

Elektrik im Haus

- ▶ Stromleitungen passend zur Leistung auswählen
- ▶ Fürs Licht: Wechsel- und Kreuzschaltungen
- ▶ Zwischenstecker zum Messen und Schalten
- ▶ Strom- und Datenkabel zukunftssicher planen
- ▶ Elektrik im Garten: Sicher und wetterfest



Know-how

- ▶ Gut verbinden
- ▶ Richtig messen
- ▶ Sicher arbeiten
- ▶ Leistungen ermitteln
- ▶ Elektromotoren verstehen



Praxis

- ▶ Bauteile retten aus Elektroschrott
- ▶ Stromfressern auf der Spur
- ▶ Lieblingswerkzeuge
- ▶ Spannungsversorgungen
- ▶ Trenntrafo selber bauen

**7/22**CH CHF 18.00
AT, Benelux,
IT, ES € 11,90**€ 12,90**

Maker Faire®

Das Format für
Innovation & Macherkultur

Die nächsten Events



Maker Faires finden in unterschiedlichem Ausmaß statt. Die größte Maker Faire veranstaltet jährlich das Make Magazin in Hannover. Alle anderen Maker Faires laufen unter Lizenz. Erkundigt euch auf unserer Webseite zu den erwarteten Aussteller- und Besucherzahlen.

Ihr wollt auch eine Maker Faire veranstalten?

Dann schreibt uns gerne an: info@maker-faire.de

maker-faire.de

Spielstrom

Mein Opa hat zwei Weltkriege erlebt, mehrere Ausbildungen durchlaufen und immer viel getan, um in diesen harten Zeiten gut durchzukommen. So wurde Improvisieren und Basteln, neben der Liebe zum Musizieren, seine zweite Natur. Es wurden Spielzeuge für meinen Vater konzipiert, Fotoapparate selbst gebaut und Reparaturen aller Art in Haus und Garten eigenhändig vorgenommen. Als die Zeiten besser wurden und die Rente kam, hat er aus Spaß weiterhin viel gebastelt und erfunden.

Was beim Rest der Familie nicht immer gut ankam, war für mich ein Paradies: So kam ich bei meinem Opa recht früh mit elektrischem Strom (wortwörtlich!) in Kontakt, allerdings nur mit *Spielstrom*, also Strom aus Batterien oder Trafos. Die Bezeichnung *Spielstrom* hat mir auch klargemacht, dass mit dem Strom aus der Steckdose nicht zu spaßen ist. Sicher gab es mal Funken bei Kurzschlüssen oder ein gebautes Gerät gab Rauchzeichen von sich, aber mehr auch nicht. Über die Elektromechanik-Kästen EM1 bis EM3 von Fischertechnik konnte ich dann später gefahrlos mein Wissen ausbauen. In das Feld der Elektronik ging es dann weiter mit den Kosmos-Radio+Elektronik-Baukästen.

Der erste größere Lötbausatz, ich war etwa 12 Jahre alt, musste dann gleich eine Dreikanal-Lichtorgel sein, die mit 220V und Glühlampen bis zu 60W arbeitete. Da hat es dann auch gleich die Sicherung rausgehauen und an einer ungewollten Lötbrücke ein paar Schmauchspuren auf der Platine produziert. Mein Vater hatte mir zwar mit dem fachgerechten Anschließen des Netzkabels und der Lampen geholfen: Von Elektronik hatte er jedoch auch keine Ahnung. Letztendlich, nach langem und frustrierendem *Fehlerraten*, funktionierte die Lichtorgel aber viele Jahre im Partykeller eines Bekannten.

Wenn ich eine Installation wie im Bild (in einer Pension irgendwo in Deutschland) sehe, weiß ich einfach aus meiner Erfahrung, dass dies keine gute Idee ist und werde die Geräte so auf keinen Fall benutzen. Das Leben als solches bietet schon genug Gefahren, die wir nicht beeinflussen können, daher sollten die Risiken vor allem im Hobbybereich so gering wie möglich gehalten werden. Durch das selbst erworbene oder angelesene Wissen und den gesunden Menschenverstand sind wir in der Lage und angehalten, alles zu tun, um uns und andere nicht zu verletzen.

Im Heft zeigen wir Ihnen Möglichkeiten auf. Denken Sie aber immer selbst! Und wenn Sie sich bei etwas nicht sicher sind, so fragen Sie einen Fachmann auf diesem Gebiet oder lassen das Projekt lieber nur ein Gedankenspiel sein.

In diesem Sinne: Bleiben Sie neugierig, aber gesund!

Carsten Wartmann

Carsten Wartmann



► make-magazin.de/xdj4

Sagen Sie uns Ihre Meinung!
mail@make-magazin.de

Inhalt

Know-how

Während vor 30 Jahren manch heimwerkender Familienvater noch höchstselbst an Starkstromverteilerkästen herumbastelte und oft genug Waisen und Witwe hinterließ, hat der Gesetzgeber dem ungesunden Tun mittlerweile einen Riegel vorgeschoben. Wir zeigen, was Sie selbst dürfen und wo der Fachmann gefragt ist.

- 26** Richtig messen
- 38** Gut verbinden
- 84** Sicher arbeiten



Elektrik im Haus

Wenn Wechsel- und Kreuzschaltungen, Kabelquerschnitte, Leitungs- und FI-Schutzschalter keine siebensiegeligen Bücher für Sie bleiben sollen, halten Sie das richtige Make-Sonderheft in den Händen: Unsere diesjährige Ausgabe beschäftigt sich ausschließlich mit Elektrotechnik für Maker. Besonders Wert haben wir auf Beiträge zur Elektrik rund um Haus und Wohnung gelegt.

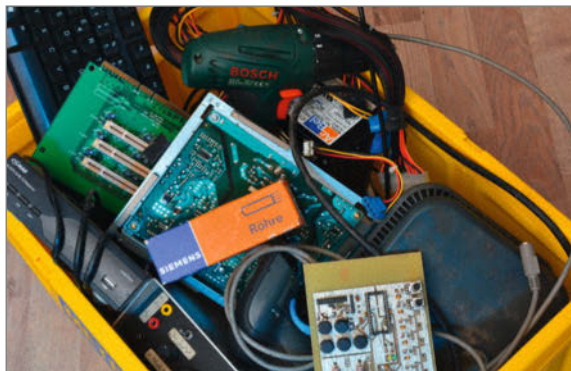
- 50** Zwischenstecker zum Messen und Schalten
- 92** Fürs Licht: Wechsel- und Kreuzschaltungen
- 106** Strom- und Datenkabel zukunftssicher planen
- 112** Stromleitungen passend zur Leistung auswählen
- 116** Strom im Garten: Sicher und wetterfest

- 3** Editorial
- 6** Einstieg in die Elektrotechnik
- 10** Projekt: Erster Elektro-Experimentierkasten
- 15** In eigener Sache: Make Elektronik- und Operationsverstärker-Specials
- 16** Lieblingswerkzeug: Auflege- und Kabeltesterset
- 18** Know-how: Gleichspannungen für jeden Zweck
- 24** Projekt: Biegelehre
- 26** Know-how: Wer misst, misst Mist!
- 32** Know-how: Spurensuche
- 37** Lieblingswerkzeug: Universelle Crimp-Zange
- 38** Know-how: Gut verbunden?
- 46** Know-how: 230V-Geräte sicher und zuverlässig schalten
- 50** Test: Sechs Zwischenstecker für das Energie-Monitoring
- 58** Projekt: Stelltrenntrafo
- 64** Workshop: Im Maker-Paradies – Aktoren und Sensoren vom Schrott

Praxis

Zum Leidwesen vieler Maker findet sich verwertbarer Elektroschrott nicht mehr bei der Sperrmüllabfuhr am Straßenrand, sondern nur noch gut bewacht auf Wertstoffhöfen und Flohmarktständen. Dabei sind in vielen ausrangierten Geräten noch kostbare Motoren, Anzeigen und Sensoren enthalten, wie unser Artikel belegt.

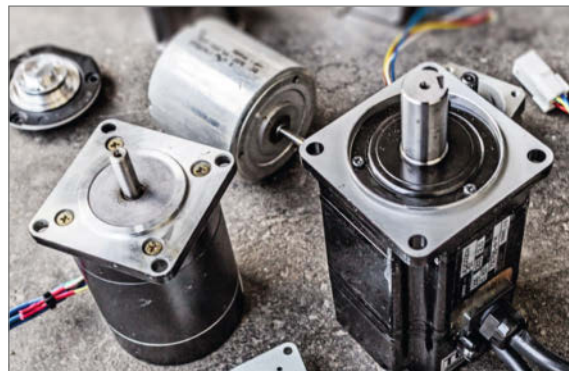
- 18 Spannungsversorgungen
- 32 Stromfressern auf der Spur
- 64 Bauteile retten aus Elektroschrott



Elektromotoren

Elektromotoren sind schon derart in unser Kulturgut vorgedrungen, dass sich kaum noch jemand Gedanken macht, wie und warum sie funktionieren – oder können Sie auf Anhieb einen Reluktanz- von einem Spaltpolmotor unterscheiden? Wir zeigen, welche Motorentypen dem Maker über den Weg laufen und wie man sie einsetzt.

- 70 Elektromotoren verstehen



- 70 **Know-how: Motoren und Antriebe**
- 84 **Know-how: Personenschutz, Schutzklassen und Schutzarten**
- 89 **Lieblingswerkzeug: Testboy**
- 90 **Tipps & Tricks: Netzanschlusskabel erneuern**
- 92 **Know-how: Hausinstallation**
- 98 **Know-how: Was darf man selbermachen?**
- 102 **Know-how: Elektrische Leistung**
- 106 **Know-how: Einen Raum elektrisch erschließen**
- 112 **Know-how: Der passende Leitungsquerschnitt**
- 116 **Know-how: Elektroinstallationen im Außenbereich**
- 120 Mehr zum Thema: Videos, CAD-Software, Stromlabor für Kinder, ATX-Breakout
- 122 Impressum, Nachgefragt

Bildnachweise Titel:
Maxx-Studio / Shutterstock.com,
Mihancea Petru / Shutterstock.com,
Fotosenmeer / Shutterstock.com

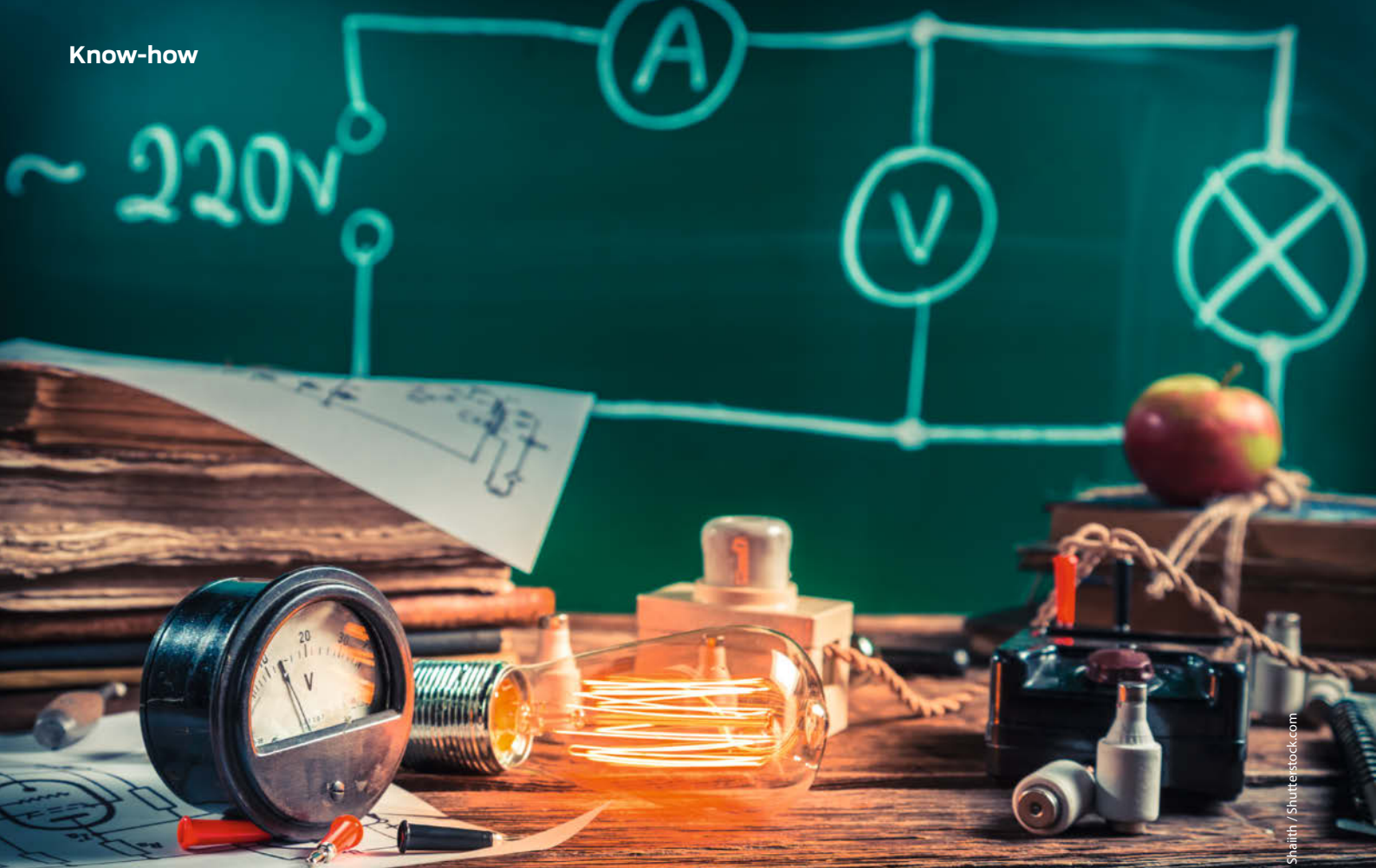
Themen von der Titelseite sind rot gesetzt.

Sicher mit Trenntrafo

Ein einstellbarer Trenntrafo sollte in keiner Maker-Werkstatt, in keinem Fablab und in keinem Repair-Café fehlen: Nur mit ihm lassen sich Messungen und Reparaturen an unter Netzspannung stehenden Geräten sicher durchführen. Wir zeigen, was ein Stell-Trenntrafo an Sicherheitsgewinn bietet und wie man ihn selbst baut.



- 58 Trenntrafo selber bauen



Einstieg in die Elektrotechnik

Na, wie sattelfest sind Sie (noch) bei den Grundbegriffen? Zum Einstieg in die E-Technik oder zur Auffrischung der Kenntnisse klären wir hier noch mal anschaulich ein paar grundlegende elektrotechnische Begriffe und Zusammenhänge.

von Matthias Wendt

Die *Elektrotechnik* befasst sich mit der Gewinnung, Verteilung und Anwendung von elektrischer Energie. Im Alltag nutzen wir elektrische Energie überall – angefangen bei elektrischem Licht, Kühlschränken, Heizgeräten, Elektromotoren jeder Art bis hin zu Radios, Fernsehgeräten, PCs und Smartphones. Aber spätestens dann sind wir schon im Bereich der Elektronik – das ist dann der Fall, sobald *Halbleiter* wie Transistoren und Dioden im Spiel sind.

Phänomene, die heute als elektrische Wirkungen erklärbar sind, wurden in Form von Gewittern, Aufladung von Bernstein durch Reiben an Textilien und ähnlichem schon im Altertum beobachtet. Auch der Magnetismus war schon lange bekannt, bevor er in elektri-

schen Maschinen gezielt genutzt wurde. In der Neuzeit hat eine ganze Reihe von Forschern recht schnell zum Verständnis der Elektrotechnik beigetragen. Entscheidend war dabei die Erkenntnis, die sich ab etwa 1800 durchsetzte, dass Atome aus einem positiven Kern und umlaufenden negativen Elektronen bestehen.

Der elektrische Strom

Die Bewegung von Elektronen in einem Leiter ist wenig anschaulich. Einfacher wird es, wenn man sich als Analogie einen Wasserfluss vorstellt **1**. Ein höher liegendes Becken ist durch eine Rohrleitung mit einem tiefer gelegenen

Becken verbunden. Es fließt Wasser durch das Rohr nach unten. Je größer der Höhenunterschied ist, desto höher ist der Druck in der Rohrleitung, und es fließt mehr Wasser. Und je größer der Rohrdurchmesser ist, desto mehr Wasser kann fließen.

Das lässt sich schön auf den elektrischen Strom übertragen. Der Höhenunterschied zwischen den Becken entspricht der elektrischen *Spannung*, der Rohrdurchmesser stellt den *Widerstand* dar, und die fließende Wassermenge entspricht dem elektrischen *Strom*.

Während in Isolatoren die Elektronen fest an einzelne Atome gebunden sind, können sie sich in metallischen Werkstoffen von Atom zu Atom bewegen. Das gibt anderen Elektronen

die Gelegenheit, die frei werdenden Stellen zu besetzen. Von allein bewegen sich die Elektronen jedoch kaum; sie kreisen lieber um ihr zugehöriges Atom. Es muss eine Kraft von außen hinzu kommen, die eine zielgerichtete Bewegung in Gang setzt. Diese treibende Kraft ist die *elektrische Spannung*, wie sie z.B. ein Akku bereitstellt.

Positive und negative Ladungen ziehen sich gegenseitig an, gleichnamige Ladungen stoßen sich ab. Elektronen sind negativ geladen. Eine über Leiter von außen anliegende Spannung treibt die Elektronen im metallischen Material also vom negativen Pol (Minus) der Spannungsquelle zum positiven Pol (Plus). Da die Flussrichtung hier immer gleich ist, spricht man von *Gleichstrom*.

Die Geschwindigkeit der Elektronen im Leiter ist übrigens ziemlich gering, das sind nur Bruchteile von Millimetern pro Sekunde. Aber wenn vom Minuspol der Quelle ein Elektron in den Leiter gedrückt wird, hüpfen praktisch gleichzeitig die im Leiter vorhandenen Elektronen jeweils eine Position weiter, bis am Ende ein Elektron in den Pluspol gelangt. Deshalb leuchtet z.B. eine LED (Leuchtdiode) sofort auf, sobald der Schalter betätigt wird.

Übrigens ist die üblicherweise verwendete *technische Stromrichtung* von Plus nach Minus definiert, also genau umgekehrt wie der eben beschriebene physikalische Elektronenfluss. Das hat historische Gründe, weil man bei der Festlegung der Stromrichtung den Aufbau der Materie mit dem Atomkern und den außen kreisenden Elektronen nicht genau kannte und einfach falsch geraten hat.

Das Ohm'sche Gesetz

Nun wissen wir schon aus dem Wassermodell, dass eine *Spannung* (Formelbuchstabe U , gemessen in Volt) einen *elektrischen Strom* (Formelbuchstabe I , gemessen in Ampere) durch einen *Widerstand* (Formelbuchstabe R , gemessen in Ohm) fließen lässt.

Der Zusammenhang zwischen diesen drei Größen ist einfach:

$$U = R \cdot I$$

Das ist das *Ohm'sche Gesetz* und kann durch algebraische Umformungen auch formuliert werden als $I = U/R$ und $R = U/I$, je nachdem, welche Größe man aus den beiden anderen errechnen möchte.

Durch einen ohmschen Widerstand fließt ein Strom, wenn über ihm eine Spannung liegt. Aus dem Leistungsgesetz

$$P = U \cdot I$$

ergibt sich die *Leistung* (Formelbuchstabe P , gemessen in Watt), die an dem Widerstand anfällt (mehr dazu ab Seite 102). Sie wird schlicht in Wärme umgesetzt.

Kurzinfo

- » Spannung, Stromstärke, Widerstand – das Ohm'sche Gesetz
- » Gleichstrom und Wechselstrom
- » Kondensator (Kapazität) und Spule (Induktivität)

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xxdg



Der Kondensator

Ein *Kondensator* besteht aus zwei metallischen Platten, die sich durch einen Isolator getrennt gegenüber stehen. Das Formelzeichen für einen Kondensator ist C . In der Elektrotechnik interessiert beim Kondensator seine *Kapazität*, also seine Fähigkeit, Ladung aufzunehmen. Diese wird in *Farad* gemessen.

Nun mag man sich fragen, was das soll, denn die Platten haben ja keinen elektrischen Kontakt zueinander. Es wird also wohl kein Strom fließen können. Wir werden aber gleich sehen, dass das doch der Fall ist.

Dazu betrachten wir einen Kondensator, der über einen Schalter und einen Widerstand R an eine Gleichspannungsquelle wie eine Batterie angeschlossen ist ②. Wird zum Zeitpunkt $t=0$ der Schalter geschlossen, liegt über dem zunächst ungeladenen Kondensator eine Spannung von 0 Volt. Die gesamte Batteriespannung fällt also über dem Widerstand ab. Also fließt ein Strom durch den Widerstand in den Kondensator. Zur Veranschaulichung: Anfangs wirkt der Kondensator ganz ähnlich wie ein Kurzschluss, obwohl seine Platten faktisch getrennt sind.

Aus der Platte, die am Pluspol der Quelle liegt, fließen Elektronen ab, während die gleiche Anzahl von Elektronen in die gegenüberliegende Platte fließen. Die Spannung über dem Kondensator steigt dadurch. Damit sinkt die Spannung über dem Widerstand, denn sie teilen sich die Batteriespannung. Also wird die Stromstärke durch den Widerstand in den Kondensator kleiner, denn über das Ohm'sche Gesetz hängen Strom und Spannung zusammen.

Am Ende dieses Vorgangs ist die Kondensatorspannung gleich der Batteriespannung ③. Damit wird die Spannung über dem Widerstand zu Null, womit der Strom in den Kondensator auf Null fällt. Der Kondensator ist aufgeladen, und der Vorgang ist beendet.

Es fließt also bei Gleichstrom einmalig Strom in den Kondensator, bis er auf die Batteriespannung aufgeladen ist. Interessanter wird die Sache bei Wechselstrom, dazu später mehr.

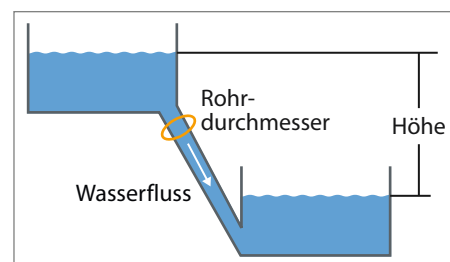
Die Spule

Eine *Spule* ist ein aufgewickelter Draht, und in der Elektrotechnik wird ihre (*Selbst*-)Induktivität betrachtet, dazu gleich mehr. Das Formelzeichen für eine Induktivität ist L , die Induktivität wird in *Henry* gemessen.

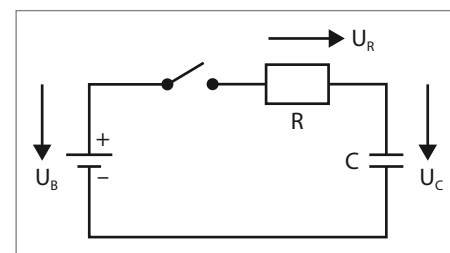
Wir nehmen die gleiche Schaltung wie eben und tauschen nur den Kondensator gegen eine Spule aus ④. Was dann ab dem Zeitpunkt $t=0$ passiert, ist nicht ganz so anschaulich wie beim Kondensator, denn dazu muss zunächst der Begriff der *Induktion* und dann die *Selbstinduktion* geklärt werden.

Zur Induktion: Ein veränderliches, äußeres Magnetfeld erzeugt in einer Spule eine sich ebenfalls ändernde Spannung. Durch einen angeschlossenen Widerstand fließt dann ein Strom. Das ist das Prinzip von Stromgeneratoren. Umgekehrt erzeugt ein von außen zugeführter Strom durch die Spule ein Magnetfeld; das ist das Prinzip eines Elektromagneten.

Allerdings braucht es für die Induktion nicht zwingend ein äußeres veränderliches Magnetfeld. Ein durch die Spule von außen zugeführter veränderlicher Strom erzeugt



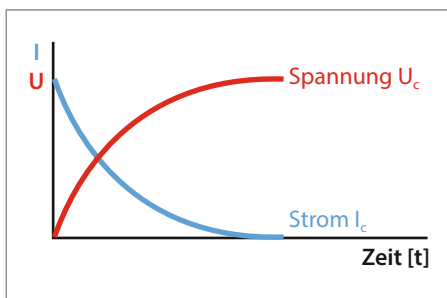
① Analogie zwischen Wasserfluss und elektrischem Strom



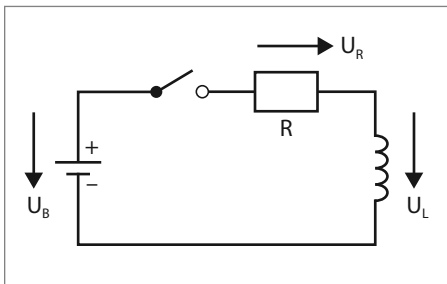
② Kondensator an Gleichspannung



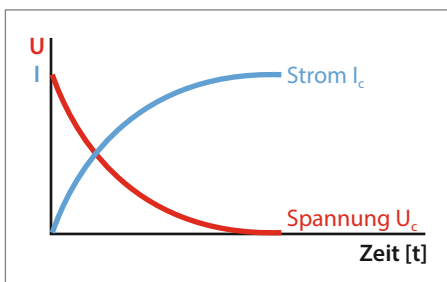
Gute Multimeter zeigen den Effektivwert von Wechselstrom zuverlässig an, zu erkennen am Kürzel TrueRMS.



3 Spannung und Strom am Kondensator bei Gleichspannung



4 Spule an Gleichspannung



5 Spannung und Strom an Spule bei Gleichspannung

selbst ein Magnetfeld, das auf die Spule genau wie ein externes Magnetfeld wirkt. Dadurch wird eine Spannung induziert, die der erzeugenden Spannung entgegenwirkt, die den Strom durch die Spule treibt. Beide subtrahieren sich.

Das führt dazu, dass bei $t=0$ die Spannung über der Spule der Batteriespannung entspricht. Der Strom durch die Spule ist zu Beginn des Vorgangs Null. Er steigt dann an, bis am Ende das Magnetfeld in der Spule vollständig aufgebaut ist und erreicht das Maximum, das durch den Widerstand R und den ohmschen Widerstand des Spulendrahtes bestimmt wird 5. Wird die Stromversorgung getrennt, wirkt ebenfalls die Selbstinduktion, da das Magnetfeld an der Spule noch anliegt. Erfolgt der Stromabfall abrupt, können sehr hohe Spannungen induziert werden. Damit die keine Bauteile und Geräte zerstören, kommen zum Schutz in der Praxis oft *Freilaufdioden* zum Einsatz. Andererseits macht man sich den Effekt hoher induzierter Spannungen bei zusammenbrechenden Magnetfeldern oft gezielt zu Nutze, etwa bei der Zündung von Verbrennungsmotoren.

Übrigens stellt selbst ein gestreckter Draht elektrisch eine – wenn auch kleine – Induktivität dar.

Kondensator und Spule im Vergleich

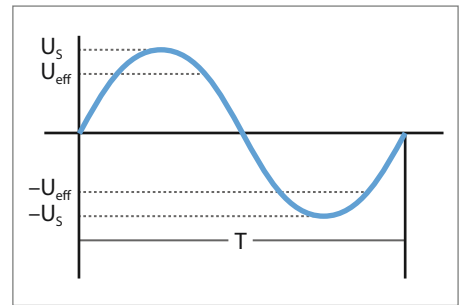
Was bedeuten Kondensator und Spule beziehungsweise *Kapazität* und *Induktivität* in der Praxis? Ein Kondensator speichert Energie in einem *elektrischen Feld* zwischen den Platten. Zu Beginn des Ladevorgangs ist die Spannung über dem Kondensator Null, wobei der Strom sein Maximum erreicht. Anders als der Strom kann sich die Spannung über einem Kondensator nicht sprunghaft ändern. Sie steigt langsam an.

Die Spule speichert Energie in einem *Magnetfeld*. Zu Beginn des Aufbaus des Feldes ist die Spannung über der Spule gleich der Batteriespannung, während der Strom Null ist. Der Strom durch eine Spule kann sich nicht sprunghaft ändern. Er steigt langsam an. Was bei der *Spule* der *Strom* ist, ist beim *Kondensator* die *Spannung* und umgekehrt.

Richtig interessant wird es, wenn wir Widerstand, Kondensator und Spule bei *Wechselspannung* betrachten.

Wechselspannung/ Wechselstrom

Autobatterien, Akkus, auch Solarzellen liefern Gleichspannung: Der entnommene Strom fließt immer in eine Richtung. Stromgeneratoren, die mechanische Energie in elektrische umwandeln, können jedoch auch Wechselstrom erzeugen. Wie der Name schon sagt, fließt der Strom dabei mal in die eine Richtung, mal in die Gegenrichtung.



6 Wechselspannung

Die einfachste Form ist dabei die Sinusform von Spannung und Strom 6. Beginnend bei Null steigt die Sinusfunktion auf ein Maximum, sinkt wieder auf Null, um dann in der negativen Halbwelle den negativen Maximalwert zu erreichen und wieder auf Null zurückzukehren. Bei ohmschen Widerständen sind Spannung und Strom in Phase, d.h. die Minima und Maxima beider Größen treten gleichzeitig auf. Es kann aber auch durch *kapazitive* oder *induktive* Wirkungen von elektrischen Bauteilen oder kompletten Geräten eine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom auftreten. Das hat etwa zur Folge, dass man bei der Leistungsberechnung zwischen *Scheinleistung*, *Blindleistung* und *Wirkleistung* unterscheiden muss – mehr dazu steht in diesem Heft in den Artikeln ab Seite 102 und 112.

Eine vollständige *Periode* (also eine ganze Schwingung aus positiver und negativer Halbwelle) von Spannung bzw. Strom wird mit dem Formelbuchstaben T bezeichnet und in Sekunden gemessen. Der Kehrwert $1/T$ ist der gebräuchlichere Wert und wird als *Frequenz* f (gemessen in Hertz) bezeichnet.

Wird ein Widerstand an eine Wechselspannung U angeschlossen, so fließt ein Wechselstrom, der im Widerstand in Wärme umgesetzt wird. Weil die Spannung – und damit auch der Strom – zwischen Null und einem Maximalwert schwankt, ist auch die Leistung nicht konstant. In den Nulldurchgängen ist sie Null, in den Maxima erreicht sie den größten Wert. Nun stellt sich die Frage, welche Gleichspannung die gleiche mittlere Leistung einer Wechselspannung erreicht. Dies nennt man die *Effektivspannung* der Wechselspannung, und sie errechnet sich bei sinusförmigen Wechselspannungen aus der Spitzenspannung geteilt durch Wurzel aus 2. Wenn nicht anders vermerkt, werden Wechselspannungsgrößen der Einfachheit halber immer als Effektivwerte angegeben. Unser Stromnetz hat 230V. Das ergibt eine Spitzenspannung von 230V mal Wurzel 2, also gut 325V.

Da allerdings nicht alle Wechselspannungen sinusförmig sind (es gibt in der Praxis etwa bei Invertern oft auch trapezförmige Wechselspannungen), geben gute Multimeter für verschiedene Wechselspannungsformen stets *True RMS* aus, also die korrekte Effektivspannung (siehe Seite 26). —pek

**JETZT
KOSTENLOS
TESTEN**

DIE NEUE LERNPLATTFORM FÜR IT-PROFESSIONALS

Wir machen IT-Weiterbildung digital



IT-Kurse aus der Praxis

Lerne in Online-Kursen und -Trainings, wie Techniken funktionieren und wie du Aufgaben löst.



Triff erfahrene IT-Experten

Profitiere von der Erfahrung unserer IT-Experten und hole dir hilfreiches Praxiswissen aus erster Hand.



Lerne, wie es für dich passt

Nutze das Kursangebot überall und auf jedem Gerät und lerne immer dann, wenn du es brauchst.



Übungen zum Ausprobieren

Probiere das gelernte Wissen selbst aus – mit Beispielaufgaben, Coding-Segmenten und Praxisübungen.



Überprüfe dein neues Wissen

Teste das Gelernte mit interaktiven Quizzes und löse die Programmieraufgaben deiner Trainer spielerisch.



Individuelle Lernumgebung

Lerne in deinem eigenen Tempo, inklusive Notizen, Transkript und Fragen-Modul.

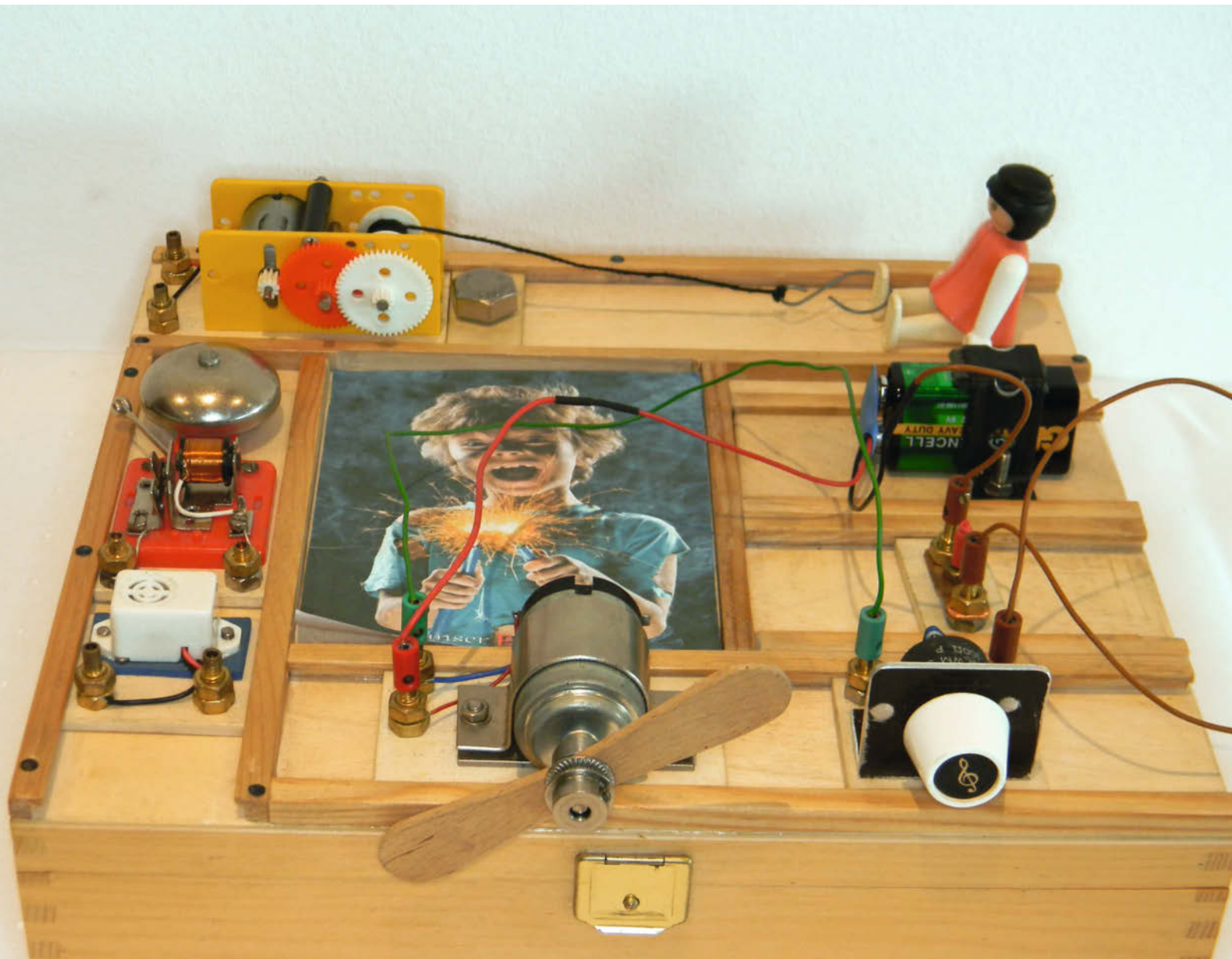
Hier geht's zu deiner Weiterbildung: **heise-academy.de**



Erster Elektro-Experimentierkasten

Motoren, Lampen, Spulen, Magnete, schöne Holzkisten, Leisten ... wer bastelt, sammelt in der Regel auch – lauter Dinge, die man irgendwann mal noch für was brauchen könnte. Dieser Zeitpunkt ist jetzt da: Stellen Sie aus Ihrem Werkstattfundus einen individuellen Elektro-Experimentierkasten für die Jüngsten zusammen und entfachen Sie so beim Nachwuchs den Forscherdrang.

von Hans-Jürgen Pretzel



Haben Sie schon einmal die Freude erlebt, bei einem kleinen Kind Interesse für ein Thema geweckt zu haben und miterleben zu dürfen, mit welcher Energie und welchem Enthusiasmus Kleinkinder zur Sache gehen? Wenn das Thema dann kindgerecht von den Kleinen angegangen werden kann und sie stolz Erfolge vorweisen können, verdoppelt sich Ihre Freude nochmals.

Bei meiner Enkeltochter war es der Regenwurm, den wir im Garten gefunden hatten und den ich ihr auf die Hand gelegt habe. Sie war in einem Alter, in dem ein möglicher Ekel noch nicht ausgeprägt war, sondern die Neugier alle kleinen Ängste beiseite schob. Das Interesse an der natürlichen Umwelt war geweckt, die unbegrenzten Möglichkeiten im Garten vorhanden und ich weiß nicht, wie viele Ställchen und Terrarien aus Plattenresten in den nächsten Jahren für Regenwürmer, Schnecken und Co. in der Spielecke entstanden und gepflegt wurden.

Nach der Enkeltochter folgte ein Enkelsohn, der von Anfang an schon als kleiner Krabblert nicht von den Kabeln und Steckdosen in der Wohnung fernzuhalten war. Das machte professionelle Schutzeinrichtungen unumgänglich, denn mit einfachen Möglichkeiten war da kein Einhalt zu gebieten. Die kleinen Finger waren zu geschickt! Hier bot sich die Möglichkeit an, das Interesse in sichere Bahnen zu kanalisieren, denn plumpe Verbote waren zwecklos und führten nur zu Stress. Die Arbeiten des Vaters an der Hauselektrik waren nicht einfach, denn der Kleine war vom Ort des Geschehens nicht fernzuhalten, wenn auch die Werkzeugkiste eine gewisse Anziehungskraft hatte.

Was lag also näher, als dem kleinen Racker eine eigene kleine Holzkiste mit Kabeln und Elektroteilen zusammenzustellen. In Opas Werkstattfundus war dafür jede Menge zu finden. Da war eine schöne kleine Holzkiste vom Weihnachtsgebäck, gesammelte Holzleisten von abgebrannten Silvesterraketen, Kabel und Stecker von der alten Märklin-Eisenbahn und jede Menge demontierte Lämpchen, Schalter und sonstige Elektrobauteile, die groß genug sind, technisch interessant aussehen und den Burschen neugierig machen.

Das Konzept

So entstand das Konzept für einen kindgerechten Elektrobaukasten:

1. Die elektrischen Verbindungen sollen alle mittels kleiner Prüfstrippen in Buchsen an den Elektrobauteilen zu stecken sein, um der Vorliebe für Kabel und Steckdosen entgegenzukommen.
2. Das kindliche Verständnis für den Stromkreis sollte sich möglichst intuitiv durch eine kreisförmige Anordnungsmöglichkeit der Bauteile rund um die Batterie ergeben.

Kurzinfo

- » Kindgerechten Elektro-Experimentierkasten selbst zusammenstellen
- » Voraussetzungen für begeisternde Experimente schaffen
- » Werkstattfundus ein zweites Leben geben

Checkliste



Zeitaufwand:

ca. 4 bis 5 Stunden, je nach Bauteilumfang und Geschick



Kosten:

0 bis 20 Euro, je nach Werkstattbestand



Elektronik:

einfache Lötarbeiten



Handwerk:

einfache Holzarbeiten

Werkzeug

- » Säge für Sperrholz und Leisten
- » Schleifpapier
- » gröbere Metallfeile für Holznacharbeiten
- » Bohrmaschine mit Bohrer und Senker für kleinere Bohrungen
- » LötKolben für einfache Lötarbeiten sowie Lötzinn
- » Seitenschneider
- » Abisoliermesser
- » Spitzzange
- » Pinzette

Material

- » mittelgroßes Kästchen am einfachsten aus Holz
- » kleine Holzleisten z.B. von abgebrannten Silvesterraketen
- » Sperrholzbauteilträger aus Rest- und Abfallstücken mit einheitlicher Dicke
- » Sperrholzplatte mit den Innenmaßen der Kiste als Einlegeboden, zwei davon nötig bei Blech- oder Kunststoffkiste
- » Holzleim Express
- » Klar- oder Buntlack optional
- » Batterieträger mit Anschlussmöglichkeiten
- » zwei 4,5V-Blockbatterien oder 9V-Batterie
- » bunte Schaltlitzen mit Modelleisenbahnsteckern oder mit Krokodilklemmen
- » Viele Messing-Senkschrauben M5 x 15 (oder 20), mit Messing-Muttern und Scheiben
- » 2 x Messing-Rundmaterial z.B. 6mm x 30mm, Zink- und Kupferblechstreifen u.a. für Schalter selbstbau
- » diverse vorhandene und nicht zu kleine Elektrobauteile siehe Text
- » einfaches analoges, kleines Einbauvoltmeter oder Multimeter, weil das kindgerechter ist als ein Digitalinstrument
- » unterschiedliche Metalldrähte, Kunststoffschläuche, Bleistiftminen, saugfähiger Bindfaden, Holzspieß etc. für Leitfähigkeitstests
- » Kompass, Magnete, Eisenfeilspäne und Druckerpapierseiten

Mehr zum Thema

- » Video: Die saure Gurke im Leitfähigkeitstest



Alles zum Artikel
im Web unter
[make-magazin.de/xaxn](https://www.make-magazin.de/xaxn)



3. Die Elektrobauteile sollten in einfacher Weise auf Trägerplättchen befestigt und leicht zu händeln sein, um ein weitgehend kindgerechtes Experimentieren zu ermöglichen.
4. Die Bauteile sollten möglichst groß genug und wenig gekapselt sein, um dem Kind das Verständnis der Funktion visuell und haptisch weitestgehend zu ermöglichen und die Gefahr des Verschluckens von Kleinteilen zu verhindern.
5. Es sollten möglichst Bauteile und Experimente mit einem maximalen Showeffekt verwendet werden, um das Interesse an Experimenten lange aufrecht zu halten.
6. Alle Teile sollten in einer Box zu verstauen sein, um die Sachen beisammen zu halten und einfach lagern oder transportieren zu können.
7. Da ein umfassender Werkstattfundus vorhanden ist, sollte möglichst auf Kaufteile verzichtet werden, oder sich der Kauf auf Teile beschränken, die leicht beschaffbar sind.



Die Kiste

Als Basis für die Realisierung dient ein stabiles Weihnachtsgebäck-Holzkästchen, auf dessen rechteckigen Deckel Führungsleisten angebracht werden, sowohl zum Einschieben der Batterie als auch der Elektrobauteile ringsherum ¹.

Die Bauteile werden alle auf gleich breiten Sperrholzträgern montiert. Anschluss und möglichst gleich auch die Befestigung erfolgt von unten über angesenkte Bohrungen in den Trägern mit je einer M5 Senkschraube für jeden elektrischen Bauteilanschlusskontakt, die nach oben aus dem Träger ragt und zwischen je zwei Muttern angeklemt ist ².

Die Führungsleisten sind unten *gefälzt*, also winkelförmig ausgefräst ³. Wer dazu keine

Möglichkeiten hat, kann zwei unterschiedlich breite Leisten übereinander kleben, sodass sich die notwendige Form zur Führung der Sperrholzbauteilträger ergibt. Auf genaue Maße und Zeichnungen wurde hier bewusst verzichtet, da die Details sich nach dem jeweiligen Fundus richten.

Die einheitliche Breite der Bauteilträger muss natürlich für alle verfügbaren Elektroteile passen. Bei mir war 42mm optimal. Bei der Befestigung der Führungsleisten wurden zur Einhaltung des genauen Abstands an deren Anfang und Ende je ein Bauteilträger eingeschoben. Im Falle einer Blech- oder Kunststoffkiste kann eine Sperrholzplatte, möglichst mit den Innenmaßen der Kiste, zur Aufbringung der Führungsleisten genutzt werden. Eine weitere solche Sperrholzplatte



bietet sich auch bei Holzkisten als Einlegeboden an, um alle Bauteilträger durch aufgeleimte Leisten ordentlich verstauen zu können 4 5.

Die Bauteilträger

Etwas fummeliger war die Anfertigung der M5 Senkschrauben aus Messing mit ihren von der Oberseite axial eingebrachten 6mm tiefen Sackbohrungen 6 für die kleinen Stecker der Prüfstrippen 7. Auf meiner kleinen Drehmaschine war das natürlich kein Problem. Es geht aber auch mit einer Tischbohrmaschine, ggf. unterstützt durch kleine Flachstahlhilfsstücke mit Gewindebohrung M5 als Einspann-, Körn- und Bohrhilfe bzw. Bohrlehre, wobei sich da sicher jeder Maker zu helfen weiß.

Die „Laborkabel“ wurden mit einfachen Modelleisenbahnsteckern und farbigen Litzen gefertigt. Alternativ bietet sich auch gut ein farbiges Testkabelset mit Krokodilklemmen an, die günstig angeboten werden und mit denen man sich die Bohrungen in den Senkschrauben für Stecker erspart.

Zur Fixierung der Bauteilträger dienen Sperrholzplättchen, in deren Mitte eine Sechskantschraube M10 das Plättchen in der Führung durch Eindrehen verklemt. Durch eine 8mm-Bohrung wird mit der M10 Schraube ein ausreichend festes Gewinde in die Sperrholzplättchen eingebracht 8.

Für spezielle Experimente wurden zwei Sperrholzträger mit mittig montierten Prüfstiften angebracht, die z.B. die Prüfung von Leitfähigkeiten unterschiedlicher Materialien ermöglichen. Aufsteckbare Krokodilklemmen mit ggf. eingeklemmten Drahtenden oder Blechstreifen ermöglichen die Befestigung der Teststücke – in Einzelteilen zu sehen bei 9, in Aktion bei 10.

Getestet wurden bereits: Kupferdraht, Bindfaden, mit Salzwasser getränkter Bindfaden, eine Mine aus einem Druckbleistift, Kunststoffisolierung vom Elektrokabel und anderer Kunststoff 11, unterschiedliche Blechstreifen, Bindedraht, aber auch ein längerer Konstantandraht aus einem defekten Toaster. Besondere Beliebtheit fand das Aufspießen einer kleinen sauren Gurke 12, eines Cocktailwürstchens und einer Zitrone, was in den Folgemonaten mehrfach wiederholt werden musste.

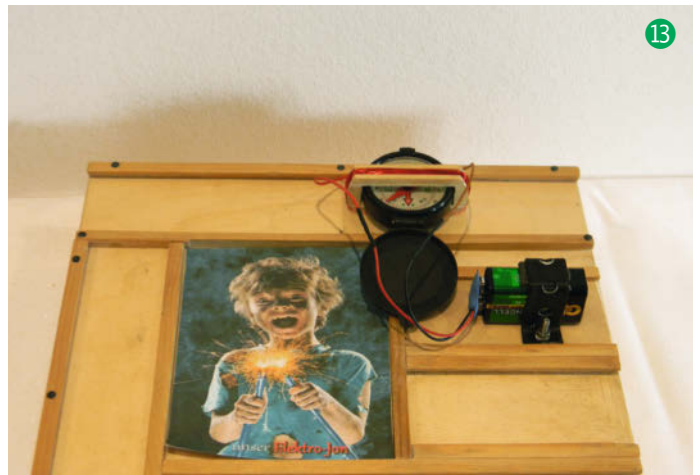
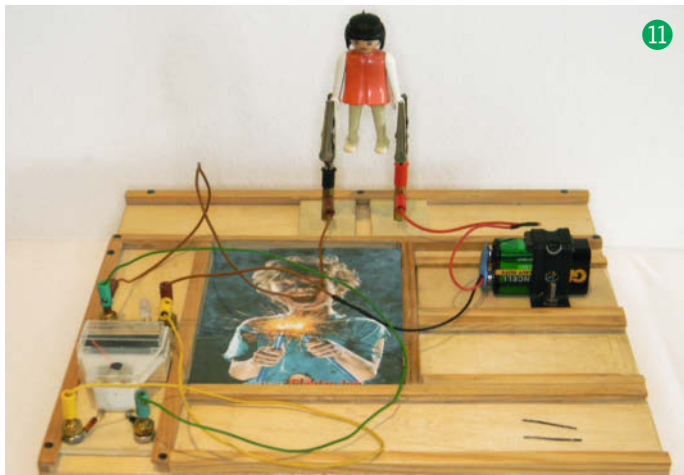
Für ausreichenden Strom sorgten zwei 4,5-Volt-Blockbatterien in einem alten Batterieträger oder eine 9V-Batterie, die wiederum auch auf Sperrholzträger befestigt sind – letztere auf Bild 13 in einem Versuch mit Spule und Kompass zu sehen.

Fundus und Experimente

Als kleine Auswahl an Elektrobauteilen gab der Fundus bei mir folgendes her:

1. eine Lampenfassung für Glühlämpchen aus einer Puppenstube





2. Messingblechstreifen für den Selbstbau von Schaltern und Tastern
3. ein kleiner Gleichstrommotor mit Aufsteckmöglichkeiten z.B. für ein Kunststofflüfterrad und eine kleine Holzscheibe als Träger für Farbscheiben aus Papier etc. ¹⁴
4. Klingel und Schalter aus einer Puppenstube
5. selbst gewickelte Spule mit Freiraum für einen kleinen Kompass ¹³
6. Spule mit Eisenkern als Elektromagnet
7. kleines Einbau-Voltmeter für Spannungsmessungen
8. selbstblinkende, farbige LED (begeisterte die Kinder als Disco-Licht)
9. kleine Getriebewinde mit dünnem Bindfaden und Haken
10. Relais mit demontiertem Gehäuse
11. Kupfer- und Zinkblechstreifen für Zitronenbatterie ¹⁰



12. Eisenfeilspäne zur Darstellung magnetischer Felder auf Papier ¹⁵

13. ein Buzzer

14. ein Drahtpotentiometer für etwas größere Leistung als direkter Dimmer oder Drehzahlsteller

15. mehrere gleiche Widerstände $> 1 \text{ k}\Omega$ für die Untersuchung von Reihen- und Parallelschaltungen

Dieser Fundus kann nach Belieben erweitert werden, sollte aber das kindliche Verständnis nicht überfordern. Denkbar wären beispielsweise:

1. ein kleiner Lautsprecher
 2. ein einfacher NF-Signalgenerator als Vergussblock
 3. für Fortgeschrittene: einfache Sensorplatinchen aus dem Arduino-Umfeld
- Hier ein paar Vorschläge für erste einfache Experimente und Versuche:
- Glühlämpchen direkt an Batterie anschließen
 - Glühlämpchen mit Schalter an- und ausschalten
 - LEDs leuchten lassen und Stromflussrichtung untersuchen
 - Motor laufen lassen
 - Drahtpoti zum Dimmen oder zur Drehzeileinstellung einsetzen
 - Drahtwiderstands- und Wärmeentwicklungsuntersuchungen an einem längeren Konstantendraht
 - Buzzer oder Klingel mit Taster anschließen
 - Leitfähigkeiten verschiedener Materialien testen
 - Magnetfeldlinien von Permanent- und Elektromagnet mit Eisenfeilspänen aufnehmen
 - Kompassbeeinflussung mit Magnet und elektrischer Spule untersuchen
 - elektrische Schaukel mit Taster und Elektromagnet zum Schwingen bringen
 - Relais: Schaltfunktion untersuchen
 - Widerstands-Parallel- und -Reihenschaltung untersuchen
 - Zitronenbatterie mit eingesteckten Zink- und Kupferblechstreifen untersuchen

Ausblick

Ich gehe davon aus, dass für jeden Maker mit ähnlichem Werkstattfundus die Dimensionierung der Bauteile, die Gestaltung und Begleitung der Experimente und die Entwicklung weiterer Ideen kein Problem sein sollte. Wer gar keine Sammlung an alten elektrischen Bauteilen hat, sollte besser auf handelsübliche Experimentierkästen ausweichen.

Die Kinder sollten einleitende Informationen über die Bauteile und deren Funktion erhalten und dann selbst probieren können – gegebenenfalls mit kleinen Hilfen. Spätere Wiederholungen festigen das Verständnis und erzeugen Stolz, wenn es ohne Hilfe gelingt, die Experimente Familie und Freunden zu präsentieren.

Wie der Werkzeugkasten des Vaters in dessen Besitz blieb, so blieb auch dieser kleine Experimentierkasten im Besitz vom Opa. Das hatte den Effekt, dass der Kasten nicht im Spielzeuggewusel des Kinderzimmers unterging und ein ständiges Interesse wachhielt. Wenn Opa kam, war die erste Frage: „Hast du deinen Experimentierkasten wieder mitgebracht und was experimentieren wir heute?“ So hat der Vierjährige und nebenher seine etwas ältere Schwester die ersten elektrischen Grundlagen spielerisch gelernt zur Freude vom Opa und zum Stolz der Eltern. Auf dem weiteren Weg zur Elektronik und Informatik sind wir inzwischen auf die Möglichkeiten mit Breadboard und GPIO des *Raspberry Pi 400* und *Scratch 3.0* umgestiegen.

Durch dieses erfolgreiche Projekt beflügelt, wurde inzwischen vom Opa – dank preiswerter Teile aus China – ein Optik-Kasten mit kleinem dreistrahligen Laser zusammengestellt, was ebenfalls größere Begeisterung bei den Kindern auslöste, was so alles mit Linsen, Spiegeln und Prismen anzustellen ist. Und wenn Sie selbst aus Ihrem Werkstattfundus einen ähnlichen Kasten zusammenstellen, freut sich die Redaktion über eine Mail an mail@make-magazin.de. —pek

Make Elektronik Special

Während sich das *Make-Sonderheft*, das Sie jetzt gerade in Händen halten, um *Elektrotechnik* dreht, bietet das 82 Seiten starke *Make Elektronik Special* einen Einstieg in alles, was mit Halbleitern zu tun hat. Wer schon immer wissen wollte, wie Transistoren arbeiten und wie Schaltungen damit funktionieren, findet darin Grundlagen, Aufbauanleitungen und Tipps und Tricks. Zusammen mit Redakteuren und Entwicklern von ELV haben wir das Heft konzipiert und produziert; es ist im Bundle mit einem praktischen Experimentierset zum Nachvollziehen aller Schaltungsbeispiele für 44,95 Euro im *heise shop* zu kaufen (siehe Link).

Das Special führt Schritt für Schritt in die Grundlagen ein und erklärt beispielsweise, warum eine LED einen Vorwiderstand braucht und wie man ihn berechnet. Ein Großteil der Artikel im Heft ist aber dem Transistor gewidmet, wie man ihn als Schalter einsetzt oder in Kombination mit Mikrocontrollern größere Lasten wie Motoren oder Power-LEDs schaltet. Wir zeigen zudem, wie man mit Transistoren Signale verstärkt und Blink-, Tongenerator- und Intervallschaltungen baut.

Alle Schaltungen lassen sich komplett mit dem mitgelieferten Experimentierset nachbauen. Jede Schaltung ist als Schaltplan

abgedruckt und als Breadboard-Aufbau abgebildet. Die Prototypen-Adapter (PAD) für das Breadboard machen den Aufbau von Schaltungen zum Kinderspiel, denn man muss weder in Datenblättern nach der Belegung von Pins und Beinchen der elektronischen Bauteile suchen, noch muss man den Aufdruck mit einer Lupe entziffern, um den Wert des Elements herauszubekommen. Die PADs vereinen praktische Verkabelung und Übersichtlichkeit in einem.

Insgesamt 44 PADs für Widerstände, Kondensatoren, NPN-Transistoren, Doppelklemmen, Micro-USB-Buchse, LEDs, Potentiometer, einem MOSFET, einem Relais, einem Piezosummer sowie einem ICM7555 liegen dem Set nebst Kabelbrücken und Breadboard bei. Zur Stromversorgung dient ein 5V-Ladenetzteil, wie es für Smartphones in jedem Haushalt verfügbar sein dürfte.

► <https://make-magazin.de/xs8g>



Make Operationsverstärker Special

Egal, ob man Sensorsignale verarbeiten oder verstärken, Spannungen überwachen oder Audiosignale filtern will: Mit geringem Aufwand und ohne komplizierte Berechnungen setzt man hierfür Operationsverstärker ein. Einen fundierten Einstieg in Schaltungen damit bietet das 64 Seiten starke *Make Special Operationsverstärker* im Bundle mit einem maßgeschneiderten Experimentierset, das es für 49,95 Euro im *heise shop* zu kaufen gibt (siehe Link).

Grundlagen, Aufbauanleitungen und Tipps und Tricks: Auch dieses Heft haben wir zusammen mit Redakteuren und Entwicklern von ELV konzipiert und produziert. Die Artikel erklären unter anderem die Funktion und den Aufbau eines Audioverstärkers, eines Tiefpassfilters, einer einstellbaren Stromquelle, eines Dämmerungs- und Temperaturschalters sowie diverser Signal-Generatoren (Rechteck, Dreieck, Sinus). Mit dem MEMS-Mikrofon, einem Vibrationssensor und einer Fotodiode aus dem Experimentierset lassen

sich schnell selbst erste praktische Erfahrungen sammeln.

Die weiteren Beispielschaltungen aus dem Heft kann man auch gut in eigenen Projekten nutzen. Wie beim *Elektronik Special* erleichtern auch hier die bewährten Prototypen-Adapter (PAD) für das Breadboard den Aufbau. Insgesamt liegen 43 PADs für Operationsverstärker, MEMS-Mikrofon, Fotodiode, Widerstände, Kondensatoren, NPN-Transistoren, Micro-USB-Buchse, LEDs, Potentiometer, einem MOSFET sowie einem Vibrationssensor bei, zusätzlich noch Kopfhörer, Kabelbrücken und Breadboard. Mit den PADs lassen sich alle Beispiele aus dem Heft nachbauen und ausprobieren. Zur Stromversorgung dient wie beim *Elektronik Special* ein 5V-Ladenetzteil für Smartphones.

► <https://make-magazin.de/xs8g>



Auflegewerkzeug- und Kabeltesterset

von Carsten Wartmann

Alles zum Artikel
im Web unter
[make-magazin.de/x2n1](https://www.make-magazin.de/x2n1)



Um LAN- und Telefondosen sowie das Patchfeld im Haus anzuschließen, habe ich mir ein billiges LSA-Auflegewerkzeug und Kabeltester-Kit WZ0012 von Logilink besorgt, das es immer noch für etwa 16 Euro zu kaufen gibt. Die vom Elektriker verlegten Kabel waren lang genug und so konnte ich, wenn etwas schief geht, immer noch professionelleres Werkzeug oder Hilfe holen. Nach nunmehr zehn Jahren kann ich sagen: Die überschaubare Investition hat sich gelohnt, alles funktioniert noch. Was ich aber nicht erwartet hätte, ist, dass ich das Kit noch so viele Male nach der Installation benutzen würde. Sei es im Haus oder bei Freunden und der Familie.

Mit den Tools kann man Netzwerk und Telefonkabel schneiden und abisolieren **1**, RJ-Stecker crimpen **2** und mit dem Auflegewerkzeug **3** Leitungen in Telefon- und LAN-Dosen und Patchfeldern *auflegen*: Man quetscht die Einzeladern, ohne sie abisolieren zu müssen, in spezielle Kontakte, die dann den Leiter sowohl festhalten als auch kontaktieren. Die zu langen Enden werden auch gleich noch abgeschnitten.

Ob das alles richtig und gut kontaktiert ist, kann man dann mit dem Kabeltester **4** überprüfen. Das geht am besten zu zweit, aber durch den unabhängigen Empfänger **5** mit ein wenig Laufen auch allein. Der Tester spürt mit einem einfachen Test der Einzeladern die Belegung des Kabels bzw. Fehler in der Belegung, Durchgang, Kurzschluss und offene Enden auf. In dem Bild sind drei Kabel, eines ist komplett inklusive GND/Schirmung **6**, was der Tester auch anzeigt, eines hat Kunststoffstecker **7**, welche die Schirmung nicht weiter leiten und das im Bild getestete Kabel **8** zeigt eine nicht standardgemäße Belegung an: Die LEDs leuchten am Empfänger nicht in der richtigen Reihenfolge auf. Wie man am Isolierband sieht, wurde ein Kabel gebastelt, um zwei Rechner ohne Switch per Ethernet zu verbinden.

Den Tester, den ich wohl am häufigsten in den vergangenen zehn Jahren benutzt habe, gibt es auch einzeln – für alle, die nicht selbst Kabel verlegen oder konfektionieren möchten. Man sollte nur darauf achten, dass eine 9V-Blockbatterie zur Hand ist und diese auf keinen Fall für Jahre im Gerät lassen. —caw



AGILE LEADERSHIP CONFERENCE

So werden agile Teams besser

Online-Konferenz – 29. November 2022

Kaum ein Unternehmen kommt heute noch ohne **agile Arbeitsweisen** aus. Scrum, Kanban und andere Ansätze stellen Führung und Management vor neue Herausforderungen:

- ✓ Wie führt man selbstorganisierte Teams im Gegensatz zu Einzelpersonen?
- ✓ Wie kann man Mitarbeitende beurteilen, wenn die Teamleistung im Fokus steht?
- ✓ Braucht es überhaupt noch disziplinarische Führungskräfte? Wenn ja, in welcher Menge und mit welchen Aufgaben?

Die **Agile Leadership Conference** bietet einen fundierten, praxisorientierten Überblick, was agiles Arbeiten für die Führung in Unternehmen bedeutet.

Die Konferenz richtet sich an **Gruppen-/Team-/Abteilungsleiterinnen und -leiter** sowie erfahrene **Scrum Master/Agile Coaches**. Wer teilnimmt, sollte ein agiles Grundverständnis mitbringen.

+++ Außerdem Online-Workshops am 28.11., 30.11./1.12. und 6.12.2022 +++

alc.inside-agile.de

in Kooperation mit



Jetzt
Frühbuche-
rabatt
sichern!

Konferenzen von 

Veranstalter

 heise Developer

 dpunkt.verlag

5. PRODUCT OWNER DAY

So geht agiles Produktmanagement besser

Online-Konferenz – 7. Dezember 2022

So geht agiles Produktmanagement besser

Der fünfte Product Owner Day rückt Themen wie OKRs, Floating Teams und Platform Management in den Mittelpunkt.

- ✓ Erfolgreich mit OKRs – aber wie?
- ✓ Floating Teams
- ✓ Platform Management und Product Ownership
- ✓ Wege zu frugaler Innovation
- ✓ Was nützt die Zertifizierung als Product Owner:in?

Die Konferenz richtet sich an **Product Owner** und **Produktmanagerinnen**, die die agilen Grundlagen kennen und bereits Erfahrung in der Rolle mitbringen.

pod.inside-agile.de

in Kooperation mit



 Agile Academy

Jetzt
Frühbuche-
rabatt
sichern!

Gleichspannungen für jeden Zweck

Die meisten Maker-Projekte wollen mit Gleichspannungen von weniger als 15V betrieben werden. Leider ist die im Haus verfügbare 230V-Netzspannung weder „gleich“ noch niedrig. Wir zeigen, mit welchen Mitteln man von AC auf DC kommt.

von Daniel Bachfeld



Bei älteren Hausgeräten ist die Lösung oft bereits integriert: Ein Transformator transformiert die Netzspannung von 230V auf eine niedrige Wechselspannung auf seiner Sekundärseite, beispielsweise auf 15V. Ein nachfolgender Brückengleichrichter macht aus der 15V-Wechselspannung eine pulsierende Gleichspannung. Ein parallel angeschlossener, ziemlich großer (Elektrolyt-)Kondensator (kurz Elko) glättet die Spannung, sodass eine mehr oder minder konstante Gleichspannung entsteht **1**.

Ein einfacher Aufbau solch einer Spannungsversorgung ist in **2** zu sehen. Liefert der Trafo 15V (Effektivwert), so erhalten wir nach dem Gleichrichten und effizientem Glätten ungefähr

$$(15V \cdot \sqrt{2}) - 2 \cdot \text{Diodenspannung} = 21,2V - 1,2V = 20V.$$

Der Nachteil dieses Ansatzes ist, dass man die Schaltung bzw. den Trafo sehr genau dimensionieren muss, um seine gewünschte Spannung herauszubekommen. Und das passt dann auch meist nur solange, wie kein stromziehender Verbraucher dran hängt. Viele Geräte wünschen sich aber eine Spannung in engen Grenzen oder am besten gleich eine feste und definierte Spannung. Dafür setzt man Spannungsregler ein.

In **3** wird die Spannung mit einem folgenden Spannungsregler auf eine gewünschte feste Spannung herabgesetzt, stabilisiert und der Elektronik im Gerät zur Verfügung gestellt. Diese Ausgangsspannung hält der Regler, solange die Spannung an seinem Eingang eine gewisse Schwelle nicht unterschreitet. Festspannungsregler gibt es für diverse Ausgangsspannungen, üblicherweise 3,3V, 5V, 9V, 12V und 15V. Zusätzlich gibt es Spannungsregler für negative Spannungen sowie einstellbare Spannungsregler für selbst definierte Werte. Zu den Spannungsreglern gleich noch mehr, wir wollen nochmal kurz auf Trafos eingehen.

Um die Schaltung in **2** nachzubauen und eigene Projekte damit zu versorgen, benötigt man einen Trafo und Gleichrichter **4**, Elko, Anschlussklemmen und eine Leiterplatte, um alles zusammen zu montieren und zu verbinden. Und will man es richtig machen, eigentlich auch ein Gehäuse, um auf dem Basteltisch nicht aus Versehen mit der Primärseite des Trafos in Berührung zu kommen.

Praktischerweise gibt es fertige Lösungen: Eine ist das klassische Trafo-Steckernetzteil (**5**, rechts), in dem alles schon integriert ist. Diese schweren und bei kleineren Leistungen ineffizienten Netzteile sind nur noch selten zu finden. Man erkennt sie am Gewicht, ihrer klobigen Bauweise und der hohen Betriebstemperatur. Es gibt sie meist nur noch als einstellbare Netzteile, bei denen man die Ausgangsspannung in 1,5V-Schritten einstellen kann.

Kurzinfo

- » Wechselspannung in Gleichspannung umwandeln
- » Spannungsregler verstehen
- » Fertiglösungen einsetzen

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xkb3

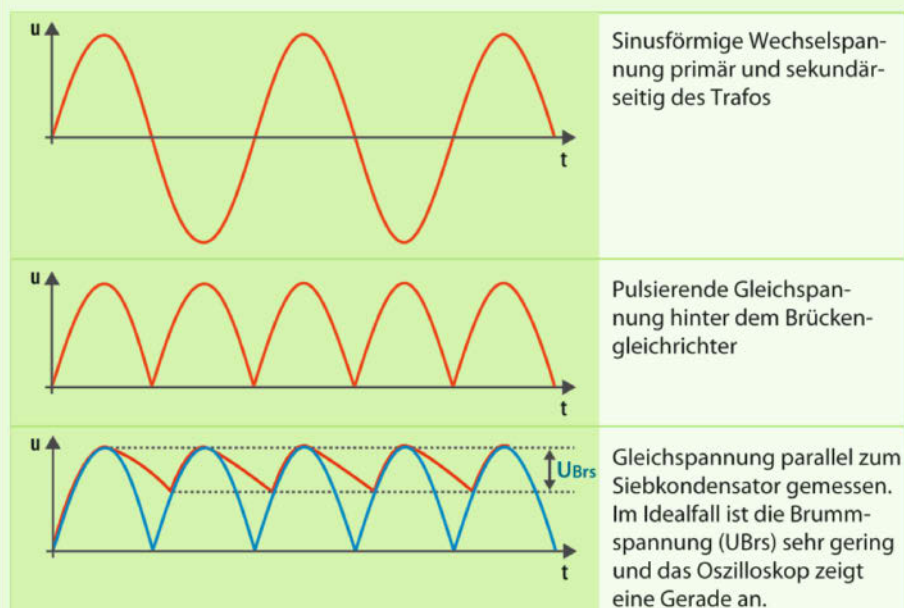


Mittlerweile haben Stecker-Schalt-Netzteile sie fast vollständig verdrängt (**5**, links). Jeder kennt sie für die Versorgung von Smartphone oder Tablets mit 5V per Micro-USB- oder USB-C-Stecker. Aktuelle Maker-Boards wie der Raspberry Pi, der ESP32 und auch Arduino-Boards versorgt man ebenfalls mit solchen Netzteilen. Sie sparen sich den großen Trafo, in dem sie 230V sieben (**6** L1, C1 und C2) und gleichrichten (D4 und C3) und dann mit hoher

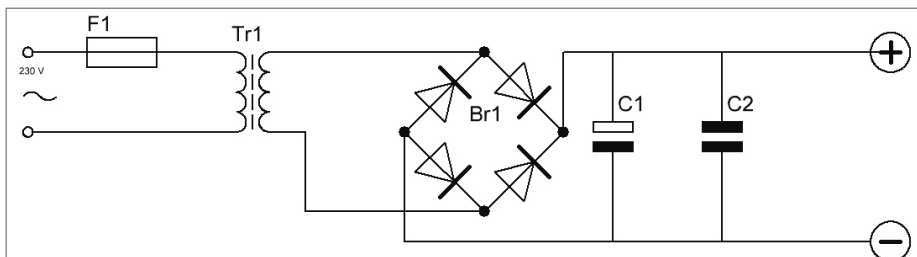
Frequenz „zerhacken“, um daraus wieder eine Wechselspannung zu machen, die vom erheblich kleineren Transformator übertragen wird. Das ist zwar noch ein periodisches Signal, ähnelt dem Netzsinus aber nicht mehr.

Der Trafo dient hier der galvanischen Trennung. Im Prinzip wendet man mit dem MOSFET Q1 dabei die gleiche Technik an wie bei der Pulsweitenmodulation zur Steuerung von Motoren und LEDs. Man macht die High-

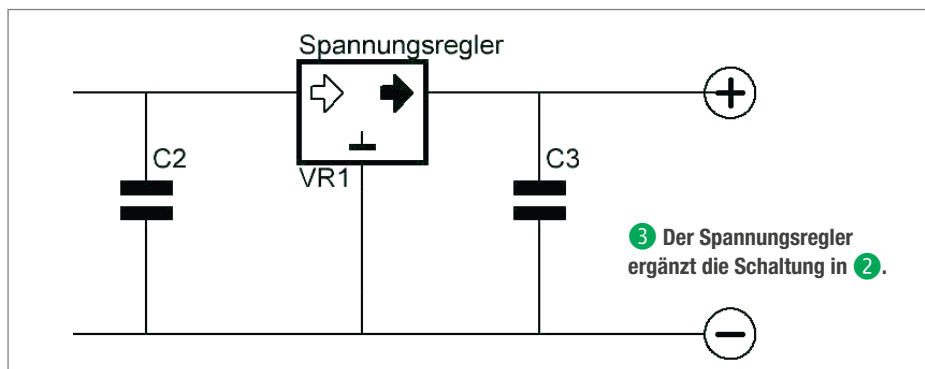
Einzelschritte der Gleichrichtung



1 Umwandlung einer Wechselspannung in eine Gleichspannung.



2 Mit Trafo, Gleichrichter und Kondensator wandelt man die Wechselspannung in eine Gleichspannung um.



Pulse so kurz, dass als effektiver Mittelwert hinten eine erheblich geringere Spannung rauskommt. Die Steuerung der Frequenz und der Pulsbreite übernimmt ein Regler zusammen mit einem MOSFET.

Derartige Schaltregler lassen sich auf kleinstem Raum bauen. Das Innenleben eines 5V/2,5A-Schaltnetzteils der Marke DVE zeigt 7. Man sieht diverse Elkos zum Sieben, zwei HF-Trafos und irgendwo an den verklebten Metallwinkel klammert sich der Schalt-MOSFET. Das Netzteil hat *Efficiency Level V*, was im Leerlauf eine Verlustleistung von weniger als 0,3W verspricht.

Die 5V-Netzteile gibt es mit verschiedenen Leistungen, im normalen Steckergehäuse bis 4A und mit USB-Stecker oder Hohlstecker, etwa für Single Board Computer von Odroid und anderen Herstellern. Bei größeren Stromstärken wechseln die Hersteller oft auf das kantige Notebook-Format, bei dem eine extra Zuleitung zum Netzteil notwendig ist. Soge-

nannte *USB-Netzteile* sind normale 5V-Netzteile, nur ohne Kabel und stattdessen mit USB-Buchse für eigene vorhandene Kabel mit dem gerade benötigten Stecker am anderen Ende. Mitunter kommt aus den 5V-Netzteilen eine etwas höhere Spannung von 5,2V, was den zu erwartenden Leitungsverlusten beziehungsweise Spannungsabfällen durch USB-Kabel geschuldet ist. Insbesondere beim Raspberry Pi waren schlechte Netzteile und billige Kabel in der Vergangenheit regelmäßig eine Ursache für den gelben Blitz im Display, der auf *Under-voltage* hinweist. Neben den Steckerschaltnetzteilen für 5V findet man auch häufig 9V- und 12V-Netzteile.

