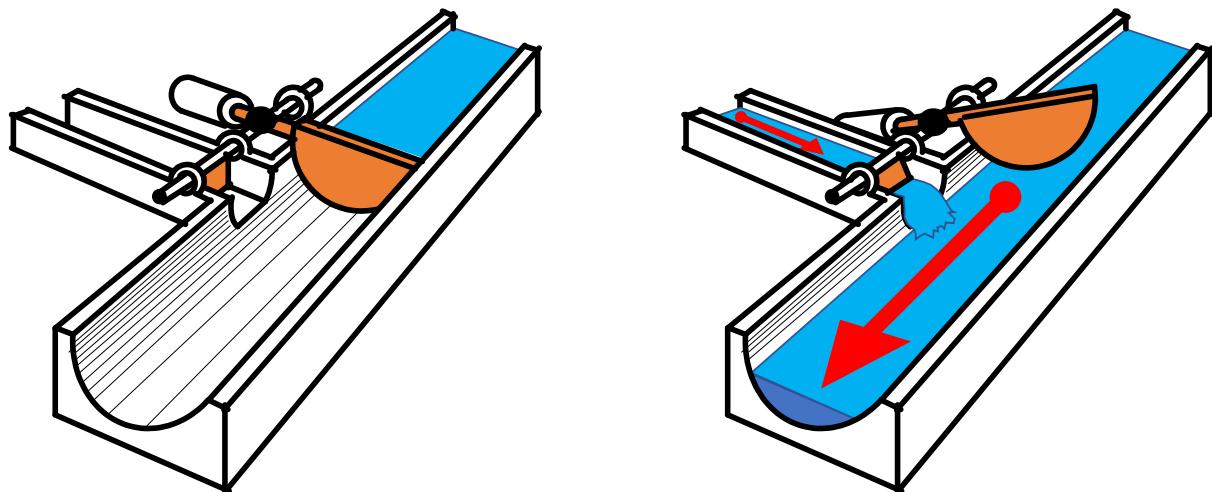


Abb. 11: Der Transistor als Schleuse: Der große Strom wird durch einen kleinen Strom im Nebenkanal ausgelöst – ein Vergleich, den ich seit meiner Jugend nicht vergessen habe.

Aus dem Aufbau eines Transistors erklärt sich übrigens auch, warum Leistungstransistoren einen deutlich geringeren Verstärkungsfaktor haben (5...100). Der Halbleiter ist deutlich größer, um den hohen Strömen gerecht zu werden (und dem Wärmetransport an die Umgebung). Das betrifft auch die Basiszone. Damit sind viel mehr Ladungsträger notwendig, um die typischen Vorgänge auszulösen; das ganze System arbeitet etwas träge.

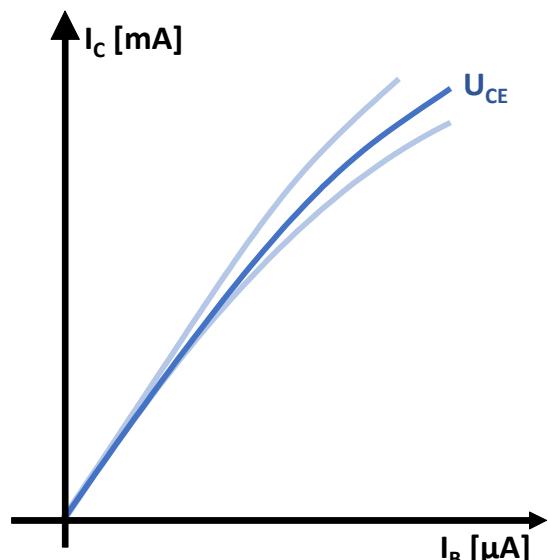


Abb. 12: Übertragungskennlinie

Auch die Übertragungskennlinie kann selbst aufgenommen werden. Dazu wird die Schaltung aus dem vorherigen Abschnitt um zwei Amperemeter erweitert. Da es hier um das Prinzip der Stromverstärkung und nicht um exakte Vermessungen geht, können auch ungenauere Messinstrumente (z. B. das fischertechnik Volt-/Amperemeter, [37142](#)), vorzugsweise für den Kollektorstrom, zum Einsatz kommen.

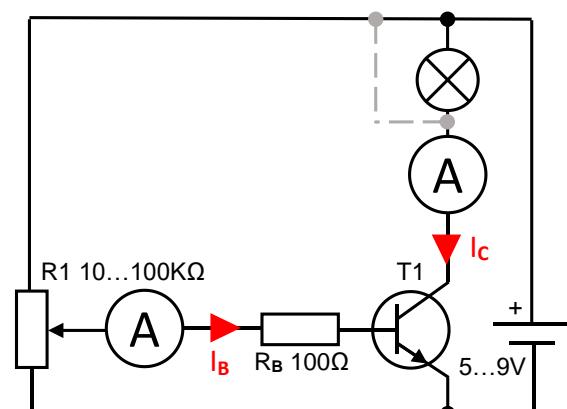


Abb. 13: Schaltplan zur Ermittlung der Übertragungskennlinie

Ich habe bei meinen Messungen eine Stecklampe zwischen Betriebsspannung + und Kollektor des Transistors geschalten. Sie dient als Schutzwiderstand und Kontrollleuchte. Wird sie weggelassen (Kollektor an +U_B) ist besondere Vorsicht geboten. Die



Abb. 14: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Übertragungskennlinie.

Der Versuch lässt sich auch durch Umstecken eines einzelnen Messgerätes durchführen.
Das jeweils nicht aktive Amperemeter muss dann durch eine Drahtbrücke o. Ä. ersetzt werden.

CE-Strecke des Transistors und der Innenwiderstand der Spannungsquelle sind die beiden einzigen Strom begrenzenden Widerstände. Beide sind äußerst gering. Der Strom kann so groß werden, dass der Transistor zerstört wird.

Wird ohne Stecklampe gemessen, muss der Schleifer des Potentiometers vor Einschalten der Betriebsspannung unbedingt am mit dem Minuspol verbundenen Anschluss liegen.

Schalten wir die Betriebsspannung ein und bewegen den Schleifer des Potentiometers vorsichtig Richtung Pluspol der Spannungsquelle, wird irgendwann die Diffusionsspannung überschritten und die Kollektor-Emitter-Strecke leitet. Wir beobachten eine Zunahme von Basisstrom und Kollektorstrom. Tragen wir die Werte in eine Tabelle ein, können wir über einen gewissen

Bereich feststellen, dass der Quotient $\frac{I_C}{I_B}$ nahezu gleich bleibt. Hier ist die Kennlinie linear.

Das Ergebnis könnte wie in untenstehender Tabelle 2 aussehen. Sehr schön zu sehen ist der Bereich des Basisstroms von 20 bis 300 μA . Hier ist die Stromverstärkung B nahezu gleichbleibend. In diesem Bereich würde z. B. ein Audioverstärker betrieben. Typisch sind der nur noch unwesentliche Anstieg des Kollektorstroms I_C und der Einbruch von B bei höheren Basisströmen (hier ab etwa 500 μA).

$I_B/\mu\text{A}$	I_C/mA	B
5	1,06	212
10	2,15	215
20	4,51	226

$I_B/\mu\text{A}$	I_C/mA	B
50	11,47	229
100	23,30	233
200	46,38	232
300	67,60	225
400	86,50	216
500	98,15	196
1000	99,40	99
2000	99,89	50

Tab. 2: Messserie zur Ausgangskennlinie eines Silizium Kleinleistungstransistors Typ BC 140-16.

Wir können also sagen: **Der bipolare Transistor ist ein Stromverstärker.**

Dadurch, dass zum Ansteuern ein Strom fließen muss, ist die Ansteuerung nicht leistungslos. Für die Ansteuerung ist immer die Leistung $U_{BE} \cdot I_B$ erforderlich. Die hier umgesetzte Leistung ist sehr gering, belastet aber den Ausgang eines evtl. vorgeschalteten Schaltkreises.

Die Ausgangskennline

Wir haben gesehen, dass sich der Kollektorstrom (I_C), der von der Basis zum Emitter fließt, durch eine Kennlinie beschreiben lässt. Da wir die Strecke Kollektor-Emitter als Ohmschen Widerstand sehen können, muss der Kollektorstrom auch von der anliegenden Spannung (U_{CE}) abhängen.

Weil es sich beim Kollektorstrom im Prinzip um den Ausgangsstrom handelt, sprechen wir von der *Ausgangskennlinie*. Die Kennlinie gibt die Abhängigkeit zwischen Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} und Kollektorstrom I_C an. Das ist auf den ersten Blick wenig interessant. Wir möchten doch mehr über die Auswirkungen zwischen Eingang (Basisstrom I_B) und Ausgangsstrom (I_C) erfahren. Deshalb ist die Ausgangskennlinie eine Kennlinienschar. Jede dargestellte Kennlinie steht für das Ausgangsverhalten bei einem bestimmten Basisstrom.

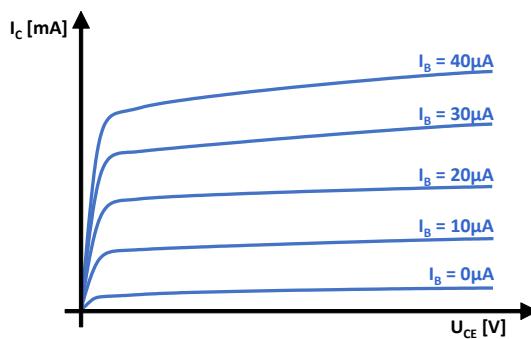


Abb. 15: Ausgangskennlinie

Es kann abgelesen werden, wieviel Kollektorstrom bei welchem Basisstrom und welcher am Transistor anliegenden Spannung zu erwarten ist. Natürlich müssen wir berücksichtigen, dass es Vorwiderstände in der Eingangsbeschaltung und einen Lastwiderstand im Ausgangskreis geben muss. Diese lassen sich unter Anwendung des Ohmschen Gesetzes [2], der Kirchhoff'schen Regeln [3, 4] und der physikalischen Eigenschaften des Transistors nur aus den Spannungen, Strömen und dem Verstärkungsfaktor berechnen.

Die vier Quadranten

Wir haben jetzt alle wichtigen Kennlinien des Transistors kennen gelernt. Interessant ist, dass Eingangskennlinie, Übertragungskennlinie und Ausgangskennlinie mit ein wenig Drehen und Spiegeln aneinandergefügt werden können. Dabei müssen identische Größen jeweils auf einer Achse liegen. In dem sich ergebenden Vier-Quadranten-Diagramm können auf einen Blick alle wesentlichen Parameter des Transistors und deren Abhängigkeiten dargestellt werden. Leider werden alle dafür benötigten Kennlinien nur noch von wenigen Halbleiterherstellern bereitgestellt. Soll eine Transistorschaltung sehr genau berechnet werden, kann es sinnvoll sein, den Transistor zu vermessen oder Bauteile (in der Regel Widerstände als Potentiometer) einstellbar zu planen, um später einen Abgleich durchführen zu können.

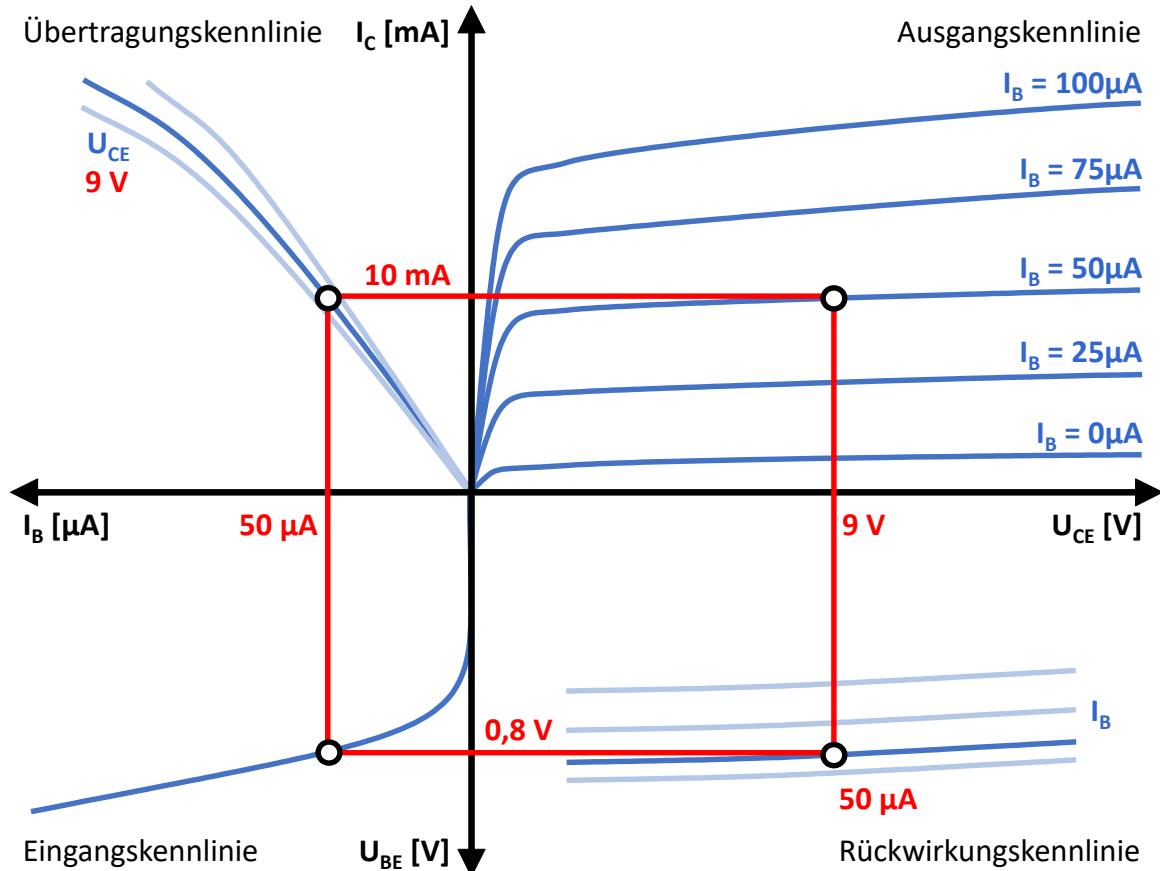


Abb. 16: Vier-Quadranten-Kennlinienfeld. Das rote Quadrat gibt über alle vier Quadranten hinweg Auskunft über unseren Arbeitspunkt. Wir können gedanklich die Punkte auf den Kennlinien verschieben und erahnen sofort, welche Konsequenzen das für andere Größen hat.

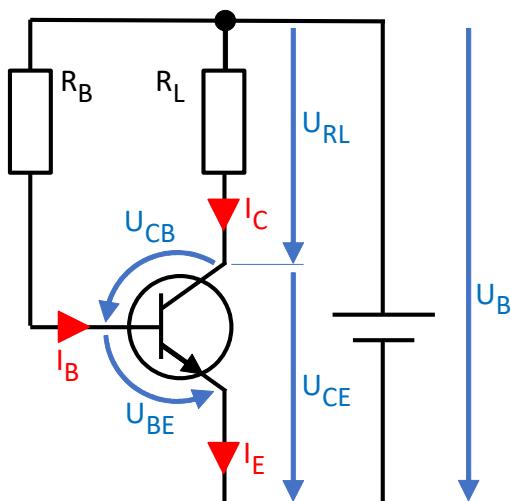


Abb. 17: Spannungen und Ströme in einer Transistorschaltung

Das Vier-Quadranten-Diagramm enthält eine vierte Kennlinie, die *Rückwirkungskennlinie*. Sie beschreibt die Veränderung

der Basisspannung, wenn die Spannung U_{CE} geändert wird. Der Rückwirkungsfaktor D ergibt sich aus den Spannungsgegebenheiten im Transistor selbst und ist bauartbedingt. Meist liegen die Kennlinien sehr eng zusammen und verlaufen nahezu waagerecht. Sie hat für Schaltanwendungen keine Bedeutung.

Der Transistor als Schalter

Kehren wir wieder in die Praxis zurück. Seit 1969 werden immer wieder fischertechnik-Modelle vorgestellt, die mit Hilfe von Aktoren wie LDRs, NTCs, Fototransistoren u. A. gesteuert werden. Wie kann eine einfache Schaltung berechnet werden, die mit den verfügbaren Aktoren funktionieren soll? Zuerst müssen wir uns klar werden, dass wir von der Physik des Transistors abhängig sind. Die Hersteller unterliegen

diesen Bedingungen, können aber in gewissen Grenzen die Parameter eines Transistors im Herstellungsprozess beeinflussen. Also sind die Datenblätter ein wichtiges Element. Haben wir die drei (bzw. vier) vorgestellten Kennlinien zur Verfügung, kommen wir schon sehr weit. Jetzt gilt es, die Steuergröße im Eingangskreis und die Wirkung im Ausgangskreis soweit abzustimmen, bis ein guter Kompromiss gefunden ist.

Anders als in einer typischen Verstärkerschaltung wird ein Schalttransistor mit zwei Arbeitspunkten betrieben. Bei Arbeitspunkt A1 ist der Transistor „ausgeschaltet“, bei Arbeitspunkt A2 „eingeschaltet“.

In Abb. 18 sind die Zusammenhänge dargestellt. Die Bereiche unterhalb der Kennlinie $I_B = 0$ und links der Kennlinienschar für I_B können technisch nicht erreicht werden.

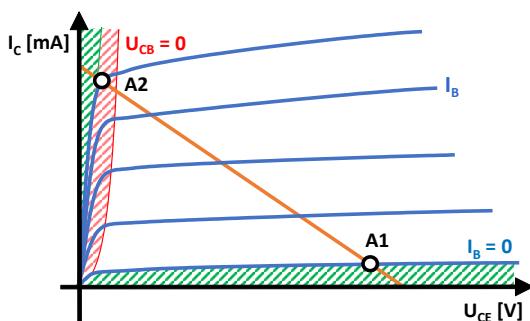


Abb. 18: Arbeitspunkte beim Transistor als Schalter

Woher bekommen wir die Arbeitspunkte? Nichts einfacher als das! Die orangefarbene Linie in der Grafik ist die Widerstandsgerade des Transistors bei Reihenschaltung mit einem Lastwiderstand R_L . Nach Kirchhoff [3, 4] können wir sagen: Die Summe der Spannungsabfälle an R_L und am Transistor (U_{CE}) ist gleich der Betriebsspannung U_B (Maschenregel, grafische Berechnung eines Spannungsteilers). Ist der Transistor voll durchgeschaltet (Arbeitspunkt A2) fällt (fast) die gesamte Spannung an R_L ab; U_{CE} ist nahezu 0 V. Es bleibt ein typischer Spannungsabfall am durchgeschalteten

Transistor von 0,05 bis 0,6 V. Sperrt der Transistor (Arbeitspunkt A1), ist die Kollektor-Emitter-Strecke extrem hochohmig; so gut wie die gesamte Betriebsspannung fällt am Transistor ab.

Auf der X-Achse (U_{CE}) tragen wir einen Punkt in Höhe der Betriebsspannung ein, auf der Y-Achse (I_C) den Strom, der sich aus Betriebsspannung und Lastwiderstand ergibt: $\frac{U_B}{R_L}$. Verbinden wir die beiden Punkte, erhalten wir die Widerstandsgerade, die die verschiedenen Kennlinien kreuzt. Interessant sind die Schnittpunkte mit der Kennlinie 0 μ A und der Kennlinie, die ganz links zu finden ist. Dort befindet sich der Sättigungsbereich (rot schraffiert). Der Arbeitspunkt A2 muss am oder in diesem Bereich liegen. Dann ist der Transistor voll durchgesteuert, der Spannungsabfall U_{CE} sehr niedrig.

Bei der Arbeitspunktbestimmung dürfen wir nicht in die grün schraffierten Bereiche gelangen. Diese Bereiche können nicht erreicht werden. Sie liegen außerhalb der gültigen Kennlinien, auf denen wir uns bewegen müssen.

Links ist erkennbar, dass im Sättigungsbereich eine erhebliche Erhöhung des Basisstroms I_B nur noch einen minimalen Anstieg des Kollektorstroms I_C bewirkt. Dieses Verhalten ergibt sich aus den im Sättigungsbereich sehr steil verlaufenden Kennlinien. Der Effekt ist damit zu erklären, dass der Transistor noch mehr Ladungsträger (Elektronen) in die Basischicht durchlässt, diese aber nicht zum Kollektor abfließen können, weil der Strom I_C durch den Lastwiderstand begrenzt ist.

Überschüssige Elektronen werden jetzt über den Basisanschluss abgeleitet, das Verhältnis aus I_C zu I_B wird kleiner, die Stromverstärkung sinkt. Damit wird auch die Spannung U_{CE} kleiner als die Spannung U_{BE} . Beim NPN-Transistor hat der Kollektor dann ein geringeres Potential als die Basis.

Der Arbeitspunkt A2 wird gerne in den Sättigungsbereich gelegt. Je weiter der Arbeitspunkt dort hinein verschoben wird, desto schneller schaltet der Transistor ein, weil das Überschwemmen mit Ladungsträgern schneller erfolgen kann. Schalttransistoren werden meist mit dem Zwei- bis Zehnfachen des nötigen Basisstroms betrieben.

Aus der Grafik ist zu erkennen, dass der Beispiel-Transistor bei Erreichen des Arbeitspunkts A2 nahezu voll durchgesteuert ist. Wir müssen dafür sorgen, dass, wenn der Transistor eingeschaltet werden soll, ein Strom in die Basis fließt, der mindestens dem der Kennlinie I_B entspricht, auf der der Arbeitspunkt liegt. Diese Aufgabe kann beispielsweise ein Vorwiderstand übernehmen. Soll der Transistor ausgeschaltet werden muss der Stromfluss unterbrochen, also auf Arbeitspunkt A1 zurückgefahren werden.

Berechnung eines Schaltverstärkers

Sind der Lastwiderstand und der Transistor- typ bekannt, kann mittels der Gesetze von Ohm [2] und Kirchhoff [3, 4] die Schaltung berechnet werden. Da immer mehr Hersteller nur noch eingeschränkt Kennlinien veröffentlichen, müssen wir ggf. mit Parametern des Datenblatts auskommen.

Wir arbeiten mit einer Versorgungsspannung von 9 V. Wir möchten einen maximalen Strom durch die Lampe fließen lassen. Wie groß muss der Basiswiderstand gewählt werden?

fischertechnik-Stecklampe 9 V / 100 mA (37869)		
Betriebsspannung	U_{Lmax}	9V
Maximaler Strom	I_{Lmax}	0,1A
Sich ergebender Widerstand	R_L	90Ω

Transistor BC 140-16		
Maximale Kollektor-Emitter-Spannung	V_{CE0}	40 V
Kollektor-Emitter Sättigungs- spannung	V_{CESat}	0,6V (<1V) at
Maximaler Kollektorstrom	I_{Cmax}	1 A
Maximaler Basisstrom	I_{Bmax}	0,1 A
Maximale Verlustleistung	P_{tot}	3,7 W
Strom-verstärkungs-faktor	B	160 (100 - 250)

Tab. 3: Kenndaten von Lampe und Transistor

Der verwendete Transistor hat in unserem Arbeitsbereich von 100 mA laut der Kennlinie in Abb. 19 eine Sättigungsspannung V_{CESat} von etwa 0,15 V. Allerdings bezieht sich dieser Wert auf einen Verstärkfaktor von 10 (h_{FE} ist eine andere Bezeichnung für B), sodass wir mit Abweichungen rechnen müssen. Damit verbleiben für die Lampe 8,85 V. Ist die Kennlinie nicht vorhanden, müssen wir die Angabe aus dem Datenblatt von 0,6 V verwenden.

Daraus kann der tatsächliche Lampen- und Kollektorstrom berechnet werden:

$$I_{RL} = I_C = \frac{U_B - U_{CESat}}{R_L} = \\ = \frac{9V - 0,15V}{90\Omega} = 98,33mA$$

Aus dem Kollektorstrom lässt sich über den Stromverstärkfaktor B der notwendige Basisstrom berechnen. Für die Stromverstärkung können wir wunderbar den Wert einsetzen, den wir bereits weiter oben ermittelt haben (ca. 170, nachgemessen):

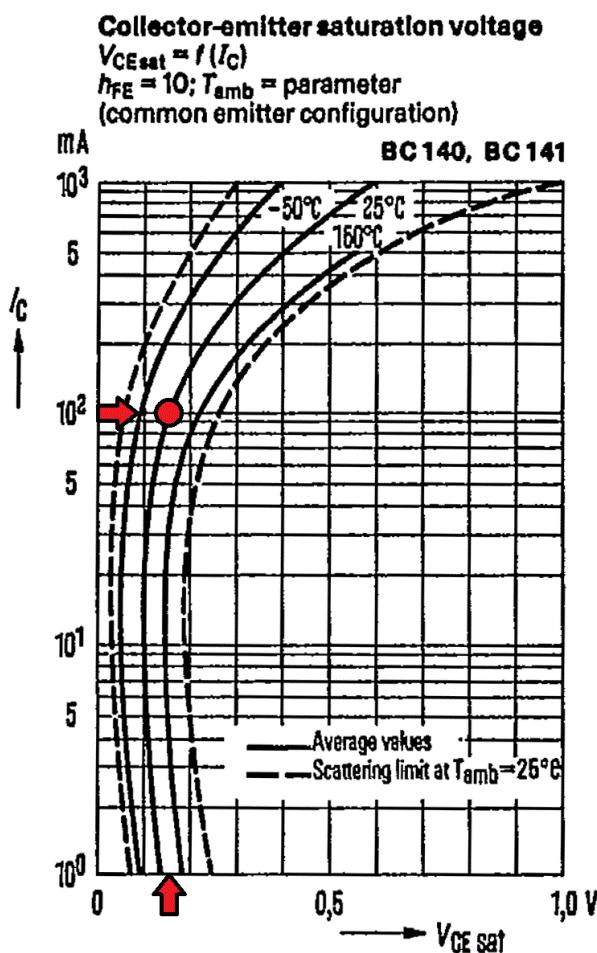
$$\frac{I_C}{B} = I_B = \frac{98,33mA}{170} = 0,578mA$$

Die Spannung am Widerstand U_{R1} ist die Betriebsspannung U_B abzüglich der Sättigungsspannung. Sie beträgt laut der Kennlinie in Abb. 19 für unseren Kollektorstrom ca. 0,81 V. Steht die Kennlinie nicht zur Verfügung, müssen wir den Parameter U_{BEsat} verwenden. Steht auch dieser nicht zur Verfügung, bleibt nur noch die Diffusionsspannung für Silizium von 0,7 V.

$$U_{R1} = U_B - 0,81V = 9V - 0,81V = 8,19V$$

Mit dem Ohmschen Gesetz [2] kann R_1 berechnet werden. Der Widerstand ergibt sich aus der Spannung und dem vorher errechneten Strom:

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_B} = \frac{8,19V}{0,578mA} = 14,17k\Omega$$



Wir verwenden den nächstgelegenen Widerstand aus der E12-Reihe von 15 kΩ. Nach Aufbau der Schaltung sollte die Lampe hell leuchten.

