Fachmagazin für angewandte Elektronik

ELV journal
Fachmagazin für angewandte Elektronik

ELV journal
Mehr Wissen in Elektronik

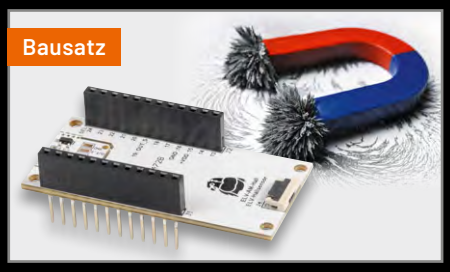
5/2024 Okt. / Nov. 2024

Automatisierungen clever steuern!

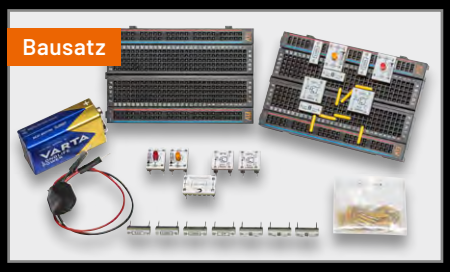
ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung

Smart Hacks: Schaltaktoren des Homematic IP Systems

Know-how: Kondensator-Leckstrom-Tester



Applikationsmodul Hallsensor



Prototypenadapter Starterkit 1

Home Control Unit HmIP-HCU1

NEXT LEVEL
SMART HOME

299,95 €

Zur weißen Variante

Zur anthrazitfarbenen Variante

homematic IP

Home Control Unit HCU1

- Alle Geräte im Smart Home bequem per App steuern – lokal (auch ohne Internet) oder über die Cloud (mit einstellbarem Fernzugriff)
- Unterstützung von Homematic IP Wired Geräten durch den Homematic IP Wired Access Point und eine generalisierte Einbindung von Homematic Geräten über die CCU3 als Gateway (via Plug-in)
- Intuitive Bedienung – keine Programmierkenntnisse nötig, erweiterter Funktionsumfang (Auslöseverzögerung) bei Automatisierung
- Zuverlässige Verschlüsselung der Kommunikation – es ist keine Registrierung notwendig und alle Daten werden nur lokal gespeichert
- 350 Geräte offiziell unterstützt, davon 120 Funkgeräte (Systemgrenzen offen)
- Einfache Anwendungsszenarien (z. B. Raumklima, Licht/Beschattung, Zutritt, Energie) bereits vorkonfiguriert

Mehr Infos zur neuen Home Control Unit HCU1 finden Sie in unserem ELVwissen-Bereich

Mehr Infos hier

Lieferung ohne Smartphone

Ausführliche Infos auch in unserem Fachbeitrag ab Seite 37

Lieber Elektronik-Freund,

Vorfreude ist bekanntlich die schönste Freude. In den vergangenen Ausgaben konnten wir Ihnen bereits exklusive Einblicke und Vorabinformationen zur neuen und bis dato unveröffentlichten Homematic IP Home Control Unit von eQ-3 liefern. Diese Details dürften Ihre Neugier und Erwartungen zur neuen Smart Home Zentrale sicherlich geweckt haben. Irgendwann darf das Warten aber auch ein Ende haben – und so freue ich mich zu berichten, dass die Home Control Unit seit dem 16. September im ELVshop erhältlich ist!

Wir haben die neue Smart Home Zentrale für Sie auf Herz und Nieren geprüft. Auf satten sechs Seiten erklären wir Funktionen und Features, zeigen Ihnen die Unterschiede zu den weiteren Homematic IP Zentralen und Gateways, testen die Gateway-Anbindungen und vieles mehr.

Natürlich kommt dabei auch unsere neue Smart Home Schalter-Fernbedienung zum cleveren Steuern von Automatisierungen nicht zu kurz. So lassen sich ganz ohne App-Zugriff und mit Kompatibilität zu allen Zentralen schnell Szenen ein- oder auch ausschalten.

An dieser Stelle kann ich berichten, dass in mein Zuhause die Home Control Unit bereits eingezogen ist. Mit dem Slogan „Next Level Smart Home" hat eQ-3 nicht zu viel versprochen. Die Verbindung einer komfortablen und eingängigen App-Steuerung mit den vielfältigen lokalen Programmiermöglichkeiten einer echten Zentrale hebt das Smart-Home-Erlebnis auf eine neue Stufe. Das Warten hat sich also gelohnt!

Viel Spaß beim Lesen und Ausprobieren – und bleiben Sie neugierig!

Prof. Heinz-G. Redeker

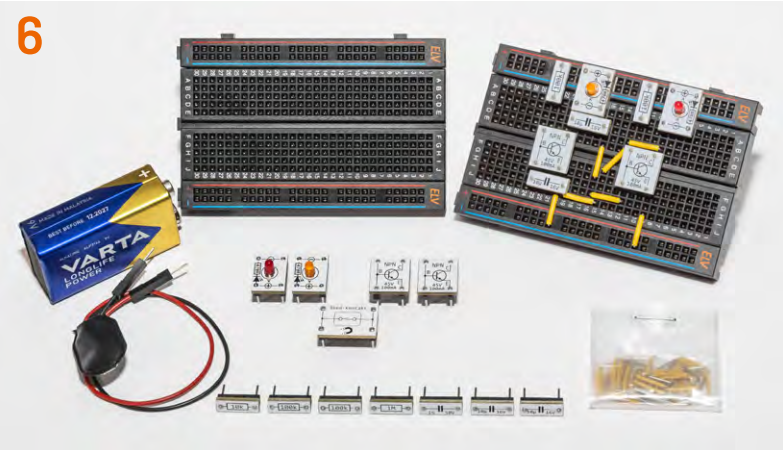
Auf unserem ELV YouTube-Kanal finden Sie bereits viele Videos zur neuen Home Control Unit!

Zusätzlich bieten wir kostenlose Smart-Home-Fachseminare an.

Unseren ELV Kanal finden Sie unter:

www.youtube.com/@elvelektronik

Einfach kostenlos abonnieren und nichts mehr verpassen!



Prototypenadapter Starterkit 1 PAD-SK1

ELV Applikationsmodul Hallsensor

ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung

Die neue Home Control Unit

Inhalt 5/2024

Bausätze

6 **Einsteigerkit für das PAD-System**
Prototypenadapter Starterkit 1 PAD-SK1

19 **Automatisierungsprogramme steuern per Schiebeschalter**
ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung ELV-SH-SRC8

108 **„Unsichtbar" schalten!**
Mit dem ELV-AM-Hall berührungslos schalten und Automatisierungen starten!

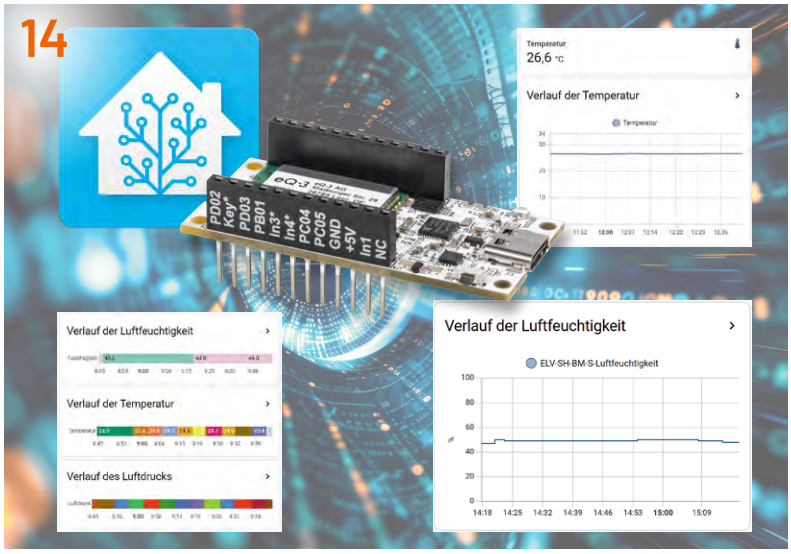
Spezial

37 **Home Control Unit HmIP-HCU1**
Neue Homematic IP Zentrale mit erstaunlichen Möglichkeiten

99 **Maker Faire Hannover 2024**
Deutschlands größte Do-it-yourself-Messe feiert 10-jähriges Jubiläum

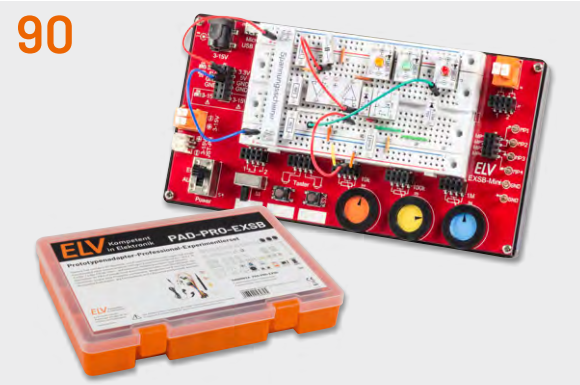
Know-how

14 **Einfach angepasst**
Optimierte Visualisierung der ELV Smart Home Sensor-Base in Home Assistant

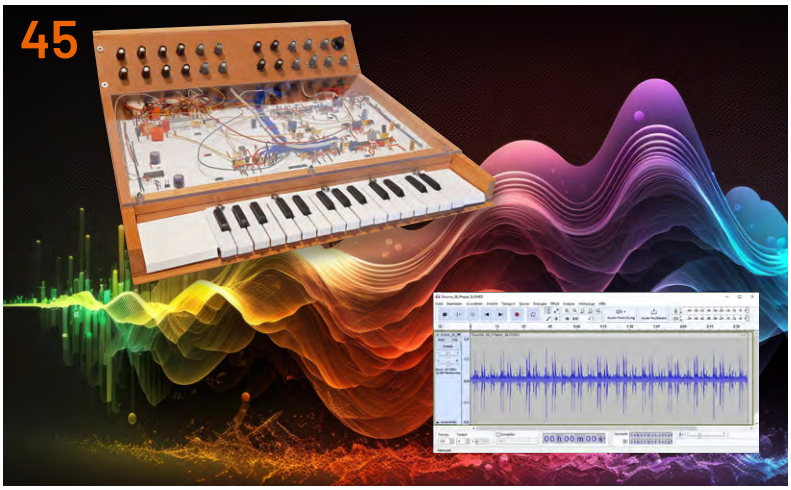


Visualisierung der ELV SH Sensor-Base in Home Assistant

Schaltaktoren des Homematic IP Systems



PAD-PRO-EXSB-Anwendungsschaltungen



Projekte für Elektronikeinsteiger

Maker Faire Hannover 2024

Know-how

32 ELV Smart Hacks
Schaltaktoren des HmIP Systems

52 Python & MicroPython: Programmieren lernen für Einsteiger
Erfassung analoger Werte

62 Nützliche Zahlenkniffeleien
Lehrreiches aus scheinbar Sinnlosem

68 Schritt für Schritt
Steppermotoren zur präzisen Positionierung – Motortreiber A4988 am Raspberry Pi

78 Kondensator-Leckstrom-Tester
Gerätekonzept

Know-how

102 Innovative Bauteile kurz beleuchtet
MEMS-3-Achsen-Beschleunigungssensoren

Projekte

45 Minisynthesizer
Projekte für Elektronikeinsteiger

90 Komparatorschaltungen mit Operationsverstärkern
Anwendungsschaltungen mit dem Prototypenadapter-Professional-Experimentierset PAD-PRO-EXSB

Außerdem

3 Editorial

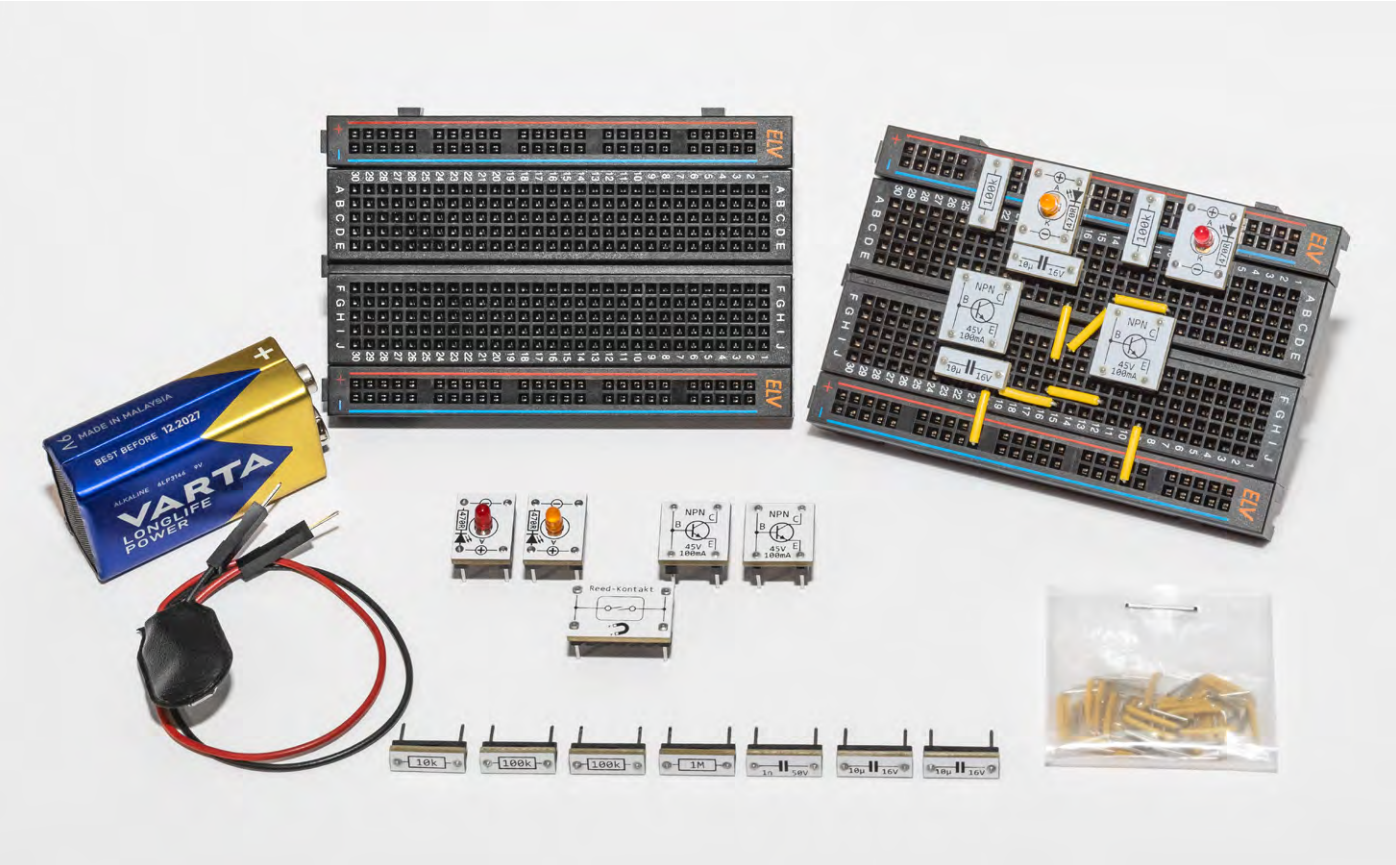
50 Leser fragen – Experten antworten

87 Leser testen und gewinnen

116 Die Neuen

120 Service, Bestell-hinweise, Impressum

122 Vorschau



Einsteigerkit für das PAD-System

Prototypenadapter Starterkit 1 PAD-SK1

Dieses kleines Starterkit enthält alle notwendigen Bauteile für den Aufbau von drei Experimentierschaltungen wie z. B. eine Blinkschaltung. Durch die Verwendung von PAD-Modulen ist dieses Kit ideal für Anfänger, da keine Kenntnisse über elektronische Bauteile notwendig sind.

Das PAD-System

Um das Arbeiten mit experimentellen Versuchsaufbauten auf Steckboards zu erleichtern, hat ELV das PAD-System (Prototypenadapter-System) entwickelt. Hierbei sind die Bauteile wie z. B. Widerstände, Kondensatoren und Halbleiter auf kleinen Platinen untergebracht. Bild 1 zeigt den Vergleich zwischen PAD-Modulen und normalen bedrahteten Bauteilen.

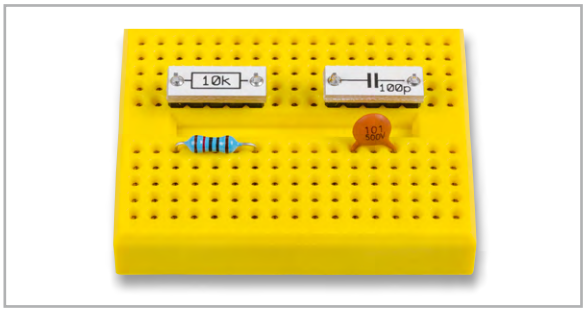


Bild 1: Vergleich zwischen PAD-Modulen (oben) und bedrahteten Bauteilen (unten)

Die Baugröße der PAD-Module ist zwar etwas größer und nimmt mehr Platz in Anspruch, aber dafür lassen sich die Module besser mit den Fingern greifen und auf das Steckboard einsetzen. Durch die Kontaktierung mit Stiftleisten ergibt sich außerdem eine sichere Verbindung im Gegensatz zu den teilweise sehr dünnen Anschlussdrähten der bedrahteten Bauteile. Ein weiterer Vorteil der PAD-Module ist der aufgedruckte Bauteilwert. So hat man zum einen immer im Blick, was man aufgebaut hat, und zum anderen ist das spätere Einsortieren der Bauteile ins „Lager" sehr einfach, da der Bauteilwert direkt ablesbar ist. Anhand der in Bild 2 dargestellten Aufbauten ist der Unterschied zwischen PAD- und konventionellen Bauteilen noch deutlicher erkennbar.

Das hier vorgestellte kleine und kostengünstige Starterkit PAD-SK1 soll den Einstieg in das PAD-System erleichtern. Mit den relativ wenigen Bauteilen lassen sich drei kleine Experimentierschaltungen aufbauen, die auch für Anfänger gut geeignet sind. Die Funktion der drei Schaltungen wird anfängergerecht erklärt, wobei wir dabei keine Grundlagen der Elektronik vermitteln können, denn das würde den Rahmen dieses Artikels sprengen.

Bild 3 zeigt alle im Set enthaltenen Bauteile. Auch eine Spannungsversorgung mittels einer 9-V-Batterie ist inbegriffen.

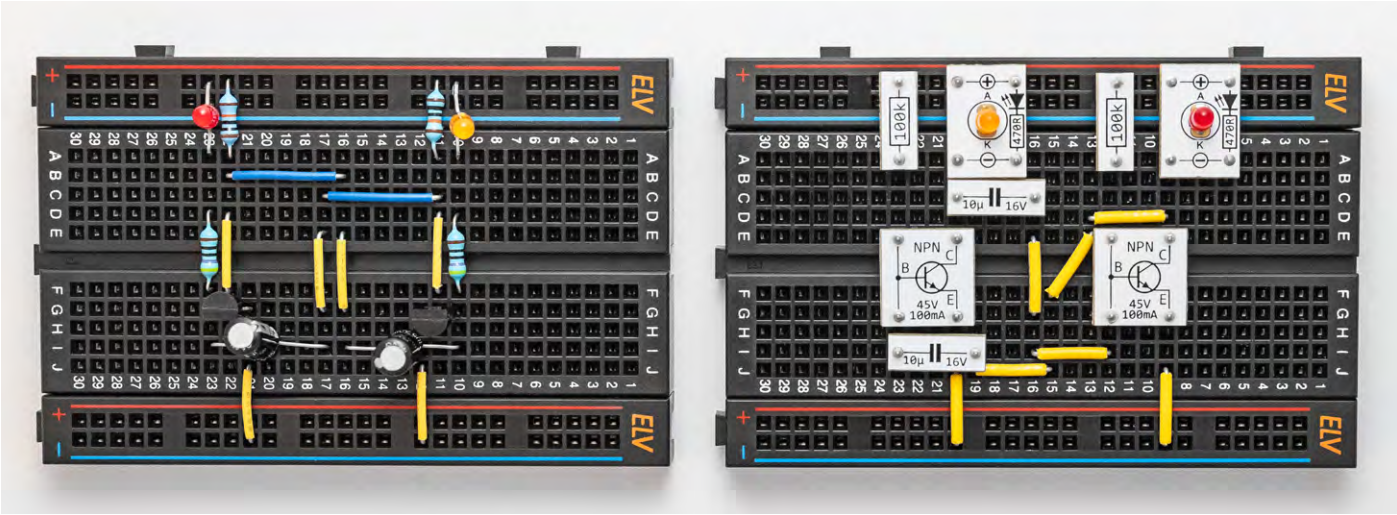


Bild 2: Beispiel einer Experimentierschaltung (Multivibrator), aufgebaut mit konventionellen Bauteilen (links) und PAD-Modulen (rechts)

Bild 3: Alle in Bausatz enthaltenen Bauteile

Hinweise zum Aufbau

Die Schaltungen werden auf einem Steckboard (Breadboard) aufgebaut. Die Kontakte des Steckboards sind nummeriert bzw. mit Buchstaben gekennzeichnet. Die Spalten von 1 bis 30 und die Reihen mit „A" bis „J". Bei einem Steckboard sind die Kontakte auf eine spezielle Art miteinander verbunden. In Bild 4 ist dargestellt (gelb markiert), wie die Kontakte intern verbunden sind. An den Rändern befinden sich sogenannte Spannungsschienen, die komplett verbunden sind und in der Regel für die Spannungsversorgung genutzt werden. Diese „Schienen" sind farblich markiert: rot für Plus (+) und blau für Minus (-).

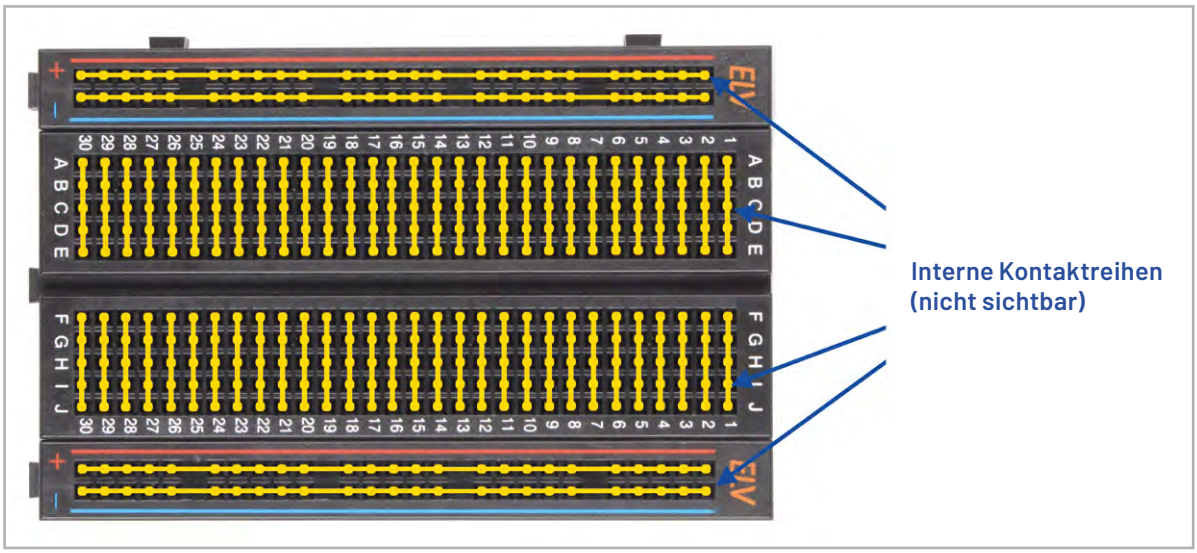


Bild 4: Ein Steckbord hat interne Kontaktreihen (gelb dargestellt)

Bei den drei Experimentierschaltungen muss darauf geachtet werden, dass sich Pin 1 und somit auch das ELV Logo auf der rechten Seite befinden. Anhand der Nummerierung kann man die Position der Bauteile und Brücken in den Bildern abzählen und so die richtige Position ermitteln, um sie auf den eigenen Aufbau zu übertragen.

In Tabelle 1 sind alle Bauteile mit genauer Bezeichnung und entsprechendem Foto dargestellt. Dies erleichtert Anfängern die Zuordnung, um welches Bauteil es sich handelt.

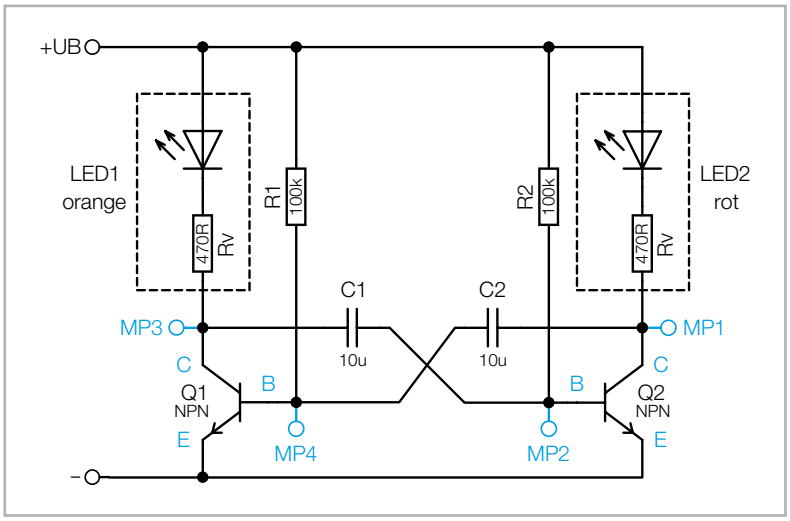


Bild 5: Schaltbild der astabilen Kippstufe

Die Spannungsversorgung erfolgt über eine 9-V-Blockbatterie, die über einen Batterieclip mit dem Steckboard kontaktiert wird. Hierbei ist auf die richtige Polung zu achten. Das rote Anschlusskabel stellt den Pluspol und das schwarze Kabel den Minuspol dar.