Benötigt man mehr Strom als herkömmliche Steckernetzteile zu bieten haben, etwa wenn man lange Neopixel-Ketten betreiben will, greift man auf landläufig auch als *Industrie-Netzteile* bezeichnete Schaltnetzteile zurück. Es gibt sie in verschiedenen Konfigurationen mit vielen verschiedenen Ausgangsspannungen und Maximalströmen, beispielsweise 5V/60A, macht 300W, oder 12V/20A mit 240W. Die Preise etwa auf Amazon bewegen sich zwischen 13 und 35 Euro für solche Produkte, meist „chinesischer Provenienz“ (* Carsten Meyer).

Diese Geräte muss man selbst mit Netzspannung versorgen, wofür Schraubklemmen vorgesehen sind. Wie man Kabel richtig an Schraubklemmen anschließt, erklären wir an mehreren Stellen im Heft. Immerhin sind bei den meisten Produkten schützende Klappen über den Schraubanschlüssen. Verlassen sollte man sich darauf nicht, ein Gehäuse drumrum sollte man deshalb einplanen.

Individuell

Auch wenn man nun eine mehr oder minder gut stabilisierte Spannung zu Verfügung hat, will man daraus oft weitere Spannungen ableiten. Nehmen wir an, wir hätten jetzt 12V, bräuchten aber 5V und 3,3V. Oder wir haben 5V, brauchen aber 12V. Abhilfe bringen die eingangs erwähnten Spannungsregler-ICs.

Der Klassiker ist seit Jahrzehnten der LM78xy mit einem maximalen Ausgangsstrom von 1,5A, wobei das xy für wahlweise 05, 06,

09, 12 oder 15 entsprechend der Spannung steht. Der dreibeinige Regler ist ein linearer Längsregler, der eine typische *Drop Out Voltage* von 2V hat. Das bedeutet, wenn man einen LM7805 für eine Ausgangsspannung von 5V einsetzt, muss man am Eingang mindestens 7V einspeisen. Diese Angaben gelten bei Ausgangsströmen von 1A. In der Praxis und bei niedrigeren Strömen kann man zur Not auch weniger einspeisen, eine Garantie für stabile 5V gibts dann allerdings nicht mehr. Die Beschaltung ist in 9 zu sehen.

Spannungsregler neigen mitunter zu Schwingungen. Statt einer stabilisierten Gleichspannung hat man dann einen Oszillator. Um diese Schwingneigung zu verhindern, schaltet man an den Ein- und Ausgängen Kondensatoren parallel, üblicherweise 100nF am Ausgang und zwischen 100 und 330nF am Eingang.

Ein Problem bei den linearen Längsreglern: Die Differenz der Eingangsspannung zur Ausgangsspannung multipliziert mit dem fließenden Strom ergibt mitunter eine erhebliche Verlustleistung. Bei 12V Eingangsspannung und 5V Ausgangsspannung bei 1A gehen 7W in Wärme auf. Da braucht der Regler schon einen Kühlkörper. Selbst wenn man nur 7V einspeist, verpuffen 2W.

Etwas effizienter sind *Low-Drop-Längsregler* (auch LDO genannt, für *Low Drop-Out*), die nur 1V mehr am Eingang erwarten, als sie am Ausgang liefern sollen. Ein häufig anzutreffender LDO-Regler ist der AMS1117 mit bis zu 1A Ausgangsstrom. Man trifft ihn auf Arduino- und ESP32-Boards, um 5V oder 3,3V zu erzeugen 10. Im Prinzip wird er wie der LM78xy beschaltet, allerdings mit erheblich größeren Kondensatoren am Ein- und Ausgang. Die Hersteller empfehlen 10µF Tantal.

Während man einen LM7805 als 3-Beiner noch gut ins Breadboard stecken kann, benötigt man für einen AMS1117 wegen seiner kleinen Bauform ein Breakout-Board, um ihn in eigene Aufbauten zu integrieren. Alternativ kann man zumindest für Breadboards auf Lösungen wie in 11 zurückgreifen. Diese Breadboard-Versorgungsplatinen liefern 5V und 3,3V, wobei man das für jede Spannungsleiste (Rail) getrennt einstellen kann. Zur Versorgung genügt ein (stabilisiertes) 5V-Netzteil mit USB oder ein 12V-Netzteil mit Hohlstecker. Mit dem Taster kann man zwischen den äußeren Spannungsquellen umschalten.

Apropos: Sind in einer Schaltung mehrere stabilisierte Spannungen erforderlich, gibt es mehrere Wege, weitere Spannungsregler mit der gewünschten Spannung anzuschließen. Die einfachste ist, alle parallel an die Eingangsspannung anzuschließen.

Häufig findet man jedoch Schaltungen, bei denen die Spannungsregler kaskadiert sind und man schließt etwa den 3,3V-Regler an den Ausgang des 5V-Reglers, der selbst

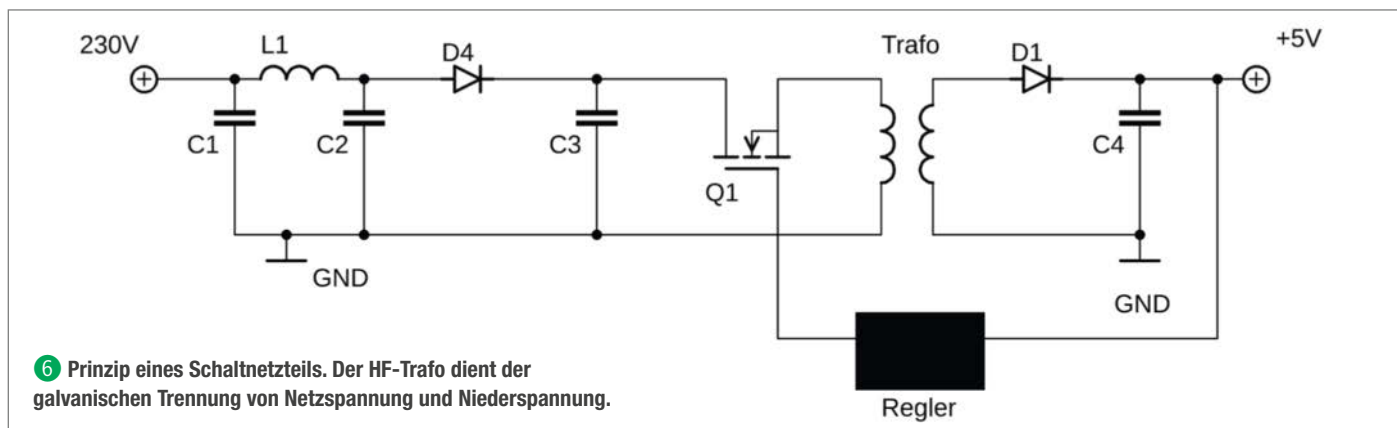
Rainer Knäpper, Lizenz Freie Kunst



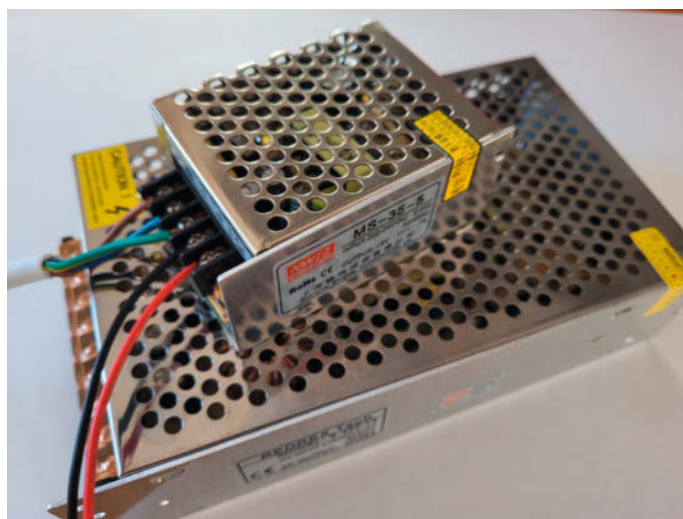
5 Steckernetzteile: Links Schaltnetzteil (20W), recht Trafonetzteil (3,6W).



4 Trafo



7 Mit viel Mumppe bleibt alles an seinem Platz: Das Innenleben eines Stecker-Schalt-Netzteils.



8 Wenn's mal etwas mehr sein muss, nimmt man Industrie-Schaltnetzteile: oben 5V/7A, unten 12V/20A.

beispielsweise an 9V angeschlossen ist. Der Vorteil: der 3,3V-Regler muss nur 1,7V Differenz herunterregeln und verursacht eine geringere Verlustleistung. Der Nachteil: Der gesamte Strom der 3,3V-Versorgung geht auch durch den 5V-Regler, was dort mehr Verlustleistung verursacht.

Step-Down/Buck

Erheblich effizienter und mit weniger Wärmeverlusten als die beschriebenen Längsregler arbeiten DC-DC-Wandler. Man macht sich hier die Energiespeicherfähigkeit einer Induktivität zunutze. Ein Regler schaltet mit hoher Frequenz einen MOSFET, der den Spulenstrom und somit die Ladegrenze steuert. Bei nur kurzen Ladezeiten kann man vereinfacht gesagt eine höhere Gleichspannung auf eine niedrige Spannung heruntersetzen, ohne dass besonders viel Verlustleistung an einem Element auftritt. Man spricht dann von *Step-Down*- oder *Buck*-Wandlern. Macht man die Schaltzeiten des Reglers einstellbar, werden die Ausgangsspannungen variabel.

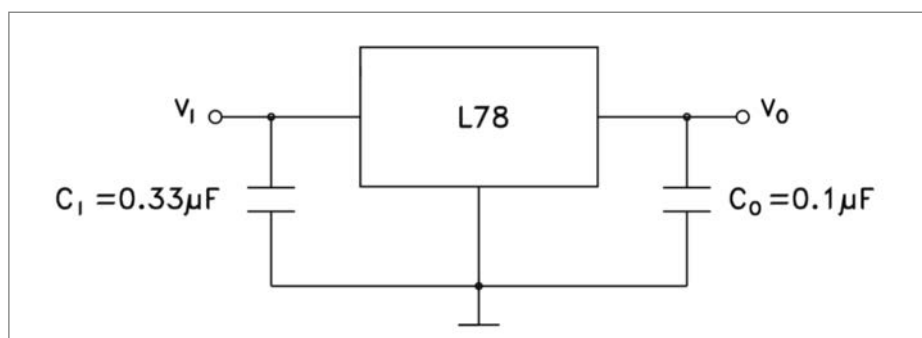
Ein Regler-IC, der solche Aufgaben übernimmt, ist der LM2596. Es gibt ihn auf fertigen

Step-Down-Modulen verbaut (DSN2596) für unter zwei Euro auf Amazon. Komfortablere Versionen mit digitaler Anzeige der eingestellten Spannung kosten rund 7 Euro **12**. Der Eingangsbereich liegt zwischen 4 und 35 Volt, ausgangsseitig kann man das Modul zwischen 1 und 30 Volt einstellen. Dabei muss die Eingangsspannung immer mindestens um ein Volt höher als die Ausgangsspannung sein. Mit einem Kühlkörper liefert das Wandler-Modul einen Ausgangsstrom von 3A.

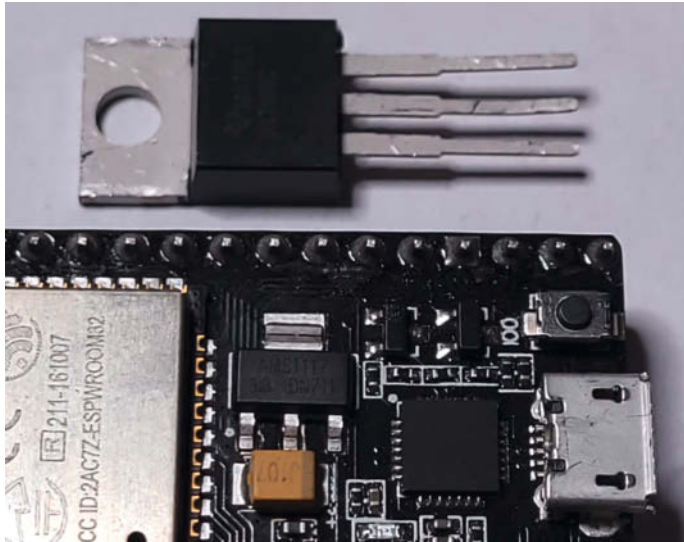
Step-up/Boost-Wandler

Benötigt man eine höhere Spannung als die, die man gerade zur Verfügung hat, setzt man *Step-up*-Regler ein. Auch sie funktionieren über einen schnellen Schaltregler, der eine Spule auflädt, die gespeicherte Energie dann aber zur Eingangsspannung dazu addiert, um eine höhere Ausgangsspannung zu erzeugen.

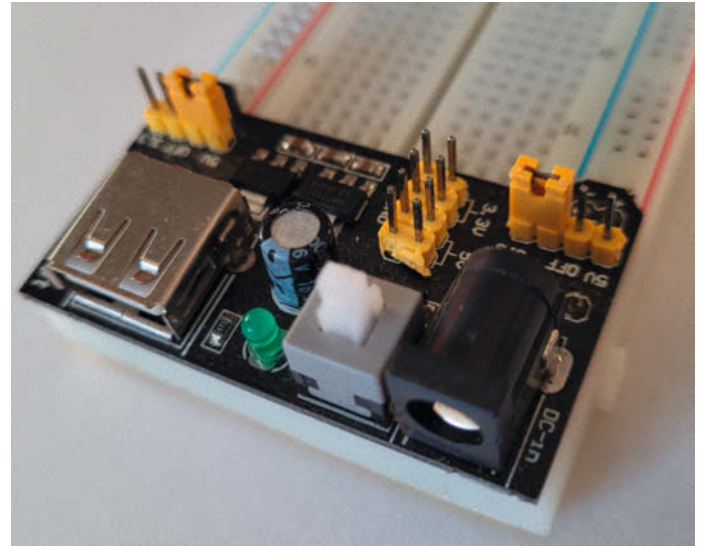
Auch hier sind die Verluste gering, das Modell XH-M411 (**13** links) kann aus einer Eingangs-



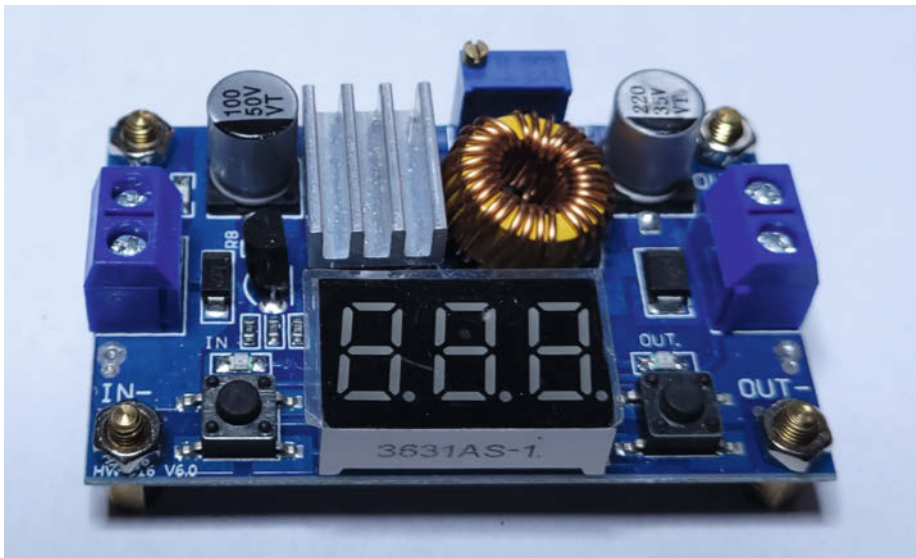
9 Bei Spannungsreglern der LM78-Reihe sollte die Eingangsspannung 2V über der Ausgangsspannung liegen.



10 Ein LM7805 im TO-220-Gehäuse und davor ein AMS1117 auf einem ESP32-Board



11 Praktisch: So ein Modul fürs Breadboard erzeugt 3,3V und 5V für jedes Rail auf dem Breadboard unabhängig.

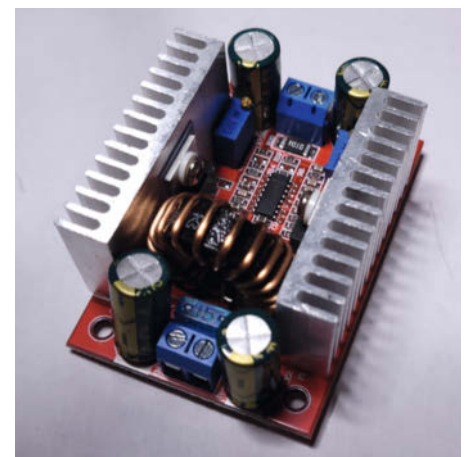
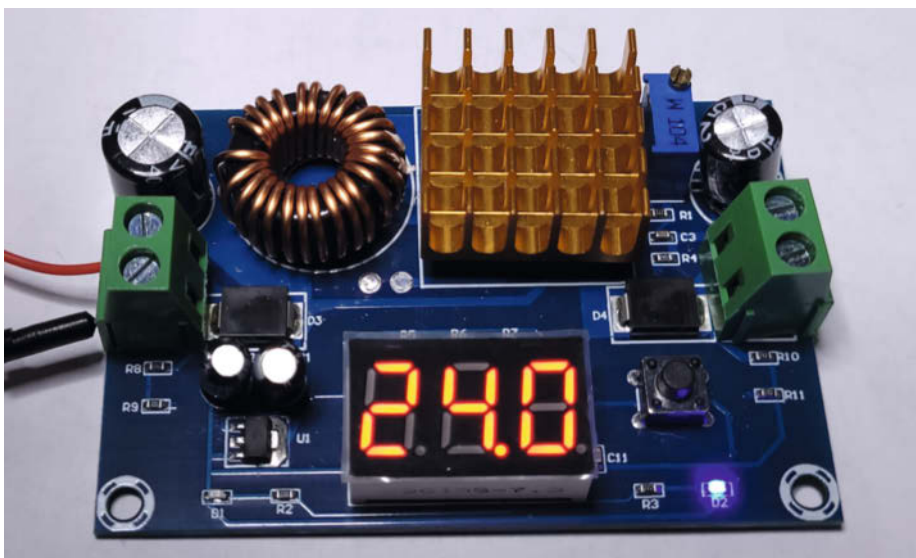


12 Ein Step-Down-Wandler mit digitaler Anzeige der eingestellten Ausgangsspannung

spannung von 3V eine Ausgangsspannung bis zu 45V mit mehr als 4A Ausgangsstrom generieren. Das Breakout-Board kostet rund 7 Euro und hat ein 7-Segment-Display zur Anzeige der per Trimmer eingestellten Spannung. Reichen die 4A nicht, nimmt man das Modell auf Bild 13 rechts, das bis zu 15A liefert – solange das angeschlossene Netzteil davor nicht schlapp macht. Gute Energielieferanten sind auch LiPo-Akkus aus dem Modellbau, die problemlos mehrere Ampere liefern. Wie die fetten Kühlkörper in 13 vermuten lassen, entsteht dort trotz aller Effizienz dann aber doch einiges an Wärme, die abgeführt werden muss.

Buck-Boost-Wandler

Universell einsetzbar sind *Step-up/Step-Down*-Module (auch *Buck-Boost-Converter* genannt), bei denen die Ausgangsspannung konstant bleibt, unabhängig davon, ob die Eingangs-



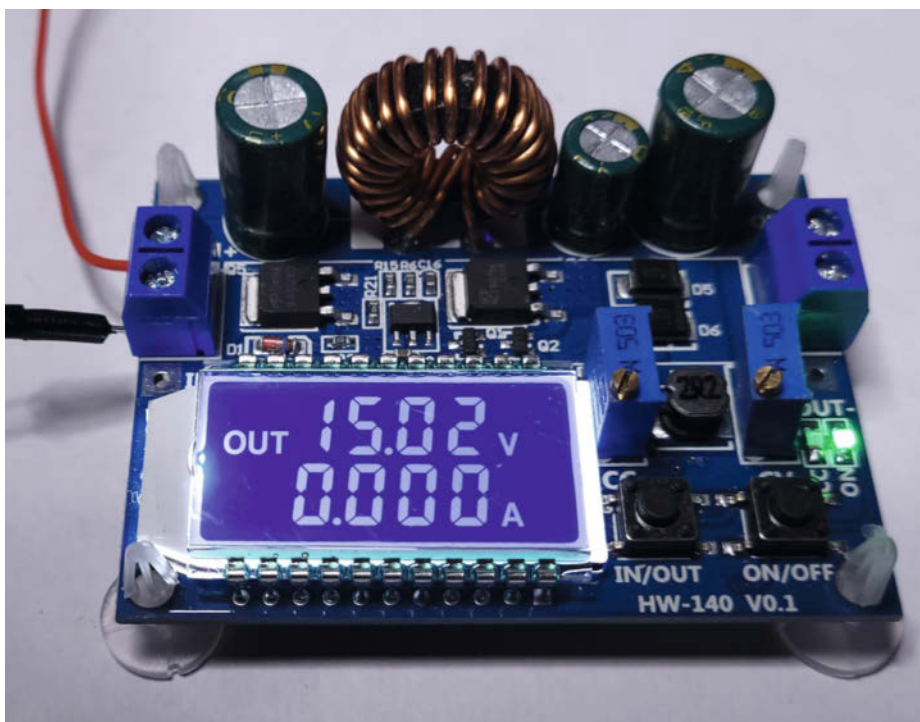
13 Von 5V auf 24V mit 4A dank Step-Up-Regler (links). Auch hier ist schon ein Kühlkörper erforderlich. Rechts die Lösung für 15A.

spannung nun darunter oder darüber liegt. Insbesondere bei Anwendungen für Akku-Betrieb, bei der die Spannung des Akkus stärker variiert, trifft man häufig auf diese Anforderung.

Das zugrunde liegende Funktionsprinzip nennt sich *Single Ended Primary Inductance Converter* (SEPIC) und kombiniert einen Boost-Converter und einen invertierenden Buck-Boost-Wandler. In 14 ist ein fertiges Modul zu sehen (HW-140, 14 Euro), das eine Eingangsspannung zwischen 5,5V und 30V auf eine einstellbare Spannung zwischen 0,5 und 30V hoch- oder runterregelt. Es liefert maximale 3A, wobei sich die Stromgrenze mit einem Trimmer einstellen lässt.

Fazit

Der Markt bietet vielfältige und günstige Möglichkeiten, seine eigenen Projekte individuell mit Gleichspannung in jeder Höhe zu versorgen. Der Aufbau eigener Lösungen lohnt sich dabei nur noch in seltenen Fällen. In der Regel sind die Angaben zu maximalen Strömen und Verlustleistungen zwar geschönt, aber mit diesem Wissen kann man seine Schaltungen ja entsprechend dimensionieren. —dab



14 Egal welche Spannung am Eingang anliegt, die Ausgangsspannung bleibt konstant. Praktisch ist die Anzeige der ausgehenden Spannung und des Stroms.

Make:markt

MIKROELEKTRONIK



AZ-Delivery

Ihr Experte für Mikroelektronik
20% sparen – Code: **AZD-Make20**

Die passenden MCU, Sensoren, Displays,
etc. für Ihr nächstes Projekt!
Projektideen im Blog
Spezialangebote im Newsletter

www.az-delivery.de

BÜCHER/ZEITSCHRIFTEN



Der Verlag für kreative Köpfe!

Informatik und Elektronik können komplex,
theoretisch und anstrengend sein. Es geht
aber auch einfach, anschaulich und leicht
nachvollziehbar – wenn man die Dinge in die
eigenen Hände nimmt und zum »Maker« wird:
Mit Büchern vom dpunkt.verlag.

www.dpunkt.de

Make:markt

Der **Make:markt**. Nur 150,00 Euro je Ausgabe für eine
Basisanzeige.

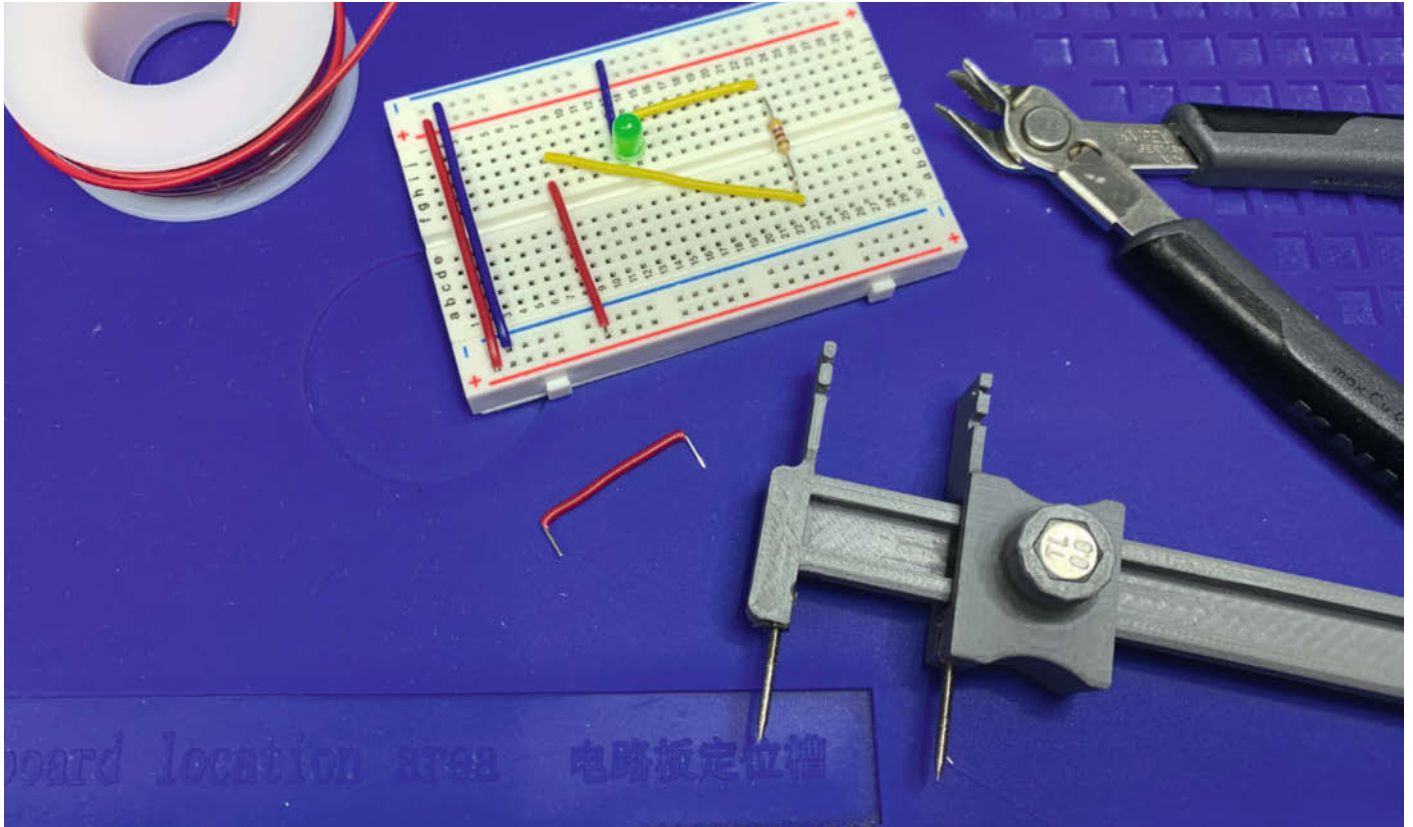
Weitere Informationen erhalten Sie unter:
maos@heise.de



Was Maker schon alles geschaffen haben!

Die Antwort und viele Beispiele finden Leser
in unseren Zeitschriften
„Space – das Weltraum Magazin“,
„Wissen 2022“ und dem „Urknall“ vieler
Computer- und Make-Enthusiasten – dem
„Retro Gamer“.

www.emedia.de



Biegelehre:

Drahtbrücken und Bauteilbeinchen präzise abwinkeln

Breadboards kunstvoll aufzubauen, ist nicht nur eine Zier: Auch die Übersichtlichkeit und Signalqualität wird verbessert, dies hilft im Fehlerfall und auch der Nachbau wird einfacher. Ebenso werden Drahtbrücken und Bauteilbeinchen auf Lochrasterplatten mit unserem 3D-gedruckten Werkzeug schön gerade und ansehnlich.

von Jens Hackel

Ende der 1960er-Jahre entwickelten drei pfiffige Konstrukteure (Siegel, Wallgreen und Young) für die Firma *PACE Inc.* ein variables, bis 2019 noch patentiertes, Werkzeug zum präzisen Abwinkeln von Bauteildrähten. Damals wurden Leiterplatten von Hand gezeichnet und die Abstände der Löcher für die Bauteilbeinchen war noch nicht genormt: Das Werkzeug erleichterte die Arbeit enorm. Bald wurde jedoch damit begonnen, gedruckte Schaltungen maschinell zu erstellen und zu bestücken. Die manuelle Montage von bedrahteten Bauteilen verlagerte sich in den Reparaturbereich und ist heute nur noch in

größerem Umfang in der Hobbyelektronik anzutreffen. Das variable Bestückungswerkzeug wird zwar noch angeboten, ist praktisch jedoch nicht mehr erhältlich – und wenn, dann nur für einen astronomischen Preis oder mit hohen Versandkosten aus dem Ausland.

Für die Nutzung in der heimischen Werkstatt oder im *Repair Café* lässt sich jedoch leicht und kostengünstig ein Werkzeug mit vergleichbarer Funktion am 3D-Drucker selber herstellen.

Für unser Werkzeug wurde mittels *FreeCAD* eine *STL*-Druckvorlage gestaltet. Anschließend mit *SuperSlic3r* gesliced (Schichtdicke

0,15mm, 23% Infill) und dann aus *PLA* gedruckt. *PETG* als Material und *Prusa-Slicer* oder *Cura* funktionieren natürlich auch. Die CAD-Daten (*FreeCAD/.FCStd* und *Blender/.blend* sowie die *STL*-Dateien) finden Sie über den Kurzlink.

Die Messspitzen sind auswechselbar: ein Vorteil gegenüber dem Original. Sie werden aus zwei *M2 × 20* Schrauben angefertigt. Der Schraubenkopf wird abgesägt, den Rest in den Akkuschrauber einspannen, und das eine Ende mit einer Schlüsselfeile zu einer Spitze formen. Alternativ zu Metallschrauben lassen sich auch Nygonschrauben verwenden. Die Befestigung in den 3D-Teilen erfolgt mittels Kontermuttern

Kurzinfo

- » Werkzeug im 3D-Druck
- » Bauteilbeinchen und Drahtbrücken präzise abwinkeln
- » Beliebige Längen und diagonale Verbindungen bei Breadboards möglich

Checkliste



Zeitaufwand:
1 bis 2 Stunden



Kosten:
unter 10 Euro



3D-Druck:
ab 150 x 150mm Bauraum,
PLA oder PETG

Material

- » 3D-Druck-Bauteile
selbst gedruckt oder im Makerspace
- » 2 Gewindeeinsätze M2
- » 2 Schrauben M2 x 20
- » 2 Sechskantmutter M2
- » Schraube M5 x 12, Sechskantkopf
- » Mutter M5

Werkzeug

- » 3D-Drucker
- » Akkuschauber
- » Lötkolben zum Einschmelzen
der Gewindeeinsätze
- » Bügelsäge für Metall
- » Schlüsselfeilen
- » Kombizange

↓
Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xzrd



Mehr zum Thema

- » Heinz Behling, Die Grundausstattung eines Makers, Make Sonderheft 2017, S. 12
- » Philip Steffan, Lieblingswerkzeug: Biegelehre, c't-Hacks 3/12, S. 80

und M2-Gewindeeinsätzen aus Messing, die mit der Lötkolbenspitze in den Kunststoff eingeschmolzen werden. Der Schieber kann mit einer durch die Schiebeführung einzulegende M5 Mutter sowie einer M5 x 12 Schraube mit Sechskantkopf festgestellt werden.

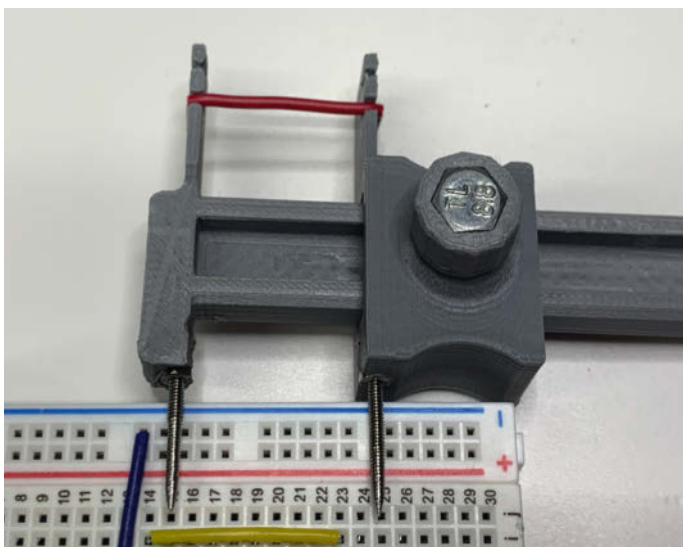
Gegenüber den weitverbreiteten Ein-Euro-Biegevorrichtungen bietet das Tool gleich mehrere Vorteile: Die Lochabstände können präzise ermittelt und die Ersatzteile optimal eingepasst werden, eine Erleichterung gerade bei Bauteilen

mit größerer Bauform aus alten Geräten. Aber auch bei der Herstellung von Prototypen auf Lochrasterplatten lassen sich so Drahtbrücken ohne langes Probieren biegen. Gleiches gilt für die Drahtbrücken auf Breadboards, die nun sogar diagonal richtig abgelängt werden können. Gegenüber der einfachen Variante sind so auch sehr kurze oder sehr lange Brücken herstellbar. So gelingt es ohne Mehraufwand, die Schaltung auch optisch aufzuwerten und zu einem Hingucker zu machen.

—caw



Die Messspitzen



Zwei Kerben für verschieden starke Drähte



Original und Nachbau

Wer misst, misst Mist!

Was der Maker zum Thema Messen vor allem von elektrischen Größen wissen muss, damit er sich nicht vermisst.

von Guido Körber



Messen, was ist das eigentlich? Das Messen von irgendetwas ist eine alltägliche Tätigkeit: Wie viel muss ich an die Dachlatte wieder ranschnitten, damit sie passt? Ist noch genug Wasser im Eimer, nachdem ich ihn halb umgerannt habe? Nein, ernsthaft, wir messen ständig Dinge. Oft sind wir uns dessen nicht einmal bewusst. Sei es, dass wir etwas auf eine bestimmte Länge schneiden wollen, die Tee-
löffel voller Zucker, die wir in die Tasse geben, das Glas, das wir (mehr oder weniger genau) bis zum Eichstrich füllen.

Wenn man sich klarmacht, was man dabei tut, dann merkt man, dass Messen der Vergleich einer Größe mit einer Referenz ist, mit dem Maßband, dem Volumen eines Löffels oder der Markierung an einem Gefäß. Es muss also für eine Messung eine definierte Methode benutzt werden, die es erlaubt, eine physikalische Größe als Zahl darzustellen, indem man sie mit einer festgelegten Größe vergleicht.

Bei Längenmessungen ist das besonders einfach zu verstehen. Hier vergleicht man die Länge eines Objektes mit einem Maßstab, der die Länge als Skala aufgedruckt hat. Andere physikalische Größen wie in der Elektrotechnik werden oft indirekt gemessen: also über einen Effekt, den sie auslösen. Beispielsweise kann man elektrischen Strom nicht direkt erfassen, sondern nur über eine Wirkung, die er hat, wie das magnetische Feld oder den Spannungsabfall an einem Widerstand.

Messen ist immer ungenau

Eine Sache, die beim Messen immer im Hinterkopf sein muss: Eine Messung ist niemals genau, sondern immer nur eine Näherung an den tatsächlichen Wert. Auch hier ist wieder der Effekt bei der Längenmessung besonders einfach zu verstehen. Wie fein die Skala eingeteilt ist, bestimmt über die maximale Auflösung der Messung. Und egal wie fein die Skala ist, weitere Bedienfehler wie unsauberes Anlegen an das zu messende Objekt oder inkorrektes Ablesen erzeugen weitere Ungenauigkeiten. Wenn man z.B. mit einer hochpräzisen Bügelmessschraube eine Länge misst, dann kommt auch noch ein Fehler durch die thermische Ausdehnung je nach Raumtemperatur hinzu.

Auch das betrifft alle Arten von Messungen: Es gibt immer Fehler. Man muss sich derer bewusst sein und wissen, wie weit sie einen Einfluss auf das Messergebnis haben.

Das Multimeter

Ein Messgerät ist ein Werkzeug, und wie bei allen Werkzeugen muss es zur Aufgabe passen. Die am häufigsten gemessenen Größen für den angehenden Elektro-Maker sind Spannung, Strom und Widerstand. Dafür gibt es preiswerte Multimeter, die eine gute Grund-

Kurzinfo

- » Genauigkeit: Messen beinhaltet immer Messfehler
- » Multimeter, das Arbeitspferd des Makers
- » Sicherheit und praktische Tipps

Mehr zum Thema

- » Carsten Meyer, Messgeräte für Maker, Make 6/20, S. 10
- » Carsten Wartmann, Kabelklemme mit Bananenstecker, Make 1/18, S. 136
- » Heinz Behling, Die Grundausstattung eines Makers, Make Sonderheft 2017, S. 12
- » Olaf Göllner, Signalen auf der Spur, Make 4/13, S. 62

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xqur



Drei Multimeter der unterschiedlichen Preisklassen



Vergleich der Messwerte zweier Multimeter an der Spannung an einer Batterie



Hochwertige Messleitungen mit mehreren Optionen für die Messspitzen oder -klemmen. Hier ist auch der umfassende Berührungsschutz am Stecker sichtbar.

ausrüstung darstellen: Bereits für wenige Dutzend Euro kann man hier Geräte finden, die für die allermeisten Anwendungen völlig ausreichen. Frequenz und Kapazität sind ebenfalls mit vielen Multimetern direkt messbar.

Aufwendiger wird es, wenn Signalformen zeitlich dargestellt werden sollen, wie mit Oszilloskop oder *Logic Analyzer*. Dazu kommt man aber meistens erst etwas später in der Elektro-Maker-Karriere.

Was soll ein Multimeter können?

Multimeter gibt es wirklich in allen Größen und Ausführungen. Angefangen von eher

Spielzeug, das für gelegentliche Messungen (ist die Batterie wirklich leer?) taugt, über die brauchbare Mittelklasse (Messbereich automatisch, nur die Messgröße wird manuell gewählt) bis zur gehobenen Klasse (mit detailliertem Prüfzertifikat). Darüber hinaus gibt es für jeden Geldbeutel und Anspruch die passenden Geräte auf dem Markt. Dank digitaler Messtechnik gibt es brauchbare Geräte schon für unter 50 Euro. Auf einige Details bei den technischen Daten und der Ausstattung sollte man aber achten.

Ein wichtiger Punkt sind die verfügbaren Messbereiche. Einfachere Geräte werden von Hand zwischen den Messbereichen umgeschaltet. Die aufwendigeren schalten automatisch

in den passenden Bereich (*Autoranging*) und man muss nur auswählen, welche Größe man messen möchte. Kaputtgehen sollte ein Messgerät nicht, wenn eine Spannung oder ein Strom angelegt werden, die über dem eingestellten Messbereich, aber innerhalb der maximalen Werte des Messgerätes liegen. Das wäre ein ausgesprochener Mangel.

Im Minimum sollte ein Multimeter Gleich- bzw. Wechselspannung und -strom sowie elektrischen Widerstand messen können. Praktisch ist auch eine Durchgangsprüfer-Funktion mit einem akustischen Signal. So kann man Verbindungen schnell testen, ohne auf das Display gucken zu müssen. Und wenn noch mehr Messfunktionen vorhanden sind, dann gilt wie immer: Haben ist besser als brauchen. Aufpassen sollte man aber, wenn ein besonders günstiges Messgerät ganz viel kann. Dann ist die Gefahr groß, dass es nichts davon richtig gut kann.

Messbereiche bis mindestens 300V und 5A sind selbst bei einfachen Geräten selbstverständlich. Mehr ist natürlich besser. Nach unten gehen die Messbereiche in der Regel unter 1mV und 1µA, wobei das richtige und genaue Messen in diesen Bereichen kompliziert ist und einen eigenen Artikel wert wäre.

Wenn die Messung einmal genauer sein muss, dann fragt man sich natürlich, wie genau das eigene Messgerät denn arbeitet. Teurere Messgeräte kommen mit einem Kalibrierungsprotokoll. Damit hat man zumindest für die angegebene Zeitdauer nach dem Kauf eine gewisse Sicherheit, gute Messwerte zu bekommen. Aber eine spätere Neukalibrierung ist teuer und die erschwinglichen Geräte kommen so gut wie nie mit einer Kalibrierung.

Eine ganz einfache Möglichkeit, sich eine gewisse Sicherheit zu verschaffen, ist es, zwei verschiedene Messgeräte dieselbe Messung machen zu lassen. Liegen beide nahe beieinander, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Werte gut sind. Bei einem Ausreißer sollte man dann mit den Geräten von Freunden und Kollegen vergleichen, um dann entweder neues Vertrauen in sein Gerät zu fassen oder eine Neuanschaffung in Betracht zu ziehen.

Genau? Counts und Nachkommastellen

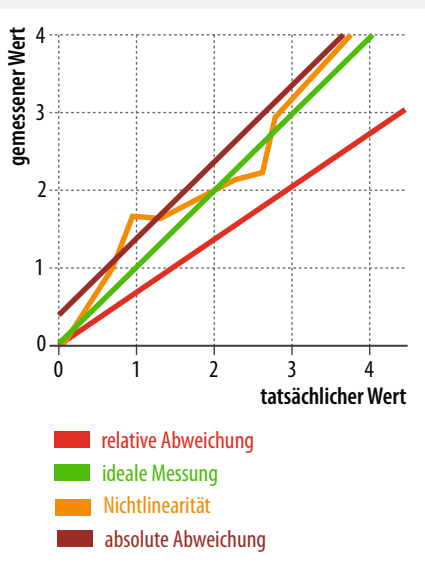
Bei Multimetern geben die Hersteller gern unterschiedlich verpackt die Information, welche Messauflösung diese haben. Da gibt es Angaben wie *3 1/2 Stellen* oder *2000 Counts*. Typischerweise sind diese beiden Angaben identisch und geben an, dass der gemessene Wert mit Zahlen von 0 bis 1999 angezeigt wird. Der aktive Messbereich bestimmt dann, wo das Dezimalkomma gesetzt wird. Bei einem 20V Messbereich könnte das Messgerät dann bis maximal 19,99V anzeigen, also mit einer Auflösung von 10mV. Wie viel diese Auflösung

Fehlerquellen beim Messen

Bei der Umwandlung einer elektrischen Größe in einen Zahlenwert gibt es drei grundlegende Arten von Fehlern bzw. Abweichungen vom Messwert:

- Absoluter Fehler – der Messwert ist etwas größer oder kleiner als der tatsächliche Wert.
- Relativer Fehler – der Messwert ist um einen Prozentsatz größer oder kleiner als der tatsächliche Wert.
- Nichtlinearität – die Messwerte sind nicht in gleich großen „Abständen“ relativ zum tatsächlichen Wert.

Als Daumenregel kann man davon ausgehen, dass Messwerte nahe am unteren und sehr nahe am oberen Ende eines Messbereiches eher etwas ungenauer sind. Darum sollte man ggf. den Messbereich wechseln, wenn der Wert zu klein oder groß wird.



Schema möglicher Messfehler

wirklich wert ist, dazu später mehr bei den Messfehlern.

Manchmal ist die Auflösung ganz offensichtlich, weil das Messgerät schon für die Produktbeschreibung mit dem Maximalwert in der Anzeige fotografiert wurde. Manchmal muss man aber auch erst in der Beschreibung genauer nachschauen, wie viel es denn anzeigen kann.

Die Angabe *True RMS* steht auf immer mehr Multimetern. Dies ist ein wichtiges Feature, wenn man Wechselspannungen beliebiger Signalform messen möchte: Hier wird der Effektivwert gemessen. Man kann bei diesen Multimetern einem Messwert für Wechselspannung mehr vertrauen als solchen ohne *True RMS*, die eher Gefahr laufen, Fehlmessungen zu produzieren.

Sicherheit

Der frisch gebackene Elektro-Maker wird hoffentlich nicht mit seinem neu erworbenen Multimeter zur nächsten Steckdose eilen, um sofort die Netzspannung zu messen. Da aber solch höhere Spannungen und Ströme recht wahrscheinlich in der fortschreitenden Elektro-Maker-Karriere irgendwann auftreten werden, ist es wichtig, hier beim Messgerät vorzusplanen. Hinzu kommt natürlich immer der Faktor, dass Missgeschicke nun mal auftreten und man denen möglichst wenig Chance für einen Schaden lassen sollte.

Darum muss das Multimeter ein paar Grundanforderungen erfüllen. Ordentliche Einhaltung der technischen Normen gehört dazu, also bitte keine Geräte aus einem Versandhandel, bei dem *CE* nur für *China Export* steht. Messgeräte sind in Kategorien (*CAT*) eingeteilt, die definieren, für welche Messungen sie eingesetzt werden dürfen. Fehlt diese Angabe beim Messgerät, dann ist das ein Warnsignal oder besser noch ein Ausschlusskriterium. Die Kategorie *CAT I* (siehe Seite 88) ist nur für die Messung an nicht netzbetriebenen Geräten geeignet, davon sollte man ebenfalls direkt die Finger lassen.

Die Anschlüsse für die Strommessung müssen eine Schmelzsicherung haben, damit im Fehlerfall, durch zu hohen Strom oder falschen Anschluss verursacht, möglichst das Messgerät und auf jeden Fall der Maker unbeschadet davon kommen.

Die Anschlüsse am Messgerät müssen berührungssicher sein. Auch wenn ein Anschlusskabel nicht ganz eingesteckt ist, darf der Kontakt nicht berührbar sein. Richtige Messkabel haben darum einen Kragen um den eigentlichen Steckkontakt und sind keine einfachen *Bananenstecker* (4mm Federstecker).

Messleitungen: Schwer auf Draht

Messkabel sind ein ganz wichtiges Thema. Bei den billigeren Geräten werden leider oft

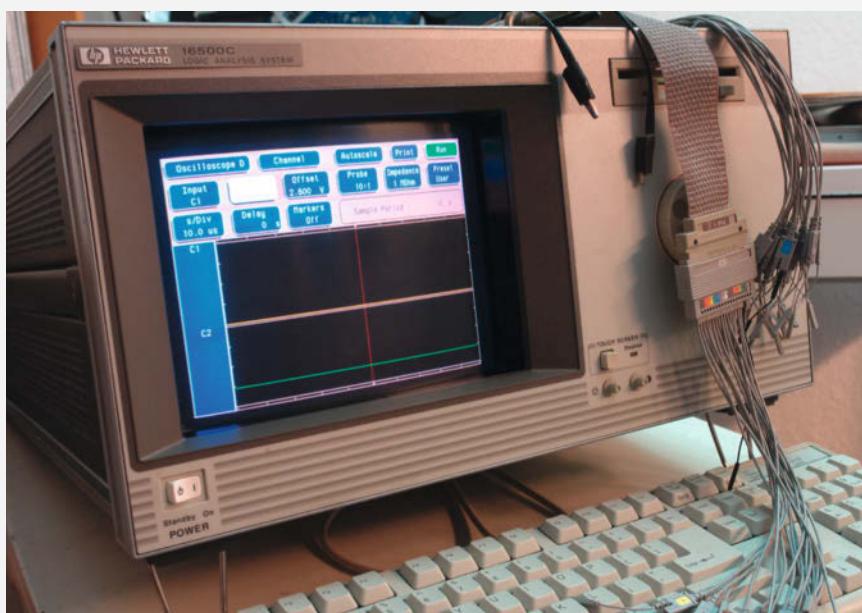
Gebrauchte Messgeräte

Bei etwas höheren Ansprüchen werden Messgeräte schnell sehr teuer. Preise im Bereich von Mittelklasseautos und darüber hinaus treten durchaus nicht so selten auf. Die Messaufgaben der wenigsten Maker werden sich in Bereichen bewegen, wo solches High-End-Equipment notwendig ist. Wer aber doch mal etwas anspruchsvollere Messaufgaben hat, z.B. einem Mikroprozessor ganz nahe an die Pins rücken möchte oder seinem Funksystem auf die Sprünge helfen will, der kann bei gebrauchten Messgeräten oft echte Schnäppchen finden.

Es gibt auch Händler, die sich auf gebrauchte Geräte spezialisiert haben und

diese oft mit Garantie und ggf. frisch kalibriert liefern. Das hat natürlich seinen Preis. Deutlich günstiger kommt man an Geräte auf den bekannten Handelsplattformen, wenn eine Firma Geräte austauscht oder irgendwo eine Geschäftsauflösung stattfindet.

Mit ein bisschen Sucherei kommt man so für überschaubare Kosten an High-End-Geräte etwas älterer Bauart. Auch hier gilt: Aufpassen bei den Messleitungen. High-End-Messgeräte haben auch sehr hochwertige Messleitungen: Beim Gebrauchtkauf auf jeden Fall aufpassen, dass diese dabei und in gutem Zustand sind.



HP 16500C Logic Analyzer. Trotz seines Alters noch stark gesucht von Elektronikern und Sammlern.

nur primitive Strippen mitgeliefert. Die Messkabel haben einen direkten Einfluss auf das Messergebnis. Ist der Leiter im Kabel zu dünn, dann hat er einen relativ hohen Widerstand, der die Messwerte verfälscht. Hier lohnt es sich, bei der Auswahl des Gerätes genau zu schauen, wie die Messkabel aussehen, sonst zahlt man schnell für die Anschaffung ordentlicher Kabel noch einmal so viel wie für das Messgerät.

Auch ganz wichtig sind die Messspitzen und -klemmen. Einfache Messkabel kommen nur mit einfachen Metallspitzen, die beim Messen fummelig und unzuverlässig sein können. Praktischer sind wechselbare Spitzen

und aufsteckbare Klemmen. Weiterhin sollte man auf möglichst flexible Leitungen, am besten aus hitzefestem Silikon, achten.

Besonders scharfe Spitzen helfen, wenn man an kleinen Bauteilen messen möchte oder eine Oxidschicht oder sogar einen Isolator durchstechen muss. Klemmen in feiner und grober Ausführung erlauben, eines oder beide Enden für die Messung zu verankern, sodass man eine sichere Verbindung und die Hände frei hat, um beispielsweise etwas an der gemessenen Schaltung zu verändern.

Für die Messkabel sollte man also lieber etwas mehr ausgeben, das spart viele Flüche beim Arbeiten.

Spannungsprüfer

In jedem Elektrikerwerkzeugkasten findet sich ein Spannungsprüfer bzw. Phasenprüfer. Den kann auch der Maker gut gebrauchen, sollte aber genau wissen, was der Spannungsprüfer tut und was nicht. Eine falsche Handhabung kann gefährlich werden! Eine modernere Alternative wird auf Seite 89 vorgestellt.

Der *Prüfschraubendreher* ist ein Schraubendreher mit einer eingebauten Neonlampe (nein, nicht die langen Stäbe, die gar kein Neon enthalten, sondern die kleinen Glaspföpfchen, die orange glimmen). Die Aufgabe des Prüfstifts ist, dass er eine elektrische Potenzialdifferenz anzeigen soll, denn das Neon beginnt zu leuchten, wenn es unter Spannung gesetzt wird und das bereits bei sehr kleinen Strömen.

Damit kann man bei Netzspannung feststellen, welche der beiden Leitungen

die Phase ist, denn Nullleiter und Schutzleiter liegen auf demselben Potenzial wie man selbst und darum leuchtet dann das Prüflämpchen nicht. Der ungefährliche kleine Strom fließt beim Test über den Kontakt am Schraubendreher durch den Körper des Makers in den Boden.

Den Spitznamen Lügenstift hat sich das eigentlich praktische Teil verdient, weil es Situationen gibt, in denen es nicht korrekt anzeigt. Das passiert z.B. dann, wenn man besonders gut isolierende Schuhe trägt. Darum immer, wirklich immer, erst den Positivtest machen: also genau da, wo man prüfen will, in genau derselben Haltung etc. sicherstellen, dass die Neonlampe auch wirklich anzeigt, wenn Strom da ist. Dann abschalten bzw. Sicherung ziehen oder schalten und noch mal testen.

bereich sind meistens schon auf $\pm 1\%$ genau oder sogar besser. Das reicht bei den meisten Anwendungen problemlos aus. Und wenn man wirklich in den Bereich vorstößt, wo mehr Präzision benötigt wird, dann hat man wahrscheinlich auch schon eine Vorstellung davon, was man dann tun (oder kaufen) muss, um bessere Ergebnisse zu erzielen.

Etwas ungenauer wird es in der Regel, wenn man Wechselspannung oder -strom misst. Da empfiehlt sich ein Blick in die Daten des Messgerätes, damit man versteht, was dieses anzeigt, wenn es um höhere Präzision geht. Hier ist es dann hilfreich, ein Messgerät mit *True RMS* (Effektivwertmessung) zu haben.

Das beste Messgerät kann natürlich keine ordentlichen Werte liefern, wenn diese von außen gestört werden. Im einfachsten Fall hat man einen schlechten Kontakt mit der Stelle, die gemessen werden soll. Dagegen helfen die schon beschriebenen möglichst guten Messkabel und -klemmen. Die Finger haben auch nichts an einer Messstelle verloren. Bei höheren Spannungen wird das gefährlich und bei kleinen Signalen kann es durch den Hautwiderstand und die Kapazität des Körpers zur Beeinflussung der Schaltung und des Messwertes kommen.

Eigentlich offensichtlich, aber das passiert auch Profis: Die Messkabel liegen versehentlich über einem anderen Kabel, das (Wechsel-) Strom führt, etwa dem Netzkabel der Lötstation. Hier können Übersprecheffekte auftreten, in denen die Frequenzen und Ströme auf das Messsignal aufgeprägt werden. Je kleiner die Signale oder Ströme sind, die gemessen werden sollen, umso unschöner werden solche Effekte.

Darum immer, wenn etwas mit geringer Spannung oder Strom (deutlich unter 1V oder unter 1mA) gemessen werden soll: Erst mal aufräumen und alles abschalten, was nicht gebraucht wird und stören könnte.

Los gehts!

Ganz viele der beschriebenen Details wird man im täglichen Maker-Einsatz nicht wirklich benötigen, aber es hilft immer, wenn man schon mal davon gehört hat, was es so alles gibt und was passieren kann. Spätestens wenn die Ansprüche an das Projekt steigen, ist es auch bei elektrischen Messgeräten wichtig, dass man sein Werkzeug versteht und beherrscht. Hier hilft natürlich wie immer und überall die Übung.

Aber oft sind es die einfacheren Dinge, die einem einen Streich spielen, so wie der Autor mal eine halbe Stunde an seinem Prototypen gemessen hat, um dann festzustellen, dass das Anschlusskabel lose hinten vom Tisch runter hing und nicht etwa wie gedacht am Computer angeschlossen war ...

—caw



Messfehler im Messgerät

Wie schon beschrieben, ist Messen immer das Vergleichen mit einer bekannten Größe. Um elektrische Größen wie Spannung und Strom zu messen, wird in digitalen Messgeräten eine Referenzquelle benutzt, die eine bekannte, stabile Spannung erzeugt. Die Grundgenauigkeit der Referenzquelle hat einen Einfluss auf den gemessenen Wert. Dazu kommen Veränderungen durch die Alterung der Quelle und Abweichungen durch die Temperatur. Weitere Fehler kommen durch die Methode zustande, mit der die Referenz und der zu

messende Wert verglichen wird. Das betrifft auch die Genauigkeit der Bauteile, mit denen der Messbereich umgeschaltet wird, aber auch den Analog/Digital-Wandler, der letztlich mithilfe der Referenz einen Wert für die Auswertung im Mikroprozessor des Multimeters erzeugt.

Bei elektrischen Größen gibt es Fehler bei der genauen Lage des Nullpunktes, der Linearität über den Messbereich und möglicherweise eine Abweichung über den gesamten Messbereich. Auch hier wird der Maker in den meisten Fällen nicht wirklich auf Probleme stoßen. Aktuelle Multimeter im unteren Preis-

Neuer Input für Maker

Make Elektronik Special

Make Elektronik Special bietet einen einfachen und praxisorientierten Einstieg in Transistorschaltungen, die Maker in eigenen Projekten einsetzen können. Das mitgelieferte Experimentierset inkl. Breadboard, Kabeln und 45 Elektronikbauteilen enthält alles, um die gezeigten Schaltungen sofort nachbauen und testen zu können.

Heft + Experimentierset für 44,95 €

 shop.heise.de/make-elektronik21

Inklusive Experimentierset
und Breadboard



Make Micropython Special

Diese Make-Sonderausgabe zeigt Ein- und Umsteigern, wie man mit MicroPython leicht und schnell eigene Projekte mit dem ESP32 umsetzt.

Wie immer in Make Specials geht's sofort in die Praxis mit Audio-Projekten, einer CO₂-Ampel und mehr.

Heft + PDF für 19,90 €

 shop.heise.de/make-micropython



Make Picaxe Special

Noch einfacher als Arduino: Im neuen PICAXE Special der Make dreht sich alles um den Einstieg ins Programmieren mit BASIC. Dazu gibt es ein neuentwickeltes Programmierboard für den Einsatz von PICAXE-Chips, das Nano-Axe-Board mit USB-Anschluss. Damit können Sie sofort starten!

Heft + Nano-Axe-Board für 24,95 €

 shop.heise.de/make-picaxe

Inklusive Nano-Axe-Board
mit PICAXE-08M2



Spurensuche

Manche Geräte verbrauchen auch im ausgeschalteten Zustand Strom. Das ist besonders unpraktisch, wenn sie mit Batterien oder Akkus betrieben werden. Wie viel Energie dabei verloren geht, können wir mithilfe eines Multimeters herausfinden und damit auch die Standby-Dauer ausrechnen.

von Hans-Martin Hilbig



Ärgerlich! Nach einem halben Jahr der Nichtbenutzung hole ich meinen elektronischen Winkelmesser ① aus der Schublade, schalte ihn ein und es tut sich – nichts. Denn offensichtlich hat er auch im ausgeschalteten Zustand Energie verbraucht und damit die eingelegte Knopfzelle entleert. Um herauszufinden, wie das möglich ist, habe ich mich mit meinem Multimeter und ein paar Krokodalklemmen auf die Spurensuche begeben. Dabei stieß ich auf einige alte Bekannte aus den ersten Semestern meines Elektrotechnik-Studiums.

Spannung, Strom und Widerstand

Werfen wir zunächst einen Blick auf ein paar wichtige Grundlagen, die für das Verständnis der folgenden Messungen wichtig sind. Liegt an einem elektrischen Widerstand R eine Spannung U an, fließt durch diesen Widerstand R ein Strom I und es gilt die Formel $R = U / I$. Die Kennlinie eines ohmschen Widerstands ist linear ②.

Wenn zwei Widerstände in Reihe geschaltet sind, fließt durch beide Widerstände derselbe Strom, aber die Spannung, die über jeden Widerstand abfällt, ist proportional zur Größe des Widerstandswerts. Es gelten:

$$U_1 = I \times R_1 \text{ und } U_2 = I \times R_2$$

Es entsteht bei niedrigem Widerstandswert ein kleiner Spannungsabfall und bei großem Widerstandswert ein großer. Da wir die Reihenschaltung zweier Widerstände auch Spannungsteiler ③ nennen, gilt das Spannungs-teilverhältnis

$$U_1 / U_2 = R_1 / R_2$$

Dieses Schaltungsprinzip wird auch in unserem Multimeter benutzt, wenn wir es als *Voltmeter* zum Messen von Spannungen oder als *Ohmmeter* zum Messen von unbekannten Widerständen benutzen ④.

Die zweite Grundschaltung von Widerständen ist die Parallelschaltung ⑤. Dort fällt über beide Widerstände die gleiche Spannung U ab, aber der Strom I teilt sich in die Widerstandszweige auf. Bei einem kleinen Widerstand fließt ein großer Strom, bei einem großen Widerstand ein kleiner. Es gilt das Stromteilverhältnis:

$$I_1 / I_2 = R_2 / R_1$$

Wenn wir unser Multimeter als Strom-Messgerät benutzen, wird ein Stromteiler eingesetzt. Der Strom fließt über einen sogenannten *Shunt*, einen Widerstand mit sehr kleinem Widerstandswert ⑥. Parallel dazu ist ein Analog-Digital-Wandler (ADC) mit einem Vorwiderstand in Reihe geschaltet und misst die Spannung, die über den Shunt abfällt. Ist dessen Widerstand bekannt, kann der Strom-

Kurzinfo

- » Strom und Spannung mit dem Multimeter messen
- » Spannungs- und Stromteiler kennenlernen
- » Verstehen, wie viel Energie ein Gerät verbraucht

Mehr zum Thema

» Florian Schäffer, Akkutechnik, Make-Sonderheft 2018, S. 68

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xksu



fluss über $I = U / R$ anhand der gemessenen Spannung U ermittelt werden.

Aber zurück zum Winkelmesser. Wenn das Gerät die Energie der Knopfzelle aufgebraucht hat, dann müsste dort auch im ausgeschalteten Zustand ein Strom fließen und somit ein elektrischer Widerstand messbar sein. Also Multimeter raus und messen.

Elektronische Systeme und ihr Stromverbrauch

Als Erstes wird die Knopfzelle, eine 3V-CR2032-Zelle, aus dem Winkelmesser entfernt. Beim Multimeter wird der kleinste Widerstandsmessbereich ausgewählt, am Drehschalter mit einer Diode und einem Notensymbol für den Durchgangsprüfer gekennzeichnet. In diesem Bereich ertönt bei einem Kurzschluss ein Piepton und der maximal messbare Widerstand beträgt 1,99kΩ. Rein zufällig halte ich die rote Messspitze an den Minus-Kontakt des Winkelmessers und die schwarze Messspitze an den Plus-Kontakt. Sollte ja eigentlich egal sein, schließlich wollen wir einen Widerstand messen und keine Spannung oder Strom. Das Display zeigt 538Ω an. Schnell die Widerstandsformel angewendet, ergibt:

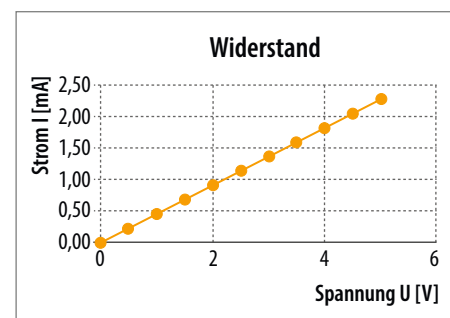
$$I = U / R = 3V / 538\Omega = 5,57mA$$

Ganz schön viel, aber notiert. Aus reiner Maker-Neugierde tausche ich die Messspitzen und halte nun die schwarze Messspitze an die Minusklemme und die rote Messspitze an die Plusklemme des Winkelmessers. Das Multimeter zeigt jetzt keinen Widerstandswert mehr an, dafür aber mein elektronischer Winkelmesser einen Winkel auf seinem Display ⑦. Wie ist das möglich? Kann ich mit einem Widerstandsmessgerät meinen Winkelmesser elektrisch betreiben? Die Anzeige auf dem LCD-Display ist zwar etwas blass, aber der Winkelmesser ist voll funktionsfähig. Ich kann ihn sogar über die ON-/OFF-Taste aus- und wieder einschalten.

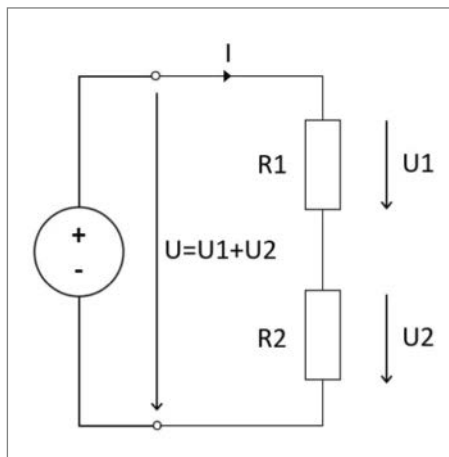
Um diesem merkwürdigen Verhalten auf den Grund zu gehen, brauche ich ein weiteres Multimeter mit einem Spannungsmessbereich. Und siehe da, an den beiden Klemmen des Widerstandsmessgeräts liegen 2,5V an! Das Gleiche gilt auch für den 200Ω-Messbereich. Erst ab dem 2kΩ-Messbereich



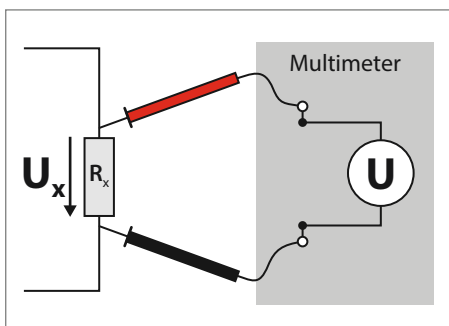
① Der Winkelmesser zeigt, wenn ein Bild schief hängt.



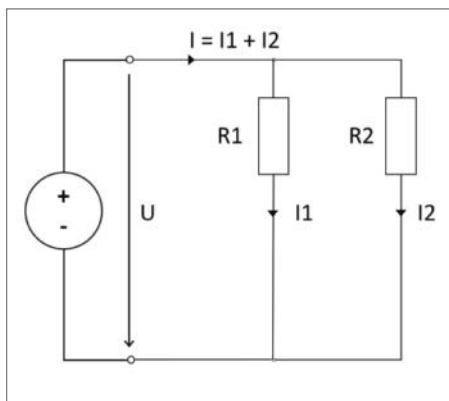
② Widerstands-Kennlinie (hier: 2,2kΩ)



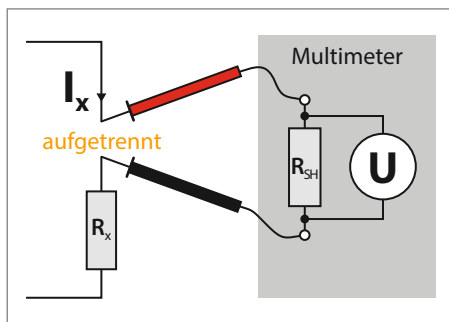
3 Reihenschaltung – Spannungsteiler



4 So messen wir eine Spannung mit dem Multimeter.



5 Parallelschaltung – Stromteiler



6 So messen wir einen Strom mit dem Multimeter.

fällt die Spannung auf 230mV ab und erwartungsgemäß funktioniert mein Winkelmesser dann auch nicht mehr. Zum Spaß drehe ich den Messbereichswähler bis auf 20MΩ, aber ich messe keinen Widerstand. Verbraucht mein Winkelmesser im ausgeschalteten Zustand doch keinen Strom?

Bisher haben wir immer über ohmsche Widerstände geredet. Elektronische Systeme bestehen aber aus einer Menge Transistoren und Dioden, also Halbleitern. Die Abbildung 8 zeigt eine typische Kennlinie einer Diode. Im Gegensatz zu ohmschen Widerständen spielt bei Halbleitern die Stromrichtung und die angelegte Spannung eine Rolle. Liegt an der Kathode der Diode eine positive Spannung an und an der Anode eine negative, wird die Diode in Sperrrichtung betrieben. Im Sperrbereich fließt kein Strom und das Ohmmeter zeigt einen sehr hohen Widerstand an. Das ändert sich erst, wenn die Spannung im Sperrbereich weiter erhöht wird und die Durchbruchspannung überschritten wird. Diesen Durchbruchbereich sollte man tunlichst vermeiden, da die Diode sehr schnell überlastet und zerstört werden kann.

Liegt an der Anode der Diode wiederum eine positive Spannung an, wird sie in Durchlassrichtung betrieben und ist die angelegte Spannung kleiner als die Vorwärtsspannung, fließt ebenfalls kein Strom. Das Ohmmeter zeigt wieder einen großen Widerstand an und wir bekommen keine Auskunft darüber, ob wir die Diode in Durchlass- oder in Sperrrichtung betreiben bzw. ob die Diode überhaupt funktioniert.

Oberhalb der Vorwärtsspannung wird die Diode jedoch niederohmig und es fließt ein Strom. Das Ohmmeter misst in diesem Bereich einen Widerstand kleiner als 1kΩ und gibt uns auf diese Weise Auskunft darüber, dass die Diode intakt ist und welcher der beiden Anschlüsse die Kathode bzw. die Anode ist. Dies ist der Grund, warum in dem speziell mit dem Diodensymbol gekennzeichneten

Widerstandsbereich des Multimeters eine Gleichspannung von 2,5V an den Messspitzen anliegt. Die 2,5V und ein kleiner Strom reichen offensichtlich aus, um die Winkelmesser-Elektronik zu betreiben. Probieren Sie es einmal aus. Das sollte auch mit einem CR2032-betriebenen Fahrradtacho funktionieren.

Kehren wir wieder zurück zum ersten Widerstands-Messwert, der gemessen wurde, als die Prüfspitzen des Ohmmeters an den Batterie-Kontakten des Winkelmessers vertauscht waren. In diesem Fall wurde eine parasitäre Diode eines oder mehrerer Halbleiter-Chips des Winkelmessers gemessen, die fertigungstechnisch unvermeidbare, sogenannte Substratdiode. Im Normalbetrieb (Versorgungsspannung richtig herum angeschlossen) ist sie im Sperrbetrieb und nicht leitend. Doch Vorsicht: Substratdioden sind nicht mit einem Verpolschutz zu verwechseln – im Gegenteil: Wenn man den Plus- und Minuspol einer Batterie verwechselt und diese an ein elektronisches System ohne Verpolschutz anschließt, werden die Substratdioden leitend und können die Halbleiter-Chips zerstören, wenn dabei zu große Ströme fließen.

Also führt kein Weg an einer echten Strommessung vorbei. Mit einer Hilfsklemme zum Anzapfen der CR2032 und dem Multimeter auf den kleinsten Strom-Messbereich von 200μA gesetzt, messe ich einen Strom von 78,8μA 9. Sobald ich den Ein-/Ausschalter des Winkelmessers betätige, geht die Elektronik in den Standby-Modus. Das Multimeter zeigt jetzt 25,8μA 10 an, also ungefähr ein Drittel des Stroms im eingeschalteten Zustand. Ist das nun viel oder wenig? Ich erinnere mich an den Stromverbrauch eines Raspberry Pi Pico: 31mA. Das ist mehr als das 1200-fache der Stromaufnahme des Winkelmessers! Um das besser einschätzen zu können, müssen wir die Spurensuche auf die CR2032-Knopfzelle richten und zum Verständnis vier weitere elektrische Größen kennenlernen.

Besser messen mit dem Multimeter

- Bei unbekannten Spannungen, Strömen und Widerständen immer vom großen Messbereich zum kleinen Messbereich vortasten, um eine elektrische Überlastung des Multimeters zu vermeiden.
- Elektrische Widerstände von und in elektrischen Geräten immer nur im spannungslosen Zustand messen, also Batterie, Akku oder Netzteil entfernen.
- Das Messen elektrischer Widerstände von Halbleiterbauteilen (Dioden, Transistoren, ICs, elektronischen Systemen)

erfordert eine Hilfsspannung, die größer sein muss als die Vorwärtsspannung des Halbleiters. Daher sollte der speziell dafür gekennzeichnete Messbereich verwendet werden.

- Beim Messen von Halbleiterbauteilen und elektronischen Systemen spielt die Polung der Hilfsspannung des Multimeters eine entscheidende Rolle. Daher sollte am besten in beide Richtungen gemessen werden, um eine komplette Aussage über den Zustand des Bauteils zu erhalten.

Leistung und Energie

Das Produkt aus Strom und Spannung wird *Leistung* genannt. Sie berechnet sich nach der Formel: $P = U \times I$. Man unterscheidet zwischen Nutz- und Verlust-Leistung. Nutzleistung entsteht immer dort, wo ein gewünschter elektrischer Effekt stattfindet (z.B. Licht, Bewegung, Geräusch). Von Verlustleistung spricht man, wenn ein unerwünschter (Neben)-Effekt auftritt (z.B. Wärme, Reibung). Das Verhältnis von Nutzleistung zur Gesamtleistung nennt man Wirkungsgrad. Je niedriger die Verlustleistung im Verhältnis zur Nutzleistung ist, umso höher ist der Wirkungsgrad

$$\eta = P_{\text{nutz}} / P_{\text{gesamt}}$$

Nach der Leistungsformel ist die Leistung bei einer festen Versorgungsspannung U proportional zum Strom I . Wenn mehr Leistung gebraucht wird, muss mehr Strom fließen. Wenn mehr Strom fließt, fällt über den Innenwiderstand der Spannungsquelle und die Widerstände der Zuleitungen zum Verbraucher mehr Spannung ab und die Verlustleistung wird in diesen Bauteilen größer **11** und in Form von Wärme abgegeben. Das Ergebnis: Es bleibt weniger Spannung für den Verbraucher übrig und damit auch weniger Leistung – ein Grund, warum beim 6V-VW-Käfer die Beleuchtung immer etwas müde aussah. Die gleiche Proportionalität gilt natürlich auch umgekehrt. Will man die Leistung bei gleichem Strom verdoppeln, muss die Spannung verdoppelt werden – ein Grund, warum in E-Autos Hochvolt-Technik zum Einsatz kommt.