Überprüfen wir die Spannungen und Ströme anhand der oben gezeigten Schaltung können wir feststellen, dass unsere Berechnung ganz gut hinkommt. Einzig die berechneten Werte rein nach Datenblatt weichen etwas ab. Das kann folgende Ursachen haben:

- Die Stromverstärkung unterliegt einer sehr starken Streuung.
- Die Stromverstärkung nimmt mit zunehmendem Kollektorstrom ab.
- Die Sättigungsspannung stimmt auf Grund von Streuungen nicht.

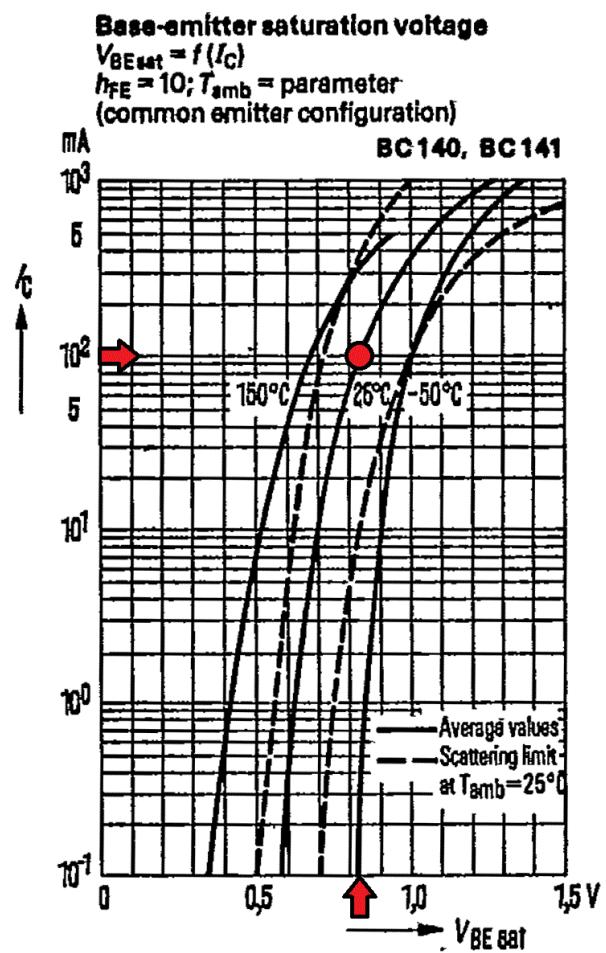


Abb. 19: Sättigungskennlinien BC 140-16 [4]. Diese Kennlinien werden bei Schaltransistoren von einigen Herstellern angegeben. Die markierten Punkte sind die verwendeten Werte bei 25°C.

Messwert	berechnet	gemessen
Kennlinie B = 170	Datenblatt B = 160	
U_{BE}	0,81 V	0,7 V
I_B	0,578 mA	0,583 mA
U_{CE}	0,15 V	0,6 V
I_c	98,33 mA	93,33 mA
		99,03 mA

Tab. 4: Berechnete und gemessene Werte der Transistorschaltung

- Der Transistor erwärmt sich während des Betriebs.

Das alles ist nicht tragisch, da ein Schalttransistor meist „über sein Ziel hinausschießen“ soll, also in die Sättigung gefahren wird. Wir haben erfahren, dass der zwei- bis zehnfache Basisstrom eingestellt werden sollte. In der Literatur wird häufig der dreifache Strom angenommen. Verringern wir also den Basiswiderstand auf $5,6 \text{ k}\Omega$, liegen wir (meine Messungen) mit 1,47 mA Basisstrom beim gewünschten Wert. U_{BE} steigt unwesentlich auf 0,89 V. Der Kollektorstrom wird in erster Linie vom Lastwiderstand bestimmt und veränderte sich bei meinen Messungen nur auf 99,9 mA. Die Stromverstärkung nimmt rapide ab. Mein Wert: nur noch 68. Das alles erklärt sich durch das bisher beschriebene Verhalten von Transistoren im Sättigungsbereich (Kennlinien).

Um dem Transistor zu ermöglichen, seine Ladungsträger in der Basis beim Ausschalten loszuwerden, kann zwischen Basis und Emitter ein hochohmiger Widerstand geschaltet werden ($R_{BE} \gg R_1$, z. B. 100 $\text{k}\Omega$). Er ermöglicht den Ladungsträgern abzufließen. Außerdem sorgt er dafür, dass die Basis ein eindeutiges Potential hat, wenn der Eingang der Schaltung offen ist. Die Basis hängt nicht unkontrolliert in der Luft.

Verlustleistung – Tod eines Transistors

Im Baukasten hobbylabor 1 ist ein Widerstand 33Ω 1 W (37206) enthalten. Wird dieser beispielsweise direkt (kurz!) an einen Batteriehalter 9 V oder an einen Power Controller angeschlossen, ist eine deutliche Erwärmung feststellbar.

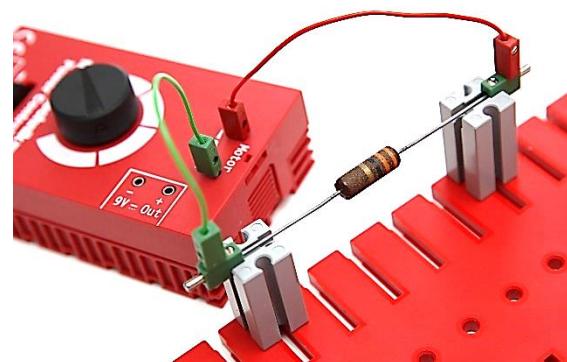


Abb. 20: Verlustleistung „fühlen“

Am Widerstand liegt eine Spannung U von ca. 9 V an. Diese treibt einen Strom I durch ihn, der sich nach dem Ohmschen Gesetz [1] berechnen (oder auch messen) lässt:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9\text{V}}{33\Omega} = 0,272\text{A} = 272\text{mA}$$

Auch die in Wärme umgesetzte Leistung kann berechnet werden:

$$P = U \cdot I = 9\text{V} \cdot 272\text{mA} = 2,45\text{W}$$

Rund $2\frac{1}{2}$ Watt werden im Widerstand in Wärme umgewandelt. Das ist mehr als das Doppelte der zulässigen Verlustleistung von 1 Watt.

Für den Transistor gilt dieser Zusammenhang genauso. Der einzige Unterschied ist, dass er uns einen derartigen Betrieb jenseits seiner maximal zulässigen Verlustleistung sehr viel schneller als ein gutmütiger Widerstand übelnimmt. Das liegt u. A. an den filigranen inneren Strukturen, die auf Wärme (Hitze) viel empfindlicher reagieren. Gleichzeitig werden bei hohen Temperaturen die Ladungsträger immer beweglicher. Irgendwann brechen alle Dämme und die Sperrsichten schlagen durch. Die

übliche maximale Sperrsichttemperatur liegen für Silizium bei etwa 150-175°C. Die gebräuchliche Kennzeichnung für die maximale Verlustleistung ist passenderweise P_{tot} (von P total).

Rufen wir uns noch einmal die Ausgangskennlinie in Erinnerung. Hier werden beide für die im Transistor entstehende Verlustleistung verantwortlichen Größen angegeben:

- die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} und
- der Kollektorstrom I_C .

Wir können durch Multiplikation der beiden Werte für jeden Punkt die im Transistor umgesetzte Leistung berechnen. Tun wir das für einige Punkte, markieren diese im Koordinatenkreuz und verbinden sie miteinander, erhalten wir die sogenannte Leistungshyperbel des Transistors. Jeder Punkt oberhalb dieser Kurve ist tabu ($> P_{\text{tot}}$). Tragen wir noch den maximalen Kollektorstrom ($I_{C\max}$) und die maximale Kollektor-Emitter-Spannung (U_{CEO}) ein, ergibt sich der weiße Bereich im Diagramm in Abb. 21, in dem der Transistor arbeiten muss, ohne dass er durch Wärme, Spannung oder Strom zerstört wird.

Im Abschnitt *Stromverstärkung* ist eine Tabelle mit den Verstärkungsfaktoren angegeben. Wer diese Messung nachvollzogen hat, konnte feststellen, dass sich der Transistor bei Werten von I_C um 50 mA stark erwärmt. Bei diesem Kollektorstrom und der dann an CE anliegenden etwa halben Betriebsspannung von 4,5 V ergeben sich 0,225 W.

Das ist nicht viel und weit vom zulässigen Maximum entfernt, reicht aber für eine deutliche Erwärmung des Transistors (und der damit verbundenen Verfälschung der Messwerte). Im mittleren Bereich der Arbeitsgeraden ist die Verlustleistung im Transistor am höchsten, der Abstand zur Leistungshyperbel (der Kurve mit gleicher Leistung $P = U \cdot I$) an geringsten. Das können wir durch eine einfache Rechnung beweisen (Tab. 5).

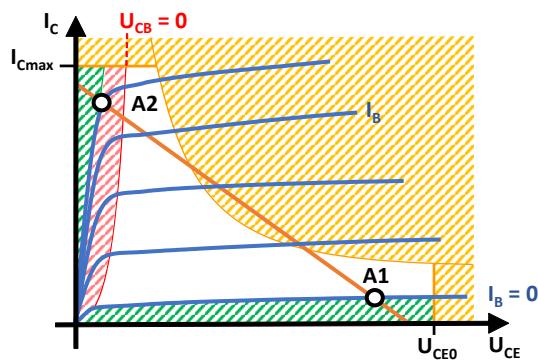


Abb. 21: Ausgangskennlinie mit zulässigem Arbeitsbereich

In Abb. 21 schneidet die Arbeitsgerade die Leistungshyperbel. Schaltet der Transistor, läuft der Arbeitspunkt auf der Geraden jedes Mal durch den Totbereich. Da die angestrebten Schaltzeiten sehr kurz sind, kann die beim Durchlaufen entstehende Verlustleistung vernachlässigt werden. In den Datenblättern von Schalttransistoren finden sich gewöhnlich zeitliche Informationen zu zulässigen Überschreitungen von P_{tot} im Impulsbetrieb.

	I_C	U_{CE}	Berechnung	Ergebnis
Arbeitspunkt A	$I_C \sim 0 \text{ mA}$	$U_{CE} \sim U_B$	$9 \text{ V} \cdot 0 \text{ mA}$	0 mW
Zwischen den Arbeitspunkten	$I_C \sim 50 \text{ mA}$	$U_{CE} \sim 4,5 \text{ V}$	$4,5 \text{ V} \cdot 50 \text{ mA}$	225 mW
Arbeitspunkt B	$I_C \sim 100 \text{ mA}$	$U_{CE} \sim 0,3 \text{ V}$	$0,3 \text{ V} \cdot 100 \text{ mA}$	30 mW

Tab. 5: Berechnung der Verlustleistung

Alle in der fischertechnik-Literatur zu findenden Schaltungen sind so ausgelegt, dass die Arbeitspunktgerade die Leistungs-hyperbel nicht schneidet. Das wäre fatal. Nehmen wir z. B. einen Temperaturschalter mit NTC-Widerstand (1,5 kΩ/[36437](#), 2 kΩ/[36386](#), 25 kΩ/[36716](#), 60 kΩ/[36577](#), 60 kΩ/[37400](#), 68 kΩ/[36438](#)). Bei einer einfachen Transistorsschaltstufe müsste der Arbeitspunkt zwangsläufig gemächlich durch den Totbereich wandern, da sich die Temperatur eines NTC nur allmählich an seine Umgebung anpasst. Das würde nach Einschalten des Modells lange Gesichter geben.

Ein Dämmerungsschalter – nachts sind alle BS30 grau

Vermutlich stelle ich hier den 598. Dämmerungsschalter vor, der seit 1965 (1969) mit fischertechnik konstruiert wurde. Trotzdem wage ich einen neuen Anlauf. Nicht weil es neue wissenschaftliche Erkenntnisse gibt,

sondern weil wir an einem Dämmerungsschalter sehr schön einige Eigenschaften eines Transistorsschalters beobachten können.

Die Idee ist, die Dämmerung künstlich und damit reproduzierbar zu erzeugen. Dazu eignet sich ein Transformator [812/814](#) oder besser ein Power Controller. An den Motorausgang wird der „Dämmerungserzeuger“, eine Steck- oder Gewindelampe, angeschlossen. Der Schaltverstärker aus dem vorherigen Abschnitt dient als Basis für den Versuchsaufbau.

Ist der LDR nicht angeschlossen, funktioniert die Schaltung wie gehabt. Mit LDR gibt es einen Widerstand, der bei ausreichender Beleuchtung das Potential U_{BE} gegen Masse verschiebt. Ist die Beleuchtung schwach, bewegt sich U_{BE} oberhalb der Sättigungsspannung. Die Laterne leuchtet gleichbleibend. Wird die Sättigungsspannung unterschritten, dimmt die Laterne herunter. Nimmt die Beleuchtungsstärke



Abb. 22: Dämmerungsschalter mit elektrischer Dämmerung

weiter zu, wird auch die Diffusionsspannung unterschritten und die Laterne erlischt vollständig. Die Zusammenhänge können in der Schaltung gemessen werden (Abb. 23).

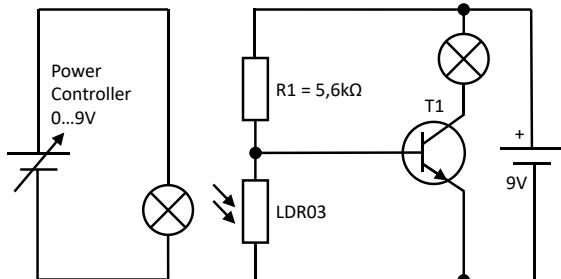


Abb. 23: Schaltplan des Dämmerungsschalters

Die Schaltung funktioniert sehr gut. Sie ist aber keinesfalls optimal, da die Laterne bei Veränderung der Beleuchtung langsam herunter (oder herauf) dimmt. Dabei kann u. U. im mittleren Bereich die Verlustleistung im Transistor über eine längere Zeit den Maximalwert P_{tot} überschreiten. Für uns spielt das keine Rolle, da wir auf Grund der geringen Versorgungsspannung U_B von

9 V zu keinem Zeitpunkt die Leistungshyperbel der maximal zulässigen Leistung schneiden.

Ein Tipp für Besitzer eines ftDuino oder TX(T) Controllers, um die Messgeräteorgie zu vermeiden: Für ca. 8 € gibt es fertig aufgebaute Module mit dem 4-Kanal 18-Bit Präzisions-DA-Wandler MCP3424 [6]. Es handelt sich um einen Differenzwandler mit I²C-Interface und einer internen Referenzspannung von +/- 2,048 V. Er verfügt über einen integrierten, programmierbaren Messverstärker und erreicht damit eine Auflösung von ca. 16 µV. Der Baustein ist so interessant, weil mit den vier Kanälen vollkommen potentialfrei gemessen werden kann. In Abb. 24 wird ein Versuchsaufbau zur Messung von I_B und I_C gezeigt. Links sind die beiden benötigten Shunt-Widerstände (100Ω für I_B und $0,47 \Omega$ für I_C) abgebildet. Diese benötigen keine besondere Toleranz. Mit einem Multimeter wird lediglich durch Referenzmessungen der Umrechnungsfaktor bestimmt und im Programm auf den rohen Messwert angewendet. Die Genauigkeit ist beindruckend.

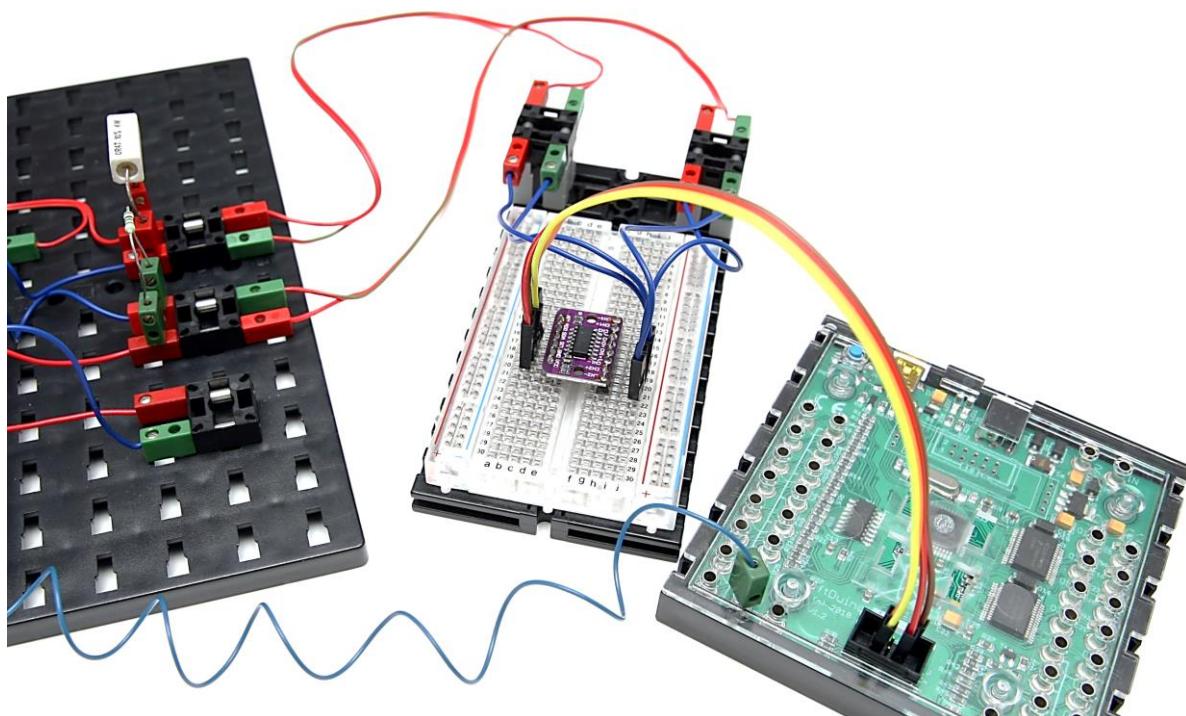


Abb. 24: Strommessung mit MCP 3424

Wichtig ist eine saubere Masseverbindung (vorne im Bild) zwischen Schaltung und Messeinheit (hier MCP 3424 und ftDuino).

Ausblick

Im nächsten Teil befassen wir uns mit Feldeffekttransistoren (FET, MOS-FET, IGFET). Diese sind im fischertechnik-Universum nicht als diskrete Bauelemente zu finden, aber im Computing-Bereich in den Ausgangsstufen der Motor-Ausgänge unverzichtbar.

Quellen

- [1] fischertechnik: *l-e1 Begleitbuch Band 2*. Fischerwerke, 1969. In der [ft-DB](#), S. 118 ff.
- [2] Wikipedia: [*Ohmsches Gesetz*](#).
- [3] Wikipedia: [*Kirchhoffsche Regeln*](#).
- [4] Leifiphysik: [*Kirchhoffsche Gesetze*](#).
- [5] Alldatasheet.com/Siemens: [*Kennlinien BC 140*](#).
- [6] Microchip: [*Datenblatt MCP 3424*](#).
- [7] U. Tietze, Ch. Schenk: *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer-Verlag.
- [8] Elektronik Kompendium: www.elektronik-kompendium.de
- [9] Eigene Schulungsunterlagen und Lösungen: *HPI Elektronik I bis III*. Heinz-Piest-Institut an der Leibnitz Universität Hannover.

Elektronik

Elektronik-Module (Teil 4)

Hans-Christian Funke

Die meisten Modelle bewegen etwas oder bewegen sich selbst. Aber um dies tun zu können, werden entsprechende elektrische Hilfsmittel wie Motoren, Kompressor oder Magnete benötigt. Einige dieser Hilfsmittel brauchen sogar eine ganze Menge Strom. Damit muss einerseits bedarfsgerecht Strom zur Verfügung gestellt werden; andererseits werden Schalter benötigt, die zum Schalten dieser Ströme geeignet und auch schnell genug sind.

Definition

Die Elektronikmodule arbeiten mit positiver Logik. In den folgenden Texten und Beschreibungen werden folgende Bezeichnungen verwendet:

- logisch „0“ = low = minus (-) = Masse oder GND
- logisch „1“ = high = plus (+) = Betriebsspannung oder V_{dd}

Elektronische Schalter

Zum Schalten von Verbrauchern gibt es unter den Elektronikmodulen einmal das Relaismodul 70018 (Abb. 1) und die auf Transistoren basierenden Module 70009 (Leistungsmodul – Abb. 2) und 70019 (Inverter-Plus-Modul – Abb. 3).

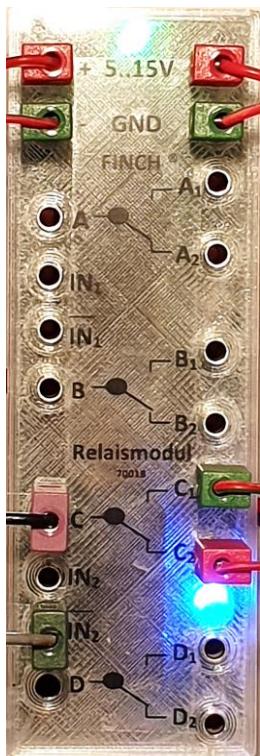


Abb.1: 70018

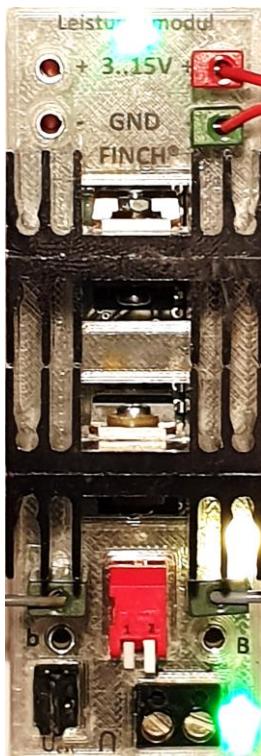


Abb.2: 70009



Abb.3: 70019

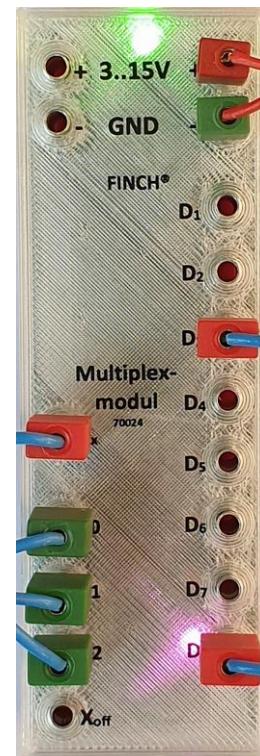


Abb.4: 70024

	70018 Relaismodul	70009 Leistungsmodul	70019 Inverter-Plus- Modul	70024 Multiplexmodul
Schaltzeit	träge, > 5 ms	flink, > 40 µs**	flink, > 40 µs**	flink, > 40 µs**
Max. Schaltleistung	90 W	70,5 W	3,75 W	0,375 W
Max. Schaltspannung	60 V / 25 VAC*	30 V	15 V	15 V
Max. Schaltstrom	3 A	2,35 A	250 mA	25 mA
Anzahl der Schalter	2 × 2 UM	2 × INV	4 × INV+	1 × 8 UM
Geeignet für	Lampe, Magnet, Motor, Kompressor	Lautsprecher, Lampe, Magnet, Motor, Kompressor	Lautsprecher, Lampe, Magnet, Kompressor, (Motor)	Kleine Ströme von Wider- ständen und Kondensatoren, ft-Summer, ft-LED

* Mit den eingesetzten Relais können auch höhere Spannungen geschaltet werden, aber für den vorgesehenen Einsatzbereich der Elektronikmodule sollten die angegebenen Werte nicht überschritten werden. Spannungen bis zu diesem Wert gelten als ungefährlich (auch für Kinder).

** Der Hauptanwendungsbereich der Elektronikmodule liegt im Frequenzbereich bis 25 kHz ($T = 40 \mu s$). Allerdings können – in Abhängigkeit von der Betriebsspannung – auch höhere Frequenzen verarbeitet werden.

UM Umschalter; Durchleitung von angelegter Spannung zu einem Pol von zwei alternativen Polen.