Astabile Kippstufe

Die astabile Kippstufe, auch Multivibrator genannt, lässt zwei LEDs im Wechsel aufleuchten (blinken). Wenn wir uns das Schaltbild (Bild 5) anschauen, sehen wir, dass die Schaltung aus zwei symmetrisch aufgebauten Transistorstufen besteht. Ein Transistor wird zwischen dem Kollektor und Emitter leitend, wenn an der Basis eine Spannung größer ca. 0,7 V angelegt wird. Dies geschieht in der Schaltung über die Widerstände R1 und R2. Wird einer der Transistoren über die Kollektor-Emitter-Strecke leitend, leuchtet die Leuchtdiode LED1 bzw. LED2 auf. Die Widerstände Rv dienen als Strombegrenzung für die LED. Beide Transistorstufen sind über Kondensatoren verbunden, die dafür sorgen, dass die Schaltung schwingt. Im Prinzip müssten beide Transistorstufen nach dem Anlegen der Betriebsspannung gleichzeitig durchschalten, sodass die Schaltung eigentlich nicht funktionieren kann. Da aber jedes

Übersicht aller Bauteile des PAD-SK1

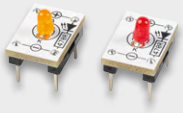
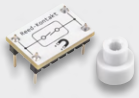
Menge	Bezeichnung	CM-Modul-Nr.	Foto
1	Steckboard, 400 Kontakte		
1	9-V-Batterie		
1	Steckbrücken-Set, 10,3 mm, 35 Stück, gelb		
2	NPN-Transistor	CM-TB-BC847C-A	
1	LED-Modul, orange	CM-DL-O02	
1	LED-Modul, rot	CM-DL-R02	
1	Reed-Kontakt	CM-SM-01	
1	Rundmagnet		
1	Widerstand 10 kΩ	CM-RF-103-A	
2	Widerstand 100 kΩ	CM-RF-104-A	
1	Widerstand 1 MΩ	CM-RF-105-A	
1	Kondensator 1 nF	CM-CF-102-A	
2	Kondensator 10 µF	CM-CF-106-A	

Tabelle 1

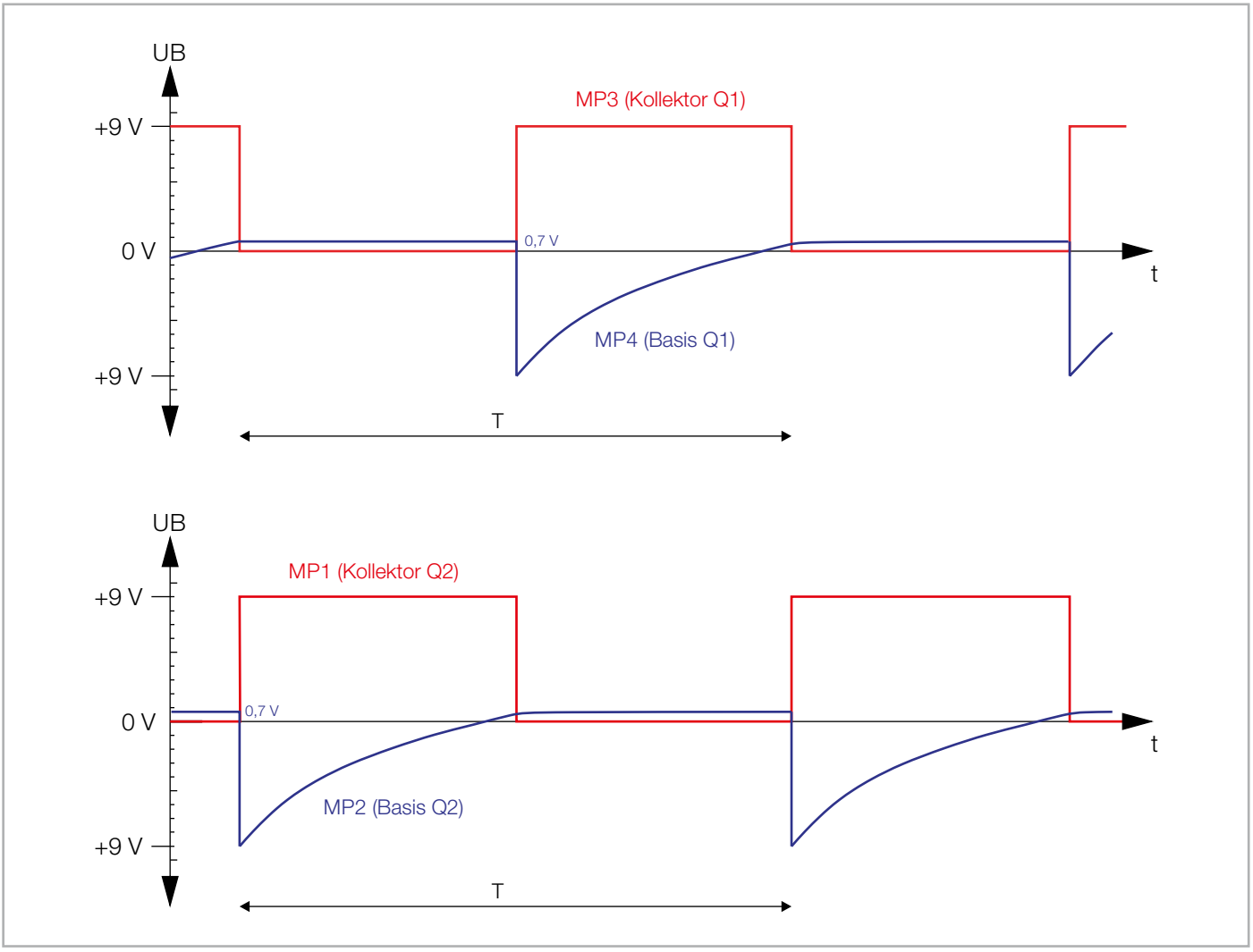


Bild 6: Diagramme mit Kennlinien für die astabile Kippstufe

Bauteil eine gewisse Bauteiletoleranz aufweist, kommt es zu einem Ungleichgewicht. Dies bedeutet, dass eine Transistorstufe schneller durchschaltet als die andere. Schauen wir uns an, was passiert, wenn ein Transistor durchschaltet.

Nehmen wir an, der Transistor Q1 schaltet durch. Nun leuchtet die LED1 auf, weil die Kollektor-Emitter-Strecke leitend ist. Jetzt kommen die Kondensatoren ins Spiel bzw. der Kondensator C1. Wir wissen, dass Kondensatoren keine Gleichspannung übertragen können, aber bedingt durch Auf- und Entladung können sie wechselnde Spannungssprünge weiterleiten. Kommen wir zu unserer Momentaufnahme zurück. In dem Moment, in dem der Transistor Q1 leitend wird, wird der Spannungssprung (von 9 V auf 0 V) am Kollektor (C) von Q1 über C1 auf die Basis des zweiten Transistors Q2 übertragen. Wie man im Diagramm in Bild 6 erkennt, ist dieser Spannungssprung negativ und sorgt dafür, dass der Transistor Q2 sperrt. Zur besseren Veranschaulichung sind im Schaltbild Messpunkte (MP1–MP4) eingezeichnet, die mit den Kennlinien im Diagramm (Bild 6) korrespondieren. Die blaue Kennlinie im Diagramm zeigt die Spannung an der Basis des Transistors. Im oberen Teil sind die Spannungen für den Transistor Q1 und im unteren Teil die Spannungen für Q2 dargestellt. Wie man erkennt, steigt die Spannung an der Basis von Q2 langsam an, da sich der Kondensator entlädt. Sobald die Spannung über 0,7 V ansteigt, wird nun der Transistor Q2 leitend und die LED2 leuchtet auf. Jetzt passiert etwas Entscheidendes: Über den Kondensator C2 wird der Spannungssprung (von 9 V auf 0 V) vom Kollektor Q2 auf die Basis des ersten Transistors Q1 geführt. Da diese Spannung im ersten Moment negativ ist, sperrt der Transistor Q1. Nun entlädt sich der Kondensator C2 langsam, während der andere Kondensator C1 sich schlagartig auflädt.

Nachdem sich C2 entladen hat und die Spannung an der Basis vom Transistor Q1 über 0,7 V ansteigt, wird der erste Transistor wieder leitend. Dieser Vorgang wiederholt sich nun periodisch, ein typisches Merkmal für einen Oszillator. Man könnte auch sagen, die Schaltung kippt wie eine Wippe wechselseitig hin und her, woher der Name Kippstufe rührt. Die Frequenz, also wie schnell dieser Wechsel erfolgt, wird durch die Größe der beiden Kondensatoren C1 und C2 und der Widerstände R1 und R2 bestimmt. Je größer diese Bauteilwerte sind, desto länger benötigen die Kondensatoren zum Entladen und die Frequenz wird niedriger. Hat man die Schaltung wie nachfolgend beschrieben aufgebaut, kann versuchsweise einer der beiden Widerstände R1 oder R2 durch einen 10-K-Widerstand ersetzt werden. Man erkennt, dass die Frequenz höher wird. Tauscht man dagegen nur einen der Widerstände aus, ergibt sich ein asymmetrisches Blinkverhalten. Je nachdem, welchen Widerstand man ändert, leuchtet eine der beiden LEDs wesentlich kürzer auf als die andere. Für den Aufbau der Schaltung gibt es in Bild 7 einen detaillierten Anschlussplan.

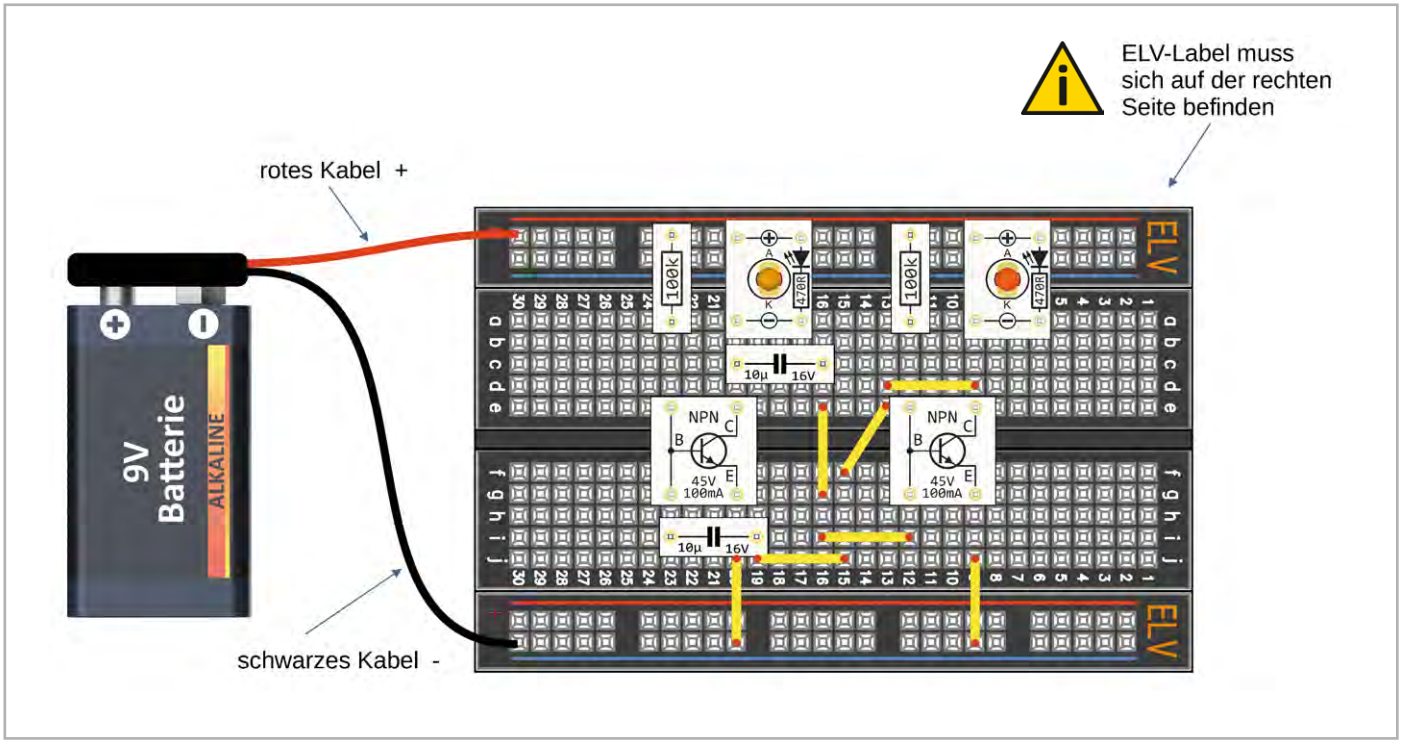


Bild 7: Anschlussplan der astabilen Kippstufe

Lichtempfindlicher Schalter

Diese kleine Schaltung reagiert auf die Umgebungshelligkeit, wobei eine LED aufleuchtet, wenn genügend Licht auf die Schaltung fällt. Dunkelt man den lichtempfindlichen Sensor ab, erlischt die LED.

Normalerweise werden zur Detektion von Licht spezielle Sensoren wie z. B. Fotowiderstände oder Fotodioden verwendet. Es funktioniert aber auch mit einer üblichen LED, die eigentlich ja nur Licht aussendet. Die Halbleiterfläche einer LED ist selbst auch lichtsensitiv, allerdings recht unempfindlich, sodass wir eine relativ große Verstärkung benötigen. Und ganz wichtig ist, dass die LED in Sperrrichtung betrieben werden muss, da der Sperrstrom der Diode ausgewertet wird. Das Schaltbild zu dieser Schaltung ist in Bild 8 dargestellt. In unserer Schaltung verwenden wir eine orange LED (LED1) als Lichtsensor. Um mit wenigen Bauteilen eine möglichst hohe Stromverstärkung zu erreichen, verwenden wir zwei zusammengeschaltete Transistoren (Q1 und Q2), die zusammen als Darlingtonschaltung bezeichnet werden.

Fällt genügend Licht auf die LED1 – hier ist die normale Umgebungshelligkeit ausreichend – fließt ein entsprechender Sperrstrom durch die LED1, der dann mit den beiden Transistoren Q1 und Q2 verstärkt wird, sodass ein Strom vom Kollektor zum Emitter von Q2 und somit auch durch die LED2 fließt, woraufhin die LED aufleuchtet. Dunkelt man die lichtempfindliche LED1 nun ab, wie in Bild 9 dargestellt z. B. mit einem Finger, fließt kein Sperrstrom mehr durch die LED1, und die LED2 erlischt.

Für den Aufbau der Schaltung gibt es in Bild 10 einen detaillierten Anschlussplan.

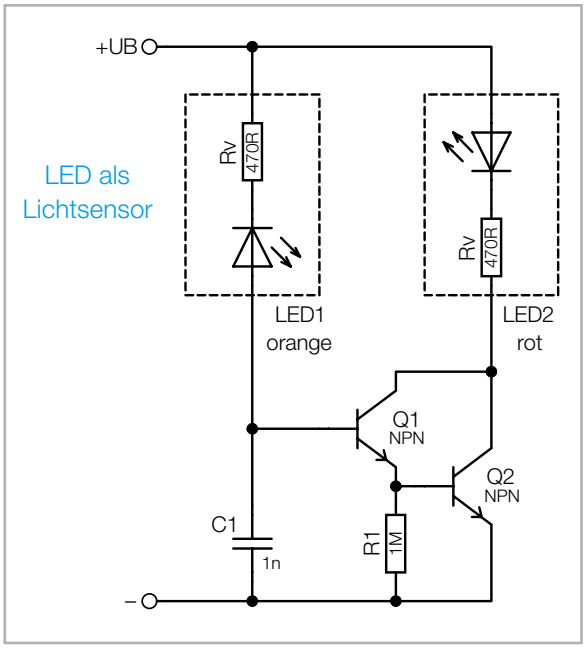


Bild 8: Schaltbild des lichtempfindlichen Schalters

Reed-Kontakt/magnetischer Schalter

Ein Reed-Kontakt reagiert auf ein magnetisches Feld, das z. B. durch einen Dauermagneten erzeugt wird. In der Regel wird mit einem Permanentmagneten der Schalter aktiviert, indem dieser in die Nähe des Reed-Kontakts gebracht wird. Bild 11 zeigt einen Reed-Kontakt als PAD-Modul. Auf der Unterseite ist der eigentliche Reed-Kontakt zu erkennen.

Mit dem beiliegenden Testmagneten kann der Reed-Kontakt ohne Berührung geschlossen werden. Führt man also den Magneten in die Nähe des Reed-Kontakts, wird dieser Kontakt geschlossen. Reed-Kontakte werden gerne als Alarmkontakte für Türen und Fenster eingesetzt, da der Schaltkontakt gegen Staub und Feuchtigkeit geschützt ist und berührungslos arbeitet. Im Prinzip kann man mit einem Reed-Kontakt einfache Verbraucher wie z. B. eine LED ohne zusätzliche Elektronik schalten. Unser Reed-Kontakt hat einen beachtlichen Schaltstrom von max. 0,7 A. Man sollte dennoch vorsichtig mit den empfindlichen Kontakten umgehen. Eine kleine LED lässt sich problemlos damit schalten, größere Ströme lassen die Kontakte schnell altern. Deshalb empfiehlt es sich, einen Transistor nachzuschalten.

So werden die Kontakte mit nur einem kleinen Schaltstrom geschont und verlängern die Lebensdauer der Kontakte erheblich. Wie man im Schaltbild in Bild 12 erkennt, kommt ein zusätzlicher Transistor Q1 zum Einsatz.

Wenn der Reed-Kontakt geschlossen wird, fließt über den Widerstand R1 ein Strom in die Basis des Transistors Q1. Q1 verstärkt diesen Strom und lässt die LED1 aufleuchten. Der Widerstand R1 ist sehr wichtig, damit der Basisstrom begrenzt wird. Der Widerstand R2 ist notwendig, um der Basis des Transistors Q1 bei geöffnetem Reed-Kontakt ein Bezugspotential (Massepotential) zu geben. Für den Aufbau der Schaltung gibt es in Bild 13 einen detaillierten Anschlussplan. ELV

Bild 9. Deckt man die linke LED ab, erlischt die rechte LED.

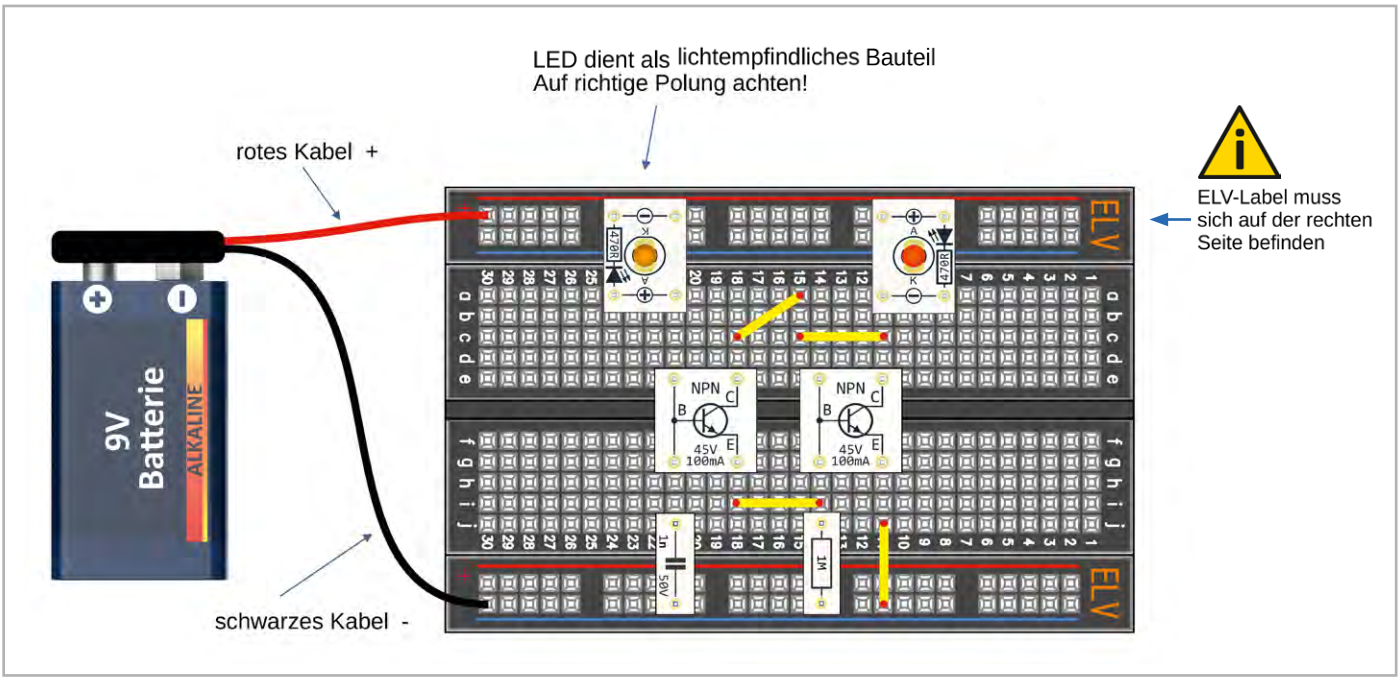


Bild 10: Anschlussplan für den lichtempfindlichen Schalter

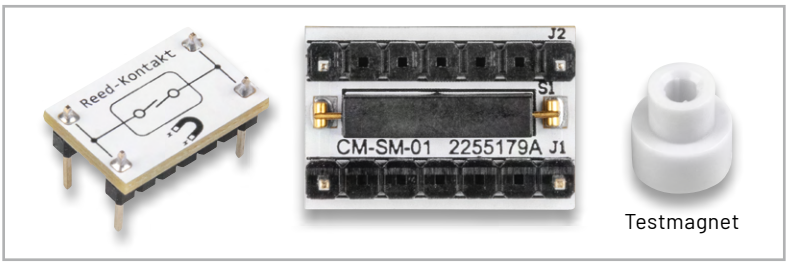


Bild 11: Reed-Kontakt als PAD-Modul mit Testmagneten. Auf der Unterseite befindet sich der eigentliche Reed-Kontakt.

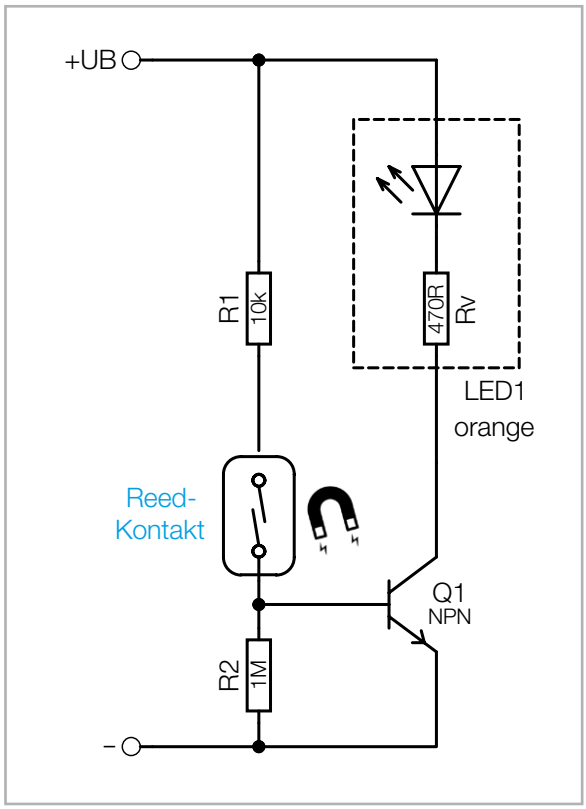


Bild 12: Schaltbild des Reed-Kontakt-Schalters

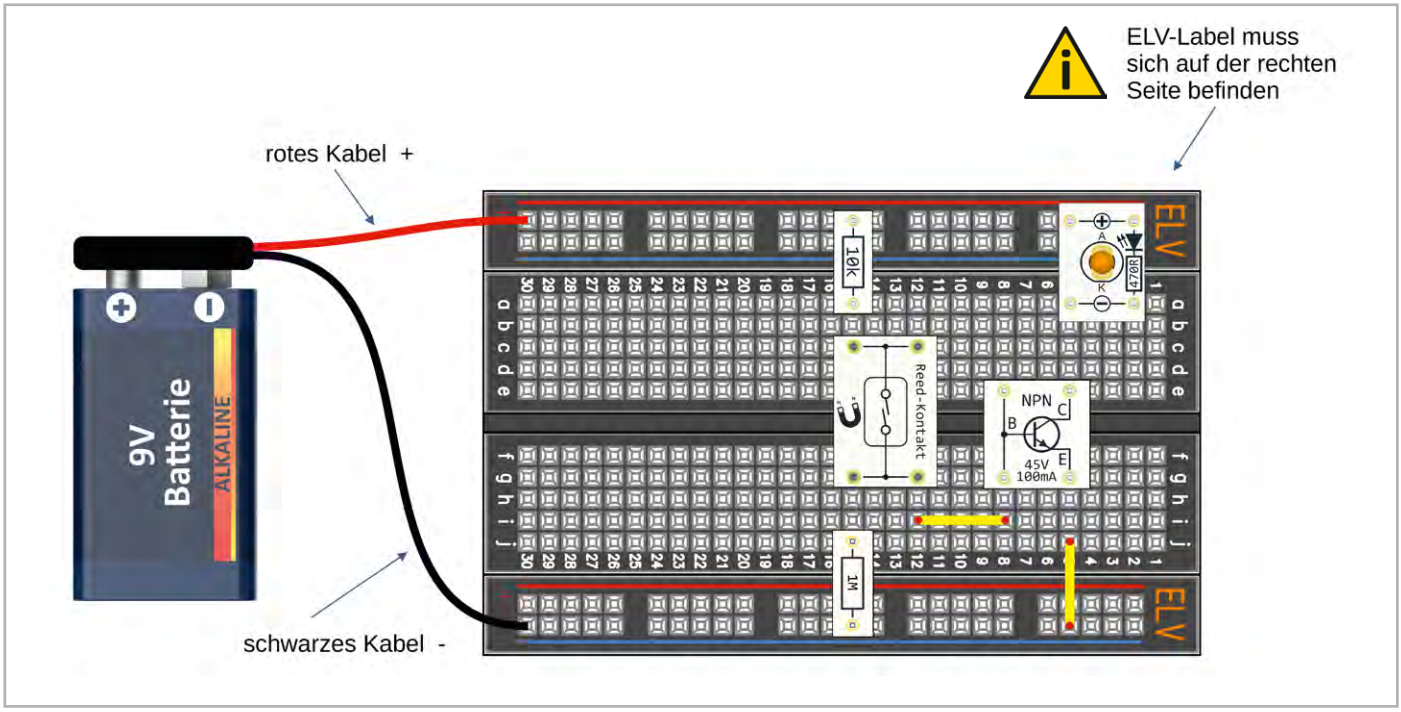


Bild 13: Anschlussplan für den Reed-Kontakt-Schalter

Technische Daten

NPN-Transistor-Platine

Kurzbezeichnung:	CM-TB-BC847C-A
Spannung:	45 V
Strom:	100 mA
Typ:	BC847C
Abmessungen (B x H x T):	12,8 x 10,3 x 12,3 mm

LED-Platine, orange

Kurzbezeichnung:	CM-DL-002
Spannung:	3-12 V
Strom:	2 mA @ UB=3 V 20 mA @ UB=12 V
Abmessungen (B x H x T):	14,8 x 10,3 x 10,2 mm

LED-Platine, rot

Kurzbezeichnung:	CM-DL-R02
Spannung:	3-12 V
Strom:	2 mA @ UB=3 V 20 mA @ UB=12 V
Abmessungen (B x H x T):	14,8 x 10,3 x 10,2 mm

Reed-Kontakt-Platine

Kurzbezeichnung:	CM-SM-01
Spannung:	24 V
Strom:	700 mA max.
Typ:	PMC-1001TH
Abmessungen (B x H x T):	17,8 x 12,3 x 10,2 mm

Widerstands-Platine 10 kΩ

Kurzbezeichnung:	CM-RF-103-A
Widerstandswert:	10 kΩ
Toleranz:	1 %
Leistung:	0,1 W
Spannung:	50 V max.
Abmessungen (B x H x T):	4,9 x 11,3 x 12,7 mm

Widerstands-Platine 100 kΩ

Kurzbezeichnung:	CM-RF-104-A
Widerstandswert:	100 kΩ
Toleranz:	1 %
Leistung:	0,1 W
Spannung:	50 V max.
Abmessungen (B x H x T):	4,9 x 11,3 x 12,7 mm

Widerstands-Platine 1 MΩ

Kurzbezeichnung:	CM-RF-105-A
Widerstandswert:	10 MΩ
Toleranz:	1 %
Leistung:	0,1 W
Spannung:	50 V max.
Abmessungen (B x H x T):	4,9 x 11,3 x 12,7 mm

Kondensator-Platine 1 nF

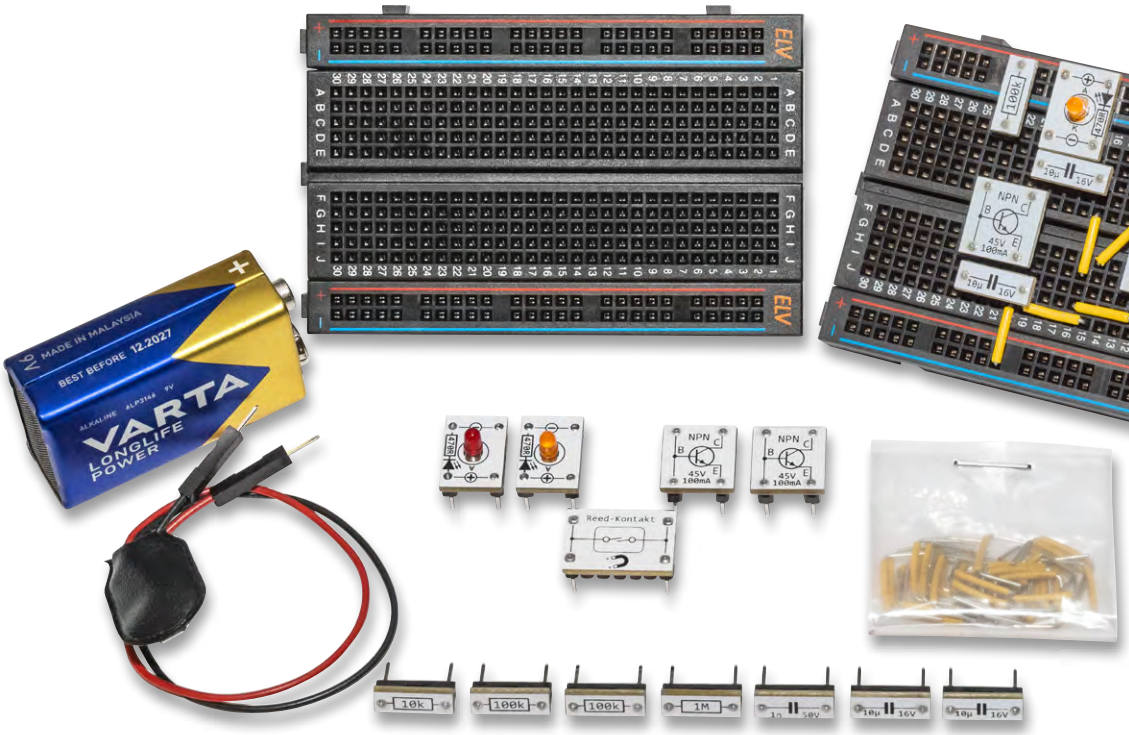
Kurzbezeichnung:	CM-CF-102-A
Kapazitätswert:	1 nF
Toleranz:	10 %
Spannung:	50 V max.
Abmessungen (B x H x T):	4,9 x 11,3 x 12,7 mm

Kondensator-Platine 10 µF

Kurzbezeichnung:	CM-CF-106-A
Kapazitätswert:	10 µF
Toleranz:	10 %
Spannung:	16 V max.
Abmessungen (B x H x T):	4,9 x 11,3 x 12,7 mm

Prototypenadapter Starterkit 1 PAD-SK1

ELV



NEU

EXKLUSIV

BAUSATZ

17,95 €

Artikel-Nr. 161144

Zum Produkt

- Enthält alle notwendigen Bauteile für den Aufbau von Experimentierschaltungen wie z. B. eine Blinkschaltung
- Durch die Verwendung von PAD-Modulen ist dieses Kit besonders für Anfänger geeignet, da keine Kenntnisse über elektronische Bauteile notwendig sind

EXPERIMENTIEREN *für Profis*

Prototypenadapter (PAD) sind ein praktisches Hilfsmittel zum professionellen Experimentieren auf dem Breadboard. Denn viele elektronische und mechanische Bauteile sind nicht Breadboard-kompatibel – die Anschlussdrähte sind zu dünn, zu kurz, zu lang, zu flexibel, nicht im Rastermaß oder haben die falsche Ausrichtung.