Die Leistungsformel beschreibt jedoch nur das elektrische Verhalten eines Systems zu einem diskreten Zeitpunkt. Die von einem elektrischen System benötigte Leistung ist aber in den seltensten Fällen konstant, sondern ändert sich über die Zeit. Dieses Verhalten wird über die physikalische Größe *Energie* beschrieben, deren Formel lautet:

$$E = U \times I \times t$$

oder für die Mathematiker unter den Makern

$$E = \int p(t) dt$$

Geometrisch gesprochen ist Energie die Fläche unter der Leistungskurve über eine definierte Zeitspanne und damit eine Maßzahl für Verbrauch.

Nehmen wir als Beispiel eine Waschmaschine. Zum Einweichen der Wäsche benötigt sie nur wenig Strom, der Motor und die Heizung sind ausgeschaltet, nur die Elektronik arbeitet. Beim Schleudern läuft der Motor auf Hochtouren und braucht eine Menge Leistung, um diese Arbeit verrichten zu können. Der momentane Stromverbrauch eines Systems sagt also nichts über dessen Energieverbrauch aus, sondern es kommt darauf an, wie lange dieser Strom für die Verrichtung einer



7 Das Ohmmeter versorgt den Winkelmesser mit Energie.

bestimmten Arbeit benötigt wird. Ein Beispiel: Die Waschmaschinen W1 und W2 sollen die gleiche Wäsche trocknen. Benötigt die eine zum Schleudern 50% mehr Strom als die andere, trocknet die Wäsche aber in der halben Zeit, dann gelten:

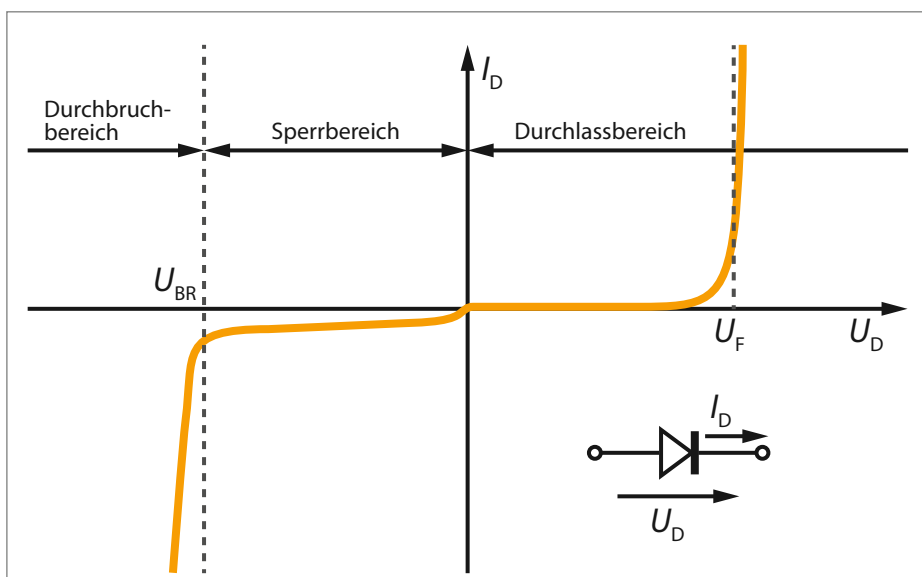
$$E(W1) = U \times (1,5 \times I) \times (0,5 \times t) \text{ und}$$

$$E(W2) = U \times I \times t$$

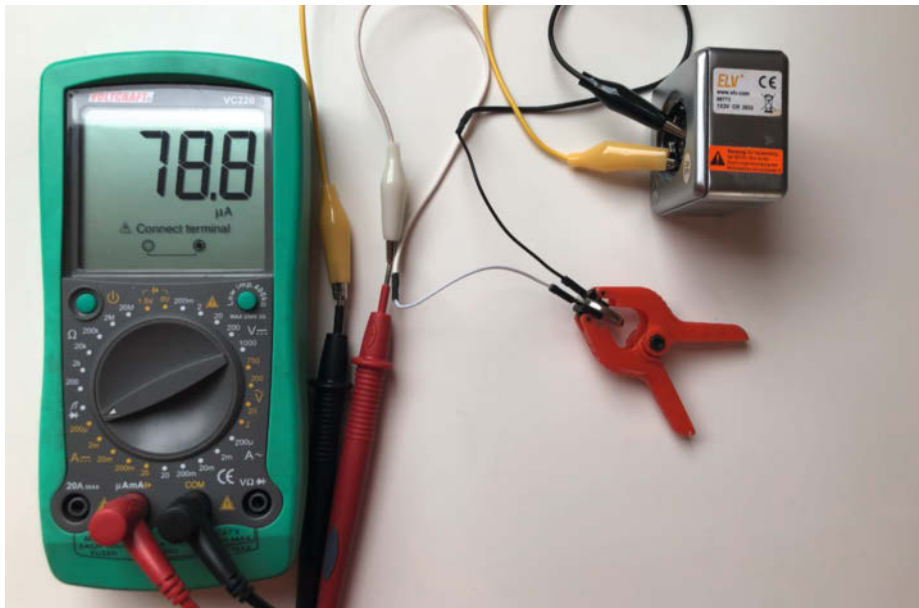
Obwohl W1 50% mehr Strom für das Schleudern benötigt, verbraucht sie im Vergleich zur Maschine W2 nur 75% der Energie, weil sie die gleiche Arbeit in der halben Zeit erledigt.

Ladung und Kapazität

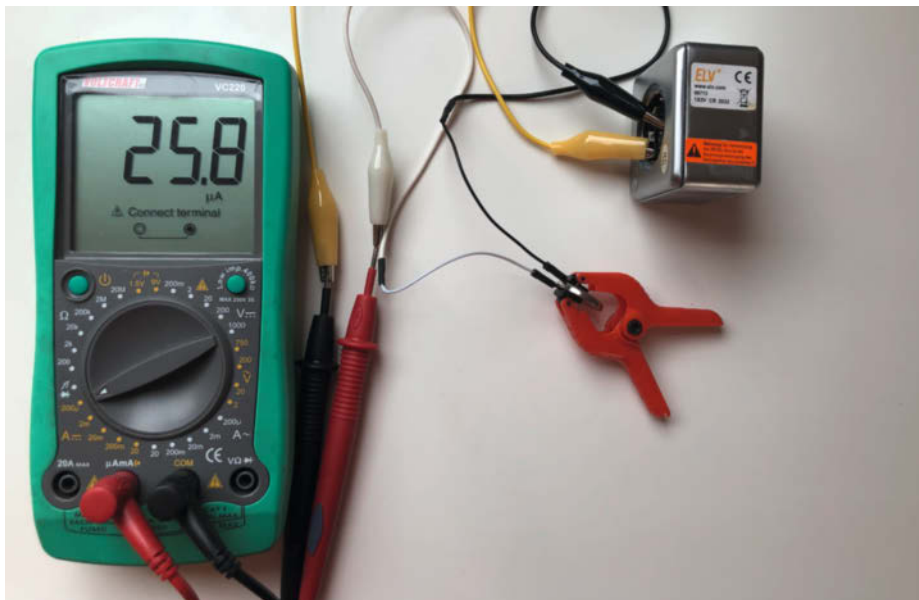
Wird eine Batterie oder ein Akku als Energiequelle für ein elektrisches System eingesetzt, so ist ihre gespeicherte *Ladung* die Kenngröße für die zur Verfügung stehenden Energie. Die Akku- oder Batterie-*Kapazität* gibt Auskunft über die maximal von einem Akku oder einer Batterie gespeicherten Energie im vollgeladenen Zustand. Allgemein wird die sogenannte Batterie-Kapazität in mAh angegeben. Leider sind die zugrundeliegenden Annahmen bei der Bestimmung des mAh-Werts nicht standardisiert und hängen individuell von dem



8 Kennlinienfeld einer Diode in Sperr- und Durchlassrichtung



9 Stromverbrauch des Winkelmessers in eingeschaltetem Zustand



10 Stromverbrauch des Winkelmessers im Standby

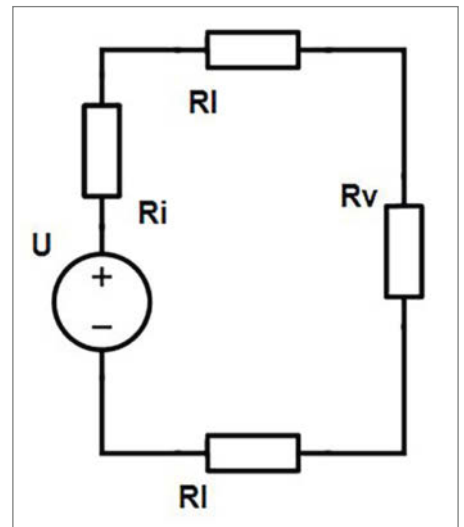
elektrischen Aufbau und dem Einsatzgebiet des Akkus oder der Batterie ab. Im Make-Sonderheft 2018 zum Thema Energie gibt es ausführliche Details über das, was Akkus wirklich können und ihre jeweiligen Vor- und Nachteile.

Anders als bei den Akkus finden wir in fast allen Fällen keinerlei Angaben zur Kapazität auf dem Gehäuse einer Batterie. Bestenfalls ist die Nominalspannung aufgedruckt. Also werfen wir einen Blick auf das Datenblatt einer CR2032-Knopfzelle der Firma Energizer (siehe Link in der Kurzinfor). Dort wird die typische Batteriekapazität mit 235mAh angegeben, bezogen auf 2V. Was das bedeutet, lässt sich dort in einem Diagramm ablesen, das den zeitlichen Verlauf der Batteriespannung zeigt. Bis zu einem Spannungswert von ca. 2,7V fällt

die Spannungscurve nur relativ flach ab, danach geht die Spannung in vergleichsweise kurzer Zeit schnell in die Knie, bis die CR2032 nach 1245 Stunden nur noch 2V liefert. Die Kurve wurde mit einem Lastwiderstand von 15kΩ aufgenommen. Laut Datenblatt ist die Energie der Knopfzelle in einem System mit 15kΩ Lastwiderstand nach $1245 / 24 = 51$ Tagen 21 Stunden aufgebraucht. Wir erinnern uns an die gemessenen 25,8µA des Winkelmessers im ausgeschalteten Zustand und rechnen schnell nach:

$$R = U / I = 3V / 25,8\mu A = 116,3k\Omega$$

Also ist der elektrische Lastwiderstand des Winkelmessers etwa 7,8 mal so groß wie die angegebene Last im Datenblatt. Hinzu kommt



11 Reihenschaltung im realen elektrischen System: Innenwiderstand der Spannungsquelle (Ri), Leitungswiderstände (Ri) und Widerstand des Verbrauchers (Rv).

noch die Tatsache, dass der Energieverbrauch des elektronischen Systems im Winkelmesser über die Zeit keineswegs konstant ist. Wir können also nur schätzen: Auch bei purer Nichtbenutzung ist die Knopfzelle des Winkelmessers nach gut einem Jahr leer. Ende der Spurensuche.

Die Maker sind gefragt

Dass der Winkelmesser im ausgeschalteten Zustand Energie verbraucht, liegt daran, dass der Druck auf die ON-/OFF-Taste die Winkelmesser-Elektronik lediglich in den Standby versetzt und nicht komplett ausschaltet. In diesem Zustand verbraucht der Winkelmesser immer noch ein Drittel der Energie, die er eingeschaltet benötigt. Auch wenn die 25,8µA nach sehr wenig klingen, sind sie für den Standby eines mit einer Knopfzelle betriebenen Geräts ziemlich groß. Angenommen, der fleißige Maker benutzt den Winkelmesser zweimal in der Woche für je 5 Minuten. Dann liegt der Winkelmesser 99,9% seiner Zeit im Standby in der Schublade und verbraucht die Energie in diesem Modus.

Was macht der Maker in so einem Fall? Das Gehäuse des Winkelmessers vorsichtig zerlegen, ein Loch an geeigneter Stelle bohren und einen kleinen Schalter einbauen, der den Stromfluss der Knopfzelle zur Elektronik komplett unterbricht. Oder noch einfacher: Er nimmt nach dem Gebrauch die Batterie aus dem Winkelmesser. Der Komfort-Preis dieser Lösung ist jedoch, dass man den Winkelmesser nach dem Einschalten jedes Mal neu kalibrieren muss. Das wäre allerdings auch genauso erforderlich, wenn die Knopfzelle durch den Standby-Strom komplett entleert wurde.

—akf

Universelle Crimpzange

von Daniel Walter

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xzsb



Crimpstecker und -buchsen gehören von der Elektrotechnik über den Fahrzeugbau bis zur Elektronik zu den am häufigsten genutzten Techniken, um elektrische Leitungen miteinander zu verbinden. Crimpen ist anderen Verbindungsarten wie dem Löten oder gar dem Einsatz der berühmten Lüsterklemmen deutlich überlegen und in manchen Bereichen sogar vorgeschrieben. Und selbst, wenn es ohne Klemme nicht geht, hilft es, auf die Enden der Litzenleitungen Aderendhülsen zu crimpen.

Beim Crimpen (siehe auch S. 28) werden die Metallrohlinge von Steckern und Buchsen durch Formpressung mittels spezieller Crimpzangen mit den Adern von Kabeln kraftschlüssig verbunden. Dabei wird eine sehr hohe elektrische und mechanische Sicherheit erreicht. Crimpen mit einer Flachzange ist möglich, wird aber schnell fummelig und zu einer Quelle von Wackelkontakten. Das passende Presswerkzeug in einer Zange schafft sicheren Halt und Kontakt. Maker sollten daher immer die passende Crimpzange griffbereit haben.

Das Problem: Es gibt mehrere Dutzend verschiedene Crimpstecker-Formen bzw. Bauarten und für jede der Varianten eine spezielle Zange. Das ist schlecht für den Geldbeutel und platzraubend im Werkzeugschrank. Die Lösung: eine Universal-Crimpzange mit austauschbaren Pressbacken.

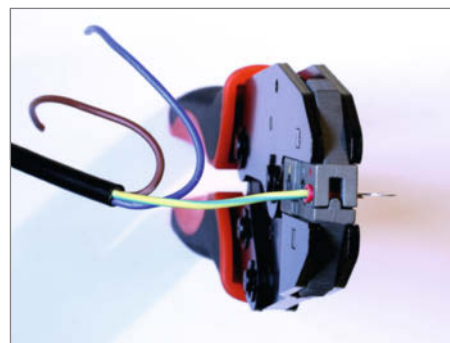
Seit geraumer Zeit existiert ein vom taiwanischen Hersteller *Hsun Wang* entwickeltes Crimpzangensystem, für das inzwischen über 50 Wechselbacken verfügbar sind, die fast alle Anwendungsfälle abdecken. Hierzulande finden Sie systemkompatible Werkzeuge unter Markennamen wie *Toolcraft*, *BGS*, *Rothewald*, *Sealey* sowie *AWM Weidner*. Für das System sind diverse Zangen erhältlich, darunter auch professionelle mit Parallelführung der Zangengelenke. Für Hobbyanwender genügt jedoch die einfachere Variante, die mit einer leichten Scherung presst. Ihre Presskraft ist einstellbar und wird über eine Ratschenfunktion genau dosiert. Die Zange öffnet sich erst wieder, wenn die optimale Pressung erreicht wurde. So gelangen zuverlässige Crimpverbindungen von hoher Qualität. Falls sich mal ein Kabelschuh verklemmt haben sollte, gibt es selbstverständlich eine Notentriegelung.

Rund wird die Angelegenheit dadurch, dass die Pressbacken für einen Systemwechsel

nicht zeitraubend verschraubt, sondern einfach umgesteckt werden. Das macht das System bei Handwerkern beliebt, ist aber auch für den Heimwerker eine feine Sache. Zangen sind ab etwa 30 Euro und Presseinsätze pro Variante ab etwa 15 Euro zu bekommen. Empfehlenswert sind Startersets mit Zange und Einsätzen für die gebräuchlichsten Aufgaben. Mein Set für etwa 40 Euro ist von AWM Weidner (Bezugsquelle in den Links) und leistet mir gute Dienste.

Falls Sie spezielle Crimpbacken benötigen, gilt es zuerst, die Bezeichnung der passenden Einsätze herauszufinden. Ob einfache Kabelschuhe oder BNC-Stecker, wasserdichte Verbindungen für Kraftfahrzeuge oder den Garten, Anschlüsse für die Fotovoltaik oder den Modellbau – die Recherche nach den richtigen Einsätzen kann zeitraubend sein. Daher habe ich für Sie (Online, siehe Kurzlink) eine Übersicht der verfügbaren Varianten, ihrer Einsatzzwecke und Links zu guten Crimpanleitungen zusammengestellt.

—caw



Gut verbunden?

Elektrische Verbindungen sind in jedem Projekt eine Herausforderung: Schnell und einfach sollen die Komponenten verbunden werden, günstig noch dazu. Wie das geht – oder auch: wie das nicht geht – beschreibt dieser Artikel. Mit all den gelernten Lektionen, täglich angewendet, habe ich gelernt, meine Projekte, vor dem DAU (Dümmsten Anzunehmenden User) zu schützen: Vor mir selbst.

von Jan Kipping



Bei fast jedem Projekt stand ich vor dem Problem: Wie kann ich Signale oder Leistung übertragen? Immer wieder war ich auf der Suche nach der optimalen Verbindungstechnik. Jedes kaputte Gerät habe ich auch nach praktischen Verbindungen untersucht. Da waren viele tolle Sachen dabei, nur leider nicht immer erhältlich oder wenn, dann sehr teuer.

Auf dem Weg zu sinnvollen Verbindungen habe ich viel Rauch erzeugt, geflucht, analysiert und wieder und wieder den Fehler gesucht. Die meisten Fehler, die ich nicht in die Software gepackt habe, versteckten sich in den Verbindungen. Dieser Artikel soll deshalb helfen, viele teure und frustrierende Irrwege zu vermeiden. Er ist allerdings subjektiv und basiert alleine auf meinen eigenen Erfahrungen. Ich habe mittlerweile einige Steckerpaarungen gefunden, die ich in fast allen Projekten sehr schnell und robust einsetzen kann. Am Ende des Artikels gibt es praktische Tipps, wie diese sich am besten verarbeiten lassen. Denn auch ein guter Stecker, der falsch konfektioniert ist, wird schnell problematisch. Aber meine Lieblingsverbinder eignen sich auch für Menschen, die weder besonders geschickt noch besonders sorgfältig arbeiten (so wie mich).

Verbindungstechniken

Für eine elektrische Verbindung gibt es prinzipiell viele Möglichkeiten:

Schrauben: Egal ob Blech oder Schienen, fast alles aus Metall kann als Stromübertrager verwendet werden. Gern nutzt man das, wenn viel Leistung transportiert werden soll. Bei hohen Spannungen ist das wegen eines nötigen Berührungsschutzes aber oft aufwändig. Ich verwende diese Technik nicht so gern, da eine dauerhafte, niederohmige Verbindung schwieriger ist, als es scheint. Eloxiertes Aluminium leitet schlecht, nicht behandeltes Aluminium oxidiert. Die Paarung aus verschiedenen Metallen ergibt ein thermisches Element, das wiederum zu Korrosion neigt. Als Hochstromverteiler wie bei der 12V-Solaranlage im *Strebergarten* ist die Schraube allerdings sehr hilfreich ¹.

Klemmen: Wenn's ein Quickie sein soll, schafft die *Krokodilklemme* Verbindung ². Dauerhaft sind die Verbindungen selten, mal beißt das Krokodil nicht richtig (klare Nicht-Kauf-Empfehlung: Billigkabel aus Fernost) oder eine unbedachte Bewegung löst die Verbindung und schafft bei der Gelegenheit gleich eine neue. Knall, Rauch und Elektroniktod gehört für mich bei der Krokodilklemme dazu. Im Labor hat das seinen Zweck, für Projekte, die länger laufen sollen, benutze ich sie nie.

Ein anderer toller Quickie ist die *Wago-klemme*. Eine hundertprozentige Empfehlung

Kurzinfo

- » **Verbindungstechniken zwischen Kabeln und Platinen: schrauben, klemmen, crimpen, löten**
- » **Praxis: Welcher Stecker sich für welchen Zweck eignet**
- » **So geht's: Fehlerquellen beim Verbinden minimieren**

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xy66



nicht nur für 230V-Installationen, sondern insbesondere, wenn Starrleiter mit Litzen verbunden werden sollen ³. Die Verriegelung sitzt bombig. Wenn im Projekt halbfliegend schnell eine Verbindung geschaffen werden soll, sind diese Klemmen unersetzbar.

Crimpen: Hohe Kräfte fügen Kabel und Hülse zu einer mechanischen und elektrischen Einheit. Richtig angewendet ist dies meiner Erfahrung nach die zuverlässigste Verbindung, die üblicherweise einen niedrigen Widerstand hat und sich nicht durch Vibration löst ⁴. Allerdings setzt Crimpen fast immer spezielles Werkzeug voraus. Handcrimps mit einer normalen Zange sind oft instabil. Zumindest meine waren das fast immer. Und auch mit dem richtigen Werkzeug sind die richtigen Hülsen oder Stecker mit dem richtigen Kabel zu verbinden.

Löten: Löten geht fast immer. Ein dünnes Kabel auf einen großen Stecker, dickes Kabel auf einen winzigen Stecker. Die Verbindung ist erst einmal da. Ob es allerdings hält, was man sich davon verspricht? Ein ganz klares „es kommt darauf an“. Zwar werden auch ein paar meiner Lieblingsstecker gelötet, dazu später mehr. Wahr ist aber auch: Die schlimmsten, sporadisch auftretenden und nicht auffindbaren Verbindungsfehler gab es bei mir bei Lötstellen.

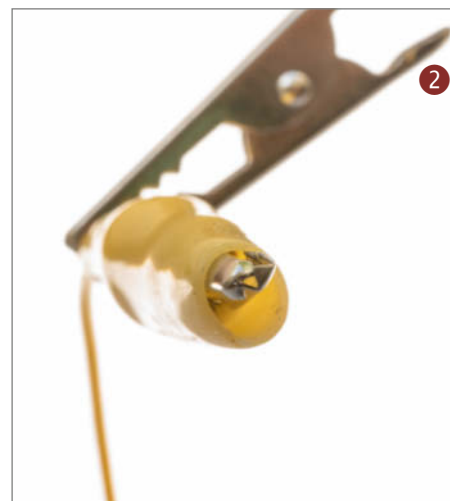
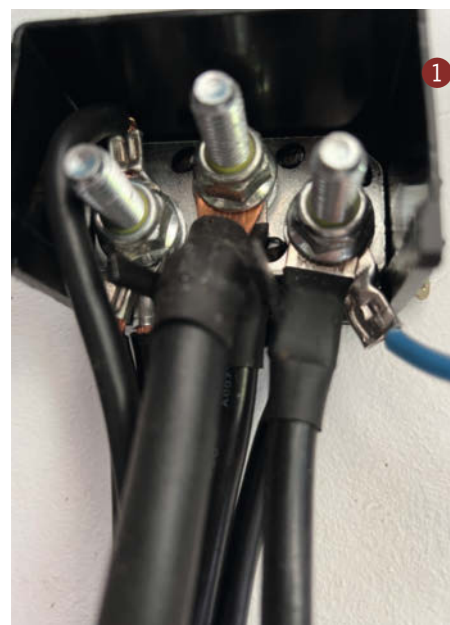
Was wird verbunden?

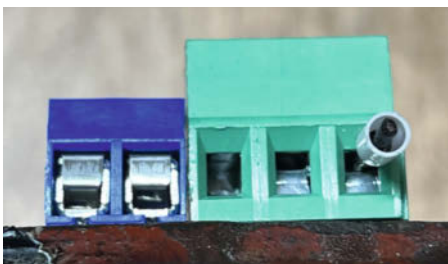
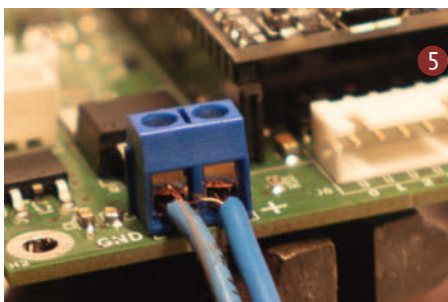
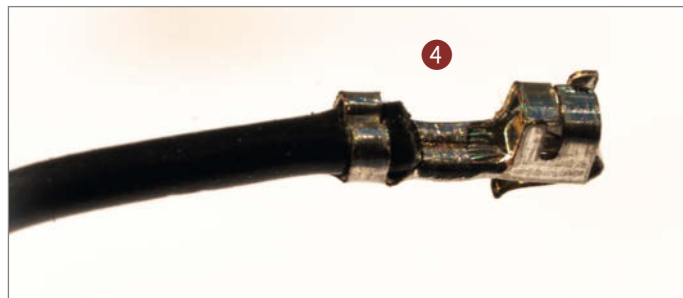
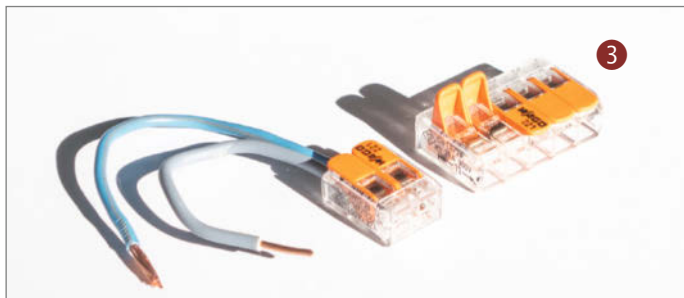
Nachdem klar ist, wie verbunden werden kann, stellt sich die Frage nach dem *Was*. Für jedes Projekt sollte es immer – und sei es nur als Skizze – einen Stromlaufplan mit Kabellängen und den jeweiligen Verbindern geben, das erleichtert die Arbeit ungemein.

Auch hier gibt es viele Möglichkeiten, denn Kabel, Leiterplatten, Stromschienen etc. können jeweils in beliebiger Kombination verbunden werden und für alles gibt es spezielle Lösungen. Daher konzentriere ich mich hier auf Verbindungen von Kabel zu Leiterplatten und von Kabeln untereinander, insbesondere Steckverbindungen.

Stecker oder nicht?

Das ist oft die Frage: Lohnt sich der Aufwand für eine Steckverbindung? Das Projekt wird installiert, die Verkabelung wird angebracht und gut ist.





6 Verschiedene Schraubterminals, links ohne und rechts mit Liftblock

Oder? Für die bewundernswerten Menschen, die sorgfältig arbeiten und deshalb die Verbindung nur einmal legen und nicht wieder ab- oder umbauen müssen, funktioniert das so. Für mich leider nicht. Die meisten Pro-

jekte sind Unikate – Dinge, die es so noch nicht gibt, sonst müsste man sie ja nicht bauen. Auf dem Weg zum Erfolg oder Misserfolg lerne ich jedes Mal dazu, und das bedeutet: Verbindung trennen, ein Teil überarbeiten, wieder einbauen, testen und nochmal und nochmal. An dieser Stelle hat sich dann jede Mühe, einen Stecker einzubauen, sofort rentiert.

Viele greifen statt zu Steckern zu **Schraubterminals** **5**. Meiner Meinung nach sind die Teufelszeug! Ich verwende sie noch manchmal, aber sehr ungern. Schraubterminals haben bei mir schon oft zu Blitz und Rauch geführt.

Warum ist das so? Alle, die schon ihr Leben lang **Aderendhülsen** verwenden, können den nächsten Satz überlesen. Ohne die erwischt man nicht immer alle Litzen, ein paar stehen raus und die haben irgendwann Spaß mit ihren Nachbarn. Denn: In der Regel sieht man in der endgültigen Einbaulage des Terminals oder der Komponente mit Terminal nur den Schraubkopf, ein schnelles Einfädeln des verdrehten Litzenendes von der Seite ist dann Glückssache. Was die Sache erschwert: Die billigen (genau, DU bist gemeint, billiges Terminal auf Fernost-Relais!) haben keinen Liftblock **6** – also ein hoch- und runterschraubbares Metallteil mit Bohrung für die Litze – sondern eine Metalllasche, die auf das

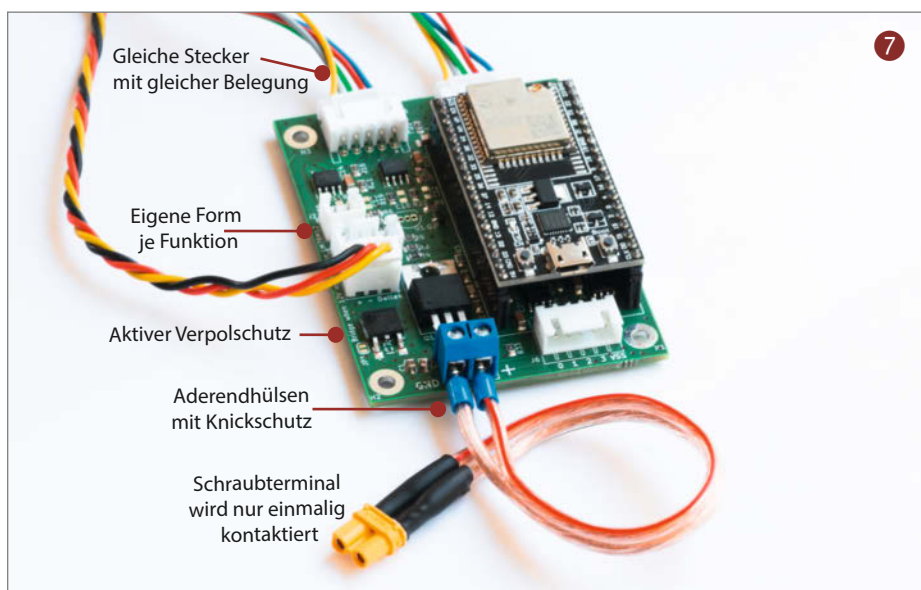
Kabel drückt. Und die muss vor dem Einfädeln hochgedrückt werden, vorzugsweise von der Seite, von der aus man nicht dran kommt.

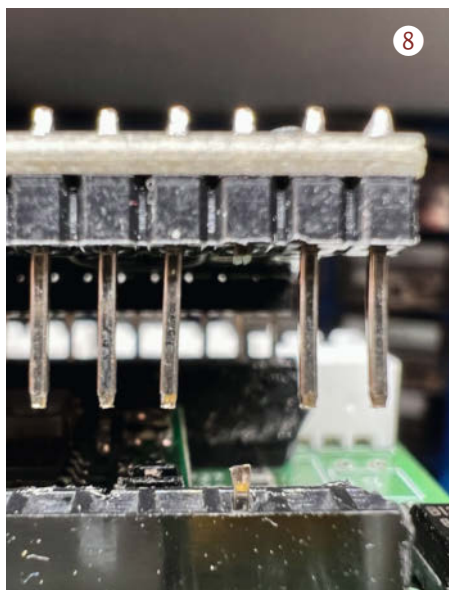
Und das schlimmste: Schnell mal ausbauen oder umbauen bedeutet in der Praxis oft, es wird nicht alles komplett abgeschaltet, irgendwo ist noch Saft drauf. Logischerweise oft auch auf den zwei Leitungen, die man gerade aus der Klemme herausgezogen hat und deren unisolierte Enden sich gefährlich nahe sind ...

Stecker empfohlen

Aus den genannten Gründen empfehle ich immer Stecker auf beiden Seiten, wenn ein Kabel involviert ist. Aber welchen Stecker nimmt man? Die Bauteilbibliotheken in Leiterplatten-Layout-Programmen bestehen zu einem sehr großen Teil aus Steckern. Die Auswahl ist erschlagend. Auch die Parameter, die die Stecker unterscheiden, sind beachtlich:

- **Stromtragfähigkeit:** Wie lange ist wie viel Strom erlaubt?
- **Spannungsfestigkeit:** Die ist für Maker und andere, deren Projekte unter 24 Volt bleiben, selten ein Problem. Ich habe aber auch Leiterplatten auf dem Tisch, bei denen Luft- und Kriechstrecken nicht beachtet wurden ...
- **Steckzyklen:** Billige Stecker haben teilweise nur fünf(!) garantierte Steckzyklen. Die habe ich schon oft überschritten, ohne das damit verbundene Problem erkannt zu haben. Wer ein Projekt hat, bei dem ständiges Einstecken dazu gehört, sollte hier nicht sparen.
- **Montage:** Je toller und teurer, umso aufwändiger oft die Montage, dafür sind bei billigen Steckern die Toleranzen für richtiges Ablängen sehr klein. Ich habe mich mit meinen Brot-und-Butter-Steckern über viele Jahre vertraut gemacht. Das hilft bei der Montage, schreckt aber davor ab, von gewohnten Steckern zu unbekannten Typen zu wechseln.
- **Dauerhaltbarkeit:** Soll man mit dem LKW drüber fahren können? Oder wird der Stecker vibrationssicher umhüllt und verstaut? Auch die Sonne kann Steckern zu Leibe rücken – je nach Projekt.
- **Isolierung und Schirmung:** Wie ist das Massekonzept? Ist eine Schirmung nötig? Je





9 Eine unrühmliche Ausnahme: Dieser DC-DC-Wandler sollte auf der Leiterplatte Huckepack genommen werden und eine Steckerverbindung war nicht möglich. Die Plastikhülle sorgt für Isolierung und Fixierung der Kabel.

nach Signal sollten die Anforderungen zu Beginn des Projekts klar sein.

- **Pin-Anzahl:** Ist der Stecker in verschiedenen Konfigurationen erhältlich?
- **Zugentlastung:** Kabel, die In Bewegung sind, brauchen auf jeden Fall eine. Eine zusätzliche Fixierung mittels Kabelbinder kann ebenfalls helfen.

Poka Yoke

Poka Yoke ist ein japanischer Ausdruck, der übersetzt bedeutet: „Unglückliche Fehler vermeiden“. Insbesondere in der Automobilindustrie wird nach diesem Prinzip sehr großen Wert darauf gelegt, dass Stecker nicht falsch steckbar sind. „Falsch“ ist hier ein sehr weit gefasst: Zum einen dürfen Stecker nicht verdreht steckbar sein, zum anderen darf Stecker A nicht in Gehäuse B passen, auch nicht mit viel Kraft. Eine Verriegelung stellt einen vollständigen Kontakt sicher, ein Entriegeln ist nicht mit einem Finger möglich. Steckerpins sind im Steckergehäuse doppelt verriegelt.

Der geneigte Maker wird nicht alle diese Maßnahmen ergreifen. Stecker werden sonst zum Hauptprojekt. Dennoch habe ich mir in Anlehnung daran angewöhnt:

- **Jeder Stecker mit individueller Signalbelegung kommt möglichst nur einmal vor.** Das bedeutet, ein 5-poliger Stecker einer Bauform hat innerhalb eines Projektes immer die gleiche Belegung 7 – nicht zwangsweise das gleiche Signal, aber wenn Masse und Versorgung gleich sind, sind meist die größten Risiken gebannt. Ich habe mir angewöhnt, auf Pin 1 eines Steckers immer die Versorgung und auf Pin 2 immer die Masse zu legen. Das habe ich oft bei fremden Projekten beobachtet. Außerdem kommen Leiterplatten-Layout-Programme mit der Anordnung auch besser zurecht, der

Schaltplan sieht für meinen Geschmack dann schöner aus. Insbesondere auf Leiterplatten mit einer Vielzahl an Sensoren ist diese Regel allerdings nicht immer leicht umzusetzen.

- **Ein Kurzschluss benachbarter Pins darf keine Schäden verursachen.** Zu oft habe ich mangels Geschick und/oder Sorgfalt mit dem Multimeter benachbarte Pins versehentlich kurzgeschlossen. Wenn dann 24V neben 3,3V liegt, wird der Halbleiter schnell zum halben Leiter. Ein Routing auf der Leiterplatte, das diese Anforderung unterstützt, macht oft weniger Mühe, als die Fehlersuche nach dem Kurzschluss.

- **Ich verwende nahezu ausschließlich Stecker, die nicht verdreht und auch nicht versetzt gesteckt werden können.** Klassische Stiftleisten erfüllen diese Anforderung nicht. Auch hier habe ich Lehrgeld gezahlt. Werden Prozessorplatinen mittels Stiftleiste verbunden, die ja oft mitgeliefert wird, Sorge ich für eine Kodierung. Ein nicht belegter Stift wird abgezuckt und gegenüber in die Buchsenleiste gesteckt. Nun kann die Adapterplatine nicht mehr falsch gesteckt werden 8.

- **Aus weiblichen Steckern wird die Versorgung gespeist.** Lose Kabelenden kommen immer irgendwann mit Metall in Berührung, dabei sollte dann ein Kurzschluss ausgeschlossen sein.

Darüber hinaus sind jenseits von Steckern Sicherungen und ein Verpolschutz fast immer eine lohnenswerte Investition.

No-Go

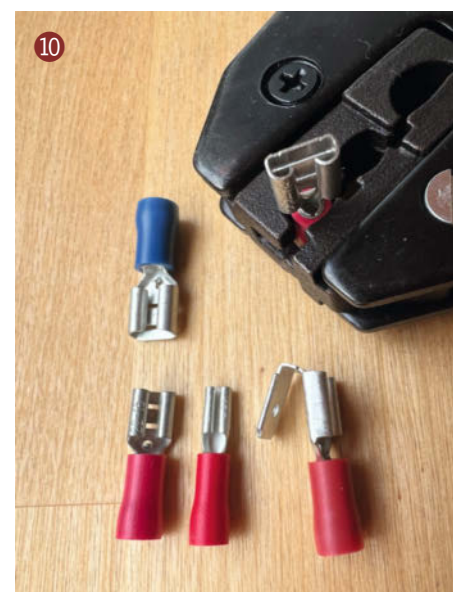
Was einfach gar nicht geht, sind *Kabelschwänze*, also Kabel, die nur von ihrem angelöteten Litzenende gehalten werden. Der sichere Projekttod war bei mir regelmäßig ein so angelötetes Kabel, das abgebrochen ist.

Zu Beginn und in der Experimentierphase eines Projekts liegen die Teile oft mit losen Kabeln auf dem Tisch, jede Bewegung knickt das Kabel etwas. Geknickt wird es immer am Schwachpunkt, das ist meistens knapp hinter dem Lötunkt. Bis hier funktioniert es meistens auch noch, bis zum mehrfachen Ein- und Ausbau in einem knapp dimensionierten Gehäuse. Die letzten Kabelbiegungen führen zum Bruch, aber nicht immer zum Abbruch. Dann ist die Fehlersuche ein Elend.

Deshalb Kabel nie direkt irgendwo anlöten! Falls nicht anders möglich, Kabel fixieren 9.

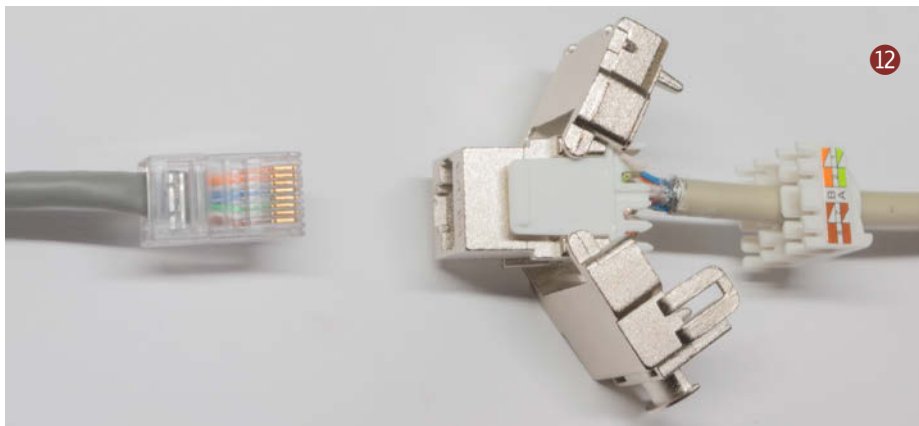
Der ideale Stecker

Den idealen Stecker für alle Fälle gibt es leider nicht, zu groß ist die Vielfalt der Anforderungen und der Typen. Gleich folgen Verarbeitungstipps für meine am häufigsten und auch





11



12



13



14



am erfolgreichsten eingesetzten Stecker. Sie alle sind einigermaßen makerfreundlich:

- leicht zu bekommen
- günstig
- sicher in der Verwendung
- gut zu verarbeiten.

Vorab möchte ich aber noch drei Verbinder erwähnen, die ich nicht täglich verwende:

Der **Flachstecker** 10 wird häufig in alten Fahrzeugen angewendet. Sowohl in 12V-Systemen als auch in 220V-Wechselstrom-Steckern und -Geräten ist er häufig anzutreffen. Das Schöne ist: Er ist billig, das Crimpwerkzeug auch. Leider sind die Steckkräfte oft undefiniert. Manchmal ist die Montage fast unmöglich, manchmal fällt er von selbst ab. Mit einer Zange kann der Anpressdruck durch Auf- oder Zubiegen der Lasche angepasst werden.

Crimpen sollte man diesen Stecker immer. Verlöten von Litzenenden ist für 230V-Anwendungen teilweise sogar verboten (VDE 0100-520): Das Lot ist zu weich und verformt sich. Anschließend entsteht ein Übergangswiderstand, der das Lot dann schlimmsten Falls heraustropfen lässt. Jedoch ist ein sauberer Crimp schwierig; insbesondere die günstigen Flachstecker haben kein exakt definiertes Verformungsverhalten. Auch mit einer guten Crimpzange (mit einer 9-Euro-Zange sowieso) ist eine gute Verbindung Glückssache. Ich behelfe mir mit einem kräftigen Zugtest.

15 Worst practice: So eher nicht crimpen, sondern eine zur Verbindung passende Zange von einem Markenhersteller kaufen.

Die besseren Flachstecker habe ich im lokalen Baumarkt bekommen, die schlechteren online. Die Fehlerrate ist bei mir (mit günstiger Zange und Stecker) sehr hoch. Daher kommt der Stecker bei mir ungern zum Einsatz.

Das Gegenteil ist der „Lemo“: *Lemo*-Stecker sind fast unzerstörbar. Sie verriegeln beim Stecken sehr sauber, haben einen perfekten Kontakt und sind dennoch leicht trennbar. Da liegt der Nachteil auf der Hand: Die Preise liegen bei ca. 10 Euro pro Signalverbindung! In professioneller Messtechnik kommen diese Stecker häufig zum Einsatz, machen aber auch einen erheblichen Anteil der Kosten aus.

Auch die Verarbeitung ist oft tricky. Die Stecker bestehen manchmal aus vielen kleinen Teilen, Raum für falsch abgelängte Kabel ist fast nicht vorhanden. Die Kabelquerschnitte müssen exakt zur Zugentlastung passen 11.

Für Projekte, bei denen das An- und Abtrennen von Leitungen mit elektrischen Signalen ein wichtiger Bestandteil ist, kann sich dieser Stecker lohnen. Auf dem Gebrauchtmarkt gibt es hin und wieder Angebote, die okay sind; ich habe sie aber noch nicht unter 50% vom Neupreis bekommen.

Dann ist da noch der *Keystone*: Das ist vielleicht nicht wirklich ein Stecker, aber eine tolle Erfindung. Leider habe ich ihn viel zu spät entdeckt. Wann immer Ethernet- bzw. RJ45-Stecker ins Spiel kommen, ist er die Lösung. Statt das Netzkabel auf eine fertige Dose, Patchfeld oder was immer aufzulegen, wird es mit dem Keystone verbunden. Der Keystone selbst kann fast nichts, außer die Auflagepunkte fürs Kabel samt Zugentlastung und eine RJ45 zur Verfügung zu stellen 12.

Den Keystone selbst kann man dank normierter Größe wieder in Patchfelder, Anschlussdosen usw. einrasten – und eben auch in das Gehäuse des eigenen Maker-Projekts. RJ45-Kabel („Patchkabel“) sind unglaublich günstig und Keystones helfen bei der Verbindung.

Das Werkzeug

Sehverstärker: Das wichtigste Werkzeug überhaupt ist das Auge. Mit gutem Auge gelingt auch der Zusammenbau von schwierigen Steckern leichter. Leider hat mein Auge den Zenit der Sehkraft überschritten, es müssen also Hilfsmittel her. Als Anhaltspunkt kann dienen, ob bei Arbeiten an Kabeln die Litzen einzeln erkennbar sind. Das ist für sauberes Anschließen von Kabeln ein Muss.

Ich verwende dafür eine Lupenbrille 13. Damit ist auch klar, wer die Nerdkrone im Haus aufhat. Die Fehlerquoten an Steckern ist dadurch auf jeden Fall deutlich gesunken.

Wann immer eine Verbindung zweifelhaft ist, hilft auch eine Makroaufnahme. Statt eines Extra-Geräts dafür verwende ich die Makrofunktion des Telefons. Damit lassen sich Fehler schnell finden.

Abisolierzange: Der Goldstandard ist die originale *Stripax* ¹⁴. Und jeder, der sie regelmäßig verwendet, gibt sie vermutlich auch nicht mehr her. Damit kann fast jedes Kabel präzise abisoliert werden. Kleine Messer passen sich der Kabelkontur an, mit einstellbarer Isolierdicke wird die Isolierung sauber entfernt, ohne den Leiter zu beschädigen.

Ich habe jahrelang günstige und nicht so günstige Abisolierzangen von anderen Herstellern verwendet – was für eine Zeitverschwendung. Abisolieren ist im Selbstbau ein ständiger Handgriff und der sollte passen. Makern, die ständig Kabel anschließen, kann ich das „Original“ nur empfehlen.

Crimpzange: Auch hier gilt: Jeder gesparte Euro wird doppelt reinvestiert. Hat man seinen Standardstecker gefunden, lohnt es sich auf jeden Fall, eine dazu passende Zange von einem Markenhersteller zu kaufen. Billige Zangen verbiegen die Kontakte, haben den falschen Anpressdruck und erzeugen viel Frust. Auch hier habe ich mich in der Vergangenheit schuldig gemacht ¹⁵. Für meine üblichen Verdächtigen habe ich aber mittlerweile gute Zangen, da sie fast täglich im Gebrauch sind.

Lötkolben: Auch hier ist ein gutes Modell mit verstellbarer Regelung wichtig. Insbe-

Lieblingsstecker

Name	JST XH ¹⁶	Amass XT ¹⁹	Aviation (GX12, GX16, GX20) ²²
Pinanzahl	1 bis 20	2 bis 3	2 bis 12
Strom/Spannung (max.)	3A/250V	90A/500V	4A bis 10A/250V
Kabelquerschnitt mm²	ca. 0,1 bis knapp 0,5	1 bis 6	ca. 0,15 bis 1,5, je nach Durchmesser/Pinzahl
Gut für ...	alles, was mit einer Platine verbunden werden muss: Sensoren, Aktoren, Platinenverbinder	Stromversorgung, mobile Verbindungen	größere Geräte
Vorteile	benötigt wenig Platz, sehr günstig	wenig Bauraum, preiswert	500 Steckzyklen, Zugentlastung, günstig, Schraubsicherung
Ungeeignet für ...	häufiges Stecken, bewegliche Teile	Overkill für Kleinsignale	kleine Geräte
Nachteile	Verarbeitung nicht trivial, Pin-Abstand 2,5mm	Isolierung mittels Schrumpfschlauch	hoher Platzbedarf

sondere der Nachkauf von Lötspitzen ist bei Billigprodukten nach ein paar Jahren schwierig. Lötspitzen brennen bei Dauerbenutzung ab, ein Lötkolben mit automatischem Standby spart Energie und Material. Ich verwende

weiterhin Bleilot, da es sich viel besser verarbeiten lässt. Als Temperatur nutze ich bei filigranen Arbeiten 330°C und zum „Braten“ von großen Steckern mit dicken Kabeln bis 420°C.

Meine Favoriten

Im Folgenden stelle ich meine drei am häufigsten verwendeten Stecker vor und gebe Tipps zur Verarbeitung. Die technischen Daten und jeweiligen Vorzüge (und Nachteile) führt auch die Tabelle *Lieblingsstecker* auf. Weitere Informationen wie Datenblätter gibt es unter dem Link in der Kurzinfo.

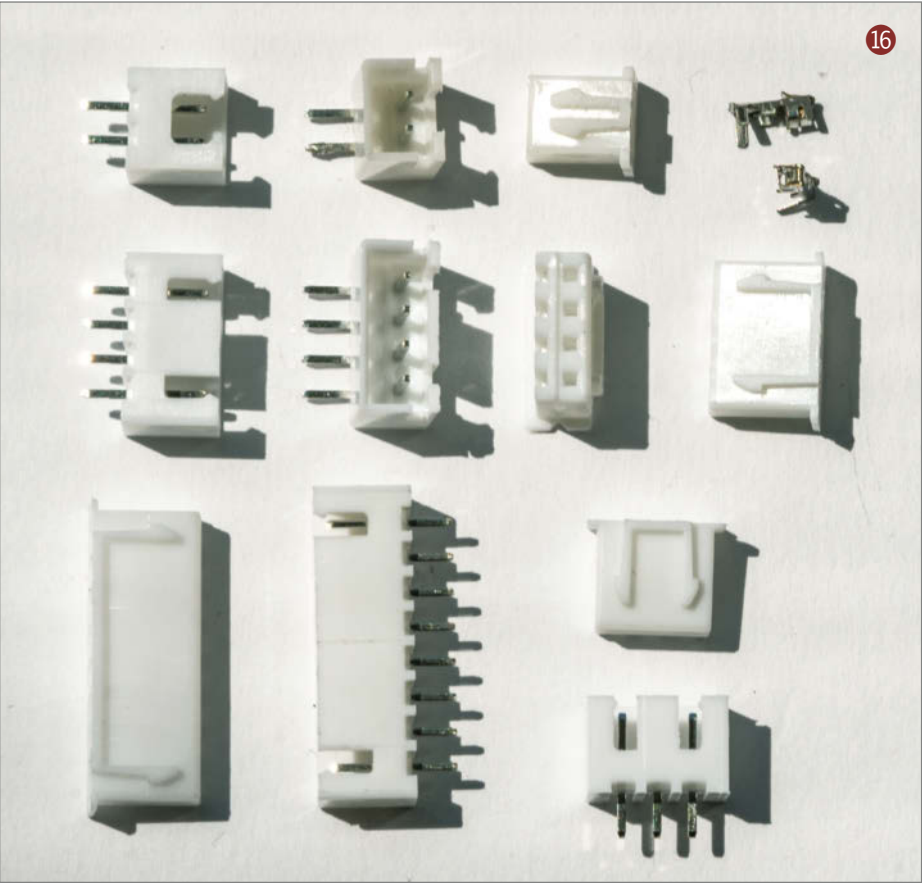
Daily Driver

Wann immer Leiterplatten, Prozessoren, Sensoren und Aktoren verbunden werden sollen, ist der **XH-Stecker** ¹⁶ meine erste Wahl. Der kleine Bauraum und Kosten von nur ca. 5 Cent je Kontaktierung (Stecker + Wanne + Crimp) machen den Stecker attraktiv.

Der Abstand von 2,5mm statt dem Standard des Leiterplattenrasters von 1/10 Inch = 2,54mm irritiert zunächst etwas, aber auch Stecker mit 9 Pins passen meiner Erfahrung nach noch problemlos in eine solche Standardraster-Lochreihe.

Die Stiftwanne wird am besten in die Leiterplatte eingelötet. Man kann auch Kabel anlöten, allerdings haben die Pins wenig Halt in der Wanne und sie schmilzt beim Löten sehr schnell.

Auch wenn es die Kabel als Verlängerung (Stichwort *Balancerkabel*) zu kaufen gibt: Kabel an die Stiftleiste anlöten ist keine gute Idee. Auch beim Einlöten in die Platine ist Eile





Schlimmstenfalls rutscht der Stecker etwas aus dem Gehäuse und bietet kurz Kontakt. Zum Testen reicht das und man denkt, alles ist gut, aber nicht mehr im finalen Einbau.

Der Crimpkontakt wird mit der Hand etwas zugebogen, dass er gut in das Crimpwerkzeug passt. (Diesen Stecker ohne passende Zange zu kontaktieren, ist dumm.) Das Kabel so weit einführen, dass die Kabelisolierung knapp 2mm im Kontakt verschwindet, Crimpen und fertig 18. Dann Sichtkontrolle, ob alle Litzen dort sind, wo sie hingehören. Anschließend die kontaktierten Kabel in das Gehäuse stecken und danach eine Steckprobe durchführen.

Der Stecker muss mit mäßiger Kraft steckbar sein. Der erste Kontakt braucht immer etwas mehr Kraft, da die Federn etwas verformt werden, das ist okay. Nun erneute Kontrolle, ob alle Kontakte im Stecker geblieben sind. Falls ja: Bingo, ein toller Kontakt für viele Jahre.



Dampf drauf

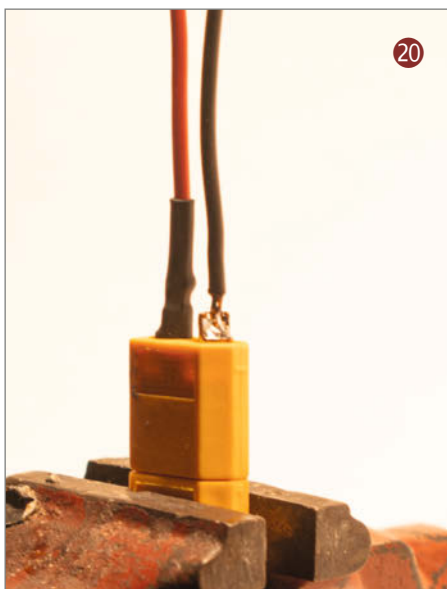
Der **Amass XT 19** überträgt Leistung bis zu 90A und 500V. Damit ist er hervorragend als Verbindung von Kabel zu Kabel geeignet. Aber auch eingelötet in eine Platine ist er eine tolle Sache. Die Steckkräfte sind angemessen, die Kontakte vergoldet.

Der Stecker braucht wenig Bauraum und ist leicht zu verarbeiten, zudem ist er recht günstig. Er wird klassisch gelötet. Für den XT 60 gibt es Kappen zum Abdecken der Lötverbindung, die anderen müssen mit Schrumpfschlauch isoliert werden. Hier hilft es, wenn das Kabel etwas zu lang abisoliert wurde 20. Der Schrumpfschlauch schmiegt sich dann an der Stelle an und verrutscht nachher nicht mehr.

Beim Verlöten ist sehr hilfreich, immer mit gestecktem Gegenstück zu verlöten. Auch

geboten, die Pins schmelzen schnell heraus. Wenn der erste Lötspunkt nicht sauber sitzt, lieber erst den nächsten bearbeiten und am Ende den ersten erneut löten. Schiefe Pins sind schlecht zu reparieren.

Zum Konfektionieren der Stecker muss das Kabel abisoliert werden, allerdings wirklich nur sehr kurz: 1-1,5mm 17. Wird zu viel abisoliert, ragen die Litzen in die Steckeröffnung und verhindern ein sauberes Stecken.



wenn Nylon recht temperaturstabil ist, wird es dennoch beim Lötten weich. Ohne Stabilisierung vom Gegenstück verschiebt sich der Kontakt im Gehäuse und der Stecker wird unbrauchbar ²¹.

Von diesem Stecker existieren mittlerweile einige Nachbauten. Ich kaufe sie allerdings nicht mehr, da jene, die ich bekam, schlechter verarbeitet waren und noch schneller geschmolzen sind.

Stecken als Projektaufgabe

Den sogenannten **Aviation-Stecker** ²² – eigentlich GX12, GX16, GX20 – verwende ich erst seit kurzem, deshalb habe ich seine Fehlermöglichkeiten noch nicht alle ausprobiert. Dieser Stecker hat eine große Vielfalt an Durchmessern und Pin-Anzahlen. Eine Paarung bekommt man ab ca. 2 Euro, das scheint mir für das Gebotene wirklich günstig.

Der Nachteil ist der recht große Platzbedarf – bei großen Projekten ist das kein Problem, bei Kleingeräten eher hinderlich ²³.

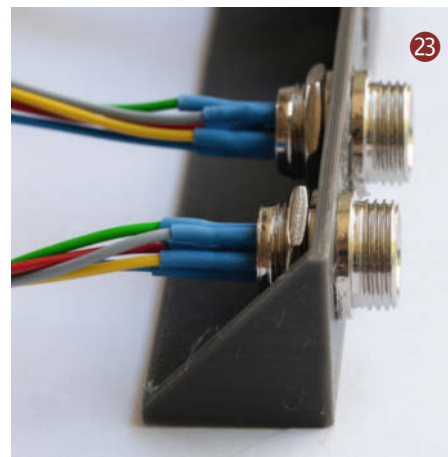
Verlängerungen mit Zugentlastungen auf beiden Seiten sind ebenfalls erhältlich. Durch die Schraubverbindung ist eine dauerhafte Verbindung sichergestellt, wenn denn der geeignete Maker immer verschraubt. Für mich ist das eine potentielle Fehlerquelle – selbst verastende Varianten sind immerhin in Aussicht.

Die Verarbeitung ist unkompliziert: ablängen, abisolieren, Schrumpfschlauch anbringen und verlöten. Das Kabel außerhalb des Gehäuses sollte ummantelt sein und zur Zugentlastung passen.

Fazit

Ein Großteil der Zeit für meine Projekte – wenn nicht gar den größten – verbringe ich tatsächlich mit Verbindungen. Gegen Frust und ungeplante Obsoleszenz nicht wartbarer Selbstbauprojekte ist das für mich eine sinnvolle Investition. Viele meiner Projekte laufen seit Jahren im Alltag unbemerkt, gebaut, um sie zu vergessen – das nächste Projekt ruft immer schon. Muss man doch mal an ein altes Werk ran, freut man sich immer über einen sauberen Aufbau, dank dessen man sich wieder Komponente für Komponente frisch eindenken kann. Ich wünsche allen allzeit gute Verbindungen.

—pek



Studiengang

Elektrotechnik und Informationstechnik

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Vertiefungsrichtungen im Masterstudiengang:

- Elektrische Energietechnik
- Künstliche Intelligenz
- Quantum Engineering
- Internet der Dinge
- Autonomes und vernetztes Fahren
- Energieinformatik



Technische Universität
ILMENAU

Bachelor

Master

Studienfachberatung:

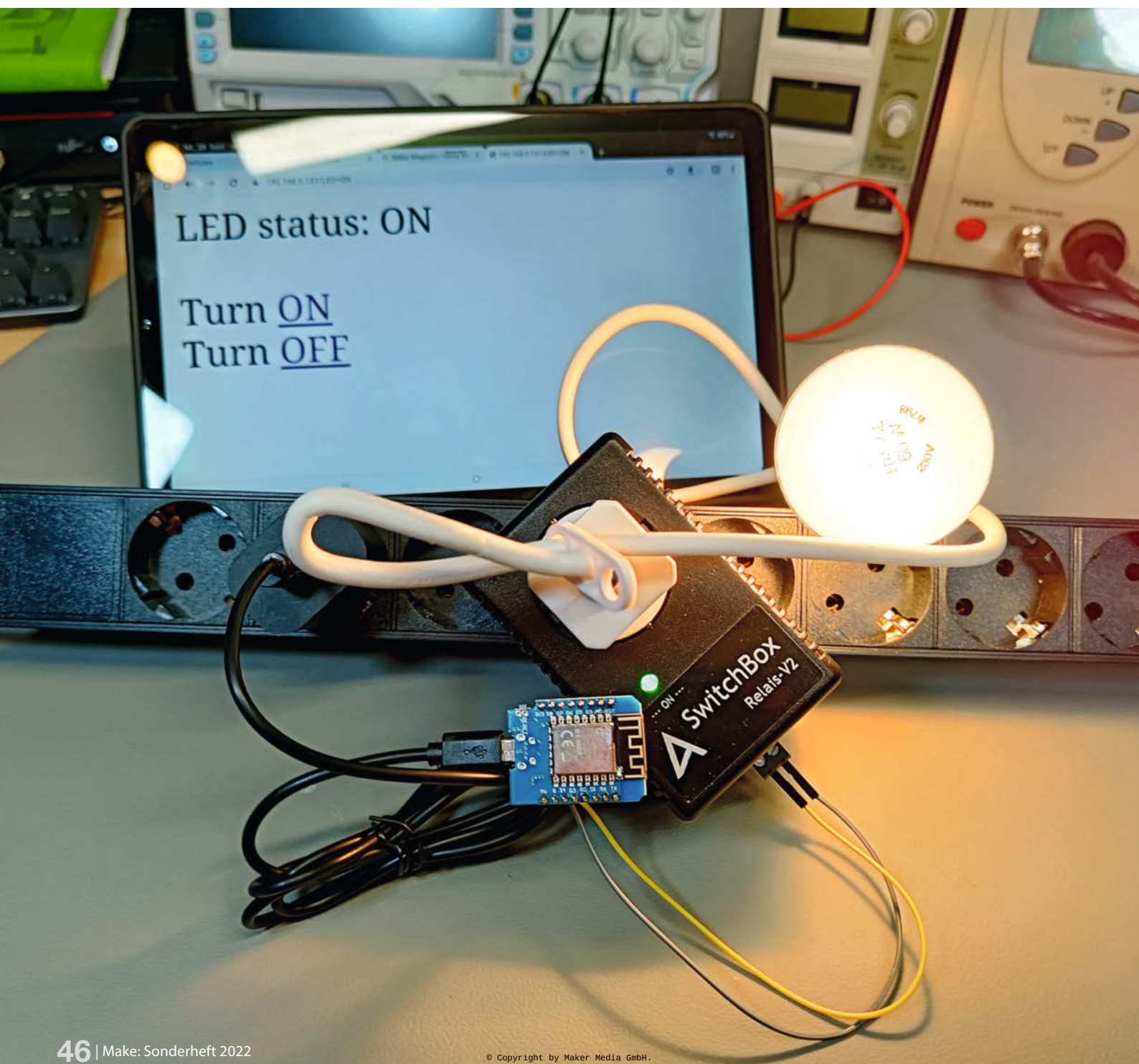
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Jochen Seitz
jochen.seitz@tu-ilmenau.de

www.tu-ilmenau.de/eit-studieren

230V-Geräte sicher und zuverlässig schalten

230V-Niederspannung sicher und VDE-gerecht zu schalten ist mit diversen Zwischensteckern per Funk, Infrarot und Niederspannung möglich. Wir stellen einige Lösungen vor.

von Carsten Wartmann



Eine Pumpe steuern, um Energie zu sparen, mit dem Bügeleisen löten – vielerlei Projekte brauchen die Kraft, die aus der Steckdose kommt. Die Steuerung direkt in die Geräte einzubauen und mit Netzspannung zu arbeiten, schreckt aber viele Maker zu Recht ab: Ohne umfassendes Wissen oder eine entsprechende Ausbildung kann das sehr gefährlich werden. Aber könnte man nicht einen fertigen Zwischenstecker benutzen und diesen zwischen das Gerät und die Steckdose schalten? Und tatsächlich, solche Zwischenstecker gibt es. Wir meinen hier aber nicht den Zwischenstecker mit einfachem Schalter bzw. Dimmer, nein: Wir möchten mittels einer Kleinspannung oder per Funk einen Verbraucher am 230V-Netz schalten.

Aber auch für die Sicherheit von Geräten (Schutz von Anwender und Geräten), höherem Komfort (automatisch und aus der Ferne steuern) und Energieeinsparung (Stand-by und automatische Abschaltung) gibt es Zwischenstecker, die in keinem Haus oder Werkstatt fehlen sollten.

Drahtlos schalten

Funklösungen zur Steuerung von Geräten über Zwischenstecker gibt es durch die sich immer weiter verbreitende *Home Automation* viele. Der Hersteller AVM (*Fritzbox*) bietet z.B. per DECT-Standard an die Basisstation angebundene Geräte an. Weitere Funkstandards, die von diversen Herstellern unterstützt werden sind *ZigBee*, *Bluetooth* und natürlich *WLAN*.

WLAN hat den Vorteil, dass sich die Geräte einfach in die fast überall vorhandenen Netze einbinden lassen, aber auch den Nachteil der Überfüllung der Kanäle, Störempfindlichkeit durch Reichweiteschwankungen und dass sich noch viele weitere Geräte wie Sensoren, Funkmäuse oder Bluetooth auf diesem Band tummeln (vor allem bei 2,4GHz). Da aber die Datenmengen, die zu und von so einem WLAN-Schalter gesendet und empfangen werden, nur sehr gering sind, ist das in diesem Anwendungsfall selten von Relevanz, solange das Gerät sicher in der Reichweite des Routers steht.

Der *Shelly Plug S* ¹ ist ein schlankes, günstiges und vielseitiges Gerät der Gattung WLAN-Schalter (siehe auch S. 50), kann aber noch viel mehr. Er kann per App ² auf dem Smartphone, per HTTP über den integrierten Webserver, per MQTT von Computern und Mikrocontrollern mit Intranet-Zugriff gesteuert werden oder über die Cloud des Herstellers von der ganzen Welt aus. Zusätzlich zu der Möglichkeit, 2500W (laut Hersteller) schalten zu können, bietet dieser kleine Zwischenstecker noch eine sehr flexible Wochen-Zeitschaltuhr, kann nach dem Sonnenstand schalten, misst nicht zuletzt die an den Verbraucher abgege-

Kurzinfo

- » 230V-Niederspannung sicher schalten mit Zwischensteckern
- » Funk- und drahtgebundene Lösungen
- » Komfort und Sicherheit

Mehr zum Thema

- » Uwe Rohne, Warmwasser-Sparpumpe, Make 4/22, S. 28
- » Ulrich Schmerold, Das Taupunkt-Lüftungssystem, Make 1/22, S. 22
- » Moritz König, Reflow-Löten mit dem Bügeleisen, Make 5/20, S. 116

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/x2pe



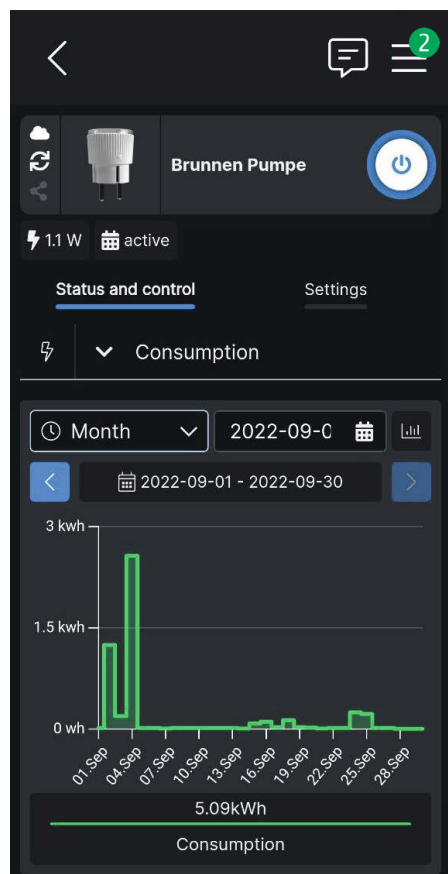
bene Leistung (W) und zählt die Energiemengen (kWh), die durch ihn fließen.

Nun ist es nicht überall möglich, ein Funknetz aufzuspannen. Die Einrichtung eines Routers (vor allem, wenn es nicht WLAN als Funkstandard sein soll) ist oft zu teuer oder eine Funklösung ist nicht zuverlässig genug. Auch die beschränkte Schaltgeschwindigkeit oder Schaltverzögerung kann ein Ausschlusskriterium sein. Weiterhin kann die Störungs- und Betriebssicherheit über Funkkanäle nicht so einfach garantiert oder überprüft werden – wer weiß schon, was passiert, wenn der Nachbar seine nicht entstörte Bohrmaschine benutzt.

Schwer auf Draht

In den Situationen, bei denen man sich nicht auf Funklösungen verlassen möchte oder darf, kann man auch Zwischenstecker einsetzen, die sich per einfachem Niederspannungsschalter (oder per Relais von einem Mikrocontroller, dazu gleich mehr) schalten lassen. Dabei ist der Schaltkontakt galvanisch per *Optotriac* (ein Optokoppler für Wechselstrom, s. u.) und einem Relais vom 230V-Niederspannungsnetz getrennt. Die Schaltspannung wird im Gerät durch ein kleines Transformator-Netzteil generiert. Dies ermöglicht es, 230V-Verbraucher (2000W) über große Entfernungen (bis zu 1000m laut Hersteller) mittels eines dünnen Signaldrahtes zu schalten. In Bild ³ sieht man solch eine Lösung der Firma *Antrax* bereit für einen ersten Test.

Eine weitere Möglichkeit ist, direkt per kleiner Steuerspannung aus einem Mikrocontroller, einem Port am PC oder über GPIO an einem Raspberry Pi einen Verbraucher zu schalten. Auf dem Titelfoto des Artikels sieht man den Testaufbau, bei dem ein ESP8266-Board einen Webserver ins Intranet bringt, über den die altmodische 60W-Glühlampe geschaltet wird. Innerhalb der *SwitchBox* arbeitet (wie auch bei der *SwitchBox Plus*) ein *Optotriac* ⁴ und ein Relais, dass das Steuersignal galvanisch



Ein- oder zweiphasige Schalter

Die Zwischenstecker schalten größtenteils nur einen Leiter und unterbrechen damit den Stromfluss, aber das Gerät bleibt unter Umständen unter Spannung, wenn nicht die Phase geschaltet wurde. Ob der geschaltete Leiter die Phase oder der Nullleiter ist, kann man nur durch richtiges Einstecken des Zwischensteckers steuern. Testen kann man das an einem Gerät hinter dem Zwischenstecker mit einem berührungs-

losen Spannungsprüfer (siehe Seite 89): Piept der bei ausgeschaltetem Zwischenstecker, so muss dieser um 180° gedreht eingesteckt werden. Verlassen sollte man sich aber nie darauf, sondern im Zweifel den Netzstecker des gesteuerten Gerätes ziehen, bevor man daran hantiert! Zu leicht ist einmal ein Stecker vor dem Schalter verdreht. FI-Zwischenschalter (s. u.) schalten auf jeden Fall beide Leiter ab.



3

Weitere Zwischenschalter

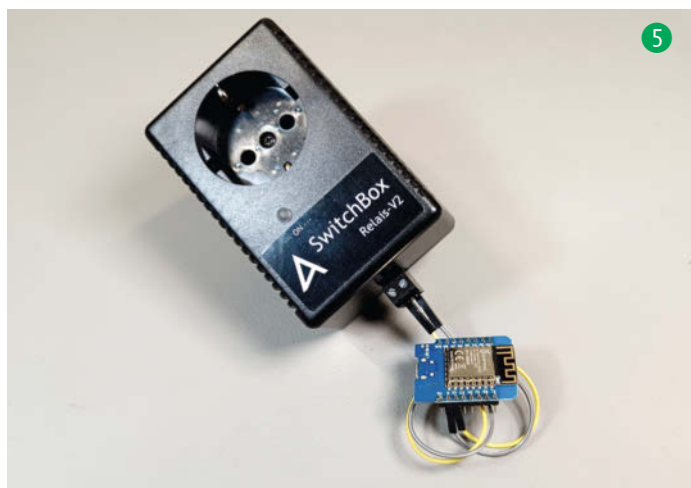
Mit den oben beschriebenen Zwischenschaltern kann der Maker in Kombination mit einem einfachen Mikrocontroller und Sensoren schon eine Menge machen: Zeitschaltuhren, Dämmerungsschalter, Bewegungsmelder, die Personen detektieren und bei Abwesenheit Geräte ausschalten und Ähnliches. Durch die Anbindung ans Smart Home können so auch sehr spezielle Probleme gelöst werden. Der Lerneffekt ist auf jeden Fall groß. Ökonomisch ist der Eigenbau aber bei der Vielzahl der verfügbaren fertigen Geräte eher nicht.

Ich vergesse gerne meine Lötstation auszuschalten. Der Lötkolben heizt dann die ganze Nacht, das verbraucht Strom und birgt eine Brandgefahr. Die Lösung ist eine sogenannte Countdown-Steckdose: Man wählt eine Einschaltdauer, meist durch einige Tastendrucke, und nach dieser Zeit wird der Verbraucher wieder stromlos geschaltet. Bei mir erledigt dies die ANSMANNAES1 6 seit 2016 an meiner Lötstation. Bei ausgeschaltetem Gerät verbraucht die Dose keinen Strom. Bei der AES1 können Zeiten von 15 oder 30 Minuten, 1, 2, 4 oder 8 Stunden gewählt werden. Natürlich wundert man sich ab und zu mal, warum der Lötkolben nicht mehr heiß ist, wenn die eine Stunde Einschaltzeit nicht für das Schnellmal-löten gereicht hat, aber der Komfort und Sicherheitsgewinn ist immens. Inzwischen gibt es noch weitere ähnliche Lösungen (Suchbegriff Countdown Timer Steckdose) die teils auch anders geteilte Schaltzeiten und weitere Features bieten.