INV Inverter oder Treiber (umschaltbar); schaltet die Betriebsspannung 3...15 V oder eine externe Spannung von 3...30 V mit bis zu 2,35 A je Ausgang.

INV+ Inverter oder Treiber (umschaltbar); schaltet die Betriebsspannung 3...15 V mit bis zu 250 mA je Ausgang (nur bei high am Ausgang); ein GND-Anschluss zusätzlich pro Ausgang.

1 × 8 UM Umschalter; Durchleitung einer analogen Spannung zu einem von acht alternativen Polen; Auswahl der Schalterstellung über Binärcodierung (3 bit).

Tab. 1: Verfügbare Schaltmodule

Der Vollständigkeit halber sei hier auch das Multiplexmodul (70024 – Abb. 4) aufgelistet. Das Multiplexmodul ist ein achtpoliger Schalter: Ein Eingang kann auf acht Ausgänge verteilt werden.

Das Multiplexmodul kann nur sehr kleine Verbraucher ansteuern wie den ft-Summer oder eine ft-LED und kommt im Wesentlichen zum Schalten von elektrischen Verbindungen zum Einsatz. Ein Beispiel für den Einsatz des Multiplexmodules wird es – passend zum nächsten Thema – in einer kommenden ft:pedia geben.

Tab. 1 zeigt eine Zusammenfassung der einzelnen Schalter hinsichtlich ihrer technischen Daten und Eignungszwecke.

Funktion des Relaismodules (70018)

Jedes Relaismodul enthält zwei voneinander unabhängige Relais, die auch separat angesteuert werden können. Die Ansteuerung erfolgt über zwei getrennte Verstärker-Eingänge, die durch ein ODER-Gatter verknüpft sind. Über den Eingang \overline{IN} wird das Relais mit „-“ aktiviert, über den

Eingang IN über „+“ aktiviert. Jedes der Relais verfügt über zwei Umschalter, womit auf einem Relaismodul insgesamt vier Umschalter zu Verfügung stehen (Schaltplan siehe Abb. 5).

In der Historie sind bisher drei Versionen des Relaismoduls 70018 gefertigt worden:

- V1: Relais mit einer Schaltleistung von 30 W (30 V, 1 A)
- V2: Relais mit einer Schaltleistung von 60 W (30 V, 2 A)
- V3: Relais mit einer Schaltleistung von 90 W (30 V, 3 A)

Schaltungsdetails

Bei Betrachtung der Schaltung in Abb. 5 wird dem aufmerksamen Beobachter nicht entgangen sein, dass zwei parallel geschaltete Widerstände (R5 und R6) in Reihe zu der Spule des Relais liegen. Der Grund dafür ist, dass ein genauer Wert von 50Ω benötigt wird, der durch die Parallelschaltung von zwei 100Ω -Widerständen erreicht wird.

Bei einer Betriebsspannung von 4 V liegt die Schaltspannung damit am unteren und bei der maximalen Betriebsspannung von 15 V am oberen Ende des Toleranzbereichs der erlaubten Schaltspannung. Wird mit

einer Betriebsspannung von 15 V gearbeitet, wird auch die Leistungsgrenze von 0,25 W der Widerstände nicht überschritten, weil durch die Parallelschaltung insgesamt eine Leistung von 0,5 W zu Verfügung steht, die sich auf beide Widerstände gleichmäßig aufteilt.

Diesen Trick habe ich auch bei anderen Modulen angewendet, um einen bestimmten Widerstandswert zu erzielen und gleichzeitig kleine Widerstände einzusetzen zu können (0,25 W). Widerstände mit großer Leistung brauchen mehr Platz auf der Platine, aber bei fast allen Modulen ist gerade der nicht gegeben. Anschaulicher wird es bei meinen Ausführungen zum Modul 70009.

Inverter-Plus-Modul (70019)

Das Inverter-Plus-Modul hat in der Grundfunktion vier Inverter. Ein Inverter kehrt ein logisches Signal um. Aus einem logisch „0“ am Eingang wird am Ausgang ein logisch „1“ und umgekehrt. Das „Plus“ an diesem Elektronikmodul ist eine Leistungsstufe an jedem Inverter-Ausgang. Damit können kleine Verbraucher angesteuert werden, wenn der Ausgang auf high liegt. Damit ist das Inverter-Plus-Modul eine gute Alternative zum Relaismodul.

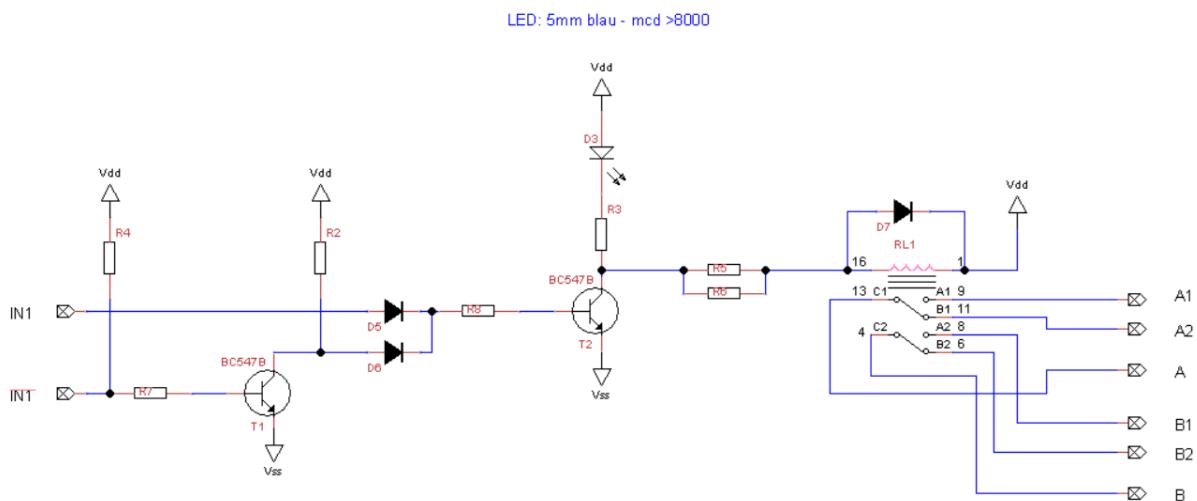


Abb.5: Teilschaltplan des Relaismoduls 70018 (die Schaltung ist zweimal in einem Modul enthalten)

Mit dem Inverter-Plus-Modul können somit Lampen, Magnete, Kompressoren und gering belastete Motoren mit einem Strombedarf unter 250 mA versorgt werden. Auf der Ausgangsseite ist neben dem Inverter-Ausgang auch ein GND-Ausgang verfügbar, so dass Verbraucher direkt mit einer Doppellitze angeschlossen werden können.

Bei jedem Inverter kann über einem DIP-Schalter die Invertierung abgeschaltet werden, so dass es nur noch ein Treiber ist; low am Eingang bringt dann auch low am Ausgang und entsprechend high am Eingang high am Ausgang.

Verbraucher am Inverter-Plus-Modul (70019)

Einen Überblick über die Verbraucher, die mit dem Inverter-Plus-Modul angesteuert werden können, findet ihr in Tab. 2. Die Stromwerte sind Messwerte von vorliegenden Verbrauchern und können als Richtlinie betrachtet werden. Es ist jedoch nur eine kleine Auswahl von Verbrauchern, die

getestet wurden, und somit keine vollständige Liste.

Darüber hinaus können alle ft-Elektronikbausteine und ft-LEDs vom Inverter-Plus-Modul angesteuert werden. Auch Motoren (Minimotor, alter Motor mot. 8, XS/S/M/XM, Power-Motoren) können am Inverter-Plus-Modul betrieben werden, sofern der Motor nur gering belastet wird (z. B. mit einer Luftschaube oder einem freilaufenden Gestänge).

LEDs mit einem Strombedarf von weniger als 2 mA können auch direkt an die Ausgänge aller Elektronikmodule angeschlossen werden. Eine Ausnahme bilden nur die Ausgänge an den Zählermodulen 70001 und 70002, die ausschließlich zur Ansteuerung weiterer Zählermodule dienen.

Gegenüber dem Relaismodul schaltet das Inverter-Plus-Modul wesentlich schneller und kann somit auch für die akustische Signalverstärkung eingesetzt werden.

Verbraucher	Artikelnummer	Strom / Spannung	Bemerkungen
Kompressor	121470	110 mA / 6 V	
		150 mA / 9 V	
Elektromagnet	142504	130 mA / 6 V	BS15 + Spule
		130 mA / 6 V	BS30 Glaskörper mit zwei Spulen
Lampe	31314	90 mA / 6 V	Glaskörper rund; geschraubt
Lampe	31315	180 mA / 6 V	Glaskörper Linse; geschraubt
Lampe	37869	70 mA / 6 V	Glaskörper rund; gesteckt
		100 mA / 9 V	
Lampe	37875	120 mA / 6 V	Glaskörper Linse; gesteckt
		150 mA / 9 V	
Summer	36119	10 mA / 6 V	
Relais	30075	50 mA / 6 V	em 5
Zählwerk	30242	50 mA / 6 V	em 6
Relais	30246	30 mA / 6 V	em 10

Tab. 2: Beispiele für Verbraucher, die vom Inverter-Plus-Modul 70019 angesteuert werden können

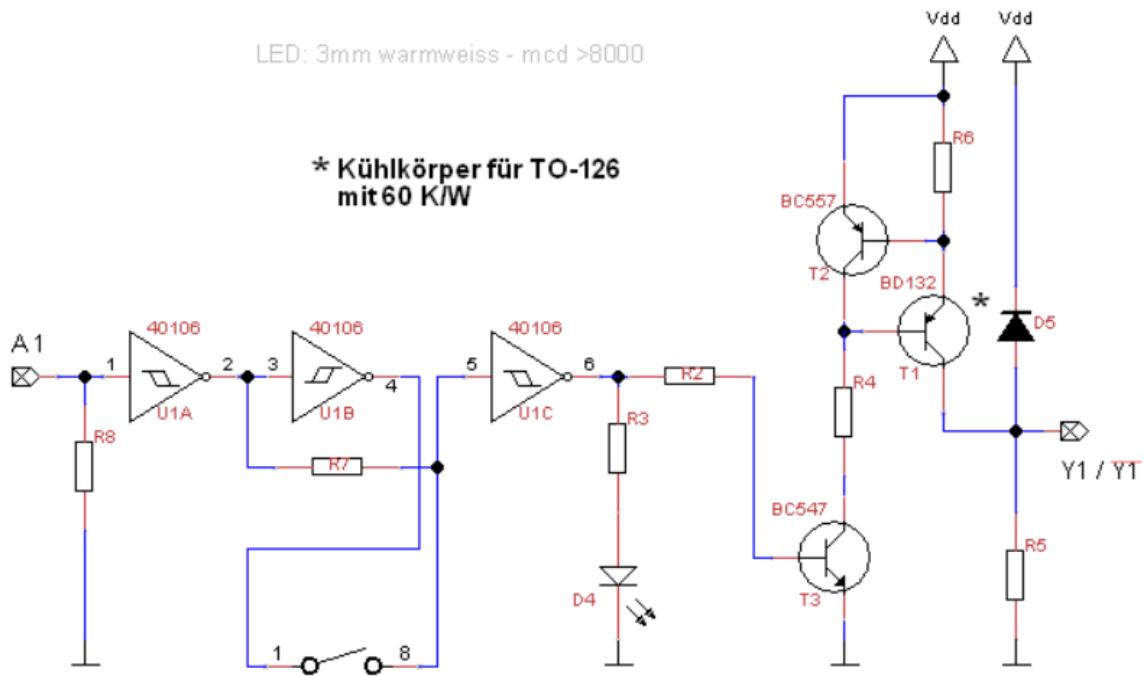


Abb. 6: Teilschaltplan des Inverter-Plus-Moduls 70019 (Schaltung eines von vier Invertern)

Liegt logisch „0“ am Ausgang des Inverters, stehen 2...7 mA (abhängig von der Betriebsspannung) zu Verfügung, die zum Ansteuern weiterer Elektronikmodule vollkommen ausreichend sind.

Besonderheiten

Im Elektronikmodul sind Leistungstransistoren enthalten, die mit einem kleinen Kühlkörper versehen sind und sich innerhalb des Gehäuses befinden. Bei gleichzeitiger Volllast aller vier Inverter kann es zu einer Erwärmung des Elektronikmoduls kommen. Aus diesem Grund wurden oben und an der Seite des Gehäuses Luftschlitzte angebracht, damit bei Erwärmung eine gute Luftzirkulation entstehen kann und die Transistoren gekühlt werden. Bei der Montage des Elektronikmodules in einem Modell sollte daher beachtet werden, dass die Lüftungsschlitzte möglichst nicht verdeckt werden.

Endstufen aus Transistoren können durch Gegenspannung zerstört werden, die in den Spulen von Motoren oder Elektromagneten entstehen. Um der Zerstörung entgegen zu

wirken, sind bereits in der Ausgangsendstufe sogenannte Freilaufdiode vorgesehen.

Leistungstreiber (70009)

Das mächtigste Elektronikmodul ist der Leistungstreiber, der Stromstärken bis zu 2,35 A bei einer Frequenz von über 25 kHz verarbeiten kann. Auf Grund der großen Kühlkörper, die bei diesem Elektronikmodul außen angebracht werden mussten, haben nur zwei Inverter/Treiber Platz gefunden. Auch die Anordnung der Bauteile war äußerst schwierig, denn sowohl die Anschlüsse als auch der DIP-Schalter und der Doppel-Jumper für die interne / externe Spannungsversorgung der Endstufe sollten alle gut erreichbar sein.

Funktion des Leistungsmodul

Das Leistungsmodul ist im Aufbau ähnlich zum Inverter-Plus-Modul; von der Funktionsbeschreibung ist das Leistungsmodul identisch. Das Leistungsmodul verfügt jedoch über einen Gegentaktverstärker, der dafür sorgt, dass sowohl bei logisch „0“ (low), als auch bei logisch „1“ (high) am

Ausgang bis zu 2,35 A entnommen werden können (Schaltplan siehe Abb. 7).

Eine Besonderheit ist, dass die Ausgänge Spannungen bis zu 30 V schalten können. Für die Einspeisung der höheren Spannung stehen ein separater Niedervoltanschluss und eine Schraubklemme am Modul zur Verfügung (externe Spannung). Über einen Doppel-Jumper kann dann entweder die interne Betriebsspannung über die Endstufe oder die externe Spannung geschaltet werden. Auf der Platine sind die Massen der internen und externen Schaltspannung bereits miteinander verbunden.

Schaltungsdetails

In der Testphase kam es zu Schäden an der Schaltung, wenn eine Spannung an den Eingängen anlag und die Betriebsspannung vorzeitig abgeschaltet oder erst im Nachhinein angelegt wurde. Mit den Dioden vor dem eigentlichen Eingang wird dieses Problem vermieden.

Die Diode (D3) in Richtung V_{dd} versorgt das Elektronikmodul mit einem Notstrom für den Fall, dass die Betriebsspannung fehlt. Allerdings fallen bei der Diode 0,7 V

ab. Damit die Eingangsspannung nicht größer als die Betriebsspannung wird, ist im Eingangsweg ebenfalls eine Diode (D4) geschaltet.

Anders als beim Inverter-Plus-Modul versorgt der Transistor T2 hier die LEDs eines Opto-Kopplers, der für eine galvanische Trennung zwischen der internen und externen Schaltspannung sorgt (erforderlich bei Verwendung von externen Spannungen > 15 V). Die Endstufe ist so konstruiert, dass im Fall, dass die LEDs des Opto-Kopplers leuchten, die Fototransistoren auf der Gegenseite des Opto-Kopplers einen Leistungstransistor durchschalten (T4) und den anderen (T6) blockieren. Verlöschen die LEDs des Opto-Kopplers, wird T4 blockiert und T6 leitend.

Die Transistoren T3 und T5 dienen der Strombegrenzung, womit die Leistungsstufe kurzschlussfest wird. Für die Widerstände wurde der schon erwähnte Trick beim Relaismodul angewandt. Die sogenannten Shunt-Widerstände mit $0,25\Omega$ müssten 2 W Leistung verdauen können. Damit würden diese eine ordentliche Größe haben und entsprechend viel Platz auf der

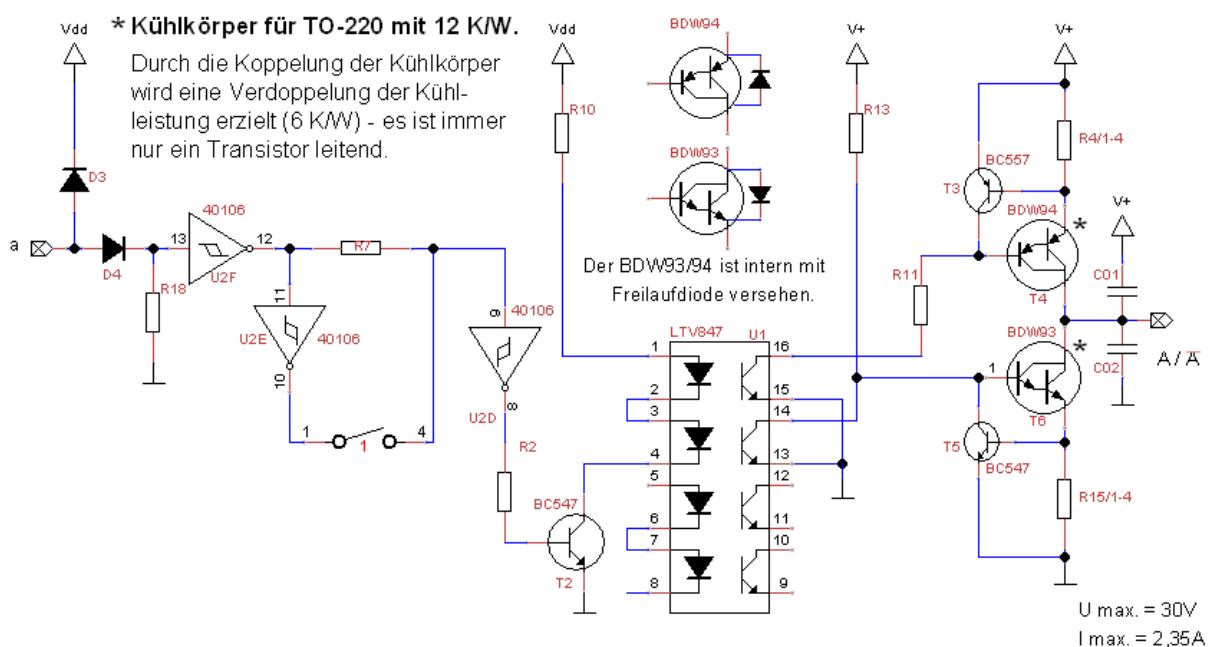


Abb. 7: Teilschaltplan des Leistungsmoduls 70009

Platine benötigen. Daher habe ich hier $4 \times 1 \Omega$ parallelgeschaltet ($= 0,25 \Omega$), womit insgesamt 16 Widerstände zum Einsatz kommen!

Damit die Widerstände alle Platz haben, sind SMD-Widerstände mit je 0,6 W zum Einsatz gekommen (sie sind sehr klein und passen gut auf die Rückseite der Platine) womit das Problem elegant gelöst ist – auch hinsichtlich der hohen Leistung, da sich die Leistungen durch die Parallelschaltung addieren und damit 2,4 W ($4 \times 0,6$ W) von den vier Widerständen verarbeitet werden können.

Auch hier würden die Leistungstransistoren der Endstufe ohne Freilaufdiode Schaden durch auftretende Gegenspannungen von induktive Lasten nehmen. Die eingesetzten Leistungstransistoren verfügen aber bereits über eine interne Freilaufdiode (innerhalb des Gehäuses des Transistors)!

Funktion des Multiplexmoduls (70024)

Eine ausführliche Beschreibung des Multiplexmoduls werde ich erst in einer nächsten Ausgabe der ft:pedia veröffentlichen, weil das Modul thematisch dort besser passt.

Eine Besonderheit möchte ich schon an dieser Stelle ansprechen. Der Schalter 1 auf 8 bzw. 8 auf 1 des Multiplexmoduls ist ein bidirektonaler analoger Schalter und ist damit funktionell einem Relais gleichzusetzen. Es spielt somit keine Rolle, auf welcher Seite Plus oder Minus angeschlossen wird. Ebenso spielt die Spannung keine Rolle – es kann jede Spannung zwischen 0 V und der Betriebsspannung (max. 15 V) geschaltet werden. In diesem Sinne gibt es dort kein high oder low. Nur der durchzuleitende Strom ist bei diesem Schalter auf maximal 25 mA begrenzt.

Versorgungsmodule (70003 und 70020)

Die Finalstücke der Elektronikmodule sind die Versorgungsmodule. Diese wurden als letztes in der Serie fertiggestellt. Es gab mehrere Varianten und Lösungen, aber jeder dieser Entwürfe hatte irgendeinen Nachteil. Entweder wirkte die Strombegrenzung nicht oder die Spannung blieb unter Last nicht konstant oder es traten zu große Stromwerte auf (Version mit Boost- und Buck-Regler).

Das Versorgungsmodul sollte die folgenden Grundanforderungen erfüllen:

- Einspeisung von Gleichspannung (0...30 V).
- Einspeisung von Wechselspannung und Umwandlung in Gleichspannung (0...30 V).
- Einspeisung von pulsierender Gleichspannung (0...30 V).
- Begrenzung des Stromflusses auf 2,5 A.
- Begrenzung der Ausgangsspannung auf maximal 15 V.
- Direkter Anschluss von Steckernetzteilen wie z. B. [505287](#) über eine Niedervoltbuchse.

Darüber hinaus gab es Anforderungen, die optional waren:

- Niedrigspannungsanzeige bei Einsatz von Akkus (Warnung vor Tiefentladung).
- Parallelschaltung von Versorgungsmodulen für einen Strombedarf $> 2,5$ A muss möglich sein.
- Die Einspeisung soll über Bananenstecker (ft-Stecker) oder Kabel ohne Stecker möglich sein.
- Mehrere Entnahmestellen für V_{dd} (+) und GND (-).

Die Anforderungen aus dieser Aufstellung konnten schließlich fast alle umgesetzt werden, jedoch musste dazu eine Aufteilung vorgenommen werden.

Für Speisespannungen von 14...24 V DC (DC = Gleichspannung) / 15...26 V AC (AC = Wechselspannung) kommt das Versorgungsmodul V2 (70020) zur Anwendung und für Speisespannungen von 3...15 V DC und 5...14 V AC das Versorgungsmodul V1 (70003).

Funktionsbeschreibung des Versorgungsmoduls V1

Durch die Aufteilung der Spannungsbereiche wurde vieles beim Entwurf der Schaltungen einfacher. Für den unteren Spannungsbereich 3...8 V wäre es allerdings sehr nachteilig gewesen, wenn durch Schutzmaßnahmen 1 bis 2 V der eingespeisten Spannung verloren gingen, gerade beim Einsatz von Akkus.

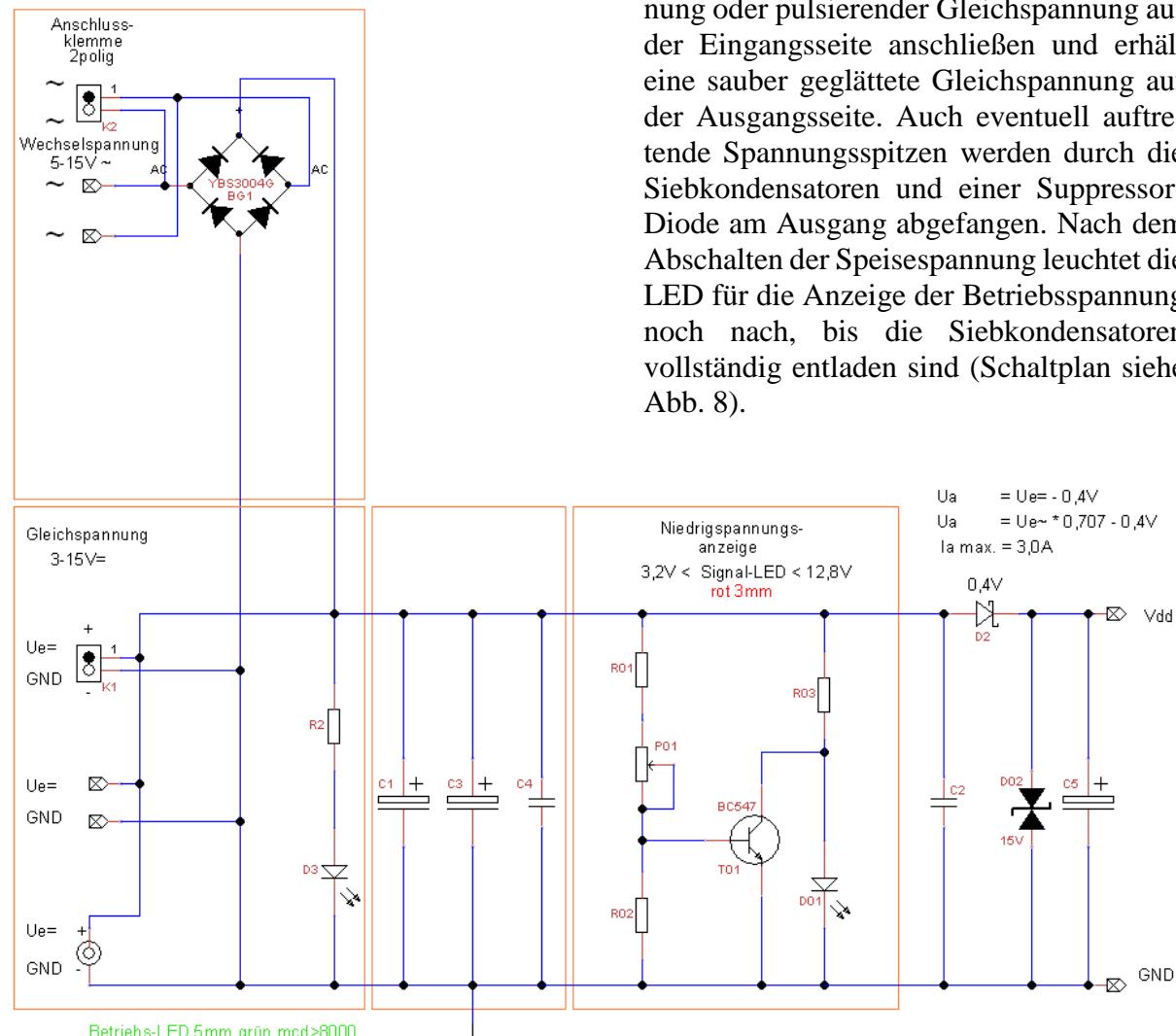


Abb. 8: Teilschaltplan des Versorgungsmoduls V1 (70003)

Aus diesem Grund wurde hier auf eine Strombegrenzung verzichtet. Akkus, Trafos oder Steckernetzeile liefern in der Regel nicht mehr als 3 A und dafür ist dieses Versorgungsmodul ausgelegt ($I_{max} = 3 A$). Das Modul ist somit nur so kurzschlussfest, wie es die Quelle zur Einspeisung ist.