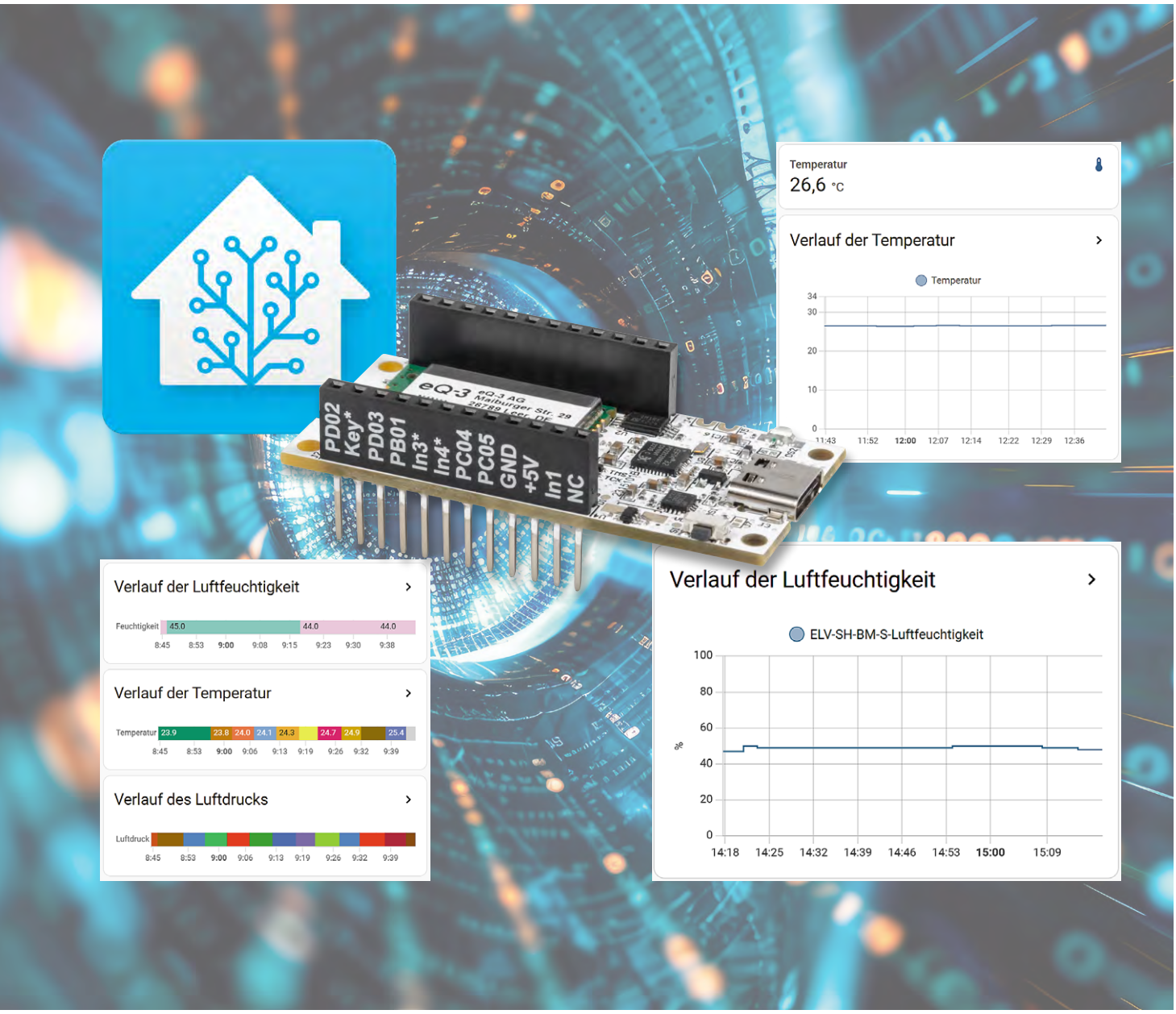
Prototypenadapter lösen dieses Problem. Auf ihnen sind die Bauteile jeweils auf einer kleinen Platine untergebracht, die wiederum über Stiftleisten verfügt, die in die Buchsenleisten der Steckboards passen. Die aufgedruckte Anschlussbelegung der Bauteile ist ein zusätzliches Plus bei den Prototypenadaptern. Um kompliziertere Bauteile nutzen zu können, ist in der Regel ein Anschlussschema erforderlich, z. B. aus einem Datenblatt mit entsprechendem Schaltbild. Bei der Verwendung eines Prototypenadapters ist die Pinbelegung hingegen auf der Platinenoberfläche aufgedruckt. Das erleichtert das Arbeiten sowohl mit komplexen als auch einfachen Bauteilen.

Mehr Infos hier

Einfach angepasst

Optimierte Visualisierung der ELV Smart Home Sensor-Base in Home Assistant

Die ELV Smart Home Sensor-Base ermöglicht die Integration ausgewählter Applikationsmodule aus dem ELV-Modulsystem in das Homematic IP System. Die Sensordaten können innerhalb der CCU3 WebUI zwar eingesehen, nicht jedoch grafisch aufbereitet werden. In diesem Zusammenhang bildet die Homematic(IP) Local Integration die benötigte Schnittstelle, um die Daten in Home Assistant zu integrieren. Diese Integration wurde bereits im ELVjournal 2/2023 in dem Artikel Vermittler im smarten Zuhause (Teil 6) erwähnt, anders als dort erfolgt die Konfiguration jedoch über die Benutzeroberfläche von Home Assistant. Für eine optimale Visualisierung wird die Bedeutung und Anpassung der Datei customize.yaml in diesem Artikel näher beschrieben.



Vorbereitungen und Voraussetzungen

Die ELV Smart Home Sensor-Base unterstützt eine stetig wachsende Zahl an Applikationsmodulen aus dem ELV-Modulsystem. Eine aktuelle Kompatibilitätsübersicht und die benötigte Firmware ist im Downloadbereich der Produktbeschreibung zur ELV-SH-BM-S zu finden. Die Installation der Firmware erfolgt anschließend über das ELV Flasher-Tool. Exemplarisch werden für die nachfolgenden Schritte die Applikationsmodule ELV-AM-TH1 (Temperatur und Luftfeuchte) und ELV-AM-AP (Luftdruck) für den Sensorknoten verwendet.

Vor der Integration der Smart Home Sensor-Base in Home Assistant muss diese in der CCU3 angelernt werden. Auf die Vorgehensweise wird in der Bau- und Bedienungsanleitung eingegangen.

Für die nachfolgenden Schritte wird eine lauffähige Home Assistant Instanz mit installiertem Home Assistant Community Store (HACS) benötigt, um die Homematic(IP) Local Integration hinzufügen zu können.

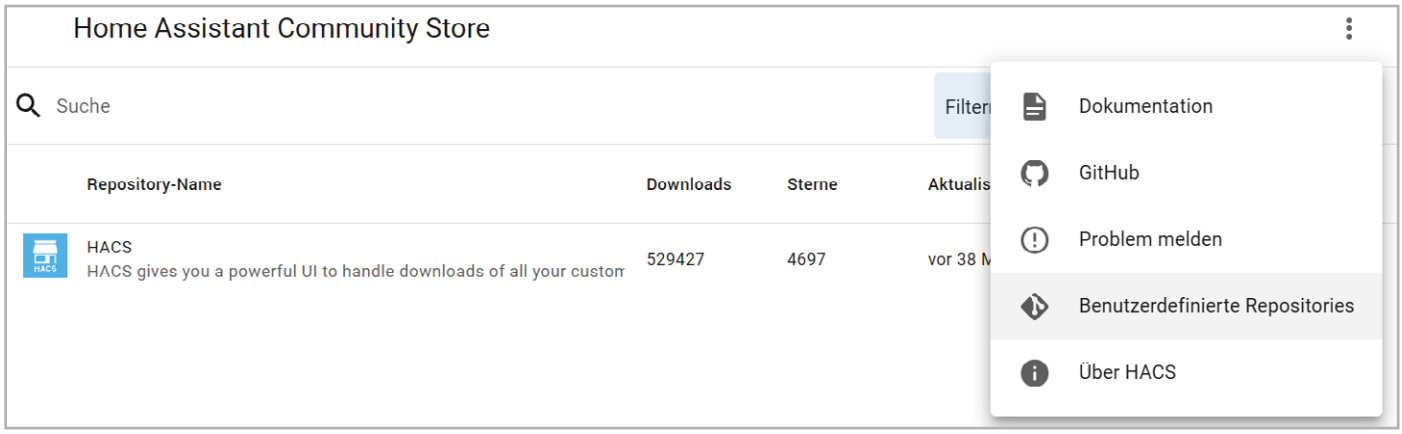


Bild 1: Hinzufügen eines benutzerdefinierten Repositorys im HACS

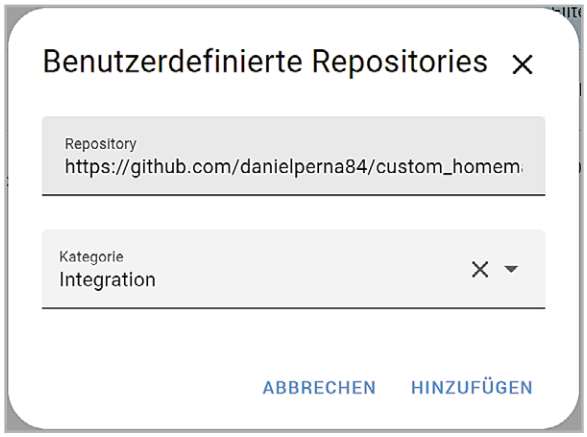


Bild 2: Konfiguration des benutzerdefinierten Repositorys für die Homematic(IP) Local Integration

Bild 3: Hinzufügen der Homematic(IP) Local Integration

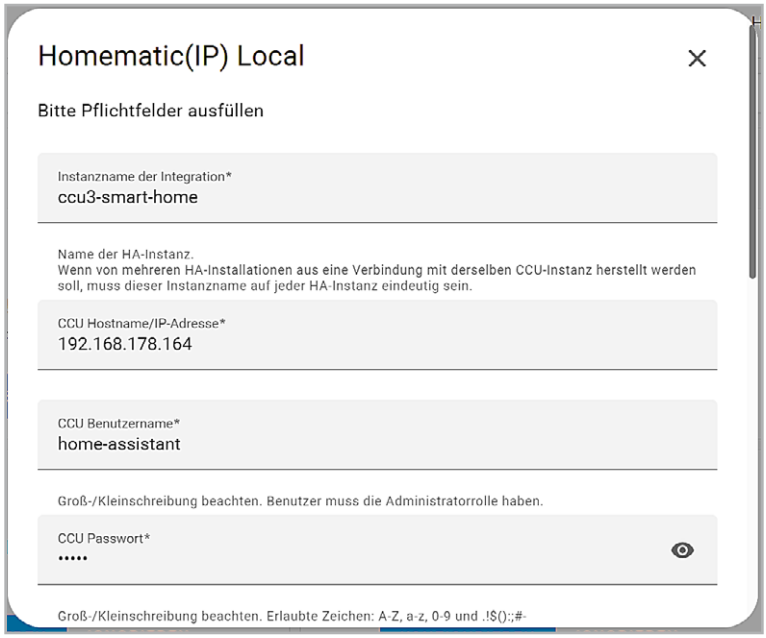


Bild 4: Konfiguration der Homematic(IP) Local Integration (1)

Installation der Homematic(IP) Local Integration

Die Homematic(IP) Local Integration ermöglicht den Zugriff auf die Daten von Homematic IP Geräten an einer CCU in Home Assistant. Da es sich nicht um eine offizielle Integration handelt, erfolgt die Installation über den HACS. Dazu wird in der HACS UI im Menü (oben rechts) der Punkt „Benutzerdefinierte Repositories" ausgewählt (Bild 1). Im Feld „Repository" wird die URL des GitHub-Repositorys der Integration und als Kategorie „Integration" ausgewählt (Bild 2).

Nach dem Hinzufügen des Repositorys ist die Installation über den Button „Integration hinzufügen" im Bereich „Einstellungen" → Geräte & Dienste" möglich (Bild 3). Für die Konfiguration werden ein Instanzname, die IP-Adresse der CCU sowie die zugehörigen Anmeldedaten benötigt (Bild 4). In den folgenden Konfigurationsschritten können optional weitere Einstellungen vorgenommen werden (Bild 5 und Bild 6).

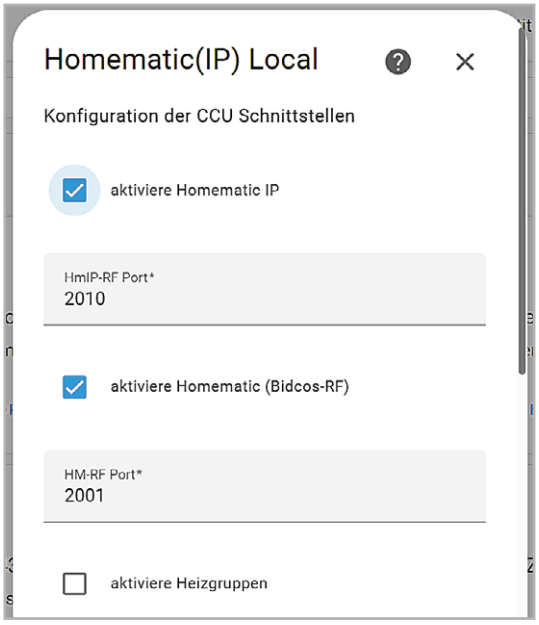


Bild 5: Konfiguration der Homematic(IP) Local Integration (2)

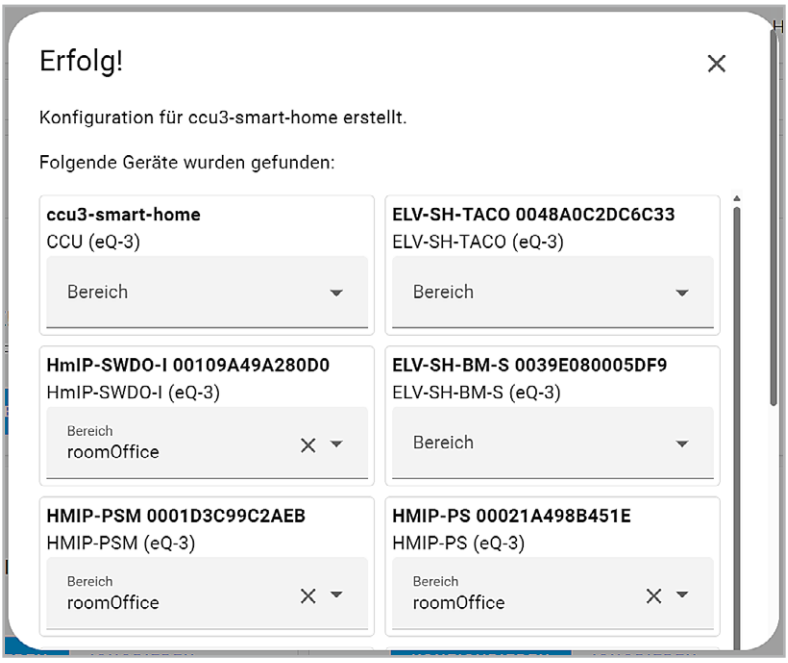


Bild 6: Konfiguration der Homematic(IP) Local Integration (3)

Sofern die Konfiguration erfolgreich war, erscheint die Integration in der Übersicht (Bild 7). Der folgende Abschnitt beschreibt die Anpassung der Entitäten in der customize.yaml Datei für eine optimale Nutzung der Geräte in Home Assistant.

Anpassung der Entitäten in der customize.yaml-Datei

Die Homematic(IP) Local Integration ermöglicht zwar den Zugriff auf die ELV-SH-BM-S, jedoch ist die Visualisierung der Historie der einzelnen Messwerte nur eingeschränkt in Form von Balken mit unterschiedlichen Farben und Werten möglich (Bild 8).

Der Grund für die fehlenden Ordinaten geht aus der Beschreibung der Verlaufsdiagramm-Karte hervor. Demnach benötigt Home Assistant für das Zeichnen des Graphen das Attribut „unit_of_measurement", da die einzelnen Werte sonst als zeitlich diskret und nicht kontinuierlich angesehen werden.

Eine mögliche Lösung für das Problem ist die Erstellung einer customize.yaml-Datei. In dieser können bestehende Entitäten bearbeitet und durch zusätzliche Attribute ergänzt werden. Dazu wird zuerst im „File editor" eine neue Datei im gleichen Verzeichnis, in der sich auch die configuration.yaml-Datei befindet, angelegt. Anschließend können die gewünschten Entitäten der ELV-SH-BM-S über die Entitäts-ID referenziert und editiert werden. In diesem Fall wird jede Entität um die passende Einheit und eine Geräteklasse ergänzt (Bild 9). Die Einheit

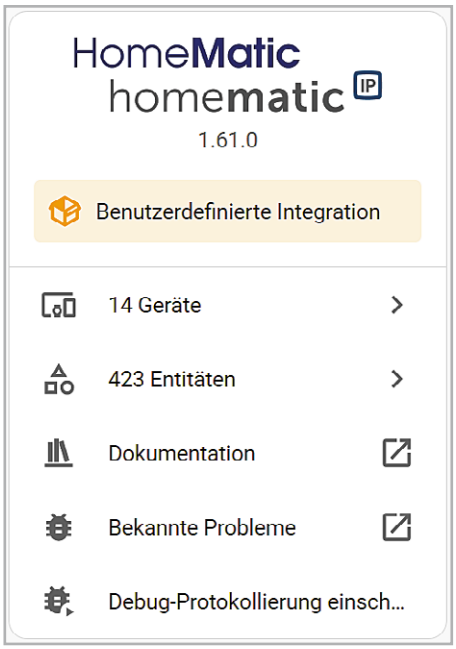


Bild 7: Ansicht der Homematic(IP) Local Integration

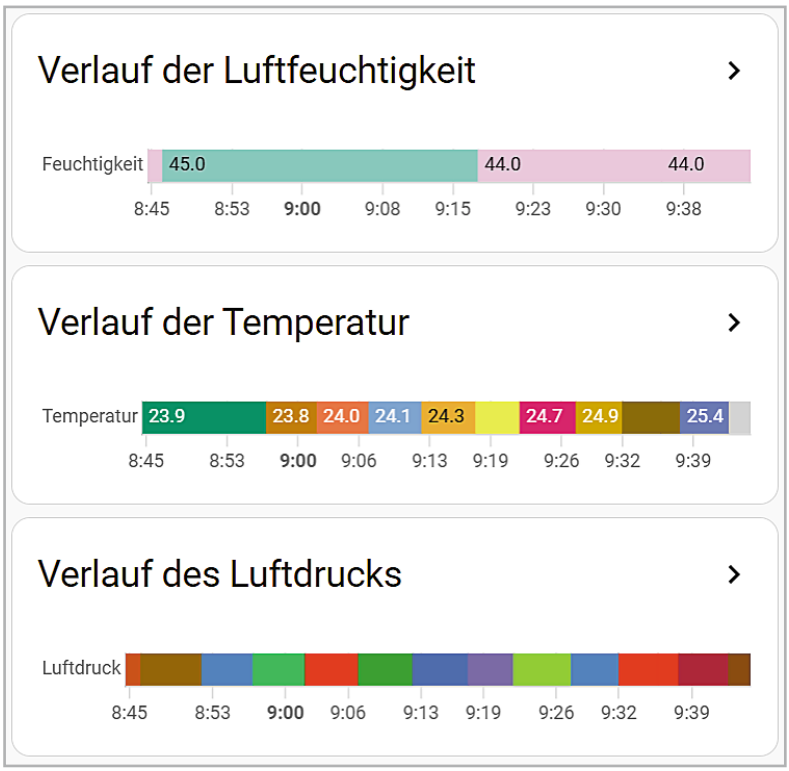


Bild 8: Darstellung der Messwert-Historie ohne Messeinheit

kann dabei zwar grundsätzlich frei gewählt werden, es bietet sich jedoch an, die Standardeinheiten für die jeweiligen Messwerte zu verwenden.

Auf diese Weise ist intern eine eindeutige Klassifizierung des Messwerts möglich, und zusätzlich wird die Entitätskarte durch ein entsprechendes Icon ergänzt.

Eine Übersicht der möglichen Geräteklassen und der zugehörigen Einheiten kann in der Home Assistant Dokumentation eines Sensors eingesehen werden.

Damit die Anpassungen der Entitäten berücksichtigt werden, ist die Einbindung der zuvor modifizierten customize.yaml-Datei in die configuration.yaml-Datei notwendig (Bild 10). Zuletzt sollten alle Konfigurationen in den Entwicklerwerkzeugen neu geladen werden, um die aktualisierten Entitäten bereitzustellen. Bild 11 zeigt exemplarisch eine optimierte Entitäts- und Verlaufskarte für die Temperatur mit dem zweidimensionalen Verlauf des Messwerts. Ein exemplarisches Dashboard mit allen drei Messwerten ist in Bild 12 zu sehen.

Zusammenfassung

In diesem Artikel wurden die Gründe für die fehlende Visualisierung als Graph und eine mögliche Lösung des Problems anhand der ELV-SH-BM-S beleuchtet. Die manuelle Anpassung von Entitäten kann immer dann eingesetzt werden, wenn die Entität nicht automatisch die gewünschten Attribute beinhaltet. Somit ist das beschriebene Vorgehen grundsätzlich auf beliebige Entitäten übertragbar und hilft dabei, die Home Assistant Installation zu optimieren und zu personalisieren. ELV

```
6  sensor.elv_sh_bm_s_measured_value_ch9:
7      unit_of_measuerement: "°C"
8      device_class: "temperature"
9  sensor.elv_sh_bm_s_measured_value_ch10:
10     unit_of_measuerement: "%"
11     device_class: "humidity"
12 sensor.elv_sh_bm_s_measured_value_ch12:
13     unit_of_measuerement: "hPa"
14     device_class: "pressure"
```

Bild 9: Inhalt der customize.yaml-Datei

```
14 homeassistant:
15   customize: !include customize.yaml
```

Bild 10: Einbindung der customize.yaml-Datei in die configuration.yaml

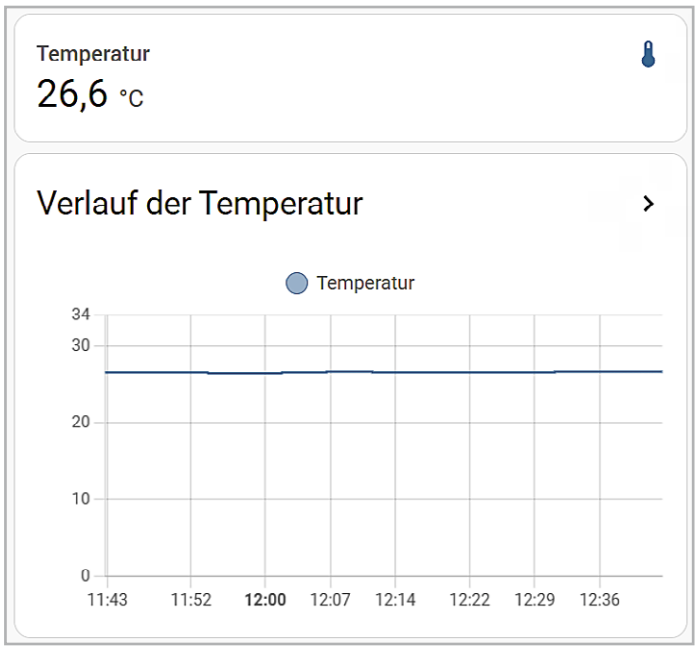


Bild 11: Optimierte Visualisierung der Temperatur

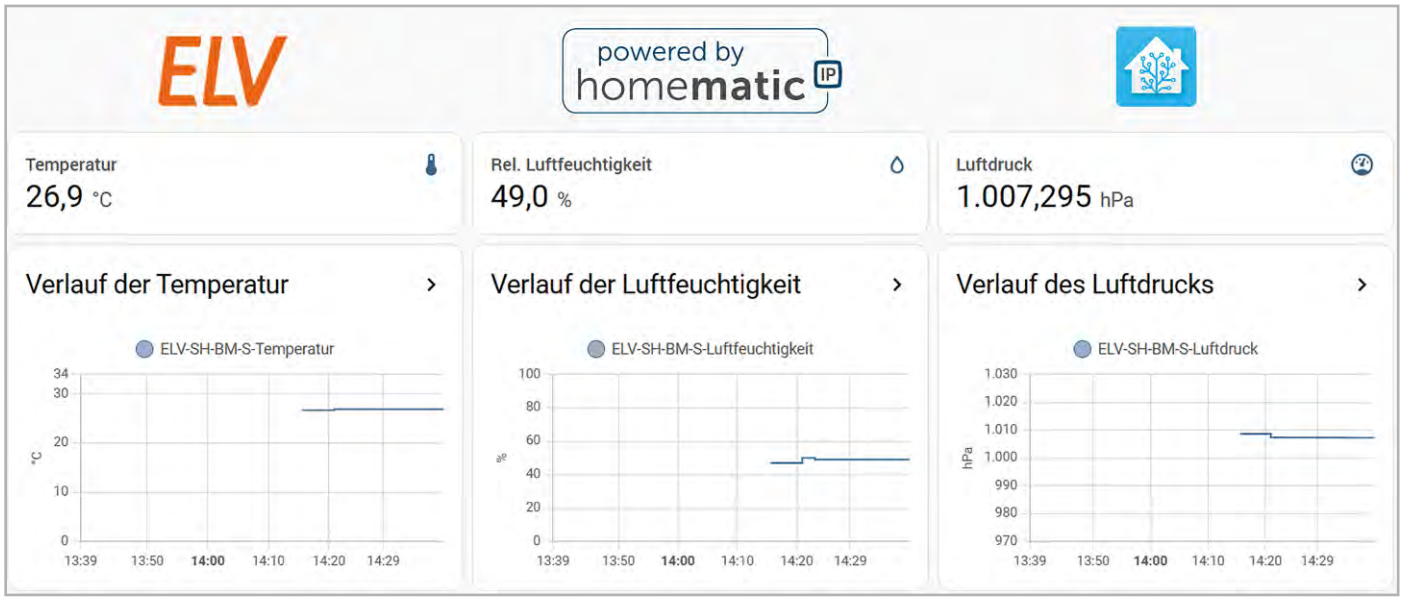


Bild 12: Optimierte Darstellung der Sensordaten der ELV-SH-BM-S

Der Einstieg in die LoRaWAN®-Welt

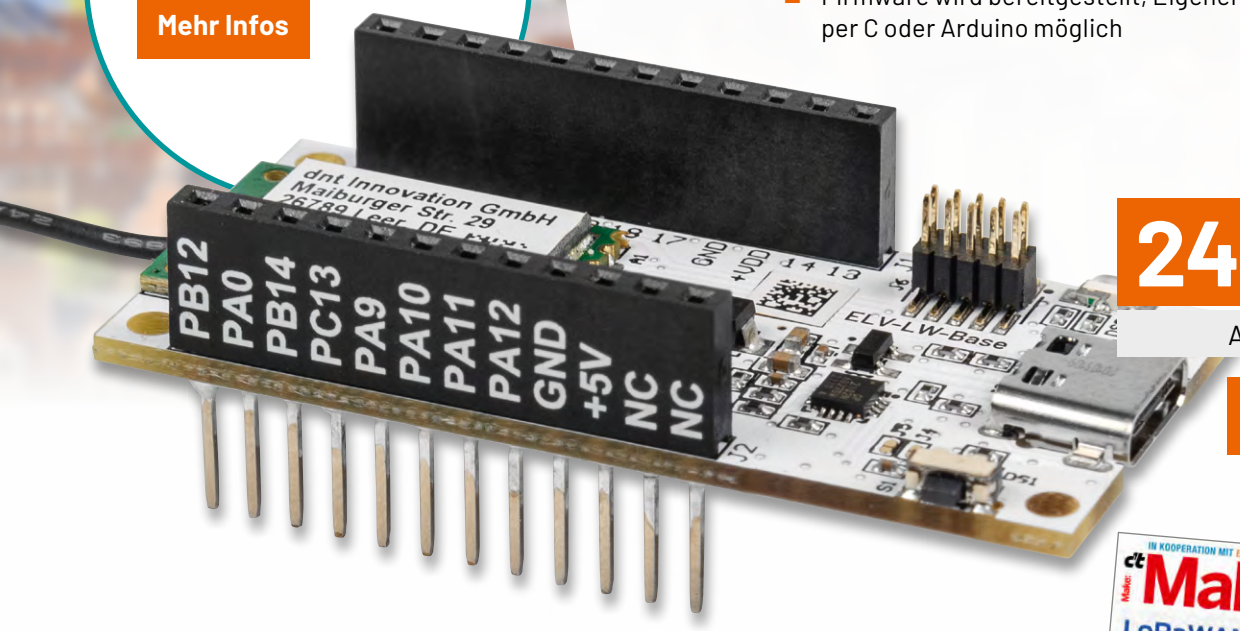
ELV

Experimentierplattform für LoRaWAN® – ELV-LW-Base

- Für Experimente im LoRaWAN®-Netzwerk mit Ultra-Low-Power-Sensorik
- Verwendung im lizenzfreien Frequenzband (863–870 MHz)
- Hohe Funkreichweite: typ. bis zu 15 km im Freifeld
- Stand-alone einsetzbar, Breadboard-kompatibel
- Plug & Play-Funktionalität, Experimente und Prototyping einfach und schnell umsetzbar
- Firmware wird bereitgestellt, Eigenentwicklung per C oder Arduino möglich

Nutzbar auch mit ARDUINO

Mehr Infos



24,95 €

Artikel-Nr. 158052

Zum Produkt

Experimentierset – LoRaWAN®-Programmierung + Make-Sonderheft

Das Set enthält ein Basis-Board mit LoRaWan-Funktion für den Einstieg in die Welt des Internets der Dinge (IoT). Ein besonderes Merkmal dieses Sets ist das Aufsteckmodul mit einem Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor, der es ermöglicht, Umweltdaten präzise zu erfassen.