Für mehr Sicherheit bei der Arbeit mit Elektrogeräten in Werkstatt und Garten sorgen FI-Zwischenschalter (Fehlerstrom-Personenschutzschalter, siehe S. 88). Diese schalten das eingesteckte Gerät innerhalb von weniger als 30ms stromlos, wenn ein Strom (30 oder 10mA, je nach Ausführung) nicht den normalen Weg durch die Leitung nimmt, sondern durch den Körper des Makers oder den Tisch, wenn z.B. ein Kabel angesägt wird. In neuen Elektroanlagen sind in allen Steckdosen-Stromkreisen FI-Schalter Vorschrift, aber dop-



4



5



6

pelt hält besser und meist (bei 10mA-FI-Zwischensteckern) lösen die externen Geräte vor dem im Sicherungskasten verbaute Schalter aus, sodass man nicht plötzlich komplett ohne Strom dasteht. Ein Wiederanlaufschutz für den Verbraucher nach einem Stromausfall oder einer FI-Auslösung ist bei den meisten Geräten auch gegeben. Auf keinen Fall darf der FI-Schalter allein als Absicherung beim Messen und Reparieren unter Spannung an 230V-Geräten verwendet werden, dazu sollte zusätzlich ein Trenntrafo (siehe S. 58 und 95) verwendet werden.

Im Gegensatz zu den FI-Schaltern die Personen schützen, können Blitz- und Überspannungsschutz-Zwischenstecker (siehe auch Seite 95) wertvolle oder empfindliche Geräte retten. Dies ist vielleicht auch etwas für Maker, die gerne mal mit Tesla-Spulen oder ähnlichen Geräten experimentieren.

Die oben bereits erwähnten infrarot-gesteuerten Steckdosen helfen, den Standby-Strom von Geräten abzuschalten, dabei

geht kaum Komfort verloren, denn man kann ja bequem von der Couch mit der Fernbedienung die Geräte anschalten. So können im

begrenzten Rahmen auch Geräte mit einer Fernbedienung nachgerüstet werden, ohne dass Eingriffe in die Geräte nötig sind. —caw

Lasten schalten

Dass man Mehrfachsteckdosen nicht in Reihe schalten darf, sollte bekannt sein. Aber wer hat es aus Bequemlichkeit nicht schon einmal getan? Wenn man die Gesamtleistung an den Dosen beachtet, sollte es doch kein Problem sein? Mit den Informationen im Heft (S. 112) können Sie dies berechnen, schauen Sie auch einmal die Angaben auf den Steckdosenleisten an.

Die Leistung, die auf einem Gerät aufgedruckt ist und die im normalen Betrieb benötigt wird, ist aber nur ein Teil der

Wahrheit. Beim Einschalten fließen oft kurzzeitig viel höhere Ströme, die aber schwer zu messen und vorherzusagen sind. Vor allem Computer- und Drucker-Netzteile sind dafür berüchtigt. Schaltet man nun noch die erste Steckdose mit dem integrierten Schalter ein, kann sich schnell ein Lichtbogen bilden, der den Schalter zerstört oder die Kontakte verschleißt. Das gleiche Problem kann Zwischenstecker mit Schaltfunktion treffen, es sei denn, es werden spezielle *High-Inrush-Relais* (s.o.) oder elektronische *Solid State Relais* (SSR) verwendet.

TECHNIKUNTERRICHT MACHT ENDLICH SPAß!



Make:Education

Mit **Make Education** erhalten Sie jeden Monat kostenlose Bauberichte und Schritt-für-Schritt-Anleitungen für einen praxisorientierten Unterricht:



Für alle weiterführenden Schulen



Fächerübergreifend



Digital zum Downloaden



Monatlicher Newsletter

Jetzt kostenlos downloaden:

make-magazin.de/education

© copyright by Make: Media GmbH

Sechs Zwischenstecker für das Energie-Monitoring

Elektrische Energie ist unsichtbar und die wenigsten Menschen wissen genau, wie viel sie davon mit welchen Gerätschaften im Haushalt verbrauchen. Erst wenn Tools den Energiefluss visualisieren – auch über eine längere Zeit – kann man sein Nutzungsverhalten reflektieren, ändern und Ressourcen schonen. Smarte Zwischenstecker machen den Verbrauch, aber auch das Einspeisen von Energie sichtbar.

von Sven Hansen



petovarga / Shutterstock.com

Die elektrischen Gerätschaften werden mehr, doch der Zähler hängt irgendwo im Keller, Abschlagszahlungen werden grob geschätzt und am Ende trudelt eine verworrene Jahresendabrechnung des Energieversorgers ins Haus. Kein Wunder, dass sich viele Menschen beim Öffnen des dicken Briefes wie vor der Losbude am Jahrmarkt fühlen. „Muss ich nachzahlen oder bekomme ich gar etwas zurück?“ Dieses Jahr dürfte die Geschichte für alle ähnlich ausgehen: Ziemlich gewiss schauen sie machtlos auf ein dickes Loch im Portemonnaie.

Dabei ist er durchaus existent, der Zusammenhang zwischen eigenem Verhalten und dem daraus resultierendem Energieverbrauch. Den stetigen Energiefluss können Menschen zwar nicht wahrnehmen, mit ein wenig Technik lässt er sich allerdings sichtbar machen. Denn bis auf die wenigen Großverbraucher im Haushalt hängt jedes Gerät an einer eigenen Steckdose.

Zwischenstecker mit Display, wie wir sie in c't 17/22, S. 98 getestet haben (siehe Link in der Kurzinfo), helfen vor allem beim kurzfristigen Energie-Check daheim. Die Domäne der smarten Messstecker hingegen ist das kontinuierliche Messen eines schwankenden Stromverbrauchs. Das ist durchaus sinnvoll, denn die wenigsten Verbraucher verhalten sich heutzutage wie eine alte Glühbirne. Letztere zieht konstant ihre 60 Watt, wenn sie leuchtet – und sonst eben nichts.

Die Situation ändert sich schon bei einfachen Kühlgeräten: Sie werfen ihren Kompressor an, legen wieder eine Pause ein und reagieren mit ihrem Verbrauch auf das Nutzerverhalten oder auch die Umgebungstemperatur. Ist der Stromverbrauch vielleicht unnötig hoch, weil Herd oder Spülmaschine in der Einbauküche zu dicht am Kühlgerät kleben? Ändert er sich durch Sonneneinstrahlung? Derlei Feinheiten fallen erst beim Blick auf eine langfristige Statistik auf.

Testfeld

Im Test sind sechs Zwischenstecker, die den Energiefluss im jeweiligen Moment messen und statistische Informationen zur Langzeitnutzung liefern. Die Geräte von Gosund, Luminea und Ucomen stammen alle drei aus dem Universum des chinesischen IoT-Anbieters Tuya. Sie arbeiten mit dem gleichnamigen Clouddienst und kommen mit nur leicht angepassten Apps fürs Smartphone. Der günstige von Gosund ist besonders beliebt, da er vom Durchmesser kaum größer als ein Schukostecker ist, sodass mehrere Adapter nebeneinander in einer Mehrfachsteckdose Platz finden.

Mit ebensolchem Formfaktor wartet auch der Plug S von Shelly auf. Das Smart-Home-Zubehör des bulgarischen Herstellers sieht man oft bei DIY-Projekten, denn Shelly legt

Kurzinfo

- » Energieverbrauch von Geräten über längere Zeit beobachten
- » Mit Funk, Smartphone-Apps und Smart-Home-Integration
- » Im Test: Zwischenstecker von 15 bis 80 Euro

Mehr zum Thema

- » Dieser Artikel erschien zuerst in der c't-Ausgabe 22/22 auf Seite 24, im Rahmen der Titelgeschichte „Strom sparen mit smarter Technik“
- » Ernst Ahlers, Stromwaagen, 10 Energiekostengeräte im Vergleich, c't 17/22, S. 89
- » Heinz Behling, Tuya ohne Cloud, Make 6/21, S. 82
- » Sebastian Müller, Photovoltaik auf dem Balkon, Make 1/22, S. 38

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/x9yj



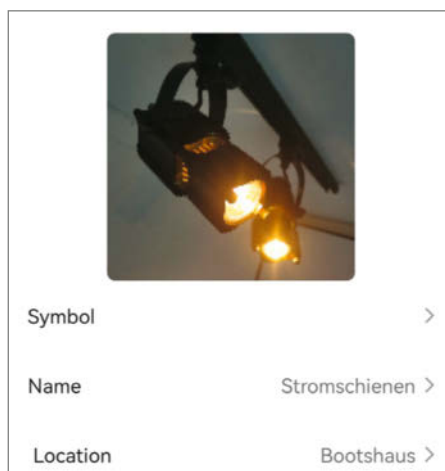
besonderen Wert auf die lokale Bedienbarkeit ohne Cloudzwang. Der WiFi Switch von der schweizerischen myStrom richtet sich explizit auch an Besitzer eines Balkonkraftwerkes, denn die getesteten Zwischenstecker visualisieren nicht nur den Verbrauch, sondern auch eingespeiste Energie – sie hat sogar einen Temperatursensor.

Bei diesen fünf handelt es sich um Zwischenstecker, die ohne zusätzliche Zentrale oder Gateway direkt im WLAN arbeiten. Doch eine Smart-Home-Zentrale steht in vielen Haushalten, ohne als solche wahrgenommen zu werden: Die DECT-fähigen Fritzboxen von AVM lassen sich mit Smart-Home-Zubehör ergänzen. Ebendarum rundet der Zwischenstecker Fritz-DECT 210 das Testfeld ab.

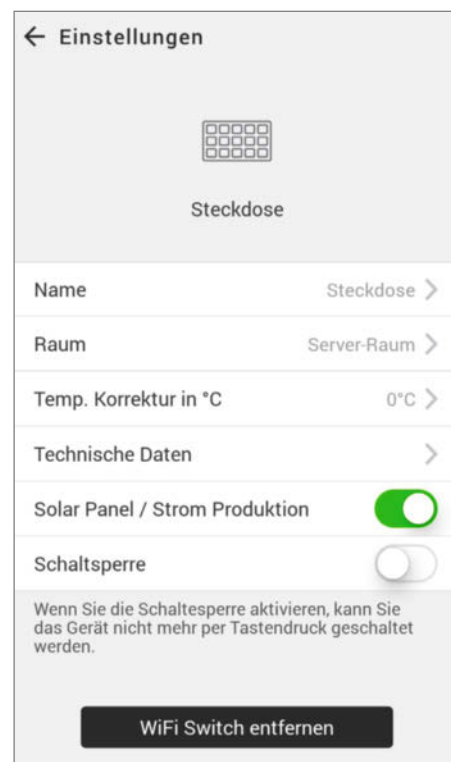
Einrichten

Bei den fünf WiFi-Kandidaten geht es zunächst darum, sie mit dem heimischen WLAN zu

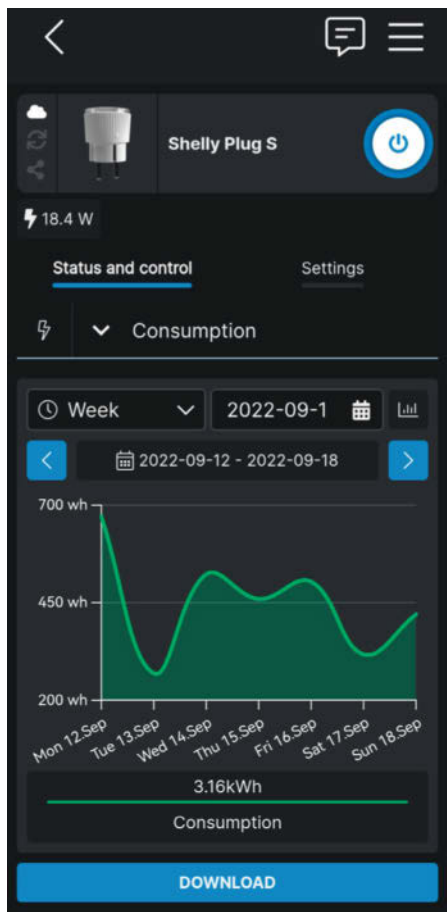
verbinden. Bei allen hilft die jeweilige App bei der Einrichtung; Shelly und die Apps auf Tuya-Basis nutzen Bluetooth, um den Erstkontakt zu den Zwischensteckern herzustellen. In einem zweiten Schritt wählt man das passende WLAN und hinterlegt das Passwort in der App. Bis auf AVMs Fritz-DECT braucht es hierfür bei allen Geräten zumindest einen Kundenaccount. Gosund, Luminea und Ucomen zwingen dazu, die Herstellercloud zu benutzen, das Einrichten funktionierte bei allen dreien problemlos.



Fotos der geschalteten Geräte sorgen bei komplexeren Installationen für einen besseren Überblick.



Mit „Solar Actions“ lassen sich in der myStrom-App Verbraucher in Abhängigkeit von der aktuellen Einspeisung von Solarstrom schalten.



MyStrom und Shelly (Bild) liefern die besten Langzeitstatistiken in der App.

Das können wir vom Shelly Plug S nicht behaupten. Die App verhaspelte sich im Test wiederholt beim Versuch, den Zwischenstecker ins WLAN zu hieven. Richtig kompliziert wird es, wenn es gilt, einen älteren Plug S mit kurzer ID einzurichten: Solche Zwischenstecker muss man zunächst im Accesspoint-Modus über das Webinterface ansprechen, um sie per Kurzbeefehl (<http://<shelly-ip>/longify-id>) dazu zu bewegen, sich künftig mit 12-stelliger ID bei Shelly anzumelden. Mit der zuvor üblichen sechsstelligen ID wirft das System eine irreführende Fehlermeldung aus, nach der die Komponente bereits einem anderen Kundenkonto zugeschrieben ist. Auch bei einem zweiten Zwischenstecker, der schon mit neuerer Firmware geliefert wurde, führte erst der Umweg übers Webinterface zum Ziel.

Die myStrom-App favorisiert die Erstanmeldung per WPS und weist zu Recht darauf hin, dass die Anmeldung im Accesspoint-Modus ein Sicherheitsrisiko ist. Theoretisch könnten sich Angreifer auf einem Zwischenstecker genau in dem Moment anmelden, wenn dieser für kurze Zeit ein offenes WLAN aufspannt.

Sind die Zwischenstecker erfolgreich verbunden, ordnet man ihnen per App einen Namen zu und kann sie – so denn mehrere Exemplare vorhanden sind – nach Räumen

gruppieren. Bis auf AVM und myStrom erlauben es alle Apps, ein eigenes Foto hochzuladen. Statt eines Piktogramms oder eines stilisierten Zwischensteckers zeigt die App so direkt das Gerät, dass am Zwischenstecker angeschlossen ist.

Bei AVMs Fritz-DECT 210 entfällt die WLAN-Anmeldung. Nach einem Druck auf die DECT-Taste von Gerät und Fritzbox verbindet sich der Zwischenstecker automatisch mit dem Router. Nach etwa 20 Sekunden taucht der Adapter anschließend in der Weboberfläche der Fritzbox unter den Smart-Home-Geräten auf.

Schalten und walten

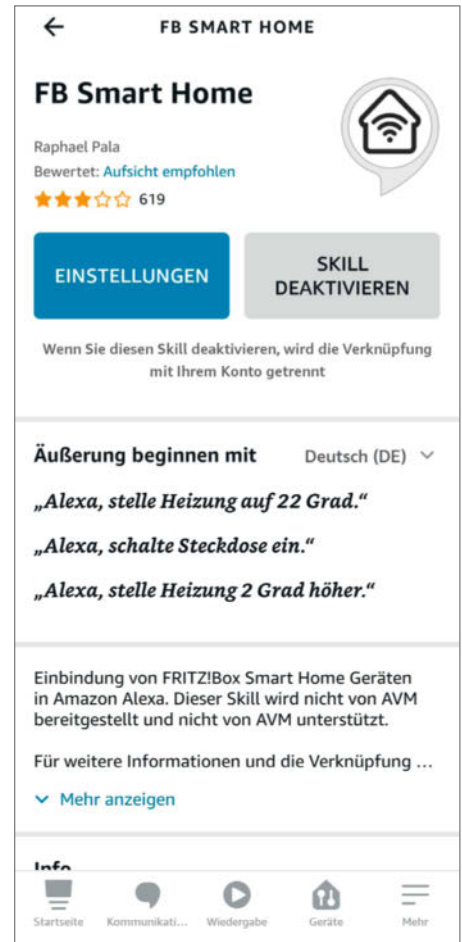
Alle Zwischenstecker haben einen kleinen Taster, über den sie sich direkt am Gerät an- und ausschalten lassen. Das kann praktisch sein, wenn sie etwa mit programmiertem Abschalt-Timer direkt am Küchentresen zum Einsatz kommen. Ein Druck auf den Taster genügt, um Wasserkocher, Kaffeemaschine oder auch ein Bügeleisen unter Strom zu setzen. Nach einer über die App hinterlegten Zeitspanne schaltet der Zwischenstecker ab. Nur die 210er von AVM trennt Verbraucher zweipolig vom Netz, alle anderen trennen nur einen Pol. Geräte stehen – je nach Steckerposition – noch unter Spannung, selbst wenn sie ausgeschaltet sind.

Die Apps erlauben es, die Zwischenstecker einzeln oder zusammengefasst als Gruppe zu schalten. Bei Gosund, Luminea und Ucomen ist das durch die Cloudverbindung grundsätzlich auch außerhalb des WLANs aus der Ferne möglich, bei Shelly muss man die Cloudfunktion hierfür explizit freigeben. myStrom erlaubt die Fernsteuerung über den Umweg von myStrom Home und ein kostenpflichtiges Abo (30 Euro jährlich). Bei AVM ist es nötig, die Fritzbox für den Fernzugriff zu konfigurieren. Erst nach diesem Schritt ist es möglich, von außen auf die Zwischenstecker im System zuzugreifen. Positiv: Alle Geräte konnten wir auch nach Wegfall der Internetverbindungen im lokalen Netz bedienen. Selbst bei den Cloudkandidaten werden Direkteingaben vom Smartphone also lokal übertragen.

Messknechte

Alle sechs Kandidaten protokollieren den Stromverbrauch, sie messen aber auch das Einspeisen von Energie etwa durch ein Balkonkraftwerk. Dieses sollte streng genommen zwar nur per Wieland-Steckdose als Festinstallation am Netz hängen. In der Praxis nutzen die meisten Kunden jedoch den Schukostecker, sodass der Zwischenstecker die vom Mikrowechselrichter eingespeiste Solarenergie erfassen kann.

In der myStrom-App deklariert man dazu den Wi-Fi Switch als *Solar Panel / Stromproduktion*. Fortan wird die am Zwischenstecker gemessene Energie positiv bilanziert und in der



Der Skill FB Smart Home bindet Smart-Home-Komponenten von AVM auf Umwegen in Alexas Sprachsteuerung ein.

App stehen zusätzliche *Solar Actions* bereit. Diese Actions schalten abhängig von der am Solarpanel anfallenden Energie andere Komponenten des myStrom-Systems gezielt an und aus. Parameter wie die Anschalt- und Ausschaltverzögerung in Minuten sorgen dafür, dass die resultieren Automatik nicht zu zapelig agiert, indem sie auf das Licht- und Schattenspiel jedes am Herbsthimmel vorbeihuschenden Cumulus-Wölkchens reagiert.

Solche Solarfunktionen sind bei den anderen Herstellern nicht vorhanden, auch wenn diese eingespeiste wie verbrauchte Energie anzeigen. Die Shelly-App kann den Verbrauch über verschiedenen Komponenten hinweg summieren, immerhin lässt sich eine Steckdose mit angehängtem Balkonkraftwerk aus dieser Rechnung ausklammern. Keines der Testgeräte weist den Richtungswechsel des Energieflusses – etwa durch Vorzeichenwechsel – automatisch aus.

AVM hat immerhin in der neuesten Fritz-OS-Version 7.39 sprachlich auf den Umstand reagiert, dass die Zwischenstecker nicht mehr nur für die Verbrauchsmessung genutzt werden. Statt von Energieverbrauch ist nun von Leistung (Watt) die Rede.

Live und Langzeit

Den Live-Verbrauch zeigen alle Kandidaten brav in der App an, wobei sich in Sachen Mess(un)genauigkeit durchaus Unterschiede zeigen. Im c't-Labor diente unser Präzisionsleistungsmessgerät LMG95 als Referenz beim Vergleich typischer Lasten. So waren die drei Zwischenstecker von Gosund, Luminea und Ucomen schlichtweg nicht zu gebrauchen, um Lasten unter 2 Watt zu erfassen. AVM und myStrom punkten hierbei, allerdings mit einer Messungenauigkeit von 5 Prozent. Positiv fiel hier Shellys Plug S aus dem Rahmen, der auch für unseren Kleinstverbraucher präzise Messwerte lieferte.

Bei unseren Prüflasten mit 20, 40 und 270 Watt ändert sich das Bild: Hier fällt ausgerechnet der Plug S mit 5 Prozent Messabweichung unangenehm auf, während alle anderen mit maximal 2 Prozent akzeptable Werte lieferten. Je höher die Lasten sind, desto weniger fällt der Messfehler ins Gewicht.

Shellys von der Bedienoberfläche her etwas überladene App liefert bei der Langzeitauswertung der Messergebnisse den mit Abstand besten Überblick. Zu jedem Zwischenstecker lässt sich unter dem Punkt *Status und Kontrolle* eine Grafik als Balken, Linie oder geglättete Kurve anzeigen, die sich auf Wunsch über einen Tag, Monat oder ein ganzes Jahr erstreckt. Ähnlich ausführlich ist die statistische Auswertung in der myStrom-App, wobei die Bedienung leichter fällt. Die Statistik füllt den gesamten Screen aus und die App lässt sich für den Statistikmodus auch quer nutzen. Sie stellt neben den Verbrauchsdaten auch den vom Zwischenstecker gemessenen Temperaturverlauf dar.

Die statistische Auswertung der drei Tuya-Zwischenstecker ist recht unübersichtlich.

Jeweils ein Monat erscheint als überlanger Zeitstrahl mit den täglich akkumulierten Verbrauchsdaten. Auf der Startseite listet die App immerhin alle bereits erfassten Monate und der jeweils verbrauchten beziehungsweise eingespeisten Kilowattstunden. Für die sporadische Erfolgskontrolle eines kleinen Solarprojektes mag das manch einem schon genügen.

AVMs MyFritz!-App weist lediglich Briefmarkenbildchen mit den Werten der letzten Stunde aus. Etwas auskunftsfreudiger ist AVMs Smart-Home-App. Wer mehr erfahren möchte, muss sich auf dem Webinterface der Fritzbox anmelden. Dort finden sich vorgefertigte Zeitfilter und auch eine Exportmöglichkeit der Daten als CSV-Datei. Eine Langzeitarchivierung der fein aufgelösten Messdaten ist nicht möglich, selbst wenn die Box auf ausreichend Speicher in Form eines USB-Sticks oder einer Web-DAV-Anbindung zurückgreifen kann. Wer eine solche Auswertung benötigt, muss sich Datenauszüge per Mail zuschicken lassen und archivieren.

Smart Home

Bis auf den Fritz-DECT 210 lassen sich alle Zwischenstecker von Haus aus per Sprache bedienen, wenn sie zuvor mit Alexa oder Google Home verknüpft wurden. myStrom ist auch mit Apples HomeKit kompatibel. AVM überlässt es Fremdanbietern, sich um die Integration der eigenen Smart-Home-Komponenten zu kümmern. So gibt es für Alexa oder Google Home keinen offiziellen Skill, mit *FB Smart Home* jedoch einen gangbaren Weg, die Sprachsteuerung zu aktivieren. Einziger Haken: Für diesen Weg muss man einen Zugang zur Fritzbox einrichten, die Smart-Home-Steuerung freigeben und diesen beim Fremdanbieter hinterlegen. Es wäre einem wohler, wenn



Zwischenstecker wie der von Nous (A1T) gibt es wahlweise mit Tuya- oder Tasmota-Firmware ohne Cloud-Zwang.

Hersteller AVM den unbekannten Dritten überflüssig machen würde.

Die Geräte von myStrom und Ucomen sprechen mit dem Metadienst IFTTT. myStrom liefert dabei die meisten Trigger für per IFTTT ausgelöste Aktionen im Smart Home. Mit Schwellwerten legt man fest, ob das Portal oberhalb oder unterhalb einer bestimmten Last eine Aktion ausführt. Das funktioniert auch mit dem Temperatursensor des Zwischensteckers, der ebenfalls als Ausgangspunkt für eigene Regeln taugt. Natürlich kann IFTTT den WiFi Switch auch im Rahmen eigener Applets schalten. Von den drei Tuya-Geräten lässt sich nur der Ucomen-Zwischenstecker via IFTTT nutzen, beschränkt sich dabei allerdings auf Schaltvorgänge. Verbrauchsinformationen lassen sich also nicht als Auslöser nutzen.

Will man die Zwischenstecker in bestehende Smart-Home-Projekte via *OpenHAB*, *Home-*

Ihr Erste-Hilfe-Set: Das Notfall-System für den Ernstfall

Mit der neuen Version **c't Desinfec't 2022/23** sind Sie für den Ernstfall bestens gerüstet:

- Windows-PCs untersuchen und säubern sowie Trojaner und Viren beseitigen
- Daten retten und sofort wiederherstellen
- Für Profis: Open Threat Scanner (Yara), Thor Lite Scanner
- Viren-Scanner von ClamAV, Eset und WithSecure

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 €
Desinfec't-Stick 19,90 €



shop.heise.de/desinfec22

Komplett auf 32 GByte USB-Stick.
Desinfec't startet direkt vom Stick.

AVM Fritz!DECT 210



AVMs Zwischenstecker für den Außenbereich hat schon ein paar Jährchen auf dem Buckel und das Design wirkt ein wenig aus der Zeit gefallen. Das klobigste und teuerste Gerät im Testfeld schaut eher wie ein WiFi-Repeater aus.

Im Hinblick auf App, Smart-Home-Einbindung und Sprachsteuerung hat AVM wenig im Köcher. Zum Glück kümmern sich Fremdanbieter um die Integration der Zwischenstecker und liefern passende Plug-ins, Skills oder Flows für die unterschiedlichen Plattformen. Vorbildlich hingegen die Messgenauigkeit des DECT 210: Bei größeren Lasten konnte der Brocken mit unserem Profileistungsmessgerät mithalten. Dass sie Verbraucher zweipolig vom Netz trennt, steht ihr als Außensteckdose besonders gut zu Gesicht.

- ⬆ IP44 mit zweipoliger Abschaltung
 - ⬆ klobiges Router-Design
 - ⬆ teuer
- Preis: 80 Euro

Gosund EP2



Klein: ja, stark: na ja. Der Vorgänger des Gosund EP 2 war bis 3600 Watt belastbar, nun sind es maximal 2500 Watt. Immerhin ist der sexy Formfaktor geblieben: Kleiner wird man es kaum hinkommen und die EP 2 schaut mit ihrem LED-Kranz sogar schick aus. Für 30 Euro im Doppelpack ist der Gosund-Zwischenstecker zudem ein Schnäppchen.

Die App aus dem Tuya-Baukasten ist gewöhnungsbedürftig, dafür ist das Angebot an kompatiblen Zubehör so groß wie die Möglichkeiten für Automatisierungen innerhalb der App. Wer sich ganz auf Tuya einlässt, wird viele Dinge im Smart Home für wenig Geld aus der Cloud ohne zusätzliche Zentrale bewegen können.

- ⬆ kleine Bauform
 - ⬆ Live-Daten via Cloud
 - ⬆ nur bis 2500 Watt belastbar
- Preis: 15 Euro

Luminea SF-550



Die über Pearl vertriebene WLAN-Steckdose von Luminea ist ein Leichtgewicht und es drängt sich der Eindruck auf, dass hier viel Luft im Gehäuse steckt. Eigentlich schade, denn so blockiert der Zwischenstecker unnötig Platz in Mehrfachsteckdosen, die es auch für den Außenbereich gibt.

Ob Pearls Elision-App oder Smart Life von Tuya den Zwischenstecker ansteuert, ist letztlich Geschmackssache. Unterschiede gibt es nur bei der Ersteinrichtung: Bei Elision geht es wegen der Beschränkung auf Pearl-Produkte bei der Auswahl neuer Komponenten deutlich übersichtlicher zu. Bei Smart Life lässt sich die SF-550 dafür mit deutlich mehr Smart-Home-Komponenten kombinieren. Die Verbrauchsstatistik in der App beschränkt sich auf einen Überblick über die vergangenen Monate.

- ⬆ Schutzart IP44
 - ⬆ viel Zubehör
 - ⬆ keine Live-Daten anzapfbar
- Preis: 21 Euro

Assistant oder Homey einbinden, trennt sich die Spreu vom Weizen. MyStrom und Shelly lassen sich mit vorgefertigten Plug-ins direkt über den REST-API oder via MQTT ansteuern. Bei AVM führt der Weg wie auch bei der Sprachsteuerung immer über die Fritzbox als Zentrale. Wegen der großen Verbreitung in Deutschland finden sich auch für die Fritz-DECT meist vorgefertigte Plug-ins, die die Integration erleichtern.

Dass Einbindung nicht gleich Einbindung ist, zeigt sich spätestens bei den drei Tuya-Kandidaten. Sie arbeiten über die Cloud, die über Tuyas IoT-Portal (iot.tuya.com) durchaus

Informationen herausgibt. Legt man hier einen Account an und verknüpft ihn mit dem App-Zugang, gibt das Portal einen Überblick über sämtliche am Account angemeldeten Tuya-Komponenten und generiert auf Wunsch eine Access ID nebst zugehörigem Secret Code. Mit den Zugangsdaten kann etwa die Smart-Home-Plattform HomeAssistant die Sensordaten aus der Cloud auslesen und lokal archivieren. Die Zwischenstecker von Gosund und Ucomen liefern danach alle Live-Verbrauchsdaten an die Smart-Home-Zentrale – beim Luminea-Zwischenstecker ist dies hingegen nicht möglich. Wer die Leistungs-

erfassung mehrerer Zwischenstecker über eine Zentrale bündeln möchte, muss auf solche Feinheiten achten.

Um die besonders günstigen Tuya-Komponenten vom Cloud-Zwang zu befreien, finden sich im Netz (und in Make 6/21, siehe Kurzinfor) viele Projekte rund um die alternative Firmware *Tasmota*. Der äußerlich fast identische *Gosund sp111* etwa ist wegen des Formfaktors sehr beliebt, aber nur noch gebraucht zu kaufen. Interessanterweise haben die Hersteller auf die Hacking-Szene reagiert und bieten Zwischenstecker mit vorinstallierter Tasmota-Firmware an. Wer mit der cloud-

MyStrom WiFi Switch



MyStrom setzt auf die Design-Maxime reduzierter Formen: Vor der Wandsteckdose klebt mit dem Wi-Fi Switch ein recht klobiger Kunststoffkasten. Statt des Ein/Aus-Taster erwischt man schon mal die Pairing-Taste, die auch kleiner sein dürfte, weil sie nur bei der Ersteinrichtung nötig ist.

MyStrom liefert cooles Zubehör, das sich über die übersichtliche App einbinden lässt. Dabei schlägt das System sogar eine Brücke zu Komponenten von Sonos und über den Dienst *myStrom home* zu *Hue*, *Trådfri* und *Shelly*. Der Rolle als Smart-Home-Zentrale wird die App noch nicht gerecht. Am Ende fällt das kaum ins Gewicht, da sich der Zwischenstecker über verschiedenste Wege mit einer beliebigen Zentrale steuern lässt.

- ➡ cloudfreie Anknüpfungspunkte
- ➡ gute IFTTT-Anbindung
- ➡ Solarfunktionen integriert

Preis: 50 Euro

Shelly Plug S



Vom Erfolg des Plug S war Hersteller Shelly offensichtlich selbst überrascht, nur so lässt sich der Wechsel von sechs zu zwölfstelliger ID erklären. Nur bei Shelly findet man ein vollwertiges Webinterface, über das man jede Komponente über den Browser konfiguriert. Die App liefert ansehnliche Statistiken, patzte allerdings bei der Ersteinrichtung. Die gelang uns nur über den Browser.

Der Plug S lässt sich komplett lokal über gängige Smart-Home-Plattformen steuern. Aktiviert man die Cloud, werden Komponenten allerdings hart mit dem jeweiligen Account verknüpft. Einmal angemeldete Devices muss man zunächst abmelden, bevor sie sich einem neuen Account zuordnen lassen. Wer das Gerät gebraucht bei eBay ergattert, muss darauf besonders achten.

- ➡ cloudfreie Anknüpfungspunkte
- ➡ kleine Bauform
- ➡ Probleme bei Ersteinrichtung

Preis: 20 Euro

Ucomen Smart Steckdose



Die Smart Steckdose Outdoor von Ucomen wirkt etwas billig verarbeitet. Die Abdeckklappe ist wenig solide und der Gummiring des mit Schutzart IP44 ausgewiesenen Zwischensteckers ist so dünn, dass man ihn mit einem Stecker für den Außenbereich schnell eindrückt.

Die Ucomen-Home-App ist nur zweite Wahl. Sie ist bis auf Farbgestaltung identisch mit Tuya's Smart-Life-App, die direkt vom Hersteller gepflegt und regelmäßig upgedatet wird. Ein Pluspunkt ist, dass sich Live-Verbrauchsdaten über Tuya's IoT-Plattform abrufen lassen: Diese Eigenschaft kombiniert mit der Schutzart IP44 macht den Ucomen Stecker zu einem spannenden Kandidaten, um langfristig die eingespeiste Energie eines Balkonkraftwerkes im Außenbereich zu erfassen.

- ➡ Schutzart IP44
- ➡ Live-Daten via Cloud
- ➡ klapprige Verarbeitung

Preis: 18 Euro

freien Alternative experimentieren möchte, muss also nicht mehr notgedrungen zum Hacker-Hoodie greifen.

Fazit

Wer nur einem einzigen Verbraucher ausführlich auf die Finger schauen will, ist mit der Kombination aus Zwischenstecker und App bei allen Kandidaten im Rahmen ihrer Genauigkeit gut aufgehoben. Ob die Daten einem Cloudanbieter anvertraut oder nicht, bleibt jedem selbst überlassen. Ein einzelner Zwischenstecker lässt sicherlich kaum Rück-

schlüsse über seinen Besitzer zu. Bei mehreren Messstellen kann sich jedoch schnell ein Bild ergeben, denn unterschiedliche Verbraucher lassen sich anhand ihres Entnahmeprofils durch KI-Algorithmen leicht identifizieren.

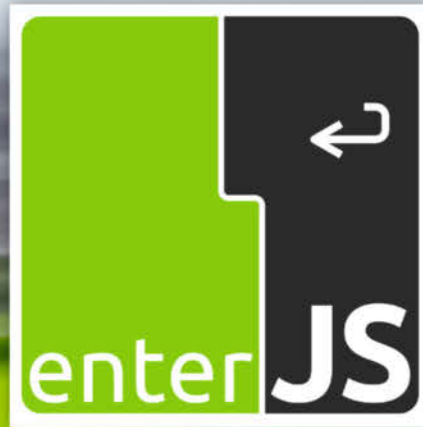
Mit Smart-Home-Zentralen verknüpft liefern bis auf den Luminea-Zwischenstecker alle Kandidaten genug Live-Daten, um eine detaillierte Verbrauchsstatistik aufzubauen. Damit werden auch schleichende Prozesse wie der Effizienzverlust eines Kühlgerätes über mehrere Jahre sichtbar. Für lokale Projekte sind die Geräte von

myStrom und Shelly besonders gut geeignet.

Erst durch die langfristige Analyse der Verbrauchsdaten entsteht so etwas wie ein Bewusstsein für den Energiefluss im Heim. Strom kommt dann eben nicht einfach nur aus der Steckdose, sondern wird – grafisch aufbereitet und mit schicken Euro-Preisschildern belegt – nicht erst durch den Schmerz der Jahresendabrechnung erfahrbar. Wer es schafft, das eigene Bewusstsein und das des ein oder anderen Mitbewohners im Haushalt zu schärfen und selbst produzierte Energie effizienter nutzt, kann am Ende durchaus ein paar Euro sparen. —sha@ct.de

Smarte Zwischenstecker fürs Energiemonitoring

Modell	Fritz!DECT 210	EP 2	SF-550	PQWSE1	Plug S	01SW2P
Hersteller	AVM	Gosund	Luminea	myStrom	Shelly	Ucomen
Bezeichnung	Intelligente Außensteckdose	Smart Steckdose	WLAN Steckdose aussen	WiFi Switch	WiFi Smart Plug	Smart Steckdose Outdoor
Firmware	4.25	v1.0.4	v1.3.5	4.0.4	v1.12	v1.1.7
Ausstattung						
Kommunikation	DECT-ULE	WiFi 4 (2,4GHz)	WiFi 4 (2,4GHz)	WiFi 4 (2,4GHz)	WiFi 4 (2,4GHz)	WiFi 4 (2,4GHz)
Sensorik	Leistung, Temperatur, Schallereignis	Leistung	Leistung	Leistung, Temperatur	Leistung	Leistung
Bedienelemente	An / Aus, DECT	An / Aus	An / Aus	An / Aus, WPS	An / Aus	An / Aus
Schutzart	IP44	–	IP44	–	–	IP44
Belastbarkeit	15A / 3450W	12A / 2500W	16A / 3600W	16A / 3600W	12A / 2500W	16A / 3600W
zweipolige Abschaltung	✓	–	–	–	–	–
optionales Zubehör	Taster (Fritz!DECT 400 / 440), Fritz!Phone	beliebige Tuya-Komponenten	Schalter, Bewegungsmelder, Öffnungssensoren	WiFi-Knopf, Bewegungsmelder	beliebige Tuya-Komponenten	beliebige Tuya-Komponenten
Funktionen						
App (iOS / Android)	MyFritz!/Smart Home (✓/✓)	Smart Life (✓/✓)	Elesion (✓/✓)	myStrom (✓/✓)	Shelly Cloud (✓/✓)	Ucomen Home (✓/✓)
Zeitschaltung, Astronomie, Zufall, Timer	✓/✓/–/✓	✓/✓/–/✓	✓/✓/–/✓	✓/✓/✓/✓	✓/✓/–/✓	✓/✓/–/✓
letzter Zustand konfigurierbar	Letzter Zustand, Aus, An	–	–	–	On, Off, Restore last mode	–
Statistik	Tag / Woche / Monat / Jahr	Monat / gesamt	Monat / gesamt	Stunde / Tag / Woche / Monat / Jahr	Tag / Woche / Monat / Jahr	Monat / gesamt
Export	CSV-Datei, Mail	–	–	CSV-Datei	SV-Datei	–
Leistungsbegrenzung / Überlastschutz	–/✓	✓ ² /✓	–/–	✓/–	✓/✓	✓ ² /✓
lokales Schalten ohne Internet	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Smart Home						
Google Home / Alexa / Homekit	–/–/–	✓/✓/–	✓/✓/–	✓/✓/✓	✓/✓/–	✓/✓/–
IFTTT	–	–	–	✓	–	✓
Web-Zugang	✓ ³	– ¹	– ¹	✓	✓	– ¹
Messungen						
Abmessungen	65mm × 36mm × 126mm	44mm × 44mm × 35mm	66mm × 66mm × 111mm	57mm × 57mm × 70mm	46mm × 46mm × 69mm	124mm × 107mm × 96mm
Standby aus / an	0,4W / 1W	0,3W / 0,9W	0,2W / 0,5W	1W / 1,3W	0,4W / 0,6W	0,4W / 0,7W
Bewertung						
Ausstattung	⊕	⊖	○	⊕	○	○
Bedienung	○	○	○	⊕	○	○
Konnektivität	○	○	⊖	⊕⊕	⊕⊕	○
Messgenauigkeit	⊕⊕	⊕	⊕	⊕⊕	⊕	⊕⊕
Preis	80 €	15 € ⁴	21 €	50 €	20 €	18 € ⁴
⊕⊕ sehr gut ⊕ gut ○ zufriedenstellend ⊖ schlecht ⊖⊖ sehr schlecht ✓ vorhanden – nicht vorhanden ¹ über Tuya IoT-Portal ² über Automationsregel ³ via Fritzbox ⁴ nur im Doppelpack erhältlich						



Web-Performance Day

Tipps, Tricks und Tools für
schnellere Webanwendungen

1. Dezember 2022
Online

Jetzt
**Frühbucher-
rabatt**
sichern!

enterjs.de/web-performance.php

+++ Plus 2-Tages-Highspeed-Workshops: JavaScript und Angular +++

Veranstalter



 **heise Developer**
© Copyright by heise Media GmbH

 **dpunkt.verlag**

Unverzichtbar: Trenntrafo

Zum festen Inventar jeder Elektro-Werkstatt gehört ein Trenntrafo, der bei Reparatur und Test von Geräten für erhöhte Sicherheit sorgt. Mit Geschick und Sorgfalt lässt sich solch ein essentielles Gerät auch selbst bauen.

von Hans Borngräber



Wer den Beruf eines Radio- und Fernseh-technikers ausübt, kennt die dicken Transformatoren auf den Werkstatt-Arbeitsplätzen. Sie ermöglichen ein gefahrenfreies Arbeiten an Geräten, deren Schaltungen direkt mit dem Netz verbunden sind. Alte Fernseher und historische Radiogeräte hatten keinen Transformator, der die Elektronik galvanisch vom Netz getrennt hätte; sie konnten teilweise sowohl mit Gleich- als auch mit Wechselstrom betrieben werden. Noch in den 1950ern gab es Gleichstromnetze in Orten mit lokaler Stromversorgung. In Gleichstromnetzen funktionieren Transformatoren bekanntermaßen nicht.

Durch die fehlende galvanische Trennung bedeutet jede Berührung einer netzspannungsführenden Elektronik (etwa auf der Primärseite eines Schaltnetzteils) Lebensgefahr. Würde man zum Beispiel ein geerdetes Messinstrument an ein solches Gerät zur Messung anschließen, würde es beim Anschließen des Masseclips zu einem gewaltigen Kurzschluss kommen, den ein FI-Schutzschalter nicht sofort abfangen kann. Denn der Masseclip ist sowohl mit der Niederspannungsmasse des Messgerätes verbunden wie auch dem Schutzleiter. Ob das der Techniker und das Messgerät unbeschadet überstehen, ist höchst fraglich.

Die Lösung lautet: *Schutztrennung*. Hierbei wird mittels eines Transformators eine Trennung der spannungsführenden Leiter vom Schutzleiter hergestellt. Es gibt nun eine ganze Reihe von Kleintransformatoren, die Elektronik galvanisch vom Netz trennen: Alle Transformatoren mit räumlich getrennten und nicht miteinander verbundenen Wicklungen wie Spielzeug- und Steuertransformatoren, aber auch Schaltnetzteile mit strikt getrennter Primär- und Sekundärseite, die natürlich auch einen speziellen Transformator enthalten. All die aufgeführten Transformatoren haben Eigenschaften, die sie für ihre Aufgabe spezialisieren. Sie liefern aber noch keine echte Schutztrennung für Arbeiten am Gerät – die Netzspannung gelangt ja nach wie vor in das Gerät. Dies kann nur ein Trenntransformator leisten.

Getrennte Wege

Auch auf dem Bau gibt es Arbeiten, bei denen eine Erdpotentialfreiheit erforderlich ist. Dies ist immer dann der Fall, wenn bei Stemm-Arbeiten im geerdeten Bereich gearbeitet wird. Dann muss der Elektrobohrhammer über einen Trenntrafo versorgt werden, denn die Vollmetall-Gehäuse dieser Maschinen bieten keine Schutzisolierung. Diese wird dann über den Trenntrafo hergestellt.

In doppelt geerdeten Operationssälen werden die Messgeräte zur Überwachung des Patienten schutzisoliert mit Trenntrafo betrieben, um den Patienten zuverlässig

Kurzinfo

- » Sinn und Zweck von Trenntransformatoren
- » Anwendungen in der Praxis
- » Selbstbau eines Trennstelltrafos für die Werkstatt

Checkliste



Zeitaufwand:

2 bis 3 Tage



Kosten:

ab 250 Euro, je nach Leistung



Werkzeug:

Lötkolben, Seitenschneider, Crimpzange, Standbohrmaschine, für Gehäusebau

Material

- » Trenntrafo min. 250VA
- » Spar-Stelltrafo min. 250VA
- » Zeiger-Einbaumessinstrumente 1A und 250V für Wechselspannung
- » Elektronische Bauteile laut Stückliste (siehe Link)

Mehr zum Thema

- » Carsten Meyer, Messgeräte für Maker, Make: 6/20, S. 10

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/x5j6



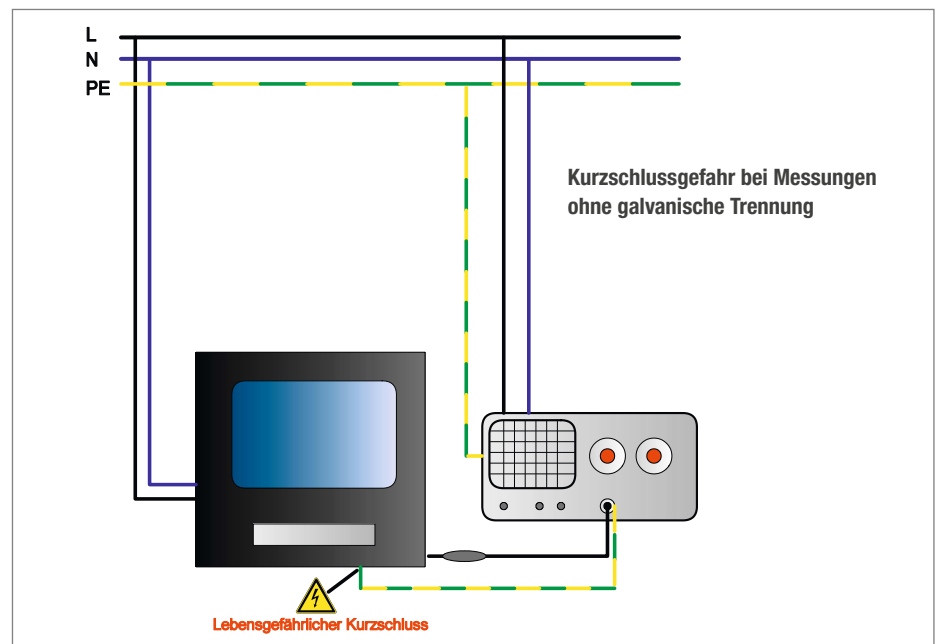
vor lebensgefährlichen Stromschlägen zu schützen. In ganz kritischen Fällen werden die Messgeräte mit Akkus oder Batterien betrieben. Das gleiche gilt auch für die Aufwchräume und die Räume für die Operationsvorbereitung.

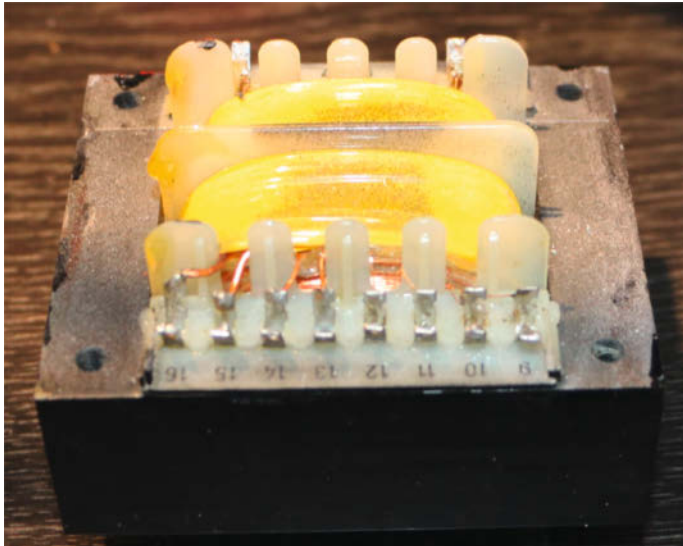
Die heute beliebten Schaltnetzteile haben eine „heiße Seite“, die unter Netzpotential steht, und die Niederspannungsseite, die galvanisch getrennt ist. Will man so ein Netzteil reparieren, ist dieses meist auf der Seite mit

Netzpotential defekt. Hier hilft der Trenntransformator, auf der „heißen Seite“ sichere Messungen durchzuführen.

Trenntrafo-Anforderungen

Was macht nun einen Transformator zum Trenntransformator? Die *Schutzklasse II* (doppelte Isolierung, Schutztrennung) gibt schon einen ersten Hinweis, was von einem Trenntransformator gefordert wird.





Kleinerer 65-VA-Transformator mit zwei getrennten Kammern für Primär- und Sekundärseite



Schutzisolierter 400-VA-Ringkerntrafo: In dieser Leistungsklasse muss man schon mit einem recht hohen Gewicht rechnen (hier 9kg).

Primär- und Sekundärwicklung müssen so aufgebaut sein, dass ein Schluss zwischen beiden Wicklungen ausgeschlossen ist. Dies kann durch Wickelkörper mit zwei getrennten Kammern erreicht werden oder eine geerdete Schutzfolie zwischen Primär- und Sekundärwicklung. Die geerdete Schutzfolie wird heute nicht mehr verwendet, hat aber noch Bestandsschutz, d.h. damit ausgerüstete Geräte dürfen weiterbetrieben werden.

Nach jeder Wicklungslage muss eine Lagenisolation eingebracht werden. Diese muss aus einer elektrisch durchschlagsfesten Kunst-

stoffolie bestehen. Der gesamte Trenntransformator muss im Vakuum mit einem Zweikomponenten-Gießharz getränkt werden. Dies gilt dann als erste Isolierung. Die zweite Isolierung wird durch das äußere Kunststoffgehäuse erreicht.

Wird ein Trenntransformator mit einem Ringkern hergestellt, so ist die erste Isolationsfolie auf dem Eisen des Ringkernes doppelt ausgeführt. Genau wie bei einem normalen Trafo muss dann jede Wicklungslage mit Lagenisolation versehen werden. Der fertige Ringkerntrafo wird in einem runden Kunststoff-

gehäuse mit Gießharz unter Vakuum vergossen. Gießharz und Kunststoffgehäuse bilden die doppelte Isolation. Ein weiteres Gehäuse zur Isolation ist dann nicht erforderlich.

Zweckmäßigerweise sieht man zum Anschluss des zu prüfenden/reparierenden Geräts eine Steckdose ohne Schutzkontakte vor. Wird eine Schuko-Steckdose (etwa in Einbau-Ausführung) für den sekundärseitigen Anschluss verwendet, müssen die beiden Schutzleiterkontakte entfernt werden. So etwas gibt es im freien Handel nicht. Man muss da selbst Hand anlegen und den Schuko-Bügel entfernen.

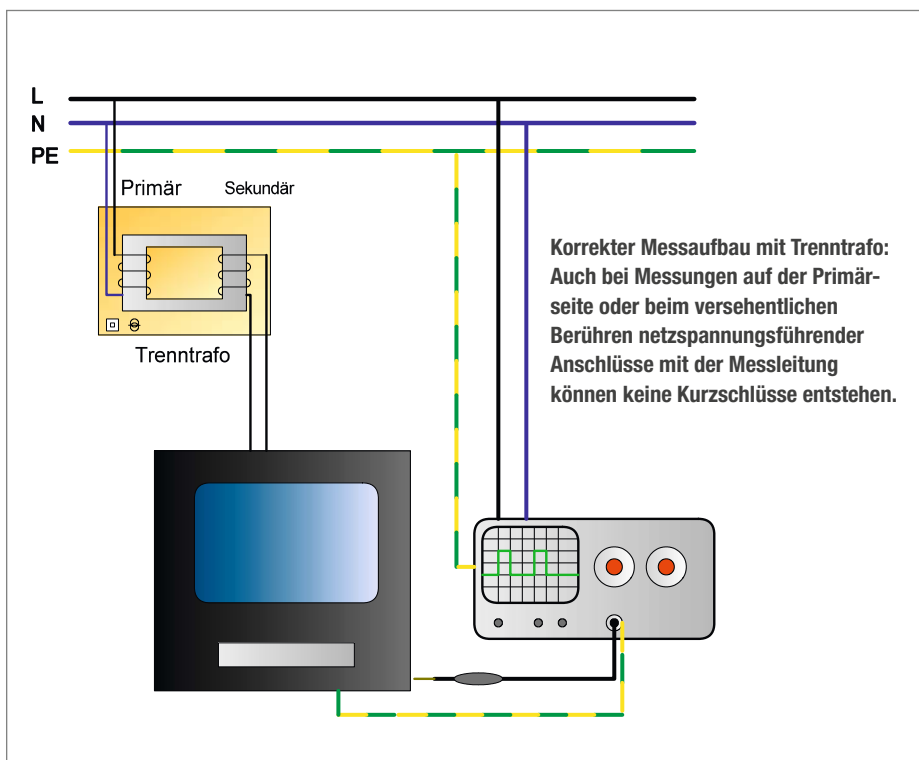
Messen mit dem Trenntrafo

Folgende Regeln gelten beim Einsatz eines Trenntrafos:

- An die Sekundärseite darf immer nur ein Verbraucher angeschlossen werden.
- Der Verbraucher darf nicht geerdet sein.
- Der Sekundärausgang darf keinen Schutzleiteranschluss besitzen.
- Das Messgerät darf nicht an den Trenntrafo angeschlossen werden.
- Nach dem Trenntrafo darf keine weitere Schutzmaßnahme zugeschaltet werden.

Hält man sich an diese Regeln, ist ein sicheres Arbeiten gewährleistet. Muss man dagegen Messungen direkt am Lichtnetz machen, um zum Beispiel den Sinus der Wechselspannungsversorgung auf Oberwellen zu kontrollieren, müssen Messwandler-Trenntransformatoren eingesetzt werden. Das sind Trenntransformatoren mit erweitertem Frequenzbereich. Von einigen Oszilloskop-Herstellern gibt es auch Messspitzen mit integriertem Messwandler, die sind aber nicht ganz günstig.

Eine sehr praktische Variante des Trenntrafo ist der einstellbare Trenntransformator.



Die Kombination aus Trenntrafo und einstellbarem Spartransformator ergibt eine einstellbare Wechselspannungsquelle. Der Spartransformator selbst bringt üblicherweise keine galvanische Trennung mit.

So etwas wird benötigt, wenn man zum Beispiel alte Elektronik, die längere Zeit nicht in Betrieb war, wieder einschalten möchte. Solche Geräte dürfen nur vorsichtig mit zunächst geringerer Spannung eingeschaltet werden, ansonsten kommt es zu Schäden, vor allem an den Elektrolytkondensatoren. Repariert man Schaltnetzteile, ist so ein regelbarer Trenntrafo ebenfalls eine wertvolle Hilfe, um Defekte auf der Schaltnetzteilseite mit Netzpotential zu finden. Auch bei der Inbetriebnahme neuer Schaltungen mit Netzversorgung ist es sinnvoll, erstmal die Spannung langsam zu steigern. So verhindert man bei Schaltungsfehlern, dass es zu Zerstörungen an der neuen Schaltung kommt. Ebenso lässt sich das Verhalten einer Schaltung bei Über- oder Unterspannung prüfen.

Einstellbare Transformatoren gibt es aus asiatischen Quellen. Nur besitzen diese im Allgemeinen keine galvanische Trennung. Es fehlt der teure Trenntrafo. Diese Tatsache wird gern in den Angeboten verschwiegen. Gute Geräte gibt es aus ehemaliger DDR-Produktion von der Firma *Statron* (ehemals *VEB RFT Fürstenwalde*). Die Firma gibt es heute noch, sie bietet auch Neuentwicklungen an. Die sind nicht unbedingt günstig, aber dafür zuverlässiger als die asiatische Konkurrenz und mit echter Schutztrennung ausgestattet.



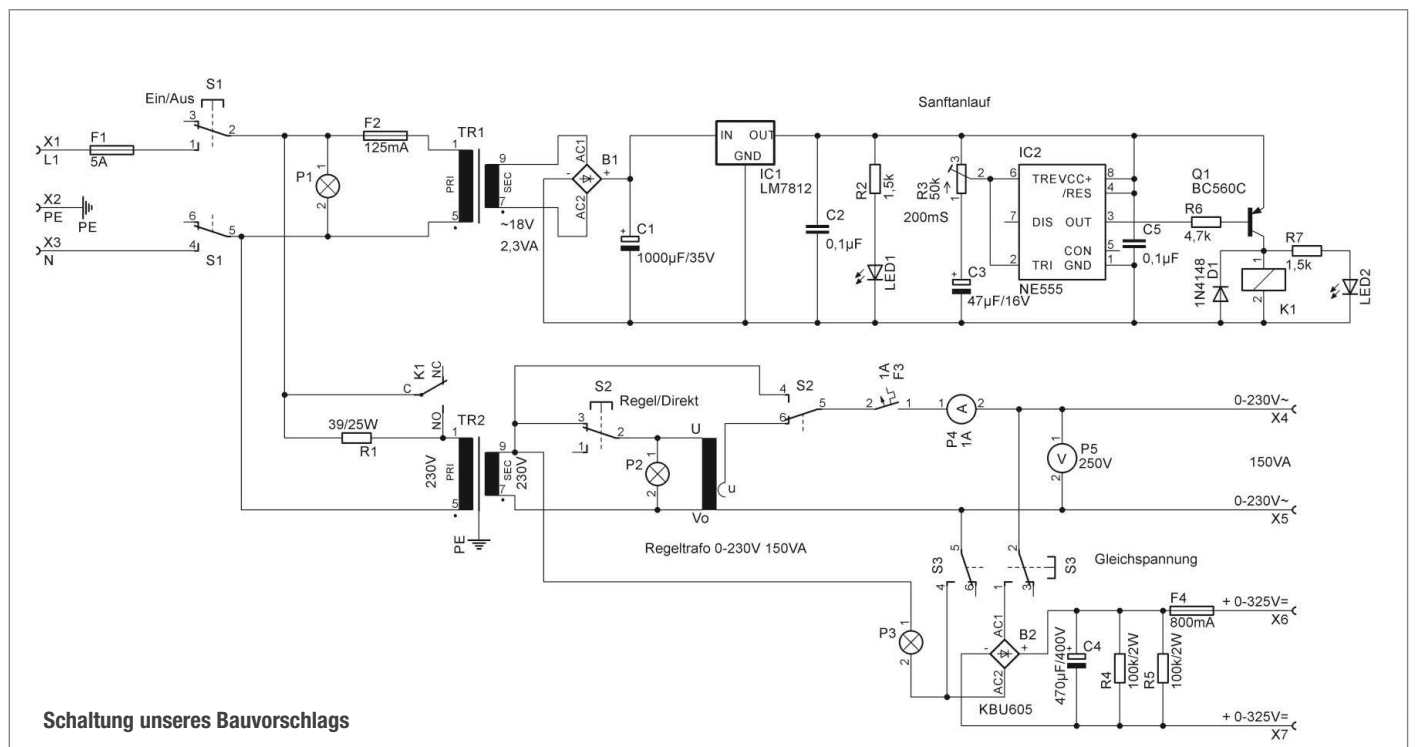
Nur selten verirrt sich solch ein Schwergewicht auf einen Flohmarkt:
Trennstelltrafo von RFT in Gründerzeit-Qualität (vom Einschaltnebel abgesehen).

Selbstbau

Die universellen Stell-Trenntrafos sind begehrt und erzielen beim Verkauf auch als Gebrauchtgeräte hohe Preise. Wer es sich zutraut, kann sich solch einen Regel-Trenntrafo selbst bauen. Es ist zwar ein anspruchsvolles Projekt, es lohnt sich aber und man lernt so einiges. Der Selbstbau lohnt vor allem dann, wenn schon Einzelteile (wie etwa ein dicker Trenn-

trafo oder ein passendes Gehäuse) vorhanden sind. Da es sich bei dem Bau dieses Gerätes um einen Aufbau mit lebensgefährlichen Spannungen handelt, gibt es einiges zu beachten:

- Alle Litzenenden müssen mit Aderendhülsen versehen sein.
- Verschraubte Litzenenden dürfen nicht verzinkt werden.
- Flachsteckanschlüsse und Lötanschlüsse





Rückseite der Frontplatte, zur Verdrahtung bereit

müssen mit Schrumpfschlauch isoliert werden.

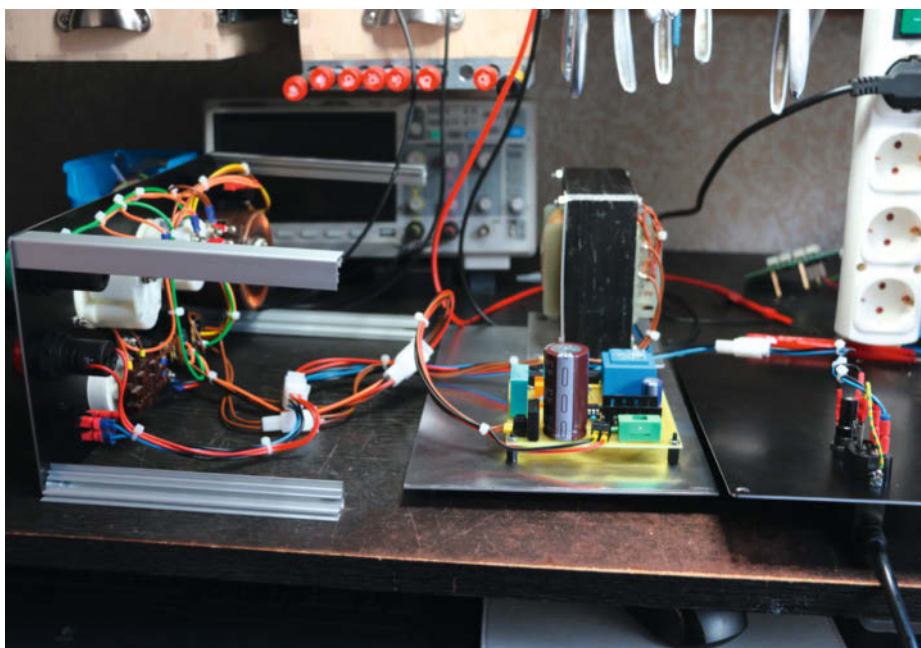
- Minimaler Litzen-Querschnitt 0,5² mm, besser mehr.
- Alle Schalt- und Steckmaterialien müssen für 250V Wechselspannung geeignet sein.
- Die Verdrahtung muss mit Kabelbindern sauber abgebunden werden. Keine „Spaghetti-Verdrahtung“!
- Der feste Sitz aller Anschlüsse muss geprüft werden.

Sollte der Maker nicht über die Qualifikation einer Elektrofachkraft (EFK) verfügen, ist es ratsam vor dem ersten Einschalten eine solche

Person zur Hilfe zu rufen. Diese prüft dann den Aufbau und zeigt eventuelle Schwachstellen auf. Gefundene Fehler sind vor dem ersten Einschalten zu beheben. Verläuft das erste Einschalten ohne Rauch und Qualm, kann die Elektrofachkraft mit einem Schutzmaßnahmen-Prüfgerät den Eigenbau-Stelltrenntransformator auf seine elektrische Sicherheit überprüfen.

Unser Bauvorschlag eines Stelltrenntrafos mit zusätzlichem Gleichspannungsausgang besteht aus mehreren Baugruppen:

- Trenntrafo
- Sparstelltrafo



Dreiteiliger Aufbau mit Front-, Boden- und Rückplatte, hier noch ohne Schutzisolierung des Trenntrafos (rechts).

- Messgeräte
- Einschaltstrombegrenzung
- Brückengleichrichter mit Siebkette

Beginnen wir im Schaltbild oben links: Über X1-3, F1 und S2 wird der Schaltung die 230V-Netzspannung zugeführt. F1 ist mit 5A sehr groß, dies ist dem hohen Einschaltstrom geschuldet, denn trotz Einschaltstrombegrenzung fließen immer noch mehr als 4A Einschaltstrom. Ohne Einschaltstrombegrenzung löst ein 16A Leitungsschutzschalter jedes Mal aus. Der hohe Einschaltstrom wird von dem Trenntrafo in Verbindung mit dem Stelltransformator verursacht: Die große Menge Eisen will erstmal magnetisiert werden. Ohne Magnetfeld liegt ein satter Kurzschluss an.

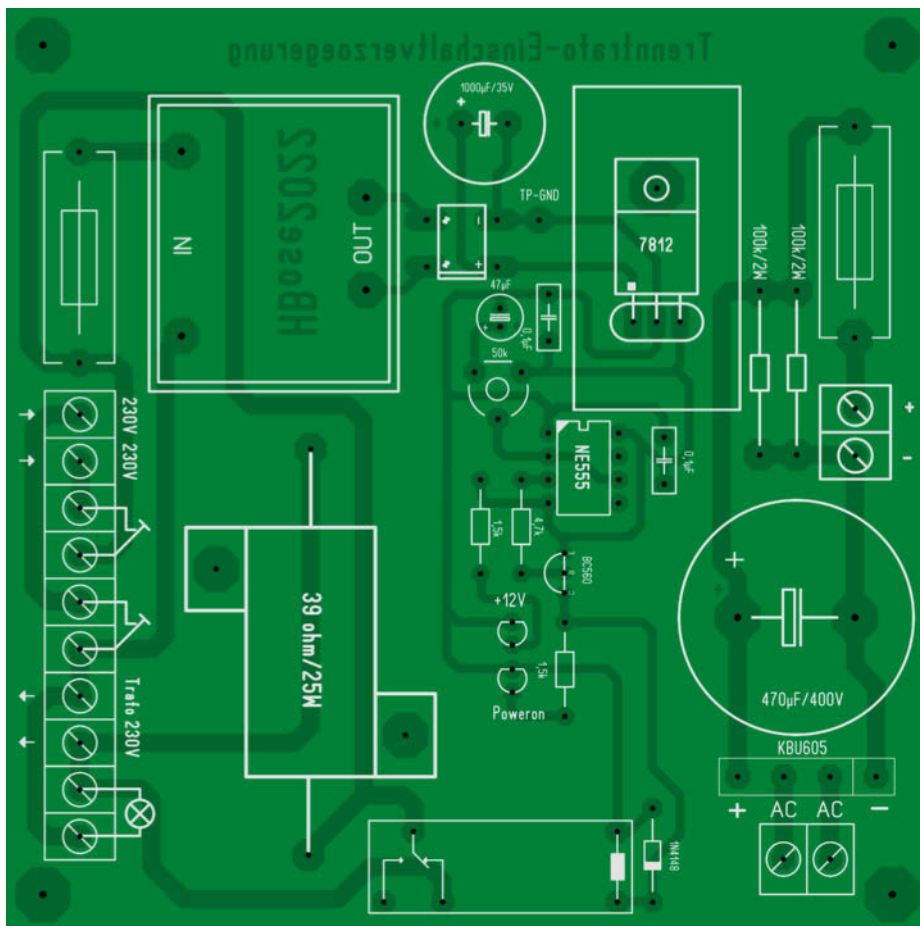
P1 signalisiert, dass Netzspannung anliegt. F2 sichert den Printtransformator ab. Der erzeugt über B1, C1 und IC1 eine stabilisierte 12V-Spannung. Die 12V werden für den Betrieb der Timer-Schaltung mit dem NE555 benötigt, die um 200ms verzögert das Relais K1 einschaltet. K1 bleibt während des kompletten Betriebes angezogen. Der Schließkontakt von K1 überbrückt nach 200ms den Strombegrenzungswiderstand R1. Dadurch wird verhindert, dass der Leitungsschutzschalter auslöst. TR2 ist der eigentliche Trenntrafo mit Schutzwicklung (hier eine alte Bauform mit Bestandsschutz). Über S2 kann zwischen Regelbetrieb oder Vollspannungsbetrieb umgeschaltet werden. Leuchte P2 signalisiert den Regelbetrieb. Der Ausgang des Stelltransformators geht über F3 zu den Messgeräten und dann zu den Ausgangsklemmen X4 – X5.

Mit S3 kann der Brückengleichrichter zugeschaltet werden. Sicherung F4 sichert die beiden Ausgangsbuchsen X6 – X7 ab. Leuchte P3 zeigt an, dass die Gleichrichterschaltung unter Spannung steht. Die Widerstände R3 und R4 entladen den Glättungskondensator C4, wenn das Gerät ohne Last abgeschaltet wird. R3 und R4 verhindern auch, dass sich der Glättungskondensator nach dem Abschalten wieder von selbst auflädt. Dies geschieht durch dielektrische und chemische Prozesse in den Hochvoltkondensatoren nach dem Abschalten. Es könnten sich sonst Spannungen von bis zu 60V aufbauen.

Gleichspannungsausgang

Achtung: Auch die Gleichspannung an X6 – X7 erreicht je nach Einstellung **lebensgefährliche Werte**. Es dürfen nur Messkabel mit Sicherheitsisolierung an die Ausgangsbuchsen angesteckt werden. Die normalen 4mm-Laborstecker mit blanken Steckern sind hier absolut tabu. Ebenso müssen die Aufbauten, die aus der Gleichspannungsquelle versorgt werden, gegen unbeabsichtigte Berührung geschützt sein.

Die beiden Messgeräte zeigen im Gleichspannungsbetrieb nur die eingestellte Wech-



Bestückungsseite der Platine. DIY-freundlich wurde sie mit einseitiger Kupferlage entworfen.

selspannung und den Wechselstrom an. Sie sind für Gleichspannungsmessungen nicht geeignet. Durch die Gleichrichtung liegt die Gleichspannung etwa um den Faktor 1,4 höher. Deshalb muss die Gleichspannung über ein externes Messgerät kontrolliert werden.

Gehäuse

Das in den Fotos gezeigte Gehäuse wurde aus beidseitig schwarz eloxierten Aluminiumblechen gebaut (2mm für Front und Rückseite, 1,5mm für die Seitenteile). Die Beschriftung erfolgte auf einer CNC-Fräsmaschine, in dem die Eloxal-Schicht 0,1mm durchgefräst wurde. Zum Einsatz kam ein 60° Gravierfräser bei 20.000 U/min, gekühlt wurde mit Brennspritus. Die seitlichen Montageprofile zum Einschieben von Blechen stammen von der Firma Gietec.

Sollte man nicht über die entsprechende Ausrüstung verfügen, fertigt man eine CAD-Zeichnung an und lässt den nächstgelegenen Schilderdienst die Front fräsen. Dunkel eloxiertes Alu-Blech lässt sich übrigens auch mit einem Lasercutter beschriften, die Eloxalschicht wird durch die Hitze des Laserstrahls weiß. Um die Beschriftung dauerhaft zu machen, kann man

das Alu einige Minuten in dünner Natronlauge kochen.

Wichtig für die Sicherheit des Gehäuses ist die korrekte Erdung aller Metallteile. Der Trenntrafo muss in einem separaten Kunststoffgehäuse verbaut werden.

Platine

Die Platine wurde mit *Sprint Layout 6.0* erstellt. Die Datei dazu findet sich unter dem Link im Kurzinfo-Kasten. Sie kann mit dem kostenlosen *Sprint Layout Viewer* ausgedruckt werden. Wenn man die Platine nicht selbst herstellen kann, kann die Sprint Layout Datei auch bei einem Platinen-Dienstleister gefertigt werden. Die europäischen Dienstleister können alle *Sprint-Layout*-Dateien verarbeiten.

Aus Sicherheitsgründen befindet sich unterhalb der Platine eine 0,3mm starke PE-Folie als Berührungsschutz. Die gesamte Platine wird mit vier 10mm-Kunststoff-Abstandsbolzen befestigt. Der dicke Widerstand für die Einschaltstrombegrenzung muss mit zwei M3-Kunststoffschrauben gesichert werden. Die Stückliste (siehe Link) dient als Anhaltspunkt. Durch die sich ständig ändernde Liefersituation muss das eine oder andere Bauteil eventuell durch ein Pendant ersetzt werden. —cm

Das Magazin von Fotografen für Fotografen



Drohnenfotografin und c't Fotografie-Autorin

Andrea Künstle, fotografiert u. a. in Deutschland, Sumatra, Kambodscha und vielen anderen Ländern.

„Fotografie ist für mich nicht schauen, sondern fühlen!“

Andrea Künstle

2 x c't Fotografie testen

- 2 Ausgaben kompaktes Profiwissen für 14,30 €
- 35 % Rabatt gegenüber Einzelheftkauf
- Inkl. Geschenk nach Wahl
- Wöchentlicher Newsletter exklusiv für Abonnenten



www.ct-foto.de/miniabo

www.ct-foto.de/miniabo

+49 541/80 009 120

leserservice@heise.de

Im Maker-Paradies: Aktoren und Sensoren vom Schrott

Alte und defekte, aber auch neue, funktionierende Geräte landen in unserer Wegwerfgesellschaft schnell auf dem Schrott. Vieles lässt sich mit einfachen Reparaturen wieder brauchbar machen. Aber falls nicht, kann man aus ihnen mit wenig Aufwand wertvolle und teure Teile wie Motoren, Sensoren und Elektronik ausbauen. Da Wertstoffrecycling mittlerweile ein gutes Geschäft ist, sollten ein paar rechtliche Gegebenheiten beachtet werden.

von Ramon Hofer Kraner



Immer wenn ich auf Schrottplätzen oder Recyclinghöfen bin, tränen mir die Augen. Unglaublich, was die Konsumgesellschaft so wegschmeißt. Zum Teil neue und eingeschweißte Geräte, die einfach nicht verkauft wurden, zurückgingen oder niemand mehr braucht, werden dort entsorgt. Geräte, die den neuesten Standards und Trends nicht mehr entsprechen oder Softwareprobleme haben, landen ebenfalls auf dem Müll.