Ebenso wurde auf eine Spannungsbegrenzung verzichtet, weil unter Berücksichtigung der erlaubten Speisespannungen keine Spannungswerte über 15 V auf der Ausgangsseite auftreten können.

Die Gleichspannung und die gleichgerichtete Wechselspannung werden mit Siebkondensatoren (insgesamt 2220 μF) geglättet. Dadurch kann man auch z. B. einen alten ft-Trafo (mot. 4) mit Wechselspannung oder pulsierender Gleichspannung auf der Eingangsseite anschließen und erhält eine sauber geglättete Gleichspannung auf der Ausgangsseite. Auch eventuell auftretende Spannungsspitzen werden durch die Siebkondensatoren und einer Suppressor-Diode am Ausgang abgefangen. Nach dem Abschalten der Speisespannung leuchtet die LED für die Anzeige der Betriebsspannung noch nach, bis die Siebkondensatoren vollständig entladen sind (Schaltplan siehe Abb. 8).

Damit die Parallelschaltung mehrerer Versorgungsmodule problemlos möglich ist, wurde auf der Ausgangsseite eine Schottky-Schutzdiode eingebaut. Der Spannungsabfall an der Schutzdiode liegt bei maximal 0,4 V und muss somit berücksichtigt werden. Folgende Berechnungsformeln ergeben sich daraus für die Ausgangsspannung:

Wechselspannung oder pulsierende Gleichspannung:

$$U_a = (U_e \cdot 0,707) - 0,4V$$

Gleichspannung (z. B. von einem Akku):

$$U_a = U_e - 0,4V$$

Bei Verwendung von Wechselspannungsquellen muss bei der Berechnung allerdings beachtet werden, dass von den meisten Quellen (außer Labornetzteilen) eine höhere Leerlaufspannung geliefert wird, als auf dem Gerät (Steckernetzteil) angegeben ist.

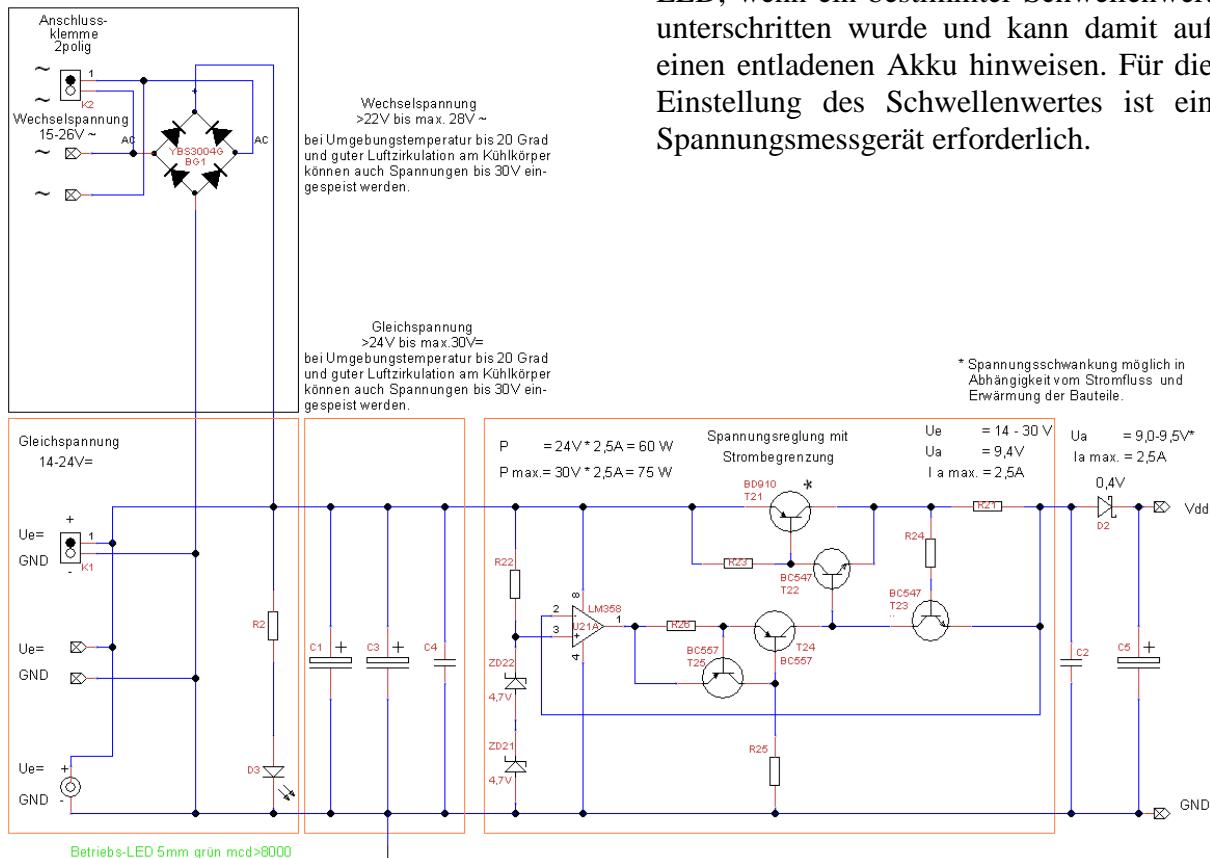


Abb. 9: Teilschaltplan des Versorgungsmoduls V2 (70020)

Die Nennspannung wird nur bei der maximal zulässigen Stromlast erreicht. So kann ein Netzteil mit 12 V AC durchaus auch eine Leerlaufspannung von 16 V AC aufweisen. Aus diesem Grund ist bei Verwendung von Wechselspannungen über 10 V AC Vorsicht geboten.

Vor dem Anstecken weiterer Elektronikmodule an den oberen mit „+“ und „-“ gekennzeichneten Bundhülsen sollte die Ausgangsspannung des Versorgungsmoduls gemessen werden – diese darf nicht über 15 V DC liegen. Die eingebaute Niedrigspannungsanzeige kann – wenn keine Akkus zum Einsatz kommen – bei Verwendung von Wechselspannungen auf einen Maximalwert (≤ 15 V) eingestellt werden. In diesem Fall muss die rote LED leuchten und signalisiert damit, dass die Ausgangsspannung unter 15 V liegt.

Wird die Niedrigspannungsanzeige für den Akku-Betrieb genutzt, signalisiert die rote LED, wenn ein bestimmter Schwellenwert unterschritten wurde und kann damit auf einen entladenen Akku hinweisen. Für die Einstellung des Schwellenwertes ist ein Spannungsmessgerät erforderlich.



Abb. 10:
Versorgungsmodul V1



Abb. 11: Versorgungsmodul V2



Abb. 12: Draufsicht auf das
Versorgungsmodul V2

Der Schwellenwert kann mit Hilfe eines Spindeltrimmer auf Werte zwischen 3,2 und 12,8 V eingestellt und somit genau auf den verwendeten Akku abgestimmt werden. Der Schwellenwert ist voreingestellt auf 7,5 V – das entspricht einem zehnprozentigen Spannungsabfall von einem Akku mit einer Nennspannung von 8,4 V (Akku-Pack). Der Schwellenwertbereich kann variieren und hängt von der Toleranz der eingesetzten Bauteile ab.

Bei Betrieb des Versorgungsmoduls mit einem Trafo mit einer Spannung von 6,8 V würde die rote LED ständig leuchten. Um das zu vermeiden, kann der Schwellenwert über das Spindelpotentiometer soweit herunter gedreht werden, bis die rote LED verlischt.

Funktionsbeschreibung des Versorgungsmodul V2

Durch die höhere Speisespannung ($U_e > 14$ V) ergeben sich ganz andere Voraussetzungen und Ansprüche an das Versorgungsmodul V2 (Schaltplan siehe Abb. 9).

Für den Betrieb der Elektronikmodule muss eine Spannung kleiner 15 V garantiert sein, damit diese keinen Schaden nehmen. Dementsprechend wurde eine Spannungsregelung integriert, die die Speisespannung auf einem festen Wert von 9,0 bis 9,5 V stabil hält. Wie beim Versorgungsmodul V1 wurde hier ebenfalls zum Schutz der Schaltung bei Parallelbetrieb mehrerer Versorgungsmodule eine Schottky-Schutzdiode integriert, aber der Spannungsabfall von 0,4 V ist bereits berücksichtigt. Mit dieser Regelschaltung hat das Modul gleich eine Strombegrenzung auf 2,5 A erhalten und ist damit kurzschlussfest.

Nachteilig wirkt sich der übergroße Kühlkörper aus. Dieser ist allerdings notwendig,

um auch im Fall einer maximalen Belastung bei einer Speisespannung von 24 V die erforderliche Kühlleistung von 60 W für den Regeltransistor bereit zu stellen; der Kühlkörper wird dann schon sehr heiß.

Vorsichtshalber sollte das Versorgungsmodul V2 nur an gut belüfteten Stellen eingesetzt und die Kabel so verlegt werden, dass diese nicht dem Kühlkörper in Kontakt kommen.

Wie bereits erwähnt, wird die Ausgangsspannung nicht immer genau 9,0 V betragen. Dies liegt einmal am Spannungsabfall an der Schottky-Diode, der einen Wert von 0,4 V erreicht, wenn der maximal zulässige Strom durch die Diode fließt. Somit wird sich in der Praxis nach dem Anschließen der Speisespannung an das Versorgungsmodul V2 ein Wert von ca. 9,2 V einstellen.

Aber auch andere Bauteile, die nicht im Regelkreis liegen (wie z. B. die Schottky-Diode), nehmen Einfluss auf die Ausgangsspannung und können bei sehr starker Erwärmung die Ausgangsspannung dahin-

gehend beeinflussen, dass diese bis auf 9,5 V ansteigen kann.

Aus diesem Grund ist bei voller Belastung unbedingt darauf zu achten, dass der Kühlkörper ausreichend mit frischer Luft versorgt wird, also eine gute Luftzirkulation am Kühlkörper entstehen kann und die Umgebungstemperatur nicht über der Zimmertemperatur liegt.

Allgemeines

Die Elektronikmodule arbeiten mit digitalen Schaltkreisen (ICs), die sehr empfindlich gegenüber kleinsten Schwankungen oder Unterbrechungen reagieren.

Bei Steckverbindungen kann es immer mal wieder vorkommen, dass ein Stecker nicht richtig hält und es so zu Unterbrechungen kommt. Um dem vorzubeugen, empfiehlt es sich, die Versorgung der Elektronikmodule mit einer Ringverkabelung zu versehen. Dazu muss einfach das freie Ende der aneinander gereihten Elektronikmodulen wieder mit dem Versorgungsmodul verbunden werden. Auf diesem Weg werden die Elektronikmodule von zwei Seiten

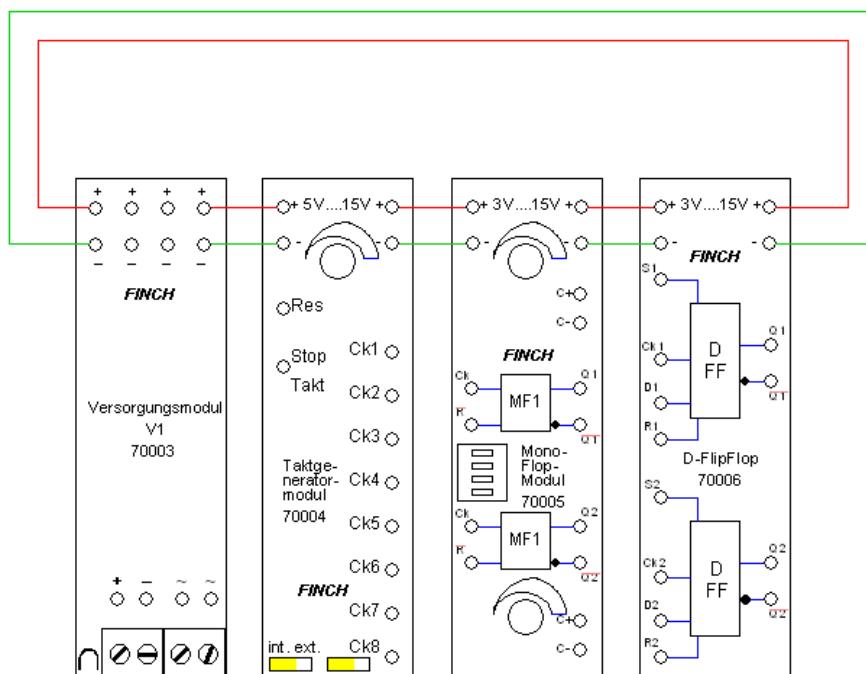


Abb. 13: Beispiel für eine Ringverkabelung

versorgt und eine Unterbrechung ist so gut wie ausgeschlossen (Abb. 13).

Ist die Herstellung einer Ringverkabelung mal nicht möglich, kann auch der in beiden Versorgungsmodulen mitgelieferte Elektrolyt-Kondensator ($2200 \mu\text{F}$) in die letzten beiden freien Anschlüsse gesteckt werden. Er wirkt für wenige Millisekunden wie eine Batterie und kann so kurze Unterbrechungen abfangen. Beim Anstecken des Elektrolyt-Kondensators muss lediglich die Polung beachten werden – der Minuspol ist auf dem Elektrolyt-Kondensator gekennzeichnet.

Schlusswort

In dieser ft:pedia-Ausgabe findet ihr diesmal zwei Modelle: ein „Pianophone“ [4] und eine „Digitale Uhr“ [5]. Dort kommen neben anderen Elektronikmodulen das Versorgungsmodul 70003 und das Leistungsmodul 70009 zum Einsatz, die ich euch in diesem Artikel vorgestellt habe.

Diese beiden Modelle werden euch auch in der nächsten Ausgabe wieder begegnen, weil ich mich im folgenden Teil meiner Reihe den programmierbaren Computer-Interfacen und Controllern in Kombination mit den Elektronikmodulen zuwenden werde.

Darüber hinaus werde ich euch drei weitere Elektronikmodule vorstellen, die sich besonders in Verbindung mit Controllern eignen und als Ergänzung bzw. Erweiterung gedacht sind: Das Meldemodul 70017, das Steuermodul 70016 und das Multiplexmodul 70024.

Für Fragen, weiteren Ausführungen oder Anregungen aller Art stehe ich gern zu Verfügung (elektronik@funke4you.de).

Fortsetzung folgt.

Referenzen

- [1] Funke, Hans-Christian: [Elektronik-module \(Teil 1\): Einleitung](#). ft:pedia 4/2019, S. 40-46.
- [2] Funke, Hans-Christian: [Elektronik-module \(Teil 2\)](#). ft:pedia 1/2020, S. 52-61.
- [3] Funke, Hans-Christian: [Elektronik-module \(Teil 3\)](#). ft:pedia 2/2020, S. 68-81.
- [4] Funke, Hans-Christian: *Pianophone*. In dieser Ausgabe der ft:pedia.
- [5] Funke, Hans-Christian: *Digitale Uhr*. In dieser Ausgabe der ft:pedia.

Modell

Pianophone

Hans-Christian Funke

In der Modellbauwelt haben wir eine Vielzahl von Möglichkeiten, etwas zu bewegen, sich drehen oder fahren zu lassen, zu transportieren, zu steuern oder gar das Modell mit optischen Reizen (Lampen, LEDs) auszustatten. Akustische Signale sind eher selten in einem Modell zu finden – daher hier einmal ein voll akustisches Modell.

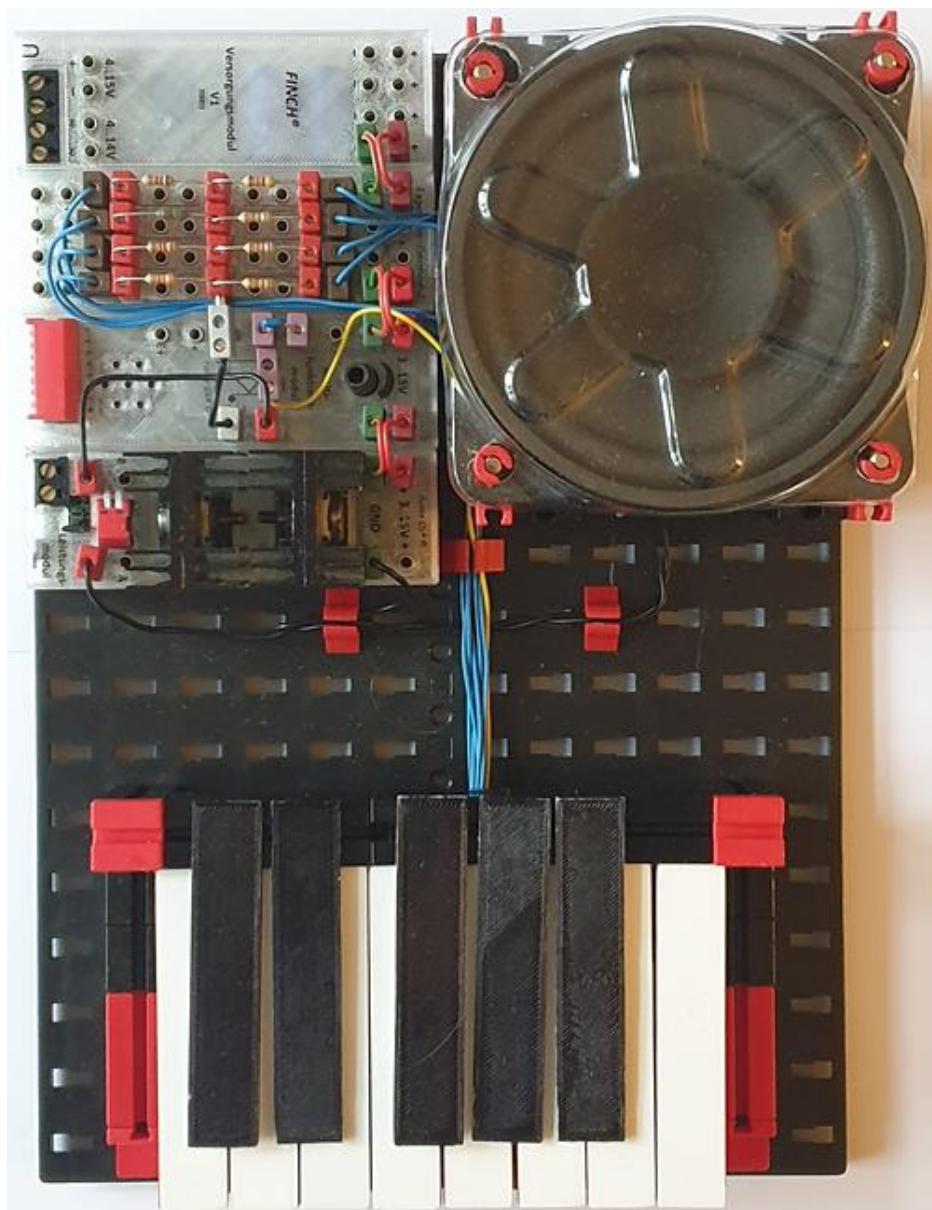


Abb. 1: Pianophone

Aufbauanleitung

Das Pianophone hat viel Ähnlichkeit mit einem Miniaturklavier und damit wird die Funktion des Modells auch am besten beschrieben. Auch bei diesem Modell habe ich auf die Umverpackung oder Ausgestaltung verzichtet und somit ein Minimum an Material verwendet. Hier erst einmal die Teileliste:

Anzahl	Art.-Nr.	Bezeichnung:
1	32985	Grundplatte 258 · 186
4	35969	Kabelführung
6	116251	Baustein 30 (rot)
9	32879	Baustein (sw)
3	32881	Baustein 15 (sw)
3	32882	Baustein 15 (sw) mit 2 Zapfen
1	31060	Verbinder 15
4	31330	Verbinder 45
12	37468	Baustein 7,5
20	31987	Federnocken
2	38240	Baustein V15 Eck
8	38428	Baustein 15 · 30 · 5 mit 3 Nuten
8	38244	Bauplatte 75 (rot oder weiß)
4	38244	Bauplatte 45 (rot)
4	38413	Achse 30
4	37679	Klemmbuchse 5
4	31023	Klemmbuchse 10
8	37780 oder 37783	Minitaster

Anzahl	Art.-Nr.	Bezeichnung:
6	37237	Baustein 5
1	70003	Versorgungsmodul V1
1	70015	Multifunktionsmodul
1	70021	Experimentiermodul
1	70009	Leitungsmodul
1	71040	Kondensator 100 nF ¹
1		Lautsprecher 8 Ω 10 W ²
1		Set mit acht Widerständen ³

Tab. 1: Teileliste

Neben den Teilen aus der Liste werden insgesamt 18 Kabel mit Steckern benötigt, zwei Kabel mit nur einem Stecker (aus dem Set des Experimentiermoduls) für den Lautsprecher und noch weitere 12 Stecker für die acht Widerstände (zwei Widerstände kommen in einen Stecker – siehe Abb. 2). Wer die schwarzen Tasten – nur für die Optik – ebenfalls anbringen möchte, braucht noch weitere fünf Bauplatten [38428](#) – diese habe ich im Modell mit einem wasserfesten schwarzen Stift eingefärbt.

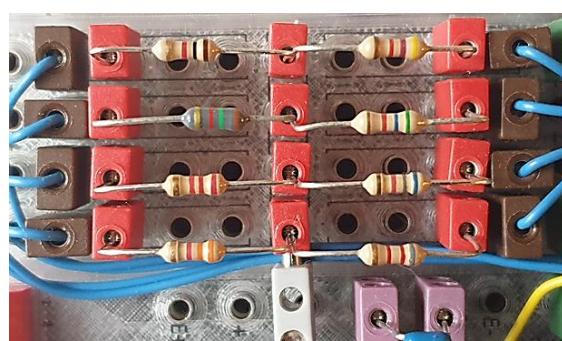


Abb. 2: Die Widerstände werden in der Mitte
in einem Stecker montiert (Testwiderstände)

¹ Ist im Set 70046 des Multifunktionsmoduls inklusive Stecker enthalten

² Gibt es bei Reichelt Elektronik – siehe Abschnitt „Elektronikteile“

³ Die Widerstandswerte sind im Abschnitt „Justierung der Töne“ aufgelistet.

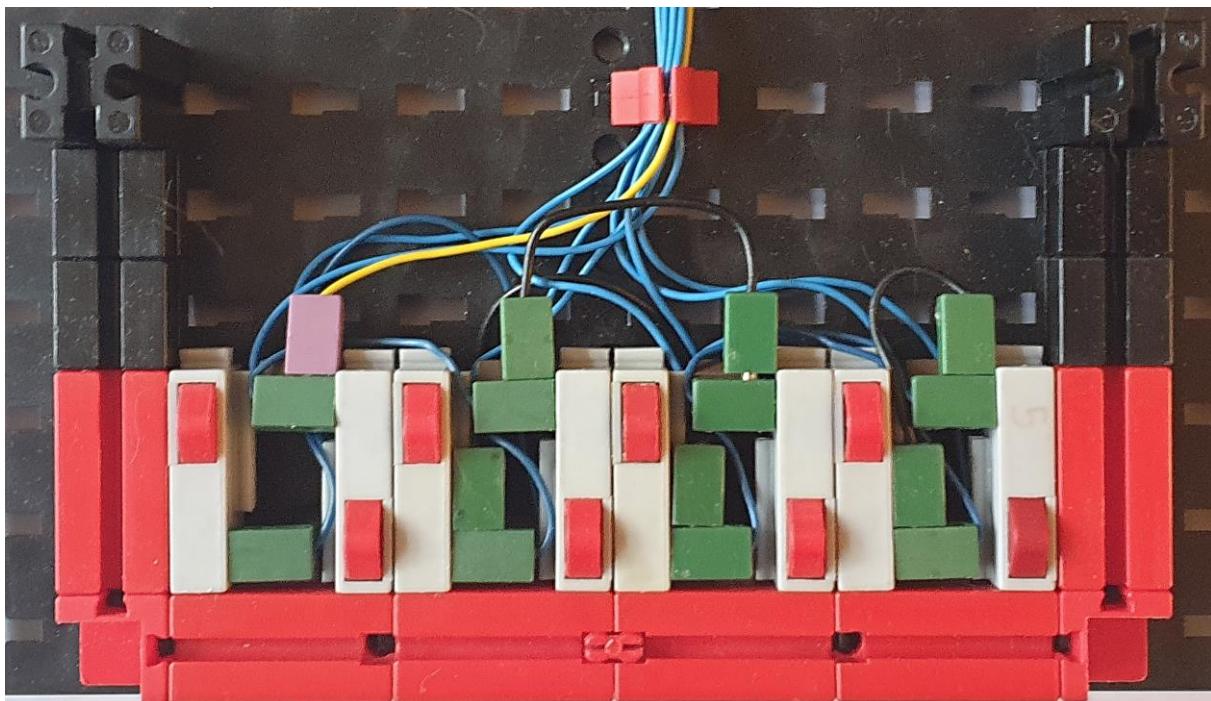


Abb. 3: Rahmen für die Klaviatur mit den Tastern

Mit dem schwierigsten Teil werden wir beginnen: der Klaviatur. Zuerst muss der Rahmen zusammengesteckt werden, an dem die Mini-Taster zu befestigen sind (siehe Abb. 3). Die Taster müssen versetzt und immer um 180 Grad gedreht zum Nachbarn angebracht werden, damit die Stecker zum Anschließen der Taster noch genug Platz finden.