64,90 €

Artikel-Nr. 254161

Zum Bundle

Automatisierungsprogramme steuern per Schiebeschalter

ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung ELV-SH-SRC8

Beim Erstellen von CCU-Programmen oder von Automatisierungen in der Homematic IP App besteht häufig der Wunsch, manuell deren Betriebsart umzustellen. Als CCU-Nutzer erstellt man dazu Systemvariablen, die man in Programme einbindet und per Tasten ansteuert. Um sich über den Zustand einer entsprechenden Systemvariable zu informieren, muss man diesen aber erst in der WebUI aufrufen oder ihn über einen passenden Aktor visualisieren. Deutlich einfacher geht es jetzt mit der Schalter-Fernbedienung ELV-SH-SRC8. Diese kann acht Systemvariablen ersetzen und deren Status übersichtlich und ohne Zusatzaufwand optisch anzeigen. Da es in der Homematic IP Cloud keine Systemvariablen gibt, ergeben sich mit der ELV-SH-SRC8 für die Nutzer von Access Point und Homematic IP App viele neue Möglichkeiten.

Infos zum Bausatz ELV-SH-SRC8

Schwierigkeitsgrad: leicht

Bau-/Inbetriebnahmezeit: ca. 1 h

Besondere Werkzeuge: Lötkolben

Löterfahrung: ja

Programmierkenntnisse: nein

Elektrofachkraft: nein

Schalter oder Taster?

Viele Menschen bezeichnen Taster oft etwas unpräzise als Schalter. Bei der Auswahl von Komponenten für das Smart Home muss jedoch besonders auf den vorhandenen Unterschied geachtet werden. Der Begriff Schalter wird teilweise auch allgemein als Oberbegriff für die verschiedensten Arten von Schaltkontakten verwendet. Bei der Gegenüberstellung von Tastern und Schaltern sind die Schalter als in üblicherweise zwei Positionen rastende Schaltelemente anzusehen, während Taster als nichtrastende Schaltelemente gelten. Als Kontaktarten können dabei zusätzlich noch Öffner, Schließer und Umschaltkontakte unterschieden werden.

Im Bereich der Hausautomation werden meistens Taster eingesetzt, die im Moment der Betätigung eine Aktion auslösen sollen. Dadurch können von verschiedenen Orten zu unterschiedlichen Zeiten sowohl gleiche als auch gegenteilige Aktionen wie das Ein- und Ausschalten eines Aktors ausgelöst werden, und zusätzlich kann eine Zentrale unabhängig diesen Aktor steuern. Durch diesen Vorteil kann in Taster-basierten Systemen auch leicht eine Steuerung per App erfolgen.

Möchte man jedoch einen Schalter einsetzen und dessen Schaltposition einem Aktorzustand oder Programmmodus fest zuordnen, darf der Aktor bzw. Programmmodus nur noch durch diesen Schalter gesteuert werden, um inkonsistente Zustände zu vermeiden. Der durch diesen Schalter gesteuerte Zustand ist dann direkt am Schalter ablesbar, kann jedoch nicht mehr sinnvoll von anderer Stelle verändert werden. In vielen Fällen ist dieses einfache Verhalten jedoch ausreichend, und der Vorteil der einfachen Umsetzbarkeit wiegt stärker als die Beschränkung auf eine Bedieneinheit.

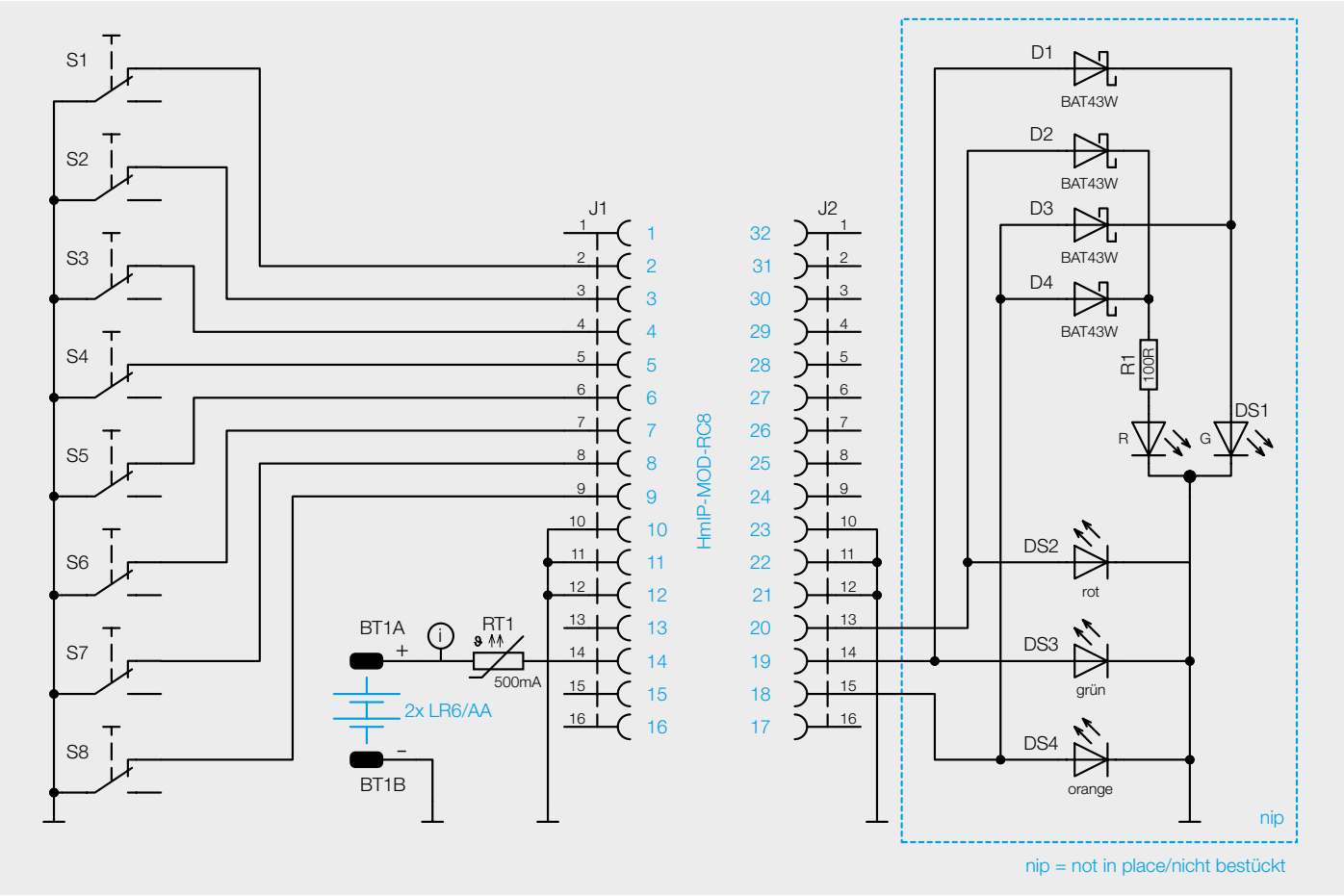


Bild 1: Schaltbild der ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung ELV-SH-SRC8

Bild 2: Lieferumfang der ELV-SH-SRC8

Hardware-Erweiterung macht Modulplatine zur Fernbedienung

Die ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung ELV-SH-SRC8 ist eine Erweiterung für das Homematic IP Sendemodul HmIP-MOD-RC8, das dieses zur praktischen Fernbedienung macht. Das kompakte Sendemodul ist für die Umsetzung eigener Projekte bestens geeignet und bietet acht Eingangskanäle, an welche Taster oder Schalter angeschlossen werden können. Die ELV-SH-SRC8 ergänzt das Sendemodul in optimaler Weise, indem sie acht Schiebeschalter und eine Spannungsversorgung über zwei Batterien vom Typ LR6 für das Sendemodul bietet. Über eine Steckverbindung kann das HmIP-MOD-RC8 zudem leicht in die ELV-SH-SRC8 integriert werden. Die Status-LED des Sendemoduls ist dabei über einen im Gehäuse eingelassenen Lichtleiter sichtbar und informiert bei Betätigung der Schalter über den Sendestatus der ausgelösten Telegramme.

Schaltungsbeschreibung

Das Schaltbild der ELV-SH-SRC8 (Bild 1) ist durch die Auslagerung aller intelligenten Funktionen in das Homematic IP Sendemodul sehr übersichtlich. Die Spannungsversorgung des Moduls über Pin 14 seiner Stiftleiste erfolgt aus zwei in Reihe geschalteten Batterien, wobei der temperaturabhängige Widerstand RT1 einen reversiblen Schutz vor Überstrom bietet. Die acht Schiebeschalter S1 bis S8 sind an den Kontakteingängen des Moduls an Pin 2 bis Pin 9 angeschlossen und werden vom Modul auf den jeweiligen Schaltzustand und dessen Änderung überwacht. An den Pins 18 bis 20 bietet das Sendemodul Anschlussmöglichkeiten für Status-LEDs, die aufgrund der Herausführung der internen Status-LED über den Lichtleiter im Gehäuse aber nicht genutzt werden.

Nachbau und Inbetriebnahme

In Bild 2 ist der Lieferumfang des Bausatzes ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung ELV-SH-SRC8 zu sehen, während Bild 3 die vollständig bestückte Platine und den Bestückungsdruck im Detail zeigt. Da das einzige SMD-Bauteil bereits vorbestückt ist, beschränkt sich der Nachbau auf das Bestücken der

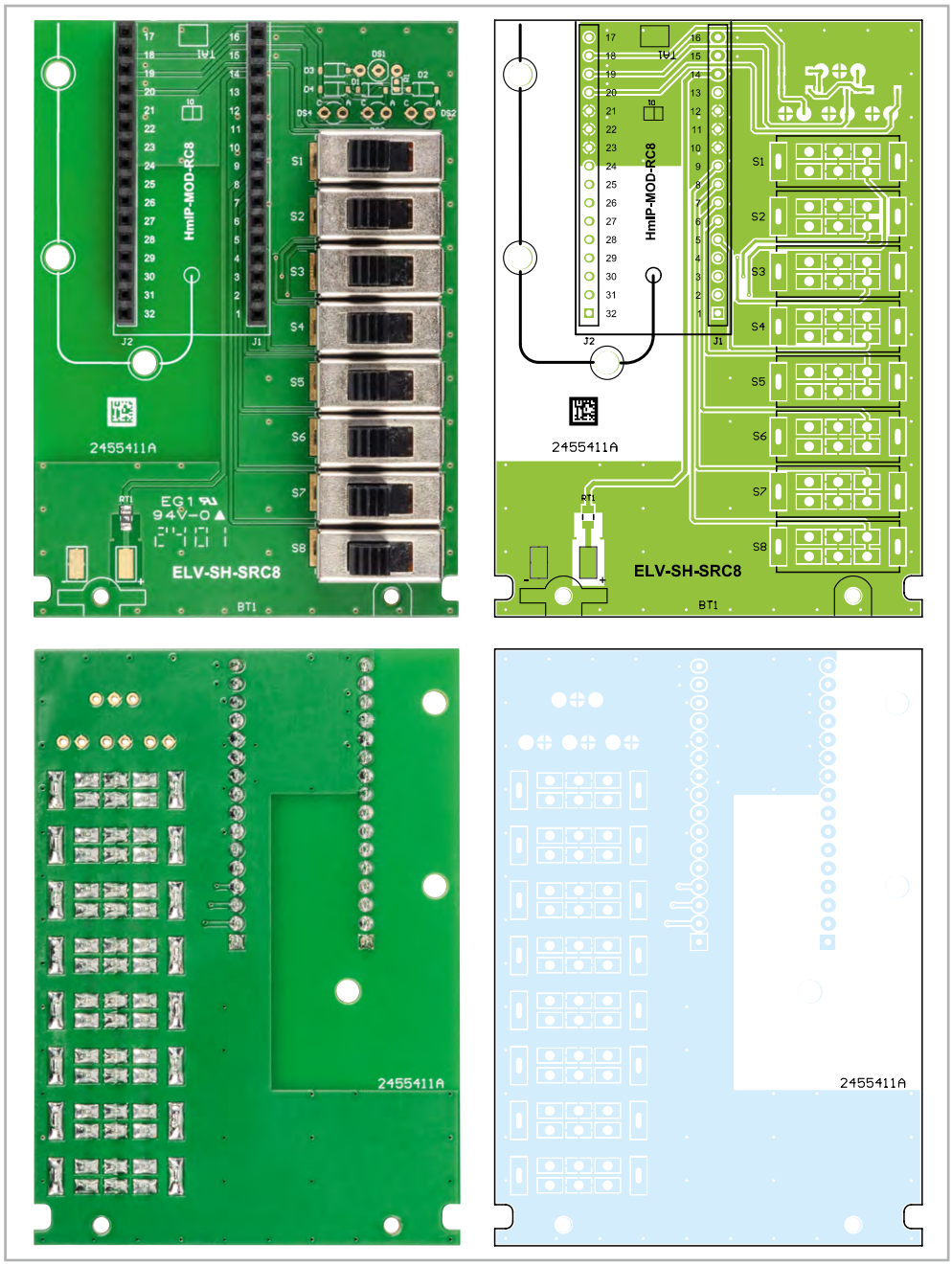


Bild 3: Die Ober- und Unterseite der Platine der ELV-SH-SRC8 mit den zugehörigen Bestückungsdrucken

Buchsenleisten und Schalter sowie den Zusammenbau und die Montage des Batteriefachs und die abschließende Montage des Sendemoduls.

Wir beginnen die Bestückung mit der exakt rechtwinkligen Montage der beiden Buchsenleisten. Diese sind zunächst mit nur je einem Lötpunkt mittig zu fixieren. Nach Überprüfung des korrekten Sitzes und eventueller Korrekturen sind auch die anderen Anschlüsse zu verlöten. Um eine Verformung des Kunststoffkörpers oder das Eindringen von Lötzinn in die Federkontakte zu verhindern, sollten die Anschlüsse nicht zu lange und nicht mit zu großer Hitze verlötet werden. Die Temperatur sollte jedoch hoch genug sein, um einen Pin in ca. einer Sekunde anzulöten.

Als Nächstes werden die acht Taster bestückt und festgelötet. Hier empfiehlt sich das gleiche Vorgehen wie bei den Buchsenleisten. Es wird erst ein Pin pro Schalter angelötet, und erst nach Kontrolle der Ausrichtung aller Schalter werden die restlichen Pins angelötet. Bild 4 zeigt die fertig bestückten Buchsenleisten und Schalter.

Der nächste Montageschritt ist das Einsetzen und Verdrahten der Batteriehalterung. Dazu sind die vier Batteriekontakte wie in Bild 5 gezeigt in die Batteriehalterung einzusetzen, bis sie einrasten. Die Batteriekontakte sind für Plus- und Minuspol unterschiedlich ausgeführt, dies ist zu beachten. Anschließend werden die Kontakte mit der beiliegenden Litze verdrahtet (Bild 5 rechts). Für die Verbindungsleitung links schneidet man dazu ein 25 mm langes Stück der schwarzen Litze ab und isoliert es auf jeweils 2 mm ab. Die beiden noch freien Kontakte werden mit der restlichen Litze versehen, ebenfalls beidseitig 2 mm abisoliert, und in die Leitungsführungen eingelegt.

Nach dem Verdrahten ist das Batteriefach mit den beiliegenden zwei Schrauben mit der Platine zu verschrauben, und die beiden freien Drahtenden sind mit den zugehörigen Pads zu verlöten (Bild 6).

Jetzt erfolgt das Einsetzen der Antennenhalter in die Platine. Hier empfehlen wir, die stärker rastende Seite in die Platine einzusetzen und die Seite mit den schräg zulaufenden Federn für die Führung der Antenne des Sendemoduls zu verwenden (Bild 7).

Nun kann das Sendemodul HmIP-MOD-RC8 gemäß der Platinenbedruckung und Bild 8 aufgesteckt und die Antenne in den Haltern verlegt und mit einem Tropfen Heißkleber fixiert werden.

Nach dem Einlegen der Platine in die obere Gehäuseschale und dem polrichtigen Einlegen der Batterien (2x Mignon/AA/LR6) (Bild 9) werden die beiden Gehäusehälften bis zum Anschlag ineinandergeschoben, und die Unterseite wird mit selbstklebenden Gehäusefüßen versehen.

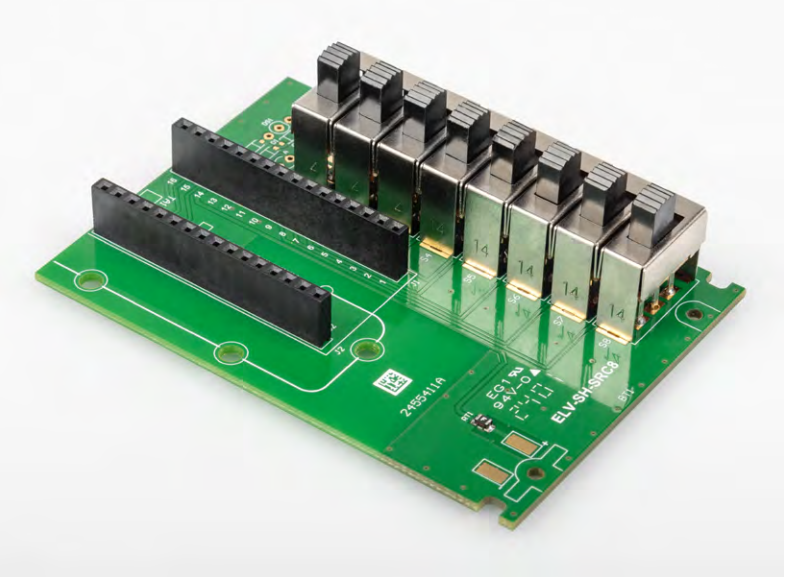


Bild 4: Buchsenleisten und Schalter in korrekter Position

Stückliste

Widerstände:	
PTC/0,5 A/6 V/SMD	RT1
Sonstiges:	
Schiebeschalter, 2x um, hoch, print	S1-S8
Buchsenleiste, 1x 16-polig, gerade	J1, J2
Batteriehalter für 2x LR6	BT1
2 Batteriekontakte Minus, LR6	BT1
2 Batteriekontakte Plus, LR6	BT1
2 gewindeformende Schrauben, 1,8 x 8 mm, T6	
5,5 cm flexible Leitung, ST1 x 0,22 mm², rot	
6 cm flexible Leitung, ST1 x 0,22 mm², schwarz	
Platinenabstandshalter	SP1-SP3
Gehäuseunterteil, infrarot	
Gehäuseoberteil, infrarot	
4 Gehäusefüße, 5 x 1,6 mm, selbstklebend, schwarz	
1 Lichtleiter	

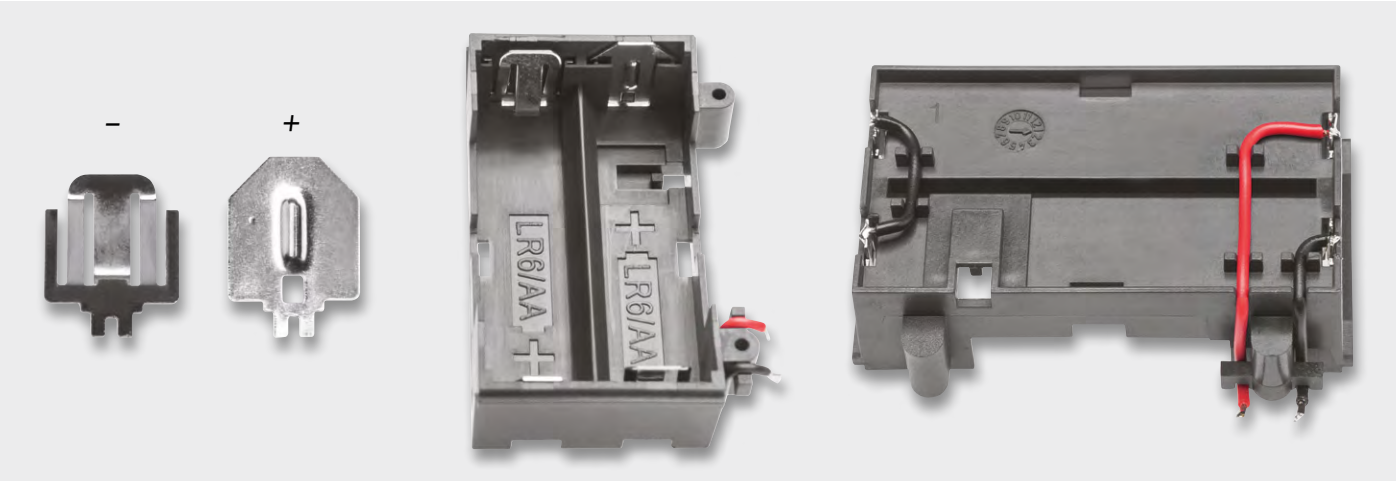


Bild 5: Die Batteriekontakte sind, wie hier gezeigt, in den Batteriehalter einzusetzen und zu verdrahten.

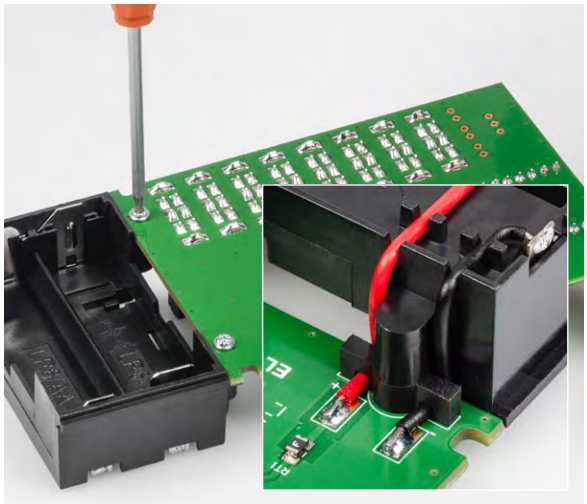


Bild 6: Der Batteriehalter wird mit der Platine verschraubt, und die Anschlussdrähte des Batteriehalters werden mit den Pads der Platine verlötet.

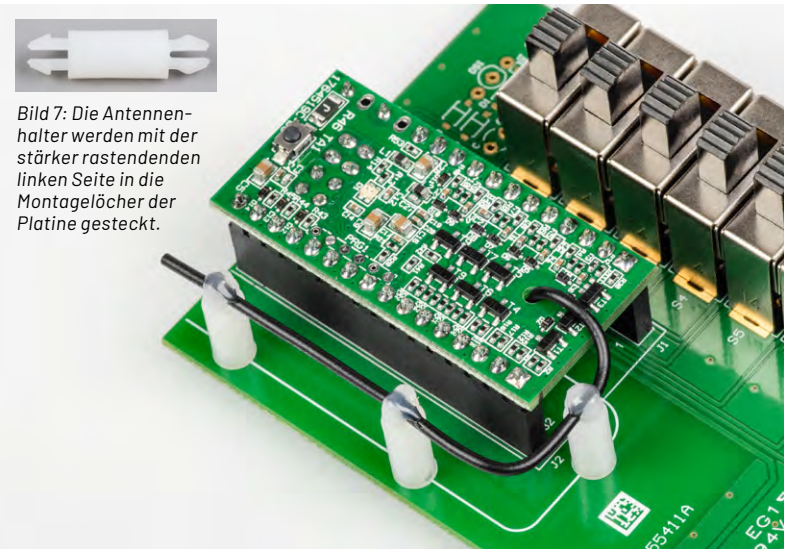


Bild 7: Die Antennenhalter werden mit der stärker rastendenden linken Seite in die Montagelöcher der Platine gesteckt.

Bild 8: Das korrekt aufgesteckte Sendemodul und die in den Haltern fixierte Antenne

Damit ist der Aufbau abgeschlossen, und das Gerät befindet sich automatisch drei Minuten lang im Anlernmodus.

Bild 9: Montage der Platine und Einlegen der Batterien

Anlernen und Konfigurieren mit CCU3

Für das Anlernen an eine CCU3 ist in der WebUI der Punkt „Geräte anlernen" und dort „HmIP Gerät anlernen" aufzurufen.

Ist der dreiminütige Anlernmodus des Sendemoduls nicht mehr aktiv, kann dieser durch Betätigung der Systemtaste auf dem Modul erneut gestartet werden.

Nach dem erfolgreichen Anlernen landet das Modul zunächst im Posteingang, wo die Eingangskanäle bereits sinnvoll entsprechend ihrer späteren Funktion benannt werden sollten.

Nach der Übernahme des Geräts aus dem Posteingang ist in der Geräteliste noch eine Umkonfiguration des Kanalverhaltens der Eingangskanäle von „Taster" auf „Kontakt" vorzunehmen (siehe Bild 10). Für eine korrekte Funktion darf keiner der acht Kanäle auf Taster oder Schalter stehen.

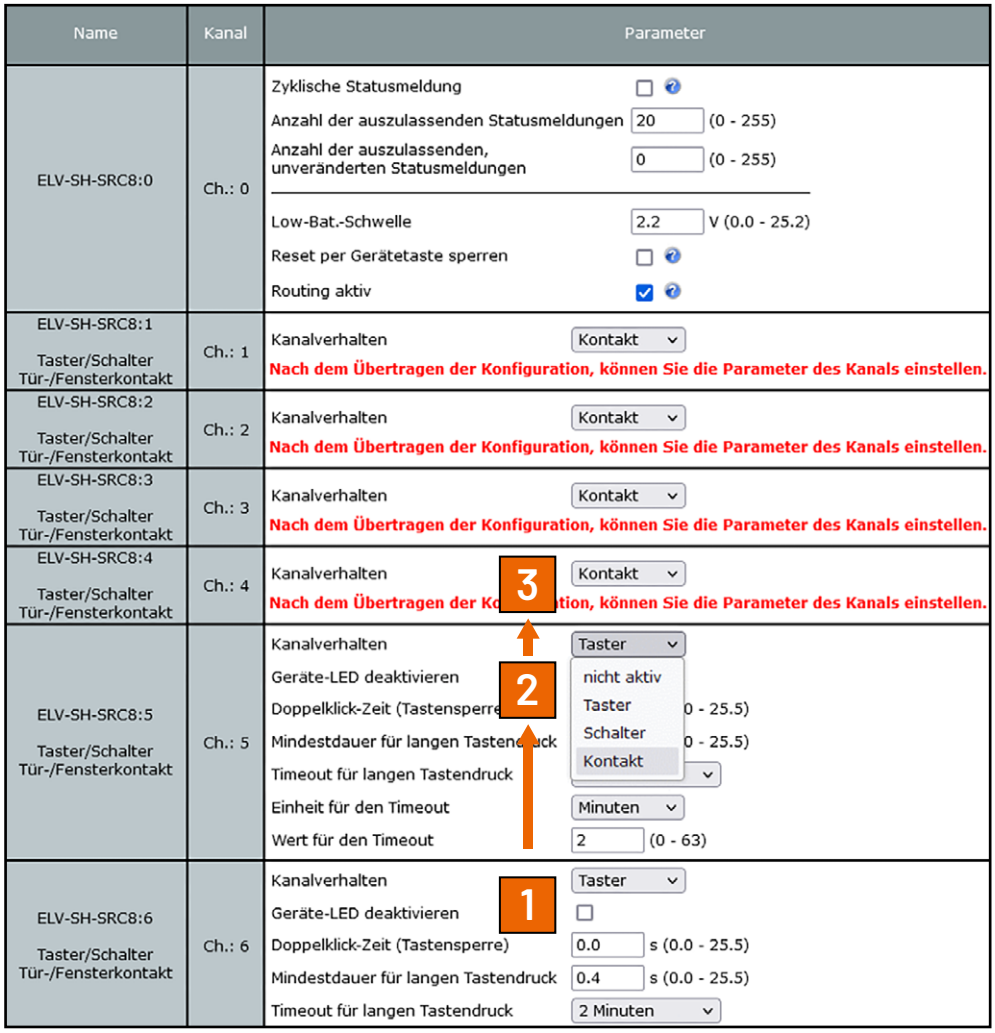


Bild 10: Umkonfiguration des Kanalverhaltens der Kanäle 1 bis 8 auf Kontakt

Anlernen und Konfigurieren mit Homematic IP Access Point und App

Beim Anlernen des Sendemoduls HmIP-MOD-RC8 in der Homematic IP App wird zunächst das gesamte Gerät einem Raum zugeordnet (siehe Bild 11). Dies kann ein bereits angelegter Raum sein, es wird jedoch empfohlen, einen imaginären Raum (z. B. „Schalter-Fernbedienung") anzulegen und zu verwenden, um unerwünschte Effekte durch Automatisierungen für den Raum zu vermeiden.