In diesem Artikel geht es darum, solch wertvollen Abfall genauer unter die Lupe zu nehmen. Da ich schon vieles vom Schrott geholt habe, möchte ich hier gerne zeigen, was es denn so alles im Maker-Paradies Schrottplatz zu holen gibt. Ich konzentriere mich in diesem Artikel auf elektronische Aktoren und Sensoren für Maker-Anwendungen, da dies meines Erachtens die wertvollsten und am leichtesten wiederverwertbaren Teile vom Schrott sind. Elektronische Bauteile finden sich natürlich auch in vielen Geräten. Neuere Geräte besitzen aber so eng bestückte Platinen, dass es praktisch nur mit großem Aufwand möglich ist, Teile zu recyceln. Vielfach ist eine Weiterverwendung auch deshalb unmöglich, weil Spezial-Software für die Neuprogrammierung von Mikroprozessoren und besondere Werkzeuge zum Ausbauen der Teile vorhanden sein müssen. Wer auf der Suche nach

Kurzinfo

- » Welche Teile auf dem Schrott sind interessant für Maker?
- » Darf ich das? Rechtliche Fragen und Antworten
- » Beispiele für wertvolle Geräte und enthaltene Komponenten

Checkliste



Zeitaufwand:
2 Stunden



Kosten:
0 Euro

Werkzeug

- » Maker-Werkzeug
Alles, was man zur Demontage und Reinigung der Geräte braucht

Mehr zum Thema

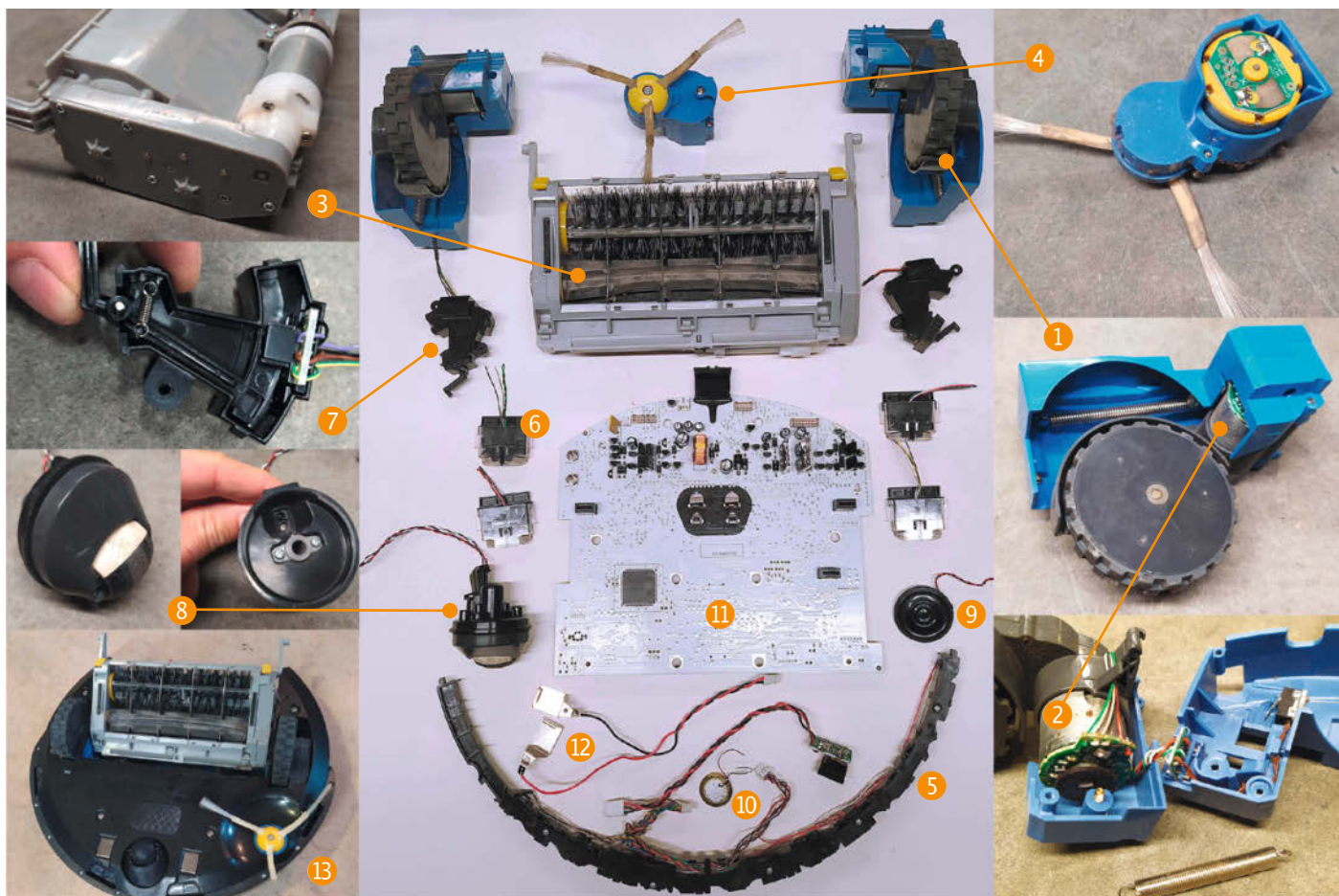
- » Carsten Wartmann, Reingeschaut: Rasenmäher Roboter, Make 5/22, S. 92
- » Johannes Börnsen, Eigenbau-Drechselbank, Make 3/22, S. 82
- » Carsten Wartmann, Alles über Bürstenroboter, Make 6/19, S. 78
- » Philip Steffan, Floppy-Symphonie, c't Hacks 1/14, S. 148

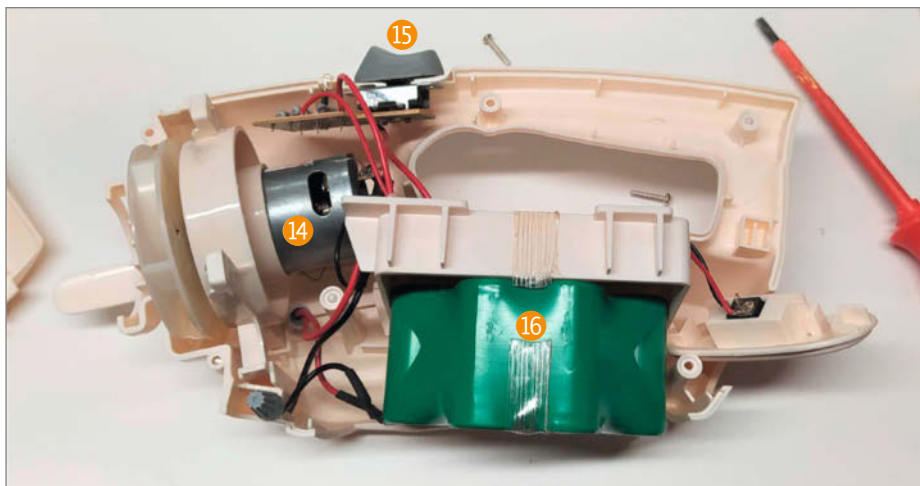
Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/x3rd



Rechtliches

Es sei vorab bemerkt, dass es in der Regel nicht erlaubt ist, Recycling-Abfälle von der Recyclingstelle mitzunehmen. Es gibt Orte,





da darf man nicht einmal von jemandem etwas entgegennehmen, der gerade Sachen bringt. Auch legale Sperrmüllsammlungen auf der Straße können noch rechtliche Fragen aufwerfen, wie diverse Gerichtsurteile zeigen. Hier gibt es noch viel Unsicherheit und unterschiedliche Regeln der einzelnen Kommunen (Links in der Kurzinfor). Verboten ist es auf jeden Fall, bei seiner Suche den Müll zu verteilen. Das gilt auch bei illegalen Ablagerungen auf öffentlichem Grund. Steht etwas am Grundstücksrand mit einem Schild „Zum Mitnehmen“, so ist alles klar. Ein interessantes Gerät aus der Mülltonne zu fischen ist aber wiederum verboten. Sie sehen, hier gibt es viele rechtliche Fußangeln. Im Zweifelsfall deshalb lieber auch mal einen Schnapper liegen lassen.

Für die Diskussion mit den Recyclinghofmitarbeitern ist Fingerspitzengefühl angebracht. Es sollten gute Gründe für eine überzeugende Argumentation vorhanden sein, warum man jetzt genau dies und das benötigt. Basteln mit Kindern und Schülern ist so ein Argument. Suchen Sie das Gespräch und zeigen Sie vielleicht auch an einigen Beispiel-fotos, was Sie vorhaben – das wirkt oft Wunder. Nicht selten findet man auch bei illegal entsorgtem Müll interessante Sachen, die man dann mitnehmen kann und auch gleich der Gemeinde Bescheid sagen, wo der Müll liegt. Die Nachbarn und die Familie zu sensibilisieren, was man so sucht, hilft auch. Auch Onlineplattformen (hier in der Schweiz z. B. *Tutti.ch*, in Deutschland etwa *eBay-Kleinanzeigen*) bieten viele Gratisangebote.

Darunter finden sich viele Elektrospielzeuge und -Geräte.

Und als Geheimtipp lohnt es, bei Firmen nachzufragen, ob man kurz einen Blick in ihre Entsorgungstonne werfen kann. Da finden sich manchmal neben Elektrogeräten auch Rohmaterialschätze (z. B. Alustangen, Holzplatten, Kunststoffabdeckungen, Draht usw.).

Roboterstaubsauger

In Bezug auf die Anzahl gut verwertbarer Aktoren und Sensoren dürfte der Roboterstaubsauger unschlagbar sein. In seinem Inneren sind immer zwei DC-Getriebemotoren (ca. 5-12V) mit Grip-Gummirad 1 zu finden. Diese lassen sich perfekt als Antrieb für fahrende Maker-Projekte verwenden. Die Räder drehen sich dank Getriebe mit langsamen ca. 35 U/min bei 5V und haben ein brauchbares Drehmoment. Man könnte sie z. B. auch als Förderband- oder Seilrollenantrieb benutzen. Aber damit nicht genug: Auch sind meist noch Encoder an den Motoren 2, die es erlauben, die Radumdrehung genau zu erfassen. Bei vielen Saugern werden Rad-Module mit integrierten Tastern oder Federn verbaut. Diese detektieren, wenn der Roboter angehoben wird. Praktisch als weiterer Sensor in einem Maker-Projekt: Damit kann z. B. beim Unterschreiten des Anpressdruckes einer Rolle ein Signal ausgelöst werden.

Zusätzlich zu den schönen Antriebsmotoren bietet der Roboter meist auch noch ein bis zwei (manchmal sogar mehr) weitere Motoren aus den Hauptwischern 3 und den

Zusatzwischern 4. Auch diese haben meist ein Getriebe und bieten so eine attraktive Grundlage für weitere Einsätze.

Des Weiteren sind oft interessante Sensoren in den Reinigungshelfern enthalten: Z. B. sind Infrarot(IR)-Distanzsensoren verbaut, die verhindern, dass der Roboter in Hindernisse fährt. Beim abgebildeten und gut zerlegbaren Roomba werden diese Sensoren vorne und unten eingebaut, wobei es hier einfach einzelne IR-LEDs (ohne eingebauten Vorwiderstand) zusammen mit IR-Dioden sind 5. Weitere IR-Sensorenpaare zeigen auf den Boden 6 und zusätzlich sind als Anstoß-Sensoren (*Bumper*) auch noch zwei Spezialtaster eingebaut. Diese funktionieren per mechanisch ausgelöster IR-Lichtschranke 7. Und zu guter Letzt besitzt der ausgeschlachtete Roomba noch eine weitere IR-Lichtschranke, um die Umdrehung der Freirulle zu messen, indem die schwarz/weiß-Übergänge erkannt werden 8.

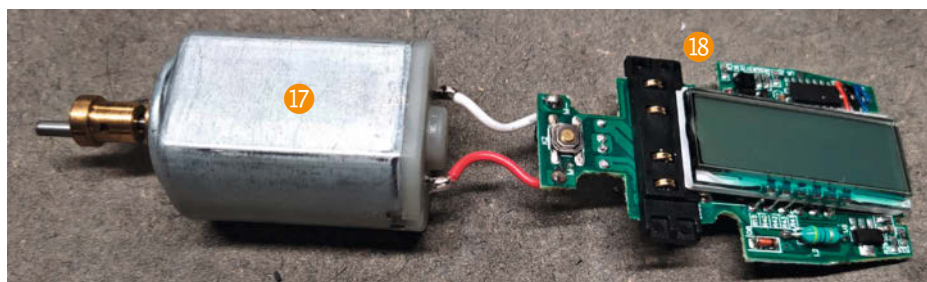
Kleinere Bauteile, die interessant sein könnten, sind ein Lautsprecher 9, ein Piezoelement 10, (auch nach einigem Googeln habe ich nicht herausfinden können, wofür dies verwendet wird) und auf der Hauptplatine 11 diverse tolle Elektronikbauteile (z. B. *MOSFETs*, mit denen sich eine *H-Brücke* zur Motoransteuerung aufbauen lässt).

Falls der Roboter nicht wegen eines defekten Akkus entsorgt wurde, erhält man damit auch eine potente Energiequelle (je nach Modell NiMH oder Li-Ionen), die sich mit dem dazugehörigen Lade-Modul super in eigene Projekte integrieren lässt. Auch die bereits vorhandenen Ladekontakte 12 an der Außenseite des Roboters lassen sich bei mobilen Projekten wiederverwenden. Ist auch die Basisstation im Müll gelandet, hat man auf einen Schlag eine schöne und komplette Grundlage für mobile Roboter. Dafür lässt sich dann auch das ganze Chassis 13 des Staubsaugerroboters wiederverwenden.

Ein schönes Maker-Projekt ist sicherlich auch der Umbau eines solchen Roboters in eine DIY-Variante mit eigener Steuerung per Künstlicher Intelligenz (KI). Hierzu findet man diverse Anleitungen im Netz, mit dem Vorteil, dass man bereits alle wichtigen mechanischen Bauteile besitzt. Einige Links zur Inspiration finden Sie über die URL in der Kurzinfor.

Handstaubsauger mit Batterie

Einfache Handstaubsauger bestehen aus einem Saugmodul 14 und der Energieversorgung. Der Sauger kann vielfach direkt in Projekten weiter eingesetzt werden, in denen Luftströme benötigt werden – sei es zur Absaugung, Kühlung, Luftzufuhr oder auch, um an Wänden hochzufahren. Zudem enthält der Sauger auch einen Schalter 15 und einen großen Akku 16, falls dieser nicht wegen eines Defekts der Grund für die Entsorgung war.



Rasierapparate und elektrische Zahnbürsten

Wer auf der Suche nach kleinen Motoren ist, der sollte sich elektrische Zahnbürsten oder Rasierapparate anschauen. Hier sind vielfach Motoren **17** ohne Getriebe verbaut. Der Aufbau ist sehr einfach und besteht im simpelsten Fall aus Gleichstrommotor und Standard-NiMH-Akkus, welche mit einem einfachen Ladekreis geladen werden können. Meist sind die Ansteuerungen einfach gehalten und können weiterverwendet werden. Es könnte mit so einem Motor und einer Unwucht an der Welle ein kräftiger IoT-Vibrationsalarm aufgebaut werden oder ein Bürstenroboter.

Modernere Geräte können auch sogenannte *Brushless-DC-Motoren* (BLDC, siehe S. 75) besitzen. Dabei werden keine Schleifkontakte mehr verwendet, sondern die Schaltvorgänge in den Windungen werden per Software geschaltet. Eine solche Steuerung sitzt auf der Ansteuerplatine **18** und kann oft sogar so, wie sie ist, weiterverwendet werden, indem eine Ansteuerung des Einschaltpins auf der Platine genutzt wird, um den Motor zu kontrollieren.

Datenspeicher: Video/Disk/HDD

Was haben die oben genannten Geräte gemeinsam? Sie besitzen einen relativ hochdrehenden Motor, der das Speichermedium bewegt. Bei einem Diskettenlaufwerk wird das Speichermedium mit ca. 300 Umdrehungen pro Minute (U/min) gedreht. Bei einem Videorekorder sind das schon höhere (aber immer noch bescheidene) 1500 U/min, während es bei einem Harddisk-Drive (HDD, Festplatte) ca. 15.000 U/min sein können.

Die Motoren **19** sind meist als BLDC ausgeführt. Im Netz sind viele Anleitungen zu finden, wie man HDD-Motoren z.B. für Arduino-Projekte verwenden kann. Auch mechanisch sind noch einige Komponenten interessant: Es sind sehr leichtläufige Lager **20** zu finden, die sich etwa für Windräder nutzen lassen und der Schreib-/Lesekopf bietet zwei starke Magneten **21**, die sich für elektromagnetische Experimente oder zum Halten von Bauteilen eignen.

Beim Floppy-Drive ist zur Bewegung des Schreib-/Lesekopfes ein kleiner Schrittmotor **22** eingebaut, der für kleine Linearbewegungen benutzt werden kann. Dies ist ebenfalls bei DVD/CD-Geräten der Fall, welche dadurch oft in tollen DIY-Projekten eingesetzt werden, etwa in DIY-3D-Druckern oder als Miniatur-Linearaktuator. Zum Experimentieren eignet sich auch der BLDC-Motor im Floppy-Drive **23**. Sehr spannend sind auch Floppy-Musik-Aufbauten wie in c't Hacks 1/14 beschrieben, wo die Musik durch die Ansteuerung der Schrittmotoren erzeugt wird.

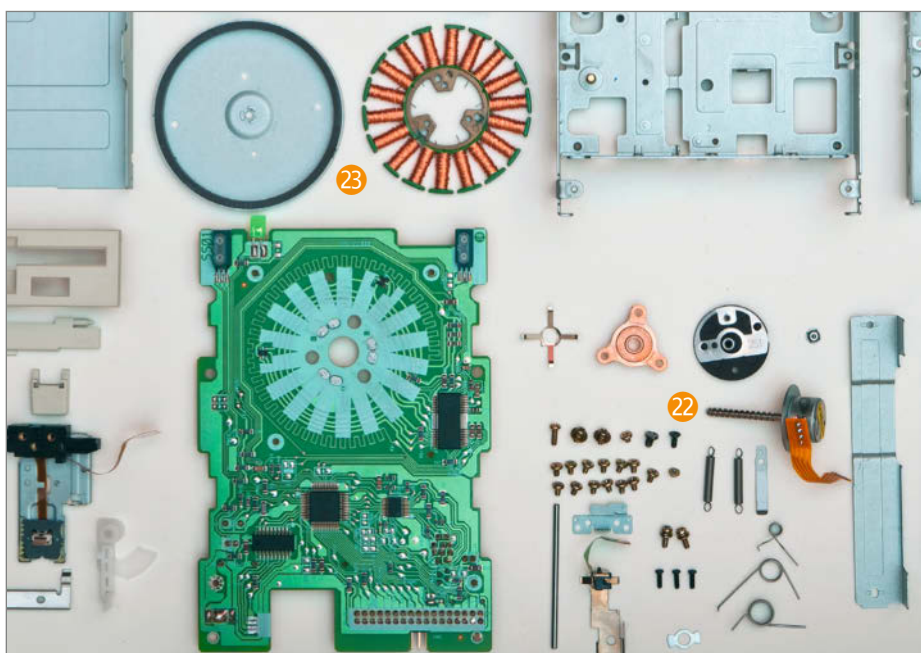


Inkjet/Laser Drucker

Durch fragwürdige Geschäftsmodelle der Druckerhersteller landen sehr viele Drucker **24** im Abfall. Das elektromechanische Innenleben funktioniert meist noch tadellos. Zu finden gibt es darin als Erstes den Hauptmotor **25**, der den Druckkopf hin- und herbewegt. Dies ist in vielen Fällen ein kräftiger DC-Motor mit einem Linear-Encoder-Streifen, der von einer Lichtschranke im Druckerkopf ausgelesen wird. Ist es möglich, den Motor komplett mit der Führung und dem Riemen zusammen auszubauen, erhält man einen wunderbaren Linearantrieb mit Submillimeter-Positionierung, wenn man die Lichtschranke im Kopf auslesen kann (*Closed-Loop-Positionierung*). Ähnliches gilt für den Blatteinzug, welcher ebenfalls einen eigenen Motor besitzt und mittels Encoderscheibe **26** eine sehr genaue Positionierung ermöglicht.

Viele moderne Drucker bieten einen integrierten Scanner. Hier gibt es prinzipiell zwei Linearantriebs-Mechanismen, die gern verwendet werden: Riemen oder Zahnrad **27**. Beide sind nutzbar für kleinere Linear-Projekte. Damit könnte man ein Modelleisenbahnprojekt bauen: Ein Auto, das hin und her fährt, oder eine Baumaschine, die werkelt. Da der Motor eine sehr hoch auflösende Encoderscheibe **28** bietet, könnte ebenso der Einsatz zur genauen Positionierung einer Probe unter einem Mikroskop möglich sein. Aber auch Anwendungen im Tim-Hunkin-Stil (siehe Links) sind möglich: Vielleicht eine Figur, die aus einem Versteck fährt und einen Alarm anzeigt?

Vor allem bei großen Laserdruckern kommen für den Einzug der Blätter und für die Papierwahl Schrittmotoren zum Einsatz. Auch Steuerplatinen, vor allem aus älteren Geräten, enthalten einige schöne Schätze wie Spulen,





Relais, Transistoren, Kühlkörper usw. bereit. Für mechanische Projekte sind auch immer wieder schöne Übersetzungen und Zahnräder **29** brauchbar. Leider sind die Zahnräder oft

nur auf die Wellen gepresst, sodass es nicht ganz einfach ist, sie unabhängig zu verwenden. Wer aber Bedarf für stabile Wellen hat, der wird hier sehr glücklich.

Da Drucker meist direkt am Stromnetz hängen, sind interessante Netzteile (siehe S. 17) verbaut. Die Druckerdüsen der Tinten-Drucker arbeiten mit höheren Spannungen von 24V oder 32V, was für Mikrocontrolleranwendungen zu hoch ist, aber mit einem nachgeschalteten Spannungswandler, in Motoranwendungen oder für Niederspannungsheizungen (z. B. für ein Druckbett oder Tauchheizungen für Aquaristik oder Labor) sinnvoll sein kann.

Handwerkzeuge

Jegliche Elektrowerkzeuge mit Akkubetrieb wie Scheren, Schrauber oder Sägen haben sehr potente DC- oder bei Qualitätsgeräten BLDC-Motoren verbaut **30**, **31**, **32**. Diese eignen sich für tolle Projekte mit hoher Kraft, z. B. große Gefährte oder Öffnungsmechanismen für Tore oder Fenster. Dabei bleiben aber die Spannungen im Bereich unter 30V, was ein Experimentieren eher ungefährlich macht. Dafür kann ein Akkuschrauber-Motor sehr hohe Ströme (jenseits 10A) ziehen, was gute Kabel (siehe S. 112), Netzteile, Akkus und Verbindungen erfordert.

Falls man gute Taster oder Schalter braucht, so findet man diese ebenfalls an den Griffen der Handwerkzeuge. Sie sind normalerweise für viele Betätigungen ausgelegt **33**, **34**.

Starke und schnell laufende Motoren habe ich aus einem Kress-Akkuschrauber, einer Rasenschere und Rasentrimmer von Bosch ausbauen können – gut für ein Modell-Pro-



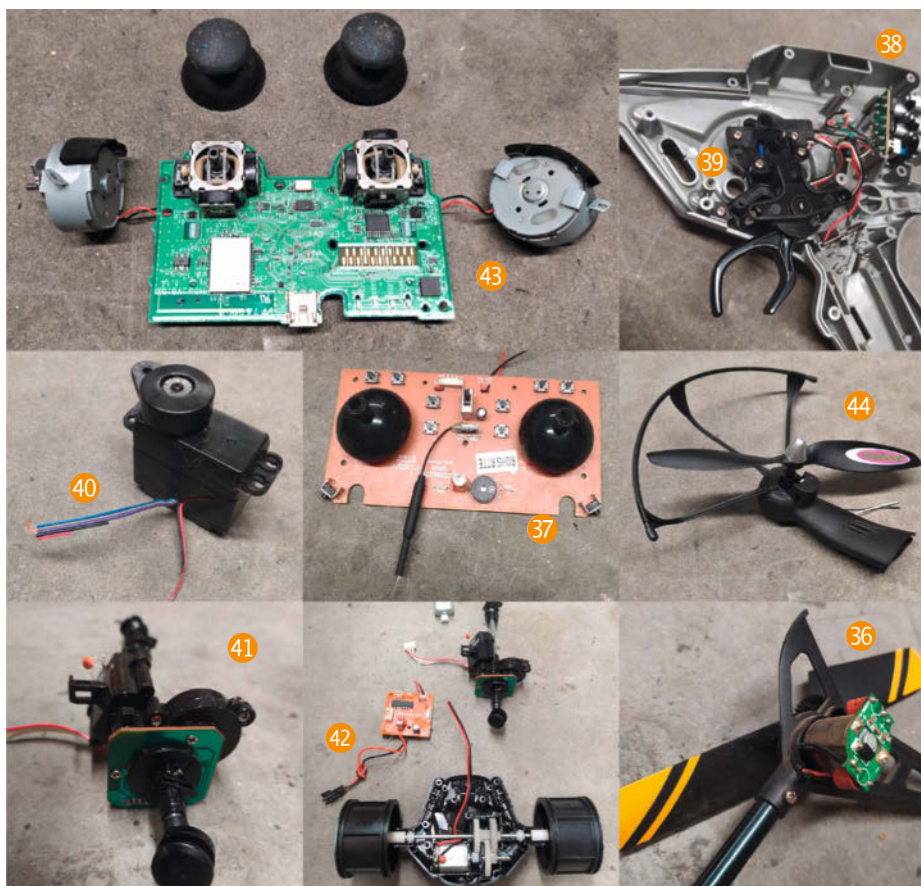
peller-Boot bzw. -Auto oder ein Modell-Luftkissenfahrzeug. Der Motor von Kress kann zusammen mit dem Planetengetriebe ³⁵ auch ein manntragendes Fahrzeug antreiben, wie die *Akkuschrauber-Rennen* immer wieder zeigen.

RC-Modelle und Spielzeug

Von kleinen Kinderspielzeugen über große Flächenmodelle und Hubschrauber ³⁶ verirrt sich irgendwann alles auf den Schrott. Hochwertige Modelle findet man jedoch generell weniger, da die Modellbauer unter sich ebenfalls den Schrott weiterzuverwenden wissen. Bei batteriebetriebenen Kinderspielzeug sieht es anders aus: Da reicht eine leere Batterie, um ein Ding auf den Müll zu befördern. Hier werkeln vielfach kleine günstige Motoren mit interessanten Platinen.

So findet man z. B. in ferngesteuerten Autos ein Setup, um drahtlose Steuerungen für eigene Projekte zu bekommen, sofern die Fernsteuerung noch vorhanden ist (z.B. ³⁷ Steuerknüppel mit Analogwert oder ³⁸ Taster für Ein/Aus). Schöne Rückstellmechaniken mit Elektronik gibt es in Autofernsteuerungen ³⁹. Und dann findet man natürlich tolle Räder und Übersetzungen, die sich leicht weiterverwenden lassen; wenn man Glück hat, auch Servos verschiedener Qualitäten ⁴⁰. Oder wie in ⁴¹ einen Motor, um eine Achse zu bestimmten Winkeln zu drehen. Daran ist auch gleich noch ein Rotationssensor (mit vier verschiedenen Winkeln) angebracht, der sich über vier Kabel auslesen lässt. Im gleichen Auto findet man ebenfalls noch einen Motortreiber (*MX1919* ⁴²), der sich problemlos für eigene Projekte in Betrieb nehmen lässt.

In *Gamecontrollern* gibt es oft zwei oder mehr Vibrations-Motoren ⁴³, die sich für kleine Zahnbürsten- oder Wobble-Roboter in Kinderprojekten verwenden lassen. Kleinere Drohnen liefern schöne Propeller ⁴⁴ mit viel Wind für Experimente. In fast allen Spielzeugen heutzutage sind Lautsprecher (und die



passenden Verstärker) verbaut. Wer sich ein richtig abgefahrenes *Toy-Recycling*-Projekt anschauen will, der navigiert zur Seite von Nikolas Roy (siehe Link in der Kurzinformatio).

Ran an den Schrott!

Wer sich auf den Schrott traut, wird reich mit nützlichen Bauteilen belohnt werden. Das Auseinandernehmen braucht seine Zeit, aber der Lerneffekt beim Analysieren der Funktionen und Teile ist nachhaltig und hilft bei neuen Projekten.

Möchte man sich die Hände erst einmal nicht schmutzig machen, kann man bei *Fictiv* (Link per Kurzinformatio) einige schöne Demontagen (*Teardowns*) ausgewählter Produkte (hauptsächlich neuere IT-Gadgets) inklusive Diskussion der Teile bestaunen. Für die Reparatur, aber auch die Demontage findet man auch bei *iFixit* viele Anleitungen.

Die Make-Redaktion und ich als Autor sind gespannt auf kreative Verwendungsideen von Schrottteilen oder einfach Anregungen in diesem Feld und freuen uns sehr über E-Mails an mail@make-magazin.de. —caw

WIR MACHEN
KEINE WERBUNG.
WIR MACHEN
EUCH EIN ANGEBOT.

© Copyright by Maker Media GmbH.



ct.de/angebot

ICH KAUF MIR DIE c't NICHT. ICH ABONNIER SIE.

Ich möchte c't 3 Monate lang mit 35 % Neukunden-Rabatt testen. Ich lese 6 Ausgaben als Heft oder digital in der App, als PDF oder direkt im Browser.

Als Willkommensgeschenk erhalte ich eine Prämie nach Wahl, z. B. einen RC-Quadrocopter.

ct.de/angebot ☎ +49 541/80 009 120 ✉ leserservice@heise.de



Motoren und Antriebe

Kaum zu glauben: Die ersten Elektromotoren drehten sich schon vor 190 Jahren, aber es dauerte noch Jahrzehnte, bis sie erste praktische Anwendungen erfuhren. Heute hat man eher die Qual der Wahl, für ein Antriebsproblem den passenden Motor zu finden. Wir geben einen Überblick der für Maker interessanten Motorvarianten.

von Carsten Meyer

Das Prinzip des Gleichstrommotors hatte schon 1820 der dänische Physiker Hans-Christian Ørstedt verstanden: Ein stromdurchflossener Leiter erzeugt ein Magnetfeld, das auf Eisen und andere Magnete eine Kraft ausübt. So richtig anzuwenden wusste dies erst der Deutschrusse Moritz Herrman von Jacobi, der den ersten praxistauglichen Elektromotor baute und ihn auch gleich als Antrieb für ein Boot verwendete: 1838 schipperte er damit auf der Newa bei Sankt Petersburg herum. Sein batteriebetriebener 200W-Motor wies mit Kommutator, Feld und Erregerwicklung schon deutliche Merkmale heutiger Universalmotoren auf. Viele Erfindungen jener Zeit verschwanden wieder schnell – etwa das Kravogl-Krafttrad von 1867, bei dem der Anker durch Schwerkraft in Position gehalten wird, oder der Egger-Elektromotor von 1875, der den Hub von Elektromagneten über eine Kurbelwelle in Drehbewegung umsetzt. Andere Entdeckungen wie der Homopolarmotor sind heute noch bekannt, fristen aber mangels Wirkungsgrad eher ein Schattendasein oder sind Gegenstand verschwörungstheoretischer Betrachtungen.

Auch wenn der erste Elektromotor eigentlich ein Universalmotor mit Reihenschluss-Erregung (dazu später) war, beginnen wir hier mit dem permanentenerregten Gleichstrommotoren – das ist der klassische DC-Motor, für viele Bastler der Erstkontakt mit der Elektrotechnik. Auch er gehört zu den älteren Konstruktionen – weil man zu Zeiten seiner Erfindung ja nur auf galvanische Elemente (Batterien) als Stromquelle zurückgreifen konnte.

Gleichstrommotoren

Der DC-Motor mit Permanentmagneten ist nach wie vor die meistgebaute Motorenausführung, weil er so einfach herzustellen und robust ist. Die Anwendung reicht vom winzigen Vibrationsmotor im Smartphone über Spielzeuge bis zum Kühlerventilator im Auto; oft ist er auch in Maschinen zu finden, wenn eine einfache Drehzahlregelung gewünscht ist und man sich den Aufwand für einen Frequenzumrichter sparen will.

Man erkennt ihn leicht an charakteristischen Trommelanker, der von feststehenden Permanentmagneten umgeben ist – im einfachsten Fall Halbschalen aus billigem Ferritmaterial. Der Strom wird dem Anker über Schleifkontakte (sogenannte *Bürsten*) zugeführt. Dabei sorgt der *Kommutator* (auch *Kollektor* oder *Polwender* genannt) dafür, dass der Strom immer jene Spulen erreicht, die als nächste vom Dauermagnet-Paar angezogen werden. Permanentenerregte Gleichstrommotoren lassen sich ohne weiteres als Generator einsetzen; man braucht noch nicht einmal einen Gleichrichter, weil diese Aufgabe der

Kurzinfo

- » Grundlagen Elektromotoren, Motortypen
- » Induktion und elektromotorische Kraft
- » DC-, Universal- und Drehstrommotoren
- » Schrittmotoren und Servoantriebe

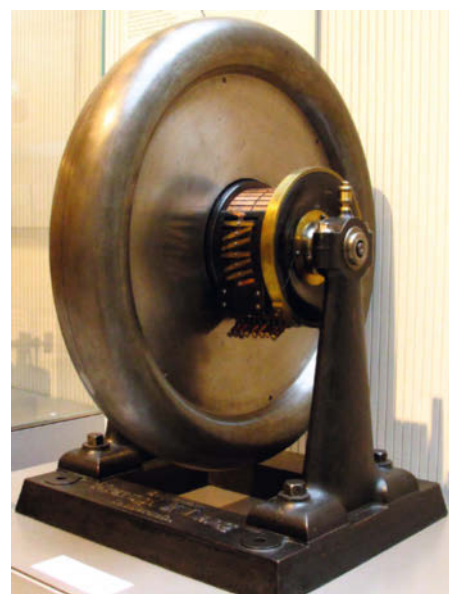
Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/x93j



Kommutator erledigt. Idealerweise erzeugt ein 12V-Motor, der von außen mit Nenndrehzahl angetrieben wird, auch ebendiese 12V.

Das bringt uns gleich zu einer elementaren Erkenntnis: Ein idealer Elektromotor würde im Leerlauf gar keinen Strom aufnehmen, weil er ja genau die gleiche Spannung selbst erzeugt (*Gegen-EMK*, siehe Kasten), die er für die momentane Drehzahl benötigen würde. Umgekehrt wird der ideale Motor im blockierten Zustand unendlich viel Strom aufnehmen. Das gilt im Prinzip für alle Bauarten! Aus dem gleichen Grund verringert (!) sich die Drehzahl eines Motors, wenn man die Magnete stärker auslegt: Durch das stärkere Magnetfeld wird im Anker eine höhere Gegen-EMK erzeugt, somit erreicht der Motor das Gleichgewicht aus versorgender Spannung und Gegen-EMK schon bei geringerer Drehzahl. Mit der Stärke des Magnetfeldes steigt indes das erzielbare Drehmoment.

Die Drehzahl lässt sich somit einfach über die angelegte Spannung steuern – dieses Wissen ist sozusagen Kulturgut: Weil batterie-



Das Kravogl-Krafttrad rotierte um einen im Innern gelagerten Weicheisen-Massekörper. Die Leistung des Monstrums betrug rund 7W.

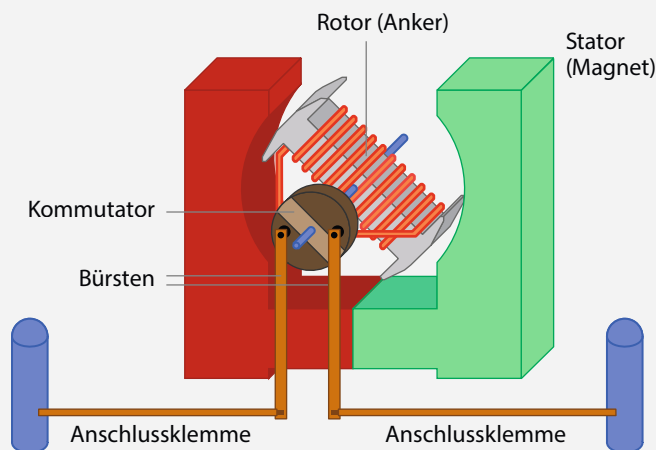


DC-Motoren gibt es in den unterschiedlichsten Qualitäten und Größen – vom 50-Cent-Spielzeugmotor bis zum 1000-Euro-Präzisionsmotor für Zahntechniker-Werkzeuge, vom winzigen Vibrationsmotor bis zum kilowattstarken Kranantrieb.

Gleichstrommotor

Wenn die Ankerspule in einem Gleichstrommotor von Strom durchflossen wird, entsteht ein Elektromagnet, der den Anker in Richtung des feststehenden (Stator-)Magnetfeldes zu drehen versucht. Schaltet man die Wicklungs-

polarität im richtigen Moment um, entsteht eine Drehbewegung. In einem Gleichstrommotor besorgt ein auf der Motorwelle angebrachter *Kommutator* den Richtungswechsel des Magnetfeldes.



betriebene Spielzeuge mit erlahmenden Zellen immer langsamer werden, weiß dies schon jedes Kind. Eine analoge Spannungseinstellung (zum Beispiel mit einem Transistor als variablem „Vorwiderstand“) ist von der Energiebilanz allerdings wenig erbaulich: Schließlich muss der einem Motor vorgeschaltete Spannungsregler die momentan nicht benötigte Leistung in Wärme „verbraten“. Von ganz einfachen Anwendungen abgesehen bedient

man sich deshalb heute durchweg der Pulsweitenmodulation (PWM). Statt eines Reglers kann hier ein einfacher Schalttransistor zum Einsatz kommen – weil an dem in der Praxis nur eine vernachlässigbare Spannung abfällt, ist die Verlustleistung gering.

PWM hört sich schlimmer an, als sie ist: Eine Elektronik schaltet den Motor wiederholt für eine bestimmte Zeit komplett ein und für eine ebenfalls bestimmte Pausenzeit komplett aus. Macht man dies nur schnell genug hintereinander – ein paar hundert- bis tausendmal pro Sekunde – bestimmt das Verhältnis von Ein- und Ausschaltzeit die Drehzahl. Der Motor „sieht“ dann nur eine mittlere Spannung, weil er den schnellen Ein-Aus-Folgen aufgrund seiner Trägheit nicht folgen kann. Einziger Nebeneffekt: der Motor kann im Teilastbereich merklich summen oder pfeifen. Der PWM werden wir im Folgenden noch öfter begegnen.

Ausführungen mit nur zwei (halben) Ankerwicklungen (und somit zwei Polen auf dem Kommutator) findet man eigentlich nur in Elektro-Experimentierkästen – diese haben nämlich den Nachteil, dass sie in einer bestimmten Ankerstellung nicht selbst anlaufen. Praktische Ausführungen haben daher immer mindestens drei Wicklungen, bessere fünf oder noch mehr. Je höher die Anzahl der Ankerwicklungen (und damit Pole auf dem

Kommutator), desto gleichmäßiger ist der Drehmomentverlauf über eine Umdrehung und desto ruhiger läuft der Motor.

Die einfache Bauart bringt einige Nachteile mit sich: Die auf dem Kommutator schleifenden Bürstenkontakte führen zu Verlusten durch Reibung und Übergangswiderstände sowie zu einem störenden Laufgeräusch. Außerdem entstehen am Kommutator Abrissfunken, die Empfangsprobleme bei allen Funkwellenempfängern auslösen können. Bei DC-Kommutatormotoren muss man daher immer einen Entstörfilter vorsehen; oft reichen schon 100-nF-Kondensatoren von jedem der beiden Anschlüssen zur Gehäuseschale.

Dass der Motor im Stillstand eine gewisse „Selbsthemmung“ durch die den Anker anziehenden Dauermagnete aufweist, kann für die jeweilige Anwendung von Vor- oder von Nachteil sein. In Eisenbahnmodellen zum Beispiel führt die Selbsthemmung dazu, dass das Modell bei Spannungsunterbrechung abrupt stehenbleibt und nicht sanft ausläuft. Akkuschauber-Motoren dagegen werden oft durch Kurzschließen zusätzlich abgebremst, damit sie beim Loslassen des „Gashebels“ möglichst schnell zum Stillstand kommen. Die Selbsthemmung vermeiden die sogenannten Glockenankermotoren: Durch eine spezielle Wickeltechnik besteht der Anker hier nur aus der in Kunstharz eingebetteten Spulenwicklung und kommt ohne Eisenkern aus. Schaltet man bei einem Glockenankermotor den Strom ab, läuft er gemächlich aus – vorausgesetzt natürlich, dass man die Motorklemmen beim Abschalten nicht kurzschließt.

BLDC-Motoren

BLDC ist die Abkürzung von *Brushless Direct Current*, also eine Motorenbauart ohne Kommutator und Schleifkontakte. Wicklung und Dauermagnet-Anordnung unterscheiden sich im Prinzip nicht vom DC-Motor, wohl aber die Art der Spannungsversorgung. Während beim normalen DC-Motor der Kommutator für ein ständiges Umschalten der zu aktivierenden Wicklungen sorgt, muss dies beim BLDC eine externe Elektronik besorgen. Das ist zwar aufwendiger, spart aber die verschleißträchtigen Bürstenkontakte und deren Reibungsverluste.

Die Elektronik muss natürlich wissen, in welcher Stellung sich der Anker gerade befindet. Der klassische BLDC verwendet dazu drei Magnetfeldsonden, sogenannte Hall(-Effekt)-Sensoren, die bei Erreichen eines bestimmten Magnetfeldes durchschalten und die Stellung der Ansteuerlektronik melden. Die muss dann eigentlich nur das tun, was der Kommutator in der gleichen Situation auch täte: die passenden Wicklungen (*Stränge*) unter Strom setzen. Ein auf diese Weise kommutierter Motor verhält sich dann auch exakt wie ein

Wirbelströme

Der Anker wird durch den Polwender auch bei Gleichstrommotoren von einem Wechselstrom durchflossen. Ein Wechselstrom induziert im Eisenkern aber sogenannte Wirbelströme – weil man einen massiven Kern eben auch als eine einzige, kurzgeschlossene Windung auffassen kann. Um diese zu vermeiden, baut man den Anker aus geschichteten, dünnen Einzelblechen auf. Je dünner die Bleche sind, desto weniger Verluste entstehen. Profi-Modellbauer, die sich ihre Motoren selbst bauen, verwenden zum Beispiel Bleche von weniger als 0,2 mm Stärke.

Induktion

Bewegt sich ein elektrischer Leiter quer durch ein Magnetfeld, wird in ihm eine elektrische Spannung induziert; sie ist umso höher, je schneller die Bewegung und je stärker das Magnetfeld ist. Umgekehrt wirkt auf einen stromdurchflossenen Leiter eine Kraft, die proportional zum Magnetfeld und zum Strom ist.

Gleichstrommotor – nur ohne die angeführten Nachteile.

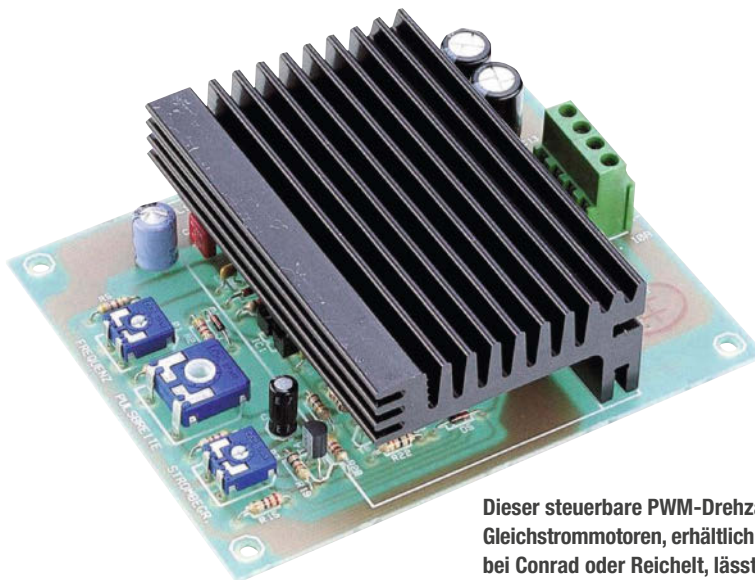
Weil man die Sensoren nicht mitrotieren lassen will – in diesem Fall bräuchte man doch wieder Schleifkontakte – lässt man nicht die Elektromagnete mitsamt Sensoren rotieren, sondern die Dauermagnete. Dies führt zu der bei Modellbauern bekannten Ausführung mit Außenläufer, das heißt, eine Schale mit den Magneten rotiert um den nun feststehenden Anker (oft als *Outrunner* bezeichnet). BLDCs in E-Bikes sind dagegen meist Innenläufer, weil hierbei das Anflanschen eines Planetengetriebes einfacher ist. Eine weit verbreitete Bauform ist die des Scheibenläufers, beliebt für Spindelantriebe in Disketten- und CD-Laufwerken. Hier befinden sich die Magnete auf einer Scheibe, die mit der Welle verbunden ist. Die Spulen sind als Flachwicklung ausgeführt und können zum Beispiel direkt auf die Platine mit der Ansteuer-elektronik geklebt werden, ebenso wie die Hall-Sensoren.

Praktischerweise nutzt man die transistorsierte Schaltstufe auch gleich, um den Strangstrom mit einer Pulsweitenmodulation zu beaufschlagen; der Mehraufwand hierfür ist minimal. Die Ansteuer-elektronik kann also Kommutierung und Drehzahlsteuerung gleichzeitig erledigen. Dazu braucht man keineswegs einen Mikroprozessor: Eine erste Anwendung von bürstenlosen Motoren in der Konsum-elektronik waren direktangetriebene Plattenspieler, die Ende der 1970er Jahre aufkamen. Die Ansteuerung war hierbei noch völlig diskret mit ein paar Transistoren aufgebaut.

Sensor-kommutierte BLDCs werden zum Beispiel in PC-Lüftern oder Industrie-Servomotoren eingesetzt, ebenso als Antrieb in E-Bikes oder elektrischen Rollstühlen. Wie ein normaler Gleichstrommotor erlauben sie eine Drehzahlsteuerung von Null an, die Drehrichtungsumkehr erfolgt durch Ändern der Kommutierungsfolge – dazu reichen ein paar Logik-Gatter oder einige Zeilen Code, sofern die Ansteuerung ein Mikrocontroller erledigt.

Sensorless BLDC

Den zusätzlichen Bauteile- und Verdrahtungsaufwand für die Hall-Sensoren möchte man gern vermeiden. Die Weiterentwicklung des



Dieser steuerbare PWM-Drehzahlsteller für Gleichstrommotoren, erhältlich für rund 42 Euro bei Conrad oder Reichelt, lässt sich über die Taktfrequenz an den Motor anpassen. Einfache Aufgaben bewältigen aber auch die eBay-Angebote für 5 Euro.

Gegen-EMK

Ein sich drehender Elektromotor wirkt immer auch als Generator – im Leerlauf erzeugt ein idealer Motor exakt so viel Spannung selbst, wie von außen anliegt, er würde deshalb überhaupt keinen Strom aufnehmen. Dass bei realen Motoren im Leerlauf ein Strom fließt, hat nur mit den Verlusten (Wicklungswiderstand, Reibung) zu tun. Die selbst erzeugte Spannung nennt man „elektromotorische Kraft“ oder EMK – eher aus historischen Gründen, denn mit der Kraft im physikalischen Sinne hat sie nichts zu tun.

Da die EMK bei einem laufenden Motor dem unbegrenzten Stromfluss entgegen-

wirkt, bezeichnet man sie hier als Gegen-EMK (englisch: Back-EMF). Der Stromfluss in einen Motor kommt durch die Differenz von angelegter Spannung und Gegen-EMK zustande, der Strom ist also umso größer, je stärker der Motor abgebremst wird. Wird das Stator- oder Erreger-Magnetfeld in einem Motor abgeschwächt, dreht der Motor schneller – das widersteht sich eigentlich dem unbedachten Verständnis, ist aber durch die Gegen-EMK leicht erklärbar: Ein schwächerer Feldmagnet induziert im Anker eine geringere EMK, der Motor muss also schneller drehen, um das Gleichgewicht aus selbst erzeugter und anliegender Spannung wiederherzustellen.

BLDCs waren vor einigen Jahren deshalb die sensorlos kommutierten BLDCs, wie sie heute jeder Multikopter-Erbauer kennt.

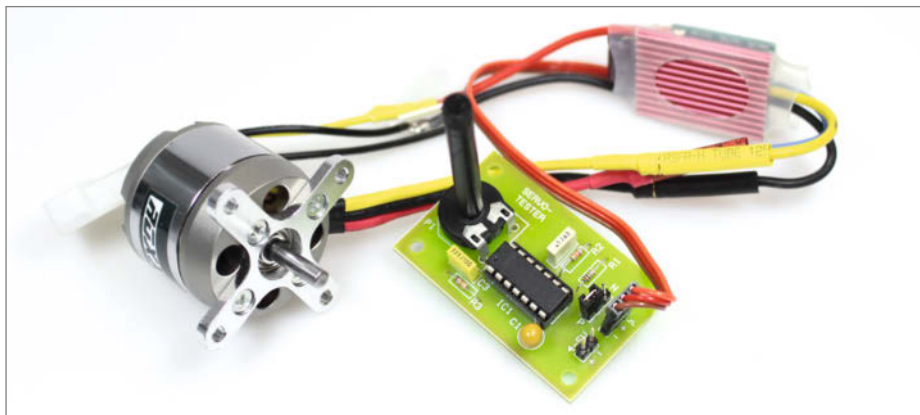
Dank des Einsatzes von Mikrocontrollern ist es möglich, bei der gerade abgeschalteten Wicklung die dort durch das vorbeihuschende Dauermagnetfeld erzeugte Spannung (Gegen-EMK) zu messen (beziehungsweise mit einem Referenzwert zu vergleichen) und daraus den Wicklungs-Umschaltzeitpunkt abzuleiten. Das funktioniert bei laufendem Motor bis in höchste Drehzahlen überraschend gut, hat aber einen Nachteil: Wenn der Motor steht oder sehr langsam läuft, gibt es auch keine (oder nur eine zu geringe) induzierte Spannung in der abgeschalteten Spule, die man auswerten könnte.

Der BLDC-Controller muss den Motor daher vom Stillstand ausgehend zunächst „blind“ schalten, indem er bei ganz niedriger Spannung

(bzw. einem sehr kleinen PWM-Tastverhältnis) ein niederfrequentes Drehfeld anlegt, den Motor also wie eine Art Synchron- oder Schrittmotor betreibt. Erst wenn er dann „Tritt gefasst“ hat und genügend Gegen-EMK liefert,

Ein Tropfen Öl

Einfache Motoren verwenden Sinterlager für die Welle, deren Ölreservoir (oft in Form eines Filzes) nur begrenzte Zeit hält – ein Tropfen Öl ist hier ab und zu nötig. Festsitzende Lager kann man mit WD-40 wieder gängig machen. Danach das Ölen nicht vergessen – derartige Mittel haben keine Dauerschmierwirkung.

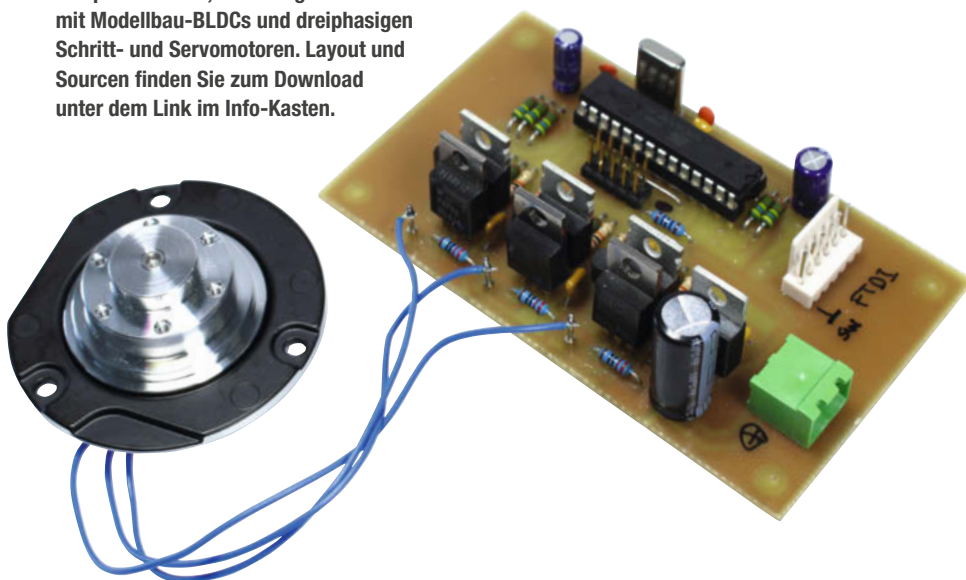


Sensorlose BLDC-Motoren aus dem Modellbau erreichen bei kleinster Bauform beachtliche Leistungen. Dieser 35-mm-„Outrunner“ liefert kurzzeitig und bei guter Kühlung fast 500W. Mit einer Servotester-Platine (hier vorn im Bild) kann man Modellbau-BLDC-Controller übrigens auch „stand-alone“ betreiben.



Drehmomentstarker vielpoliger BLDC-Antrieb aus einem Elektro-Rollstuhl: Gut sichtbar sind die drei Hall-Sensoren auf der Steuerplatine. Sie ragen normalerweise in das Magnetfeld des Rotors.

Unser BLDC-Controller steuert hier einen Festplattenmotor, er verträgt sich aber auch mit Modellbau-BLDCs und dreiphasigen Schritt- und Servomotoren. Layout und Sourcen finden Sie zum Download unter dem Link im Info-Kasten.



Falsche Richtung?

Sollte ein BLDC oder ein Drehstrommotor in die falsche Richtung drehen, muss man zwei der drei Anschlüsse miteinander vertauschen – dies bewirkt eine Umkehr des Drehfeldes. Bei einem sensorgesteuerten Motor kann man zur Richtungsumkehr zwei der drei Sensoren oder deren Anschlüsse vertauschen.

kommt die elektronische Kommutierung zum Einsatz. Das ist der Grund dafür, warum Modellbau-BLDCs unter Last nur stotternd anlaufen und sich praktisch nicht unter eine Mindestdrehzahl steuern lassen.

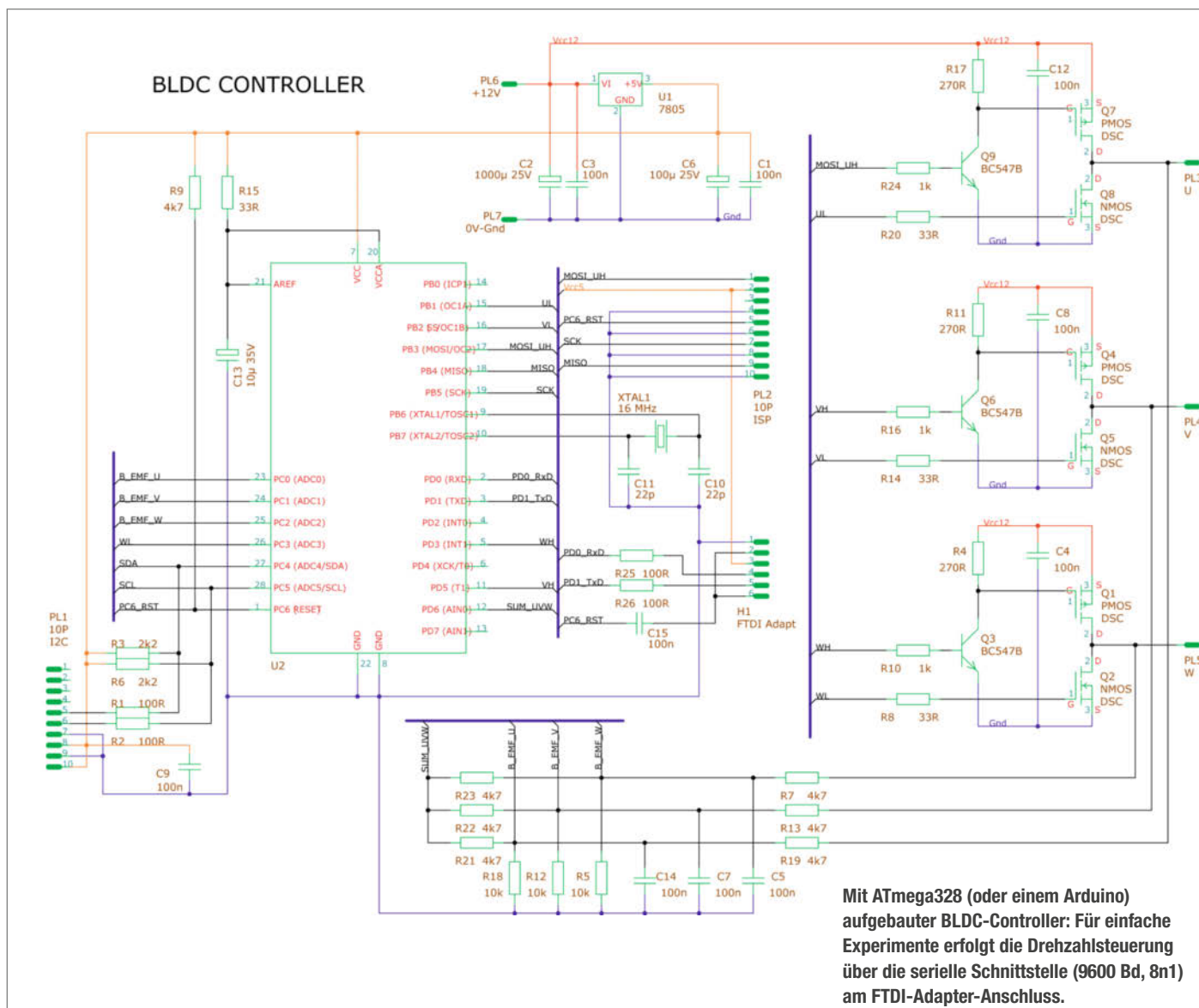
Servo-Antriebe (dazu später) und höherpreisige BLDC-Controller beaufschlagen die zur Auswertung herangezogene Wicklung mit kurzen Stromimpulsen; anhand des Ausschwingverlaufs kann der auswertende Prozessor dann die Ankerstellung berechnen. Es ist ausgesprochen lehrreich, einmal einen BLDC-Controller „zu Fuß“ aufzubauen. Die hier abgedruckte Schaltung entstammt einer Idee von Ulrich Radig (siehe Info-Kasten). Wir haben für einfachere Experimente und leichte Zugänglichkeit der Messpunkte allerdings nur bedrahtete Bauteile verwendet und die serielle Schnittstelle statt I²C zur Drehzahl-Steuerung eingestellt. Die Sourcen lassen sich mit dem AVR-GCC kompilieren, als Plattform eignet sich auch ein Arduino. Die Schaltung funktioniert übrigens auch mit Motoren, die mit Hall-Sensoren ausgestattet sind; die werden einfach nicht angeschlossen.

Die Spannungsteiler für die Messung der Gegen-EMK (R17, R13, R19 sowie R18, R12, R5) sind für Betriebsspannungen bis 12V ausgelegt. Bei höheren Motorspannungen ist das Teilverhältnis zu erhöhen – beispielsweise, indem man die Werte 4k7 und 10k miteinander vertauscht. Die Eingangsspannungen B_{EMF} und SUM_UVW dürfen in keinem Fall höher als 5V liegen.

Besonders gewiefte BLDC-Kenner findet man übrigens in einschlägigen Modellbauforen – dort werden Motoren für Wettbewerbsvorteile auch mal umgewickelt oder gar von Grund auf selbst konstruiert; gleiches gilt für die BLDC-Controller. Es fließen dann gern neue Ideen und Entwicklungen ein – etwa mit einer sinusförmigen Motorstrom-Ansteuerung anstelle des einfachen An- und Abschaltens der Wicklungsstränge (Sinus- statt Blockkommutierung).

Universalmotoren

Den Universalmotor findet man in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen – in der



In GO wetRUST

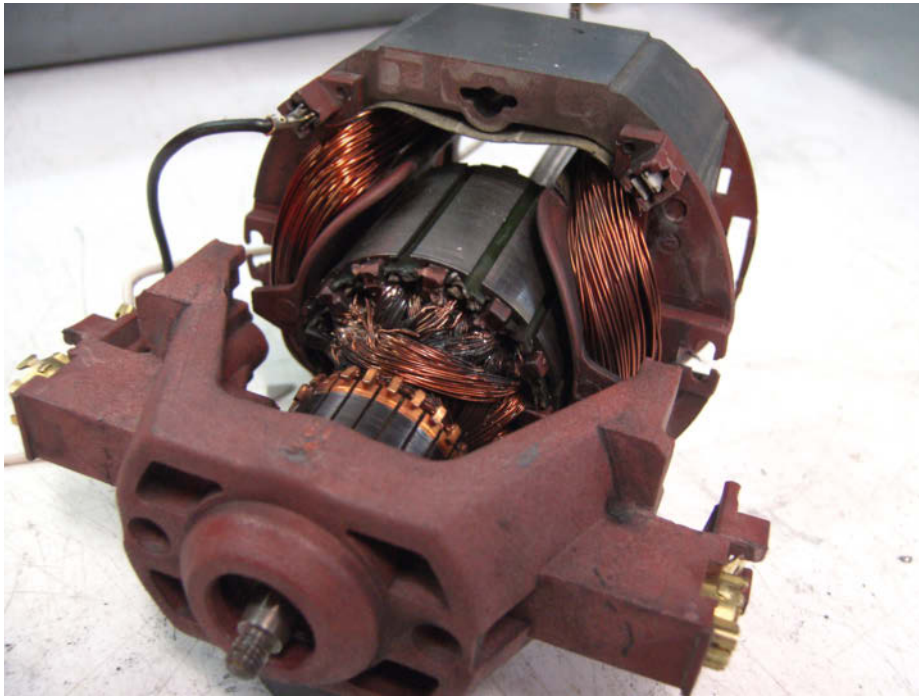
- TypeScript: Wartungsarmer Code dank Typsystem
- Kotlin: Objektorientierte und funktionale Konzepte vereint
- Go: Interfaces, Concurrency und Generics
- Rust: Sicheres Speichermanagement dank Ownership-Modell
- Portofrei für Abonnenten
- Auch im Spar-Set als Heft + PDF + Buch „Rust“

Heft für 14,90 € • PDF für 12,99 € • Bundle Heft + PDF 19,90 €



shop.heise.de/ix-dev-programmiersprachen22

**Heft + PDF
mit 29 % Rabatt**

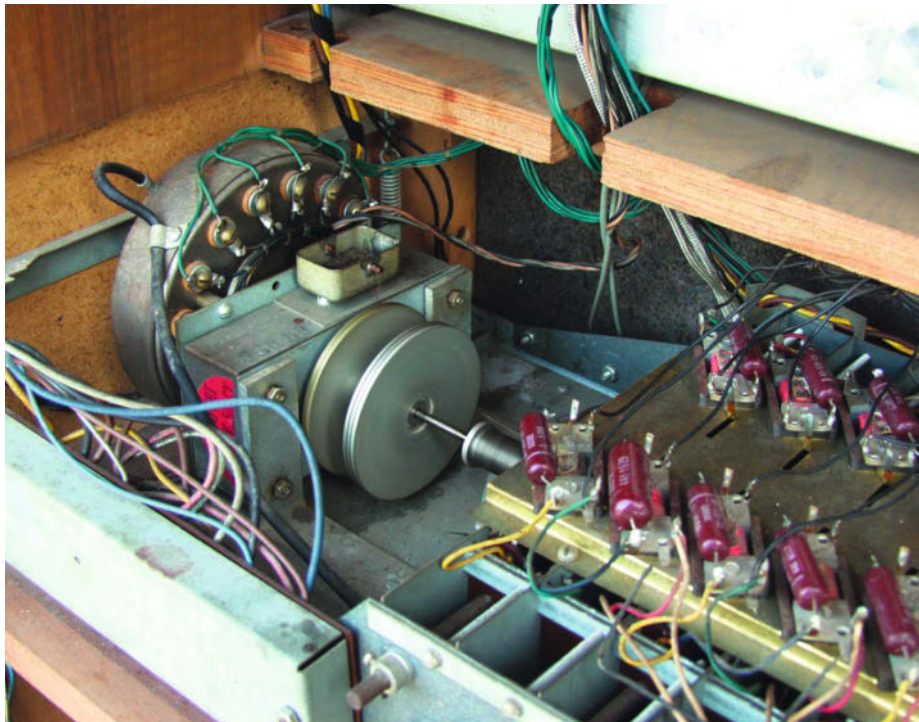


Quelle: Wikipedia

Universalmotor aus einem Staubsauger. Gut sichtbar sind die Kohlebürstenhalter aus Messing und der mehrpolige Kommutator.

Märklin-Lokomotive genau so wie im Staubsauger oder der Handbohrmaschine. „Universal“ heißt er aber deshalb, weil er an Gleichstrom und Wechselstrom gleichermaßen betrieben werden kann. Sein Aufbau ähnelt

dem DC-Motor, allerdings wird das Magnetfeld im Stator nicht durch Dauermagnete erzeugt, sondern über eine Spulenwicklung, die (zumindest bei den uns interessierenden Motoren) in Reihe zu den Kommutator-An-



Synchronmotor (Kasten hinter der Schwungscheibe) in einer alten elektromagnetischen Orgel aus den 1950er-Jahren: Den Antrieb hatte Erfinder Laurens Hammond vorher erfolgreich in Wohnzimmeruhren und selbstmischenden Bridge-Kartenspieltischen eingesetzt.

Festplattenmotoren

Antriebsmotoren für Festplatten sind heute durchweg sensorlos gesteuerte BLDCs; mit der hier abgedruckten Schaltung lassen sich ausgeschlachtete Motoren problemlos zum Leben erwecken. Es gibt hier allerdings noch Ausführungen mit vier Anschlüssen, bei denen die Mittelanzapfung der drei Wicklungen getrennt herausgeführt ist. Diese wird einfach offen gelassen; man nimmt die drei Anschlüsse, die untereinander den gleichen Widerstandswert aufweisen (mit dem Ohmmeter testen).

schlüssen (Bürsten) geschaltet ist. Man nennt diese Wicklung auch *Erreger- oder Feldwicklung*. Bei einer Umpolung der Versorgungsspannung wechselt sowohl die Richtung des Erreger- wie auch des Anker-Magnetfelds, sodass das Drehmoment unabhängig von der Polarität des Stromes immer in die gleiche Richtung wirkt.

Um eine einfache Drehzahlsteuerung zu erreichen, ist zum Beispiel im Küchenmixer die Stator-Feldwicklung mit mehreren Anzapfungen versehen. Hier macht man sich den Effekt der sogenannten Feldschwächung zunutze (siehe Kasten *Gegen-EMK*). Das Wicklungsende mit den meisten aktiven Windungen ist die kleinste Drehzahlstufe. Durch das hierbei sehr kräftige Erregerfeld erzeugt der Motor auch bei kleiner Drehzahl genügend Drehmoment.

Will man die Laufrichtung eines Universalmotors umdrehen, muss man entweder die Anschlüsse der Feldwicklung *oder* die des Ankers (also der Bürsten) miteinander vertauschen. Bei klassischen Märklin-Lokomotiven zum Beispiel geschieht dies durch Umschalten der zweiteiligen Feldwicklung – beide Hälften sind gegensinnig gewickelt. Größere Universalmotoren lassen sich mit einem Phasenschnitt-„Dimmer“ problemlos in der Drehzahl steuern, solange dieser für induktive Lasten ausgelegt ist. Das Drehmoment ist bei kleinen Drehzahlen aber merklich kleiner als bei einer Drehzahlsteuerung über die Feldwicklung.

Synchronmotoren

Während die Synchronmaschine im Maschinenbau ein gern verwendeter Antrieb ist, findet man sie im kleinen Maßstab eher selten – und dann auch nur in vereinfachter Bauform mit unmagnetischem Anker (als sogenannter Reluktanzmotor). In ihnen richtet sich der Anker mit jeder Halbwelle des (Netz-)Wechselstroms in einer bestimmten Position aus, die nächste Einrastposition liegt um einen bestimmten Winkelschritt weiter. Die Drehzahl

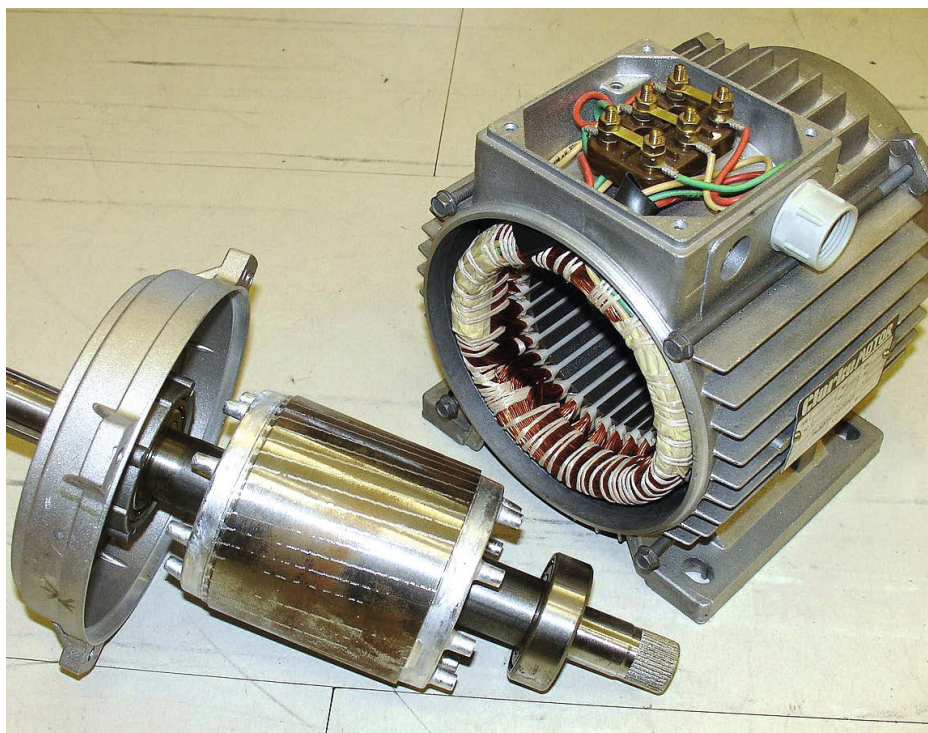
ist daher absolut starr mit der Netzfrequenz verkoppelt.

Einphasige Synchronmotoren laufen in unbestimmter Richtung oder gar nicht an, wenn man nicht besondere Vorkehrungen (also eine Anlaufhilfe) vorsieht. Berühmt ist zum Beispiel der Synchronmotor in alten Hammond-Organen, der den mechanischen Tongenerator mit der geforderten Drehzahl und damit Frequenzkonstanz antreibt. Er wird zunächst mit einem manuell zugeschalteten Spaltpolmotor auf Touren gebracht und rastet dann auf der Netzfrequenz ein.

Kleine einphasige Synchronmotoren findet man zum Beispiel im Drehteller-Antrieb von Mikrowellen-Herden, in kleinen Aquarienpumpen und in Spiegelkugel-Antrieben. Leistung und Wirkungsgrad sind eher bescheiden; werden sie überlastet, bleiben sie einfach stehen und brummen vor sich hin.

Drehstrommotoren

Mit den vielen Drehstrommotor-Bauarten kommt der geneigte Bastler eigentlich nur in Form der Drehstrom-Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer in Berührung – das ist zum Beispiel wie der klassische Baukreissägen-



Zerlegter Drehstrommotor: Der Anker ist als Kurzschlussläufer ausgeführt und benötigt keine Stromzuführung. Magnetisch wird er durch Induktion in den eingelassenen Alu-Stäben.

Wikipedia



Bahn frei für Kindheitserinnerungen!

Du hast in den 80er-Jahren mit einer LEGO®-Eisenbahn gespielt? In diesem Buch wirst du deinem Set von damals wiederbegegnen! Holger Matthes beschreibt alle LEGO®-Eisenbahn-Sets dieser Zeit und nimmt dich in die Welt der Züge und Minifiguren mit. Bauanleitungen inspirieren dich zum Nachbauen; darunter sind auch Modelle, die die aktuelle PoweredUp!-Motoren von LEGO® mit Bluetooth-Steuerung integrieren.

2022 · 264 Seiten · 29,90 €
ISBN 978-3-86490-951-1



248 Seiten · 27,90 €
ISBN 978-3-86490-905-4



274 Seiten · 27,90 €
ISBN 978-3-86490-897-2



192 Seiten · 24,90 €
ISBN 978-3-86490-899-6
© Copyright by Maker Media GmbH.



494 Seiten · 34,90 €
ISBN 978-3-86490-936-8





Standbohrmaschinen-Update: Den ohnehin angeschlagenen Kondensatormotor haben wir hier durch einen Standard-Drehstrommotor mit Frequenzumrichter ersetzt, sodass sich die Drehzahl nun stufenlos einstellen lässt.

Motor der Antrieb größerer stationärer Maschinen. Als bürstenloser Motor arbeitet er geräusch- und verschleißarm, ist aber bei gleicher Leistung deutlich voluminöser und schwerer als der Universalmotor.