Als nächstes wird die Leiste für die Tasten präpariert. Auf die schwarzen Bausteine werden acht Federnocken geschoben. Wichtig ist, dass der einzelne Zapfen zu sehen ist! Als nächstes werden die Tasten wie in Abb. 4 zu sehen aufgebaut. Vier Tasten bekommen noch ein Mittelstück, bestehend aus einem Baustein 5, der auf den Noppen der Bauplatte 45 geschoben wird.

Bei den vier Tasten, bei denen kein Mittelstück vorhanden ist, werden Federnocken in die Nut des Bausteins $15 \cdot 30 \cdot 5$ geschoben. Die fertigen Tasten sind nun abwechselnd links und rechts bis zur Mitte einzuschieben und aufzufüllen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Tasten nicht zu eng

aneinander liegen, sondern ein kleiner Spalt für die Bewegungsfreiheit der Tasten bleibt.



Abb. 4: Unterseite der Klaviatur



Abb. 5: Seitenansicht von rechts der Klaviatur mit den Tastern



Abb. 6: Seitenansicht von links der Klaviatur mit den Tastern

Als Hilfestellung kann man ein dickeres Stück Papier zwischen die Tasten legen und nach dem Einschieben wieder herausziehen. Die Tasten werden durch die Summe der kleinen Spalte rechts und links ein wenig überstehen; das ist auf Abb. 1 auch zu erkennen.

Bevor ihr die fertige Tastatur einsetzt, solltet ihr die Verkabelung an den Tastern anbringen. Um die richtige Länge für die Kabel bestimmen zu können, müssen die

Elektronikmodule mit Federnocken befestigt werden (Abb. 7).

Erst danach kann die Tastatur eingesetzt werden. Die einzelnen Tasten sollten sich frei bewegen können und die Bauplatten und Federnocken müssen genau über dem Tasthebel sitzen (Abb. 5 und 6). Bei korrektem Sitzt der Tasten ist das Klicken eines Tasters deutlich zu hören. Ggf. müsst ihr die Tastatur etwas in der Höhe nachjustieren. Zum Schluss sind zwei Abschluss-Bausteine 5 auf Bausteine 30 zu schieben.

Den großen Lautsprecher braucht ihr nicht unbedingt, denn das Multifunktionsmodul enthält einen Minilautsprecher, der die Funktion auch erfüllt. Für diesen Fall würden das Leistungsmodul und der Lautsprecher entfallen und beim Multifunktionsmodul müsste DIP-Schalter 8 auf ON (Hebel nach unten) gestellt werden.

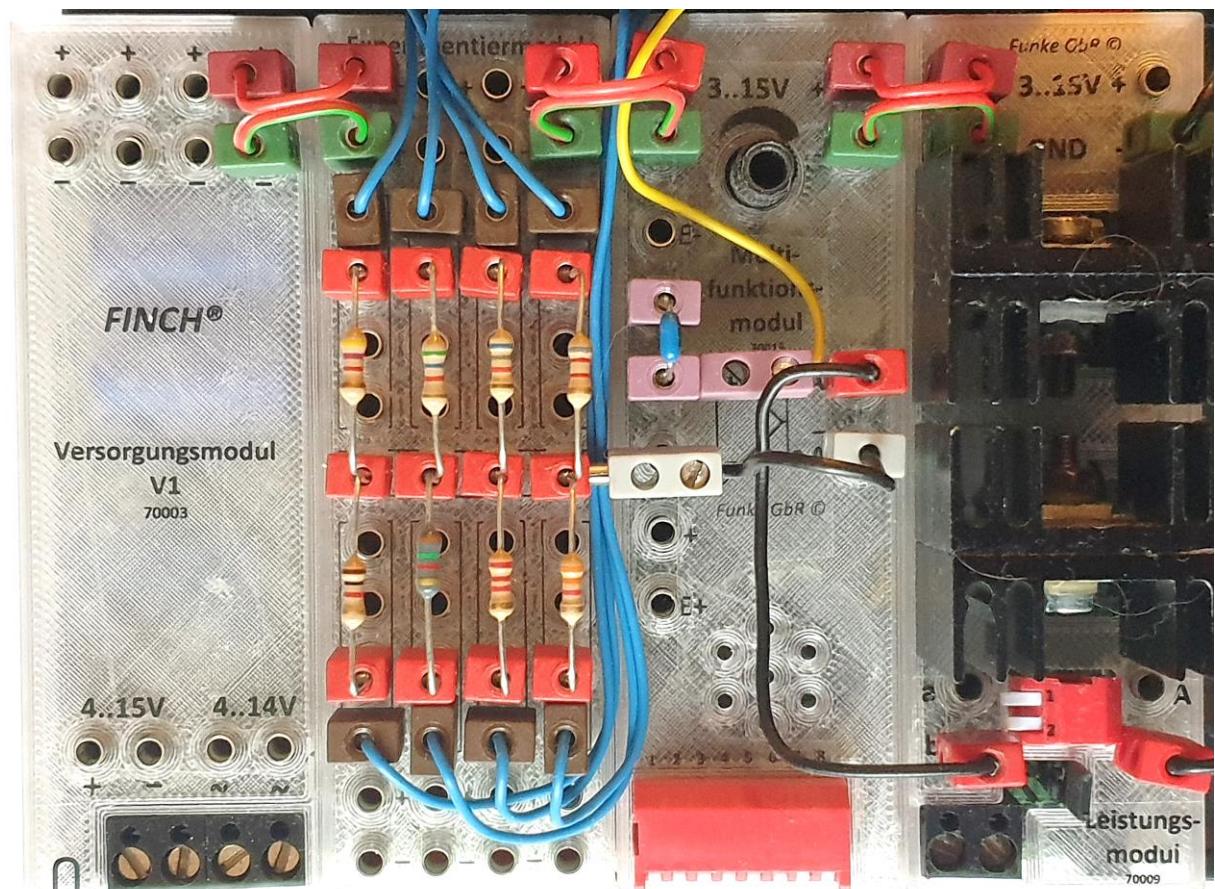


Abb. 7: Die montierten und verkabelten Elektronikmodule



Abb. 8: Großer Lautsprecher (im Reichelt-Elektronik Online-Shop erhältlich)

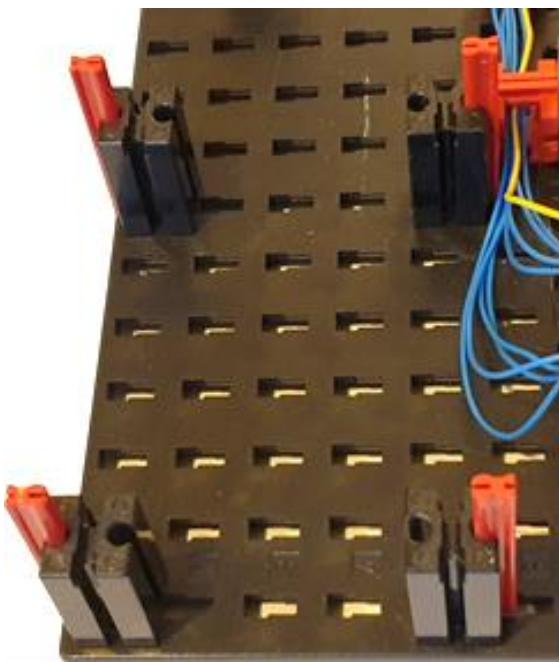


Abb. 9: Montageplatz für den großen Lautsprecher



Abb. 10: Befestigung des Lautsprechers mit vier Achsen 30, Baustein 7,5 und Klemmbuchsen

Schaltungsaufbau

Jetzt fehlt nur noch die Verdrahtung des Modells, die ihr leicht mit dem Schaltplan in Abb. 12 erstellen könnt. Die Widerstände werden ins Experimentiermodul gesteckt. In den Steckern der Mittelleiste werden je zwei Widerstände befestigt (siehe Abb. 2). Am Multifunktionsmodul muss der DIP-Schalter 7 auf ON (Hebel nach unten) stehen. Für Testzwecke oder falls kein großer Lautsprecher verwendet wird, muss auch der DIP-Schalter 8 auf ON gestellt werden.

Justierung der Töne

Mit dem Pianophone kann eine Tonleiter von Ton c bis c' gespielt werden. Die einzelnen Töne werden über verschiedene Widerstandswerte generiert. Die Bestimmung der Widerstandswerte habe ich mit Hilfe eines Oszilloskops vorgenommen. Die Liste der Werte findet ihr in Tab. 2.

In der Praxis ist es aber nicht möglich, derartig feine Unterscheidungen mit den Widerständen zu erzeugen, weil die Widerstandswerte nur in einem groben Raster verfügbar sind. Die gängigen Widerstände gibt es in sogenannten Normreihen (E6, E12, E24, ...), wobei die Zahl hinter dem „E“ die Anzahl der Werte in einer Dekade (und damit indirekt auch die Toleranzen zwischen den Werten) angibt.

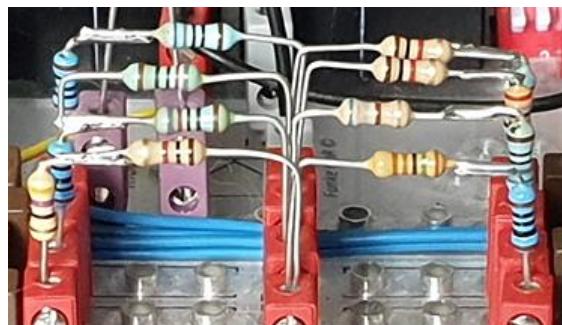


Abb. 11: Zwei Widerstände zusammengelötet

In Tab. 2 sind möglichst genaue Werte aus den gängigen Widerständen in der Spalte *Ersatzwert 1* zusammengestellt, wobei sich

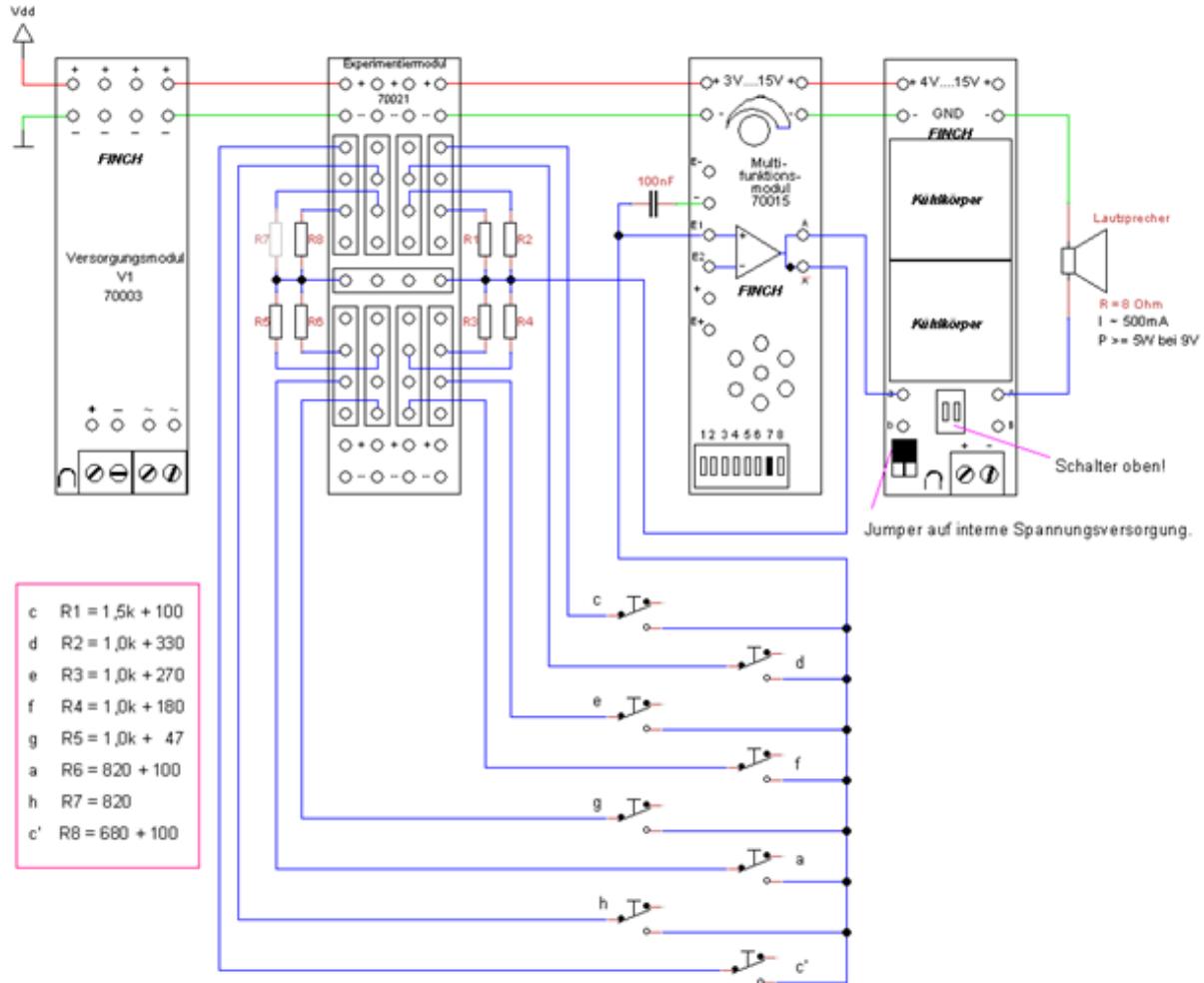


Abb. 12: Schaltplan des Pianophons

hier zwei Widerstände zum Zielwert addieren. In der Praxis heißt dies aber, dass diese beiden Widerstände zusammengelötet werden müssen (Abb. 11). Wer sich diese Arbeit nicht machen möchte und sich mit einem etwas größeren Ergebnis zufrieden stellt, kann mit einem einzelnen Widerstandswert arbeiten, dessen Wert die Spalte *Ersatzwert 2* benennt.

Elektronikteile

Alle Widerstände und der Lautsprecher sind bei dem Elektronikversand Reichelt online erhältlich. Die Teile habe ich euch in Tab. 3 mit den entsprechenden Bestellnummern angegeben.

Ab sofort können also alle angehenden Virtuosen ihrer Fantasie freien Lauf lassen und eigene Kompositionen kreieren – viel Spaß!

Ton	Frequenz	Dauer	Widerstand	Ersatzwert 1	Ersatzwert 2
c	131 Hz	7,6 ms	1590 Ω	1,5 kΩ + 100 Ω	1,6 kΩ
d	156 Hz	6,4 ms	1340 Ω	1,0 kΩ + 330 Ω	1,4 kΩ
e	165 Hz	6,0 ms	1260 Ω	1,0 kΩ + 270 Ω	1,3 kΩ
f	174 Hz	5,7 ms	1170 Ω	1,0 kΩ + 180 Ω	1,2 kΩ
g	196 Hz	5,1 ms	1030 Ω	1,0 kΩ + 47 Ω	1,0 kΩ
a	220 Hz	4,5 ms	930 Ω	820 Ω + 100 Ω	910 Ω
h	246 Hz	4,1 ms	820 Ω	820 Ω	820 Ω
c'	261 Hz	3,8 ms	785 Ω	680 Ω + 100 Ω	750 Ω

Tab. 2: Tonfrequenzen und Widerstandswerte

Artikel	Wert	Bestellnummer	Anzahl	Preis ca.
Lautsprecher	8 Ω / 10 W	VIS FR 10HM-8	1	6,00 €
Kohleschicht-Widerstand	47 Ω	1/4W 47	1	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	100 Ω	1/4W 100	3	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	180 Ω	1/4W 180	1	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	270 Ω	1/4W 270	1	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	330 Ω	1/4W 330	1	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	680 Ω	1/4W 680	1	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	820 Ω	1/4W 820	2	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	1,0 kΩ	1/4W 1,0K	4	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	1,5 kΩ	1/4W 1,5K	1	0,10 €

Tab. 3a: Bestellnummern Elektronik-Artikel bei Reichelt Elektronik (Ersatzwerte 1)

Artikel	Wert	Bestellnummer	Anzahl	Preis ca.
Lautsprecher	8 Ω / 10 W	VIS FR 10HM-8	1	6,00 €
Metallfilm-Widerstand	750 Ω	METALL 750	1	0,10 €
Metallfilm-Widerstand	820 Ω	METALL 820	1	0,10 €
Metallfilm-Widerstand	910 Ω	METALL 910	1	0,10 €
Metallfilm-Widerstand	1 kΩ	METALL 1,00K	1	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	1,2 kΩ	1/4W 1,2K	1	0,10 €
Kohleschicht-Widerstand	1,3 kΩ	1/4W 1,3K	1	0,10 €
Metallfilm-Widerstand	1,4 kΩ	ARC MRA0207 1K4	1	0,35 €
Kohleschicht-Widerstand	1,6 kΩ	1/4W 1,6K	1	0,10 €

Tab. 3b: Bestellnummern Elektronik-Artikel bei Reichelt Elektronik (Ersatzwerte 2)

Modell

Digitale Uhr

Hans-Christian Funke

Mit den neuen LED-Anzeigen der Zählermodule (70001, 70002) vervielfältigen sich die Möglichkeiten für neue oder die Perfektionierung bestehender Modelle. Heute stelle ich euch eine weitere Möglichkeit vor und gleichzeitig auch ein Anwendungsbeispiel für den Taktgenerator (70004), der hier als Binärzähler eingesetzt wird.



Abb. 1: Digitale Uhr (Stunden-Minuten-Sekunden) mit grünen LED

Aufbau

Den Aufbau habe ich hier recht einfach gestaltet mit einer offenen Konstruktion, damit die erforderliche Elektronik gut sichtbar ist (Abb. 2). Sicherlich lässt sich auch noch ein schönes Gehäuse um die Uhr bauen, aber dies überlasse ich euren Designer-Fähigkeiten.

Hier die Stückliste:

Anzahl	Art.-Nr.	Bezeichnung
1	32985	Grundplatte
9	35969	Kabelführungen
16	116251	Baustein 30 (rot)
2	31332	Taster oder Minitaster

Anzahl	Art.-Nr.	Bezeichnung
6	37238	Baustein 5 mit 2 Zapfen
12	37468	Baustein 7,5
10	31060	Verbindungsstück 15
18	31987	Federnocken
3	70001	Zählermodul
1	70003	Versorgungsmodul V1
3	70004	Taktgenerator
1	70010	AND-NAND-Modul
1	70011	AND-NAND-Modul
1	70013	OR-NOR-Modul

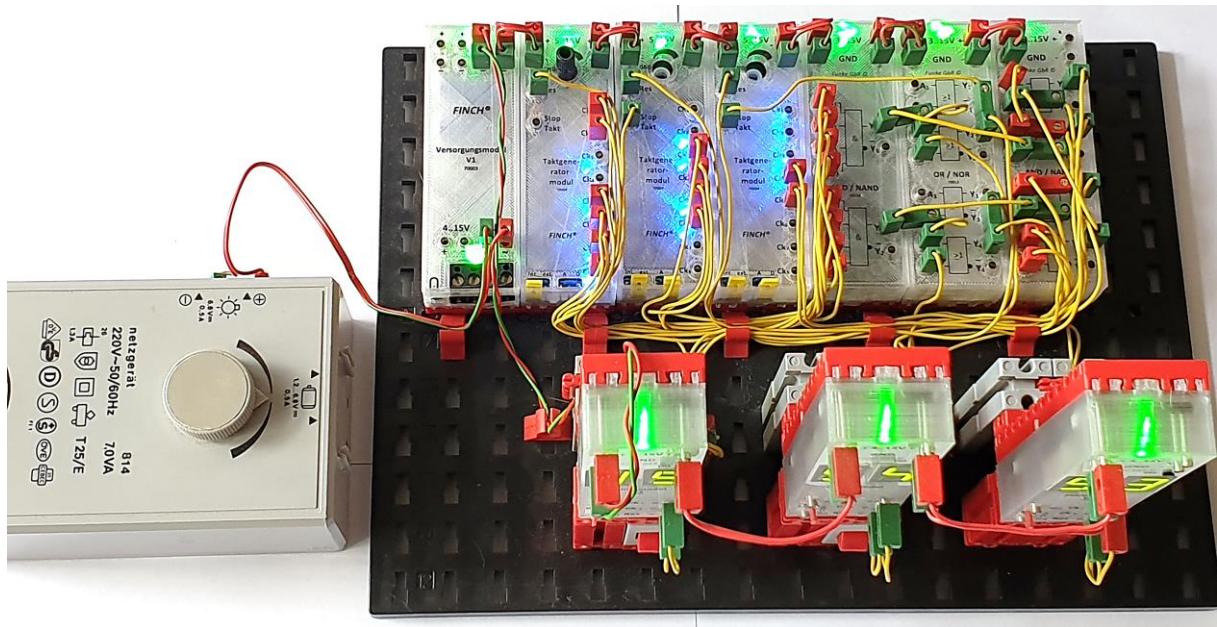


Abb. 2: Gesamtansicht des Modells

Statt des Zählermoduls 70001 kann auch das 70002 verwendet werden, das so beschaltet werden muss, dass das Zählermodul aufwärts zählt.

Die Elektronikmodule habe ich mit Federnocken befestigt. Für einen sicheren Sitz auf der Grundplatte reichen zwei Stück pro Elektronikmodul aus (Abb. 3).

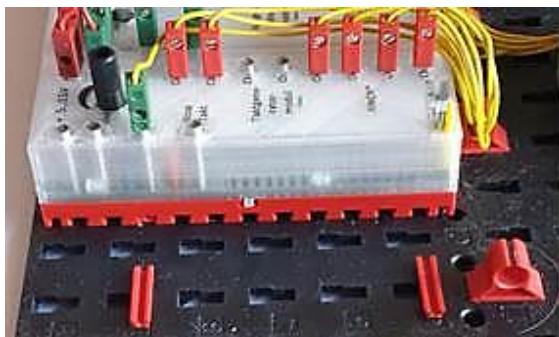


Abb. 3: Federnocken für die Elektronikmodule

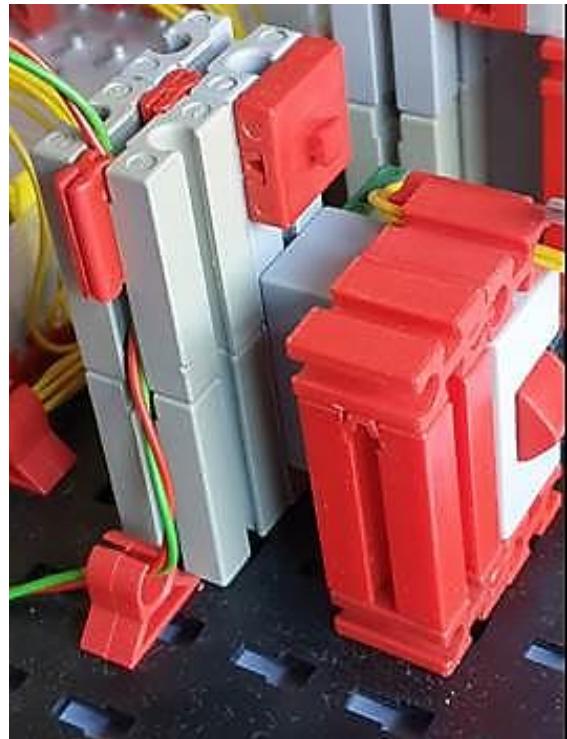


Abb. 4: Sockel für die Zählermodule

Unter dem Zählermodul für die Stundenanzeige und für die Minutenanzeiger befindet sich ein Taster (siehe Abb. 4), der zum Einstellen der Uhr benötigt wird. Darüber kommt das Zählermodul, das mit der Rückseite auf den Baustein 5 geschoben

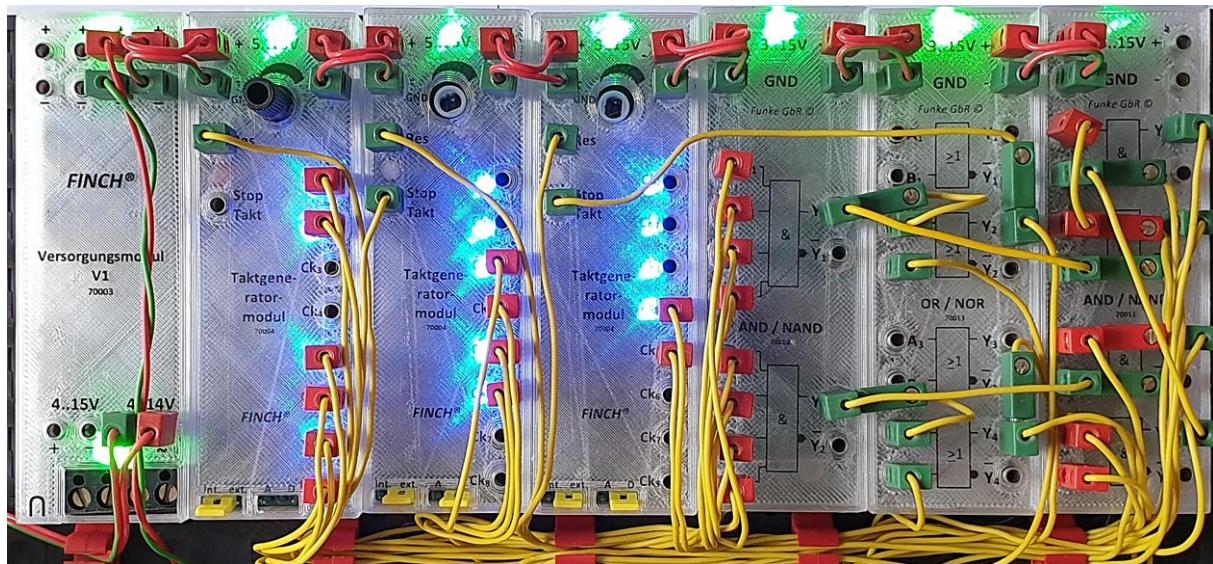


Abb. 5: Elektronikmodule und Kabelführung

wird – natürlich kann auch ein Baustein 5 mit zwei Zapfen verwendet werden. Beim Zählermodul ganz rechts fehlt der Schalter, der sonst dem Sockelvorbau hält gegeben hat. Da dieser hier fehlt, musste ich die Bausteine 7,5 unten mit zwei Federnocken an der Grundplatte befestigen. Wer keinen alten Taster hat, kann Mini-Taster einsetzen; der Aufbau ist identisch zum Sockelvorbau ohne Taster, nur wird statt des einen Baustein 30 der Mini-Taster eingesetzt, dabei schaut der Tasthebel nach rechts.