Bei der Zuordnung der einzelnen Kanäle wird diesen jeweils eine für den Zweck passende Lösung zugeordnet. In den meisten Fällen wird „Licht und Beschattung" → „Steuert angelernte Aktoren abhängig von dem Fenster- oder Türzustand" die beste Option sein, da hier für den ausgewählten Raum keine raumübergreifenden Automatisierungen angelegt werden.

Bei der Wahl von „Raumklima" → „Senkt die Temperatur beim Lüften ab" ist zu beachten, dass bei der Raumauswahl des Kanals in diesem Raum keine Heizkörperthermostate installiert sind, da diese ggf. durch das Umschalten eines Fernbedienungskanals in den Absenkbetrieb fahren würden.

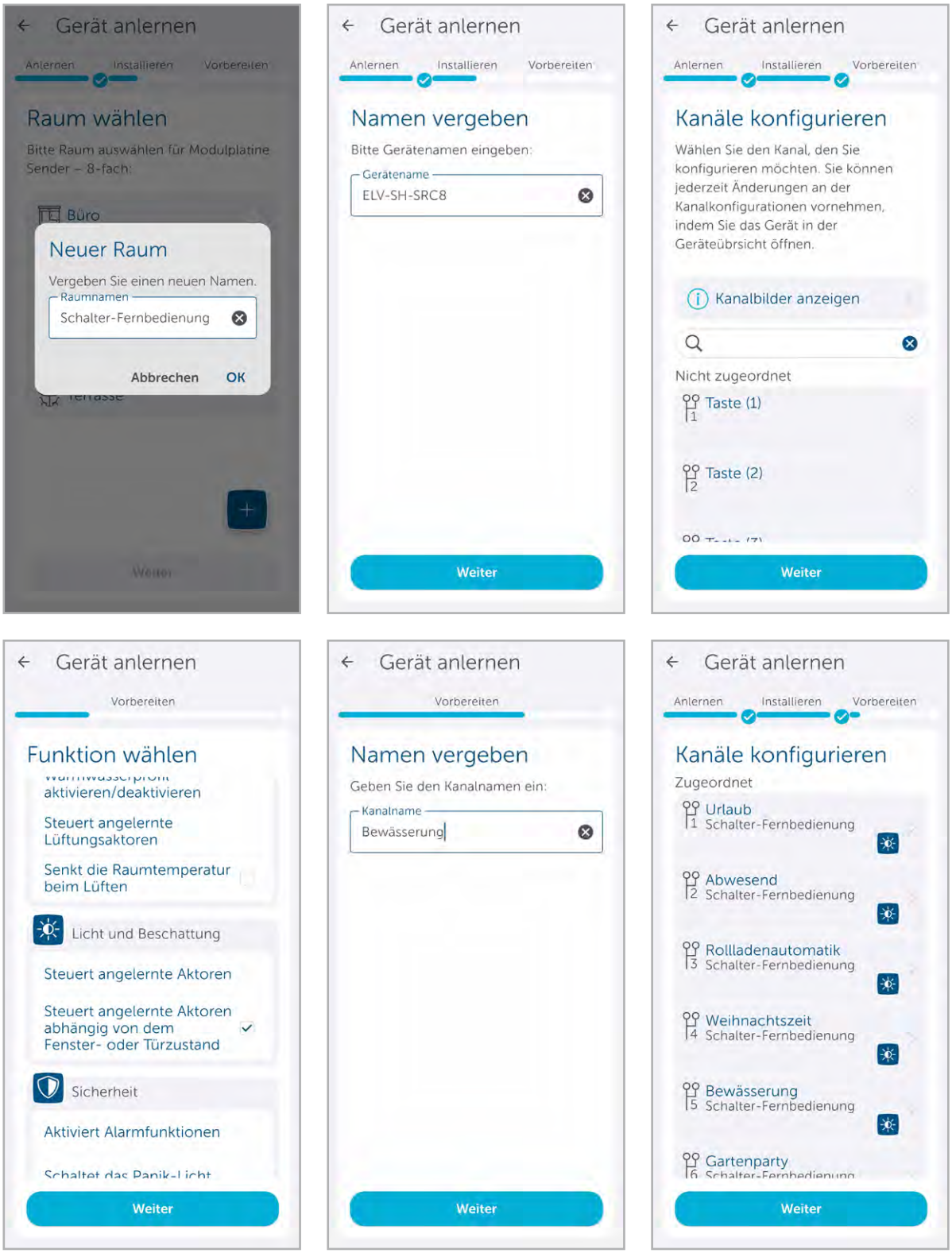


Bild 11: Anlernen und Einrichten des HmIP-MOD-RC8 für die Verwendung als Schalter-Fernbedienung

Ebenso sollte für die Kanäle ein aussagekräftiger Name vergeben werden, um diese zukünftig als „Zusatzbedingung" in Automatisierungsregeln einbinden zu können.

Nach Abschluss des Anlernvorgangs sollte für alle Kanäle das Schaltverhalten des Eingangs von „Normally closed" auf „Normally open" umgestellt werden, da dies dem Zustand der Schalter in der linken Ruheposition entspricht. Hierfür wird in der Geräteübersicht der Parameter „Kontakt-Typ" für jeden Bedienkanal geöffnet und passend eingestellt (Bild 12).

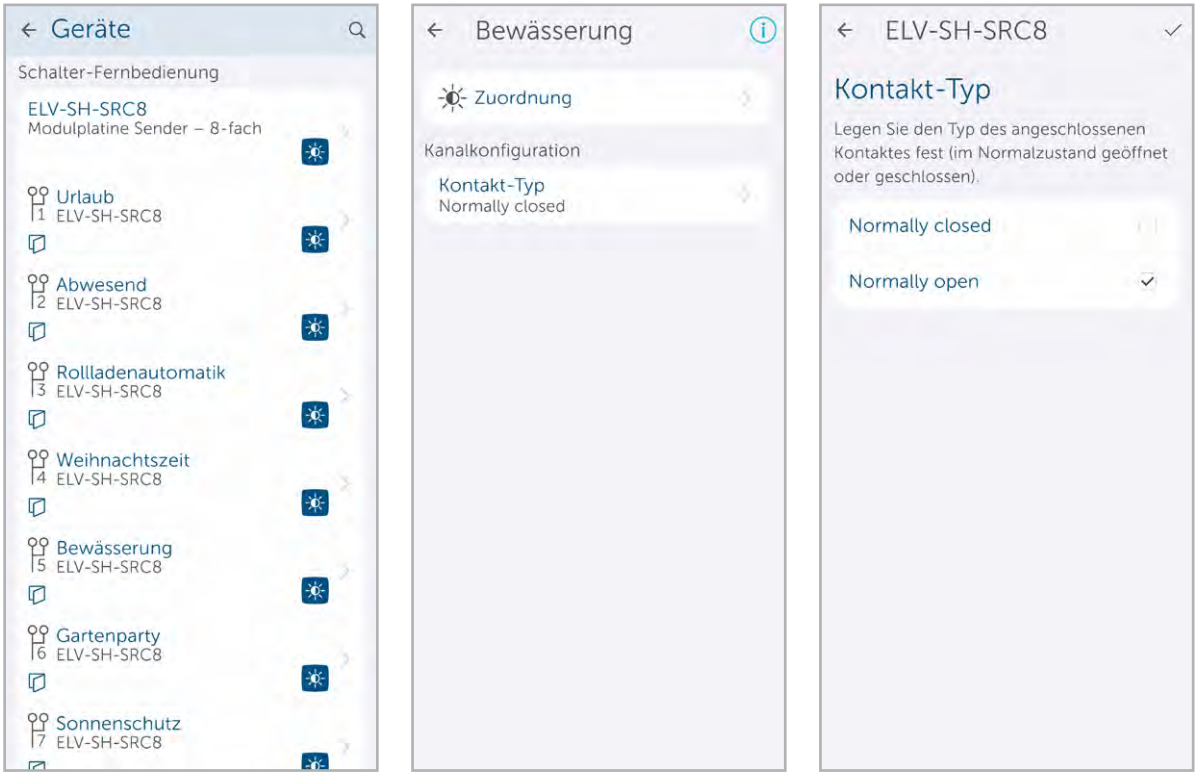
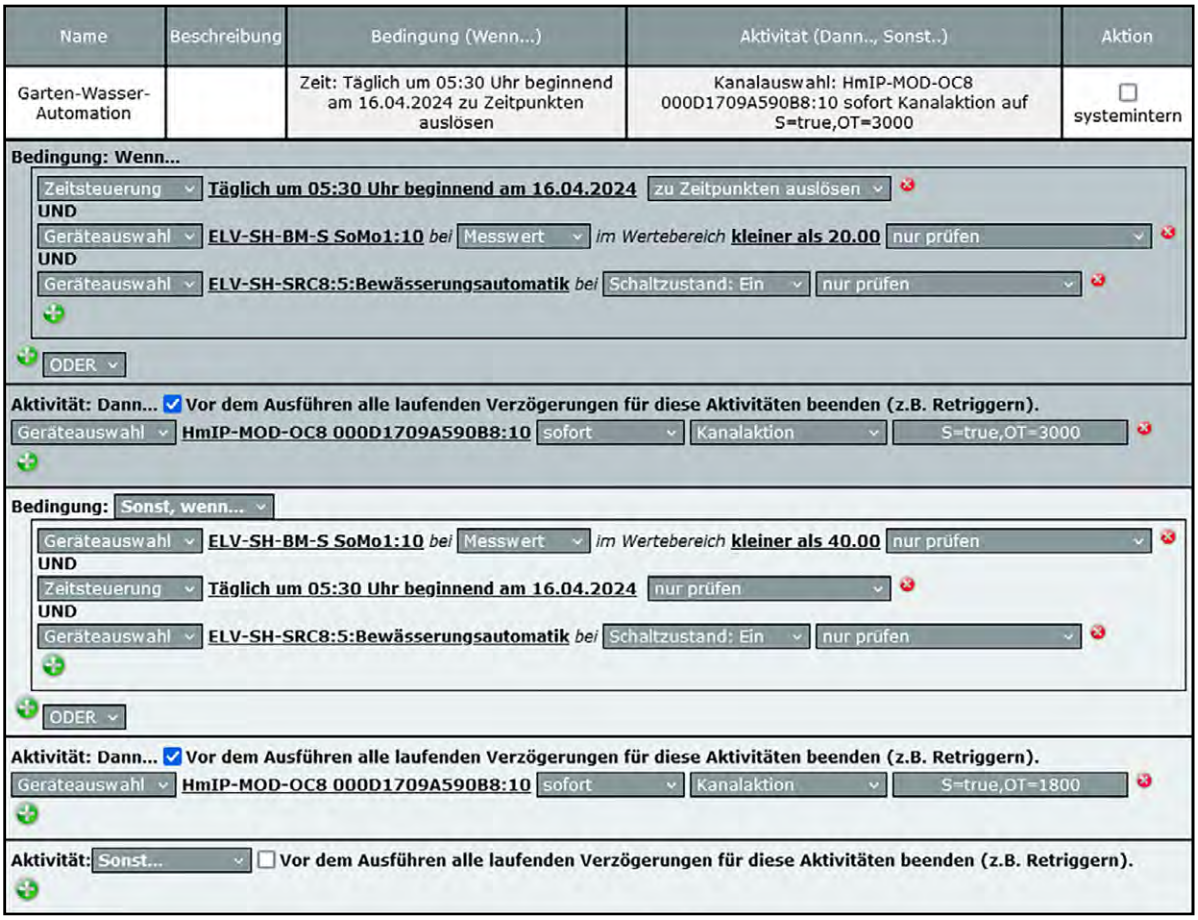


Bild 12: Umstellung des Kontakt-Typ auf „Normally open"



Name	Beschreibung	Bedingung (Wenn...)	Aktivität (Dann.., Sonst..)	Aktion
Garten-Wasser-Automation		Zeit: Täglich um 05:30 Uhr beginnend am 16.04.2024 zu Zeitpunkten auslösen	Kanalauswahl: HmIP-MOD-OC8 000D1709A590B8:10 sofort Kanalaktion auf S=true,OT=3000	systemintern

Bild 13: Programm zur Bewässerung mit eingebauter Abfrage der Schalter-Fernbedienung

Praktische Anwendungen

Beim Erstellen von Automatisierungen oder Programmen gibt es immer wieder Fälle, in denen sich ein Programm in Ausnahmefällen anders als üblich verhalten oder seine Funktion komplett deaktiviert werden soll.

Bei einer automatisierten Bewässerung des Rasens kann es beispielsweise gewünscht sein, diese für Ereignisse wie eine Gartenparty, ein Zelten der Kinder im Garten oder auch für den gesamten Winter zu deaktivieren.

Als Lösung wird in das zugehörige CCU-Programm in den Bedingungsblock eine UND-verknüpfte Abfrage eines dafür auf der Fernbedienung konfigurierten Schalters „Bewässerungsautomatik" eingebaut (Bild 13).

Bild 14 zeigt eine mögliche Umsetzung bei Verwendung der App mit einem Access Point.

Bei der automatisierten Steuerung der Rollläden nach Uhrzeit oder Astrozeiten gibt es spätestens während des Urlaubs oder nach einer Partynacht den Wunsch, etwas länger zu schlafen als üblich und

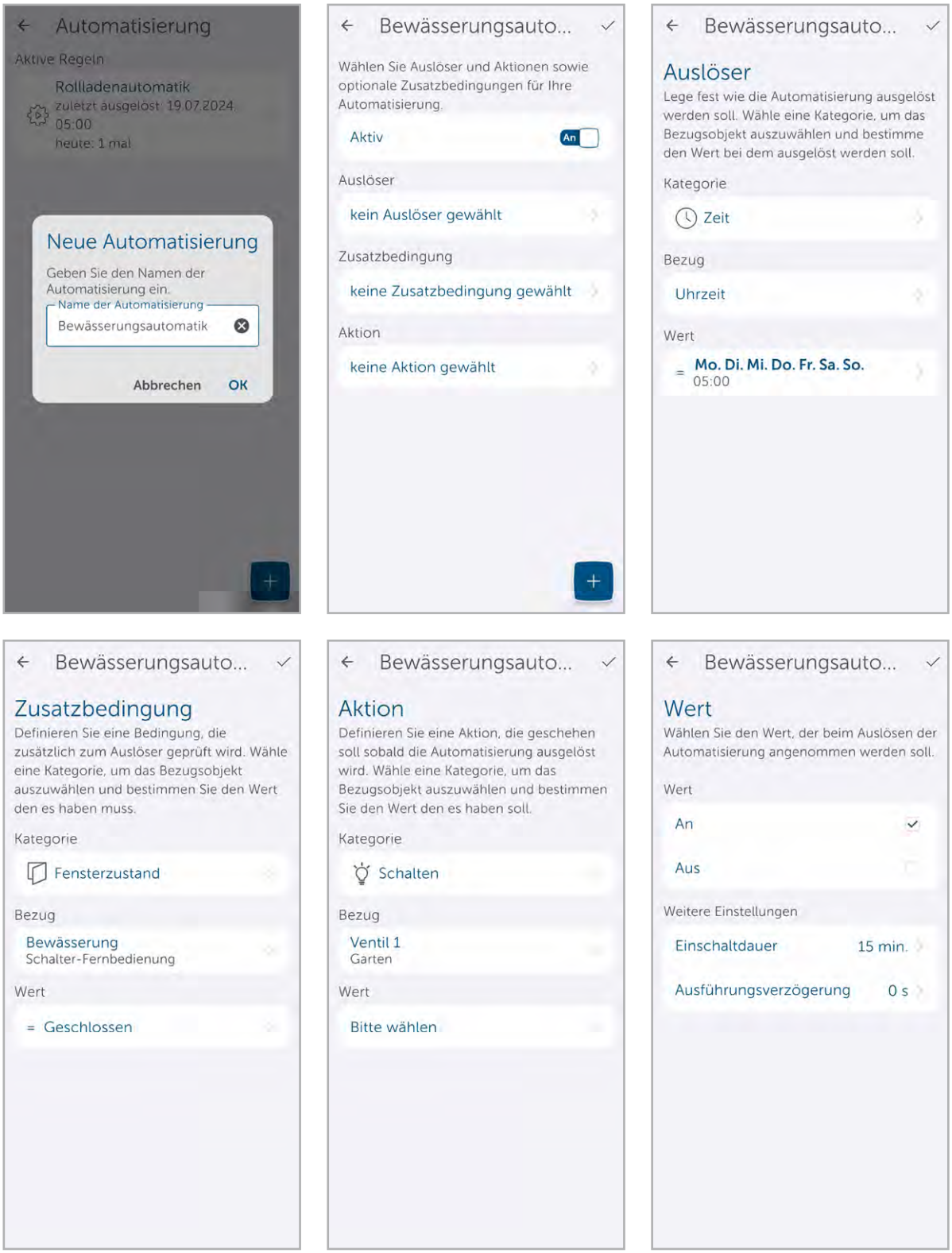


Bild 14: Bewässerungsautomatisierung mit eingebauter Abfrage der Schalter-Fernbedienung als Fensterzustand

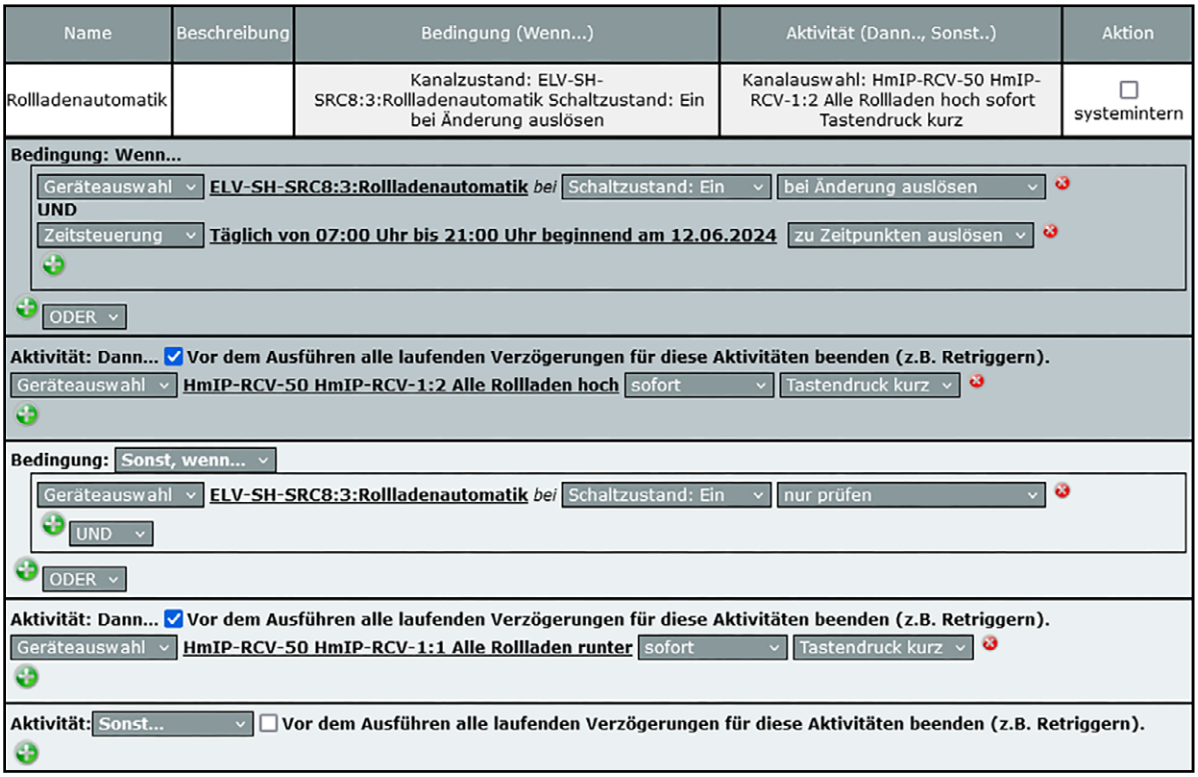


Bild 15: Programm zur Rollladenautomatik mit eingebauter Deaktivierungsmöglichkeit

die Rollläden entsprechend später hochzufahren. Hier kann per Schalter einfach die Automatik deaktiviert werden. Bild 15 zeigt die Umsetzung mit einem Programm in der CCU3 mit Nutzung der virtuellen Kanaltasten der CCU3. Zwei dieser virtuellen Tasten wurden dafür mit allen Rollladenaktoren verknüpft, damit sich alle Rollläden gleichzeitig und einfach durch beide Tasten bedienen lassen. Durch Verwendung eines Zeitbereichs und Reaktion auf Änderung des Schalterzustands werden die Rollläden in die richtige Position gefahren, wenn die Automatisierung nach dem späten Aufstehen nachträglich reaktiviert wird. Bei Nutzung der App sind für alle Räume mit Rollläden jeweils separate Programme für das Hoch- und Runterfahren anzulegen und dort dann jeweils auch als Zusatzbedingung der zuständige Schiebeschalter des ELV-SH-SRC8 einzufügen (Bild 16). Um die Deaktivierungsmöglichkeit nutzen zu können, darf hier nicht die interne Wochenzeitschaltuhr der Aktoren genutzt werden.

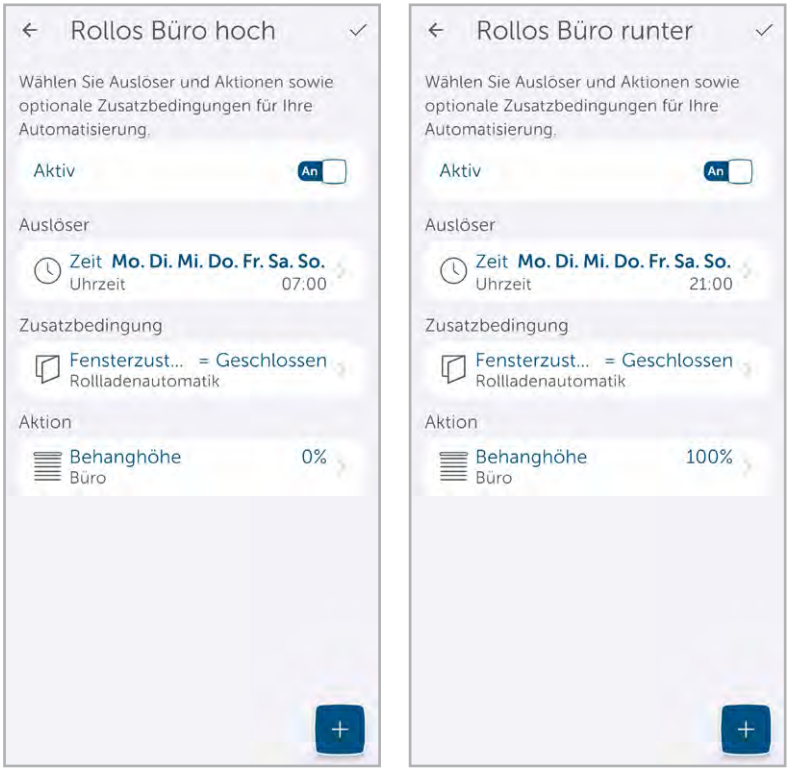


Bild 16: Separate Automatisierungen für das Hoch- und Runterfahren mit eingebauter Deaktivierungsmöglichkeit

Beschriftung der Fernbedienung

Um bei der Bedienung der Fernbedienung einen Überblick über die Zuordnung der Schiebeschalter zu den programmierten Funktionen zu erhalten, bietet sich die Beschriftung über eines der mitgelieferten Etiketten per Hand mittels eines geeigneten Faserschreibers an. Alternativ kann das Gehäuse auch direkt mit einem weißen Permanent-Marker beschriftet werden.

Professioneller wird die Beschriftung allerdings bei Verwendung einer für Drucker geeigneten Etikettenfolie (z. B. Herma 4698) und der Bedruckung mittels eines Laserdruckers.

Passende Vorlagen für die normale oder inverse Beschriftung (weißer Text auf schwarzem Grund) befinden sich bei der Produktbeschreibung des Bausatzes ELV-SH-SRC8 im Downloadbereich

Bild 17: Bedrucken von Etikettenpapier unter Nutzung der Druckvorlage

Das Ausschneiden kann nach dem Drucken mittels Lineal und Messer anhand der vorhandenen Markierungslinien (Bild 17) erfolgen.

Die Ergebnisse der unterschiedlichen Beschriftungsvarianten sind in Bild 18 zu sehen. ELV

Technische Daten

Geräte-Kurzbezeichnung:	ELV-SH-SRC8
Versorgungsspannung:	2x 1,5 V LR6/Mignon/AA
Stromaufnahme:	40 mA max.
Modulplatine:	HmIP-MOD-RC8 (nicht im Lieferumfang)
Typ. Funk-Freifeldreichweite:	260 m
Funk-Frequenzband:	868,0–868,6 MHz 869,4–869,65 MHz
Max. Funk-Sendeleistung:	10 dBm
Empfängerkategorie:	SRD category 2
Duty-Cycle:	< 1 % pro h/< 10 % pro h
Schutzart:	IP20
Batterielebensdauer:	5 Jahre typ.
Umgebungstemperatur:	5–35 °C
Abmessungen (B x H x T):	63 x 28 x 122 mm
Gewicht:	121 g (mit HmIP-MOD-RC8: 128 g)

Bild 18: Verschiedene Arten der Kanalbeschriftung

ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung ELV-SH-SRC8

ELV

NEU

EXKLUSIV

BAUSATZ

- Mit 8 Schiebeschaltern zur Steuerung von Automatisierungen (aktiv/inaktiv)
- Schalterstellung in Programmen oder Automatisierungen als einfach umschaltbare Variablen nutzen
- Gehäuse mit Batteriefach (2x LR6/AA/Mignon, nicht inkl.) und LED-Statusanzeige
- Mit Steckplatz für das Sendemodul HmIP-MOD-RC8 (Artikel-Nr. 151221)
- Kanalbeschriftung mittels individuell erstellbarem Textfeld-Aufkleber möglich
- Kompatibel mit der Homematic IP Home Control Unit, dem Homematic IP Access Point inkl. App und der Smart Home Zentrale CCU3

19,95 €

Artikel-Nr. 160800

Zum Produkt

Welche Vorteile bietet die Schalter-Fernbedienung?

Schnelle Anpassung bei spontanen Ideen
Das Wetter ist gut und die Kinder wollen spontan im Garten zelten? Freunde und Familie haben sich zum Grillabend angekündigt?
Mit der ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung ELV-SH-SRC8 kann jeder ganz einfach das Bewässerungsprogramm oder die Automatisierungsregeln für die automatische Gartenbeleuchtung deaktivieren – auch ohne Zugriff auf die WebUI der CCU3 oder die Homematic IP App. Und das auch, wenn die Person, die sich sonst um das Konfigurieren des Smart Home kümmert, nicht anwesend ist.