Der Anker besteht aus einem Eisenkern mit eingepressten Aluminiumstäben. Das Feld des Stator-Magneten induziert nun in den Aluminiumstäben eine Spannung; da diese in sich kurzgeschlossene Windungen darstellen, fließt ein hoher Strom, der ein Magnetfeld im Anker-Eisenkern hervorruft – das wiederum

dem Drehfeld im Stator zu folgen versucht. Anker dieser Art bezeichnet man auch als Käfigläufer.

Im Heimwerker-Bereich gibt es praktisch nur zwei- und vierpolige Drehstrommotoren – „zweipolig“ bedeutet hier, dass zu jedem Drehstrom-Strang zwei Wicklungen (also insgesamt sechs) gehören, bei „vierpoligen“ insgesamt $4 \times 3 = 12$. Zweipolige Maschinen haben eine Leerlaufdrehzahl von 3000 U/min, vierpolige laufen mit 1500 U/min. Der Anker kann unter Last dem Drehfeld nacheilen, dies

nennt man *Schlupf* – er liegt je nach Motorengröße bei 2 bis 10 Prozent.

Die drei Wicklungsstränge können dreieck- oder sternförmig miteinander verbunden werden; bei kleineren Motoren ist eher die Sternschaltung üblich, jeder Wicklungsstrang ist hier für 230 V ausgelegt. Durch die Phasenverschiebung ergibt sich eine Leiterspannung von $230V \times \sqrt{3} = 400V$, der Mittelpunkt des Sterns ist dabei nicht mit dem Netz verbunden.

Die Drehzahl lässt sich nur unzureichend über die angelegte Spannung steuern – sie ist in erster Näherung von der Netzfrequenz und damit der Umlaufgeschwindigkeit des Drehfelds abhängig. Um einen Drehstrommotor stufenlos zu steuern, benötigt man einen Frequenzumrichter, der über eine Halbleiterschaltung einen frequenz- und spannungsvariablen Drehstrom erzeugt. Ein solches Gerät (ca. 150 Euro in der Leistungsklasse um 1kW) erlaubt je nach Ausführung auch den Betrieb am normalen Lichtnetz – also ohne Drehstrom-Steckdose. Die robusten Motoren vertragen durchaus auch Drehzahlen oberhalb ihrer 50Hz-Nenn Drehzahl, eine maximale Ausgangsfrequenz von 400Hz oder noch mehr ist bei den meisten Umrichtern deshalb Standard.

Wir haben wegen der erheblichen Vorteile inzwischen einige Kondensatormotoren bei unseren Werkstattmaschinen durch Drehstromausführungen mit Umrichter ersetzt – erleichtert übrigens durch die DIN-Maße bei Standardmotoren. Die abgebildete Standbohrmaschine lässt sich nun stufenlos von 200 bis 2500 U/min steuern – ohne lästiges Umlegen des Treibriemens. Zusätzlich haben wir nun den Luxus der Vorwärts-Rückwärts-Umschaltung, zum Beispiel für das Gewindeschneiden.

Bei der Verwendung von Frequenzumrichtern für 230V sollte man den Motor übrigens von Stern- auf Dreieckschaltung umklemmen, sonst erreicht er wegen der geringeren Klemmenspannung nicht seine volle Leistung.

Kondensatormotoren

Der Kondensatormotor ähnelt dem gerade besprochenen Drehstrommotor mit Kurzschlussläufer – allerdings verwendet er normalen Haushaltsstrom und erzeugt sich die für ein Drehfeld fehlende Phase über einen Betriebskondensator selbst. Im Unterschied zum Drehstrommotor (120° Phasenverschiebung) arbeitet er mit 90° Phasenwinkel, er benötigt deshalb nur zwei Wicklungen. Eine der beiden Statorwicklungen wird direkt aus dem Wechselstromnetz versorgt, während der zweiten Wicklung ein Kondensator in Reihe geschaltet wird (Faustregel: 20µF pro kW Motorleistung).

Kondensatormotoren erreichen bei gleicher Größe nur etwa 65 Prozent der Leistung



Auch die sogenannten HF-Spindelmaschinen sind Drehstrom-Asynchronmaschinen. Sie benötigen zum Betrieb zwingend einen Frequenzumrichter.

von Drehstrom-Asynchronmotoren. Für den variablen Betrieb über Frequenzumrichter eignen sie sich weniger, da der Kondensator nur für eine Frequenz (und genau genommen nur für den Belastungsfall Nennleistung) ausgelegt ist. Als wartungsarmen Antrieb verwendet man die anspruchlosen und nahezu „unkaputtbaren“ Motoren (Ausfälle sind eher auf defekte Kondensatoren zurückzuführen) gern bei kleineren Maschinen, Rasenmähern und Pumpen.

Übrigens kann man mit einem Kondensator auch normale Drehstrommotoren am einphasigen Lichtnetz zum Laufen bekommen: Man verbindet zwei der drei Anschlüsse mit den Leitern L und N des Lichtnetzes und den dritten über einen Kondensator mit einem der beiden Pole (Steinmetz-Schaltung). Der Kondensator ist hier allerdings mit gut $70\mu\text{F}$ pro Kilowatt zu bemessen, in Frage kommen wie beim Kondensatormotor nur Folien- oder Metallpapier-Kondensatoren (MP) mit ausreichender Spannungsfestigkeit (450V AC).

Spaltpolmotoren

Die pflegeleichten Spaltpolmotoren fand man früher in jedem Tonbandgerät und jedem Plattenspieler, auch heute werden sie zum Beispiel in 230V-Lüftern noch gern verwendet. Durch den geräuscharmen Antrieb ohne schleifende Bürsten eignet sich der Spaltpolmotor auch für den Dauereinsatz.

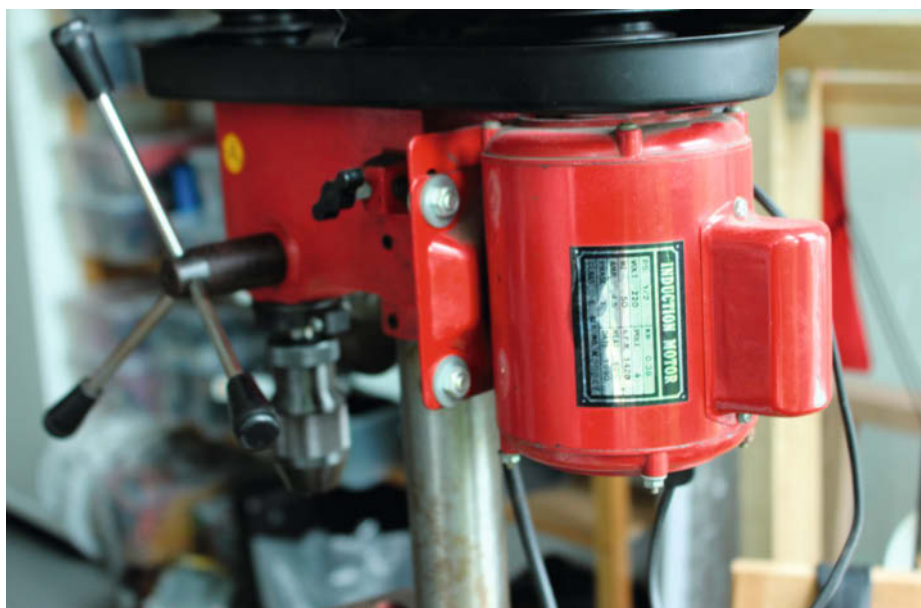
Der Spaltpolmotor ist eigentlich ein Drehstrom-Asynchronmotor, auch wenn man ihm die Verwandtschaft zu den dicken Industrienmotoren kaum ansieht. Wie seine großen Brüder arbeitet er mit einem Kurzschlussläufer, bei dem das eigene Magnetfeld durch Induktion entsteht.

Statt einer dritten Phase oder einer Kondensator-Schaltung wird die nötige Phasenverschiebung hier durch Kurzschlusswindungen erzeugt, die einen Teil des Magnetjochs umfassen. Ist der Werkstoff des Ankerkerns magnetisch „hart“ (behält also nach der Magnetisierung eine Zeit lang seinen Magnetismus), läuft der Motor zwar als Asynchronmotor an, aber als Synchronmotor mit hoher Drehzahlkonstanz weiter – wichtig für den Einsatz in Plattenspielern.

Die Drehzahl eines Spaltpolmotors ist weitgehend unabhängig von Betriebsspannungsschwankungen und fast nur von der Netzfrequenz abhängig. Ohne Frequenzumrichter lässt sich die Drehzahl also nicht steuern.

Schrittmotoren

Schrittmotoren sind für nicht allzu anspruchsvolle Positionieraufgaben das Mittel der Wahl: Sie können in einer vorgegebenen Position verharren und auf Befehl eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen (auch teilweise)



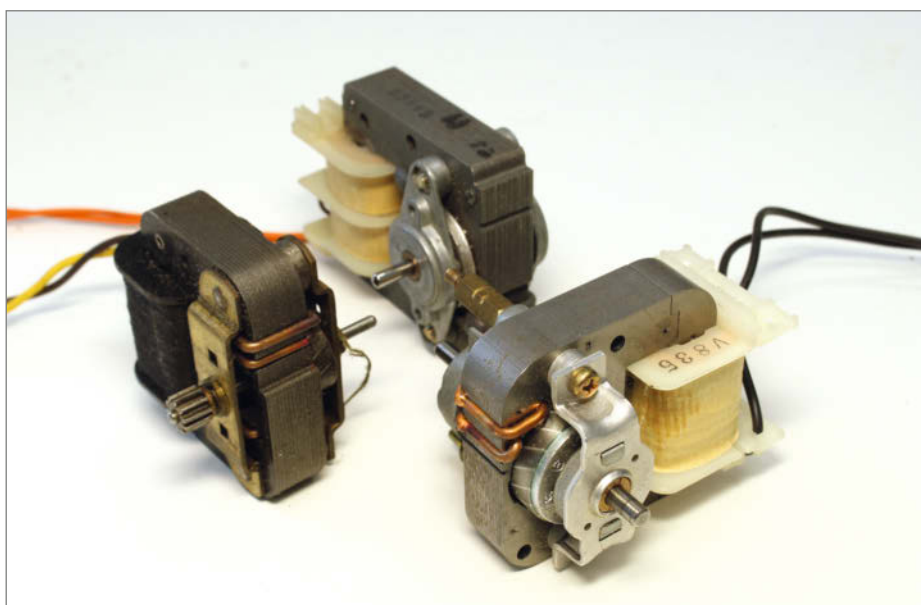
Der Induktionsmotor (Kondensatormotor) ist ein anspruchloser Antrieb für kleinere Maschinen. Der Kondensator steckt unter der Kappe rechts.

präzise ausführen – genau das braucht man für 3D-Drucker und CNC-Maschinen.

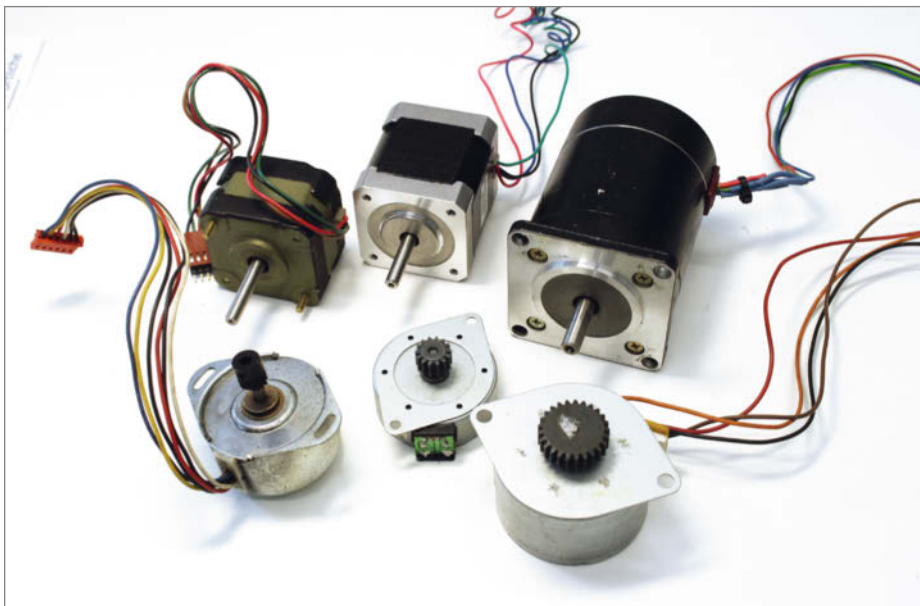
Der Schrittmotor ist eine Art Synchronmotor mit zwei Wicklungen, „gezahnten“ Feldmagneten und einem Anker aus Weicheisen. Ein Strom durch eine der Wicklungen sorgt dafür, dass der Anker in einer bestimmten Stellung „einrastet“: Vom gezahnten Stator wird der jeweils nächstliegende Zahn des Rotors angezogen, sodass der magnetische Kreis auf möglichst kurzem Weg geschlossen wird. Damit eine Drehbewegung entsteht, müssen

die Ströme in den Wicklungen eine Phasenverschiebung von 90° aufweisen; die Drehrichtung ändert man, indem man die eine Phase nicht nach-, sondern voreilen lässt.

Die heute in jedem 3D-Drucker verbauten Schrittmotoren sind durchweg sogenannte Hybrid-Schrittmotoren, bei denen der Anker über Dauermagnete vormagnetisiert ist; man spürt auch im stromlosen Zustand beim Drehen der Achse von Hand ein gewisses Halte- oder Rastmoment. Die Bauart ermöglicht eine feine Rastung (in der Regel 200



Die drehzahlkonstanten Spaltpolmotoren wurden früher gern in Plattenspielern und Tonbandgeräten verwendet. Heute findet man sie noch in Lüftern und Pumpen für 230V-Betrieb. Wie beim Drehstrom-Asynchronmotor besteht der Anker aus Weicheisen-Lamellen mit eingepressten Aluminium-Leitern.



Schrittmotoren in den NEMA-Größen 17 und 23 (hinten) sowie ungenormte Billig-Varianten (vorn).

Schritte entsprechend $1,8^\circ$ pro Umdrehung). Ältere und sehr billige Motoren mit Dauermagnet-Anker weisen eine deutlich gröbere Rastung (z.B. $7,5^\circ$) auf.

Schrittmotoren benötigen wie BLDCs eine Ansteuerschaltung, um sie sinnvoll betreiben zu können. Die sorgt für die zeitrichtige Abfolge der Strangströme. Früher hat man die Spulenwicklungen einfach an die Betriebsspannung gehängt; um die Ansteuerung zu vereinfachen, wurde zudem eine Mittelanzapfung herausgeführt, der Motor hatte also 6 Anschlüsse. So kam man mit zwei simplen Schalttransistoren pro Wicklung aus, die zur Magnetfeldumkehr den Strom mal in die eine, mal in die andere Wicklungshälfte schickten.

Nur einfachste Schrittmotorantriebe arbeiten heute noch so; diese Art der Ansteuerung erreicht weder besonders hohe Geschwindigkeiten noch einen ruhigen Motorlauf. Eine deutliche Verbesserung ergibt sich, wenn man einen Vollschritt in mehrere Teilschritte aufteilt – indem man den Strom der beiden Wicklungen halt nicht „digital“ nur ein- und ausschaltet, sondern mehrere Zwischenwerte zulässt. Üblich sind 2, 4, 8 oder 16 Teilschritte. Ein Motor mit 200 Vollschritten pro Umdrehung benötigt für den gleichen Weg also 3200 16tel-Schritte.

Zur Ansteuerung verwendet man heute durchweg integrierte Lösungen – angesichts der günstigen Angebote der fernöstlichen Chipschmieden wird niemand mehr auf die

Aus dem Schritt gekommen

Wie ein Synchronmotor bleibt ein Schrittmotor bei Überlast oder zu schneller Schrittfolge einfach stehen; er summt dann nur noch verzweifelt vor sich hin und läuft nicht wieder von selbst an. Zum Start muss er sanft beschleunigt werden; auch wenn Geschwindigkeitsänderungen zu abrupt erfolgen, kommt er aus dem Tritt. Die „Steilheit“ der Beschleunigungs- und Verzögerungsrampen wird anhand der Last und der Massenträgheit im Antriebsstrang bemessen.

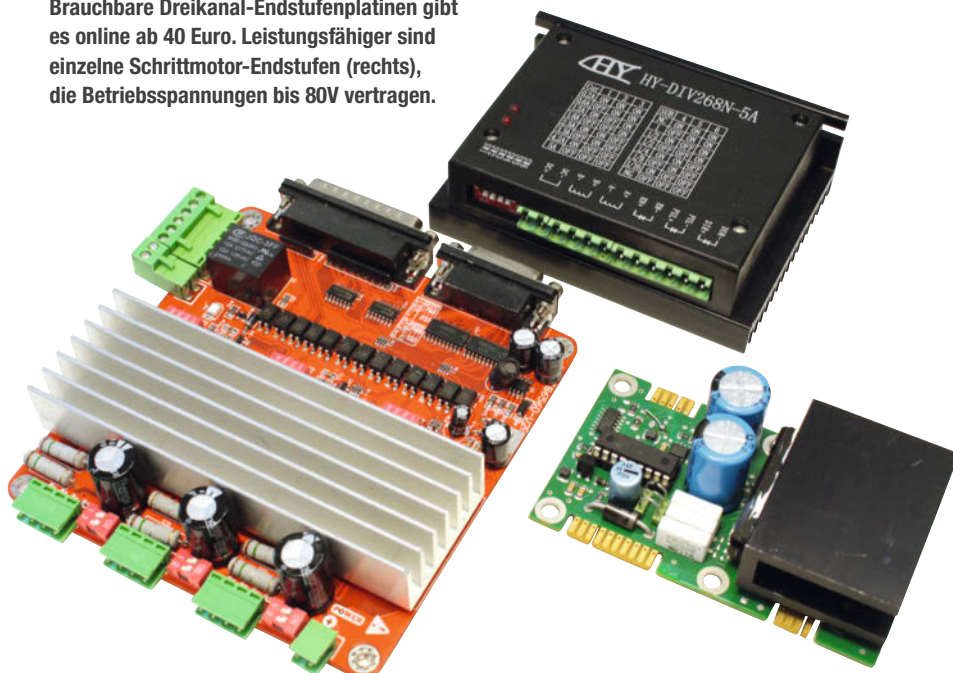
Idee kommen, eine Schrittmotor-Endstufe diskret aufzubauen. Aktuelle Ansteuer-Chips interpolieren aus 4 bis 16 Teilschritten bis zu 256 Mikroschritten, wobei der Strom durch die Wicklung durch aufwendige Tabellenberechnungen einen sinusförmigen Verlauf annimmt. Die Anzahl der gewünschten Teilschritte pro Umdrehung kann man an der Schrittmotor-Endstufe meist mit Drahtbrücken, Jumpfern oder DIP-Schaltern einstellen.

Von der Ansteuerung mit konstanter Spannung ist man ebenfalls abgerückt: Der Strom durch eine Spule (in diesem Fall die Motorwicklung) steigt bei angelegter konstanter Spannung nur endlich schnell an. Schon bei einigen hundert Impulsen pro Sekunde wird der für ein bestimmtes Drehmoment erforderliche Strom nicht mehr erreicht – und der Strom ist es ja schließlich, der für die magnetischen Kräfte im Innern des Motors verantwortlich ist.

Eine hochohmige Wicklung mit vielen Windungen und entsprechend hoher Induktivität lässt sich mit normalen Mitteln also nicht mehr schnell genug ein- und ausschalten. Moderne Schrittmotoren haben deshalb eher niederohmige Wicklungen im unteren einstelligen Ohm-Bereich und wegen der geringen Windungszahl auch niedrige Induktivitätswerte. Die manchmal noch aufgedruckte Betriebsspannung ist praktisch ohne Belang; sie gibt tatsächlich nur an, welche Spannung an der Wicklung bei Nennstrom zustande kommt, wenn der Motor steht.

Neuere Motoren haben nur noch zwei (bipolar betriebene) niederohmige Wicklungen ohne Mittelanzapfung, als A und B bezeichnet. Wicklung A und B dürfen ohne weiteres miteinander vertauscht werden, eine falsche Drehrichtung lässt sich durch Umpolen einer (!) der beiden Wicklungen beheben. Die zu einer Wicklung gehörenden Anschlüsse lassen sich leicht mit einem Ohmmeter ermitteln, denn untereinander haben die Wicklungen keine Verbindung.

Brauchbare Dreikanal-Endstufenplatinen gibt es online ab 40 Euro. Leistungsfähiger sind einzelne Schrittmotor-Endstufen (rechts), die Betriebsspannungen bis 80V vertragen.



Passende (meist integrierte) Schrittmotor-Endstufen arbeiten durchweg mit geschalteten Strömen statt mit geschalteten Spannungen. Die Stromregelung erfolgt über einen eingebauten Messwiderstand; sobald der gewünschte Motorstrom erreicht ist, wird die Zufuhr gekappt. Das An- und Abschalten erfolgt wie bei einem Schaltnetzteil verlustarm mehrere tausendmal pro Sekunde. Ein Motor mit einer „Nennspannung“ von 3V kann deshalb auch an einer 24V-Endstufe nicht durchbrennen, solange der zulässige Motorstrom (an der Endstufe einzustellen) nicht überschritten wird.

Die Stromregelung, die ja zudem den eingestellten Teilschritten folgen muss, ist ein ziemlich komplexer Regelvorgang, ebenso die Interpolation der Zwischenschritte. Führend auf diesem Gebiet ist übrigens die Hamburger Firma *Trinamic* – dort optimiert man inzwischen auch die Geräuscentwicklung und den Energieverbrauch von Schrittmotoren. Trinamic-Chips sind mittlerweile auf vielen Schrittmotor-Modulen zu finden.

Beim Gebrauchtkauf aufpassen: Es gibt auch fünfpolige Schrittmotoren (etwa die sehr hochwertigen des Herstellers *Berger Lahr*). Diese laufen extrem ruhig, benötigen aber zwingend die passende Ansteuerschaltung des jeweiligen Herstellers. Meiden sollte man aus oben genannten Gründen auch Motoren mit hohen Wicklungswiderständen – dies sind meist ältere Modelle.

Servomotoren

Servomotoren sind die Königsklasse bei den Positionierantrieben – von hochspezialisierten (und deshalb hier außen vor bleibenden) Linearmotoren einmal abgesehen. Ein Servomotor ist ein ganz normaler Elektromotor (der Kompaktheit wegen meist als DC- oder BLDC-Motor ausgeführt), dem ein Drehwinkel-Encoder (auch *Resolver* genannt) und eine Regelschaltung beigelegt wird. Er kann den Schrittmotor in hochdynamischen, schnellen Antrieben vollständig ersetzen, eignet sich aber auch für eine Fülle anderer Aufgaben.

Ein Servomotor funktioniert im Prinzip genau wie die kleinen Modellbauservos: Ein Sollwert (Breite des Fernsteuerimpulses) wird ständig mit einem Istwert (Position des Ruderhorns) verglichen. Bei Abweichungen von Soll- und Istwert wird der Motor so lange in die eine oder andere Richtung laufen gelassen, bis beide Werte möglichst gut übereinstimmen – eine klassische Regelschleife.

Beim Servomotor stellt die gewünschte Maschinenposition den Sollwert dar, der Wert vom Drehwinkel-Encoder den Istwert. Stimmen beide Werte überein, ist der Zielpunkt erreicht, ansonsten muss der Motor ein Drehmoment in die der Abweichung entgegengesetzten Richtung ausüben.

Schrittmotoren auf Speed

Eine hohe Windungsanzahl und damit Wicklungsinduktivität würde dazu führen, dass der Strom durch die Wicklungsspule (ergo die ausgeübte Kraft) den vom Treiber vorgegebenen Spannungsänderungen nur langsam folgt. Schrittmotoren erreichen also nur dann hohe Geschwindigkeiten, wenn der Strom durch ihre Spulen schnell genug ansteigen kann. Das klappt ausschließlich mit niederohmigen Motorwicklungen und hohen Betriebsspannungen.

Wenn der Motor schnellen Bewegungen nicht folgen kann, nützt es überhaupt

nichts, den Strom an der Schrittmotor-Endstufe höher zu stellen – das führt nur zu unnötiger Erwärmung und stärkerer Geräuscentwicklung im unteren Geschwindigkeitsbereich.

Bei zu hoch eingestellten Werten riskiert man Schäden bei blockierter Mechanik oder durch Überhitzung. Für eine möglichst hohe Geschwindigkeit ohne Schrittwertverlust ist die Höhe der Versorgungsspannung entscheidend. Versuchen Sie also immer, den Motor mit dem geringstmöglichen Strom und der höchstmöglichen Spannung zu betreiben.

Norm-Motoren

Die nach der *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) genormten Motorengrößen haben sich bei Schrittmotor- und Kleinmotoren international durchgesetzt. Gängig sind die Größen NEMA 11, 17, 23 und 34. Die Zahl gibt den Durchmesser beziehungsweise die Kantenlänge des Befestigungsflansches in 1/10 Inch an; ein NEMA-23-Motor hat also eine Kantenlänge von 58,4 mm. Über den Achsdurch-

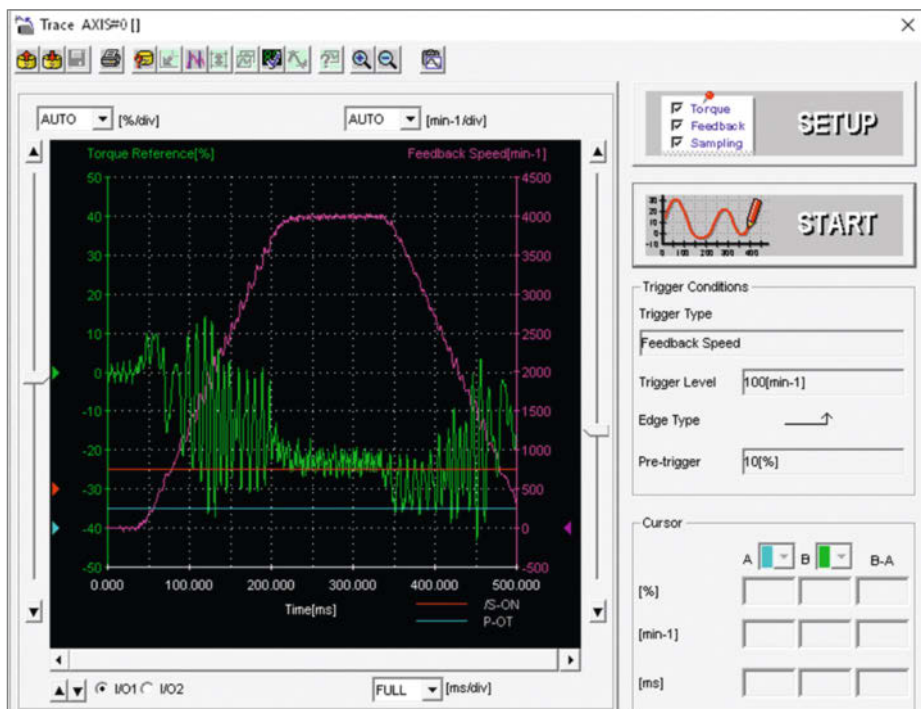
messer und die Länge des Motors sagt der NEMA-Code nichts, typisch sind aber 5mm-Achsen bei NEMA 17, 6,35- oder 8mm-Achsen bei NEMA 23 und 12- oder 14mm-Achsen bei NEMA-34-Motoren. Europäische Motorenhersteller halten sich dagegen an die DIN/EN 60034 (IEC 60072), vor allem bei Drehstrommotoren ab 60 Watt mit Flansch- oder Sockelbefestigung.

NEMA-Motorgrößen

Größe	Flansch	Befestigung
11	28mm × 28mm	23mm × 23mm, 4 × M2,5
17	43mm × 43mm	31mm × 31mm, 4 × M3
23	58mm × 58mm	47,1mm × 47,1mm, 4 × 5,5 mm
34	85mm × 85mm	69,6mm × 69,6mm, 4 × 6,5 mm

Flexible oder starre Wellenkupplungen gibt es für jeden Standard- Wellendurchmesser.





Die optimale Einstellung der Servo-Regelschleife kann man berechnen oder ausprobieren – manche Hersteller bieten hierfür Optimierungs-Tools an (hier: Omron/Yaskawa).

Nun wird es kompliziert: Einerseits soll der Motor die gewünschte Stellung möglichst rasch anfahren, andererseits aber nicht übers Ziel hinausschießen, um sich hinterher korrigieren zu müssen – oder gar zu Schwingungen aufzulaufen. Ständig ist nebenbei das Drehmoment und der Motorstrom zu kontrollieren, damit weder Mechanik noch Motorelektronik Schaden nehmen.

Im Grunde genommen werkeln hier drei ineinander verschachtelte Regelkreise: Einer, der den Motorstrom und das Drehmoment nachregelt, dann ein zweiter, der für die Geschwindigkeit zuständig ist, und drumherum die eigentliche Positionsregelung. Die Technik, die dahinter steckt, ist im Detail noch viel komplizierter – mit der Theorie über PID-Regler hätten wir diesen Beitrag komplett füllen



Motor und Servoverstärker müssen aufeinander abgestimmt sein. Mit etwas Glück findet man bei eBay passende Kombinationen. Manche Hersteller verwenden untereinander die gleiche Elektronik (etwa Yaskawa und Omron), das erleichtert die Auswahl.

können. Zum Glück muss man sich darum nur ansatzweise kümmern, denn das erledigt der zum Motor passende Servoregler (auch als Servoverstärker bezeichnet).

Klassische Servoverstärker arbeiten entweder mit analogen Eingangswerten (d.h. Spannungen im Bereich von 0 bis 10V) für Position, Drehzahl und Drehmoment, oder aber wie eine Schrittmotor-Steuerung mit Schrittpulsen und einem Richtungs-Signal. Moderne Servoantriebe können darüber hinaus über TCP/IP oder Feldbussen wie Profibus oder CAN angesteuert werden, fahren vorgegebene Bewegungsabläufe ab und können auf Zustände der Maschine autark reagieren – sie erreichen preislich aber auch leicht einen satt vierstelligen Euro-Bereich.

Viele der eBay-Angebote aus dem industriellen Umfeld kommen für den Heimanwender somit gar nicht in Frage – Feldbus-Systeme benötigen einen ziemlichen Overhead an Interfaces und passenden Kabeln. Das Industrie-Schnäppchen sollte also wenigstens ein Impuls-Richtungs-Interface haben, zudem ist eine vollständige Dokumentation unerlässlich.

Gebrauchte Industrie-Servoverstärker bekommt man auf Online-Auktionen ab 100 Euro, für einen passenden Motor muss man 50 bis 150 Euro anlegen. Wichtig: Die Regelungscharakteristik ist in jedem Fall auf die Maschine anzupassen, weil die inertien Massen des Antriebsstrangs und die Dämpfung/Reibung in die Regelkreise einbezogen werden müssen. Viele Servoverstärker haben deshalb eine RS-232- oder RS-422-Schnittstelle zur Parametrierung über ein Computerprogramm (meist, aber längst nicht immer kostenlos) des Herstellers. Seit einiger Zeit gibt es halbwegs erschwingliche Servoantriebs-Sets als Neuware aus China, beispielsweise die Modelle ACS606 und ACS806 des Herstellers Leadshine – 200 Euro muss man aber auch dafür anlegen. Das ist im Vergleich zu einem gleich großen Schrittmotor mit Endstufe immer noch fünfmal so teuer.

„Gleich groß“ heißt hier aber nicht „gleich stark“: Moderne Servomotoren sind durch ihren BLDC-Antrieb deutlich leistungsfähiger. Auch wenn ihr Nenn-Drehmoment zunächst wenig auffällig ist: Im Unterschied zu Schrittmotoren, die schon bei Drehzahlen von 400 U/min drehmomentmäßig in den Keller fallen, können Servomotoren ihre angegebenen Newtonmeter auch noch bei 3000 U/min und mehr halten; außerdem kommen sie ohne ansteuerungsseitige Brems- und Beschleunigungsrampen aus und verpassen keine Schritte. Wer einmal ein Servo-System live gesehen hat, wird sofort von der Leichtfüßigkeit und Dynamik dieser Antriebe fasziniert sein. Trotzdem: Ein solcher Antrieb dürfte sich nur für größere CNC-Maschinen rechnen. Wer das Abenteuer Servo meistert, wird mit einer seidenweich laufenden und unglaublich agilen Maschine belohnt. —cm

Hier kommt Verstärkung



Das **Make-Sonderheft** bietet einen praxisorientierten Einstieg in Schaltungen mit Operationsverstärkern inkl. Experimentierset. Will man Sensorsignale verarbeiten oder verstärken, Spannungen überwachen oder Audiosignale filtern: Mit geringem Aufwand und ohne komplizierte Berechnungen setzt man Operationsverstärker ein. Das Heft erklärt, wie alle Schaltungen funktionieren.

- Operationsverstärker verstehen
- Komparatoren und Schmitt-Trigger erklärt
- Spannungsversorgungen und virtuelle Masse
- Schaltungen selbst entwerfen und berechnen
- Viele praktische Anwendungen
- **Inkl. Experimentierset Operationsverstärker**

Heft + Experimentierset für nur 49,95 €



shop.heise.de/make-opv

Personenschutz, Schutzklassen und Schutzarten

Der elektrische Strom ist unbestritten nützlich, leider auch gefährlich. Warum das so ist und welche Schutzmaßnahmen dazu dienen, Personen und Anlagen vor Schäden zu bewahren, erklären wir in diesem Beitrag. Das ist für Maker, die sich an Elektroinstallationen heranwagen oder netzspannungsführende Platinen entwerfen, lebensverlängerndes Grundlagenwissen.

von Hans Borngräber



Benedek Alpar / Shutterstock.com

Was passiert, wenn eine Person in einem geerdeten Raum eine stromführende Leitung berührt? Bis zu einer Wechselspannung von 50V und einem Körperwiderstand von 1kOhm wird der für den Menschen gefährliche Strom von 50mA nicht überschritten. Das ist zwar schmerzhaft, aber nicht gleich lebensgefährlich. Bei Gleichspannung geht der nicht lebensbedrohliche Bereich immerhin bis 120V. Wechselspannung ist deshalb gefährlicher, weil die 50Hz der Wechselspannung Herzkammerflimmern auslösen können.

Die DIN VDE 0100 200 unterscheidet zwischen einer direkten Berührung eines stromführenden Leiters und der indirekten Berührung. Bei letzterer wird ein elektrisches Gerät mit defekter Isolierung berührt. Die Zeichnung zeigt, welche Widerstände zum Tragen kommen, wenn ein Mensch mit einem stromführenden Leiter in Kontakt kommt: R_{qi} ist der Übergangswiderstand vom Leiter zur Hand, er ist maßgeblich von der Kontaktfläche und der Hautfeuchtigkeit abhängig: Schweiß leitet durch den hohen Salzgehalt besonders gut. Relativ konstant ist der Innenwiderstand des Körpers selbst, R_{ki} liegt im Bereich von 500 bis 1500 Ohm. Der Ableitwiderstand R_{q2} zur Erde ist wiederum stark von Faktoren wie Schuhwerk und Bodenfeuchte abhängig. Die Übergangswiderstände R_{q1} können nach einem Spannungsdurchschlag der oberen Hautschichten stark absinken, auch wenn sie anfangs einige 10kOhm betragen.

Gefahrenzulage

Ab einem Strom durch den Körper I_k von 50mA wird es lebensgefährlich: Es können Verbrennungen bis zum 4. Grad und Strommarken auf der Haut entstehen. Die starken Verbrennungen können zu Nierenversagen und dem Tod des Menschen führen. Auch bei leichten Stromschlägen kann es zur elektrolytischen Zersetzung des Blutes und damit zur Bildung von Giftstoffen im Körper kommen; dann kann es einige Tage dauern, bis Beschwerden auftreten. Deshalb ist ein Arztbesuch nach einem Stromschlag immer dringend anzuraten.

Arbeiten unter Spannung sollte ein Maker niemals ausführen. Selbst Elektrofachkräften ist das Arbeiten unter Spannung nur mit Zusatzausbildung gemäß DIN VDE 0105 erlaubt. Elektro-Auszubildende dürfen generell nicht an Anlagen arbeiten, die unter Spannung stehen.

Leitungsschutzschalter

Im Laufe der Jahre haben die Elektrotechniker immer mehr Schutzmaßnahmen und Vorrichtungen zum Schutz des Menschen vor den Gefahren der Elektrizität entwickelt. Ein Leitungsschutzschalter soll, wie der Name schon sagt, die elektrische Zuleitung bei einem Kurzschluss schützen. Dies verhindert erhebliche Brandgefahren durch überlastete Kabel und

Kurzinfo

- » Unfallgefahren und Berührungsschutz
- » Leitungs- und Fehlerstromschutzschalter
- » Schutzarten und Schutzklassen erklärt

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xha4



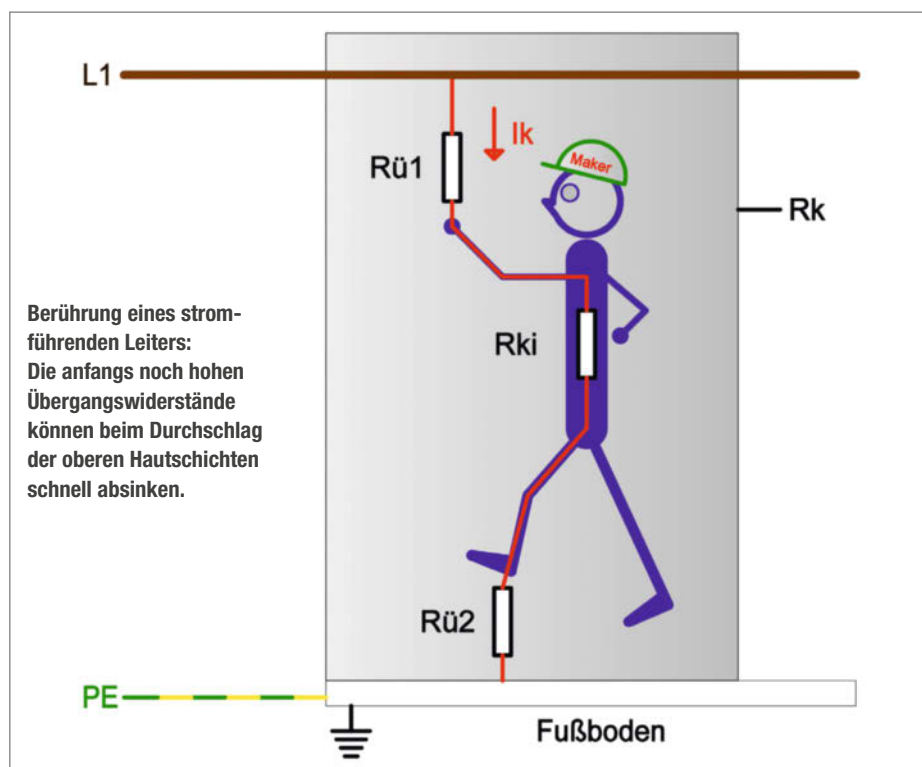
schützt Gebäude und Einrichtungen. Es gibt zwei Arten von Leitungsschutzschaltern in normalen Gebäudeinstallationen:

- Schmelzsicherungen, z.B. keramische Schraubsicherungen
- Elektromechanische Leitungsschutzschalter. *Schmelzsicherungen* enthalten einen Draht, der bei Überschreiten eines definierten Stromes durchbrennt. Diese Sicherungsart ist unempfindlich gegen kurzzeitig erhöhte Ströme auf der abgesicherten Leitung, sie ist aber nicht wiederverwendbar und muss nach Ansprechen durch eine neue ersetzt werden. Ihr Einsatzgebiet sind Installationen, in denen hohe Einschaltströme zu erwarten sind, wie Elektromotoren, Transformatoren, Werkzeugmaschinen, Halogenlichtanlagen, Wohngebäude-Einspeisungen und so weiter. Es gibt sie als Schraubsicherung im *Neozed*-Halter oder im Hutschienegehäuse zum Herauskippen des Schmelzeinsatzes. Für

sehr hohe Stromstärken sind die NH-Einsätze (Niederspannungs-Hochleistungssicherungen) gedacht, die eher in einer Hauptverteilung oder am Hausanschlusskasten zu finden sind.

Elektromechanische Leitungsschutzschalter findet man heute in jeder Elektroverteilung. Sie können nach dem Auslösen wieder aktiviert werden. Aber Vorsicht: Zuvor sollte klar sein, warum der Leitungsschutzschalter ausgelöst hat, und die Fehlerursache muss vor dem erneuten Einschalten beseitigt sein. Ein korrekt geerdetes Gerät löst im Falle eines Isolationschadens immer (auch) den Leitungsschutzschalter aus. Als direkter Personenschutz ist ein Leitungsschutzschalter nicht gedacht, da die Auslöseströme bei einem Körperschluss zu klein sind. Der klassische Leitungsschutzschalter schaltet einpolig L1 (Phase) aus.

In einigen Regionen von Österreich und Frankreich werden zweipolige Leitungsschutzschalter eingesetzt. Sie schalten sowohl





Typischer Sicherungskasten mit Fehlerstrom- und Leitungsschutzschaltern.

L1 als auch N aus. Der Grund dafür: Es gibt dort heute noch Netze (z.B. lokale Wasserkraftwerke), die nicht 230V, sondern gegenphasig zweimal 127V in die Wohngebäude liefern; hier gibt es keinen Neutral- sondern nur einen Rückleiter. Würde im Fehlerfall nur einpolig

abgeschaltet, stünde der andere Leiter noch unter Spannung, was lebensgefährlich wäre. Derartige Leitungsschutzschalter werden heute auch in normalen 400V-Drehstromnetzen empfohlen. Hier müssen diese zweipoligen Schalter die Bedingung erfüllen, dass L1 vor N abgeschaltet wird. Ansonsten würde an den angeschlossenen Geräten beim Ansprechen des Leitungsschutzschalters kurzfristig 400V anliegen, was vielen nicht bekommen dürfte.

Fehlerstromschutzschalter

Der Fehlerstromschutzschalter, auch FI-Schalter oder RCD (Residual Current Device) genannt, dient zum direkten Personenschutz bei Berührung eines stromführenden Leiters oder einem Isolationsschaden eines Elektrogerätes. Der Abschaltstrom liegt weit unter dem eines Leitungsschutzschalters. Normal sind in Wohngebäuden 10mA oder 30mA bei einer Auslösezeit von weniger als 0,1s. Dies garantiert das Überleben eines Menschen bei Berühren von stromführenden Bauteilen. In Industriebetrieben sind RCD bis 300mA erlaubt. Diese höhere Schwelle ist notwendig, da elektrische Maschinen durch Induktion ständig Ströme über den Schutzleiter ableiten.

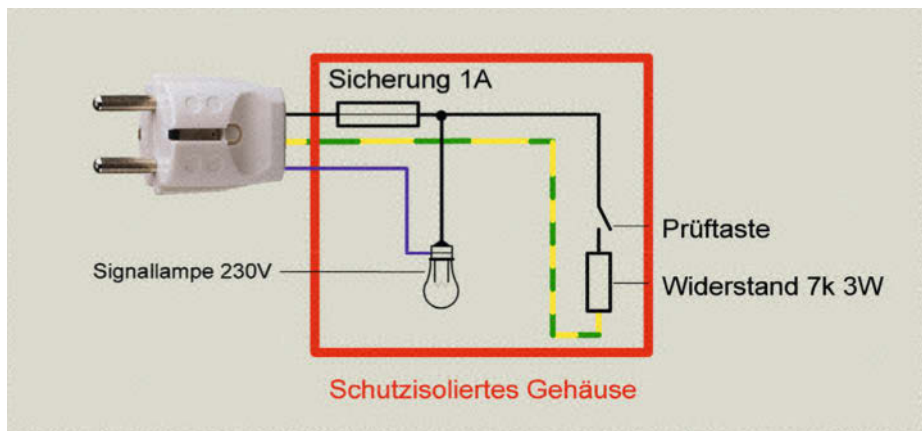
Ein RCD ist heute in allen Wohngebäuden für die gesamte Elektroinstallation vorgeschrie-

ben. Er muss alle 6 Monate mittels Testtaste überprüft werden. Die Testtaste befindet sich direkt am RCD. Will man prüfen, ob der RCD auch an einer neu installierten Steckdose funktioniert, bedarf es eines Schutzmaßnahmen-Prüfgerätes. Mit etwas elektrischem Sachverstand kann man so etwas auch selber bauen. Die Prüfung erfolgt durch Herstellen einer Verbindung zwischen L1 und PE mit Hilfe eines robusten 6,8kOhm-Widerstandes, der bei 230V einen Stromfluss von rund 33mA verursacht.

Der Tester wird in die zu testende Steckdose gesteckt. Die Signallampe muss aufleuchten. Leuchtet sie nicht, ist etwas an der Verdrahtung der Steckdose nicht in Ordnung. Betätigt man den Taster kurz (< 1sec.) – es darf kein einrastender Schalter verwendet werden – muss die Lampe verlöschen und der RCD muss auslösen. Da aber bei Schuko-Steckdosen nicht festgelegt ist auf welchem Anschluss L1(Phase) aufgelegt ist, muss man bei ausbleibendem Auslösen den Schuko-Stecker um 180° drehen. Damit testet man dann den anderen Anschluss. Der Test darf nur in einer Drehrichtung des Steckers funktionieren. Funktioniert er in beiden Richtungen, hat man den Neutralleiter unter Spannung stehen (das ist lebensgefährlich!). Funktioniert er in keiner Richtung, so ist die Verdrahtung unterbrochen oder der RCD defekt.

Der Aufbau des Testers muss in einem schutzisolierten Kunststoffgehäuse erfolgen. Es dürfen keine spannungsführenden Bestandteile der Schaltung berührbar sein. Beim Aufbau ist äußerste Sorgfalt notwendig. Wird geschluppt, dann sind Leben und Gesundheit in Gefahr.

Der Test mit der einfachen Schaltung überprüft nur *geht* oder *geht nicht*. Die Schaltung ersetzt keinesfalls einen professionellen RCD-Tester, der auch die Auslösezeit und den Ansprechstrom messen kann. Beim Einsatz eines RCD-Testers muss klar sein, dass alle am RCD angeschlossenen Geräte von der Stromversorgung getrennt werden. Deshalb vorsorglich die Geräte vorab abschalten und im Falle von IT-Geräten geordnet herunterfahren.



Einfacher RCD- und Steckdosen-Tester

Schutzklassen nach IEC 417

Schutzklasse	Kennzeichen	Anwendung
I		Gerät ist mit dem Schutzleiter verbunden
II		Doppelte oder verstärkte Isolierung, früher: Schutzisolierung
III		Kleinspannung. Gerät wird ext. versorgt mit Spannung <50V~ oder < 120V~. Gilt für Steckernetzteile und Netzteile mit Transformator, mit oder ohne Gleichrichter

Schutzklassen

Stellt ein Maker eine Schaltung her, die aus dem 230V Netz versorgt wird, hat er sich mit den Schutzklassen für elektrische Geräte zu beschäftigen. Denn nur wenn er die Schutzklassen kennt, ist er in der Lage, seine Geräte so sicher aufzubauen, dass es nicht zu Schäden an Leib, Leben und Infrastruktur kommt.

Entwirft der Maker seine Platinen und Geräte selbst, so hat er im Rahmen der Schutzklassen zwingend folgende Designregeln zu beachten:

Schutzklasse I: Mindestabstand der Leiterbahnen mit Netzpotential und der Kleinspannungsseite 6mm und 3mm Abstand zwischen

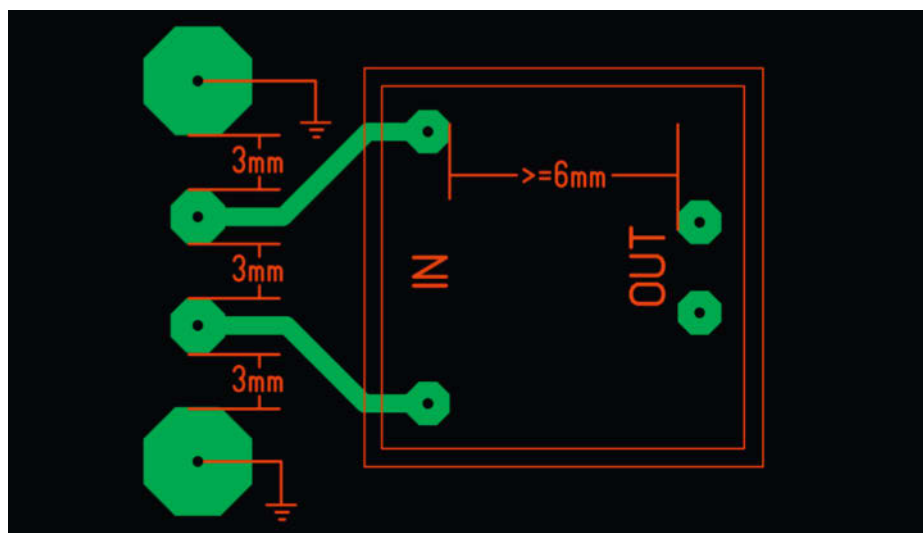
den primärseitigen Leiterbahnen selbst, vom Rand der Leiterbahn gemessen. Das Gerät muss über einen festverschraubten Schutzleiter-Anschluss verfügen. Dieser darf nicht zur Befestigung von Bauteilen genutzt werden. Alle metallischen Teile des Gerätes müssen mit dem Schutzleiter verbunden sein, ebenso die Verschraubung der Platinen.

Schutzklasse II: Es gelten die Mindestabstände zwischen Netzpotential führenden Leitern wie bei der Schutzklasse I. Wird ein Schutzleiter angeschlossen, muss der Abstand zwischen Schutzleiter und Netzpotential führendem Leiter mindestens 6mm betragen.

Schutzklasse III: In diesen Geräten ist kein Netzpotential vorhanden. Mindestabstand von Leiterbahnen 1mm pro 1000V auf Meereshöhe, berücksichtigt wird nur die Spannungsdifferenz zwischen den Leiterbahnen. Leiterbahnen, die gleiches (hohes) Spannungs-Potential führen, dürfen enger verlegt werden.

Schutzarten

Ein Maker, der *Elektroinstallationen* selbst ausführt, muss sich über die Schutzarten-Klassifizierungen informieren. Die Kenntnisse sind wichtig für die richtige Wahl des elektrischen Betriebsmittels. Je nach Installationsort und



Beim Layout von netzspannungsführenden Platinen sind Mindestabstände vorgeschrieben. Bei schutzisolierten Geräten dürfen 6mm zur Sekundärseite nirgends unterschritten werden.

Einsatzgebiet legen die Schutzarten fest, welchen Umwelteinflüssen ein elektrisches Betriebsmittel (Lampe, Steckdose etc.) widerstehen muss. Sie garantieren dem Installateur, dass das Bauteil, dass er z.B. im Garten einbaut, den dortigen Gegebenheit standhält.

Im Laufe der letzten Jahre sind die Schutzarten enorm angewachsen. Die Schutzarten-Bezeichnung beginnt immer mit einem IP (von engl. *ingress protection*) als Kennbuchstabe gefolgt von einer zweistelligen Zahl. Ist die Zahl nur einstellig, wird ein X hinzugefügt. Des

Mac & i Wissen erfahren

Apple School Manager

Der Apple School Manager ist essenziell beim Einsatz von iPads im Bildungsbereich. Unser **Webinar** zeigt Ihnen, wie Sie den Apple School Manager gratis beantragen und registrieren. Im weiterführenden **Workshop** lernen Sie dessen Einrichtung und Bedienung.

Jetzt
Tickets
sichern!

WEBINAR

Apple School Manager gratis
beantragen und registrieren

05.10. und 29.11.2022

mac-and-i.de/webinar-1

WORKSHOP

Apple School Manager beherrschen

12.-13.10. und 07.-08.12.2022

mac-and-i.de/workshop-1

Schutzarten elektrischer Betriebsmittel					
Erste Ziffer	Berührungs- und Fremdkörperschutz	Zeichen	Zweite Ziffer	Wasserschutz	Zeichen
0	Kein besonderer Schutz	-	0	Kein besonderer Schutz	-
1	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser $\geq 50\text{mm}$	-	1	Schutz gegen senkrecht tropfendes Wasser.	 IP X1
2	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser $\geq 12,5\text{mm}$	-	2	Schutz gegen senkrecht tropfendes Wasser. Betriebsmittel bis 15° geneigt.	
3	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser $\geq 2,5\text{mm}$	-	3	Schutz gegen Sprühwasser (Regen) bis zu einem Winkel von 60° zur Senkrechten.	 IP X3
4	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser $\geq 1\text{mm}$	-	4	Schutz gegen Spritzwasser aus allen Richtungen.	 IP X4
5	Schutz gegen Staubablagerungen (staubgeschützt). Vollständiger Berührungsschutz.	 IP 5X	5	Schutz gegen Strahlwasser (Düse) aus allen Richtungen.	 IP X5
6	Schutz gegen Eindringen von Staub (staubdicht). Vollständiger Berührungsschutz.	 IP 6X	6	Schutz gegen starken Wasserstrahl oder schwere See	
Wird neben den Kennbuchstaben IP nur eine Kennziffer für den Schutzgrad benötigt, so ist anstelle der fehlenden Kennziffer ein X zu setzen, z.B. IP X4 oder IP 3X.			7	Schutz gegen Wasser bei Eintauchen des Betriebsmittels unter Druck, Zeitbedingungen.	 IP X7
IP-Kennzeichnung durch nachgestellte Buchstaben:			8	Schutz gegen Wasser bei dauerndem Untertauchen des Betriebsmittels.	 ...bar IP X8
1. Buchstabe A Schutz gegen Zugang mit dem Handrücken B Schutz gegen Zugang mit dem Finger C Geschützt gegen Zugang mit Werkzeugen D Geschützt gegen Zugang mit Draht			2. Buchstabe H Betriebsmittel für Hochspannung M Geprüft auf Wassereintritt bei laufender Maschine. S Geprüft auf Wassereintritt bei stehender Maschine. W Geeignet bei festgelegten Witterungsbedingungen		

Quelle: Fachkunde Elektrotechnik von 2009, Seite 324; Europa Lehrmittel Verlag

Weiteren gibt es IP-Kennzeichen mit nachgestelltem Buchstaben. Die nebenstehende Tabelle dient dem Maker als Hilfe zur Auswahl der richtigen Schutzklasse.

Das Thema hat eine gewisse Komplexität. Jemand, der nur gelegentlich damit zu tun hat, wird sich schwertun, die richtige Schutzklasse für sein Projekt zu finden. Hier empfiehlt sich der Einkauf beim Fachhändler. Der kann den Maker bezüglich der Auswahl der

benötigten Betriebsmittel für sein Projekt beraten.

CAT-Klassen

Die CAT-Klassen dienen dazu, den Einsatzbereich von Messgeräten zu klassifizieren. Sie informieren den Maker/Installateur, ob ein Messgerät für die Messaufgabe zugelassen und in der Lage ist korrekte Messwerte zu liefern.

Setzt man Messgeräte in Umgebungen ein, für die diese nicht geeignet sind, so besteht Unfallgefahr. Die Zerstörung des Messgerätes ist da noch das geringste Problem. Ein in Brand gesetztes Messgerät kann erhebliche Personen- und Gebäudeschäden verursachen.

Sollte das Messgerät keine CAT-Klassen-Kennzeichnung besitzen, so dürfen mit dem Gerät nur Messungen der CAT-I-Klasse ausgeführt werden. Die Kategorien sind außerdem in die Spannungshöhen 300V, 600V und 1000V unterteilt. So kann beispielsweise ein Messgerät für Spannungen bis 600V in CAT IV, für Spannungen bis 1000V aber nur in CAT III fallen.

Fazit

Das zuvor beschriebene ist eine kompakte Übersicht zum Thema Personenschutz und Schutz-Klassifizierungen von elektrischen Betriebsmitteln. Hat man komplexere Probleme zu lösen, empfiehlt es sich, weitergehende Informationen einzuholen: Eine gute Quelle für weiterführende Informationen sind die Webseiten der Hersteller von elektrischen Betriebsmitteln. —cm

CAT-Klassen nach IEC 61010-2-030

Klasse	Verwendung
CAT I	Messungen an Stromkreisen, die keine direkte Verbindung zum Netz haben (Batteriebetrieb), z. B. Geräte der Schutzklasse 3 (Betrieb mit Schutzkleinspannung), batteriebetriebene Geräte, PKW-Elektrik
CAT II	Messungen an Stromkreisen, die eine direkte Verbindung mittels Stecker mit dem Niederspannungsnetz haben, z. B. Haushaltsgesetze, tragbare Elektrogeräte
CAT III	Messungen innerhalb der Gebäudeinstallation (stationäre Verbraucher mit nicht steckbarem Anschluss, Verteileranschluss, fest eingebaute Geräte im Verteiler), z. B. Unterverteilung
CAT IV	Messungen an der Quelle der Niederspannungsinstallation (Zähler, Hauptanschluss, primärer Überspannungsschutz), z. B. Zähler, Niederspannungs-Freileitung, Hausanschlusskasten

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Messkategorie>

Testboy:

Berührungsloser Spannungsprüfer

von Carsten Wartmann

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/x2pv



Wohl jeder kennt noch die alten Phasenprüfer in Schraubenzieher-Form mit einer kleinen Glühlampe im Griff (siehe S. 30). Dabei muss ein Stromfluss von der Phase durch den Finger des Anwenders fließen. Das ist wegen der sehr geringen Stromstärke nicht gefährlich, birgt aber viele Fehlerquellen. Zu gute Isolation des Anwenders (Gummischuhe, zu trockene Hände) oder ein Kontaktproblem kann falsche Anzeigen hervorrufen. Natürlich kann auch die Glühlampe defekt sein: Während man diesen Fehler durch einen Test an einer funktionierenden Dose noch ausschließen kann, sollte der Phasenprüfer wegen des erstgenannten Problems nicht zum Feststellen der Spannungsfreiheit verwendet werden, sondern nur zum Test, wo die Phase anliegt.

Die moderne und viel sicherere Alternative ist ein berührungsloser Spannungsprüfer: Geräte wie die *Testboy*-Serie des gleichnamigen Herstellers testen berührungslos auf Wechselspannung (AC). Ich habe mir vor Jahren einen *Testboy 113* gekauft, der mir immer exakte und verlässliche Anzeigen geliefert hat. Er detektiert 12-1000V AC und signalisiert dies per roter LED in der Spitze und einem Summer. Als *Testboy 114* ist auch ein Modell mit Vibration

zu bekommen, sehr praktisch bei hoher Lautstärke und hellem Licht auf einer Baustelle.

Spannungsfreiheit sollte man testen, indem man am angeschalteten Gerät oder Steckdose misst und dann die Sicherung herausdreht: Wenn dann die Anzeige ausgeht, ist man sicher. Die VDE fordert aber dennoch mindestens einen zweipoligen Phasenprüfer zu diesem Zweck.

Die Phase in einer Steckdose oder an einem Lampenanschluss findet man ohne Probleme. Man kann ebenso einfach Kabelbrüche in

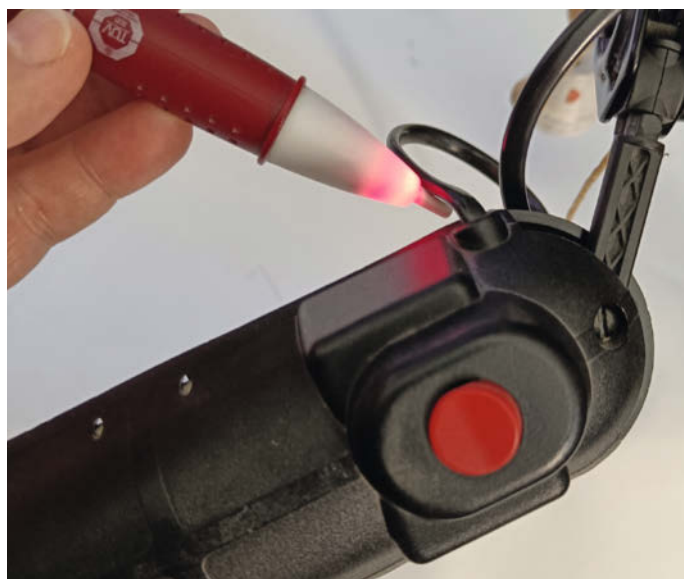
Verlängerungskabeln finden: Die Verlängerung zweimal mit jeweils 180° gedrehtem Stecker (wegen der Phase) mit dem *Testboy* abfahren, dort wo das Piepen aufhört, ist der Bruch.

Testboys der 100er Serie haben eine eingebaute Taschenlampe, die nicht nur im Sicherungskasten Licht spendet, sondern auch einen besonders empfindlichen Modus aktiviert, der Wechselspannung ab 12V anzeigt. Bis zu einer gewissen Tiefe kann man damit auch stromführende Leiter in Wänden und Böden finden.

—caw



Das ist die Phase.



Kein Licht: Strom kommt an, ist es das Leuchtmittel oder der Schalter?

Tipps & Tricks

Netzanschlusskabel erneuern

Die Praxis und der Haartrockner: Wie in ① ersichtlich, gelingt es Benutzern solcher Geräte nicht nur, glatte Haare zu Locken zu verwandeln, sondern auch aus einem geraden Netzanschlusskabel im Laufe der Zeit eine verwirbelte Anschlussspirale zu drehen.

Irgendwann wird's dann gefährlich: Häufig unbemerkt beginnen die Knickstellen einzureißen, und dann lässt der Feuerzauber nicht mehr lange auf sich warten ②. Checken Sie daher solch verwirbelte Kabel öfter auf die versteckten Scheuerstellen.

Als echter Macher wird man im Wechseln des Anschlusskabels kein Problem erkennen. Irgendwo hat man doch noch ein überzähliges Netzkabel herumliegen, also frisch ans Werk. An der Stelle heißt es nun aber aufzupassen!

Gerade das Beispiel Haartrockner zeigt, dass man hier schnell etwas falsch machen kann. Ein Blick auf das Typenschild ③ zeigt uns, dass der Trockner eine ziemlich hohe Leistung hat, die auch das Netzkabel verkraften muss.

Bei 230 Volt Netzspannung sind das $1250\text{W}/230\text{V} = 5,4\text{A}$ Strom! Ein Blick auf den Stecker des Kabels zeigt, dass dieses für einen Strom dieser Größe auch geeignet ist: 10-16 Amp / 250 Volt ist hier zu lesen ④.

Nun gilt es herauszufinden, ob das potentielle Ersatzteil mithalten kann. Hier ein paar Tipps, worauf zu achten ist.

Sitzt am Kabel ein Stecker mit der Aufschrift 2,5 Amp / 250 Volt ⑤, verkraftet der nur ca. 600 Watt und ist in diesem Falle nicht nur unzulässig, sondern könnte brandgefährlich werden – und das im Sinne des Wortes! Übrigens kann auch am anderen Ende des Kabels eine Steckverbindung sitzen, was zum Beispiel bei Waffeleisen u.ä. Geräten oft der Fall ist. Auch deren Belastbarkeit muss zum Gerät passen. Sind die Werte beider Stecker unterschiedlich, ist der kleinere Wert maßgeblich.

Nicht zuletzt ist aber auch das Kabel dazwischen wichtig. Hier fehlen meist Kennzeichnungen über den Querschnitt und damit die Belastbarkeit (siehe Seite 112). Wenn Sie ein

Ein Gerätekabel wechseln kann doch jeder, oder? Im Prinzip ja, aber da gibt es auch einiges zu beachten, wenn man keine potenzielle Brandquelle installieren möchte.

von Horst Laubmann



① Mit der Dauerwelle beginnt oft ein Kabelschaden.



② Ist erst die äußere Isolierung durchgeschuert, folgt auch bald die innere.

Ersatzkabel kaufen, checken Sie die angegebenen Daten. Wenn auf dem Stecker etwas von 10A/250V steht, gilt das nur für den Stecker. Das Kabel verträgt aber eventuell weniger, wie etwa beim Kabel NKS150SW von Reichelt, das nur für 6A geeignet ist.

Achtung bei Bügeleisen: Deren Anschlusskabel müssen(!) textilmantelt sein. Ein Kunststoff-Kabelmantel würde bei jeder Berührung mit der heißen Laufsohle sofort angeschmolzen werden. Diese Kabel haben außerdem die Leistung eines modernen Bügeleisens zu verkraften, das sind bis ca. 2600W entsprechend einem Strom von bis zu 11,3A!

Im Gerät oder beim Ersatz eines Netzsteckers gilt noch: Bei Klemmverbindungen (wie Lüsterklemmen etc.) sind Aderendhülsen zu benutzen ⑥, damit die Klemmschrauben nicht die Litzendrähte abquetschen können. Jede solche Verringerung des Leitungsquerschnittes bedeutet nämlich eine potenzielle Schmorstelle.

—hgb



③ Über 1kW Leistung, das ist keine Kleinigkeit!



④ Strom- und Spannungsfestigkeit des Steckers



⑤ Solch ein Kabel reicht für einen Haartrockner nicht aus.



⑥ Aderendhülsen vermeiden brandgefährliche Übergangswiderstände durch Drahtbrüche.

Kleiner Pico – großer Spaß!



Inkl. Raspberry
Pi Pico RP2040

Exklusiv im
heise Shop

Mit dem **Make Special Pi Pico** steigen Sie ein in die Welt der Programmierung von ARM-Mikrocontrollern. Make zeigt in dem 64-seitigen Special, welche Entwicklungsumgebungen es für den Raspberry Pi Pico gibt, wie man sie installiert und wie man sie nutzt:

- ▶ Den Pi Pico programmieren mit Basic, MicroPython oder C++
- ▶ Sensoren und Mini-Displays nutzen
- ▶ NeoPixel per PIO-Funktion kontrollieren
- ▶ **inkl. Raspberry Pi Pico, Modell RP2040 Mikrocontroller-Board**

Heft + Raspberry Pi Pico für 24,95 €



shop.heise.de/make-pico

Hausinstallation

Was bedeutet ein blaues Kabel am Lampenanschluss? Wie unterscheiden sich Sicherungen und FI-Schutzschalter? Und welche Schalter braucht man, um eine Lampe von zwei oder mehr Stellen aus zu schalten? All das sollte man wissen, wenn man sich selbst an Instandhaltungsarbeiten macht.

von Ulrich Schmerold



Wie schon im Artikel Elektroarbeiten im Haus auf Seite 98 steht, darf man im Grunde so gut wie nichts selbst an der Strominstallation erledigen. Doch die Niederspannungsverordnung erlaubt in ihrem Paragraf 13 eine Ausnahme für Instandhaltungsmaßnahmen hinter der Zähleinrichtung, also nach dem Stromzähler. Unklar ist allerdings, was eine Instandhaltung ist: Der Wechsel einer Glühlampe dürfte damit abgedeckt sein. Ob aber auch der Austausch eines defekten Schalters, einer Steckdose oder eines Sicherungsautomaten im Zählerschrank dazu gehört? Falls ja, wäre es zumindest vorteilhaft, wenn man sich mit den dabei vorkommenden Kabelfarben und den Besonderheiten der einzelnen Schutzeinrichtungen auskennt und weiß, welche Art von Lichtschalter man braucht.

Beachten Sie aber trotzdem auch den Kasten mit dem Warnhinweis, der eigentlich immer zu einer Anleitung für Laien, die sich am Stromnetz zu schaffen machen, gehört



Änderungen am Hausnetz

Nach der Niederspannungsverordnung (NAV) ist es Laien verboten, Änderungen am Hausnetz vorzunehmen. Wer sich nicht an diese Verordnung hält und selbst Hand an den Stromkreis legt, muss einen eventuellen Schaden aus der eigenen Tasche bezahlen.

Fakt ist aber auch, dass sehr viele Heimwerker Arbeiten ausführen, die sie eigentlich nicht dürften. Schon das Aufhängen einer Lampe ist durch die Verordnung dem Laien untersagt.

Wer an der Verkabelung der Wohnung oder des Hauses etwas verändert, sollte also genau wissen, was sie oder er da tut. Bei einer fehlerhaften Verkabelung drohen lebensgefährliche Verletzungen oder Brände. Sie sollten sich also sicher sein, dass sie über ausreichende Fachkenntnisse verfügen, um das Gewerk auch verantworten zu können.

Wer sich nicht zu 100 Prozent sicher ist, dass alle Installationen korrekt erfolgt sind, sollte sich seine Arbeit unbedingt von einem lizenzierten Elektriker (beim Stromversorger eingetragener Elektriker, DIN VDE 0701 0702) abnehmen lassen. So sind Sie dann auch im Notfall abge- und insbesondere versichert.

Kurzinfo

- » Die Bedeutung der Farben von Elektrokabeln
- » Sicherungen und FI-Schalter
- » Einzel-, Wechsel- und Kreuzschaltung von Lampen

Alles zum Artikel
im Web unter
[make-magazin.de/x5z4](https://www.make-magazin.de/x5z4)



(selbst, wenn ich auch schon viel Mist gesehen habe, der von sogenannten Fachleuten fabriziert wurde).

Und noch etwas muss ich hier deutlich sagen: Sollten Sie bei ihren Arbeiten auf eine Plombe stoßen, ist dies immer ein Zeichen für „Stopp und Finger weg!“ Ab hier dürfen Arbeiten wirklich nur von Fachleuten durchgeführt werden. Wer dennoch eine Plombe entfernt, macht sich strafbar. Hier hat der Hobby-Installateur nichts verloren.

In einem Sicherungsschrank lauern noch einige Gefahren, die man unbedingt kennen sollte, bevor man daran Hand anlegt. Bei der Hausinstallation ist man in der Regel durch

den Fehlerstromschutz vor lebensbedrohlichen Stromschlägen geschützt. Nicht so im Sicherungsschrank! Dort liegen auch Stromleitungen vor den Schutzeinrichtungen (FI-Schalter), deren Berührung somit lebensgefährlich sein kann.

Die Kabelfarben und deren Bedeutung

Bei der Elektroinstallation einer Wohnung oder eines Hauses werden heutzutage mehrere hundert Meter Leitungen verbaut. Wären alle Leitungen in nur einer Farbe ausgeführt, würde dies zwar funktionieren, jedoch könnte

1 Genormte Kabelfarben

	Beginnen wir mit den genormten Leitungen: Die wichtigste Leitung bei Elektroverkabelungen ist und bleibt der Schutzleiter (PE, Erde). Der Schutzleiter leitet Fehlströme in Richtung Erde ab. Er muss durchgehend die Farbe gelb-grün aufweisen.
	Der Neutralleiter (N, Nullleiter) sorgt so für den Rückfluss des Stroms, wenn ein Verbraucher angeschlossen ist. Er muss zwingend die Farbe blau aufweisen.
	Der Außenleiter (L1, L2, L3, Phase) führt den Strom vom Sicherungskasten zu den Schaltern und Steckdosen. Ungeschaltete Leiter müssen der Norm entsprechend schwarz sein.
	Bei mehreren Außenleitern wie zum Beispiel in einer Drehstromsteckdose dürfen die Außenleiter sowohl schwarz als auch grau oder braun sein.
	Oft findet man in den Baumärkten fünfadriges Kabel (beispielsweise Herdanschlusskabel) mit verschiedenen Farben: Natürlich sind immer die Leiter gelb-grün und blau dabei, dann jedoch zum Beispiel 3 x schwarz , schwarz-braun-grau , 2 x schwarz und braun ... Also eine beliebige Kombination der drei Außenleiter. All dies ist zulässig.

② Nichtgenormte Kabelfarben

	Orangefarbene Kabeladern werden oftmals als Leitungen zwischen korrespondierenden Wechsel- oder Kreuzschaltern eingesetzt (siehe Seite 88).
	Rosafarbene Leitungen befinden sich häufig zwischen einem Stromstoßrelais und dem zugehörigen Taster.
	Zwischen Schalter und Lampe findet man oft eine lila Leitung.

etabliert ②. Die Farben **braun, orange, weiß, rosa, violett** werden meist als geschaltete Leitungen verwendet. Es fließt in ihnen also je nach Schalterstellung mal Strom und mal auch nicht.

Besondere Vorsicht ist bei Altanlagen und -geräten geboten. Hier haben die Kabelfarben oft eine ganz andere Bedeutung ③.

Kommen wir nun zu den Schutzeinrichtungen, die das Haus vor Brand durch Überlastung der elektrischen Anlage, Geräte vor Zerstörung durch zu hohe Spannungen und die Bewohner vor Stromschlägen durch defekte Kabel, Geräte oder ähnlichem bewahren sollen.