Damit ist bereits alles vorbereitet bis auf die Verdrahtung der Elektronikmodule – hierfür braucht ihr den Schaltplan (Abb. 6). Ein Hinweis noch zur Verdrahtung: Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, die Kabel senkrecht an den Modulen herunter zu führen zu den Kabelführungen (Abb. 5).

Funktion der Schaltung

Die Schwierigkeit bei der digitalen Uhr war es, einen Melder zu haben, der ein Signal abgibt, wenn 60 Sekunden oder Minuten erreicht sind. Die Zählermodule zählen nur die Impulse und zeigen diese an, aber es gibt keine Möglichkeit, den Status der Anzeige abzufragen.

Was wir hier brauchen, ist einen Zähler, der die Impulse mitzählt und der auch abgefragt werden kann. Genau für diesen Zweck macht sich der Taktgenerator gut, denn durch die Entkopplung des Taktgebers wird dieser zu einem 8-bit Binärzähler. Für die Sekunden wird der Taktgenerator eingesetzt, zum Zählen der Minuten ein Binärzähler und für die Stunden ein weiterer Binärzähler. Mit Hilfe von Gattern wird dann abgefragt, ob 60 Takte erreicht wurden (vierer AND-Gatter) bzw. 24 bei der Stundenanzeige (zweier AND-Gatter).

Ein weiteres Problem hat sich dadurch ergeben, dass die Elektronikmodule zwar sehr schnell reagieren, aber für das Zurücksetzen des Zählermoduls zu schnell. Das heißt, der Binärzähl wurde wieder auf null gesetzt, aber die Zählermodule nicht und so zählten diese über 60 hinaus weiter. Um Abhilfe zu schaffen, wurde über ein weiteres AND-Gatter noch ein halber Takt Verzögerung eingebaut, damit das Zählermodul genug Zeit hat zu reagieren. Damit hat sich allerdings ein anderer, aber weitaus geringerer Nachteil eingestellt. Nachdem die 60 bzw. 24 erkannt wird, ist auf der Anzeige vom Zählermodul für eine halbe Sekunde eine 60 bzw. 24 zu sehen, bevor

der Zähler auf 00 zurückgesetzt wird – nobody is perfect.

Damit die Uhr auch gestellt werden kann gibt es zwei Taster – eine für Minuten und einen zum Stellen der Stunden. Durch dauerhaftes Drücken des Tasters zählt der Zähler die Minuten bzw. Stunden im Takt von 0,5 Sekunden hoch. So kann die Uhr bequem auf die aktuelle Uhrzeit eingestellt werden. Achtung: Die Taster liefern Prellimpulse, daher muss der Jumper beim Zählermodul für Minuten und Stunden auf „A“ für analog gesteckt werden (beim Sekunden-Zählermodul auf „D“); es muss auch nur der Jumper für die Einer-Stelle

eingesteckt werden, weil der Eingang für die Zehner-Stelle (Ck X in) nicht genutzt wird.

Justierung

Der Taktgenerator für die Sekunden muss für den korrekten Betrieb nun noch justiert werden. Am Ausgang Ck8 muss die LED nach 32 Sekunden angehen. Um dies zu erreichen, könnt ihr den Eingang „Stopp/Takt“ des Taktgenerators (Sekunden) über einen Schalter mit Plus (V_{dd}) verbinden und so den Taktgenerator anhalten. Mit Hilfe einer Stoppuhr (bei jedem Handy bzw. Smartphone enthalten) kann so relativ

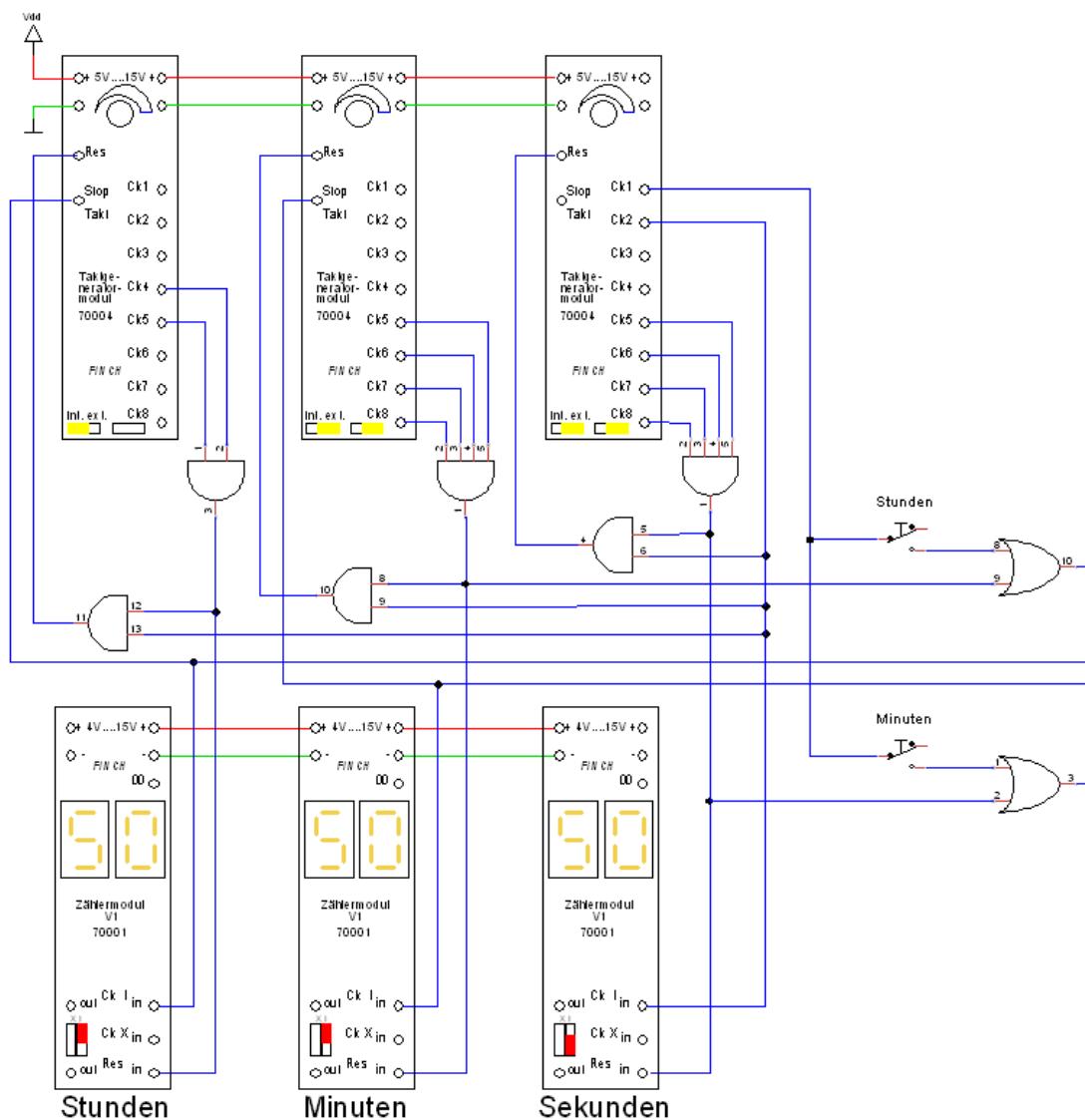


Abb. 6: Schaltplan der digitalen Uhr

leicht gemessen werden, ob Ck8 nach 32 Sekunden leuchtet (high). Mit dem Drehregler am Taktgenerator kann nun die Taktgeschwindigkeit solange verändert werden, bis der Wert erreicht wird.

Und ihr habt recht, das müsste auch mit einem TXT-Controller zu steuern sein. Deshalb werde ich euch dieses Modell in der nächsten ft:pedia noch einmal mit einem Programm zur Ansteuerung der digitalen Uhr vorstellen.

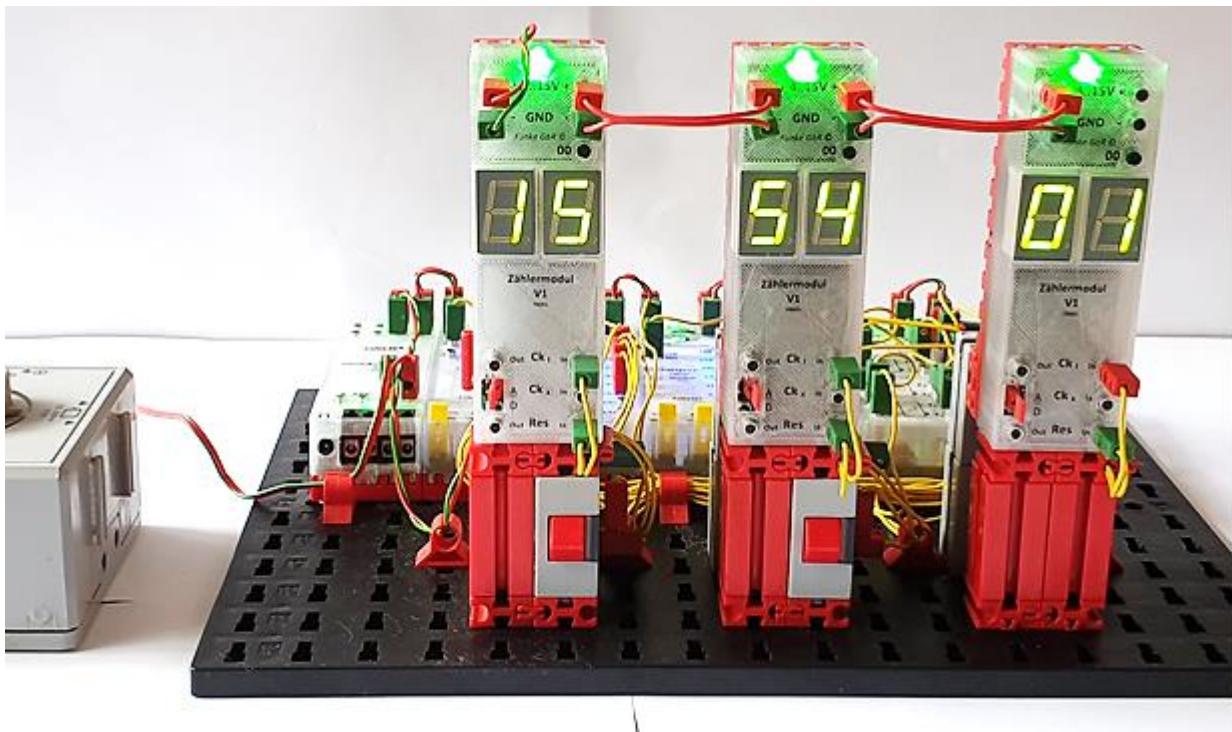


Abb. 7: Das fertige Modell

Computing

startIDE (9): Betrieb eines motorisierten xy-Tischs

Rolf Meingast

Vor einiger Zeit konnte ich für wenig Geld einen praktisch unbenutzten motorisierten xy-Mikroskopisch erwerben. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem Aufbau des Tisches, dem Anschluss an den ftDuino und mit dem Programm zur Steuerung, das auf dem TX-Pi [1, 2] mit der App startIDE [3, 4] läuft.

Der motorisierte xy-Tisch



Abb. 1: Der xy-Tisch

Der Tisch (Abb. 1, 2) ist über 30 Jahre alt und wurde nur wenige Jahre an einem Leitz Metalloplan 6 x 6 oder Ergolux Mikroskop zur optischen Prüfung von bis zu 6 Zoll großen Wafern in einem Reinraum eingesetzt. Ein programmierbares Steuergerät (SCAN 2000) ermöglichte das automatische Abfahren vorgegebener Bereiche des Wafers. Das Programm befindet sich in einem EPROM TMS27C512-15 mit dem aufgeklebten Prüfdatum 29.12.1987. Leider funktioniert dieses auf einem CA80C85B-5CP laufende Programm nicht mit meinem „neuen“ Tisch.

In x- und y-Richtung lässt sich der Tisch um jeweils 150 mm verschieben. Die Spindeln besitzen eine Ganghöhe von 1 mm/Umdrehung. Durch vorsichtiges Testen gelang mir eine Zuordnung der vielen Steckerkontakte:

- zwei Kontakte für den 12 V-Gleichstrommotor
- zwei Kontakte für den Tachogenerator (Drehrichtung und Geschwindigkeitsmessung)
- vier Kontakte für die Endtaster
- vier Kontakte für den Encoder (500 H- oder L-Impulse pro Umdrehung)

Schon 2,5 V bis 5 V Spannung reichen zum Betrieb eines der beiden Motoren. Man erreicht dann eine Verschiebung mit einer Geschwindigkeit von bis zu 50 mm/s.

Anschluss an den ftDuino

Der ftDuino liefert an den Motorausgängen keine kontinuierlich einstellbare Gleichspannung, sondern eine „zerhackte Gleichspannung“ (PWM-Signal). Einstellwerte ab etwa 70 bewegen den Tisch sehr langsam und ruckelig, ab etwa 150 nimmt er schon „volle Fahrt“ auf. Leider ist das Auslesen der Encodersignale durch das Ruckeln mit einem deutlichen Fehler behaftet; bei voller Fahrt ist der Counter mit ca. 50.000 Impulsen pro Sekunde natürlich überfordert.

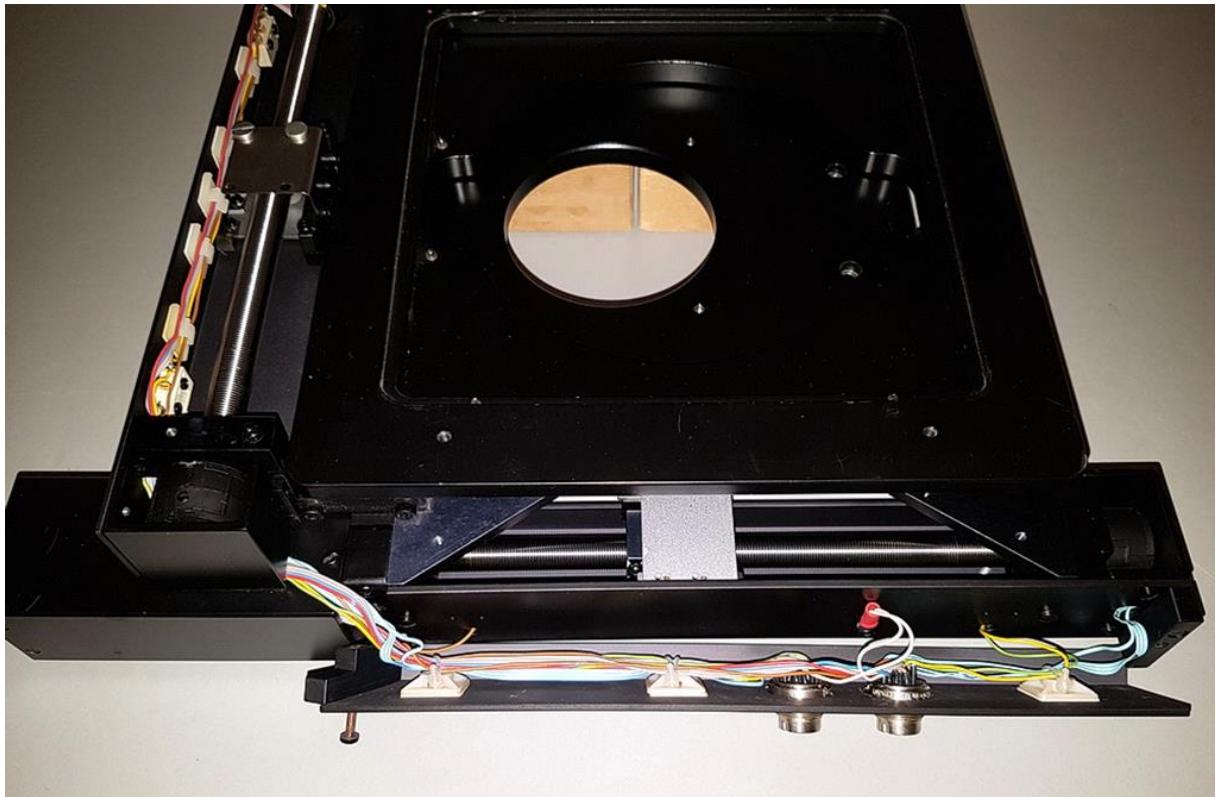


Abb. 2: xy-Tisch – Ansicht von unten

Ich habe deshalb zwischen Encoder und Counter zwei einstellbare Frequenzteiler (SN74LS29x) geschaltet (Abb. 3).

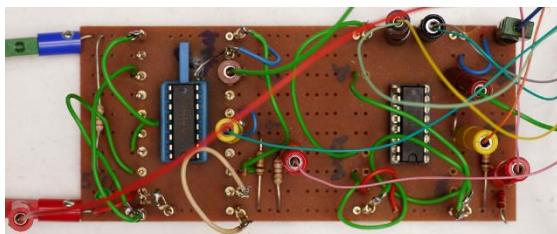


Abb. 3: Frequenzteiler

Die 5 V-Versorgungsspannung wird mit einem Spannungswandler aus der Versorgungsspannung des ftDuino erzeugt. Bei schneller Bewegung des Tisches wird jeder 128ste Impuls vom Counter an C1 und C2 gezählt, das entspricht einer Bewegung um etwa 1/8 mm. Bei ganz langsamer Bewegung können an C3 und C4 die Encoder-signale direkt gezählt werden.

Die Endtaster sind mit I1 bis I4 verbunden.

Weiter habe ich ein Robo-Interface an den TX-Pi [1, 2] angeschlossen, um den Tisch mit der IR-Fernbedienung zu steuern.

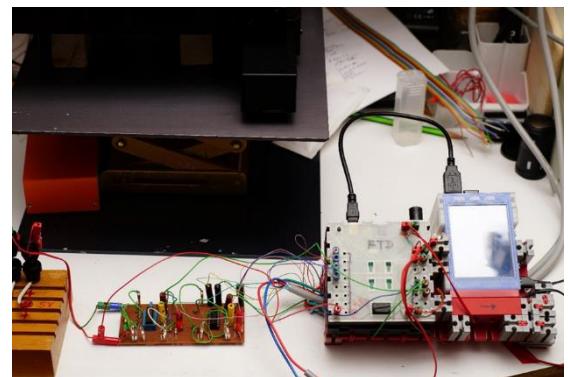


Abb. 4: Anschluss an TX-Pi

Das Steuerprogramm

Zunächst werden alle Variablen initialisiert.

```

9      Init menu 1
10     Init faktor 2
11     Init v_min 90
12     Init v_max 180
13     Init v 95
14     Init delta_v 0
  
```

Es folgt eine Kontrolle der Counter. Dazu werden die beiden Motoren für 10 msec in x- und in y- Richtung eingeschaltet und die vorher auf Null gestellten Counter ausgewertet.

```

45   Call Counter-Test 1
440  Module Counter-Test
441  #
442  Tag Counter_Test_x
443  #
444  CounterClear FTD 3
445  Init counter_x 0
446  # kurzer Motorimpuls
447  Motor FTD 1 l 100
448  Delay 10
449  Motor FTD 1 s 0
450  # Counter 3 am Anschluss vor
Frequenzteiler
451  FromIn FTD 3 C counter_x
452  QueryVar counter_x
453  IfVar counter_x > 0
Counter_Test_y
454  Message kein Counter_x! 'bitte
pruefen!
455  Clear
456  Jump Counter_Test_x
457  Tag Counter_Test_y
458  CounterClear FTD 4
459  Init counter_y 0
460  # kurzer Motorimpuls
461  Motor FTD 2 l 100
462  Delay 10
463  Motor FTD 2 s 0
464  # Counter 4 am Anschluss vor
Frequenzteiler
465  FromIn FTD 4 C counter_y
466  QueryVar counter_y
467  IfVar counter_y > 0
Counter_Test_Ende
468  Message kein Counter_y! 'bitte
pruefen!
469  Clear
470  Jump Counter_Test_y
471  Tag Counter_Test_Ende
472  MEnd
473  #
Anschließend fährt der Tisch in x- und y-
Richtung die Endschalter an, bestimmt den
Mittelpunkt des Tisches und fährt dorthin
(403 und 431). Diese Position wird in mm
angezeigt (407 und 437).
70   Call endtaster 1

```



Abb. 5: Anzeige der Mitte des Koordinatensystems

```

377  Module endtaster
378  #
379  Print finde Endpositionen
380  Print Mitte bei:
381  # Enderkettentest-x
382  # fahre zum Kontakt links
383  Tag end-x_links
384  Motor FTD 1 l 200
385  IfInDig FTD 1 True end-x_links
386  Motor FTD 1 s 0
387  CounterClear FTD 1
388  # fahre zum Kontakt rechts
389  Tag end-x_rechts
390  Motor FTD 1 r 200
391  IfInDig FTD 2 True end-x_rechts
392  Motor FTD 1 s 0
393  FromIn FTD 1 C counter_x
394  # x_max Berechnung
395  # Frequenzteiler /128
396  Calc x_max counter_x * 128
397  # 1000 Wechsel pro Umdrehung
398  Calc x_max x_max / 1000
399  Init x x_max
400  Calc dx x_max / 2
401  Calc dx 0 - dx
402  # fahre zur x-Mitte
403  Call m_dx 1
404  Calc x0 x0 + 10
405  Calc x_max x_max - 10
406  # dies soll ein Ueberfahren der
Ränder vermeiden

```

```

407  QueryVar x
...
427  Init y y_max
428  Calc dy y_max / 2
429  Calc dy 0 - dy
430  # fahre zur y-Mitte
431  Call m_dy 1
432  Calc y0 y0 + 10
433  Calc y_max y_max - 10
434  # dies soll ein Ueberfahren der
Ränder vermeiden
435  QueryVar y
436  Delay 1000
437  MEnd

```

Es folgt das Hauptmenu:



Abb. 6: Hauptmenu

```

73  Tag mainloop
74  Init ir 0
75  FromButtons menu Startpunkt
Endpunkt Meander Foto Parameter my-
Steuerung
76  IR-Fernbedienung STOP
77  IfVar menu == 1 Startpunkt
78  IfVar menu == 2 Endpunkt
79  IfVar menu == 3 MEANDER
80  IfVar menu == 4 ein_Foto
81  IfVar menu == 5 Parameter
82  IfVar menu == 6 my-Steuerung
83  IfVar menu == 7 IR-Steuerung
84  Stop
85  #
86  Tag Startpunkt

```

```

87  #
88  Init x_neu meander_x0
89  Init y_neu meander_y0
90  #
91  # Startposition des Meanders
92  #
93  FromDial x_neu x0 x_max x_start
94  FromDial y_neu y0 y_max y_start
95  # fahre zum Startpunkt
96  Call fahre_xy_neu 1
97  Init meander_x0 x_neu
98  Init meander_y0 y_neu
99  Jump mainloop
100 #
101 Tag Endpunkt
102 #
103 Init x_neu meander_xe
104 Init y_neu meander_ye
105 # Endpunkt des Meanders
106 FromDial x_neu x0 x_max
x_Endpunkt
107 FromDial y_neu y0 y_max y-
Endpunkt
108 # fahre zum Endpunkt
109 Call fahre_xy_neu 1
110 Init meander_xe x_neu
111 Init meander_ye y_neu
112 Jump mainloop
113 #
114 Tag MEANDER
115 #
116 Call Meander 1
117 Jump mainloop
118 #
119 Tag ein_Foto
120 #
121 Call foto 1
122 Jump mainloop
123 #
124 Tag Parameter
125 #
126 FromKeypad meander_dx -150 150
127 IfVar meander_dx == 0 Parameter
128 FromKeypad meander_dy -150 150
129 IfVar meander_dy == 0 Parameter
130 FromKeypad ausschwingen 100
10000
131 Jump mainloop
132 #
133 Tag my-Steuerung
134 # Noch in Arbeit!
135 Jump mainloop
136 #
137 Tag IR-Steuerung
138 #
139 Call AIR 1
140 Jump mainloop

```

```

141  #
142  Tag ENDE
143  #
144  Stop

```

Immer wieder soll der Tisch um eine bestimmte Strecke dx oder dy bewegt werden.