Einfache Bedienung für alle
Sie bekommen Besuch und möchten Ihren Gästen die Freiheit einer manuellen Bedienung über Wandtaster geben, ohne dass irgendwelche Automatisierungen wie beispielsweise die Bewegungsmelder-Schaltungen die Gäste bevormunden? Auch hierfür bietet Ihnen die ELV-SH-SRC8 eine praktische Möglichkeit: Mit den Schiebeschaltern kann beispielsweise die automatische Rollladensteuerung per Zeitautomatisierung aktiviert und deaktiviert werden. So können die Gäste ungestört ausschlafen, ohne von der morgendlichen Sonne geweckt zu werden. Ideal für alle Urlaubs- und Feiertage, an denen man länger schlafen möchte.

Bereit für den Urlaub - ganz einfach und unkompliziert
Im Urlaub sollen bestimmte Automatisierungen deaktiviert oder aktiviert werden, beispielsweise die Anwesenheitssimulation, die Weckprogramme und die Kaffee-Koch-Automatik?
Statt alle Programme am Abreisetag noch schnell von Hand in der WebUI oder der App zu deaktivieren, können die Schalter einfach auf der Fernbedienung umgelegt werden. Nach dem Urlaub geschieht das Rücksetzen auf Normalbetrieb genauso einfach.

Clevere Technik!

BAUSATZ

29,95 €

Artikel-Nr. 155523

Zum Produkt

ELV

Lesekopf mit USB-Schnittstelle für digitale Zähler USB-IEC

- Kommunikation über die galvanisch getrennte serielle IR-Schnittstelle des Zählers
- Ermöglicht das direkte Auslesen über den USB-Port
- Nutzung mit einem Terminalprogramm, freie oder kommerzielle Software – kompatibel mit der Software „Volkszähler"
- Aufbau des optischen Lesekopfes nach DIN EN 62056-21
- Geeignet für diverse Kommunikationsprotokolle

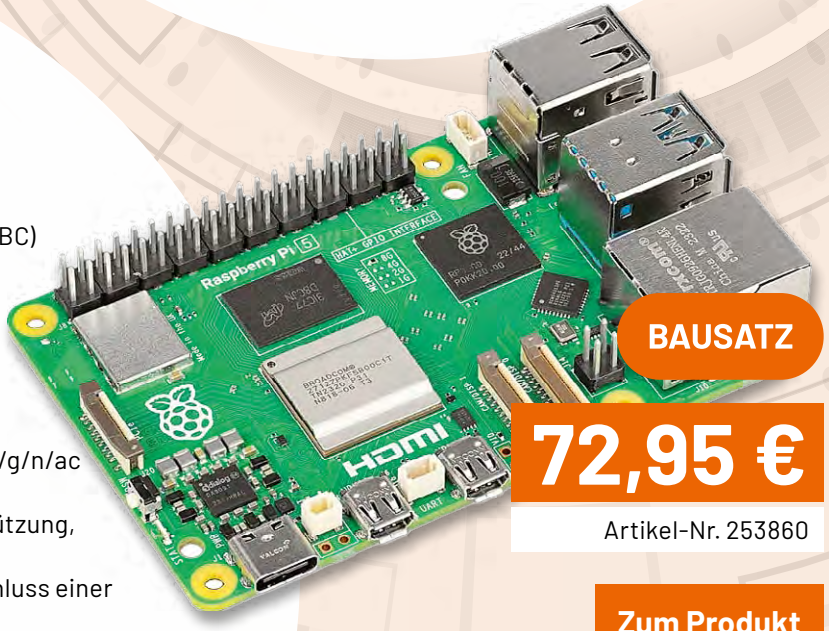
FERTIGGERÄT – Artikel-Nr. 158713 – 34,95 €

Die USB-IEC in Kombination mit einem **Raspberry Pi** ist eine tolle Lösung zur Fernauslesung von Stromzählern mit optischer Schnittstelle, um z. B. Stromfresser im Haushalt aufzuspüren oder die Einspeisung der PV-Anlage zu visualisieren.

Raspberry Pi

Raspberry Pi 5, 4 GB

- Leistungsstarker Single-Board-Computer (SBC) der neuesten Raspberry-Pi-Generation
- 2,4-GHz-ARM-Cortex-A76-Quad-Core-CPU und Grafikprozessor VideoCore VII GPU
- Gigabit-LAN RJ45 (mit bis zu 1000 Mbit) mit PoE-Unterstützung via Zusatzmodul*
- Bluetooth 5.0 (BLE)
- Dual-Band WLAN 2,4 GHz und 5 GHz, 802.11 b/g/n/ac
- 2x USB 3.0 (bis zu 5 Gbps), 2x USB 2.0
- 2x Micro-HDMI (2x 4K@60 fps), HDR-Unterstützung, Dual-Monitor-Unterstützung
- PCIe-2.0-x1-Schnittstelle, z. B. für den Anschluss einer M.2 SSD via Zusatzmodul (HAT)*
- Raspberry-Pi-GPIO-Stiftleiste (abwärtskompatible Belegung)



BAUSATZ

72,95 €

Artikel-Nr. 253860

Zum Produkt

* Die erwähnten Zusatzmodule (HAT) werden laut Hersteller im Laufe des Jahres 2024 erhältlich sein und sind dann separat zu bestellen.

ELV

Modulplatine OpenCollector – 8-fach

HmIP-MOD-OC8

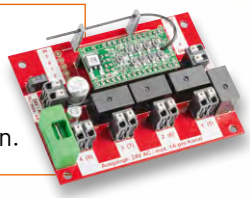
- Empfangs- und Schaltmodul mit 8 Open-Collector-Schaltausgängen
- Schaltausgänge mit je bis zu 0,1 A bei max. Schaltspannung von 30 V belastbar
- 8-Kanal-Taster für Vor-Ort-Bedienung bzw. Funktionstest
- Wochentimer-Kanal mit Astrofunktion im Aktor, mit dem Sie Aktorkanäle autark nach Zeitprofil schalten können
- LED-Schaltzustandsanzeige für jeden Kanal
- Sowohl im Homematic als auch im Homematic IP System nach Anlernen an die jeweilige Zentrale nutzbar
- Verwendbar an der Smart Home Zentrale CCU3 und Homematic IP Access Point
- Weiter Versorgungsspannungsbereich: 2,6–3,5 V oder 4,5–12 V

BAUSATZ

24,95 €

Artikel-Nr. 150850

Das ELV Garten Ventil Interface bietet – in Verbindung mit der ELV Homematic IP Modulplatine **HmIP-MOD-OC8** – die Möglichkeit, Ihre Gartenbewässerung in Ihr Smart Home zu integrieren, um zum besten Zeitpunkt das Wasser zu verteilen.

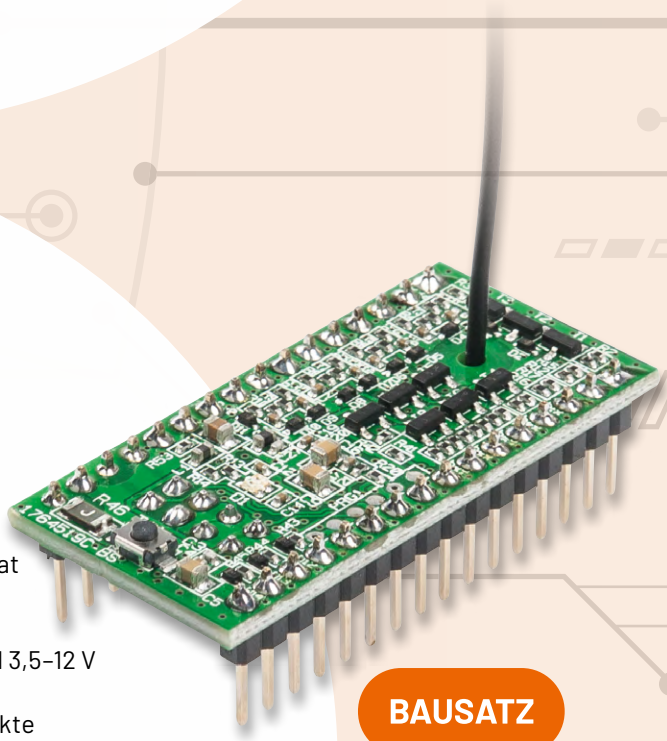


Zum Produkt

ELV

Modulplatine Sender – 8-fach

HmIP-MOD-RC8



- 4-/8-Kanal-Schaltsignal-Sendemodul im 32-pol-DIL-Format
- 8 Taster-Eingänge, negative Logik
- 8 Spannungseingänge, 2–24 V, positive Logik
- Zwei Möglichkeiten der Spannungsversorgung: 2–3,3 V und 3,5–12 V
- Hohe Funkreichweite bis 380 m (Freifeld)
- Einfache Einbindung in eigene Applikationen durch kompakte Maße und mögliche Bestückung mit Stiftleisten als Steckmodul
- Verwendbar an der Smart Home Zentrale CCU3 und dem Homematic IP Access Point

BAUSATZ

22,95 €

Artikel-Nr. 151221

Das Alarmlinien-Interface ist das ideale Gerät, um konventionelle Alarmsensoren wie Reedkontakte oder Glasbruchsensoren in Ihr Smart Home zu integrieren. Für die Funkanbindung wird hierfür zusätzlich die Homematic IP Modulplatine **HmIP-MOD-RC8** benötigt.

Zum Produkt

ELV Smart Hacks

Schaltaktoren des Homematic IP Systems

In unserer Reihe „ELV Smart Hacks“ zeigen wir anhand von kleinen Detaillösungen, wie man bestimmte Aufgaben im Homematic IP System konkret erledigen kann. Dies soll insbesondere Einsteigern zu Homematic IP, aber auch erfahreneren Nutzern helfen, die Einsatz- und Programmiermöglichkeiten besser anzuwenden. In dieser Ausgabe stellen wir typische Elektrogrundschaltungen vor und zeigen, welche Homematic IP Aktoren geeignet sind, um diese smart umzurüsten.

Vor allem im Nachrüstbereich spielen die Homematic IP Funkkomponenten ihre Stärken aus. Fast jede typische Elektrogrundschaltung (Aus-, Wechsel- oder Kreuzschaltung etc.) lässt sich mit Geräten der Homematic IP Serie smart gestalten. Auch das Umrüsten von Tasterschaltungen oder das potentialfreie Schalten ist mit entsprechenden Aktoren möglich. Welche Komponente für welche Anwendung geeignet ist, werden wir uns in diesem Artikel etwas genauer anschauen.

Die Elektrogrundschaltungen

Die meisten Wohnhäuser in Deutschland sind mit klassischen Elektroinstallationen ausgestattet. Auch im Neubau sind BUS-Systeme mit einem zentralisierten Aufbau eher noch die Ausnahme. Der Vorteil des klassischen Aufbaus ist die sehr einfache Nachrüstbarkeit der Homematic IP Funkkomponenten und auch der Rückbau, falls dieser einmal z. B. in Mietwohnungen erforderlich sein sollte. Für die ausführende Elektrofachkraft bedeutet dies weniger Zeit und Materialaufwand und kaum Anpassungen an der Installation selbst. In den meisten Fällen wird einfach einer der vorhandenen Schalter gegen einen Homematic IP Schaltaktor für Markenschalter getauscht.

Damit die Homematic IP Aktoren betrieben werden können, ist ein wesentlicher Punkt entscheidend, nämlich der Neutralleiter. Dieser muss zwingend in den Unterputzdosen vorliegen, damit die Geräte per Festspannung versorgt werden können. Lassen Sie dieses ggf. durch einen Installateur vor Ort prüfen, bevor Sie die Komponenten für die geplante Umrüstung beschaffen.

Basierend auf den bautechnischen Gegebenheiten bietet das Elektrohandwerk eine Reihe von Schaltungen an, die der jeweiligen Raumsituation im Haus oder der Wohnung Rechnung tragen:

- Ausschaltung bzw. Serienschaltung
- Wechselschaltung
- Kreuzschaltung
- Tasterschaltung (Stromstoßschaltung)

Nachfolgend zeigen wir eine Reihe an Möglichkeiten, wie Komponenten von Homematic IP in bestehende und neu zu erstellende Elektrogrundschaltungen eingebunden werden können. Ausführliche Anschlusspläne sind zudem auch in jeder Bedienungsanleitung der jeweiligen Homematic IP Komponente zu finden.

Wichtiger Hinweis:
Alle in diesem Artikel beschriebenen Installationsmöglichkeiten dürfen nur von Elektrofachkräften (nach VDE 100) erfolgen. Dabei sind die geltenden Unfallverhütungsvorschriften zu beachten!

Die Ausschaltung

Dies ist die einfachste Form und die am häufigsten angewandte elektrische Installationsgrundschaltung. Sie dient dazu, eine Leuchte oder einen Verbraucher ein- bzw. auszuschalten. Es wird ein Ausschalter oder ein Wechselschalter benötigt.

Die Funktionsweise ist denkbar einfach, über einen Schalter wird der Stromkreis geschlossen und wieder geöffnet. Weitere Schaltstellen für das Licht gibt es in diesem Fall nicht.

Bild 1 zeigt den Grundaufbau als Stromlaufplan und eine bereits auf Homematic IP umgerüstete Schaltung. Verwendet wurde hier der Schalt-Mess-Aktor für Markenschalter, kurz HmIP-BSM. Man beachte zudem, dass der Aktor wie bereits zuvor aufgeführt, eine Kontaktierung zum Neutralleiter benötigt.

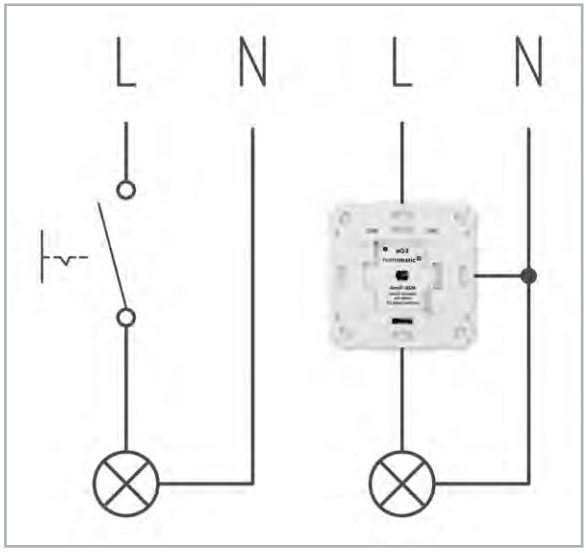


Bild 1: Ausschaltung inkl. Homematic IP Aktor HmIP-BSM

Durch Installationsadapter können die Aktoren im Markenschalterformat in viele gängige Schalterserien eingefügt werden und sind hierdurch beinahe unsichtbar. Eine Übersicht finden Sie hier. Auch haben wir den Aufbau bereits in einem unserer vielen Videos gezeigt. Bild 2 zeigt das Prinzip.

Da sich der Aktor lokal vor Ort aber auch per Funk ansprechen lässt, kann die Schaltung einfach durch zusätzliche „Schaltstellen" erweitert werden. Die Hand- und Wandsender des Homematic IP Systems (z. B. dem HmIP-WRC2) machen aus der Ausschaltung im Handumdrehen eine Wechsel- oder sogar Kreuzschaltung. So kann z. B. der fehlende Schalter über dem Bett ganz einfach nachgerüstet werden, ohne zusätzliche elektrische Leitungen verlegen zu müssen – praktisch!

Durch die direkte Verknüpfung des Aktors mit den Sendern wird zudem immer sichergestellt, dass einerseits die Verbindung ausfallsicher ist und der angezeigte Zustand des Verbrauchers über die WebUI oder in der Homematic IP App auch korrekt erfasst wird.

Auch heute noch werden Lichtschalter für Bäder oder Dachböden häufig von außen angebracht und mit einer Glimmlampe versehen, um so den Status des Lichts zu signalisieren. Grundlage ist in der Regel ebenfalls eine Ausschaltung. Das Homematic IP System bietet auch hier einen praktischen Aktor an, der genau für diesen Anwendungszweck entwickelt

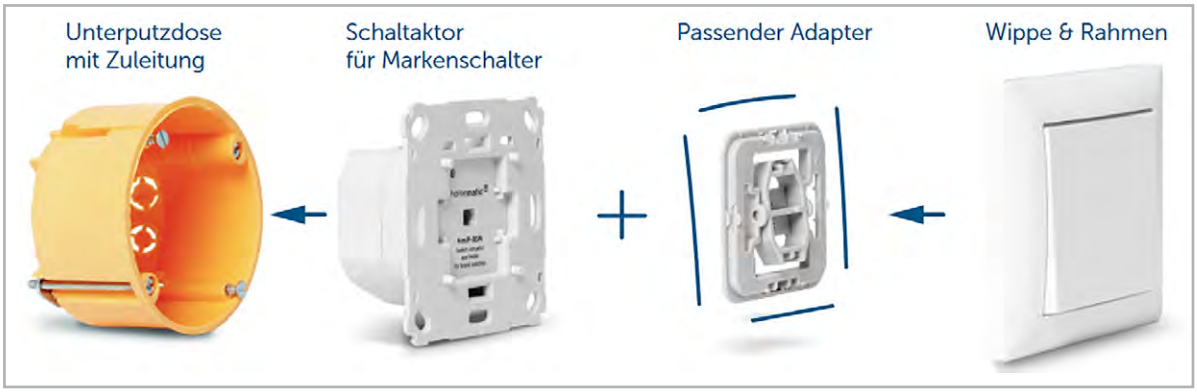


Bild 2: Einbau eines Aktors im Markenschalterformat inkl. vorhandener Wippe

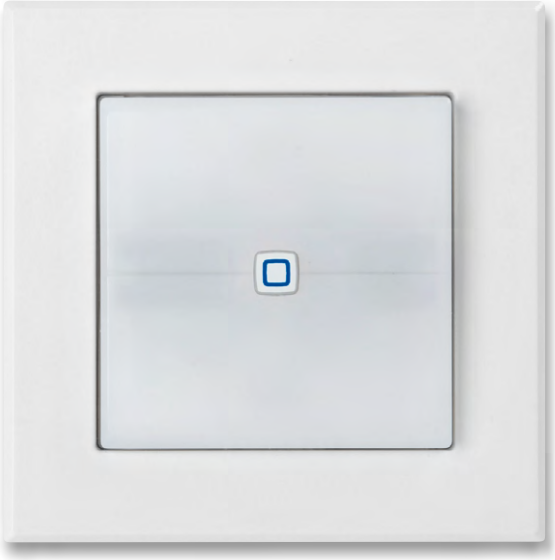


Bild 3: Der HmIP-BSL

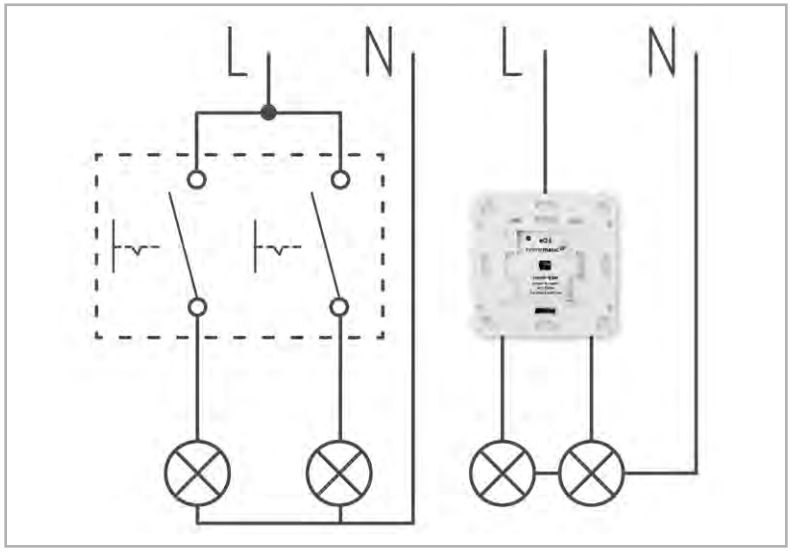


Bild 4: Die Serienschaltung inkl. Homematic IP Aktor HmIP-BS2

wurde. Der Schaltaktor für Markenschalter mit Signalleuchte, kurz HmIP-BSL (Bild 3) lässt sich in Ausschaltungen integrieren und verfügt an der Front über zwei voneinander getrennt nutzbare Status-LEDs. So lässt sich beispielhaft auf der oberen Wippe der Lichtstatus des Bades abbilden und auf der unteren Wippe der Zustand der Fenstersensoren des Systems. Hier stehen dem Anwender beinahe unendlich viele Möglichkeiten zur Verfügung.

Eine Sonderform der Ausschaltung stellt die Serienschaltung dar. Hier wird ein Doppelschalter verbaut, der dann zwei voneinander getrennte Verbraucher, aus einer Position heraus, schalten kann. Bild 4 zeigt den Aufbau. Der gestrichelte Bereich ist der Serienschalter, der durch den Schaltaktor HmIP-BS2 ersetzt werden kann. Auch diese Schaltung kann durch zusätzliche Sender erweitert werden.

Die Wechselschaltung

Bei dieser Grundschaltung kann ein Verbraucher aus zwei Stellen ein- und ausgeschaltet werden.

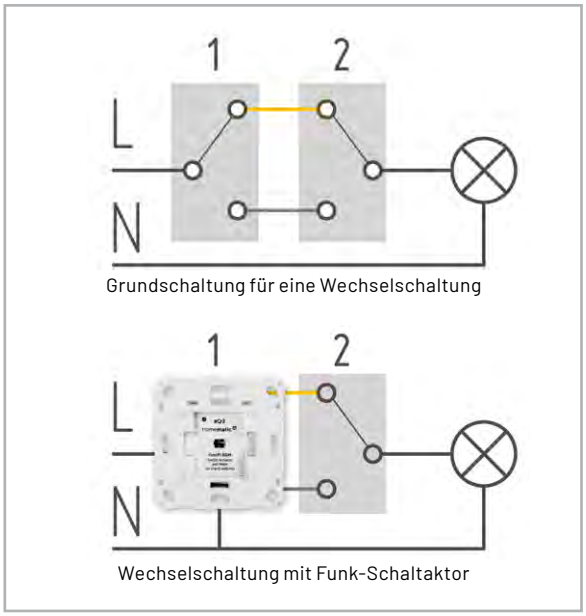


Bild 5: Die Wechselschaltung inkl. Schaltaktor HmIP-BSM

Eingesetzt wird sie in kleinen Fluren, Dielen und Räumen mit zwei Eingängen. Für die Schaltung benötigt man zwei Wechselschalter, Bild 5 zeigt den Stromlaufplan. Die graue und die orange Verbindung sind die beiden nötigen „korrespondierenden Drähte“, die die Wechselschalter untereinander verbinden.

Eine Sonderform ist die Sparwechselschaltung (ohne Bild), in der die Homematic IP Aktoren nicht verbaut werden können. Hier liegt nur ein korrespondierender Draht zwischen den Wechselschaltern vor.

Wichtig: Gemäß der VDE100 ist die Sparwechselschaltung in Deutschland nicht mehr zulässig!

Obwohl hier zwei Schaltstellen genutzt werden, ist es absolut ausreichend, nur einen der Wechselschalter durch einen Homematic IP Schalt-Mess-Aktor für Markenschalter (HmIP-BSM) zu ersetzen, nämlich den spannungsversorgten Wechselschalter (1).

Der HmIP-BSM verfügt über zwei Anschlüsse, an denen die korrespondierenden Leitungen der Wechselschaltung angeschlossen werden. Hierüber erkennt der Aktor den Stromfluss in der Schaltung und kann so zudem den korrekten Schaltzustand in der Bedienoberfläche darstellen.

Etwas anders stellt sich dieses dar, wenn die Wechselschaltung dimmbar ausgeführt werden soll. Hier sind zwingend beide Wechselschalter durch ein Homematic IP Produkt zu ersetzen, da der Dimmaktor im Markenschalterformat keine Anschlüsse für die korrespondierenden Leitungen besitzt.

Der Wechselschalter (1) wird durch den Dimmaktor für Markenschalter (HmIP-BDT) und der Wechselschalter (2) durch einen Sender aus dem Homematic IP System ersetzt, z. B. durch den Wandtaster für Markenschalter (HmIP-BRC2). Da beide Stellen durch Komponenten im Markenschalterformat substituiert werden, fügen sich diese nahtlos in die Optik der vorhandenen Schalterserie ein.

Wichtig: Beachten Sie die maximale Schaltleistung des Dimmers von 80 VA!

Der HmIP-BRC2 benötigt ebenfalls zum Betrieb eine Phase (L) und einen Neutralleiter (N). Diese müssen daher zwingend in der Dose zur Verfügung stehen. Bild 6 zeigt hier den Stromlaufplan. Die korrespondierenden Leitungen werden beim Umbau weiterhin verwendet.

Alternativ kann auch der batteriebetriebene Wandsender (z. B. HmIP-WRC2 oder HmIP-WRC6) verwendet werden, hierdurch spart man sich den Neutralleiter in der zweiten Einbauposition.

Diese Sender sind durch das 55er-Rastermaß zudem in vielen Schalterserien-Rahmen einsetzbar, eine Übersicht finden Sie hier. Optisch lässt sich die Front bei diesen Produkten jedoch nicht dem eingesetzten Schalterprogramm anpassen.

Selbstverständlich lässt sich diese Schaltung dann ebenfalls mit weiteren Sendern und damit Dimm- bzw. Bedienstellen ergänzen.

Die Kreuzschaltung

Soll ein Leuchtmittel oder ein Verbraucher aus mehr als zwei Stellen geschaltet werden, ist die Kreuzschaltung eine geeignete Wahl. Typischer Anwendungsbereich sind größere Flure und Räume mit drei oder mehr Eingängen.

Neben den zwei Wechselschaltern wird zusätzlich ein Kreuzschalter (2) benötigt. Bild 7 zeigt den Grundaufbau und die Umrüstung mit einem HmIP-BSM.

Wie auch bei der Wechselschaltung wird der Aktor in die Position des ersten Wechselschalters eingebracht. Über den Kreuzschalter kann dieser dann den Zustand des Leuchtmittels erfassen und so den Schaltzustand korrekt in der WebUI oder der Homematic IP App darstellen.

Die Tasterschaltung

Diese Grundschaltung dient dazu, Leuchten oder Verbraucher aus beliebig vielen Stellen ein- und auszuschalten. Aufgebaut wird diese durch eine Anzahl an Tastern und ein Relais (Stromstoßschalter oder Treppenlichtautomat), das meist in der Elektroverteilung platziert wird und den Verbraucher letztendlich schaltet. Verwendung findet diese Schaltung oft in langen Fluren oder Treppenhäusern. Erkennbar ist diese Schaltung meist an einem „Klicken" in der Elektroverteilung bei Betätigung eines Tasters wie z. B. im Flur oder in Treppenaufgängen.

Anders als bei Schaltern, die in ihrer Position verbleiben, gehen Taster immer wieder in ihre Grundstellung zurück. Der Vorteil der Tasterschaltung gegenüber der Kreuzschaltung ist der relativ geringe Verdrahtungsaufwand und der einfache Einbau der Taster selbst, die lediglich einen „Stromstoß" oder auch „Puls" auf den Aktor abgeben.

Die Taster werden in der Regel mit der Phase beschaltet und diese wird auf den Anschluss des Relais getastet. In diesem Fall ist in den Dosen daher meistens kein Neutralleiter vorhanden, was den Einsatz des HmIP-BSM in diesem Fall ausschließt. Zudem würde der HmIP-BSM keinen „Puls" auf den Eingang, sondern ein dauerhaftes Signal in Form von „Ein" oder „Aus" geben.

Für diesen Fall bietet das Homematic IP System neben den Aktoren im Markenschalterformat auch Aktoren im Reiheneinbauformat an. Diese lassen sich problemlos in die Verteilung einbauen und ersetzen dort direkt das vorhandene Stromstoßrelais oder den Treppenlichtautomaten von z. B. Eltako.

Bild 8 zeigt eine mögliche Standardkonfiguration. Der gestrichelte Bereich ist der Stromstoßschalter, der durch den Funk-Schaltaktor für Hutschienenmontage HmIP-DRSI1 ersetzt werden kann.

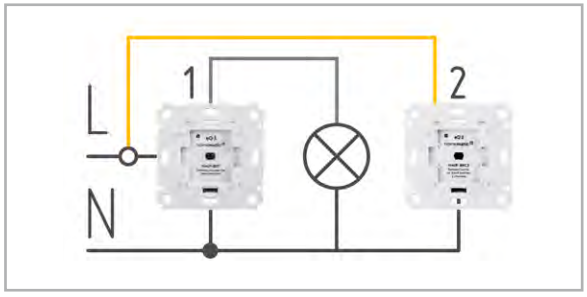


Bild 6: Dimmbare Wechselschaltung durch Homematic IP

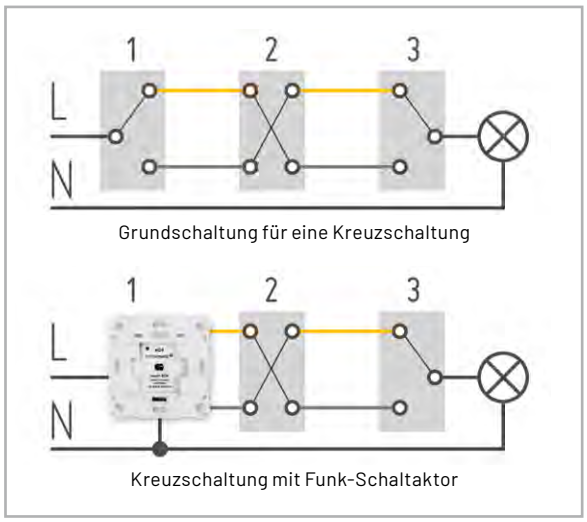


Bild 7: Die Kreuzschaltung inkl. HmIP-BSM

Auch der hier gezeigte Funk-Schaltaktor für die Hutschienenmontage benötigt zum Betrieb eine Phase und einen Neutralleiter. Neben einer Klemme für die Spannungsversorgung besitzt dieser Aktor einen Taster-/Schalter-Eingang, der mit 230-V-Tastern oder -Schaltern belegt werden kann.