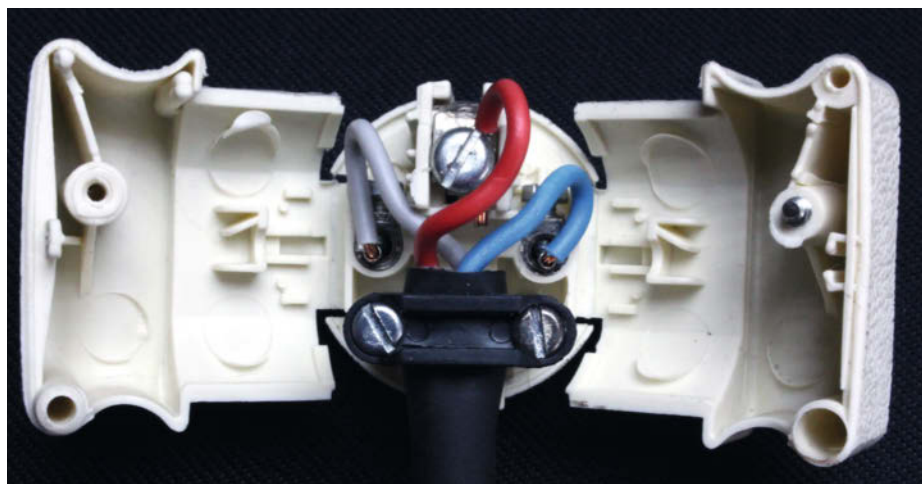
Sicherungen

Auch wenn ein Hausnetz ordnungsgemäß installiert wurde, könnte es zu Bränden oder lebensgefährlichen Stromschlägen kommen, wenn ein Verbraucher beschädigt ist. Um das zu vermeiden, haben sich findige Köpfe Sicherungen und später den FI (Fehlerstromschutzschalter) einfallen lassen.

Die erste *Schmelzsicherung* ließ sich (wen wundert's) Thomas Alva Edison bereits 1890 patentieren. Er verwendete kurze Drahtstücke aus Zinn und Blei, die bei zu hohem Strom durchbrannten. Auf diese Weise wurden Kabelbrände durch Kurzschlüsse oder durch zu hohe Belastung vermieden. Dieses Prinzip wurde immer weiter verfeinert und wird auch heute immer noch verwendet ④ (Starkstromsicherungen, Hausanschlussicherungen ...).

Bereits 1924 wurde der erste *Sicherungsautomat* (elektromagnetischer Überstromschalter) zum Patent angemeldet. Damit mussten nun Sicherungen, die ausgelöst hatten, nicht mehr ausgewechselt werden, sondern konnten einfach wieder zurückgesetzt werden.

Die Sicherungsautomaten (oder auch *Leitungsschutzschalter*) haben sich im Aussehen



③ Kabelfarben eines Steckers vor 1973: Der Nullleiter ist grau, die Phase blau und der Schutzleiter ist die rote Ader. Da kann schnell gefährliche Verwirrung auftreten.

man kaum noch nachvollziehen, welche Funktion ein bestimmter Leiter hat. Sieht man in eine Schalterdose oder in einen Sicherungskasten, so geht es dort zuweilen aber recht bunt zu.

Welche Leitungsfarben welche Funktion haben, regelt die *DIN VDE 0100-510*. Für mich

überraschend war, dass dort nur wenige Leiter eindeutig geregelt sind ①.

Soweit die Norm. Bei Elektrikern hat sich über die Jahre die Verwendung weiterer Farben durchgesetzt. Sie sind jedoch (noch?) nicht in die Normung eingegangen, sondern haben sich im Laufe der Zeit als *best practice*



④ Rechts sieht man eine antike Sicherungspatrone, die jedoch auch heute noch im Einsatz ist. Links das entsprechende moderne Modell. Es wird meist für die Absicherung von Starkstrom ab 32A verwendet.



⑤ Rechts hinten ein moderner Sicherungsautomat für die Montage in einem Schaltschrank (Hutschne). Links vorne der entsprechende Sicherungsautomat aus grauer Vorzeit. In alten Häusern ist er noch immer erfolgreich im Einsatz. Er ist auch noch im Sortiment von Baumärkten zu finden.

zwar stark verändert **5**, arbeiten jedoch noch immer nach demselben Prinzip. Sie besitzen zwei Auslöseeinheiten: Die thermische Auslöseungseinheit dient als Überlastschutz (langdauernde zu hohe Lasten), während die magnetische Auslöseungseinheit sehr schnell auf Kurzschlüsse reagiert.

Fehlerstromschutzschalter

Ein Fehlerstromschutzschalter wird meist als FI abgekürzt. Dabei steht das F für Fehler und das I für Strom. Elektriker benutzen auch oft die Bezeichnung RCD. RCD ist eine Abkürzung für den englischen Begriff *Residual Current Device*.

Der Fehlerstromschalter schützt vor falsch angeschlossenen oder defekten Geräten. Er vergleicht die Ströme, die durch die Phase(n) geleitet werden, mit dem Strom, der durch den Nullleiter zurückfließt. Ergibt sich dabei eine Differenz, so löst der FI aus und trennt alle Stromkreise **6**. Eine Stromdifferenz bedeutet ja, dass Strom nicht auf dem vorgesehenen Weg zurückfließt, sondern zum Beispiel über den Schutzleiter oder gar über einen Menschen zur Erde geleitet wird. Dies muss auf jeden Fall verhindert werden.

Die üblichen Fehlerstromschutzschalter für die Hausinstallation **7** lösen bei einem Fehlstrom von 0,03A in weniger als 0,5 Sekunden aus. Ein über den Menschen fließender Strom von 0,03A gilt noch nicht als lebensbedrohlich.

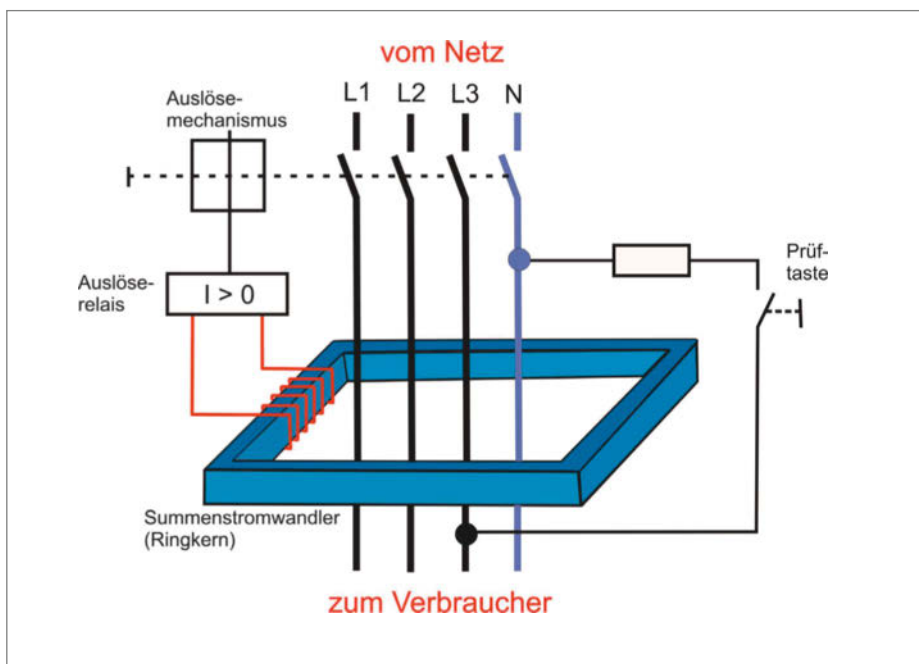
Der kleine Test-Knopf **8** sollte mindestens einmal pro Jahr gedrückt werden. Manche Hersteller empfehlen auch halbjährlich. Der Knopf leitet dann den Auslösestrom von 0,03A am FI vorbei **6**, der dadurch sofort auslösen muss. Tut er das nicht, so ist der FI defekt oder nicht korrekt angeschlossen.

Ein guter FI löst übrigens auch aus, wenn der Nullleiter den Schutzleiter berührt. Ist dies der Fall, wird der Rückfluss auf Nullleiter und Schutzleiter aufgeteilt. Der Schutzleiter geht aber nicht durch den FI. Somit entsteht ein Ungleichgewicht der Ströme, die über die Phase fließen und über den Rückstrom, der über den Nullleiter fließt. Folge: Der FI löst aus. In der Elektriikerpraxis passiert dies gerne mal, wenn man mit dem Prüfer an N und PE kommt.

Noch besser lässt sich der FI mit einem Testgerät überprüfen **9**. Dieses Gerät wird mit irgendeiner Steckdose verbunden und von dort wird ein Fehlstrom erzeugt. Der Vorteil ist, dass auch die Strecke zwischen Steckdose und FI getestet wird, ob alles an der Verkabelung funktioniert.

Überspannungsschutz (IPRF)

Und noch einer weiteren Gefahr kann/muss begegnet werden: Überspannung! In privaten



6 Das Prinzip des FI-Schalters: Solange alles in Ordnung ist, ist die Summe der Ströme in den drei Phasen genauso groß wie der Strom im Nullleiter. Allerdings ist die Richtung umgekehrt. Im Stromwandler wird dann kein Strom induziert. Sind die Ströme unterschiedlich, ist das anders: Der FI löst aus.

Häusern war ein Überspannungsschutz bisher keine Pflicht. Seit 2016 gilt die neue DIN VDE 0100-443/534, welche den Überspannungsschutz in Anlagen, die ab 2016 gebaut wurden, zwingend vorschreibt. Krankenhäuser, Behörden, Hotels usw. waren auch bisher schon verpflichtet, die Auswirkungen von Überspannungen von den Kunden fernzuhalten.

Dies ist nicht zu verwechseln mit einem Blitzschutz! Bei einem Gewitter vor einigen Jahren hat der Blitz direkt in meinen Garten eingeschlagen (ca. 10 Meter vom Haus entfernt). Augenblicklich wurden fast alle meiner elektrischen Geräte zerstört – auch die Überspannungsstecker! Ein teurer Spaß und sehr ärgerlich (PC-Daten weg). Bei solch hohen Spannungen und Strömen helfen Überspannungsschutz-Einrichtungen nicht.

Viel häufiger als diese direkten Blitzeinschläge in unmittelbarer Nähe sind Einschläge, die 1-2 km entfernt sind. Auch die können Spannungsspitzen auslösen und zerstörerisch auswirken. Selbst bei Blitzen zwischen den Wolken können genügend EMV-Wellen entstehen, die empfindliche Geräte beschädigen. Hier stehen die Chancen mit einem Überspannungsschutz nach Norm deutlich besser. In mein neues Haus habe ich deshalb Überspannungsmodule **10** direkt in den Schaltschrank verbaut. Diese sollen im Bedarfsfall die Überspannung sofort Richtung Erde ableiten.

Der Überspannungsschutz muss dabei möglichst nahe an der Hausanschlussleitung installiert werden, idealerweise noch vor dem Stromzähler. Da dieser Bereich aber verplombt ist, bleiben nur die Optionen, einen Elektriker

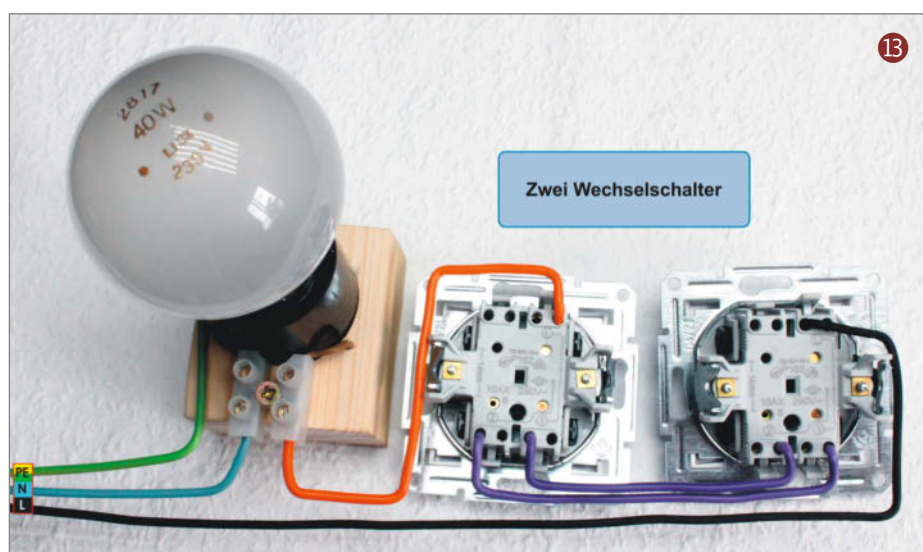
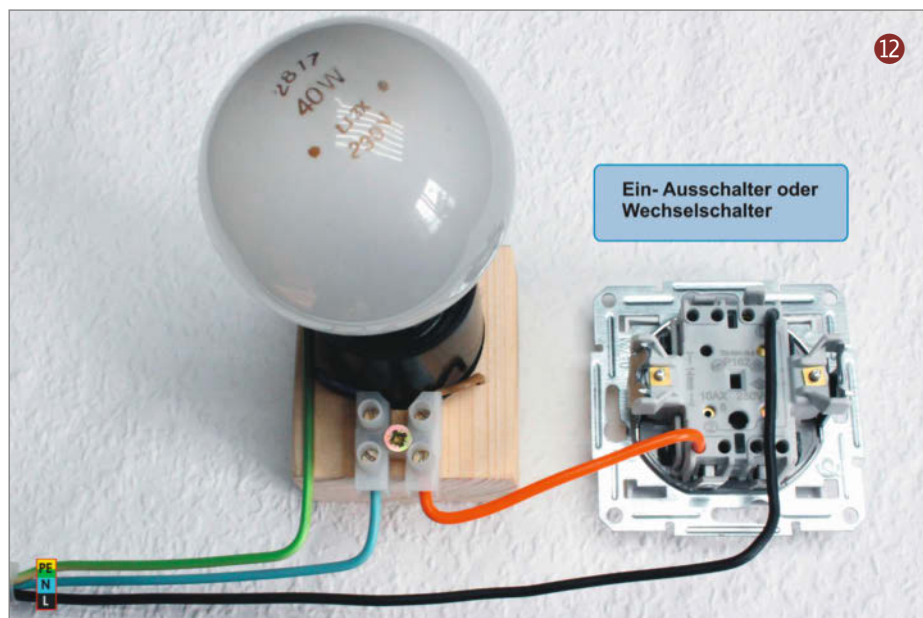


7 Fehlerstromschutzschalter sind meist für drei Phasen ausgestattet (es gibt aber auch einphasige). Dabei spielt es keine Rolle, ob der FI nur eine, zwei oder alle Phasen überwachen soll. Selbstverständlich müssen alle Phasen, die überwacht werden sollen, an den FI angeschlossen sein.





9 Testgerät für den FI: Damit können verschiedene Auslöseströme getestet werden. Zusätzlich prüft dieses Gerät auch, ob die Steckdose richtig verkabelt ist.



zu beauftragen (der verplomben darf) oder selbst den Blitzschutz direkt nach dem Zähler zu montieren (z.B. am Klemmbock).

Achtung: Unbedingt vier einzelne Überspannungsableiter oder ein Kombigerät mit vier Kanälen (3 x Phase und Nullleiter) kaufen, da der Nullleiter ja ebenfalls überwacht werden muss. Werden nur die drei Phasen abgesichert, kann man es auch gleich ganz sein lassen. Im Handel gibt es Zwischenstecker 11, die die Überspannung bei Gewittern ableiten sollen.

Installationsschaltungen

Zu Beginn hört sich dieses Thema recht einfach an. „Ich werde doch wohl in der Lage sein, einen Lichtschalter anzuschließen.“ Okay, das ist wirklich noch ganz einfach. Aber schon bei einer Wechselschaltung (zwei Lichtschalter steuern eine Lampe) geben dann manche Hobbyelektriker auf. Geschweige denn erst bei einer Kreuzschaltung (drei oder mehr Schalter). Wir beschreiben nun nacheinander alle für den Hobby-Installateur benötigte Schaltungen.

Noch kurz zur Info der Unterschied zwischen einem Schalter und einem Taster:

- Ein Schalter hat zwei Schalterstellungen, *Ein* und *Aus*. In der jeweiligen Stellung verharrt der Schalter, bis er umgeschaltet wird.

- Ein Taster ist prinzipiell wie ein Schalter, jedoch springt er beim Loslassen sofort wieder in die Ausgangsstellung (Aus) zurück. Wofür dieser benötigt wird, sehen wir später.

Einzelschaltung

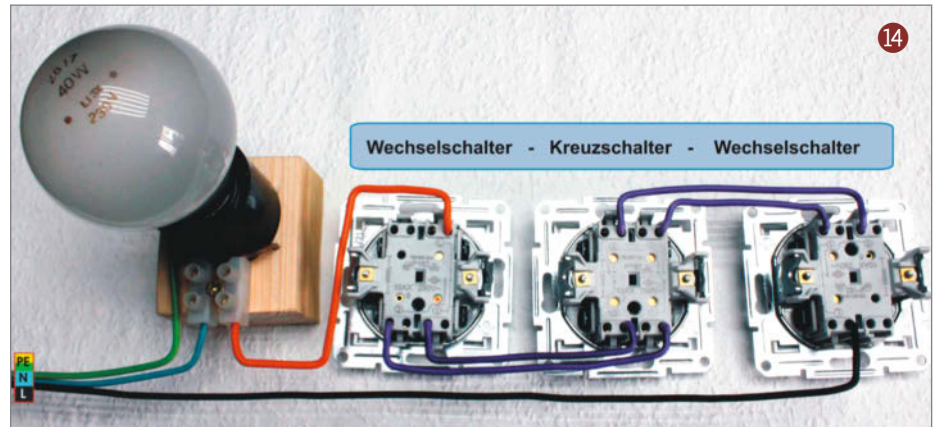
Bei der einfachsten aller Schaltungen wird eine Lampe (oder auch ein anderer Verbraucher) von einem Schalter gesteuert ¹². Dabei wird die Phase, die zur Lampe führt, einfach von einem Schalter geschlossen oder unterbrochen.

Wechselschaltung

Hier wird eine Lampe von zwei Wechselschaltern gesteuert ¹³. Ein Wechselschalter hat einen Eingang und zwei Ausgänge. Der Eingang wird je nach Schalterstellung immer nur mit dem einen oder anderen Ausgang verbunden. An jedem der zwei Schalter lässt sich damit der Verbraucher ein- und ausschalten.

Kreuzschaltung

Bei der Kreuzschaltung wird eine Lampe über zwei Wechselschalter und einen (oder mehr) Kreuzschalter gesteuert ¹⁴. Dieser Schalter



hat je zwei Ein- und Ausgänge, die je nach Stellung direkt oder über Kreuz miteinander verbunden werden. So lässt sich dann von drei Schaltern die Lampe ein- oder ausschalten.

Beim Kreuzschalter spielt es übrigens keine Rolle, wo die ankommenden Leitungen oder die abgehenden Leitungen angeschlossen werden. Es müssen lediglich die ankommenden und die abgehenden Leitungen jeweils oben oder unten am Kreuzschalter montiert

werden. Welche ankommende Leitung ins rechte Loch und welche ins linke Loch montiert wird, ist egal. Dies erleichtert die Montage ungemein.

Die Kreuzschaltung funktioniert übrigens auch mit mehreren Kreuzschaltern. So lässt sich die Lampe von einer beliebigen Anzahl von Schaltern steuern. Zwischen zwei Schaltdosen müssen dann nur zwei Leitungen verlegt werden. Beim letzten Schalter muss dann noch eine Phase vorhanden sein. —hgb

Die Konferenzen für Continuous Delivery, DevOps, Containerisierung und Developer Experience

15. – 17. November 2022 in Mannheim

» Continuous Lifecycle »
[Container Conf]



Continuous Delivery, DevOps und Containertechniken sind fest etabliert in der professionellen Softwareentwicklung – unterliegen aber ständigem Wandel. Developer Experience und eine optimal integrierte Developer-Plattform werden immer wichtiger.

Continuous Lifecycle und ContainerConf halten Sie auf dem Laufenden – mit folgenden Themenschwerpunkten:

- Continuous Integration & Continuous Delivery
- DevOps, Dev(Sec)Ops, GitOps, AIOps, FinOps
- Containerisierung, Kubernetes
- Infrastructure as Code
- Softwarearchitektur
- Teamwork & Weiterentwicklung

www.continuouslifecycle.de

Jetzt Tickets sichern!

Gold-Sponsoren



Silber-Sponsoren



Veranstalter



© Copyright by Maker Media GmbH.

Was darf man selbbermachen?

So kompliziert ist das mit dem Strom gar nicht, denken viele: Drei Leitungen im Kabel, was soll da schon schiefgehen? Leider eine Menge, wenn man keine soliden Kenntnisse hat. Und Gesetze gibt es ja auch noch ... Ein kleiner Leitfaden, was man noch selber machen kann und wovon man die Finger lassen sollte.

von Hans Borngräber



Marcos Mesa Sam Wordley / Shutterstock.com

Wer heutzutage einen Neubau beginnt oder einen Altbau renovieren möchte, kommt irgendwann an den Punkt, dass Elektroarbeiten ausgeführt werden müssen. Handwerker sind aber knapp und es gibt lange Wartezeiten. Deshalb ist die Versuchung groß, bei der Elektroinstallation selbst Hand anzulegen. Da hat aber der Gesetzgeber etwas dagegen. Denn Elektroarbeiten gehören zu den *gefahrenbewehrten* Arbeiten und unterliegen dem Meisterzwang. Das heißt: Nur ein in der Handwerksrolle eingetragener Meister mit Elektrobetrieb darf Arbeiten an einer Elektroinstallation vornehmen. Ist dies nicht der Fall, so erlischt jeglicher Versicherungsschutz und der Eigentümer der Immobilie ist voll haftbar. Die Einschränkungen gehen sogar soweit, dass für das Aufhängen einer Deckenlampe ein Elektriker gerufen werden müsste.

Dieser Artikel zeigt, wo die Grenzen sind: Was man noch in jedem Fall problemlos selbst ausführen kann, aber auch, an welche Arbeiten man sich auf eigenes Risiko noch rantrauen kann, wenn man weiß wie, und entsprechend sorgsam arbeitet.

Was verboten ist

Absoluter Tabu-Bereich ist der Zählerschrank samt der dazugehörigen Unterverteilungen. Da sollte man als Laie auf jeden Fall die Finger von lassen.

Darüber hinaus schreibt der Gesetzgeber in der *Niederspannungsanschlussverordnung* (NAV §13) vor, dass alle Anschlussarbeiten von später unter Spannung stehenden Bauteilen nur von Elektrofachkräften ausgeführt werden dürfen. Zu diesen Bauteilen zählen unter anderem:

- Steckdosen
- Schalter
- Dimmer
- Niedervolt-Trafos
- Lampen
- Klimageräte
- Pumpen
- Heizungen
- fest angeschlossene Elektrogeräte in Küchen (Herde, Backöfen usw.)
- Warmwasserspeicher
- Durchlauferhitzer

Die kurze, nicht vollständige Liste zeigt, dass eigentlich alles, was später unter Strom steht, nicht von einer Privatperson angeschlossen werden darf. Der Gesetzgeber traut hier zum Beispiel niemandem ohne einschlägiger Ausbildung zu, drei Drähte an einer Steckdose oder Lampe richtig aufzulegen.

Die Gründe für diese Sichtweise sind vielfältig. Ein paar Punkte, die den Gesetzgeber zu dieser Einschränkung bewegt haben:

- **Farbenblindheit:** Jeder Elektriker muss seine gesunde Farbsicht medizinisch nach-

Kurzinfo

- » Arbeiten an der Hauselektrik als Laie: Gesetzeslage und Versicherungsfragen
- » Elektro-Sünden der Vergangenheit erkennen
- » Wie Elektriker sicher arbeiten

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/x1tx



weisen. Farbenblinde können keinen Elektroberuf erlernen.

- **Material-Qualität:** Darf das Bauteil unter Spannung gesetzt werden, ist es technisch in Ordnung? Das wird ein Privatmann aufgrund fehlender Kenntnisse schlecht beurteilen können.
- **Einbau:** Lässt sich das Bauteil normgerecht einbauen? Auch hier fehlen dem Laien in der Regel die Kenntnisse.

Auch die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften werden als nicht bekannt vorausgesetzt. Die Vorschriften des *Zentralverbandes des Elektrohandwerkes* (ZVEH) in §13 Abs. 2, Satz 4 sind da eindeutig.

Zwar kann man sich natürlich in diese Vorschriften einlesen und sie in der Praxis (im eigenen Interesse!) korrekt umsetzen (dazu später mehr). Trotzdem nützt das rein rechtlich nichts, was den Versicherungsschutz angeht, falls was passiert.

Was man darf

Beauftragt man einen Elektriker, darf man nach Absprache mit ihm einige Arbeiten ausführen, die später dem Fachmann die Inbetriebnahme erleichtern und den Personalbedarf verringern. Solche in Abstimmung ausgeführte Arbeiten bringen niemanden mit dem Gesetz in Konflikt. Die damit erzielbaren Einsparungen an der Handwerkerrechnung können schon 30 bis 40 Prozent betragen.

Solche Arbeiten sind:

- **Mitarbeit bei der Planung:** Das ist eigentlich logisch, denn woher soll der Elektriker wissen, wo Sie Ihre Steckdosen benötigen?
- **Schlitze hauen** für Unterputz-Verkabelung oder Einbaunischen für Unterverteilungen: Die Azubis des Elektromeisters sind Ihnen sicher dankbar, dass Sie ihnen diese eher lästige Arbeit abnehmen.
- **Leerrohre und Leitungen verlegen:** Da braucht es aber die Vorgabe des Elektromeisters, was den Weg und das Elektromaterial betrifft.

- **Unterputzdosen eingipsen:** Es ist aber eine Kunst für sich, die wackeligen Dinger gerade in die Wand zu setzen.
- **Montage** von Zählerschränken, Unterverteilungen und Verteilern auf oder unter Putz
- **Kabel einführen** in Schränke, Schalter und Verteilungen
- **Nicht fest verbaute Leuchtmittel tauschen** an spannungsfrei geschalteten Lampen.

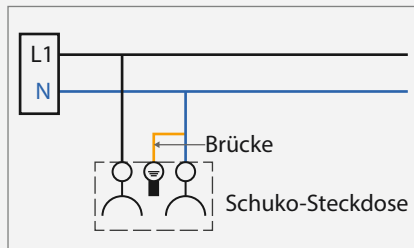
Das ist tatsächlich alles, was ein Privatmann an seiner eigenen Elektroinstallation machen darf, ohne dass der Versicherungsschutz riskiert wird. Das ist nicht sonderlich viel. Damit kommt man einer funktionierenden Elektroinstallation nur in einem kleinen Schritt näher.



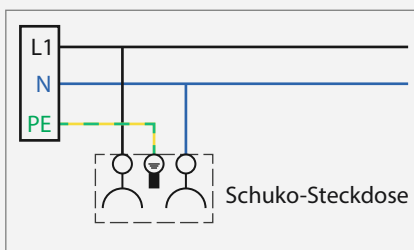
Kein Bestandschutz: Dieser Zählerschrank aus Stahlblech aus dem Jahr 1956 hat keinen Schutzleiter und war bis 1980 unter Spannung. Heute wird er nur noch für die Türsprechanlage genutzt, weil er tragendes Teil einer Ziegelwand ist und nicht ausgebaut werden kann.

Klassische Nullung

Bei der *klassischen Nullung* wird eine Steckdose nur mit zwei Drähten angeschlossen: der Phase (L1, schwarz oder braun) und dem Nullleiter (N, blau). Den Draht für den Schutzleiter hat man sich aus Material- und Kostengründen gespart. Stattdessen wird eine Drahtbrücke zwischen dem Schutzleiteranschluss und dem Nullleiter gelegt. Eine lebensgefährliche Geschichte, wenn man an ein auf diese Weise geerdetes Gehäuse eines Elektrogerätes greift und gleichzeitig an ein geerdetes Metallteil (wie den Heizkörper) am Haus. Da der Nullleiter in Installationen mit klassischer Nullung von der Trafostation kommt, entsteht ein hoher Spannungsunterschied zwischen dem Gehäuse des Elektrogerätes und dem lokal geerdeten Metallteil. Es können Berührungsspannungen bis zu 120V auftreten.



Klassische Nullung



Korrekte Nullung

Alles was danach kommt muss von einer ausgebildeten Elektrofachkraft ausgeführt werden. Diese kennt natürlich alle Vorschriften bezüglich korrekter Kontaktierung von Klemmstellen und kann die Qualität des Ma-

terials einschätzen: Hat das Bauteil alle vorgeschriebenen Prüfzeichen wie CE, VDE etc.? Ist es in einwandfreiem Zustand? Unterläuft dem Laien hierbei eine Fehleinschätzung, ist er bei einem Schaden nicht mehr versi-

chert. Der Elektriker hingegen schon, auch wenn er irrt – über seine Berufspflicht; je nach Police übrigens auch bei grober Fahrlässigkeit.

Bestandsschutz

Eine immer wieder gestellte Frage bei Renovierungen und Erweiterungen ist: Darf die alte Elektroinstallation weiter betrieben werden? Es können enorme Kosten anfallen, wenn wegen einer neuen Steckdose alle Kabel aus der Wand gerissen werden müssen. Denn jede Elektroinstallation, an der ein Elektriker arbeitet, muss zuvor auf ihren korrekten Zustand geprüft werden, dafür ist der Elektriker haftbar.

Entspricht die alte Installation *weitestgehend* den aktuellen Normen und stellt sie keine Gefahr für einen unfallfreien Betrieb dar, darf die alte Elektroinstallation durch den Elektriker erweitert werden. Es gilt insofern durchaus Bestandsschutz – für Installationen, die jünger als 40 Jahre sind. Ist die Installation älter als 40 Jahre, wird ein *E-Check* notwendig.

Bei diesem E-Check wird die komplette Installation auf ihre Betriebssicherheit geprüft. Sollten dabei Mängel entdeckt werden, die einen Weiterbetrieb der Elektroinstallation ausschließen, muss die komplette Anlage erneuert werden. Denn Bestandsschutz darf dann nicht gewährt werden. Jeder Elektriker, der noch an so einer Anlage arbeitet, steht mit einem Bein im Gefängnis, wenn es während des späteren Betriebes zu Schäden kommt.

Beim E-Check werden vor allem Installationsünden der Nachkriegsjahre gesucht. Sie sind der Materialknappheit der Nachkriegsjahre geschuldet. Denn jede Ader, die in einem Kabel eingespart werden konnte, schonte die knappen Kupferbestände und den Geldbeutel.

Die häufigsten sind:

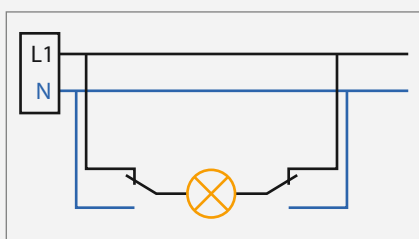
- *Klassische Nullung* (siehe Kasten)
- *Hamburger Wechselschaltung* (siehe Kasten)
- *Steckdosen ohne Schutzkontakt*
- *Fehlender Schutzleiter*
- *Elektroverteilungen aus Blech.*

Steckdosen ohne Schutzkontakt oder den fehlenden gelb/grünen Schutzleiter (in Altinstallationen rot) erkennt auch ein Laie sofort.

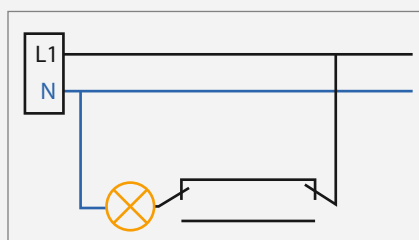
Bis Ende der 1950er wurden Zählerplätze und Unterverteilungen aus Stahlblech verbaut. Dies war ungefährlich, solange es keinen Schutzleiter gab. Bei Berührung einer unter Spannung stehenden Blechabdeckung drohte keine Gefahr, wenn man vom Boden isoliert stand. Entsprechende Arbeitsschuhe für Elektriker sorgten für den Berührungsschutz. Diese Art des Schutzes verlor ihre Sicherheit bei Einführung der gebäudenahen Erdung. Jetzt mussten die Abdeckungen durch Kunststoff ersetzt werden. Am Anfang war das Bakelit und in Ausnahmefällen Pappmaché, später Feuer hemmende Kunststoffe.

Hamburger Wechselschaltung

Die *Hamburger Wechselschaltung* spart bei einer Wechselschaltung (siehe auch Seite 92) eine Ader im Kabel ein. Statt eines fünfadrigen Kabels kommt man mit einem vieradrigen Kabel aus. Der Haken bei der Sache ist: Die Lampe kann nicht mehr spannungsfrei geschaltet werden! So kann bei ungünstiger Schalterstellung wie in der Abbildung gezeigt auch am Außengewinde einer E27-Fassung Netzpotential anliegen, obwohl die Lampe dunkel ist. Das ist deshalb der Fall, weil in dieser Schalterstellung auch am inneren Kontakt Netzpotential vorhanden ist und damit zwischen den beiden Anschlüssen des Leuchtmittels keine Spannung anliegt. Viel Spaß beim Lampenwechsel, danach ist die Erbfolge geregelt. Mit gutem Grund ist die Hamburger Wechselschaltung seit 1973 verboten und genießt auch keinen Bestandsschutz in Altinstallationen.



Hamburger Wechselschaltung in ungünstigster Schalterstellung



Korrekte Wechselschaltung

Fachgerechte Ausführung von Elektroarbeiten

Will oder muss man, weil der Elektriker nicht mehr auf der Baustelle erscheint, weitergehende Elektroarbeiten ausführen, begibt man sich in eine rechtliche Grauzone. Macht man alles richtig und es passiert nichts, so hat man keine Probleme. Denn dann wird nachher niemand fragen, wer die Steckdosen gesetzt hat. Wie man so sagt: „Wo kein Kläger, da kein Richter.“

Wer einen Schaltplan lesen kann und die Farbgeln einer Elektroinstallation kennt, kann also unter Beachtung einiger Grundregeln auf eigenes Risiko an die Arbeit gehen und den Elektriker entlasten.

Regel Nummer 1

Niemals unter Spannung arbeiten! Immer die zu bearbeitenden Stromkreise abschalten und gegen Wiedereinschalten sichern!

Die Absicherung gegen Wiedereinschalten kann auf verschiedenen Wegen erfolgen und hängt von der Unterverteilung ab, in der der Stromkreis spannungsfrei geschaltet wird. Das kann ein Schild sein, mit einem Hinweis, dass Elektroarbeiten ausgeführt werden, oder man steckt sich die Schraubsicherungen der drei Hauptzuleitungen in die Hosentasche. Auch gibt es Sicherungsautomaten mit kleinen Schlössern, die ein unbeabsichtigtes Einschalten verhindern. Der Schlüssel gehört dann natürlich in die Hosentasche des Elektrikers.

Regel Nummer 2

Bevor man mit dem Arbeiten beginnt, alle Kabel auf Spannungsfreiheit prüfen!

Dies muss mit einem Messgerät erfolgen, das den Stromkreis belastet. Sie werden *Rassler* oder nach dem Hersteller *Duspol* genannt. Hochohmige Digitalvoltmeter sind nicht zu empfehlen, weil sie auch Spannungen messen, die in die Verdrahtung induktiv eingekoppelt werden. Durch die Eingangswiderstände im Megaohm-Bereich zeigt das Gerät dann Spannung an, wo keine ist. Aber auch die verbreiteten Schraubendreher mit Glimmlampe sind trügerisch. Zum einen sind sie oft schlicht defekt, weil mit ihnen schon mal mit zu hoher Kraft geschraubt wurde. Zum anderen kann

es vorkommen, dass der Elektriker zu isoliert von der Erde steht, als dass durch das hochohmige Innenleben des Schraubendrehers Strom fließen könnte – aber es knallt, wenn man direkt an den Leiter packt.

Regel Nummer 3

Keine metallischen Gegenstände an der Kleidung oder am Körper tragen!

Schmuck wie Ringe, Ketten oder Piercings verursachen bei einer Berührung mit spannungsführenden Teilen der Elektroinstallation extreme Verletzungen. Ebenso gefährlich sind metallische Knöpfe und Reißverschlüsse an der Kleidung.

Da sich bei Werkzeugen das Metall nicht vermeiden lässt, muss das eingesetzte Handwerkzeug vollisoliert sein. Zur Grundausrüstung gehören:

- Schraubendreher klein/flach
- Schraubendreher groß/Kreuz
- Schraubendreher groß/flach
- Abisolierzange
- Seitenschneider
- Spitzzange
- Rassler oder Duspol

Alle Werkzeuge müssen bis zu einer Spannung von 1000V isoliert sein.

Regel Nummer 4

Schraubklemmen immer fest anziehen! Bei Steckklemmen immer die optimale Abisolierlänge wählen, so wie sie vom Hersteller vorgesehen ist!

Brandursache Nummer eins in Elektroinstallationen sind schlecht ausgeführte Klemmstellen. Lose Klemmstellen werden bei Belastung heiß und können zu Bränden führen. Eine lose Klemme in einer Verteilerdose ist in der Lage, ein ganzes Haus abbrennen zu lassen.

Auf den Bildern sieht man die Folgen einer nicht ausreichend fest angezogenen Klemme. Ein Kurzschluss in einem Wäschetrockner hätte eigentlich den Leitungsschutzschalter auslösen müssen. Jedoch war der Übergangswiderstand an der Klemme so hoch, dass der Abschaltstrom nicht fließen konnte. Stattdessen wurde die Klemmstelle so heiß, dass

die Kabel verbrannten und die Verteilerdose aufplatzte. Zum Glück war das eingesetzte Elektromaterial von guter Qualität und verlöschte von selbst. Wäre entflammbares Material in der Nähe gewesen, hätte es einen Brand gegeben.

Regel Nummer 5

Überprüfung der Arbeit, bevor wieder der Strom eingeschaltet wird!

Dabei geht man systematisch vor:

- Sind alle Verbindungen gemäß Schaltplan hergestellt?
- Stimmen die Farben der verwendeten Leiter?
- Sind alle Verbindungen fest?
- Ziehen Sie an allen Verbindungen, um zu testen, ob es lose Verbindungen gibt.
- Kontrollieren Sie den festen Sitz vom eingegipsten Installationsmaterial.

Nach dem Wiedereinschalten des Stromes müssen mit einem geeigneten Messgerät die anliegenden Spannungen sowie die Schutzmaßnahmen geprüft werden. Für die Schutzmaßnahmenprüfung gibt es spezielle Messgeräte. Diese wird es bei einem Privatmann nicht geben, da sie sehr teuer sind. Man kann sie entweder ausleihen oder die Prüfungen mit einem niederohmigen Voltmeter durchführen. Hierzu gibt es Anleitungen in der Fachliteratur, etwa im Band *Fachkunde Elektrotechnik* aus dem Europa Verlag. Die verbreiteten Anleitungen im Internet sind in aller Regel **nicht** zu empfehlen. Sehr häufig werden Begriffe falsch genutzt oder die Messungen falsch beschrieben, was am Ende dazu führt, dass man Fehler in der Installation nicht findet, mit unter Umständen fatalen Folgen.

Fazit

Ein versierter Maker oder Heimwerker *kann* bei Elektroarbeiten mehr machen, als das Gesetz ihm erlaubt. Man muss sich aber bewusst sein, dass man auf eigene Gefahr arbeitet und seinen Versicherungsschutz riskiert. Vor allem ist äußerste Sorgfalt erforderlich, weil jeder noch so kleine Fehler bei Elektroarbeiten fatale Folgen für Leib und Leben haben kann.

—pek



Eine lose Klemme in der Verteilerdose ...



... kann durchaus die Dose durchschmurgeln ...



... und Häuser abbrennen. (Hier zum Glück nicht.)

Elektrische Leistung

Alle reden davon, dass es wichtig sei, beim Verbrauch von Strom und Energie zu sparen. Da ist es hilfreich, den Unterschied von Energie, Strom und Leistung zu kennen. Unser Artikel erklärt die Zusammenhänge.

von Martin Ossmann

Die Elektrotechnik besteht aus den Teilgebieten *Nachrichtentechnik* und *Energietechnik*. In diesem Artikel wollen wir uns mit dem Energietransport durch elektrischen Strom beschäftigen. Im einfachsten Fall ❶ besteht eine Beispielschaltung aus einem Widerstand R , der von einem Strom I durchflossen wird, der von einer Gleichspannungsquelle Q geliefert wird. Laut Ohm'schem Gesetz ergibt sich der Strom durch

$$I = U / R$$

Die Spannungsquelle liefert die Energie zum Widerstand R , wo sie in Wärme verwandelt wird. Die elektrische Leistung P berechnet sich aus dem Produkt von Spannung und Strom:

$$P = U \times I = U^2 / R$$

Dabei ist es wichtig, für die Spannung U und den Strom I die Richtung zu berücksichtigen. Das geschieht durch die Verwendung von Zählpfeilen. Dementsprechend wird positive Leistung P von der Quelle zum Widerstand transportiert. Der Widerstand muss in der Lage sein, die Leistung in Wärme umzusetzen, ohne zerstört zu werden. Gegebenenfalls muss man also Leistungswiderstände der entsprechenden Stärke einsetzen. Ist die Spannung null oder oder fließt kein Strom, ist die Leistung auch null. In der praktischen Anwendung variieren Leistungen, Spannungen und Ströme über weite Größenbereiche. In der Tabelle sind Beispiele für praktische Leistungen aufgelistet.

Leistungsmessung

Bei der Messung der elektrischen Leistung muss man gleichzeitig Strom I und Spannung U messen, wie in Bild ❷ gezeigt.

Damit die Messung die Schaltung möglichst wenig beeinflusst, muss das Spannungsmessgerät hochohmig und der Strommesser niederohmig sein. Leistungsmessgeräte haben oft entsprechend geeignete Messgeräte eingebaut. Zum Einschleifen des Messgerätes muss man allerdings den zu untersuchenden Stromkreis auftrennen.

Kühlung

Elektrische Leistung wird nicht nur in passiven Bauelementen umgesetzt, sondern ebenfalls in Halbleiterkomponenten, wie dem Leistungsmosfet IRF740. Da im leitenden Betrieb sein Gatestrom null ist, erhalten wir für die elektrische Leistung:

$$P = U_{DS} \times I_D$$

wobei U_{DS} die Drain/Source-Spannung ist und I_D der Drainstrom. Damit der Transistor nicht zu heiß wird, schrauben wir ihn auf einen Kühlkörper. Das ist in Bild ❸ zu sehen – mit einem Spannungsregler 7805 statt eines IRF740. Der Kühlkörper hat einen thermischen Widerstand von 3,6K/W. Das heißt, pro Watt im MOSFET

Kurzinfo

- » Was ist elektrische Leistung?
- » Berechnung von Schein- und Blindleistung
- » Leistung und Wirkungsgrad berechnen

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xvy3



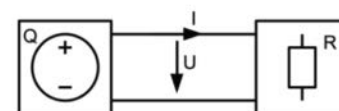
umgesetzter Leistung erwärmt sich der Kühlkörper um 3,6 Kelvin gegenüber der Umgebung. Eine Leistung von $P = 10W$ ist mit diesem Kühlkörper durchaus tolerierbar, weil die Erwärmung nur 36 Kelvin beträgt, d.h., die Kühlkörpertemperatur wird bei 20 Grad Umgebungstemperatur bei ca. 56 Grad liegen. Bei Bauteilen, in welchen elektrische Leistung in Wärme umgesetzt wird, muss man im Allgemeinen auf ausreichende Dimensionierung und Kühlung (neudeutsch: Entwärmung) achten.

Leistungsanpassung

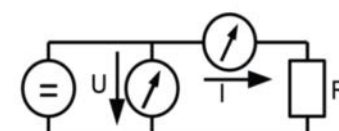
Verbindet man eine elektrische Energiequelle und einen elektrischen Verbraucher, so wird unter Leistungsanpassung die Bedingung verstanden, unter der sich die maximal abgebbare oder verfügbare elektrische Leistung einer Quelle einstellt.

Entnimmt man einer Spannungsquelle Q mit einem Widerstand (Verbraucher) R_v die elektrische Leistung P , sinkt in der Regel die elektrische Spannung gegenüber der Leerlaufspannung U_v . Diesen Umstand verbildlicht man sich dadurch, dass man sich die Spannungsquelle mit einem (kleinen) Innenwiderstand R_q vorstellt. Das Ersatzschaltbild sieht dann aus, wie in Bild ❹ dargestellt.

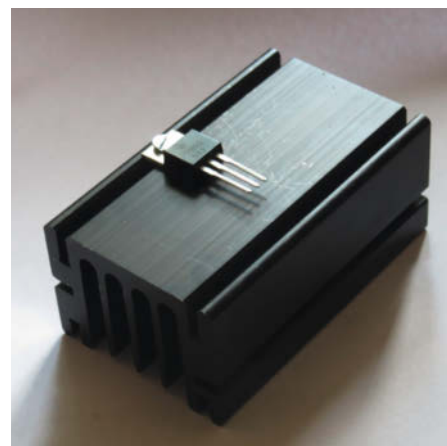
Der Innenwiderstand der Spannungsquelle R_q und des Verbrauchers R_v bilden eine Reihenschaltung. Gibt es in der Schaltung nur ohm'sche Widerstände, wird die maximale Leistung am Verbraucher umgesetzt, wenn $R_q = R_v$. Bei einer Leistungsanpassung ist ein Wirkungsgrad von 50 Prozent erreichbar. Da der Innenwiderstand der Quelle oft nicht veränderbar ist, muss der Widerstand des Verbrauchers angepasst werden.



❶ Leistungstransfer von der Quelle Q zum Widerstand R



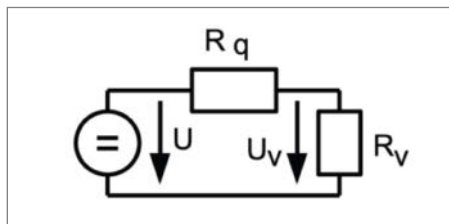
❷ Zur Leistungsmessung muss man Spannung und Strom gleichzeitig ermitteln.



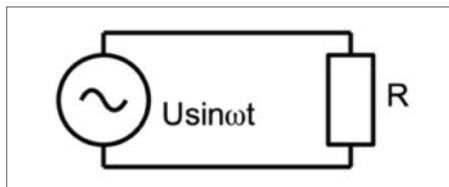
❸ Ein Spannungsregler 7805 mit einem leicht überdimensionierten Kühlkörper

Beispiele für praktische Leistung

	Leistung	Spannung	Strom
Kraftwerksblock	600MW	100kV	6000A
Herdplatte	2200W	220V	10A
UKW-Antennensignal	2pW	10μV	200nA
USB	1W	5V	200mA
Autoscheinwerfer	60W	12V	5A



4 Schema zur Leistungsanpassung



5 Leistungstransfer beim sinusförmigen Wechselstrom

Es gelten die Formeln:

$$U_v = U \frac{R_v}{R_q + R_v} \quad P = \frac{U_v^2}{R_v}$$

Und die Leistung erhält man durch:

$$P = \frac{1}{R_v} U^2 \frac{R_v^2}{(R_q + R_v)^2} = U^2 \frac{R_v}{(R_q + R_v)^2}$$

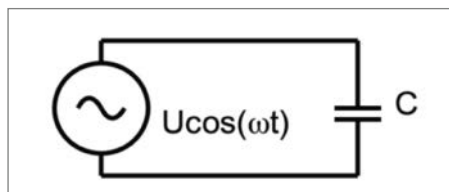
Durch Differentiation und das Lösen der Gleichung kann man berechnen, dass die maximale Leistung für $R_v = R_q$ (Leistungsanpassung) erreicht wird. Der Wert der maximalen Leistung ist dann

$$P_{max} = \frac{U^2}{4 R_q}$$

Die gerade gemachte Überlegung ist die Begründung dafür, dass man in der Hochfrequenz-Technik (HF-Technik) 50Ω-Systeme verwendet. Dabei sind die Innenwiderstände der Baugruppen 50Ω und diese werden mit 50Ω-Kabeln verbunden. Wichtig ist dies aktuell auch für den Betrieb von Solarzellen. Im Maximum-Power-Point (PMPP) geben Solarzellen ihre für die jeweilige Beleuchtungsstärke maximale Leistung ab. Es ist daher sinnvoll, den Arbeitspunkt mittels MPP-Regelung entsprechend einzustellen.

Wechselstrom

Als Nächstes behandeln wir die Leistung bei sinusförmigem Wechselstrom an einem



6 Ein an einer Wechselspannung angeschlossener Kondensator erzeugt eine störende Blindleistung.

Widerstand. Die Schaltung ist in Bild 5 dargestellt.

Für die Netzspannung ist der Spitzenwert $U = 325V$ und die Kreisfrequenz

$$\omega = 2\pi f$$

mit $f = 50Hz$. Die Berechnung der zeitabhängigen Leistung ergibt

$$p(t) = \frac{U^2}{R} \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2}$$

Wie man sieht, schwankt die elektrische Leistung cosinusförmig um einen Mittelwert. Die mittlere Leistung P ergibt sich zu

$$P = \frac{U^2}{2R} = \left(\frac{U}{\sqrt{2}}\right)^2 \frac{1}{R} = \frac{U_{eff}^2}{R}$$

mit

$$U_{eff} = 325V / \sqrt{2} = 230V$$

Diese Formel gilt auch für nicht-sinusförmige periodische Spannungen. Der Effektivwert wird dabei mithilfe des folgenden Integrals berechnet:

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u^2(t) dt}$$

Das Integral erstreckt sich dabei über eine Periode T . Im Englischen bezeichnet man Effektivwerte auch als RMS (Root Mean Square), was an der Formel gut klar wird.

Blindleistung

Als Nächstes behandeln wir einen Kondensator C , der an einer sinusförmigen Wechselspannung

$$u(t) = U_0 \cos(\omega t)$$

angeschlossen ist 6. Die Kreisfrequenz ist

$$\omega = 2\pi f$$

mit $f = 50Hz$.

Der Strom $i(t)$ berechnet sich dann zu

$$i(t) = -5V C \sin(\omega t)$$

Die transportierte Leistung $p(t)$ ergibt sich zu:

$$p(t) = -25V^2 C \sin(\omega t) \cos(\omega t) = -\frac{25V^2}{2} C \sin(2\omega t)$$

Es wird netto keine Energie transportiert, sondern die Energie wechselt immer von der Spannungsquelle zum Kondensator und wieder zurück. So eine Leistung bezeichnet man als Blindleistung. Sie tritt immer auf, wenn reaktive Komponenten (Kondensator, Spule, usw.) beteiligt sind. Der mehr oder minder kleine fließende Blindstrom ist ein unerwünschter Nebeneffekt in Wechselstrom-

kreisen und wird auch durch Induktivitäten wie Heizgeräte und Motoren verursacht.

Stromzähler messen die Wirkleistung, sodass Elektrizitätsversorger Privathaushalten auch nur die Wirkenergie berechnen und nicht die Blindenergie.

Komplexe Wechselstromrechnung

Schaltungen aus linearen Komponenten, mit Spulen und Kondensatoren, bei sinusförmigen Spannungen und Strömen, kann man mit der komplexen Wechselstromrechnung behandeln. Als Beispiel nehmen wir ein RC-Glied, das von einer sinusförmigen Spannung erregt wird 7.

Die wirksame Impedanz respektive der Wechselstromwiderstand ist dann

$$z = R + \frac{1}{j\omega C}$$

Für den Strom i erhalten wir dann

$$i = u/z = \frac{U}{R + j\omega C} = \frac{U(R - j\omega C)}{R^2 + \omega^2 C^2} = \frac{UR}{R^2 + \omega^2 C^2} - j \frac{U\omega C}{R^2 + \omega^2 C^2}$$

Für die (komplexe) Scheinleistung erhält man als Produkt aus Spannung und konjugiert komplexem Strom den Wert

$$S = U I^* = U^2 \frac{R}{R^2 + \omega^2 C^2} + j U^2 \frac{\omega C}{R^2 + \omega^2 C^2} = P + jQ$$

Dabei ist P die Wirkleistung und Q die Blindleistung. Die Gleichung wird so interpretiert, dass man sagt, die Blindleistung Q müsse auch bewegt werden, um die Wirkleistung P transportieren zu können. Deswegen ist die Gesamtleistung S größer als die Wirkleistung P . Die Blindleistung ist sozusagen nutzlos. In realen Systemen führt man daher häufig eine Blindleistungskompensation durch. Dabei schaltet man eine Impedanz parallel, die eine negative Blindleistung bewegt. Insgesamt summiert sich dann die Blindleistung zu null.

Leistungsfaktor

Über den Anteil an Wirkleistung gibt der Leistungsfaktor

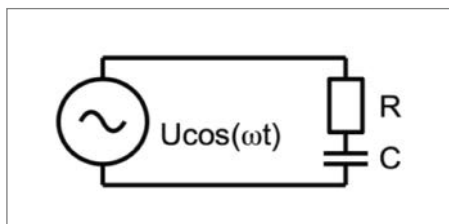
$$\cos \varphi$$

Auskunft, der wie folgt berechnet wird:

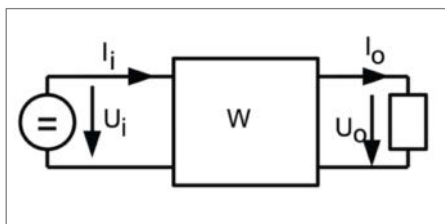
$$\lambda = \cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Bei Elektromotoren wird oft auf dem Typenschild auch der Leistungsfaktor angegeben. Angestrebt wird in der Praxis ein Leistungsfaktor nahe bei 1, weil dann der Anteil der Blindleistung am kleinsten ist.

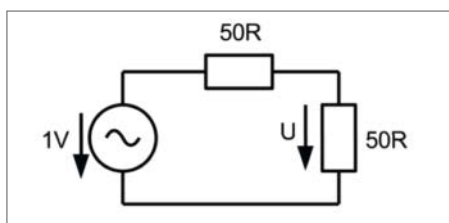
Transformatoren oder elektrische Leitungen, die eine bestimmte Wirkleistung übertragen



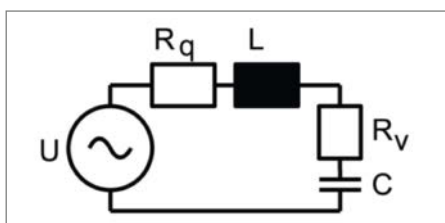
7 Schein- und Blindleistung beim RC-Glied



8 Energietransfer durch eine Baugruppe W



9 Beispiel für ein 50Ω-System



10 Leistungsanpassung bei Wechselstrom

sollen, müssen auf die größere Scheinleistung ausgelegt sein. Die elektrische Anschlussleistung wird vielfach ebenfalls als Scheinleistung angegeben.

Als Maßeinheit für die Scheinleistung verwendet man oft das VA (Voltampere), um den Unterschied zur Wirkleistung P (in Watt) klarzumachen. Für die Blindleistung verwendet man als Einheit oft das Var (Voltampere Reaktiv).

Wirkungsgrad

Eine weitere wichtige Größe der elektrischen Energietechnik ist der Wirkungsgrad. Er gibt an, welcher Anteil der Eingangsleistung aus einer Baugruppe W herauskommt. Dabei betrachtet man eine Schaltung gemäß Bild 8.

Der Wirkungsgrad η ergibt dann als

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{U_o I_o}{U_i I_i}$$

Der Wirkungsgrad kann maximal 1 sein und man strebt möglichst hohe Wirkungsgrade an.

dBm

In der HF-Technik verwendet man oft 50Ω-Systeme und gibt die Leistung in dBm an. Die Bezeichnung dBm steht dabei für *dB über Milliwatt*, das heißt

$$U_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P}{1 \text{ mW}} \quad \text{mit} \quad P = \frac{U_{eff}^2}{R}$$

In Bild 9 ist ein einfaches Beispielsystem dargestellt. Eine Quelle mit einem 50Ω-Innenwiderstand und 1V_{RMS} Leerlaufspannung speist einen 50Ω-Widerstand.

Für die Spannung U am Widerstand R erhält man dann

$$U_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{(0.5 \text{ V})^2}{50 \Omega \text{ mW}} = 10 \log_{10} 5 = 7 \text{ dBm}$$

Leistungsanpassung bei Wechselspannungen

In der HF-Technik hat man oft die Situation, dass die Wirkleistung, die von einer Quelle zu einer Lastimpedanz transferiert wird, maximiert werden soll. Diese Situation ist in Bild 10 dargestellt.

Die Lastimpedanz ist

$$z_v = R_v - \frac{j}{\omega C}$$

Die Impedanz der Quelle ist

$$z_q = R_q + j \omega L$$

Um die Leistungsanpassung zu erreichen, muss die Quellimpedanz die konjugiert komplexe Lastimpedanz sein. Das erreicht man, wenn

$$\omega^2 L C = 1$$

ist. Das heißt, Spule und Kondensator müssen bei der Betriebsfrequenz

$$\omega = 2 \pi f$$

in Resonanz sein. Dann kompensiert die Spule genau den Kondensator. Weiter muss gelten $R_v = R_q$. Das heißt, die Realteile der Impedanzen müssen gleich sein, wie wir das schon vom Gleichstrom kannten.

Damit sind wir am Ende unseres Streifzugs durch Aspekte der elektrischen Leistung angekommen. Wir haben eine Reihe von Größen kennengelernt, die wichtig sind, und sie angewandt.

—akf

Keine Angst vor Python!



Heft + PDF mit
29% Rabatt

Mit diesem c't-Sonderheft überspringen Sie mühelos Einstiegshürden und erlernen in kurzer Zeit die Grundlagen des Programmierens mit Python. Außerdem zeigt Ihnen dieses Heft die erstaunliche Vielseitigkeit von Python anhand vieler praktischer Projekte:

- ▶ Python-Programme auf den Raspi Pico portieren
- ▶ Programmieren mit KI-Unterstützung
- ▶ Web-Programmierung mit Django
- ▶ inkl. GRATIS Python-Onlinekurs im Wert von 119,- €

GRATIS
Online-Kurs
„Das Python-
Bootcamp“

- Heft für 14,90 €
- PDF für 12,99 €
- Bundle Heft + PDF 19,90 €



shop.heise.de/ct-python22

Generell portofreie Lieferung für Heise Medien- oder Maker Media Zeitschriften-Abonnenten oder ab einem Einkaufswert von 20 € (innerhalb Deutschlands). Nur solange der Vorrat reicht. Preisänderungen vorbehalten.

heise Shop

Einen Raum elektrisch erschließen

Ob man Strom oder Informationen übertragen will: Am besten geht das mit Kabeln. Damit diese nach dem Verbinden nicht frei im Raum herumliegen oder unnötig die Wand verziern, ist es ratsam, sie bei Neu- und Umbauten oder anstehenden Renovierungen frühzeitig einzuplanen. Wir geben einen Überblick, was das im Vorfeld bedeuten kann.

von Mark Liebrand



Macrovector / Shutterstock.com

Das Erschließen eines Raumes ist eine Disziplin für sich. Neben der eigentlichen Verkleidung von Wänden, Böden und Decken spielen Heizung und Kabel eine Rolle. Dieser Artikel widmet sich, ganz im Sinne des Sonderhefts, unterschiedlichen Möglichkeiten der Verkabelung für die eigenen vier Wände und erklärt, was abgesehen von der Elektrik noch beachtet werden sollte.

Schalter und Steckdosen

Im Innenbereich verwendet man zwei Arten von Dosen für den Einbau von Steckdosen und Schaltern: Unterputzdosen und Hohlwanddosen ¹. Die *Unterputzdosen* sind dafür gemacht, in eine solide Wand eingebaut und bündig mit dem Putz verarbeitet zu werden. Im Trockenbau kommen *Hohlwanddosen* zum Einsatz. Diese erkennt man an ihrer orangenen Farbe und dem Haken-Mechanismus, der sich an einer Gips-Platte festkrallt. Beide gibt es mit verschiedenen Tiefen, beginnend bei 35mm. Je tiefer eine Dose ist, desto leichter lässt sich in ihr verkabeln. Hartnäckige Wände aus Beton oder sehr hart gebrannten Ziegeln können jedoch das Bohren erschweren oder lassen nur flache Dosen zu. Wer größere Krater in den Wänden vermeiden möchte, der nutzt eine Bohrkronen, die dem Durchmesser einer Dose entspricht. Hat man mehrere Steckdosen oder Schalter, kann man auch mehrere Dosen ineinander stecken. Die Steckverbinder sind so konstruiert, dass der Norm-Abstand für die Abdeckungen später passt. Alternativ kann man auch eine Wanne für Mehrfach-Dosen kaufen.

Schalter sollte man grundsätzlich im Raum neben der Tür in ca. 105cm Höhe (Mitte des oberen Schalters) und 20cm von der Innenseite des Türrahmens platzieren, sodass man sie beim Betreten oder Verlassen des Raums bequem bedienen kann und nicht lange suchen muss. Außerdem ist es sinnvoll, beim Platzieren von Schaltern eine gewisse Einheitlichkeit und Logik zu verfolgen. Zum Beispiel sollten alle Schalter gleich herum eingesetzt werden. Wenn man oben drückt, geht das Licht an, unten geht das Licht aus. Das gilt natürlich nicht für Wechsel- und Kreuzschalter. Auch sollte man sich irgendeine Reihenfolge bei mehreren Schaltern überlegen, z.B. den obersten Schalter immer für die Deckenlampe und darunter liegende Schalter für Neben-zimmer verwenden oder eine Reihenfolge im Uhrzeigersinn.

Wer einen Altbau mit dünnen Innenwänden hat, muss gegenüberliegende Schalter und Steckdosen eventuell versetzt montieren. Die Steckdose neben der Tür kann direkt Teil des Schalterblocks sein oder separat weiter unten. Höhere Steckdosen sind einfacher erreichbar (z.B. für den Staubsauger). Unten kann man dauerhaft ein Gerät anschließen,

Kurzinfo

- » Steckdosen, Schalter und Kabel platzieren
- » Tipps für festes Mauerwerk und Trockenbau
- » Besondere Bedingungen für besondere Räume

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xx4b



ohne dass es stört. Steckdosen sollte man 30cm über dem Boden (Mitte der Steckdose, ab Oberkante Bodenbelag) platzieren, Leitungen 20cm senkrecht neben Ecken oder Durchbrüchen und waagrecht parallel zum Boden führen. Von der Decke hält man waagrecht etwa 30cm Abstand ².

Hat ein Raum mehrere Türen, Durchgänge oder bodentiefe Fenster, so sollte man für Wände zwischen zwei Durchgängen mindestens eine Steckdose vorsehen. Es wäre ärgerlich, später mit einem Verlängerungskabel einen Durchgang zu queren.

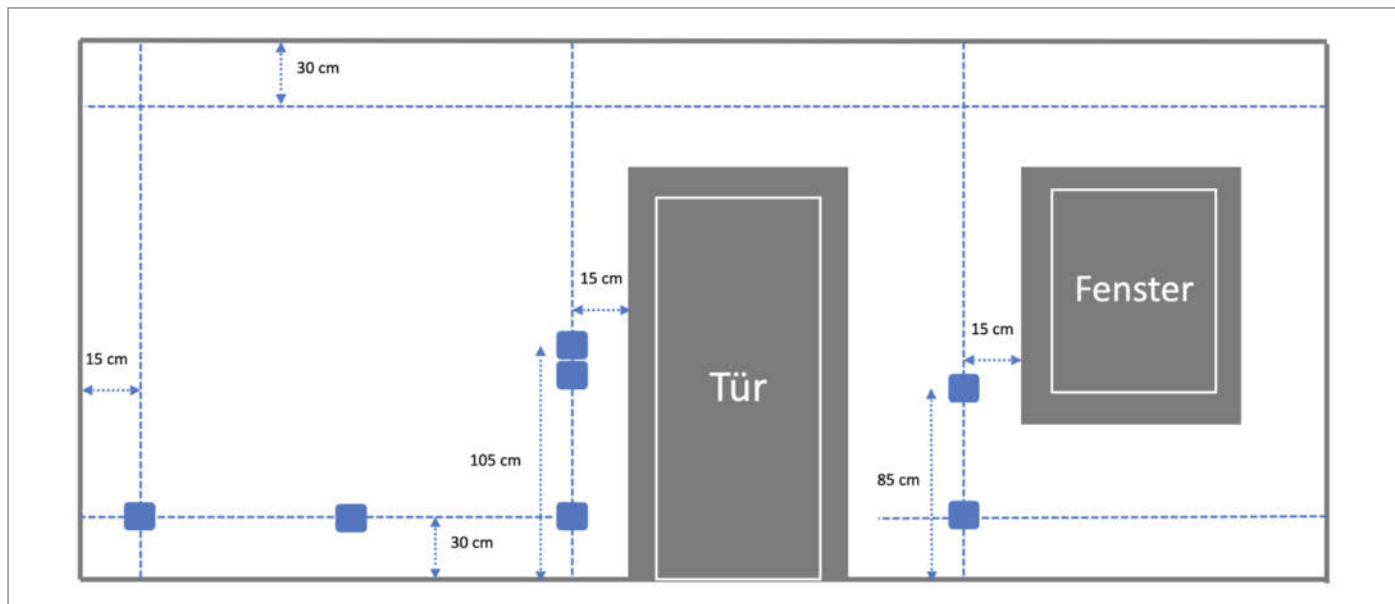
Oft benötigt man auch Strom abseits einer Wand – mitten im Raum; sei es für die Leselampe am Sofa oder eine Steckdosenleiste für den frei stehenden Schreibtisch. Hier sind Verlängerungskabel Stolperfallen und stören die Ästhetik. Es gibt die verschiedensten Angebote für Bodentanks. Bei der Planung muss bedacht werden, dass diese später unter kei-

nen Umständen mit Wasser in Berührung kommen dürfen und sich nicht im Schwenkbereich von Türen befinden sollten.

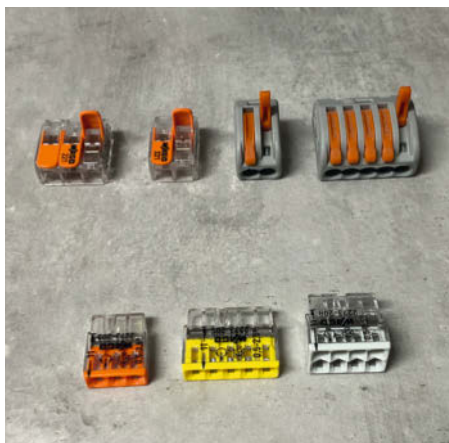
Wer einen Nassbereich (z.B. Badezimmer) baut, für den gelten besondere Regeln für die Elektrik nach *DIN VDE 0100*. Diese unterteilt das Bad in vier Schutzbereiche. Je nach Abstand zur Wanne oder Dusche müssen Leuchten eine bestimmte *IP-Schutzart* (*International Protection* oder *Ingress Protection*) erfüllen und Steckdosen dürfen sich nur im äußersten Schutzbereich befinden. Für die Platzierung einer Steckdose am Waschbecken gelten diese Regeln nicht, außer die Dusche befindet sich unmittelbar daneben. Jedoch sollte man Steckdosen mit Deckeln (Spritzwasser) in Erwägung ziehen. In jedem Fall muss die Elektrik im Nassbereich mit einem Fehlerstrom-Schutzschalter abgesichert werden, der auf 30mA ausgelegt ist. Leitungen für andere Räume dürfen nicht durch den Nassbereich geführt



1 Orangene Hohlwanddosen für den Trockenbau, schwarze Unterputzdosen für massive Wände



2 Optimale Kabelführung an den Wänden



3 WAGO-Klemmen: oben für feste und fein gebündelte 4mm²-Leitungen, unten für feste Leitungen bis 2,5mm²



4 Mit der Lotfunktion des Kreuzlinien-Lasers die Bohrpositionen an der montierten Decke wiederfinden.

werden. Aus eigenem Interesse sollte man sich bei dieser Thematik in jedem Fall von einem Fachmann beraten lassen.

Kabel und Kabelführung

Die Wegeführung in einer massiven Wand, Decke oder im Boden sollte grundsätzlich rechtwinklig sein, d.h. horizontal oder vertikal, wie in 2 gezeigt. Führen Sie Leitungen vor allem niemals diagonal! Die Nachwelt wird es ihnen danken. Genausowenig sollten Sie einzelne Drähte unter Putz oder fliegend in einer Trockenbau-Wand verlegen. Man stelle sich vor, was passieren kann, wenn eine einfache stromführende Ader beschädigt wird und das Ständerwerk der Trockenbau-Konstruktion unter Strom setzt. Für Putz und Mauerwerk eignet sich eine Mauernut-Fräse. Mit dieser lässt sich ein ausreichend tiefer Schlitz fräsen, damit ein normales Feuchtraum-Kabel Platz findet.

Für massive Wände eignen sich Flach-Kabel. Diese haben nur eine geringe Einbautiefe und können in der Putzschicht geführt werden (siehe auch Seite 112). Es besteht darüber hinaus die Möglichkeit, Leitungen in Leerrohren zu verlegen. In diese zieht man dann keine ummantelten Feuchtraum-Leitungen ein, sondern einzelne Adern. Theoretisch bietet das den Vorteil, später Adern auswechseln oder ergänzen zu können. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass dies gar nicht so einfach ist, vor allem wenn ein Rohr diverse Biegungen macht und bereits mit Adern belegt ist. Dann ist es kompliziert, Adern zu ergänzen, da die vorhandenen umeinander gewickelt sind. Die Einziehspirale, die man unbedingt dafür benötigt, kann sich leicht verhaken und feststecken. Und es kann auch passieren, dass

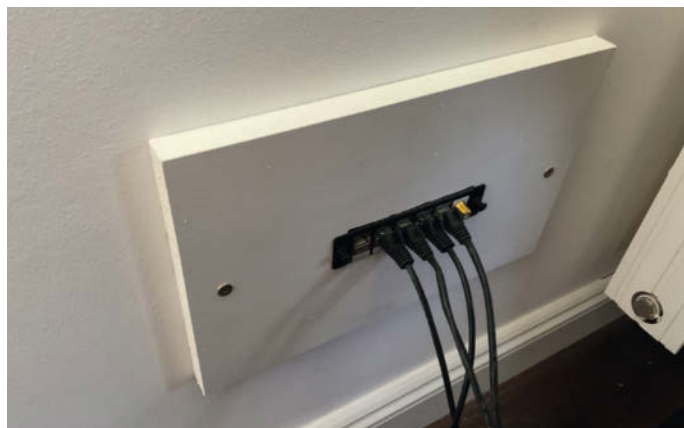
durch die mechanische Belastung beim Einziehen (Zug am Leerrohr) das Leerrohr an einer Biegung knickt und praktisch unpassierbar wird. Auch besteht das Risiko, dass ein noch nicht benutztes Leerrohr durch eine irgendwo auf dem Weg reingedrehte Schraube blockiert wird. Zudem findet ein Kabel-Suchgerät ein unbenutztes Leerrohr nicht in einer Trockenbau-Wand. Daher ist es ratsam, beim Verlegen der Leerrohre in der offenen Wand bereits alle geplanten Adern mit einzuziehen – das ist viel einfacher und schneller.

Wer Kabel unter der Erde verlegt, sollte unbedingt Erdkabel nehmen (siehe auch Seite 116). Für weitere Leitungen im Außenbereich wie Netzwerk-Kabel empfehlen sich Leerrohre oder dünne Abwasserrohre. Der Durchmesser der Rohre sollte jedoch nicht zu großzügig sein oder man muss die Eingänge gut verschließen. Sonst können sich Nagetiere ungehindert im Leerrohr bewegen und die Isolierung verzehren. Der Autor hat diese Erfahrung tatsächlich gemacht – nach weniger als einer Woche war das Netzwerk-Kabel defekt.

Um Kabel (z.B. in Abzweigboxen) miteinander zu verbinden, hat man in der Vergangenheit einfache Schraubklemmen benutzt. Wenn jedoch eine Ader herausrutscht oder sich leicht löst und ein Lichtbogen entsteht, erzeugt dieser Wärme, die zum Schmelzen der Kunststoffummantelung der Klemme führt oder einen Brand auslösen kann. Besser funktionieren die Installationsklemmen der Firma WAGO (siehe auch Seite 38). Es gibt sie für 2 bis 8 Adern 3. Die am Ende abisolierten Leitungen werden mit der Hand oder einer Zange in die Klemme eingesteckt und können nur durch ein gleichzeitiges Drehen und Ziehen wieder gelöst werden. Diese Art der Kabelverbindung ist wesentlich zuverlässiger und



5 Keystone-System: Die Stecker (unten) werden in den Montagerahmen (links-oben) eingeklinkt.



6 Kreative Lösung im Büro: fünf LAN-Kabel und ein Sat-Kabel mit dem Keystone-System

einfacher in der Handhabung als Schraubklemmen. Zu beachten ist jedoch, dass der Hersteller unterschiedliche Modelle für feste und geflochtene Drähte (z.B. für eine Deckenlampe) anbietet.

Strom in der Küche

Die Küche ist einer der Räume mit dem meisten Strombedarf, sodass eine einzelne Phase eigentlich nicht ausreicht. Alleine für das Kochfeld ist es sinnvoll, drei Phasen vorzusehen. Viele Kochfelder bieten alternativ auch an, nur eine zu nutzen, doch am Ende schlägt sich das in der Leistung nieder. Das verwendete Kabel sollte der Leistung des Kochfeldes entsprechend dick sein, also eher 2,5mm². Auch Backöfen, die über eine Schuko-Steckdose angeschlossen werden, sollte man separat absichern. Befindet sich neben Spülmaschine, Kühlschrank und Dunstabzug noch eine Waschmaschine in der Küche, sollte man definitiv über eine Aufteilung auf verschiedene Phasen nachdenken.

Eigentlich versteht es sich von selbst, dass Steckdosen in der Küche nicht über den Herd und das Waschbecken gehören und sie sollten dort angeordnet werden, wo die Geräte stehen können. Hält man sich öfter in der Küche auf, sollte man über die Möglichkeit nachdenken, Telefone zu laden oder einen Laptop anzuschließen. Lösung für Schreibtische aus dem Bürobereich lassen sich auch prima in der Küche verarbeiten.