Das Modul für die x-Achse (Motor 1) sieht so aus:

```
242  Module m_dx
```

Zunächst erfolgt ein Test auf Bereichsüberschreitung: Es wird die neue Position berechnet. Falls sie außerhalb des freien Bereichs liegt erfolgt ein vorzeitiger Abbruch des Moduls.

```

245  # in x-Richtung
246  Calc k_x x + dx
247  IfVar k_x < x_max  Go1_x
248  Return
249  Tag Go1_x
250  IfVar k_x > x0      Go2_x
251  Return
252  Tag Go2_x

```

Anhand des Vorzeichens von dx wird die Richtung bestimmt und der Betrag von dx in die Variable dxm übertragen.

```

254  Init x k_x
255  Init dxm dx
256  # dx bleibt erhalten
257  Init richtung_x 1
258  IfVar dxm >= 0 positiv_x
259  Init richtung_x -1
260  Calc dxm dxm * -1
261  Tag positiv_x

```

Die für die Strecke dx erwarteten Impulse werden berechnet und in dxm gespeichert.

```

262  # 1000 Impulse pro Umdrehung
263  Calc dxm dxm * 1000
264  # Frequenzteiler 128
265  Calc dxm dxm / 128
266  Calc dxm dxm + 1
267  #
268  # Bestimmung der Drehrichtung
von Motor 1
269  IfVar richtung_x == -1
motor_1_x
270  #
271  Tag motor_r_x
273  CounterClear FTD 1

```

Kurz vor Erreichen des Ziels wird die Motorgeschwindigkeit v verringert. Dazu

wird die Entfernung zum Ziel (276) berechnet und daraus die erforderliche Geschwindigkeit (278). Ist diese kleiner als die maximale Geschwindigkeit, wird sie übernommen, anderenfalls wird der Tisch mit maximaler Geschwindigkeit (280) bewegt.

```

274  Tag ar_x
275  FromIn FTD 1 C c
276  Calc delta_c dxm - c
277  Calc delta_v delta_c * faktor
278  Calc v v_min + delta_v
279  IfVar v < v_max br_x
280  Init v v_max
281  Tag br_x
282  Motor FTD 1 r v
283  IfIn FTD 1 C < dxm ar_x
284  Motor FTD 1 s 0
285  Jump mot_x_ende

```

Entsprechend wird bei anderer Drehrichtung und für die y-Richtung (Motor 2) vorgegangen. Diese Module verwenden die Verschiebung um dx oder dy:

```

224  Module fahre_dx_und_dy
225  #
226  Call m_dx 1
227  Call m_dy 1
228  MEnd
229  #
230  #
231  # fahre zum Punkt xy

232  Module fahre_xy_neu
233  #
234  Calc dx x_neu - x
235  Calc dy y_neu - y
236  Call m_dx 1
237  Call m_dy 1
238  MEnd

```

Im Modul MEANDER wird aus den Koordinaten von Anfangs- und Endpunkt und gegebenen Schrittweiten die Anzahl der einzelnen Schritte berechnet, um einen Bereich schrittweise lückenlos für ein Panoramabild (Abb. 7) abzufahren. Dazu habe ich den Tisch auf einen Leuchtkasten gestellt.

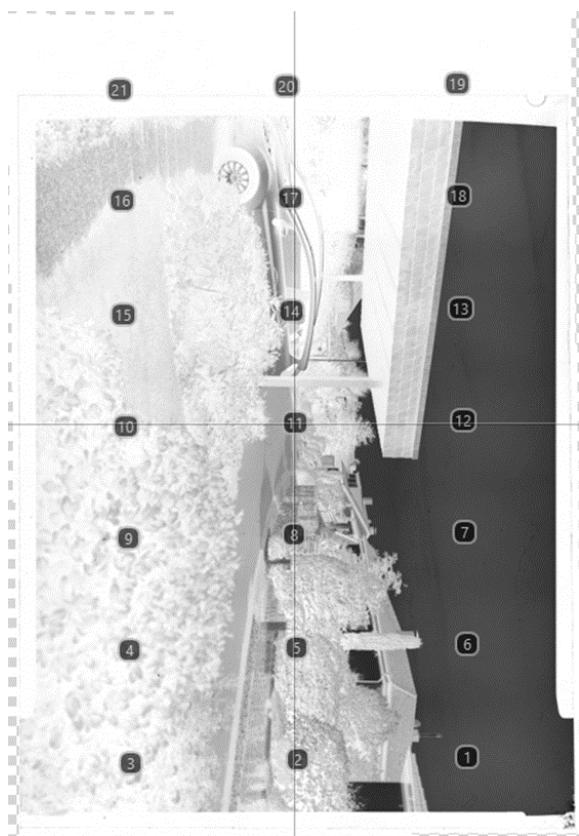


Abb. 7: Meander-Durchlauf bei einem
9 cm x 12 cm-Negativ

```

147  #
148  #
149  Module Meander
150  #
151  # evtl. Sprung nach hilf3
152  #
153  Init zeile 1
154  Init spz 1
155  Calc h meander_ye - meander_y0
156  IfVar h > 0 h_pos
157  Calc h h * -1
158  Tag h_pos
159  Calc b meander_xe - meander_x0
160  IfVar b > 0 b_pos
161  Calc b b * -1
162  Tag b_pos
163  #
164  # Berechnung der Spalten
165  Init hilf meander_dx
166  IfVar hilf > 0 hilf1
167  Calc hilf hilf * -1
168  Tag hilf1
169  Calc Spalten b / hilf
170  Calc Spalten Spalten + 1
171  # Berechnung der Zeilen
172  Init hilf meander_dy
173  IfVar hilf > 0 hilf2

```

```

174  Calc hilf hilf * -1
175  Tag hilf2
176  Calc Zeilen h / hilf
177  Calc Zeilen Zeilen + 1
178  #
179  Tag hilf3
180  # fahre zum Startpunkt
181  Init x_neu meander_x0
182  Init y_neu meander_y0
183  Call fahre_xy_neu 1
184  Calc spz Spalten - 1
185  #
186  Init dx meander_dx
187  Init dy meander_dy
188  # 1. Zeile nach rechts
189  Call foto 1
190  #
191  Tag z11
192  #
193  IfInDig FTD 6 True meander_ende
194  Call m_dx 1
195  Call foto 1
196  LoopTo z11 spz
197  Calc zeile zeile + 1
198  IfVar zeile > Zeilen mainloop
199  Calc dx 0 - dx
200  # 2. Zeile nach links
201  # naechste Zeile
202  Call m_dy 1
203  Call foto 1
204  Jump z11
205  Tag meander_ende
206  Call fahre_xy_neu 1
207  MEnd
208  #

```

Über ein Relais wird die Kamera ausgelöst:

```

210  Module foto
211  #
212  # Pause zum Ausschwingen
213  Delay ausschwingen
214  # Relais-Ansteuerung
215  # zum Auslösen der Kamera
216  Motor RIF 3 l 7
217  Delay 100
218  Motor RIF 3 s 0
219  # Zeit zum Belichten
220  Delay 1000
221  MEnd

```

Eine angenehme Bedienung des motorisierten Tisches erfolgt mit der Fernbedienung des ROBO Controllers:



Abb. 8: Menu zur IR-Fernbedienung

```

475 # IR Fernbedienung ROBO
477 Module AIR

482 Clear
483 Print M3r (1): Foto
484 Print M3l (1):IR-Ende
485 Print M3r
(2):Startpunkt_des_Meanders
486 Print M3l
(2):Endpunkt_des_Meanders
487 Print (1) Schrittweite 1 mm
488 Print (2) Schrittweite: 16
mikrometer
489 Delay 300
490 Tag AIR1
491 Init ir 0
492 FromRIIR ir
493 IfVar ir == 8 Joyy+
494 IfVar ir == 7 Joyy-
495 IfVar ir == 10 Joyx+
496 IfVar ir == 9 Joyx-
497 IfVar ir == 1 Foto
498 IfVar ir == 17
Startpunkt_des_Meanders
499 IfVar ir == 2 IR-Ende

```

```

500 IfVar ir == 18
Endpunkt_des_Meanders
501 IfVar ir == 24 Joyy++
502 IfVar ir == 23 Joyy--
503 IfVar ir == 25 Joyx-
504 IfVar ir == 26 Joyx++
505 IfVar ir == 22 Jmy0
506 IfVar ir == 19 wert11
507 IfVar ir == 20 wert22
508 IfVar ir == 21 wert00
509 IfVar ir == 3 wert1
510 IfVar ir == 4 wert2
511 IfVar ir == 5 wert0
512 Jump AIR1
513 Tag Joyy+
514 Init dy ir-wert1
515 Call m_dy 1
516 QueryVar y
517 Jump AIR1
...
523 Tag Joyx+
524 Init dx ir-wert1
525 Call m_dx 1
526 Delay 250
527 QueryVar x
528 Jump AIR1
...
609 Tag IR-Ende
610 Jump mainloop
611 MEnd
...

```

Referenzen

- [1] Till Harbaum: [TX-Pi – A Raspberry Pi setup for fischertechnik](#). Github.com
- [2] Peter Habermehl: [Der \(schnelle\) Weg zum TX-Pi](#). ft:pedia 1/2019, S. 79-82.
- [3] Peter Habermehl: [startIDE Referenzhandbuch](#). V1.7.5 vom 29.10.2019, [Github.com](#).
- [4] Peter Habermehl: [startIDE für die Community Firmware – Programmieren direkt auf dem TXT oder TX-Pi](#). ft:pedia 1/2018, S. 102-107.

Computing

Micro:Bit (Teil 2)

Axel Chobe

In Heft 4/2019 der ft:pedia [1] wurde eine Erweiterungsplatine für den Einplatinencomputer Micro:Bit zur Steuerung von fischertechnik-Modellen vorgestellt. Nun gibt es von Kitronik eine weitere, sehr einfach gehaltene Erweiterung. Auch hier erfolgt die Programmierung mit dem MakeCode-Editor.

Hintergrund

Neben der Platine von DIDACTA [1] gibt es nun eine weiter Platine von kitronik für den Micro:Bit bei Reichelt-Elektronik unter der Artikel-Nr. BBCZ INTERFACE zum Preis von ca. 15 €. Sie ist so ausgelegt, dass der Mikrocontroller mit einer 9 V-Batterie von fischertechnik versorgt werden kann und eine geregelte 3 V-Versorgung für den Micro:Bit erzeugt wird. Die Platine hat vier Aussparungen, um sie z. B. über den Baustein 15 mit Bohrung ([32064](#)) fest auf einer Grundplatte zu fixieren. Als Anschlüsse besitzt die Platine Ausgänge für zwei Motoren für Links-/Rechtslauf, zwei Eingabe-/Ausgabe-Pins sowie zwei Schaltereingänge. Des Weiteren gibt es diverse Status LEDs. Unter anderem ist es möglich, die Richtung der Motoren über grüne bzw. rote LEDs zu kontrollieren.

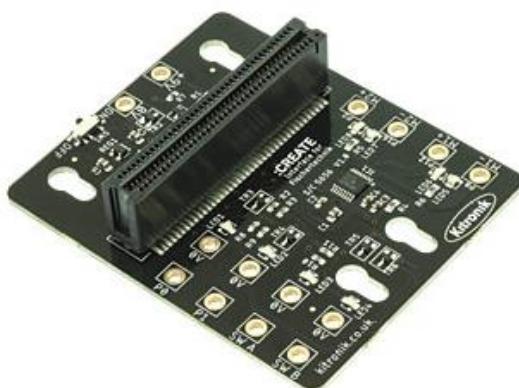


Abb. 1: Micro:Bit-Erweiterungsplatine

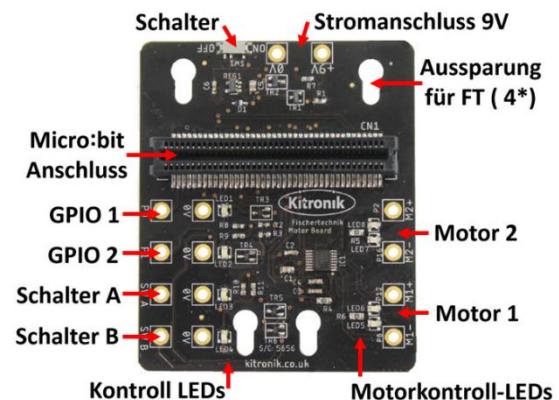


Abb. 2: Anschlüsse der Erweiterungsplatine

Die GPIO-Anschlüsse (General Purpose Input and Output) können digital oder analog betrieben werden. Sie haben also die Fähigkeit, analoge Spannungen mit Hilfe eines sogenannten Analog-Digital-Wandlers (ADC) auszulesen. Die Schaltereingänge SW A und SW B entsprechen den Tasten A und B des Micro:Bit. Wie bei der Didacta-Platine sind die Steckbuchsen mit den fischertechnik-Steckern kompatibel.

Vorbereitungen

Durch Aufruf der [MakeCode-Seite](#) wird der Editor für den Micro:bit geöffnet. Im Internet gibt es zahlreiche Anleitungen für die Programmierung. Sie erfolgt entweder in der Blocksprache (ähnlich Scratch) oder – durch Umschalten in der oberen Zeile – in JavaScript. Alternativ kann der Micro:bit auch über den Python-Editor Mu programmiert werden.

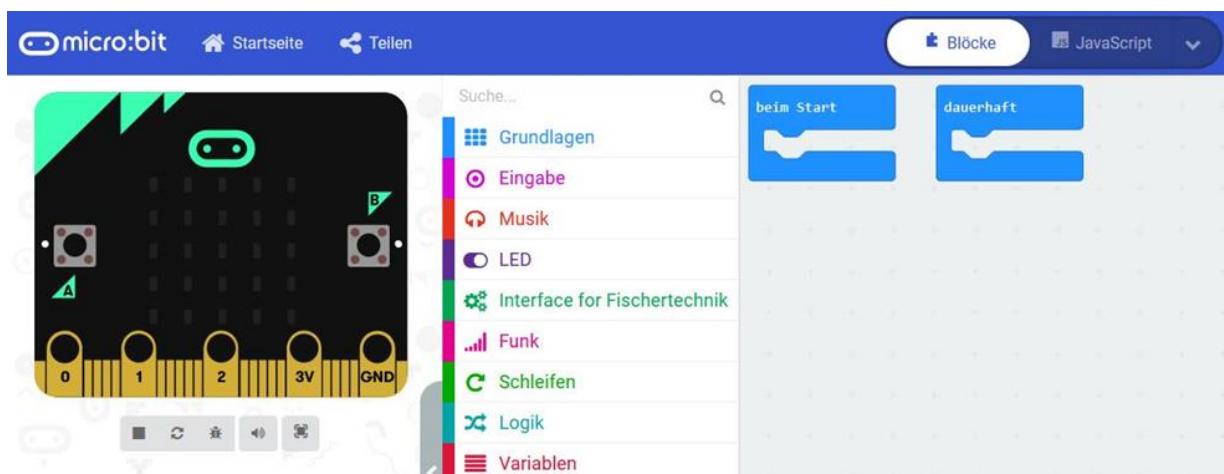


Abb. 3: Programmierumgebung MakeCode („IDE“)

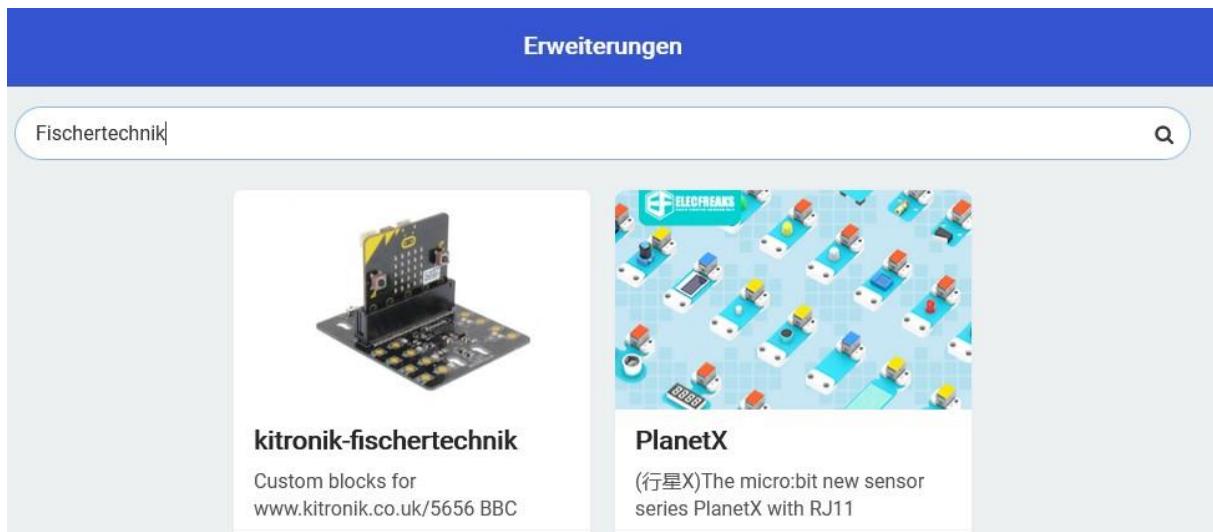


Abb. 4: Blocksatzerweiterung

Für die Adapterplatte von kitronik gibt es eine eigene Blocksatzerweiterung zur Steuerung. Die Installation erfolgt über den Erweiterungen-Menüpunkt unter „Fortgeschritten“ (Abb. 4):

„fischertechnik“ in die Suchzeile eingeben und mit Enter bestätigen. Hier kann nun die kitronik-fischertechnik-Erweiterung ausgewählt werden. Damit sind die in Abb. 5 gezeigten Elemente im MakeCode-Editor nutzbar.

Wer ohne Erweiterung arbeiten möchte, kann das über die in Tabelle 1 angegebenen Pins realisieren.

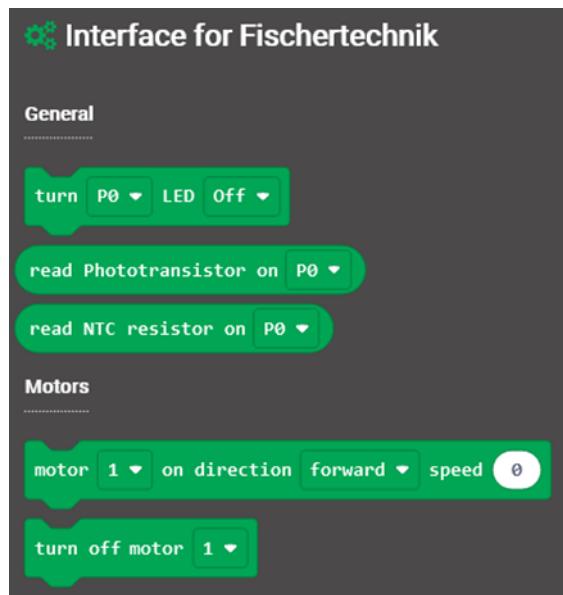


Abb. 5: Blöcke der fischertechnik-Erweiterung

Pin	Nutzung
P0 ¹	Input/Output-Pin
P1 ¹	Input/Output-Pin
P5 / SW A	Taster A des Micro:Bit
P11 / SW B	Taster B des Micro:Bit
P8	Motor 1 ²
P12	Motor 1 ²
P2	Motor 2 ²
P16	Motor 2 ²

Tab. 1: Pin-Verwendung

Programmiermöglichkeiten



Abb. 6: P0 und P1 auslesen

Abwechselnd wird der Wert des Fototransistors an GPIO-Pin P0 und des NTC-Widerstandes an P1 angezeigt.



Abb. 7: LED schalten

Die LED an P1 wird angeschaltet, wenn der Wert an P0 (z. B. die Helligkeit) kleiner 125 ist.



Abb. 8: Motor einschalten

Die Geschwindigkeit ist zwischen 0 und 100 wählbar. Alternativ zum Knopf A kann hier der Eingang SW A benutzt werden.



Abb. 9: Motor ausschalten

Alternativ zum Knopf B kann hier der Eingang SW B benutzt werden.

Fazit

Die hier vorgestellte Erweiterungsplatine ist im Gegensatz zur DIDACTA-Platine preisgünstig und in Deutschland verfügbar. Sie hat zwar weniger Anschlüsse, aber um eine Brücke zwischen den beiden Welten zu bauen und erste Eindrücke zu gewinnen reicht es allemal.

Referenzen

- [1] Axel Chobe: [Micro:Bit](#). ft:pedia 4/2019, S. 47-51.

¹ Durch die Möglichkeit analoger Erfassung lassen sich hier auch Foto- und NTC-Widerstände auslesen.

² Diese Ausgänge können gegen Masse auch zur Steuerung von vier LED genutzt werden.

Computing

fischertechnik-Roboter mit Arduino (Teil 1): Smartphone-Steuerung über BLE

Dirk Fox

In unserem Buch „fischertechnik-Roboter mit Arduino“ [1] stellen Thomas Püttmann und ich fünf Roboter vor, die wir mit zahlreichen Funktionen und Arduino-Steuerungen versehen haben. Einige unserer Modellvarianten haben – aus unterschiedlichen Gründen – nicht den Weg ins Buch geschafft: Sei es, weil uns die Idee zu spät kam, weil die Realisierung nur einen Teil der Leserinnen und Leser interessieren dürfte oder schlicht, weil die Aufnahme ins Buch dazu geführt hätte, dass wir das (ohnehin gedehnte) Seitenlimit des Verlags „gesprengt“ hätten. Da inzwischen viele Leser der ft:pedia auch Leser unseres Buchs sind, möchten wir in loser Folge einige dieser Modellvarianten vorstellen. Die Vorschläge eignen sich auch – ganz unabhängig von unserem Buch – für eigene Modellideen.

Smartphone-Steuerung

Im vergangenen Jahr gab es in Deutschland etwa 58 Millionen Smartphone-Besitzer. Rund 70% der Deutschen tragen also einen Kleinstcomputer in der Tasche herum, der nicht nur eine Tastatur, einen Bildschirm, mehrere Kameras sowie Neigungs-, Beschleunigungs-, Lage-, Kompass-, Helligkeits-, Luftdruck- und GPS-Sensoren enthält, sondern auch Zugriff auf zahlreiche Dienste wie z. B. E-Mail, Kartendienste oder eine Spracherkennung hat. Da liegt es doch nahe, das Smartphone als „externe Erweiterung“ unseren Arduino-Robotern zugänglich zu machen, anstatt diesen mit weiteren Sensoren auszustatten – zumal die meisten Sensoren des Smartphones nur selten sinnvoll genutzt werden.

So können wir das Smartphone z. B. als Fernsteuerung für die Roboter nutzen, sowohl über einen „virtuellen Joystick“ auf dem Display als auch über eine Bewegungssteuerung, die die Daten der Beschleunigungssensoren auswertet.

Mit der Spracherkennung des Smartphones können wir Steuerungskommandos an den

Roboter übertragen oder Nachrichten austauschen. Schließlich könnte das Smartphone auch Statusdaten von unseren Robotern empfangen, auswerten und auf dem Display anzeigen. Wenn wir es auf einem der Fahr-Roboter montieren, können die Sensor-Werte (GPS, Kompass) auch direkt genutzt werden, z. B. um eine vorgegebene Position anzufahren.

In diesem ersten Beitrag der Reihe stellen wir vor, wie wir das Smartphone mit dem Arduino Verbindung aufnehmen lassen. Anschließend nutzen wir es als Fernsteuerung für unseren „Flitzer“.

BLE-Modul

Für die Übertragung der Daten zwischen Smartphone und Arduino benötigen wir eine Datenverbindung und ein Protokoll. Da die Datenübertragung bevorzugt kabellos erfolgen und auch dann noch funktionieren soll, wenn kein WLAN-Hotspot oder Mobilfunknetz erreichbar ist, und die Verbindung sowohl mit iOS- als auch mit Android-Smartphones möglich sein soll, ist eine BLE-Verbindung (*Bluetooth Low Energy*) die geeignetste Lösung.

BLE ist eine seit 2009 zum Bluetooth-Standart (ab Version 4.0) zählende Erweiterung, die für möglichst geringen Energieverbrauch optimiert ist. Verbindungen zwischen BLE-Geräten sind auch ohne Pairing, d. h. ohne initiales Passwort möglich. Die Reichweite liegt bei ungefähr 10-12 Metern, die Datenübertragungsrate bei 1 Mbit/s.

Damit der Arduino sich via BLE mit dem Smartphone verbinden kann, müssen wir ihn mit einem BLE-Modul ausstatten. Sehr verbreitet (und gut geeignet) ist das Modul HM-10, das den Bluetooth-Standard 4.1 erfüllt (Abb. 1). Es ist für rund 10 € im Elektronikhandel erhältlich.