Durch die WebUI oder die Homematic IP App kann der Anwender festlegen, welcher Art der Anschluss sein soll und ob ggf. eine Einschaltdauer für den Ausgang benötigt wird.

Neben dem Funk-Schaltaktor mit einem Kanal steht auch eine Version mit vier Kanälen zur Verfügung, der vielseitig einsetzbare HmIP-DRSI4.

Wie bei den bisher aufgeführten Beispielen kann auch diese Schaltung noch mit weiteren Sendern ergänzt werden. Auch das Dimmen ist durch einen Dimmer im Reiheneinbauformat inkl. Tasterbeschaltung denkbar. So kann aus einer klassischen Stromstoßschaltung schnell eine dimmbare Variante entstehen!

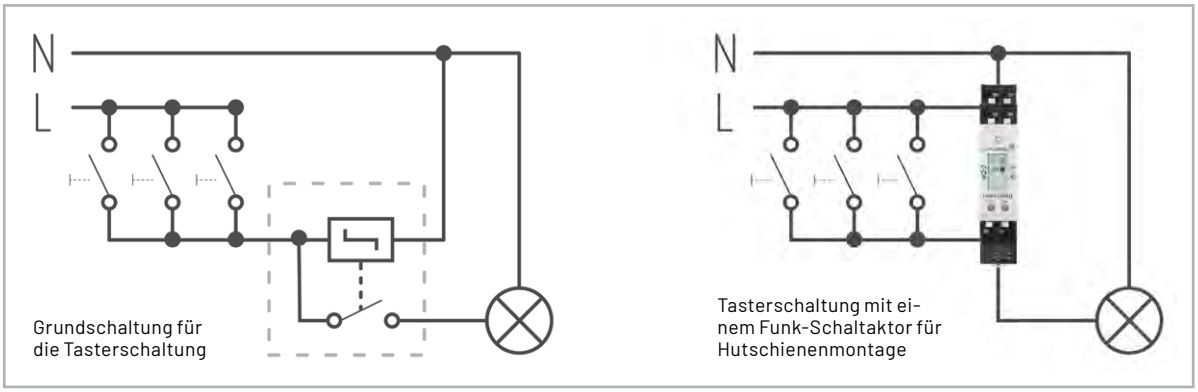


Bild 8: Die Tasterschaltung inkl. HmIP-DRSI1

Alternativ zum Reiheneinbaugerät steht im Homematic IP System auch ein Schaltaktor mit Tastereingang (Bild 9) für die Unterputzmontage zur Verfügung, der HmIP-FSI16. Auch hiermit lassen sich u. a. Stromstoßschaltungen abbilden.

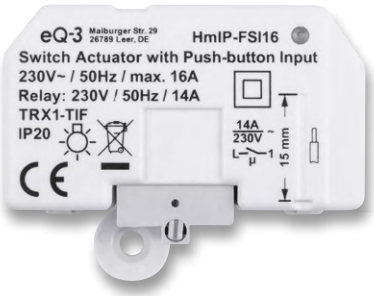


Bild 9: Der HmIP-FSI16

Bild 10: Der HmIP-FSM16

Bild 11: Die Homematic IP Schaltsteckdose

Weitere Anwendungen

Neben den klassischen Elektrogrundschaltungen gibt es weitere Anwendungsmöglichkeiten, die mit den Homematic IP Schaltaktoren bedient werden können. So kann mit dem HmIP-FSM bzw. dem HmIP-FSM16 (Bild 10) ein 230-V-Verbraucher direkt per Funk (Taster oder über die Zentrale) geschaltet werden, ohne dass hier ein fest verdrahteter Taster oder Schalter angeschlossen wird. Beide Aktoren besitzen eine Messfunktion, die die Erfassung von Verbrauchsdaten in der CCU3 oder der Homematic IP App erlaubt (Video). Über eine Geräteeinstellung kann der HmIP-FSM16 auch eine eingespeiste Leistung erfassen und ist damit die ideale Wahl, wenn ein Balkonkraftwerk ins Spiel kommt. Wer sich hiermit genauer befassen will, dem legen wir unseren Fachbeitrag aus dem ELVjournal 6/2023 ans Herz.

Verbraucher, die über einen Steckerkontakt verfügen (Euro- oder Schutzkontaktstecker), sind mit den beiden Schaltsteckdosen des Homematic IP Systems, der HmIP-PS-2 oder der HmIP-PSM-2, smart steuerbar (Bild 11). So kann z. B. hiermit die weihnachtliche Dekobeleuchtung zeitgenau geschaltet oder einfach ein angeschlossener Verbraucher über die App gesteuert werden.

Sollen Kleinspannungen oder potentialfreie Eingänge beschaltet werden, ist die Schaltplatine HmIP-PCBS die perfekte Wahl. Ein typischer Anwendungsfall ist das Ansprechen einer Torsteuerung durch einen kurzen, potentialfreien Schaltimpuls. Bild 12 zeigt den Aufbau. Der Schaltausgang der Schaltplatine wird hier parallel zum ggf. vorhandenen Taster angeschlossen, sodass beide Bedienstellen weiterhin in Funktion bleiben.

Tabelle 1 zeigt abschließend eine Übersicht der Homematic IP Schaltaktoren und ordnet diese einem möglichen Anwendungsfall zu. Auch gibt die Tabelle nochmals die Einbauposition der Homematic IP Komponenten in der jeweiligen Schaltung an. ELV

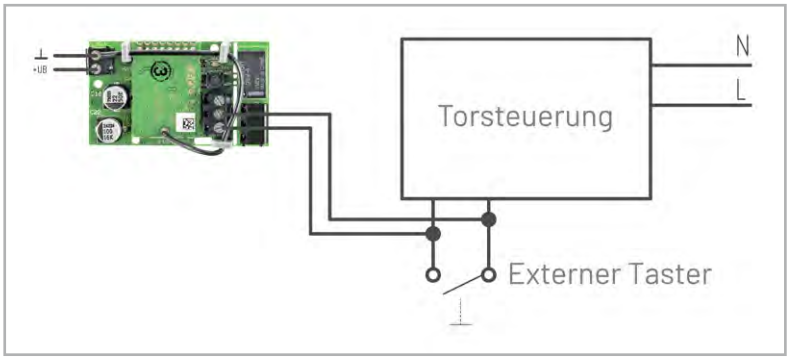


Bild 12: Anschluss einer Schaltplatine an eine Torsteuerung

Tabelle 1

Übersicht der HmIP-Schaltaktoren

Homematic IP Aktor	Geeignet für	Position in der Schaltung
HmIP-BSM HmIP-BDT	Ausschaltung Wechselschaltung (bei HmIP-BDT nur mit zusätzlichem HmIP-Wandtaster) Kreuzschaltung (bei HmIP-BDT nur mit zusätzlichem HmIP-Wandtaster)	Ersetzt einen vorhandenen Schalter
HmIP-BS2	Serienschaltung	
HmIP-BSL	Ausschaltung	
HmIP-DRSI1 HmIP-DRSI4 HmIP-DRDI3 HmIP-FSI16	Tasterschaltung	Ersetzt das Relais in der Verteilung
HmIP-FSM HmIP-FSM16 HmIP-FDT	Ausschaltung ohne physischen Taster	Anschluss direkt am Verbraucher
HmIP-PS-2 HmIP-PSM-2 HmIP-PDT	Schalten von Verbrauchern mit Stecker	Einsatz in vorhandener Steckdose
HmIP-PCBS	Schalten von Kleinspannungen und Schaltsignalen	Anschluss am Signaleingang

Home Control Unit HmIP-HCU1

Neue Homematic IP Zentrale mit erstaunlichen Möglichkeiten

Bereits im Frühjar haben unsere Kollegen von eQ-3 auf der Light + Building in Frankfurt eine neue Homematic IP Zentrale vorgestellt, die den Namen Home Control Unit (HmIP-HCU1) trägt. Diese soll ungeahnte Möglichkeiten im Bereich Kompatibilität und Flexibilität bieten. In einem ausführlichen Bericht möchten wir nun nach gut sechs Monaten Wartezeit voller Spannung und kleineren zwischenzeitlichen Informationen die technischen Möglichkeiten der Next-Level-Zentrale ausführlich vorstellen, die seit Kurzem im Handel verfügbar ist.

homematic IP

Überblick schaffen – die Homematic IP Zentralen im Vergleich

Neben der neuen Home Control Unit bietet eQ-3 weitere Smart-Home-Zentralen an, die für unterschiedliche Anforderungen und Einsatzbereiche geschaffen wurden. Ein kleiner Überblick soll die Unterschiede deutlich machen:

1. Der Homematic IP Access Point, der in der Lage ist, bis zu 120 Funk-Produkte anzulernen und auch komplexere Automatisierungsregeln über die sichere Cloud zu verwalten, stellt dabei die bisher am häufigsten eingesetzte Basisstation dar. Durch Verwendung der Homematic IP App kann der Anwender schnell und komfortabel sein Smart Home einrichten und zusätzlich den kostenlosen Cloud-Zugang für die Nutzung aus der Ferne verwenden. Der Homematic IP Access Point ist dabei auch netzwerkseitig als WLAN-Variante, mit technischen Einschränkungen z. B. im Bereich Geräteanzahl und Advanced Routing, verfügbar.
2. Für drahtgebundene Anwendungen, damit sind Bus-gesteuerte Produkte gemeint, steht dem Anwender der Homematic IP Wired Access Point zur Verfügung. Dieser kann entweder einzeln mithilfe der Homematic IP App eingesetzt und konfiguriert werden, sofern es in der Installation ausschließlich Homematic IP Wired Produkte gibt, oder in Kombination mit einem Funk-Access-Point für Mischbetrieb von Funk- und Wired-Produkten verwendet werden.
3. Die unter den Enthusiasten der Smart-Home-Community wohl beliebteste Zentrale stellt die Homematic IP CCU3 dar. Seit nunmehr 17 Jahren – mit Entwicklung über CCU1, CCU2 bis zur aktuellen CCU3 – liefert die Smart-Home-Zentrale komplexeste und individuellste Programmiermöglichkeiten für den Anwender und erfreut sich zusätzlich dank vollständiger Offline-Funktionalität großer Beliebtheit. Aufgrund des lokalen Verbindungskonzepts ist eine Einrichtung und Bedienung per Homematic IP App nicht möglich. Vielmehr wird diese über eine webbasierte Oberfläche noch „richtig" programmiert/bedient und kann dann über Drittanbieter-Applikationen gesteuert werden. Auch ist die Einbindung von eigenen Skripten oder auch nachinstallierbaren Add-ons möglich. An der CCU3 lässt sich zudem ein Homematic IP Wired Access Point anlernen, um zusätzlich Bus-Produkte einrichten zu können. Die Verwendung der Homematic IP App ist allerdings auch dann nicht möglich, ebenso nicht der Zugriff auf die sichere eQ-3 Cloud.

Was macht die Home Control Unit anders?

Die neue Home Control Unit HmIP-HCU1 vereint das moderne und unkomplizierte Einrichtungs- und Bedienkonzept mithilfe der Homematic IP App mit den individuellen Möglichkeiten der komplex zu programmierenden CCU3. Zusammengefasst machen unter anderem die folgenden Features die Home Control Unit einzigartig:

Homematic IP App
Volle Kompatibilität der beliebten App zur Einrichtung und Bedienung der Home Control Unit – sogar für per Plug-in importierte Geräte!

Offline-Funktion
Keine Verbindung zum Cloud-Server zur Abarbeitung von Automatisierungsregeln oder anderen Komfortfunktionen! Im eigenen Netzwerk direkt ohne Umweg vom Smartphone erreichbar – für den Fernzugang kann jedoch weiterhin die kostenfreie Homematic IP Cloud verwendet werden. Zudem stellt die HCU1 ein lokales Back-up-Konzept bereit!

Plug-in-Schnittstelle
Erlaubt das Installieren von individuellen Add-ons! Dabei ist u. a. direkt mit Marktstart der Home Control Unit ein CCU3- sowie ein Philips-Hue-Plug-in verfügbar! Wie wir bereits im im Fachbeitrag in ELVjournal 4/2024 berichteten, kann mithilfe des CCU3-Plug-ins direkt eine Einbindung der Smart Home Zentrale CCU3 erfolgen. Dabei können Geräte importiert oder auch einfach nur in Form einer Gateway-Einbindung mitgesteuert werden. Das Philips-Hue-Plug-in bietet die Möglichkeit der lokalen Hue-Bridge-Einbindung, sodass keinerlei Cloud-2-Cloud-Kopplung für diesen Anwendungsfall mehr nötig ist. Ganz nebenbei entfällt dank des Kopplungsverfahrens die maximale Gerätegrenze von zehn Philips-Hue-Leuchten!

Erweiterte Programmiermöglichkeiten
Durch eine Timerfunktion lässt sich z. B. eine Verzögerung bei der Programmierung komplexerer Szenarien einrichten. So kann u. a. eine Push-Nachricht verschickt werden, wenn beliebige Fenster länger als zehn Minuten geöffnet sind. Zudem steht eine Weboberfläche namens HCUWeb für das Einrichten tiefergehender Funktionen zur Verfügung.

Erweiterte Geräte- und Datengrenzen
Herstellerseitig werden nun maximal 350 Geräte (darunter 120 Funk-Produkte) und 100 Datenpunkten für Diagramme unterstützt. Hierbei handelt es sich nicht um „harte" Grenzen, sondern vielmehr um vertriebsseitige Freigaben des Herstellers, auch im Sinne des technischen Supports.

Und es gibt noch eine Reihe weiterer Features wie das angekündigte Energiemanagement, die die Home Control Unit für Anwender zur perfekten und flexibelsten Homematic IP Zentrale für das eigene Smart Home machen.

Varianten, Form und technischer Anschluss

Der hohe Grad an Individualisierung spiegelt sich bei der HCU1 nicht nur in der Programmierung wider, sondern auch in der unauffälligen Aufstellung im eigenen Zuhause. Zur Verfügung stehen ein weiß- und ein anthrazitfarbener Gehäusetyp. Damit auch der Montageort flexibel bleibt, ist eine farblich passende Wandhalterung im Lieferumfang (Bild 1) der Home Control Unit enthalten, sodass einer Platzierung auf dem Sideboard oder der Montage z. B. neben der Elektroverteilung nichts im Wege steht. Auf der Geräteunterseite befinden sich die Anschlüsse (Bild 2) – ein LAN-Port für die Anbindung ans heimische Netzwerk, ein Spannungsversorgungseingang (5,1 V) und zwei USB-Ports für die Protokollierung. Ein USB-Stick ist bereits im Lieferumfang enthalten, sodass direkt mit dem Aufzeichnen von Messwerten und dem Erstellen von Diagrammen begonnen werden kann.

Ersteinrichtung über Homematic IP App und Kennenlernen von HCUWeb

Nach Anschluss der Spannungszufuhr startet die Home Control Unit automatisch und kann mithilfe der Homematic IP App komfortabel und schnell eingerichtet werden. Hierzu wird zunächst der auf der Unterseite aufgedruckte QR-Code über die App eingescannt und dem Installations-Wizard gefolgt. Da die HCU1 neben der LAN-Anbindung auch eine WLAN-Einbindung ins Netzwerk erlaubt, findet bei der Ersteinrichtung auch hierzu eine entsprechende Abfrage statt (Bild 3).

Bild 1: Lieferumfang der HCU1

Bild 2: Unterseite der HCU1 mit allen Anschlüssen

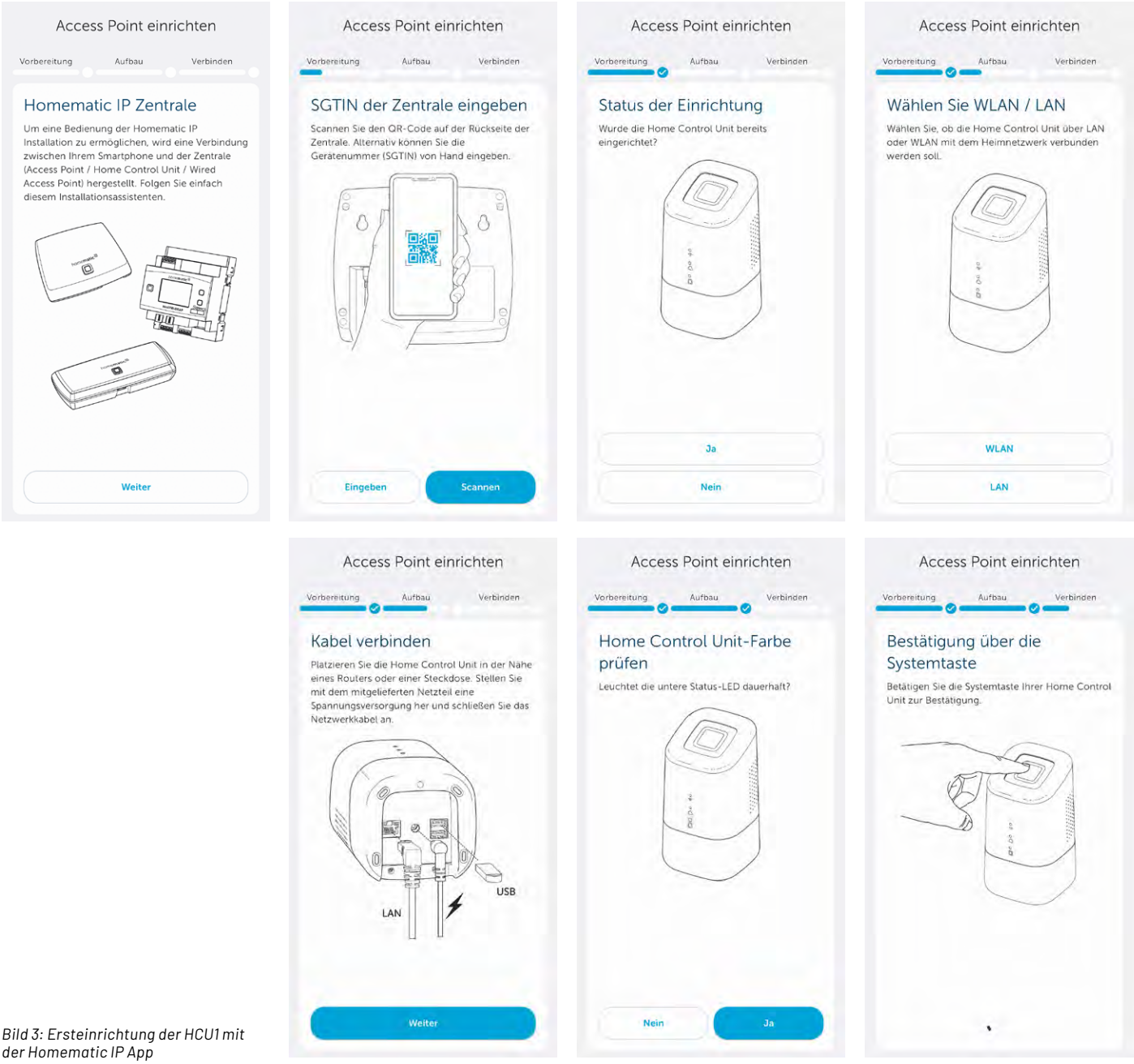


Bild 3: Ersteinrichtung der HCU1 mit der Homematic IP App

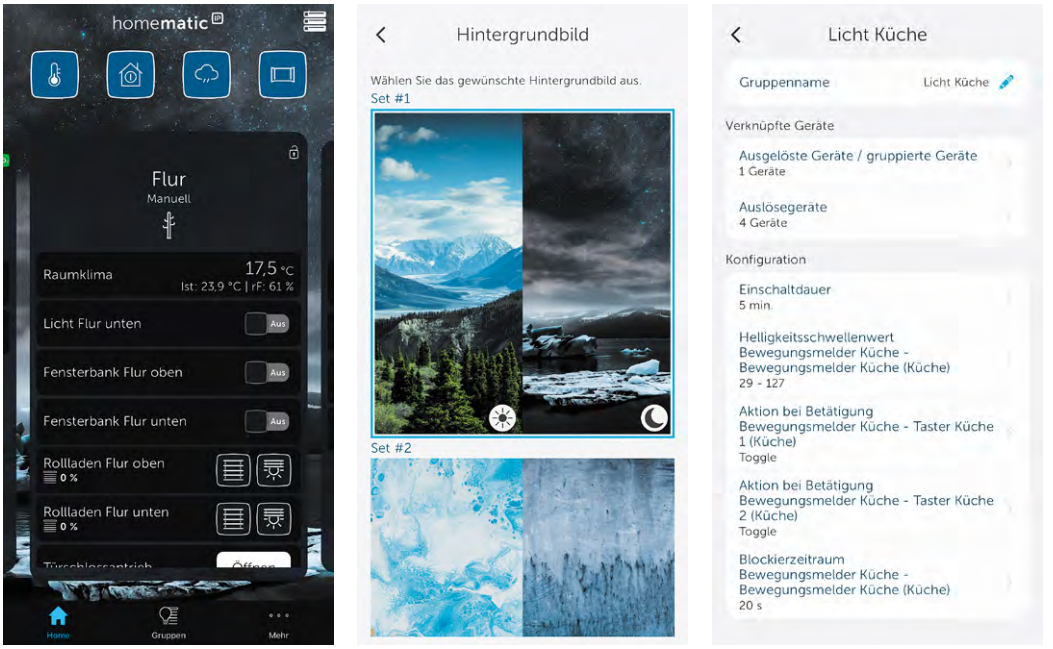


Bild 4: Neue Features der Homematic IP App: Darkmode, eigene Hintergrundbilder und Gruppenassistent

Bild 5: Neuer Parameter „Auslöseverzögerung"

Nun kann die Programmierung und Bedienung der Home Control Unit über die bekannte Oberfläche der Homematic IP App erfolgen. Hierzu ist zu erwähnen, dass neben dem Erscheinen der neuen Zentrale auch die Homematic IP App mit einem großen Update im Juli 2024 in neuem Gewand erschienen ist. Auf dem Youtube-Kanal von ELV ist dazu ein ausführliches Video zu finden.

Die neue App-Version erlaubt nun z. B. die Einbindung eigener Hintergrundbilder. Ebenso kann ein neuer Darkmode aktiviert oder auch auf einen vereinfachten Assistenten zum Erstellen von Gruppen zurückgegriffen werden (Bild 4). Zudem wurden die Home-Favoriten auf maximal 15 Geräte erweitert – klasse!

Nach diesem kleinen App-Abstecher geht es weiter mit der HCU1. Auf das Anlernen und Konfigurieren von Geräten wollen wir in diesem Artikel verzichten, da es sich weitgehend nicht von dem Vorgehen mit dem Access Point unterscheidet und in der Bedienungsanleitung ausführlich beschrieben wird. Dieses haben wir zudem in zahlreichen Artikeln und Youtube-Streams bereits behandelt.

Erwähnenswert ist jedoch, dass zukünftig bei Einsatz einer Home Control Unit in Automatisierungsregeln ein neuer Parameter zur Verfügung steht. Mithilfe der „Auslöseverzögerung" (siehe Bild 5) lassen sich noch komplexere Szenarien realisieren. Beispiele wie das verzögerte Senden von Nachrichten bei geöffneten Fenstern, die mit dem Access Point ausschließlich mit zusätzlichen Aktorausgängen als Variablenersatz möglich waren (Beispielvideo), lassen sich nun mit der Home Control Unit ganz nativ ohne zusätzliche Klimmzüge einrichten.

Neben der bereits bekannten Homematic IP App steht dem Home Control Unit Anwender noch eine weitere Konfigurationsmöglichkeit zur Verfügung, die sogenannte HCUWeb-Oberfläche. Diese lässt sich über einen beliebigen Browser auf dem PC/MAC über die Eingabe der Adresse

https://hcu1-xxxx.local/

öffnen, wobei die Zeichen „xxxx" durch die letzten Stellen der Seriennummer der eigenen HCU1 ausgetauscht werden, z. B. https://hcu1-6da1.local/.

Nach Aufruf der Oberfläche erscheint ein Anmeldefenster mit einer Passwortabfrage. Das Passwort steht auf der Unterseite der Home Control Unit und sollte gegen ein eigenes Passwort geändert werden.

Im Hauptmenü des HCUWeb finden sich die Untermenüs System, Plug-ins, Update, Netzwerk & Internet, Verbindungsmodus, USB und auch die Backup-Funktion (Bild 6). Auch eine Seitennavigation ist verfügbar, in der u. a. die Änderung des Passworts möglich ist.

Während im „System"-Menü wichtige Daten zu Speichernutzung, CPU-Auslastung, Taktfrequenz und Temperatur vorliegen (Bild 7), kann im Bereich Plugins die Installation von Zusatztools erfolgen.

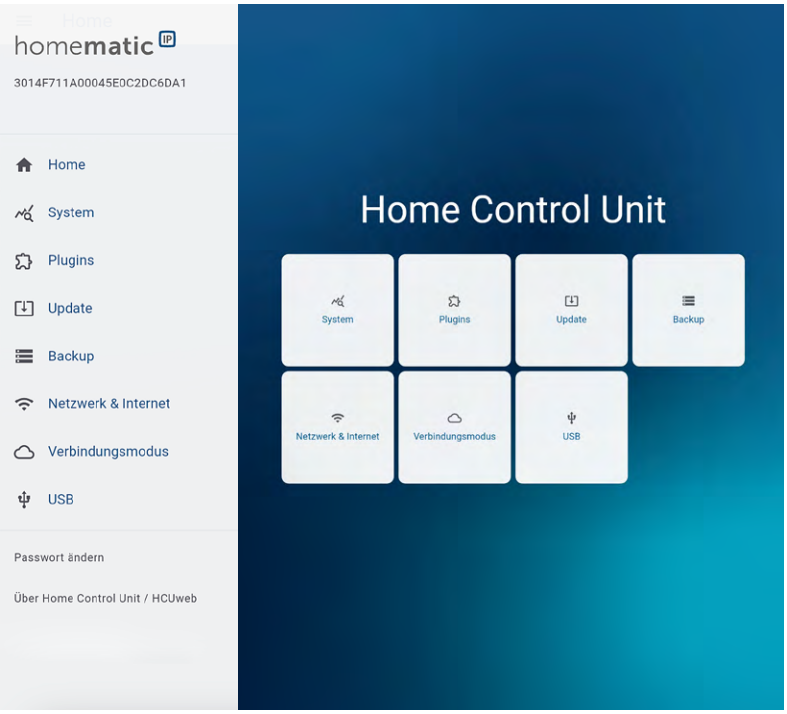


Bild 6: Hauptmenü HCUWeb inkl. Seitennavigation

Bild 7: Systembereich HCUWeb zur Hardware/Performance

Besonders die Pakete „CCU3 Homematic Gerätesupport" sowie „Philips Hue" könnten hier von großem Interesse sein.

Lokale Philips-Hue-Einbindung leicht gemacht

Neben der bereits mit dem Access Point möglichen Cloud-Kopplung „Cloud 2" von Philips-Hue-Leuchten bietet die Home Control Unit über die Plug-in-Schnittstelle die bereits von der CCU3 bekannte Möglichkeit der lokalen Einbindung einer Philips Hue Bridge. Das bedeutet, dass einerseits alle Befehle zwischen der Homematic IP App sowie der HCU1 zum Philips-Hue-System nunmehr im eigenen Netzwerk geschehen und andererseits die Anzahl der importierbaren Leuchtmittel keinem Limit unterliegt.

Bild 8 zeigt, wie die Auswahl der Philips Hue Bridge durch Eingabe der IP-Adresse geschieht und wie die Leuchtmittel im Anschluss in der Homematic IP App erscheinen. Die so importierten Geräte können vollumfänglich in Automatisierungsregeln und mit wenigen Einschränkungen in Gruppen verwendet werden.