Wer gerne kocht, braucht in der Küche nicht nur eine ausreichend große Arbeitsfläche, sondern auch eine gute Beleuchtung. Als Lichtfarbe eignet sich eine Kombination aus Neutralweiß mit 4000 Kelvin und 300 Lumen pro m². Beim Installieren von Deckenspots ist ein Kreuzlinien-Laser mit Lotfunktion hilfreich. Hier steht man nämlich vor der Herausforderung, dass man in der Decke die Verkabelung vorbereitet und dann die Decke montiert (z.B. Gips-Karton-Platten) und die richtigen Stellen

für die Spots nicht wiederfindet. Wer schon einmal an der falschen Stelle mit der Lochsäge ein Loch gebohrt hat, weiß, wie ärgerlich das ist. Mit der Lot-Funktion des Kreuzlinien-Lasers lassen sich die Positionen der Deckenspots auf den Boden übertragen und später wieder zurück nach oben an die montierte Decke **4**.

Licht an ungewöhnlichen Stellen

Es gibt eine Vielzahl von Profilen für Böden und Wände, um LED-Lichtleisten zu integrieren. Damit lassen sich Laufwege anzeigen und beleuchten. Aber auch beleuchtete Bilder oder Spiegel können einen schönen Effekt haben, vor allem, wenn die Kabel in der Wand versteckt sind. Wer später eine solche Beleuch-

tung nachrüsten möchte, kann bei einer (hohlen) Trockenbau-Wand vorsorgen: An der Stelle, wo später vielleicht eine Lichtquelle an der Wand positioniert werden soll, sollte man senkrecht unterhalb eine Steckdose vorsehen. Ist hier der Schaltdraht vorhanden, kann man später oben ein Loch für das Kabel bohren. Danach führt man ein kleines Gewicht (z.B. in Form einer Schraube) an einer Schnur in das Loch ein und angelt sich das Gewicht an der Steckdose weiter unten. Mit der Schnur lässt sich dann das Kabel nachführen. Natürlich darf die Wand dafür nicht mit Isolierung vollgepresst sein. In diesem Zusammenhang noch der Hinweis, dass sich bei Lichtquellen auf der Wand die Qualität der Verarbeitung der Wand-Oberfläche offenbart. Unebenheiten fallen durch Schattenbildung sofort auf. Man sollte



7 Verschiedene F-Stecker und die dazugehörige Kompressionszange. Das Werkzeug rechts hilft beim Abisolieren und Verschrauben.



8 Powerline-Adapter und ein Phasenkoppler, um die Signal-Übertragung zwischen unterschiedlichen Phasen zu ermöglichen

hier vorab einmal mit einer Taschenlampe prüfen.

Markisen und elektrische Rolläden

Wer auf dem Balkon oder der Terrasse eine Markise installieren will, ist mit einem 5-adrigen Kabel gut vorbereitet. Wichtig ist, das Bohrloch gut zu isolieren, sodass später keine Feuchtigkeit in die Wand eindringen kann. Im Innenbereich sollte die 5-adrige Leitung dorthin geführt werden, wo später einmal die Schalter zum Hoch- und Herunterfahren platziert werden. Heutige Markisen haben oft auch eine Funkfernsteuerung, dann entfallen manuelle Schalter. Wer eine Smart-home-Integration vorsieht, lässt am besten beim Schalter in einer tiefen Dose Platz für einen Schaltaktor, mit dem sich die Markise automatisieren lässt. Ähnliches gilt für elek-

trische Rollläden, welche analog zu Markisen funktionieren. Aus Erfahrung empfiehlt sich bei Rollläden ein Schaltaktor, der manuelle Schalter unterstützt, weil diese in der Regel öfter benutzt werden als Markisen. Aus praktischen Gründen sollten gerade bei kleineren Räumen die Schalter am Eingang zum Raum positioniert sein.

Fernseher

Auch die Kabel eines an der Wand befestigten Flachbild-Fernsehers lassen sich verstecken. Dazu kann man einen Kabelkanal mithilfe eines Abwasserrohrs aus dem Baumarkt in der Wand verlegen. DN50 eignet sich mit einem Rohrdurchmesser von 50mm, damit auch alle Stecker vernünftig durch das Rohr geführt werden können. Wenn die Möglichkeit besteht, sollte man den Fernseher über ein LAN-Kabel mit dem Internet verbinden und nicht über

WLAN. Dann ist man mit der Bandbreite auf der sicheren Seite.

Für den Satellitenempfang sollte man zwei Fragen klären: Die Anzahl der Geräte, auf denen geschaut wird, und die Anzahl der Satelliten. Diese beiden Parametern entscheiden darüber, ob ein Multischalter benötigt wird. Soll ein Satellit empfangen werden, so können über ein entsprechendes *Quad-LNB* an der Schüssel bis zu vier Teilnehmer versorgt werden. Dieser LNB Typ ist nicht zu verwechseln mit einem *Quattro-LNB* für Multischalter. Viele Multischalter kommen auch mit Quad-LNBs zurecht. Umgekehrt funktioniert das nicht – ein Receiver kann mit einem Quattro-LNB nicht viel anfangen.

Multischalter eignen sich, wenn mehr als vier Receiver angeschlossen und/oder zwei bis drei Satelliten empfangen werden sollen. Sie sollten an einem trockenen Ort im Haus nahe der Schüssel montiert werden. Vom Multischalter aus erfolgt die Verkabelung sternförmig zu den Satelliten-Receiver. Um ein Satelliten-Kabel aus der Wand zu führen, gibt es Satelliten-Dosen oder man greift auf das *Keystone-System* zurück, das dafür eine Kupplung von Sat-Kabeln in der Dose zur Verfügung stellt. Diese modulare Anschlusstechnik unterstützt so ziemlich jeden Standard elektrischer und optischer Signalübertragung. So lassen sich in speziellen Patchpanels sogar verschiedene Kabel kombinieren, wie Sat, LAN, HDMI oder USB. Für die Kabelenden kann man einfache F-Aufdreh-Stecker verwenden. Typischerweise ist ein Durchmesser von 7mm für ein gängiges Sat-Kabel geeignet. Diese Stecker sind für gelegentliche Verkabelungsarbeiten die günstigste und einfachste Variante. Hat man viele Stecker zu verkabeln, sollte man einen Blick auf Kompressions-Stecker werfen. Diese sind etwas teurer und man braucht eine Spezialzange. Dafür erhält man eine bessere mechanische Belastbarkeit und eine höhere Qualität der Steckerverbindung.

Versteckte Audiokabel

Wenn in dem neuen Raum später mal eine Heimkino-Installation denkbar ist, könnte man die Lautsprecher-Kabel gleich durch die Wand führen. Für echten Raumklang braucht man mindestens 5.1 - also 5 Lautsprecher und einen Subwoofer. Kabel mit 2,5mm² sollten für normale Ansprüche genügen. Ab 10–15 Metern kann man 4mm² in Betracht ziehen, um die Verluste zu verringern. Wer im Versandhandel nach Lautsprecher-Kabeln sucht, findet als preisgünstige Möglichkeit Kabel mit dem Zusatz *CCA*. Diese Abkürzung steht für *Copper Clad Aluminium*, einen Leitungskern aus Aluminium, der mit Kupfer überzogen wurde. Dieses günstige Kabel hat zwei Nachteile: Zum einen bricht es schneller, zum anderen hat es einen größeren Widerstand. Beim Lautsprecher



9 Verschiedene Kabeltypen (von oben nach unten): LAN-Kabel CAT 5e, Duplex-LAN-Kabel CAT 7, gewöhnliches Sat-Kabel, 4-fach Sat-Kabel

kommt also weniger Leistung an. Wer auf der sicheren Seite sein möchte, greift besser zu höherwertigen, reinen Kupferkabeln.

Netzwerk

Hat man ein Gerät ohne WLAN oder einen schlechten Empfang am Einsatzort, bleibt oft nur eine fliegende Netzwerk-Verkabelung übrig oder eine Powerline-Lösung ⁸, die das Netzwerksignal über die Stromleitung transportiert. Zwei dieser Adapter genehmigen sich allerdings schon ca. 20KWh Strom im Jahr. Da ist ein passives LAN-Kabel auf Dauer nicht nur günstiger, sondern schont auch die Umwelt. Ein weiterer Vorteil einer Verkabelung kann die Nutzung von *Power over Ethernet* (PoE) sein. Bei dieser Technik wird das am LAN angeschlossene Geräte über das LAN-Kabel mit Strom versorgt. Dafür wird entweder ein *PoE-Injector* benötigt, der den Strom auf das LAN-Kabel bringt oder gleich ein PoE-fähiger Switch. Natürlich muss der angeschlossene Verbraucher ebenfalls PoE-fähig sein.

Es empfiehlt sich, bei umfangreicherer LAN-Verkabelung mehrerer Räume ein Patch-Panel an einem zentralen Ort im Haus mit einem entsprechend ausgelegten Switch zu installieren. Hierzu eignet sich 19-Zoll-Technik mit einem passenden Gehäuse und Geräten. Zur Verkabelung sollte man mindestens auf CAT-7-Verlegekabel zurückgreifen und am besten die Duplex-Ausführung wählen ⁹. Die aneinander geschweißten Kabel halbieren den Aufwand beim Verlegen, weil gleich zwei Kabel auf einmal verlegt werden können.

Mit einem sogenannten LSA-Auflegewerkzeug (LSA: löt-, schraub- und absolierfrei, siehe S. 16) lässt sich zum Schluss auf jede Ader des Netzwerk-Kabels eine Kontakt-Klemme drücken. Alternativ geht das Verkabeln auch



10 Nützliche Helfer: links LAN-Kabeltester, rechts ein analoger (oben) und ein digitaler Sat-Finder (unten)

ohne Spezialwerkzeug mit dem Keystone-System. LAN-Stecker weisen üblicherweise zwei Anschluss-Belegungen auf: *EIA/TIA568A* und *B*. Für das Verkabeln ist es egal, welche Belegung genommen wird, es muss an beiden Enden der Leitung aber immer die gleiche sein (also nach *A* oder nach *B*). Am besten entscheidet man sich einmal für *A* oder *B* und bleibt immer dabei. In jedem Fall sollte man sich einen Leitungstester für *RJ-45* Kabel zulegen. Damit lassen sich pro Leitung alle acht Adern durchprüfen und auch vertauschte Adern aufspüren ¹⁰.

Fazit

Einen neuen Raum zu erschließen, erfordert einiges an Planung, von Trockenbau und Heizung reden wir hier erst gar nicht. Auch wenn man sich am Ende gegen die meisten der hier beschriebenen Verkabelungsoptionen entscheidet, so lohnt es sich dennoch, sie alle einmal durchgegangen zu sein. Hat man den Raum geschickt durchgeplant und umgesetzt, darf man sich lange an den Möglichkeiten erfreuen. —akf

Es gibt 10 Arten von Menschen. iX-Leser und die anderen.

**3x
testen**

Jetzt Mini-Abo testen: 3 digitale Ausgaben + Bluetooth-Tastatur nur 19,35€

www.iX.de/digital-testen



Der passende Leitungsquerschnitt

Beim Planen jeder Elektro-Installation stellt sich die Frage, wie „dick“ muss die Leitung eigentlich sein? In vielen Fällen ist man mit 1,5mm² Leitungsquerschnitt gut unterwegs. Hat man jedoch Großverbraucher wie Durchlauferhitzer, Sauna-Ofen oder eine Ladebox für das E-Auto, reicht dieser Standard nicht aus. Man kann natürlich sagen, „viel hilft viel“, und zu Durchmessern wie 4 oder 6mm² greifen. Das geht aber nicht nur ins Geld, sondern ist auch schwieriger zu verarbeiten. So finden Sie die passende Leitung für Ihren Zweck.

von Mark Liebrand



Peter Gudella / Shutterstock.com

Im Internet finden sich Online-Rechner zum Berechnen des nötigen Leitungsquerschnitts. Ohne Kenntnis der Materie kommt es schnell zu Fehleingaben und damit zu falschen Ergebnissen. Erschwerend kommt hinzu, dass man nicht ohne weiteres durchschaut, wie der Online-Rechner die Eingaben verarbeitet.

Neben der eigentlichen Berechnung für den *Leitungsquerschnitt* gibt es noch drei weitere bestimmende Faktoren: die *maximale Strombelastbarkeit* für einen Querschnitt (mechanische Festigkeit nach DIN VDE 0100-520), die *Häufung* (mehrere parallele Leitungen mit hoher Last) sowie die Leitungsimpedanz. Die komplette Theorie für alle vier Einflussgrößen würde den Rahmen dieses Artikels sprengen, weiterführende Information findet man unter den Links in der Kurzinfo.

Grundgrößen

Zunächst eine grundsätzliche Frage: Warum spielt der Leitungsquerschnitt eigentlich eine Rolle? Der Grund hierfür hat mit dem Ohm'schen Gesetz zu tun (siehe Seite 6): Auch wenn Kupfer sehr gut elektrischen Strom leitet, einen geringen Widerstand hat es dennoch. Das bedeutet, dass auf der Stromleitung die Spannung abfällt ¹.

Je mehr Strom fließt, desto höher ist der Spannungsabfall. Misst man die Spannung am Verteilerkasten und am eingeschalteten Verbraucher, so ist der Wert am Verbraucher niedriger. Der Regel nach darf dieser Spannungsabfall im Stromnetz nicht größer als 3% sein.

Der andere Aspekt ist, dass Spannung $\times$ Strom = Leistung ist (siehe auch Seite 102). Diese Leistung wird in Wärme umgewandelt, wenn Strom durch eine Leitung fließt.

Ob eine Leitung ausreichend dimensioniert ist, hängt außer von ihrer Länge von weiteren Faktoren ab: dem Material und damit der Leitfähigkeit der Leitung, ihrem Querschnitt, der Temperatur und der Stromstärke. Die Stromstärke des Verbrauchers ist zunächst die Ausgangsgröße.

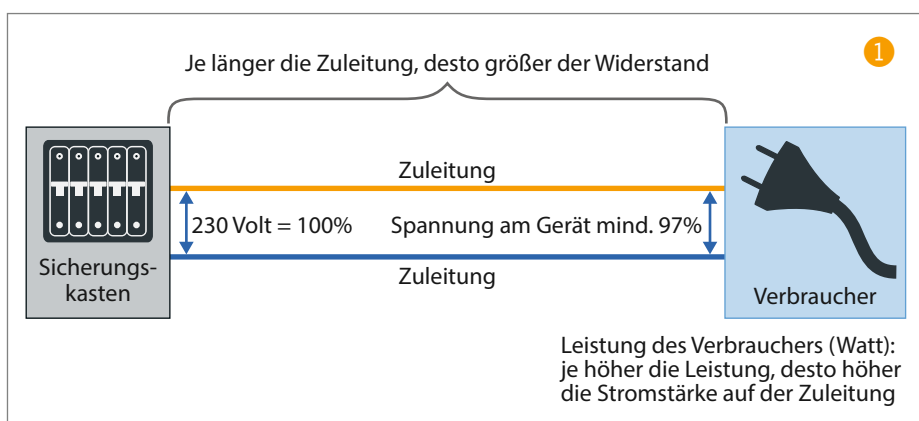
Die Leitfähigkeit oder *Konduktivität* der Leitung wird in Siemens pro Meter berechnet. Kupfer hat mit 58 im Rahmen der in Frage kommenden Materialien den besten Wert; Aluminium ist mit 37 deutlich schlechter. Gemessen wird die Leitfähigkeit bei 25 Grad. Steigt die Temperatur, nimmt die Leitfähigkeit ab. Überlastet man eine Leitung, erwärmt sie sich weiter und so kommt man irgendwann in eine Art Teufelskreis, der mit dem Abbrennen der Leitung endet.

Die Länge der Leitung lässt sich (in Grenzen) ebenfalls beeinflussen, indem man den kürzesten Weg zwischen Sicherungskasten und Verbraucher wählt. Bei der Länge ist es noch wichtig zu berücksichtigen, dass der Strom hin- und zurückfließt. Bei Gleichstrom

Kurzinfo

- » Wie man die nötige Leitungsstärke berechnet
- » Gleichstrom, Wechselstrom, Drehstrom;
- Schein-, Blind- und Wirkleistung in der Praxis
- » Leitungstypen für drinnen und draußen

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xk4n

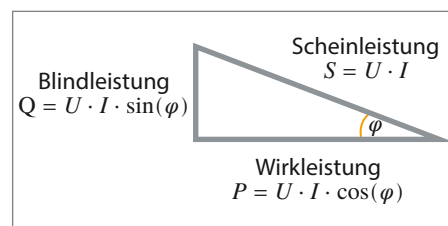


und Wechselstrom muss man also die Länge verdoppeln. Bei 3-Phasen-Wechselstrom (dessen Phasen ja versetzt sind), wird die einfache Länge mit dem Faktor $\sqrt{3}$ multipliziert.

Die Leistungsfrage

Von allen genannten Faktoren lässt sich allerdings letztlich nur der Querschnitt ganz frei wählen.

Bevor es zu dessen Berechnung geht, wird es aber noch mal etwas komplizierter. Der Verbraucher selbst macht hier einen Unterschied. Bei einem *induktiven* Verbraucher (Elektromotor oder herkömmliche Leuchtstofflampe)



2 Zusammenhang zwischen Scheinleistung, Blindleistung und Wirkleistung

unterscheidet man zwischen der *Wirkleistung*, *Scheinleistung* und *Blindleistung*. Bei *ohmschen* Verbrauchern (Sauna-Ofen, Glühlampe) ist die

Gleichstrom

$$\text{Querschnitt} = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot U}$$

einphasiger Wechselstrom

$$\text{Querschnitt} = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos(\varphi)}{\gamma \cdot U}$$

Drehstrom

$$\text{Querschnitt} = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot \cos(\varphi)}{\gamma \cdot U}$$

l	einfache Länge der Zuleitung in Metern
I	Strom in Ampere
γ	Leitfähigkeit der Leitung (Kupfer = 58)
U	zulässiger Spannungsabfall in Volt
$\sqrt{3}$	Verkettungsfaktor für Drehstrom
$\cos(\varphi)$	elektrischer Wirkungsgrad des Verbrauchers (1 für ohmsche Lasten)
Querschnitt	Leitungsquerschnitt in mm ²

3 Formeln zur Berechnung des Leitungsquerschnitts

Beispiel: Anschluss eines Saunaofens

Spannung: 400V
 Spannungsabfall: 2,5%
 Länge Zuleitung: 25m
 Leistung des Ofens: 9KW
 Leitfähigkeit γ Kupfer: 58

4

Schritt 1: Berechnung des Spannungsabfalls

$$U_{\text{Verlust}} = \frac{\text{Spannungsabfall} \cdot \text{Spannung}}{100\%} = \frac{2,5\% \cdot 400V}{100\%} = 10V$$

Schritt 2: Berechnung des Stroms (Strom verteilt sich auf 3 Phasen, eine Phase hat 230V!)

$$I_{\text{Phase}} = \frac{\text{Leistung}}{\sqrt{3} \cdot \text{Spannung}} \cdot 1/\text{Anzahl Phasen} = \frac{9000 \text{ Watt}}{\sqrt{3} \cdot 400V} \cdot 1/3 = 12,99A$$

Schritt 3: Berechnung des Querschnitts nach Spannungsabfall

$$\text{Querschnitt} = \frac{\sqrt{3} \cdot \text{Länge} \cdot I_{\text{Phase}} \cdot \cos(\varphi)}{\gamma \frac{m}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot U_{\text{Verlust}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 25m \cdot 12,99A}{58 \frac{m}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 10V} = 0,97\text{mm}^2$$

Der nächste verfügbare Querschnitt wäre dann 1,5mm²

Schritt 4: Bestimmung des Querschnitts nach mechanischer Belastbarkeit: 2,5mm².

Bei 1,5mm² wäre eine Absicherung von 13A vorzusehen. Für den Strom pro Phase (12,99A) wäre das sehr knapp. Daher sollte man den Querschnitt erhöhen.

Die Sinuskurven für Strom und Spannung sind bei Blindleistung nicht deckungsgleich, sondern verschoben. Man unterscheidet zwischen *kapazitiver* und *induktiver* Blindleistung, je nachdem, ob der Strom „früher dran“ ist als die Spannung oder umgekehrt.

Blind- und Wirkleistung lassen sich nicht einfach so zur Scheinleistung addieren. Das Ganze lässt sich vielmehr als rechtwinkliges Dreieck darstellen. Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang. In die Formeln zur Berechnung fließt der Wert $\cos(\varphi)$ ein. Bei elektrischen Öfen zum Beispiel ist der Wert 1, bei induktiven Lasten ist er in der Regel geringer. Den exakten Wert für $\cos(\varphi)$ entnimmt man dem Typenschild des anzuschließenden Verbrauchers.

Die Berechnung

Die eigentliche Berechnungsformel für den benötigten Leitungsquerschnitt ist für Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom (mit drei Phasen) im Prinzip identisch 3. Denn die Formel für Gleichstrom lässt sich schrittweise für die Wechselstrom-Berechnungen erweitern.

Bei Gleichstrom braucht man also die einfache Länge in Metern, den Wert γ für die Konduktivität (58 für Kupfer, 62 für Silber, 37 für Aluminium) und den maximalen Spannungsabfall in Volt. Das Ergebnis ist der Querschnitt in mm².

Bei einphasigem Wechselstrom muss noch der Faktor $\cos(\varphi)$ ergänzt werden. Bei ohm'schen Lasten setzt man dafür 1 ein, sonst den Faktor dem Typenschild des Verbrauchers entnehmen. Dieser Faktor drückt das Verhältnis von Wirk- und Blindleistung aus. Der Spannungsabfall (beim Stromnetz typisch 3%) errechnet sich aus der Netzspannung

$$230V \cdot 3\% = 6,9V.$$

Beim dreiphasigen Wechselstrom ersetzen wir dann in der Formel den Faktor 2 bei der Leitungslänge durch $\sqrt{3}$. Beim dreiphasigen Wechselstrom muss man bei den Werten etwas aufpassen:

Leitungsdimension

Als Dimension für die Größe eines Kabels oder einer Litze wird in Deutschland in der Regel die Querschnittsfläche des stromleitenden Materials in Quadratmillimeter (mm²) angegeben. Achtung: Dieser *Leitungsquerschnitt* ist nicht mit dem *Leitungsdurchmesser* zu verwechseln, der die Dicke des Kabels inklusive der Isolierung angibt.

Manchmal findet man auch die Bezeichnung AWG (American Wire Gauge). Diese Maßeinheit wird vor allem in Nordamerika verwendet und hat ihren Ursprung im Herstellungsverfahren. Mehr dazu und zur Umrechnung in Quadratmillimeter gibt es im Netz nachzulesen (siehe Link in der Kurzinfo).

Scheinleistung gleich der Wirkleistung und eine Blindleistung gibt es hier nicht.

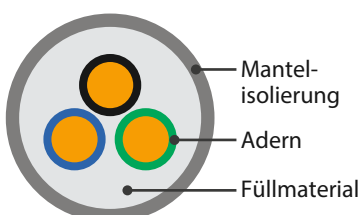
Was ist nun die Blindleistung? Die Blindleistung ist die Energie, die gebraucht wird, um

bei einem Motor das Magnetfeld aufzubauen oder bei einer Leuchtstoffröhre den Kondensator zu laden. Diese Leistung wird also nicht in Bewegungsenergie oder Licht umgesetzt.

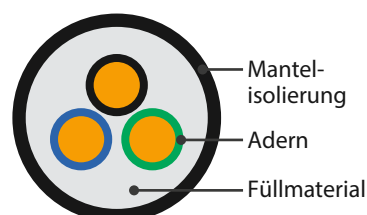
3-adrige Stegleitung (NYIF-J)



3-adrige Kunststoffmantelleitung (NYM-J)



3-adriges Erdkabel (NYY-J)



5 Aufbau verschiedener Kabel. Der Zusatz -J bei der Bezeichnung bedeutet Leitung mit Erde.

- Bei der Spannung setzt man 400V (nicht 230V) ein.
- Der Strom verteilt sich auf 3 Phasen. D.h.: Eine Leistung von 8KW bei 400V ergibt einen Gesamtstrom von 20A. Diese verteilen sich auf 3 Leitungen mit je 6,67A.

Das Ergebnis ist der Wert der Einzelader (Phase (n), Null, Erde) in mm². Der errechnete Wert passt oft nicht genau auf die gängigen Kabelquerschnitte. Hier wählt man den nächstgrößeren Wert. An dieser Stelle greift dann die Eingangs genannte DIN-Norm zur mechanischen Belastbarkeit. Man kontrolliert anhand einer Strombelastbarkeitstabelle (siehe Link), ob der Strom für den bestimmten Querschnitt zulässig ist. Wenn nicht, muss anhand der Tabelle ein höherer Querschnitt ausgewählt werden.

Weitere Faktoren

Eine weitere Einflussgröße ist die *Häufung*. Damit ist gemeint, wie viele Leitungen zusammen geführt werden, z.B. in einem Kabelkanal. Wenn mehrere Großverbraucher gleichzeitig viel Strom ziehen, kann es im Kabelkanal zu Problemen mit der Wärme kommen. Daher sollte in solchen Fällen der Leitungsquerschnitt höher angesetzt werden. Meist ist dies für einen Privathaushalt nicht relevant. Die Häufung muss man aber auf jeden Fall im gewerblichen Bereich betrachten, wo Maschinen parallel betrieben werden.

Eine weitere Einflussgröße bei sehr langen Leitungen ist die *Netzimpedanz*. Vereinfacht gesagt ist das der Widerstand der Leitung vom Stromerzeuger bis zum Verbraucher. Damit der Sicherungsautomat bei einem Kurzschluss zuverlässig auslöst, darf der Leitungswiderstand nicht zu groß sein, weil sonst der Auslösestrom für den Automaten nicht erreicht wird. In Wohngebäuden kommen Leitungslängen, bei denen das kritisch wird, normalerweise nicht vor.

Im Kasten 4 ist als Beispiel die Berechnung der Leitungen für einen Saunaofen aufgezeigt. Es sind mehrere Schritte zur Berechnung nötig. Spannungsabfall und Strom pro Phase wollen bestimmt sein, bevor der Querschnitt nach Spannungsabfall berechnet werden kann. Am Beispiel sieht man dann, dass der errechnete Querschnitt nicht der anzuwendende Querschnitt ist – wegen der mechanischen Belastbarkeit erhöht sich der Wert dann nochmal.

Damit Sie das nicht alles von Hand ausrechnen müssen, stellen wir online einen einfachen Querschnittsrechner auf HTML-Basis zur Verfügung (siehe Link in der Kurzinfo).

Leitungstypen

Bei Leitungen für Netzspannung kann man grundsätzlich folgende Unterscheidungen machen 5 6:



6 Von oben nach unten: NYIF-J (Stegleitung), NYM-J (Feuchtraumleitung mit Schutzleiter) und NYY-J (Erdkabel)

- **Einfacher Kupferdraht:** Führung in Leerrohren oder zur Verkabelung in Abzweigboxen
- **NYIF-J-Leitung:** Steg-Leitung, flach, nur für trockene Räume, Verarbeitung unter Putz
- **NYM-J-Leitung:** Feuchtraum-Leitung mit Schutzleiter. Verwendung in trockenen und Feuchträumen; Hohlwand / Unterputz
- **NYJ-J-Leitung:** Erdkabel. Verlegung unter der Oberfläche, z.B. im Garten (siehe auch Seite 116)

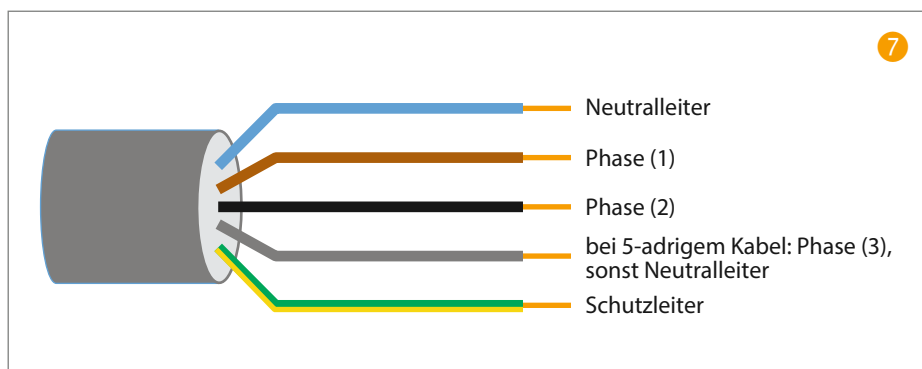
Es gibt noch viele weitere Leitungstypen. Eine Übersicht findet sich online unter dem Link in der Kurzinfo.

Bei der Verkabelung sollte man die gängigen Kabelfarben berücksichtigen 7, siehe auch Seite 92:

Die Farben weiß, orange, rot und violett werden als „geschaltete Phase“ verwendet, etwa bei Kreuz- oder Wechselschaltern. Bei älteren Leitungen findet man oft eine abweichende Belegung: rot = Schutzleiter, grau = Neutralleiter, blau = Phase (siehe auch Seite 98). Bei vorhandener Installation sollte man die Farben allenfalls als Orientierung nutzen und immer nachmessen!

In der Praxis muss man Leitungen in aller Regel auch mal um eine Ecke verlegen. Beim Biegen werden die Leitungen auf der Innenseite der Biegung gestaucht und auf der Außenseite der Biegung gestreckt. Bei zu engem Biegeradius besteht die Gefahr der Beschädigung des Kabels, deshalb sollte man beim Biegen von Leitungen keine allzu große Kraft anwenden und unter allen Umständen vermeiden, dass Kabel geknickt werden. Denn sonst sind alle Berechnungen zum korrekten Kabelquerschnitt schnell nutzlos ...

Den Leitungsquerschnitt durch Berechnung zu bestimmen und einen vorhanden gegebenenfalls als ausreichend zu bestätigen ist umso wichtiger, je länger hoher Strom verbraucht wird. Eine Wallbox zum Laden eines Elektrofahrzeugs zieht über viele Stunden einen hohen Strom. Hier sollte man lieber nachrechnen als sich auf sein Gefühl zu verlassen. Im günstigeren Fall verweigert das Fahrzeug die Ladung, im schlechteren Fall erzeugt man einen Kabelbrand. —pek



Elektroinstallationen im Außenbereich

Außeninstallationen erfordern wegen Wind und Wetter besondere Maßnahmen: Spritzwasser- und Feuchtigkeitsschutz, robuste Kabel und die Beachtung einschlägiger Vorschriften.

von Hans Borngräber



AndiWG / Shutterstock.com

Die Gartenparty steht an, und plötzlich stellt man fest: Im Garten gibt es jede Menge Grünes, aber nirgendwo eine Steckdose, um den Motor des Grills zu betreiben oder abends für Licht zu sorgen. Jetzt kann man natürlich im nächsten Baumarkt eine größere Anzahl an Kabeltrommeln besorgen und alles untereinander zusammenstecken, gerade wie man es braucht. Neben Stolpergefahr für Ortsunkundige ist auch die elektrische Sicherheit in Frage gestellt. Ab einer bestimmten Länge steigt der Leitungswiderstand so an, dass im Fehlerfall der Leitungsschutzschalter nicht mehr auslöst oder der FI-Schutzschalter auf eine durchnässte Kabeltrommel anspricht. Dies sind Gefahren, die mit einer korrekt ausgeführten Elektroinstallation für den Außenbereich verhindert werden können.

Elektroinstallationen im Freien unterscheiden sich grundsätzlich nicht von denen im Innenbereich. Den Unterschied macht das Material: Im Erdreich müssen statt der üblichen NYM-Kabel speziell isolierte und robuste Erdkabel verlegt werden, und statt einfacher Verteilerdosen mit (bestenfalls) Spritzwasserschutz werden Verteilerkästen mit Verschraubungen für die Kabel benötigt – dazu später mehr.

Für den Anschluss der äußeren Elektroinstallation muss ein eigener Stromkreis in der Hausinstallation vorhanden sein. Ein 16A-Leitungsschutzschalter mit einem integrierten 30mA-Fehlerstromschutzschalter (FI oder RCD) sollten für eine normale Außeninstallation ausreichend sein. Diese sollten sich im Gebäude in einer Unterverteilung möglichst nahe am Kabelausgang in den Garten befinden.

An einem geschützten Platz direkt am Haus montiert man eine Unterverteilung, in der man die benötigten Kabel auflegt. Unbedingt einen Ausschalter in der Hausverteilung vorsehen, denn Einbrecher lieben spannungsführende Steckdosen, an denen sie ihre elektrischen Einbruchswerkzeuge anschließen können.

Planung

In einem Grundrissplan des Gartens zeichnet man alle Lampen, Steckdosen und Verteilpunkte ein. Auf diese Weise kann man die zu erwartenden Kabellängen ermitteln. Diese benötigt man, um den benötigten Kabelquerschnitt zu ermitteln (siehe unten). Kabelabzweigungen müssen entweder in einer vor der Witterung geschützten Feuchtraum-Verteilerdose erfolgen oder mit vergossenen Abzweigmuffen, wenn die Abzweigungen im Erdreich vergraben werden.

Um Überlastungen der teilweise sehr langen Kabel vorzubeugen, empfiehlt sich eine sternförmige Verkabelung. Das erspart nebenbei im Erdreich vergrabene Abzweigmuffen.

Kurzinfo

- » Planung und Realisierung von Außeninstallationen
- » Geeignete Verteiler, Steckdosen und Kabel
- » Leitungslängen und Kabelquerschnitte

Mehr zum Thema

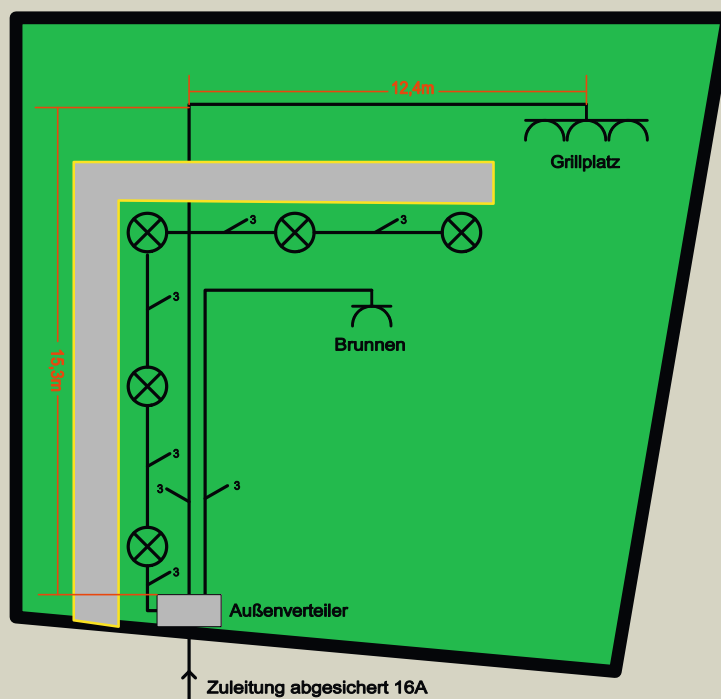
» Ralf Stoffels, Der Rasenkabelfinder, Make 2/22, S. 26

Alles zum Artikel
im Web unter
make-magazin.de/xrqy



Fast richtig: IP44-Steckdosen wettergeschützt montiert, aber eine offene und lose Mehrfachsteckdose, in die Feuchtigkeit eindringen kann.

Gartengrundriss Elektroinstallation



Beispiel für eine Elektroinstallation im Garten



IP54-Feuchtraumverteilerdose mit nachgerüsteter PG7-Verschraubung für den Kabeleinlass

Alle Schaltelemente (für Gehwegbeleuchtung, Brunnen etc.) sind im Haus zu installieren.

Die Feinde jeder Elektroinstallation im Freien sind neben Feuchtigkeit und Nagetieren vor allem Gärtner, Vertikutierer und Rasenmäher. Deshalb müssen die Kabel mindestens in doppelter Spatentiefe verlegt sein. Bei 60cm muss man zwar kein Tiefbauunternehmen beauftragen, aber etwas Mühe verlangt die Verlegung schon. Es empfiehlt sich, auf halber Grabungstiefe ein Trassenwarnband einzule-

gen, dann weiß ein möglicher Nachnutzer des Grundstücks auch, dass dort Vorsicht geboten ist.

In den letzten Jahren wurden die Gärtner immer bequemer und sie setzen für die Rasenpflege nun Roboter ein. Diese werden durch ein im Rasen verlegtes Kabel auf dem Grundstück eingesperrt. Die Sensoren dieser Roboter sind sehr empfindlich, was elektromagnetische Störfelder anbetrifft. Deshalb dürfen Elektrokabel nicht über eine längere Wegstrecke parallel zu den Begrenzungskabeln der Roboter verlegt werden, ansonsten besteht die Gefahr, dass der Roboter ausbüxt.

Materialfrage

Anders als im Innenbereich hat man im Freien mit stärkeren Umwelteinflüssen zu tun:

- Wärme durch Sonneneinstrahlung
- UV-Licht
- Regen, Frost und Nässe durch feuchtes Erdreich
- Tierische Untermieter

All diesen Einflüssen muss das eingesetzte Elektromaterial standhalten und Mensch und Natur vor den Gefahren des elektrischen Stromes schützen. Das Elektromaterial für den Außenbereich kommt vorwiegend aus dem Warenkorb der Feuchtraum-Installationen, muss aber anders verbaut werden.

Mantelleitung NYM-J für den Innenbereich darf man im Außenbereich nur in Rohren verlegen, die durch Verschlussstopfen gegen

Feuchtigkeit gesichert und nicht im Erdreich verlegt sind. Das für den Außenbereich und für Erdverlegung geeignete Kabel trägt die Bezeichnung NYY-J. Gut zu unterscheiden von grauen NYM-J ist es durch seine schwarze Ummantelung. Auch ist es durch seine doppelte Isolation steifer und bei gleichem Leiterquerschnitt dicker. Welchen Querschnitt die einzelnen Adern haben müssen, hängt neben der zu übertragenden Leistung auch von der Entfernung zwischen Endverbraucher und Leitungsschutzschalter ab:

- Je größer die Entfernung, desto größer ist der ohmsche Widerstand des Kupferleiters.
- Je höher der Widerstand, desto größer ist die Gefahr, dass der Leitungsschutzschalter im Kurzschlussfall nicht sofort auslöst, weil der Kurzschlussstrom zu gering ist.

Zur Berechnung des notwendigen Kabelquerschnittes gibt es Tabellenbücher oder man rechnet selbst (ausführlicher behandeln wir das Thema auch ab Seite 112). Die Formel lautet wie folgt:

$$A = \frac{2 \times L \times I \times \cos \varphi}{\gamma \times U_a}$$

mit A = Leiterquerschnitt in mm^2 , L = Leiterlänge in Metern, $\cos \varphi$ = angenommener Wirkleistungsfaktor (0,9), I = maximaler Strom in Ampere γ = Leitfähigkeit des Leitermaterials (Kupfer: $5,8 \times 10^7$) und U_a = erlaubter Spannungsfall (normalerweise 3V~) in Volt.

Zur Berechnung zieht man immer den längsten Kabelweg heran. In obigem Beispiel sind das 27,7m plus geschätzt 5m für den Kabelweg im Haus. Das ergibt einen rechnerischen Leiterquerschnitt von $2,44\text{mm}^2$. Man nimmt dann immer in der Normreihe der Kabelquerschnitte den nächst höheren Wert, in dem Fall dann $2,5\text{mm}^2$. Es wird stets die komplette Elektroinstallation mit diesem Querschnitt ausgeführt, auch die kürzeren Strecken. Die Normreihe der Kabelquerschnitte geht von $1,5\text{mm}^2$, $2,5\text{mm}^2$, 4mm^2 , 6mm^2 , 10mm^2 bis 50mm^2 .

Verteilerdosen

Verteilerdosen der IP54-Klasse (zu den IP-Klassen siehe Seite 84) dürfen im Außenbereich eingesetzt werden, wenn die Kabeleinführungen wasserdicht ausgeführt sind. Im Auslieferungszustand sind sie es nicht. Die Dosen sind aus sehr weichem PVC und müssen mit PG-Gewinde-Kabeleinführungen versehen werden (siehe Foto). Im Erdreich oder am Boden darf man diese Verteilerdosen nicht installieren. Sie müssen senkrecht an einem vor Witterungseinflüssen geschützten Platz montiert werden.



15 Jahre alter Außenverteiler: IP65-Ausführung, wettergeschützt nach Norden ausgerichtet, ohne Sonneneinstrahlung

Besser für den Außenbereich sind die Verteilerdosen nach IP65 geeignet. Sie sind von Haus aus auch gegen einen Wasserschwall (Wasserstrahl aus dem Gartenschlauch) geschützt und verfügen normalerweise über Gewinde für PG-Verschraubungen. Auch sind sie aus stabilerem Kunststoff hergestellt.

Außenverteiler

Außenverteiler müssen mindestens der Schutzklasse IP65 entsprechen. In Außenverteilern sollten keine Sicherheitsschaltenelemente verbaut werden, FI- oder Leitungsschutzschalter haben dort nichts verloren. Trotz Witterungsschutz sind die Bedingungen in diesen Verteilern nicht dazu geeignet, dauerhaft empfindliche Personenschutzschalter sicher zu betreiben. Als Kabelverteiler sind sie aber sehr gut geeignet, weil sie viel Platz bieten. Eine Steckdose für Hutschienenmontage kann man darin problemlos installieren. Hilfreich ist auch eine von außen sichtbare Kontrolllampe als Einschaltkontrolle, die anzeigt, dass kein Maulwurf den Fehlerschutzschalter ausgelöst hat.

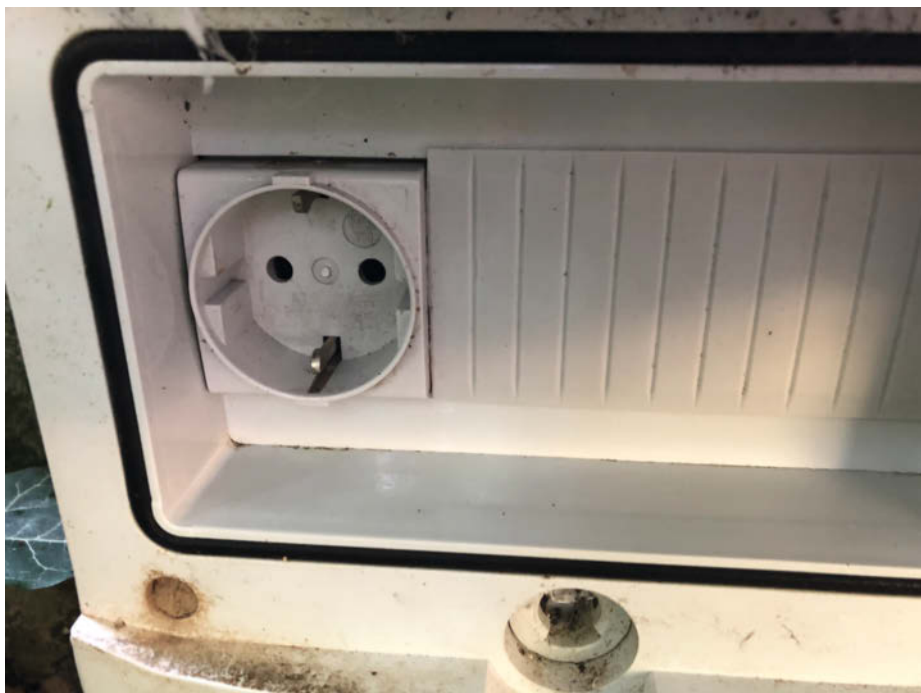
Steckdosen

Steckdosen für den Garten gibt es in den Baumärkten und im Fachhandel in vielen Ausführungen. Das Angebot geht von mehr oder weniger gelungener Steinoptik bis hin zu einfachen Feuchtraumsteckdosen, wie man sie aus dem Keller kennt. Das äußere Gehäuse der Steckdosen soll diese vor Feuchtigkeit und Nässe schützen. Die Steckdosen selbst verfügen alle über einen eigenen Deckel. Mit diesem Deckel erreichen die Steckdosen mindestens die IP44-Klasse. Das ist ausreichend, wenn man sicherstellen kann, dass die Steckdosen nicht mit einem Wasserschwall durchnässt werden können.

IP66 ist besser, aber auch klobiger und hässlicher; die Deckel sind hier als abgedichtete Klappen ausgeführt. Diese Steckdosen bieten dann den Anreiz, eine eigene Umhausung zu bauen. Die kann aus Holz, Stein oder anderen Materialien bestehen. Wichtig ist, dass sich in der eigenen Umbauung kein Schwitzwasser sammeln kann. Ein Wasserablauf unterhalb der Steckdosen ist unbedingt vorzusehen. Will man eine komplett eigene Steckdosenleiste für den Garten bauen, sind die IP44/IP54-Steckdosen aus dem Industriebereich eine gute, aber nicht sehr schöne Alternative. Die muss man dann halt gut verstecken.

Lampen

Noch größer ist das Angebot an Lampen für den Garten. Die gängigsten sind Standleuchten auf einer 50 bis 80cm hohen Säule. Sie haben meist die Schutzklasse IP44. Will man Unterflurlampen in den Rasen oder in



Die Hutschienen-Steckdose wurde im IP65-Außenverteiler versteckt.

den Gehweg versenken, müssen diese die Schutzklasse IP68 (Tauchwasser) erfüllen. Vom Selbstbau von Lampen für den Garten ist abzuraten: Mit den Möglichkeiten einer normalen Hobbywerkstatt wird man mit Sicherheit eine schöne Lampe bauen können, ob die aber den Sicherheitsanforderungen einer höheren IP-Schutzklasse mit den notwendigen Abdichtungen entspricht, ist anzuzweifeln. Da sind Fertigprodukte mit entsprechenden Prüfzertifikaten den Eigenbauten vorzuziehen.

Die stark einschränkende Gesetzgebung (siehe Seite 98) ermöglicht es Privatleuten, nur begrenzt tätig zu werden. Wenn nach eingehender Kontrolle (am besten durch einen zertifizierten Fachmann) eingeschaltet wird, der FI-Schutzschalter nicht auslöst oder Maulwürfe und Regenwürmer in der Nähe der Erdverkabelung nicht reißaus nehmen, hat man alles richtig gemacht und die nächste Gartenparty kann kommen. —cm



Selbstgebaute Vierfach-Verteiler aus Industrie-Steckdosen und einem abgedichteten Kabelkanal.

Elektrotechnik einfach erklärt

Deutschsprachige Elektrotechnik-Videos für Einsteiger



Tobias Tippelt hat mit über 45.000 Abonnenten einen YouTube-Kanal, der sich hauptsächlich an Einsteiger wendet. Nicht nur Bastler und Maker kommen hier auf ihre Kosten – auch Schüler, die sich für ein Studium der Elektrotechnik interessieren, bekommen hier in zwölf speziellen Videos Tipps und Hinweise, worauf sie sich bei solch einem Studium einlassen und das aus erster Hand, da Tobias Tippelt selbst Elektrotechnik studiert hat. Eine Videoreihe mit typischen Rechenaufgaben aus Studium und Praxis ist speziell als Vorbereitung für das Grundstudium gemacht. Wie geht man an eine Aufgabe heran? Wie liest man die Aufgabenstellung und welche Strategien sind zur Lösung zielführend? Die Aufgaben stammen aus dem Buch *Aufgabensammlung zu den Grundlagen der Elektrotechnik* von Gert Hagmann, welches gerne in Tutorien an Hochschulen verwendet wird.

Ansonsten erstrecken sich die Themen der mehr als 100 Videos über die Elektrotechnik-Grundlagen, Gleichstromtechnik, Wechselstrom, Löten, Bauteile wie Widerstand, Kondensator und (Leucht-)Diode, Messen mit Multimeter und Oszilloskop bis hin zu Arduino und Elektromobilität.

Die Videos sind alle gut gemacht und von technisch und inhaltlich hoher Qualität. Kleine Fehler und Versprecher werden im Video per Texteinblendung korrigiert – sicher keine Schande, dies ist auch bei viel größeren Kanälen so üblich. Manchmal ist der Ton etwas wechselnd, bleibt aber gut verständlich.

Neben seinem Youtube-Kanal hat Tobias Tippelt auch eine Website und im Eigenverlag ein Buch über Elektrotechnik veröffentlicht.

—caw

URL youtube.com/c/ElektrotechnikEinfachErklart

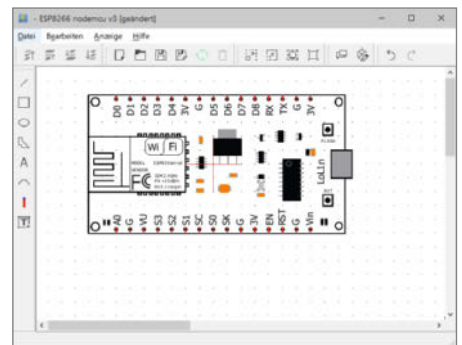
QElectro Tech

Open-Source-CAD für Elektro- und Haustechnik

QElectroTech wird seit über 10 Jahren entwickelt. Inzwischen ist die ursprüngliche Crew nicht mehr beteiligt, die Entwicklung läuft aber unter der GPL-V2-Lizenz weiter. Aktuell ist die Version 0.8.1. Die Software ist weder Schaltplaneditor, Leiterplatten-CAD noch ein Simulationsprogramm: Es geht darum, Installationen von Elektroanlagen und sonstiger Haustechnik zur Planung zu zeichnen und für die Montage und Wartung Stromlauf-, Verdrahtungs-, Installationspläne sowie Stücklisten zu erstellen. Neben der Elektrik wird unter anderem Hydraulik, Lüftung, Heizung und Kältetechnik unterstützt.

Die Software scheint schon so weit zu sein, dass auch größere Projekte damit geplant werden können: Beispielprojekte in den Foren zeigen ganze Anlagen über Dutzende von Seiten. Damit sollte es für den privaten Bauherren auf jeden Fall genügen. Die Dokumentation ist wie in so vielen Open-Source-Programmen eine größere Baustelle als das eigentliche Programm. Dabei hilft es nicht, das die Hauptdokumentation in Französisch abgefasst ist. Es gibt einige Übersetzungen, allerdings liegen diese oft nur für ältere Versionen vor. Die automatische Übersetzung mit Google Translate ist brauchbar, aber verpatzt Fachbegriffe und führt somit besonders bei Fachleuten zur Verwirrung. Ich kann nur empfehlen, sich ein paar Videos anzuschauen, von denen es auch einiges auf Deutsch gibt: Damit kann man schon mal die Grundlagen des Programms lernen und eine Idee bekommen, ob es denn für den eigenen Zweck geeignet ist.

Größere Projekte werden in sogenannten *Folien* verwaltet, jede Folie enthält dann Teile

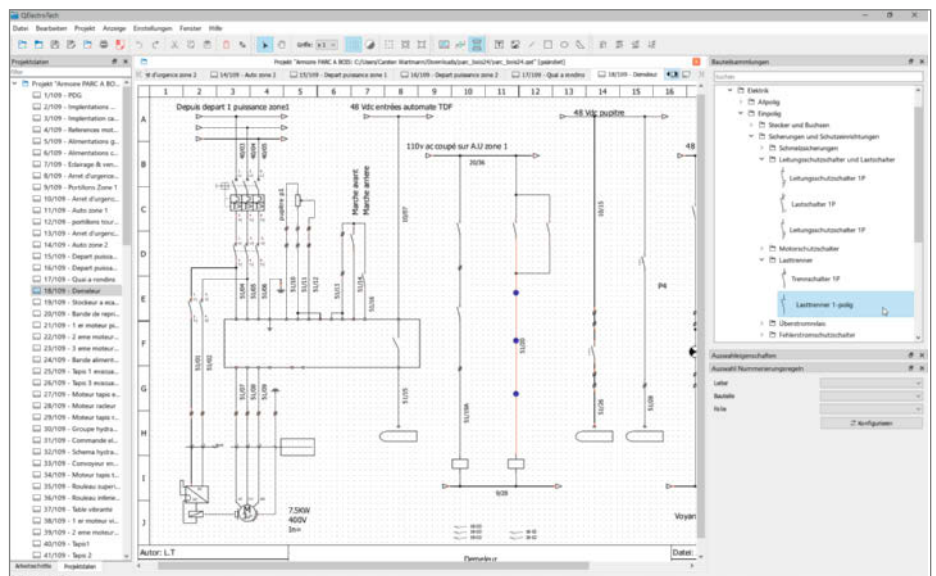


des Gesamtwerks. Folien können untereinander verbunden werden, dazu gibt es (elektrische) Potentiale oder Leiter und Verweise, die auch automatisch angepasst werden. Mitgeliefert werden über 8000 Standardteile aus allen Bereichen und Bauteile diverser Hersteller von ABB bis Yucel. Wenn man einmal ein Teil nicht findet, dann ist der Bauteileditor gefragt, ein kleines integriertes CAD. Hier kann man vorhandene Teile bearbeiten und komplett neue erstellen; der Bauteileditor ist sehr funktional und schnell zu beherrschen.

Am Ende der Planung kann dann als PDF gespeichert und natürlich gedruckt werden, aber auch ein Export in die üblichen Bildformate sowie SVG und DXF steht zur Verfügung. Weiterhin können diverse Listen wie Betriebsmittel, Inhaltsverzeichnisse und per (in der Entwicklung befindlichem) Plug-in ein Klemmenplan exportiert bzw. erstellt werden.

—caw

Hersteller	QElectroTech Team
URL	https://qelectrotech.org/
Preis	kostenlos



Interaktives Stromlabor

AC/DC nicht nur für Kinder

Ausprobiert
— von Make: —

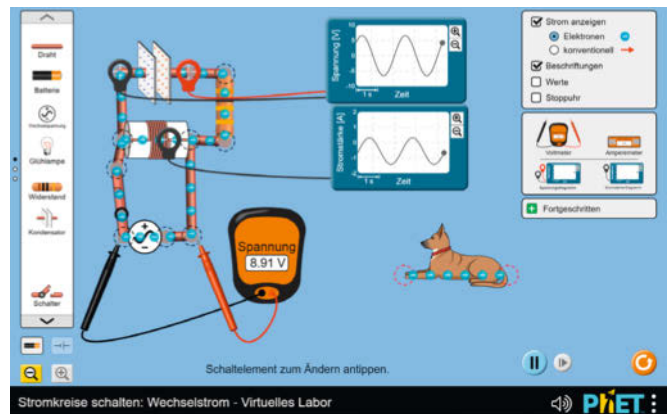
Das seit 2002 aktive Projekt *PhET Interactive Simulation* der *University of Colorado Boulder* erstellt freie interaktive Simulationen zu den klassischen MINT-Themen aus Wissenschaft und Forschung. Die über 100 Simulationen bieten neben Chemie, Biologie und Geologie natürlich auch Physik mit Magnetismus und vielen elektrotechnischen Simulationen.

Die HTML-5-Simulationen laufen in modernen Browsern auf Computern und Tablets, von den Servern des Projekts oder von der eigenen Festplatte. Eine Installation ohne Browser ist ebenfalls möglich, wobei hierzu ein Java SE JDK8 benötigt wird. Für *Android* und *iOS* gibt es Apps in den Stores.

So kann man nun per Maus oder Finger kleine Schaltungen zusammenbauen, die die Werte der Komponenten ändern und per Multimeter oder einer Art Oszilloskop Spannungen und Ströme messen. Die Stromflüsse werden dabei auf Wunsch als Elektronenfluss oder in der technischen Stromrichtung visualisiert. Wer möchte, kann jederzeit auf eine Ansicht umschalten, die mehr einem

Schaltplan ähnelt – mit der IEC-Option aus dem Menü unten rechts auch mit Schaltzeichen, die hierzulande geläufig sind.

Natürlich gibt es genauere, vielseitigere und schnellere Schaltungssimulationen, auch im Browser, aber keine ist so bunt und lädt so unkompliziert zum Probieren ein. Die Darstellung jenseits eines schnöden Schaltplans kommt weg von der Theorie und lässt ganz automatisch die Frage aufkommen, ob das in der Realität genauso funktioniert. Schneller als gedacht muss ich meine Bastelkiste für das mit mir testende Kind öffnen und es wird mit Batterien, Lampen und Schaltern experimentiert. Ziel erreicht. Nur den Hund kann ich nicht bieten. Nun gut, dann muss die *John Travoltage*-Simulation zur statischen Elektrizität für den



Lacher erhalten. Zurück im Ernst des Lebens können sich Ausbilder und Eltern einen Account anlegen und dann auch auf die Lehrer-Information zugreifen. —caw

Hersteller	University of Colorado Boulder
URL	make-magazin.de/x88w
Preis	kostenlos

ATX-Breakout-Board

Durch PC-Netzteil-Upcycling zum eigenen Labornetzteil

Ausprobiert
— von Make: —

Netzteile kann man nicht genug haben. Ein Labornetzteil ist Mittel der Wahl für Testaufbauten, allerdings braucht man oft zwei oder mehr Spannungen gleichzeitig und dann wird es teuer.

Hier kommt jetzt das ATX-Breakout-Board vom *blinkyparts*-Shop ins Spiel. Design wurde die Urform des Boards von Francesco Truzzi, aber auch er hat schon ein *Open Hardware*-Projekt von *Dangerous Prototypes* als Grundlage genutzt – das ist Open Hardware in Reinform.

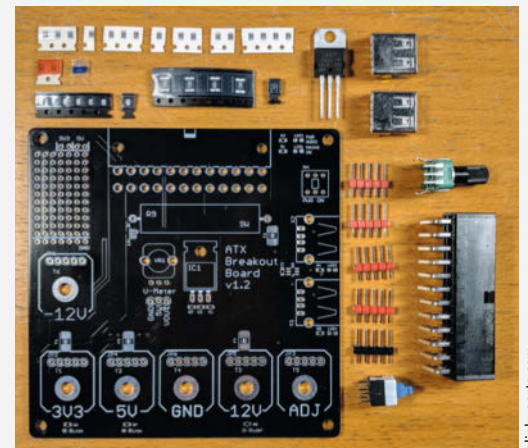
So bekommt man hier nun einen praktischen Bausatz für Maker, die weder Platinen herstellen (lassen) wollen noch die Teile mühsam zusammensuchen möchten. Das Löten von Durchsteck-Bauteilen (*THT*, *Through Hole Technology*) und *SMD* (*Surface Mounted Devices*) kann geübt werden und man erhält zusammen mit einem gebrauchten ATX-Netzteil ein gutes Labornetzteil für wenig Geld. Übrigens: Die Überschüsse aus dem Bausatzverkauf werden an gemeinnützige Vereine gespendet, die wiederum Leuten etwas beibringen.

Zum Löten braucht man einen feinen LötKolben, feines Lötzinn und extra Fluss-

mittel, welches das Löten der kleinen SMD-Teile sehr erleichtert. Ist man sich seiner Lötkünste noch nicht sicher, so bietet der Shop noch weitere Lötbausätze, an denen man gut üben kann: Vom einfachen THT-Set bis zu Bausätzen, die auch Profis den Schweiß auf die Stirn treiben.

Die PDF-Anleitung gibt gute Tipps, in welcher Reihenfolge man die Bauteile auflöten sollte und nimmt einige Stolpersteine aus dem Weg. Aber halt! Nicht ausdrucken: Mit dem *interaktiven Board* auf *GitHub* kann man die Teile lokalisieren und im Fortschritt dokumentieren und den Zweifelsfall durch die Anzeige der Leiterbahnen auch gut Fehler finden. Besser geht es nicht.

Hat man alles doppelt geprüft, verbindet man ein ATX-Netzteil mit 20- oder 24-Pin-Steckern. Beide Varianten funktionieren, der Stecker ist nur in der korrekten Ausrichtung einsteckbar. Nach dem Einschalten über den Schalter auf dem Board zeigen die LEDs an, ob so weit alles okay ist. Jetzt sollte man mit dem Multimeter die Spannungen (3,3V, 5V, -12V, +12V und 1,3 bis 9V regelbar) testen.



Das ATX-Breakout ist auch gegen Kurzschlüsse (3A-Polyfuses) abgesichert und eine Strombegrenzung wie bei einem echten Labornetzteil kann man durch diverse Fertigmodule (*Buck-Boost-Konverter* mit Display) nachrüsten. —caw

Hersteller	blinkyparts.com, Timo Schindler, Regensburg
URL	make-magazin.de/x88w
Preis	18,99 €

IMPRESSUM

Redaktion

Make: Magazin
Postfach 61 04 07, 30604 Hannover
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover
Telefon: 05 11/53 52-300
Telefax: 05 11/53 52-417
Internet: www.make-magazin.de

Leserbriefe und Fragen zum Heft: info@make-magazin.de

Die E-Mail-Adressen der Redakteure haben die Form xx@make-magazin.de oder xxx@make-magazin.de. Setzen Sie statt „xx“ oder „xxx“ bitte das Redakteurs-Kürzel ein. Die Kürzel finden Sie am Ende der Artikel und hier im Impressum.

Chefredakteur: Daniel Bachfeld (dab)
(verantwortlich für den Textteil)

Stellv. Chefredakteur: Peter König (pek)

Redaktion: Heinz Behling (hgb), Ákos Fodor (akf),
Carsten Meyer (cm), Carsten Wartmann (caw)

Mitarbeiter dieser Ausgabe: Hans Borngräber,
Jens Hackel, Sven Hansen (sha@ct.de), Hans-Martin Hilbig,
Ramon Hofer Kraner, Jan Kipping, Guido Körber,
Horst Laubmann, Mark Liebrand, Martin Ossmann,
Hans-Jürgen Pretzel, Ulrich Schmerold, Daniel Walter,
Matthias Wendt

Assistenz: Susanne Cölle (suc), Christopher Tränkmann (cht),
Martin Triadan (mat)

Leiterin Produktion: Tine Kreye

DTP-Produktion: Martina Bruns, Martin Kreft (Korrektorat)

Art Direction: Martina Bruns (Junior Art Director)

Layout-Konzept: Martina Bruns

Layout: Nicole Wesche

Fotografie und Titelbild: Andreas Wodrich

Digitale Produktion: Kevin Harte, Thomas, Kaltschmidt,
Pascal Wissner

Hergestellt und produziert mit Xpublisher:
www.xpublisher.com

Verlag

Maker Media GmbH
Postfach 61 04 07, 30604 Hannover
Karl-Wiechert-Allee 10, 30625 Hannover
Telefon: 05 11/53 52-0
Telefax: 05 11/53 52-129
Internet: www.make-magazin.de

Herausgeber: Christian Heise, Ansgar Heise

Geschäftsführung: Ansgar Heise, Beate Gerold

Anzeigenleitung: Michael Hanke (-167)
(verantwortlich für den Anzeigenteil),
mediadaten.heise.de/produkte/print/
das-magazin-fuer-innovation

Leiter Vertrieb und Marketing: André Lux (-299)

Service Sonderdrucke: Julia Conrades (-156)

Druck: Dierichs Druck + Media GmbH & Co.KG,
Frankfurter Str. 168, 34121 Kassel

Vertrieb Einzelverkauf:
DMV DER MEDIENVERTRIEB GmbH & Co. KG
Meßberg 1
20086 Hamburg
Telefon: +49 (0)40 3019 1800
Telefax: +49 (0)40 3019 1815
E-Mail: info@dermedienvvertrieb.de
Internet: dermedienvvertrieb.de

Einzelpreis: 12,90 €; Österreich 14,20 €; Schweiz 25,80 CHF;
Benelux 15,20 €

Abonnement-Preise: Das Jahresabo (7 Ausgaben) kostet
inkl. Versandkosten: Inland 77,00 €; Österreich 84,70 €;
Schweiz/Europa: 90,65 €; restl. Ausland 95,20 €

Das Make-Plus-Abonnement (inkl. Zugriff auf die App, Heise
Magazine sowie das Make-Artikel-Archiv) kostet pro Jahr
6,30 € Aufpreis.

Make: Nächste Ausgabe erscheint
am 8. Dezember 2022

Abo-Service:

Bestellungen, Adressänderungen, Lieferprobleme usw.:

Maker Media GmbH
Leserservice
Postfach 24 69
49014 Osnabrück
E-Mail: leserservice@make-magazin.de
Telefon: 0541/80009-125
Telefax: 0541/80009-122

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz sorgfältiger Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden. Kein Teil dieser Publikation darf ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Alle beschriebenen Projekte sind ausschließlich für den privaten, nicht kommerziellen Gebrauch. Maker Media GmbH behält sich alle Nutzungsrechte vor, sofern keine andere Lizenz für Software und Hardware explizit genannt ist.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Haftung übernommen werden. Mit Übergabe der Manuskripte und Bilder an die Redaktion erteilt der Verfasser dem Verlag das Exklusivrecht zur Veröffentlichung. Honorare Arbeiten gehen in das Verfügungsrecht des Verlages über. Sämtliche Veröffentlichungen in Make erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patentschutzes.

Warennamen werden ohne Gewährleistung einer freien Verwendung benutzt.

Published and distributed by Maker Media GmbH under license from Make Community LLC, United States of America. The 'Make:' trademark is owned by Make Community LLC. Content originally partly published in Make: Magazine and/or on www.makezine.com, ©Make Community LLC 2020 and published under license from Make Community LLC. All rights reserved.

Printed in Germany. Alle Rechte vorbehalten.
Gedruckt auf Recyclingpapier.

© Copyright 2022 by Maker Media GmbH

ISSN 2364-2548

Nachgefragt

Welche Situation mit
Elektrizität willst Du lieber
nicht noch mal erleben?

Hans Borngräber
Saarbrücken, zeigt auf
Seite 58, wie Trenntrafos
funktionieren.

Für Wartungsarbeiten
der Hauptversorgung
im Rechenzentrum
haben wir auf den
Notstromdiesel um-
geschaltet. Durch un-
gleiche Belastung der
Phasen flogen NH-
Sicherungen mit 160A
aus der Umschaltung.
Reparatur = 7 Tage
Stress.

Guido Körber
Schönefeld, führt auf
Seite 26 in die Kunst
des richtigen Messens
ein.

Bei dem Versuch
eine kleine Schaltung
direkt aus 230 V zu
versorgen, hatte ich
zwei Bauteile ver-
wechselt und saß
dann im Dunkeln,
umgeben von einer
Wolke Fetzen eines
großen Elkos, mit
klingelnden Ohren ...

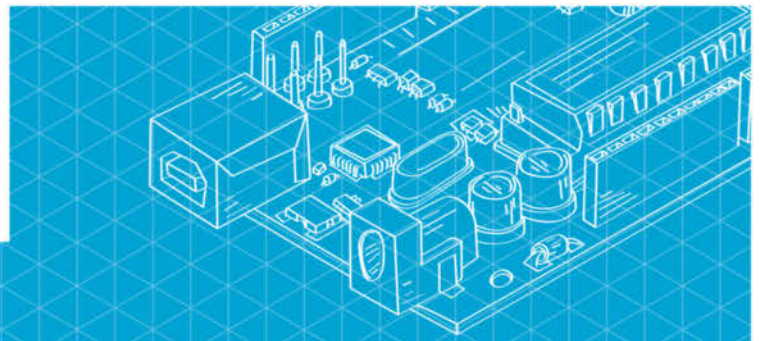
Martin Ossmann
Aachen, erklärt ab Seite
102 wie Wirkleistung,
Scheinleistung und
Blindleistung zusam-
menhängen.

Als junger Bastler
habe ich mal zwei
Netztrafos „back to
back“ aneinanderge-
schaltet und dann die
Sekundärseite ange-
fasst. Da hab ich mich
dermaßen elektrisiert,
dass es mir eine Lehre
war.

Daniel Walter
Stuttgart, zeigt auf Seite
37, wie man auf die
Enden von Litzenleitun-
gen Aderendhülsen
crimpt.

Ein Winkelschleifer,
für den nur die Fehler-
meldung „Das Ding
spinnt“ vorliegt, saust
direkt los, als ich sei-
nen Stecker in die
Dose stecke. Ursache:
Der Ein/Aus-Schalter
öffnet in der Aus-
Stellung nicht mehr.

Make:



DAS KANNST DU AUCH!



GRATIS!



2× Make testen und über 9 € sparen!

Ihre Vorteile:

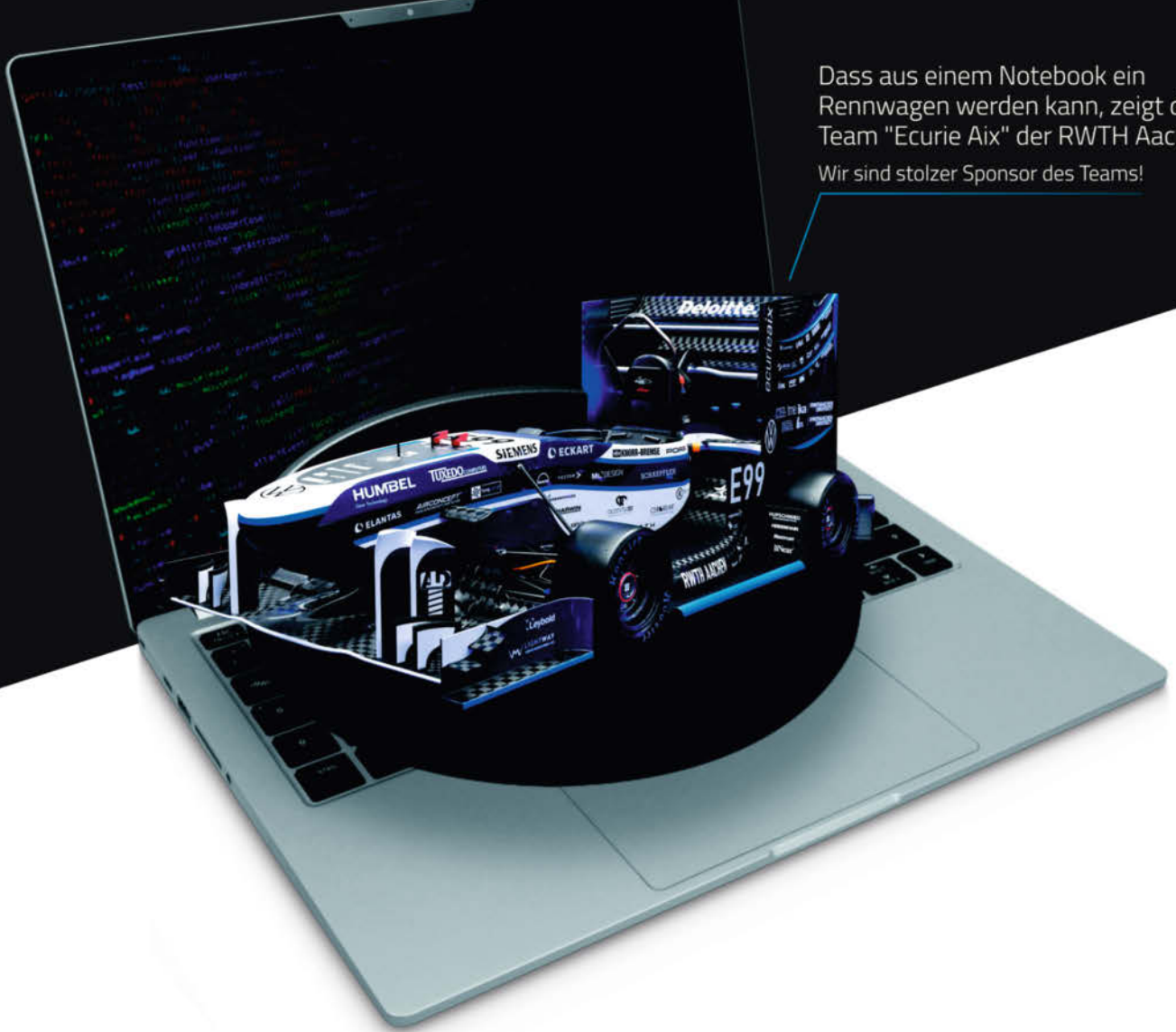
- ✓ **GRATIS dazu:** Make: Tasse
- ✓ Jetzt auch im Browser lesen!
- ✓ Zugriff auf Online-Artikel-Archiv*
- ✓ Zusätzlich digital über iOS oder Android lesen

Für nur 16,10 € statt 25,80 €

* Für die Laufzeit des Angebotes.

Jetzt bestellen: make-magazin.de/miniabo

Dass aus einem Notebook ein Rennwagen werden kann, zeigt das Team "Ecurie Aix" der RWTH Aachen. Wir sind stolzer Sponsor des Teams!



Mach's mit TUXEDO

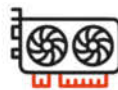
TUXEDO InfinityBook Pro 14 - Gen7



Intel Core i7-12700H
14 Kerne | 20 Threads



3K Omnia Display
16:10 | 2880 x 1800 Pixel



GeForce RTX 3050 Ti
optionale NVIDIA Grafik



Magnesiumgehäuse
1,5 cm dünn | ab 1 kg leicht



100%
Linux

5

Jahre
Garantie



Lifetime
Support



Gefertigt in
Deutschland



Deutscher
Datenschutz



Support
vor Ort

TUXEDOCOMPUTERS 18 JAHRE
JUBILÄUM

tuxedocomputers.com

© Copyright by Maker Media GmbH.