Abb. 1: BLE-Modul HM-10

Die Übermittlung von Daten und Kommandos vom Arduino an das Modul (und umgekehrt) erfolgt über eine serielle Verbindung mit voreingestellten 9.600 Baud (8N1).

Mit den sechs Pins können wir das Modul direkt in die I/O-Ports D8 bis D13 des Arduino stecken, mit der folgenden Zuordnung (siehe die Beschriftung auf der Rückseite des Moduls und Abb. 2):

D9: RxD

D10: TxD

D11: GND

D12: VCC

Die beiden äußeren Pins (D8: STATE, D13: EN) nutzen wir zunächst nicht.

An unserem Flitzer-Modell müssen wir dafür den Helligkeitssensor von Pin D8 auf Pin D7 verschieben.

Wie man der Aufschrift des Moduls entnehmen kann, arbeiten RxD und TxD mit 3,3-V-Logik. Daher sollte man eigentlich einen Level-Shifter dazwischen schalten, da der Arduino 5-V-Logik verwendet. Es funktioniert aber auch so. Wer sicher gehen will, dass das Modul auch im Dauereinsatz keinen Schaden nimmt, sollte jedoch einen Level-Shifter verwenden.

Für unseren Arduino benötigen wir nicht viel: Da über die beiden Pins D0 und D1 die Verbindung zum seriellen Monitor erfolgt, binden wir die integrierte Arduino-Bibliothek „SoftwareSerial“ ein, die es uns erlaubt, über zwei beliebige Pins eine weitere serielle Schnittstelle bereit zu stellen:

```
#include <SoftwareSerial.h>
#define BTBAUD 9600 // HM-10
#define RX 9
#define TX 10
```

```
SoftwareSerial BT(TX, RX);
```

```
void setup() {
    BT.begin(BTBAUD);
    delay(100);
}
```

Die „Vertauschung“ der Anschlüsse bei der Verbindung von RX und TX des Senders mit dem Empfänger – der Sende-Pin des HM-10 muss mit dem Empfangs-Pin des Arduino verbunden werden und umgekehrt – nehmen wir im Sketch bei der Instanziierung **SoftwareSerial** BT(TX, RX); vor.

Mit dem einfachen Sketch in Listing 1 kann nun die Kommunikation mit dem HM-10-Modul über den seriellen Monitor getestet werden. Das gelingt auch ohne BLE-Verbindung über die noch aus Modem-Zeiten bekannten AT-Befehle, mit denen das Modul konfiguriert wird.

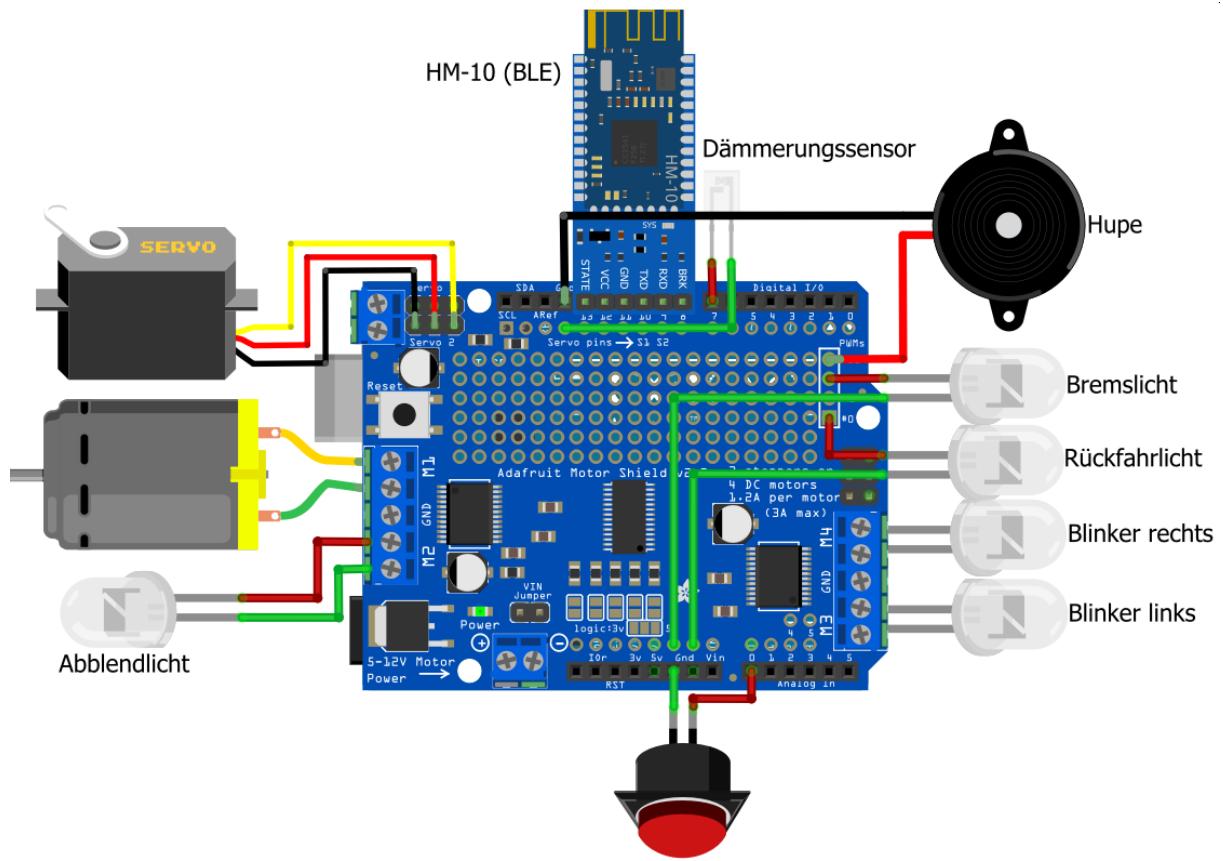


Abb. 2: Anschluss des HM-10 an den Arduino

```
/* Bluetooth-Testprogramm
 * (AT-Kommandos) /

#include <SoftwareSerial.h>

#define Baud 115200 // Monitor
#define BTBaud 9600 // HM-10
#define RX 9
#define TX 10
#define GND 11
#define VCC 12

SoftwareSerial BT(TX, RX);

void setup() {
    Serial.begin(Baud);
    pinMode(GND, OUTPUT);
    pinMode(VCC, OUTPUT);
    digitalWrite(GND, LOW);
    digitalWrite(VCC, HIGH);
    BT.begin(BTBaud);
    Serial.println("Bluetooth available.");
}

char c;
```

```
void loop() {
    while (BT.available()) {
        c = BT.read();
        Serial.print(c);
    }
    while (Serial.available()) {
        c = Serial.read();
        Serial.print(c);
        BT.print(c);
    }
    delay(100);
}
```

Listing 1: Bluetooth-Testprogramm (HM-10)

Jetzt können wir unser BLE-Modul konfigurieren. Die über die Tastatur am seriellen Monitor eingegebenen AT-Kommandos werden an das Modul übertragen und die Antworten des Moduls auf dem Monitor ausgegeben. Der „AT-Modus“ muss nicht eingestellt werden: Wenn das Modul mit keinem anderen BLE-Gerät verbunden ist, reagiert es automatisch auf AT-Befehle.

Wir öffnen dazu den seriellen Monitor mit einer Baudrate von 115200 und der Formateinstellung „Neue Zeile“. Dann können wir uns mit dem Befehl „AT+HELP?“ alle vom Modul unterstützten AT-Befehle auf-listen lassen. Sofern das HM-10-Modul ein Clone ist, weicht die Befehlsliste möglicherweise von der im Datenblatt ab [2]. Die wichtigsten, in Tabelle 1 angeführten AT-Befehle sollten jedoch auch alle „Kopien“ des Moduls kennen und darauf reagieren.

AT-Kommando	Bedeutung
AT+RESET	Software Reboot
AT+VERSION	Firmware-, HCI-, Bluetooth-, LMP-Version
AT+HELP	Liste aller AT-Befehle
AT+NAME	Name des Moduls
AT+PIN	Sechsstellige PIN
AT+ADDR	MAC-Adresse
AT+DEFAULT	Rücksetzung auf Werkseinstellungen
AT+BAUD	Einstellung Übertragungsgeschwindigkeit
AT+ROLE	Master/Slave
AT+START	Sofortiger Start
AT+SLEEP	Sleep Mode
AT+POWE	Sendeleistung

Tab. 1: Wichtigste AT-Kommandos

Schließt man an einen AT-Befehl mit einem „?“ ab (z. B. „AT+NAME“), dann antwortet das HM-10-Modul mit dem (vor)eingestellten Wert. Hängt man stattdessen an den AT-Befehl einen Wert an (wie beispielsweise „AT+NAMEFlitzer“), dann wird, sofern der AT-Befehl Parameter zulässt, dieser Wert eingestellt (hier: der Name des Moduls in „Flitzer“ geändert).

Mit „AT+POWE?“ können wir uns die Sendeleistung anzeigen lassen. Voreingestellt steht sie auf 2 (= 0dbm); der maximale Wert (und damit die maximale Reichweite) ist 3 (= 6dbm) und wird mit „AT+POWE3“ eingestellt.

Die Übertragungsgeschwindigkeit der seriellen Verbindung können wir mit dem Kommando „AT+BAUD4“ auf (maximale) 115200 Baud (bit/s) erhöhen. Die Voreinstellung sind 9600 Baud, die allerdings für die kurzen Kommandos unserer Fernsteuerung vollauf genügen.

Smartphone-Verbindung

Wir können jetzt mit einer einfachen Bluetooth-Terminal-App testen, ob der Datenaustausch zwischen dem Smartphone und dem Modul funktioniert.

Eine solche (kostenlose) App ist „BLE Terminal“, die es sowohl für iOS als auch für Android gibt. Beim Start der App zeigt sie alle im unmittelbaren Umfeld gefundenen Geräte mit aktivem BLE und deren Signalstärke an.

Das HM-10-Modul lässt sich leicht am Namen erkennen. Das Original trägt nach Werkseinstellung den Namen „HMSoft“, Clones melden sich ggf. mit einem anderen Namen. Den Namen kann man sich zuvor wie oben beschrieben anzeigen lassen (oder ihn ändern). Klickt man nun in der App auf den Namen des Moduls, wird (ohne Pairing) eine Verbindung hergestellt.

Ab jetzt werden alle Eingaben im seriellen Monitor an die App übertragen (und dort in einem Fenster angezeigt) und alle Eingaben in der App (Funktion „Send ASCII“) auf dem seriellen Monitor der Arduino-IDE ausgegeben. Wenn das funktioniert, können wir einen Schritt weiter gehen.

Steuerungs-App

Jetzt fehlt uns noch eine App, die nicht nur Text-Eingaben schicken und empfangen kann, sondern Sensorwerte ausliest, das Drücken von Touch-Tasten und den Wert von Schiebereglnern überträgt – oder sogar einen virtuellen Joystick realisiert, mit dessen Auslenkungswerten wir unseren Buggy, Flitzer oder Greifer fernsteuern können.

Um das zu verwirklichen gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten:

- Entwicklung einer eigenen App,
- Nutzung einer „Interpreter-App“ wie des MIT App Inventor, in dem kleine, in einer Blockly-ähnlichen Sprache entwickelte Anwendungen ausgeführt werden können, oder
- Nutzung einer bereits existierenden BLE-App.

Die erste Möglichkeit klammern wir erstmal aus – das ist die aufwändigste Variante. Die zweite Möglichkeit ist etwas für einen eigenständigen ft:pedia-Beitrag – damit eröffnen sich fantastische Möglichkeiten, aber die Lernkurve ist etwas länger.

Die dritte Möglichkeit erlaubt uns, uns bei der Implementierung auf den Arduino zu konzentrieren – sofern wir eine App finden, die unseren Anforderungen genügt. Doch genau so eine App gibt es tatsächlich: Sie heißt „ArduinoBlue“ und ist für iOS und Android verfügbar. Sie wurde von Jaehyeon An und [Professor Anurag Purwar](#) am Computer-Aided Design and Innovation Laboratory der Stony Brook University in New York entwickelt [3]. Die Funktionen der App bieten exakt das, was wir uns für unsere BLE-Fernsteuerung wünschen: Mit der App können wir ein Steuerungs-Feld aus Touch-Tasten (bis zu 200), Schiebereglnern (ebenfalls maximal 200) und einem „virtuellen Joystick“ (Abb. 3, 4) gestalten. Sie überträgt anschließend die Werte der Regler und des Joysticks bei jeder Änderung via BLE an einen verbundenen Arduino.

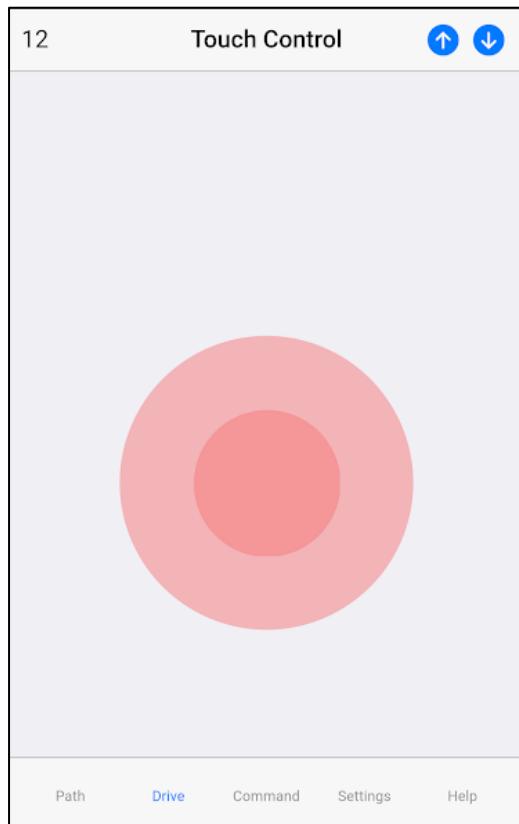


Abb. 3: Virtueller Joystick



Abb. 4: Text, Knopf, Schieberegler

Den Joystick können wir sogar an der Stelle auf dem Display platzieren, an der wir es zuerst berühren, in dem wir unter *Settings* die Option „Dynamic Joystick“ aktivieren.

Tasten und Slider werden über eine Nummer identifiziert, die bei der Konfiguration der App festgelegt wird, sodass die an den Arduino übermittelten Werte immer eindeutig zugeordnet werden können.

Und noch ein „Schmankerl“ bietet die App: eine Neigungssteuerung. Dazu muss man in der Konfiguration (*Settings*) die Funktion „Tilt Control“ aktivieren. Die App stellt daraufhin den Bildschirm auf Querformat um, und man kann über den Menupunkt „Drive“ einen horizontalen und einen vertikalen Joystick durch Bewegen des Smartphones steuern (Abb. 5).

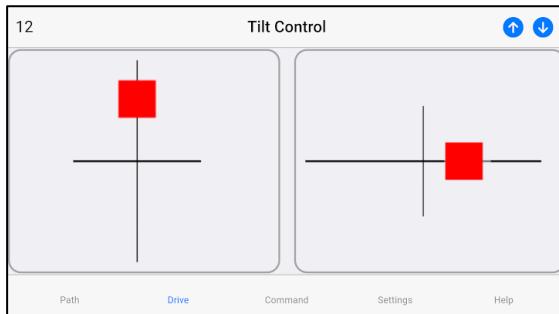


Abb. 5: Neigungssteuerung

Zur Verarbeitung der via BLE übertragenen Daten der „ArduinoBlue“-App in unserem Arduino-Sketch verwenden wir die auf Github bereitgestellte ArduinoBlue-Library [4], die wir herunterladen und in die Arduino-IDE integrieren.

Mit der Einbindung des Header-Files

```
#include <ArduinoBlue.h>
```

hat unser Sketch nun Zugriff auf die folgenden Methoden:

```
int getButton(); // Gedr. Knopf-ID.
int getSliderId(); // Schieberegler-ID
int getSliderVal(); // Wert 0-200
int getThrottle(); // Wert 0-99
int getSteering(); // Wert 0-99
void sendText(String msg);
String getText(); // Text an Arduino
```

Wurde kein Knopf gedrückt und kein Slider verändert, geben die ersten beiden Methoden den Wert „-1“ zurück.

Fernsteuerung für den „Flitzer“

Als erste einfache Steuerung für unseren Flitzer konfigurieren wir in unserer ArduinoBlue-App nun eine Steuerungsoberfläche mit einem Knopf zum Ein- und Ausschalten des Abblendlichts (ID 1) und einem Joystick für die Fahrzeugsteuerung (Abb. 6).

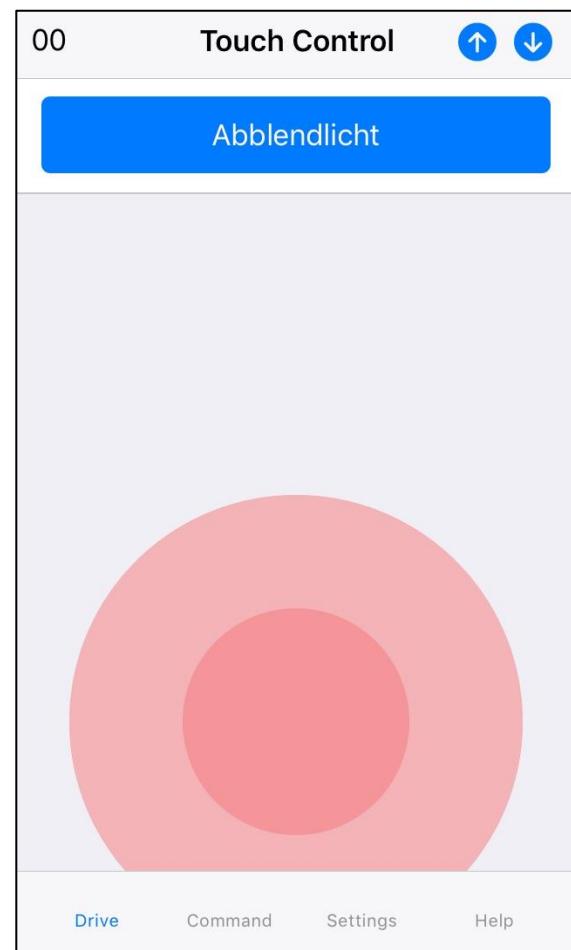


Abb. 6: Steuerungs-, „Dashboard“

Die Auswertung der Joystick-Werte ist bei unserem Flitzer sehr einfach. Die Werte des „Gaspedals“ („throttle“), die der Joystick bzw. die vertikale Neigung des Smartphones zurück liefert, können wir leicht in eine Motorgeschwindigkeit umrechnen:

```
motorspeed = map(abs(throttle), 0, 50, 0, MaxSpeed);
```

```
/* ArduinoBlue-Fernsteuerung für den „Flitzer“ */

#include <Servo.h>
#include <Adafruit_MotorShield.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <ArduinoBlue.h>

#define BTBaud 9600
#define RX 9
#define TX 10
#define GND 11
#define Vcc 12

#define Start A0
#define ServoPin 9
#define On 255
#define Off 0

#define MaxSpeed 255 // Höchstgeschwindigkeit (PWM)
#define MaxSteer 35 // maximaler Lenkeinschlag (in Grad)

Adafruit_MotorShield MShield = Adafruit_MotorShield(0x60);
Adafruit_DCMotor *Motor = MShield.getMotor(1); // Antriebsmotor
Adafruit_DCMotor *Light = MShield.getMotor(2); // Front- und Rückscheinwerfer

Servo ServoMotor; // Lenkmotor
SoftwareSerial BT(TX, RX);
ArduinoBlue phone(BT);

void setup() {
    pinMode(Start, INPUT_PULLUP);
    pinMode(GND, OUTPUT);
    pinMode(Vcc, OUTPUT);
    digitalWrite(GND, LOW); // Stromversorgung BLE Modul
    digitalWrite(Vcc, HIGH);
    BT.begin(BTBaud); // BLE-Modul starten
    delay(100);

    MShield.begin();
    ServoMotor.attach(ServoPin);
    Wire.setClock(400000); // Umstellung der I²C-Frequenz auf 400 kHz
    Light->setSpeed(Off);
    Light->run(FORWARD);

    while (digitalRead(Start)); // Tastendruck abwarten (Push = Low)
}

boolean LightOn = false;

void loop() {
    int motorspeed, throttle = phone.getThrottle() - 49;
    int button = phone.getButton(), steerangle, steering = phone.getSteering() - 49;

    motorspeed = map(abs(throttle), 0, 50, 0, MaxSpeed); // Geschwindigkeit
    Motor->setSpeed(motorspeed);

    if (throttle >= 0) Motor->run(FORWARD); // Fahrtrichtung
    else if (throttle < 0) Motor->run(BACKWARD);

    steerangle = map(abs(steering), 0, 50, 0, MaxSteer); // Lenkung einschlagen
    if (steering > 5) ServoMotor.write(90+steerangle); // Lenkeinschlag rechts
    else if (steering < -5) ServoMotor.write(90-steerangle); // Lenkeinschlag links
    else ServoMotor.write(90); // Lenkeinschlag geradeaus

    if (button == 1) { // Abblendlicht
        LightOn = !LightOn;
        if (LightOn) Light->setSpeed(On); // Abblendlicht ein
        else Light->setSpeed(Off); // Abblendlicht aus
    }
}
```

Listing 1: Smartphone-Steuerung für den Flitzer

Das Vorzeichen des throttle-Werts legt die Fahrtrichtung fest (Vorwärts- oder Rückwärtsfahrt). Ähnlich halten wir es mit dem Wert des „Steuers“ („steering“), die uns der Joystick oder die horizontale Neigung des Smartphones liefern:

```
steerangle = map(abs(steering), 0, 50,
0, MaxSteer);
```

Wurde Knopf 1 gedrückt, dann schalten wir das Abblendlicht an bzw. aus.

Listing 1 lässt sich nach Belieben erweitern – z. B. um einen Knopf für die Einparkhilfe, einen weiteren für den Warnblinker oder die Hupe, sowie um eine Automatik für das Abblendlicht, das Rückwärtsfahr- und das Bremslicht (Abb. 7).

Auf der Webseite zum Buch [1] kann unter „Modellvarianten“ ein Sketch heruntergeladen werden, den wir bereits um diese Funktionen ergänzt haben.

Ausblick

Damit sind die Möglichkeiten aber noch nicht ausgereizt. So könnten wir den Flitzer Status-Informationen sammeln lassen, z. B. über seine aktuelle und durchschnittliche Geschwindigkeit, die zurückgelegte Wegstrecke, die Länge einer gefundenen Parklücke und vieles mehr. Über entsprechende Textkommandos könnte sich die App die Daten an das Smartphone schicken lassen; dort werden sie automatisch in einem Fenster angezeigt.

Auf diese Weise lässt sich natürlich auch jedes andere fischertechnik-Modell per Smartphone steuern. Die vorgestellte BLE-Fernsteuerung mit der ArduinoBlue-App und dem HM-10-Modul lässt sich übrigens auch mit dem ftDuino nutzen. Till Harbaum hat einen entsprechenden Abschnitt in seinem [ftDuino-Manual](#) ergänzt.

Viel Vergnügen mit der Steuerung eurer Modelle via Smartphone!

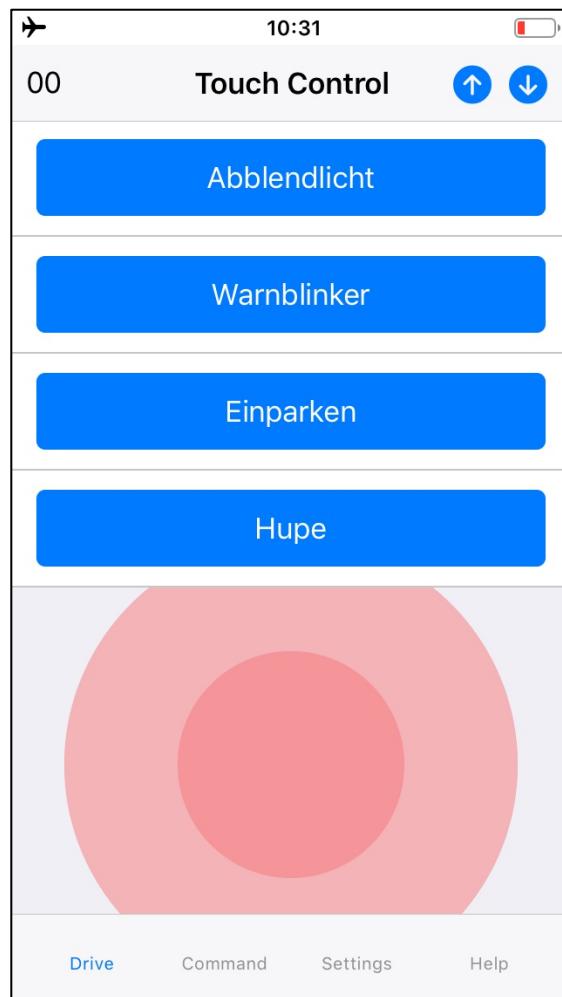


Abb. 7: Erweiterte Steuerung

Referenzen

- [1] Dirk Fox, Thomas Püttmann: [*fischertechnik-Roboter mit Arduino*](#). dpunkt-Verlag, 2020.
- [2] Jinan Huamao Technology Co., Ltd.: [*Bluetooth 4.0 BLE module*](#). Datasheet, V606/701, 01/2019.
- [3] Jaehyeon An, Anurag Purwar: [*ArduinoBlue*](#). Tutorial, Stony Brook University.
- [4] Jaehyeon An, Anurag Purwar: [*ArduinoBlue Library*](#). github.com.