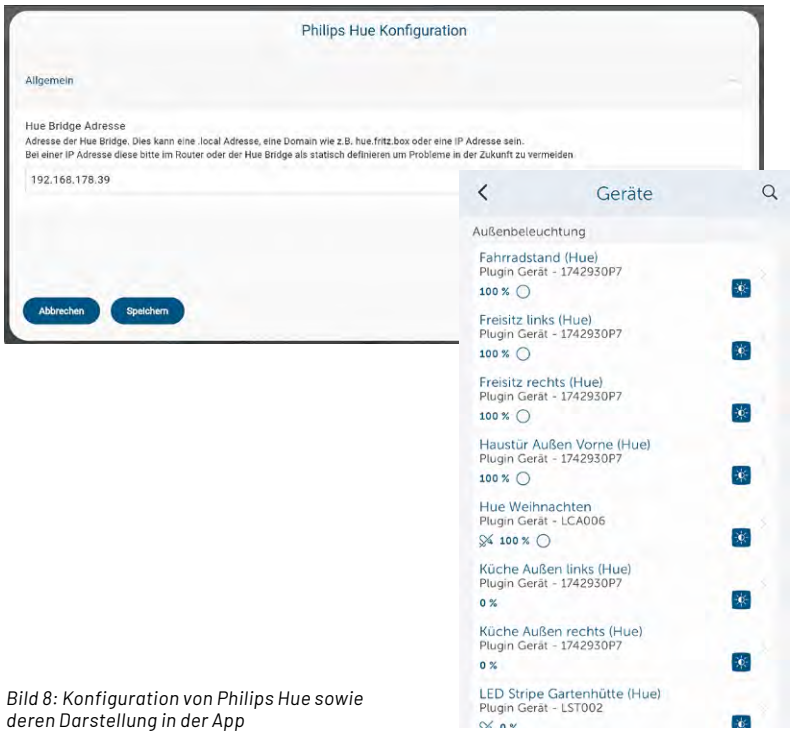


Bild 8: Konfiguration von Philips Hue sowie deren Darstellung in der App

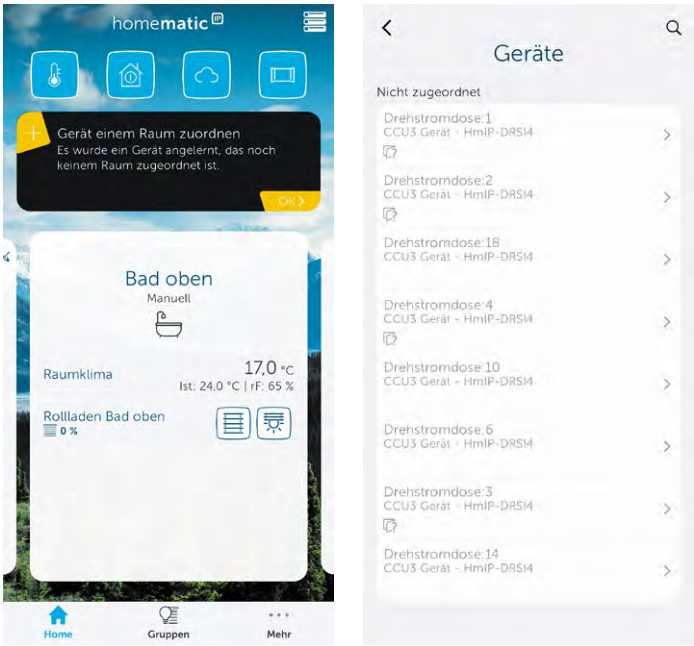


Bild 9: Darstellung von importierten CCU3-Geräten in der Homematic IP App

Kombination von HCU1, CCU3 und klassischen Homematic-Geräten – selbstverständlich!

Auch das CCU3-Plug-in bietet wertvolle Möglichkeiten für bisherige Anwender der Homematic IP CCU3. Durch Eingabe von IP-Adresse, Benutzername und Passwort der CCU3 werden alle durch das Plug-in unterstützten Geräte, separiert in Homematic und Homematic IP, zunächst angezeigt. Hier kann der Anwender nun entscheiden, ob er bei Homematic IP Geräten

- eine „Migration", also eine Übernahme des Geräts mit Ablernen der CCU3 und Anlernen an der Home Control Unit wünscht. Nach dem Ablernen wird das Gerät aus allen Programmierungen, also Zentralenverknüpfungen sowie Direktverknüpfungen, der CCU3 gelöscht, sodass eine Neuprogrammierung an der HCU1 erforderlich wird. Der Name bleibt hingegen erhalten;
- ein „Bedienen" einrichten möchte, bei dem das Gerät physisch mit der CCU3 verbunden bleibt, aber ein Bedienen und Einbinden in u. a. Automatisierungsregeln über die Homematic IP App ermöglicht wird. Programmierungen, die auf der CCU3 liegen und das Gerät beinhalten, bleiben zudem weiterhin parallel aktiv;
- das Gerät „Ignorieren" möchte, was dazu führt, dass es nicht in der Homematic IP App erscheint, wohl jedoch weiterhin der CCU3 zur internen Programmierung zur Verfügung steht.

Bei Homematic Geräten können hingegen nur die Punkte „Bedienen" und „Ignorieren" ausgewählt werden, was im Umkehrschluss bedeutet, dass die Geräte und alle dazugehörigen Programmierungen auf der CCU3 verbleiben und sich über die Homematic IP App steuern und in Automatisierungen einsetzen lassen.

Nach der Freigabe der Geräte im Plug-in erscheinen die Produkte in der Homematic IP App als neu hinzuzufügende Geräte (Bild 9). Hierbei muss ein Name gewählt werden und eine Raumzuweisung erfolgen. Für einige Geräte wie z. B. Fensterkontakte oder auch Bewegungsmelder kann zudem eine Lösungszuordnung getroffen werden. So gelangen z. B. auch über „Bedienen" importierte Fensterkontakte oder Bewegungsmelder mit im Hüll- oder auch Vollschutz der Homematic IP Installation.

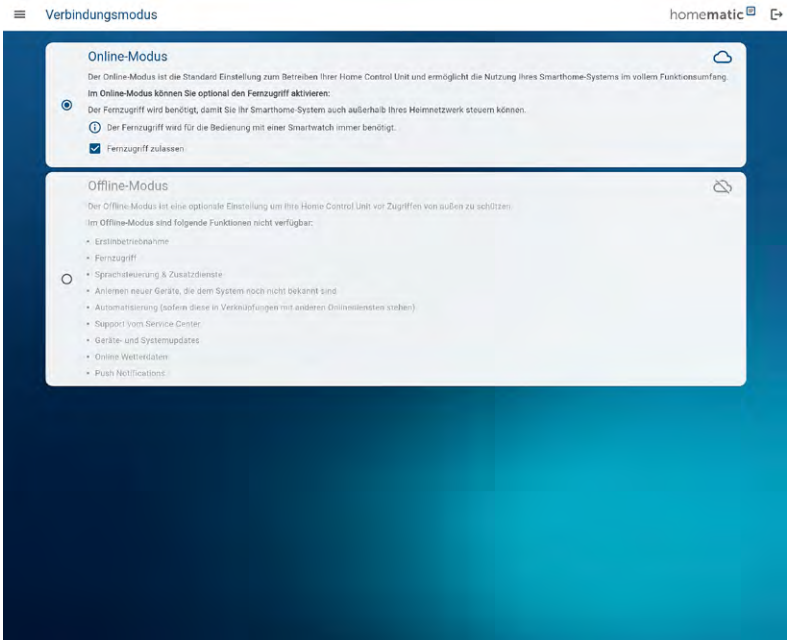


Bild 10: Auswahl des Online- oder Offline-Modus der HCU1

Online oder offline? Vorteile aus beiden Welten!

Im HCUWeb findet sich des Weiteren der Menüeintrag „Verbindungsmodus" (Bild 10). Bereits in der Standardeinstellung „Online-Modus" arbeitet die HCU1 weitgehend ohne Cloud-Verbindung. Sofern der Anwender mit seinem Smartphone und der Homematic IP App im heimischen WLAN ist, findet die Verbindung direkt per Netzwerkverbindung ganz ohne Umweg über die Homematic IP Cloud zur HCU1 statt. Ebenso laufen alle angelegten Automatisierungsregeln direkt lokal auf der Home Control Unit und erfordern keine stetige Internetverbindung. Lediglich, wenn das Smartphone das WLAN verlässt, wird eine Fernverbindung über den bereits bekannten und sicheren Cloudserver hergestellt. Berücksichtigen sollte man dabei, dass andere gekoppelte Dienste wie z. B. Amazon Alexa oder auch Google Home weiterhin eine Verbindung über die jeweilige Cloud herstellen und dementsprechend eine Internetverbindung benötigen. Sofern hingegen der Verbindungsmodus „Offline" gewählt wird, sind keine Zugriffe von außen mehr möglich. Das beinhaltet dementsprechend den Fernzugriff sowie Kopplungen zu den bereits genannten weiteren Online-Diensten. Trotz aktivierten Offline-Modus ist weiterhin der direkte Zugriff vom Smartphone über das gleiche Netzwerk z. B. im WLAN möglich.

Fazit: eine Zentrale für alles

Die Home Control Unit als vierte Basisstation im bunten „Zentralenstrauß" bietet die vielfältigen und individuellen Möglichkeiten der CCU3 ohne Kompromisse in Bezug auf Programmier- und Bedienkomfort. Durch die zukunftsträchtige Plug-in-Schnittstelle oder auch die vollständige Offline-Nutzung ergeben sich völlig neue Szenarien für den Einsatz der Home Control Unit. Damit steht auch dem komplexesten Smart-Home-Projekt nichts mehr im Wege!

ELV

Kostenlose Online-Fachseminare

Mit unseren Experten:

Torsten Boekhoff
Teamleiter ELV Technical Support Center

Thomas Wiemken
ELV Entwicklung

und unserem Gastmoderator:

Holger Arends
Homematic IP Experte

zu Themen rund um Smart Home, Homematic IP und Bausätzen

Alle Online-Fachseminare finden live auf unserem Youtube-Kanal statt:
youtube.com/@elvelektronik
Einfach kostenlos abonnieren und kein Seminar mehr verpassen!

Unsere nächsten Fachseminare:

Die neue Homematic IP Home Control Unit ist da – Next Level Smart Home!
Dienstag, 1. Oktober 2024 um 17.00 Uhr

Heizungssteuerung mit der neuen Homematic IP Home Control Unit
Mittwoch, 23. Oktober 2024 um 17.00 Uhr

Bleiben Sie stets auf dem Laufenden!
Alle Termine und bisherigen Seminare finden Sie hier.

E-Paper-Display mit vielen Möglichkeiten

Metallmutter sorgt für festen Halt auf dem Ventil

NEU

Anzeige auf E-Paper-Display

Anpassung der Raumtemperatur direkt am Gerät möglich

Leuchtende Boost-Taste an der Geräte-vorderseite für ein schnelles Aufheizen

homematic IP

Heizkörperthermostat Flex
HmIP-eTRV-F

- Für jede Einbaupostion geeignet: mit E-Paper-Display, das sich flexibel an die Montageausrichtung anpasst (0°, 90°, 180° und 270°)
- Display-Layout individuell anpassbar:
  - Reduzierter Modus mit besonders großer Temperaturanzeige
  - Funktionaler Modus mit mehr Details im Display
  - Darstellung im Dark oder Light Mode
- Flüsterbetrieb für ultraleisen Einsatz
- Eco-Modus: energiesparender Betrieb mit reduzierter Raumtemperatur z. B. für Urlaub oder Abwesenheit
- Ventilschutzfunktion zum Schutz vor Verkalkung
- Bediensperre zum Schutz vor ungewollter Bedienung – einstellbar per App, Zentrale oder direkt am Gerät

Grafischer Anlernassistent über das E-Paper-Display

Dank **Push-to-Pair** ist ein direktes Anlernen an einen Wandthermostat (HmIP-WTH-B-2), Fensterkontakt (HmIP-SWDM-2) und weiteren Heizkörperthermostat (HmIP-eTRV-B-2) ganz einfach möglich – auch ohne den Einsatz einer Smart Home Zentrale.

69,95 €

Artikel-Nr. 160230

Zum Produkt

Homematic IP Fenster-/Türkontakt mit Magnet HmIP-SWDM-2

Registriert das Öffnen und Schließen über einen Magnetkontakt, der von einem externen Magneten ausgelöst wird.

Artikel-Nr. 151363 – 29,95 €

Zum Produkt

Homematic IP Heizkörper-thermostat basic HmIP-eTRV-B-2

Der elektronische Heizkörperthermostat sorgt rund um die Uhr genau bedarfs-gerecht für Ihre Wunschtemperatur.

Artikel-Nr. 153412 – 29,95 €

Zum Produkt

Homematic IP Wandthermostat – basic HmIP-WTH-B-2

Steuert die Heizung ganz nach individuellem Bedarf und erfasst die Temperatur direkt im Raum, nicht am Heizkörper.

Artikel-Nr. 154666 – 49,95 €

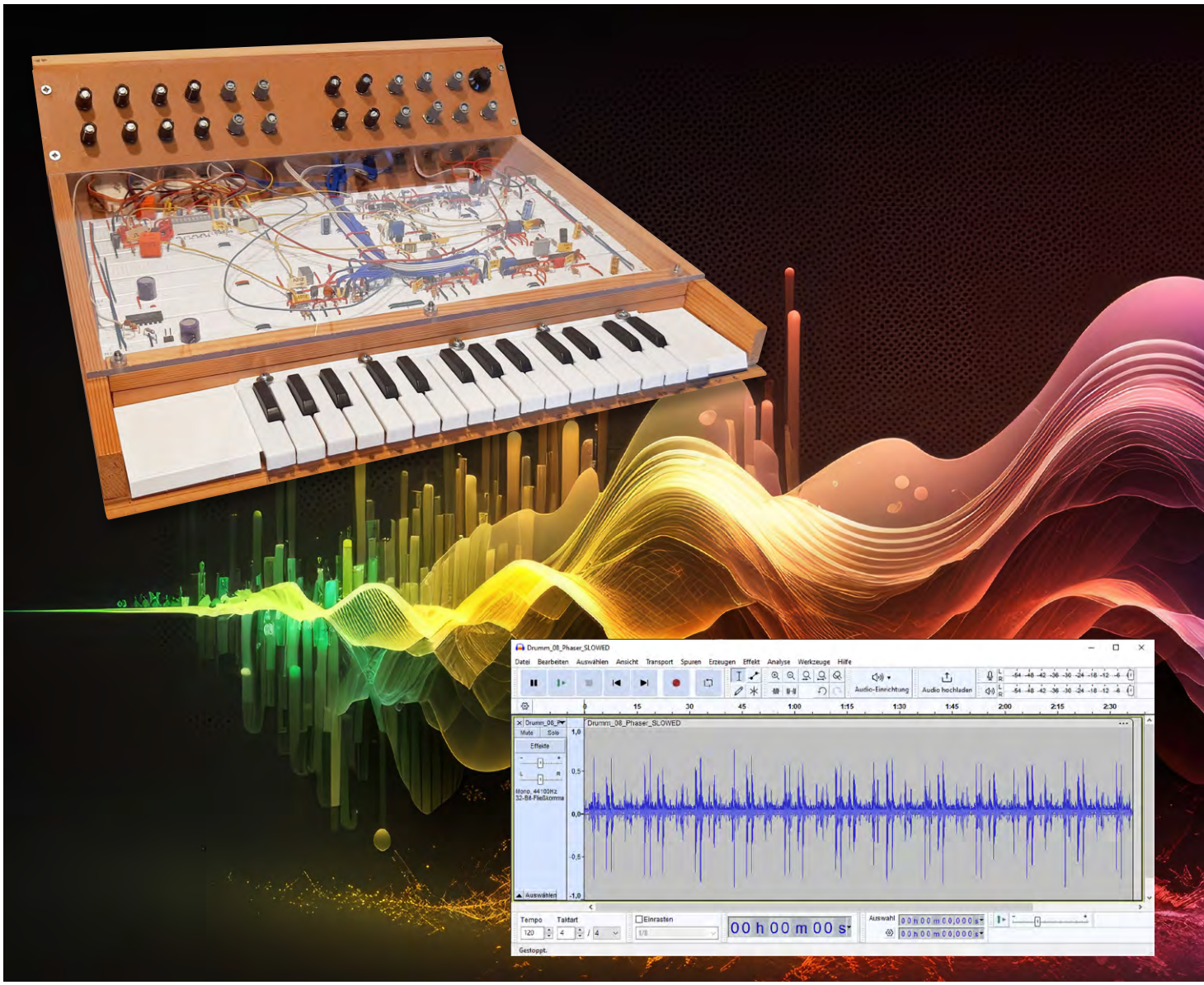
Zum Produkt

Minisynthesizer

Projekte für Elektronikeinsteiger

Teil 8

Die Geschichte des Synthesizers ist eine faszinierende Reise durch die Welt der Musiktechnik. Sie begann in den frühen 1900er-Jahren mit Experimenten zur elektrischen Klangerzeugung und -manipulation. Bereits ab 1920 baute Leon Theremin eines der ersten elektronischen Musikinstrumente. Es erzeugte gespenstische Klänge durch Bewegung der Hände in der Nähe von Antennen und hatte einen einzigartigen, bis heute unnachahmlichen Klang. In diesem Beitrag soll eine der einfachsten Versionen eines analogen Synthesizers in Form einer Miniaturorgel vorgestellt werden.



Über den Autor
Dr. Günter Spanner ist als Autor zu den Themen Elektronik, Sensortechnik und Mikrocontroller einem weiten Fachpublikum bekannt. Schwerpunkt seiner hauptberuflichen Tätigkeit für verschiedene Großkonzerne wie Siemens und ABB ist die Projektleitung im Bereich Entwicklung und Technologie-Management. Der Dozent für Physik und Elektrotechnik hat zudem zahlreiche Fachartikel und Bücher veröffentlicht sowie Kurse und Lernpakete erstellt.

Die ersten elektronischen Orgeln tauchten in den 30er-Jahren auf. Diese Instrumente erzeugten Klänge, die klassischen Pfeifenorgeln ähnelten. Sie wurden zunächst in Kirchen als kostengünstige Alternative zu großen mechanischen Orgeln eingesetzt. Dreißig Jahre später entstanden die ersten echten Synthesizer, bei denen elektronische Bauteile wie Oszillatoren, Filter und Hüllkurven in modularen Systemen zusammengeschaltet wurden. Robert Moog war ein bedeutender Name dieser Ära.

Auf die analogen Synthesizer der 70er-Jahre folgten die digitalen Varianten ab den 1980er-Jahren. Trotz der Dominanz von Software-Synthesizern im professionellen Bereich erlebt die analoge Hardware wieder einen Aufschwung, da Musiker den taktilen und oft einzigartigen Charakter analoger Synthesizer schätzen.

Erforderliches Material:

- 1 npn-Transistor, z. B Modul BC847 oder BC547
- 1 pnp-Transistor, z. B Modul BC857 oder BC557
- 8 Taster
- 9 Widerstände und 2 Kondensatoren (s. u.)
- Kleinlautsprecher (8 Ω)
- elektronisches Steckbrett

Elektronische Klangerzeugung

Für die elektronische Klangerzeugung sind verschiedenste Techniken einsetzbar. Einfache Töne können mit Oszillatoren erzeugt werden. Diese produzieren periodische elektrische Signale mit den Grundwellenformen Sinus, Rechteck, Dreieck oder Sägezahn und bilden die Basis für die Klangerzeugung. Zudem werden häufig Filter verwendet, um bestimmte Frequenzen eines Signals zu verstärken oder abzuschwächen. In der Klangerzeugung werden sie oft verwendet, um Harmonien zu formen, indem sie bestimmte Frequenzbereiche eines Oszillators modifizieren.

Hüllkurvengeneratoren dienen dazu, die zeitliche Entwicklung der Lautstärke (Amplitude) eines Klangs zu steuern. Typische Hüllkurven bestehen aus den Phasen Anstieg (Attack), Abfall (Decay), Halten (Sustain), Ausklingen (Release) und werden oft als ADSR-Hüllkurven bezeichnet.

Über verschiedene Modulationstechniken können Klänge dynamisch verändert werden. Beispiele hierfür sind Frequenzmodulation (FM), Amplitudenmodulation (AM) und Pulsweitenmodulation (PWM). Dazu kommen oft noch Effekte wie Hall, Delay, Chorus und Flanger, um Klänge zu verändern und zu veredeln, indem man zeitliche und räumliche Aspekte der Tonfrequenzen manipuliert.

Für die Erzeugung von Tönen ist ein einfacher Oszillator ausreichend. Bild 1 zeigt ein entsprechendes Beispiel. Eine Besonderheit dieses Oszillators besteht darin, dass er aus einem NPN- und einem PNP-Transistor aufgebaut ist. Zudem kann die Schwingfrequenz der Schaltung durch verschiedene Widerstände variiert werden. Werden für die Widerstände passende Werte gewählt, kann man z. B. ein C-Dur-Tonleiter erzeugen.

Tonleitern

Eine Tonleiter ist eine Folge von Tönen, die in einer bestimmten Reihenfolge angeordnet sind. Sie umfasst z. B eine Oktave. Tonleitern bilden die Grundlage für Melodien und Harmonien in der Musik. Eine Dur-Tonleiter besteht aus Tönen mit einer Struktur von Ganz- und Halbtönen in folgender Reihenfolge: Ganz, Ganz, Halb, Ganz, Ganz, Ganz, Halb.

Ein Beispiel ist die C-Dur-Tonleiter: C, D, E, F, G, A, H, C. Die Frequenzen dieser Töne sind international festgelegt:

Ton	Frequenz	Widerstand	Widerstandssumme
c′	264 Hz	100 kΩ	100 kΩ
d′	297 Hz	10 kΩ	110 kΩ
e′	330 Hz	10 kΩ	120 kΩ
f′	352 Hz	15 kΩ	135 kΩ
g′	396 Hz	22 kΩ	177 kΩ
a′	440 Hz	22 kΩ	199 kΩ
h′	494 Hz	22 kΩ	221 kΩ
c″	528 Hz	33 kΩ	254 kΩ

Eine Schwierigkeit beim Bau einer elektronischen Orgel besteht darin, dass man mit vergleichsweise wenigen, standardisierten Widerstandswerten auskommen muss. Die Werte in Bild 1 ergeben daher nur eine Annäherung an die gewünschten Tonfrequenzen. Musiker mit feinem Gehör werden sofort erkennen, dass die Tonleiter nicht ganz rein ist. Im Abschnitt „Experimente und Anregungen" finden sich einige Hinweise darauf, wie man diese Situation verbessern kann. Für den Aufbau der Schaltung ist ein größeres Steckbrett ausreichend. Bild 2 zeigt einen Vorschlag dazu.

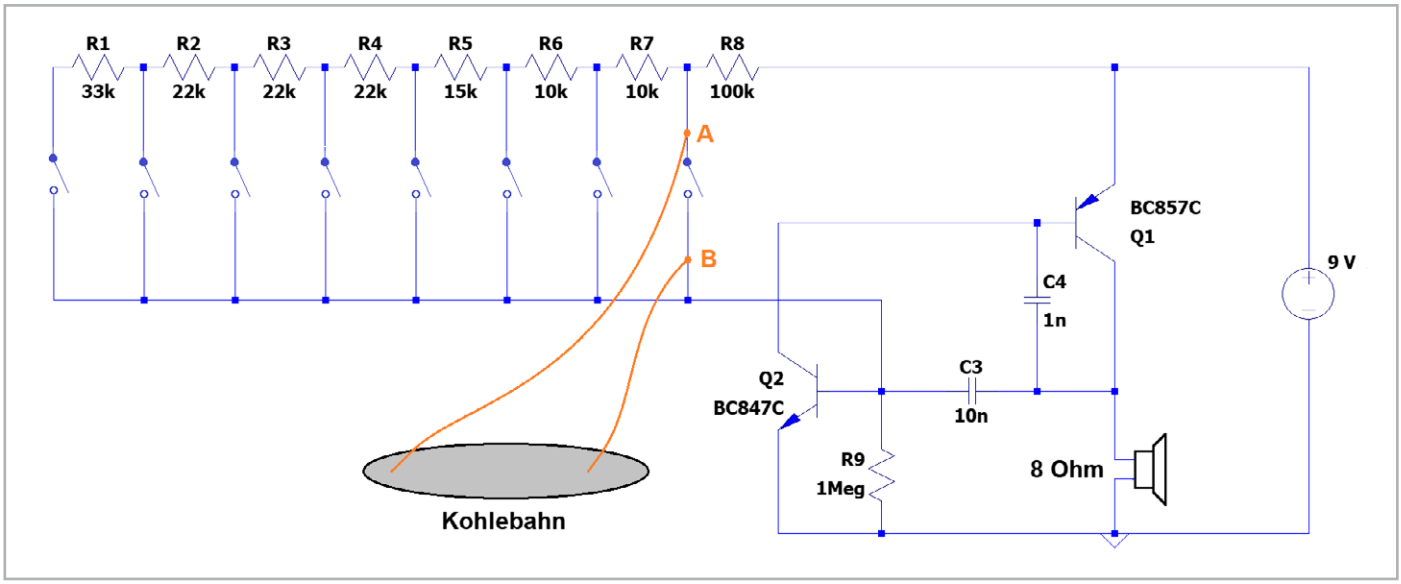


Bild 1: Schaltbild zur Miniorgel

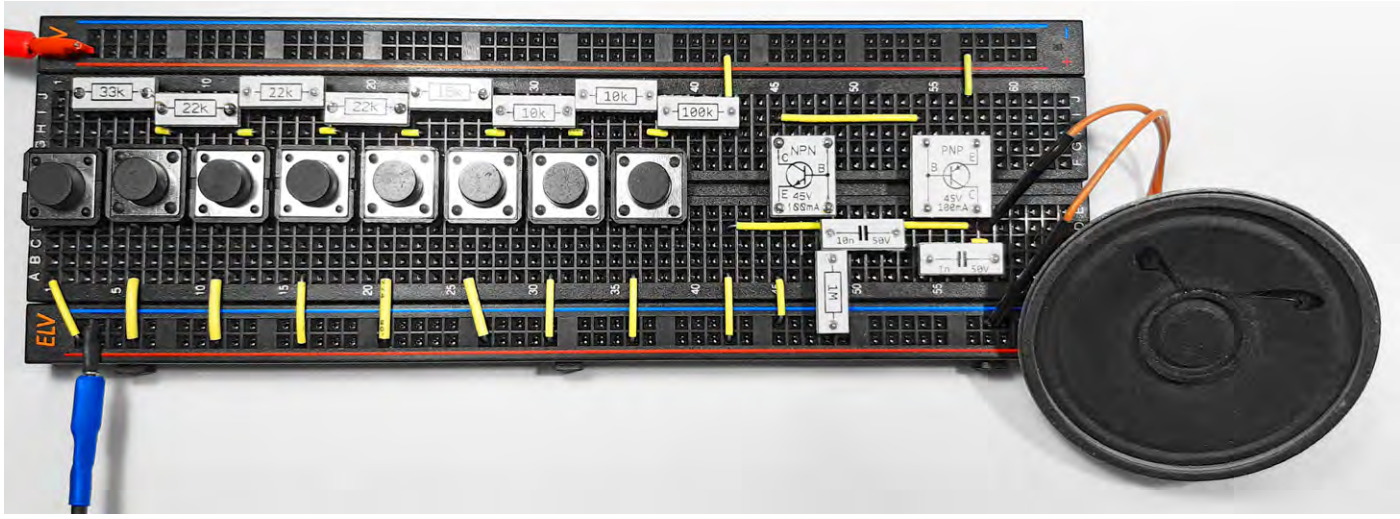


Bild 2: Aufbaubild zur Miniaturorgel

„Kohlebahnorgel" und elektrische Menschenkette

Mit der Miniorgel lässt sich nicht nur Musik machen, auch eine Reihe weiterer interessanter Experimente ist damit möglich. So können die Widerstände und Tasten durch einen dicken Bleistiftstrich ersetzt werden (Bild 3). Dazu malt man mit einem möglichst weichen Bleistift einen dicken Strich auf gutes Zeichenpapier. Der Strich darf gerne auch etwas größer und länger sein. Eine Länge von ca. 10 cm und eine Breite von einem Zentimeter sind gut geeignet. Der Bleistift muss fest aufgedrückt werden; je dunkler und schwärzer das Feld wird, desto besser. Dann wird ein Draht mit einer Büroklammer an einem Ende des Strichs befestigt. Das andere Drahtende wird mit der Schaltung (Punkt A in Bild 1) verbunden. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass der 100-kΩ-Widerstand in der Schaltung bleibt! Mit einem zweiten Draht (angeschlossen an Punkt B der Schaltung) kann das ausgemalte Feld dann an verschiedenen Stellen berührt werden. Bild 3 zeigt ein Beispiel für eine geeignete „Kohlebahn". Je nachdem, an welcher Stelle die Kohlebahn berührt wird, wird ein anderer Ton erzeugt.

Der Kohlestrich ist nichts anderes als ein elektrischer Widerstand. Auch in normalen technischen Widerständen ist ein Stück Spezialkohle enthalten. Kohle ist ein mittelmäßig guter Leiter. Ein längeres Kohlestück hat daher einen deutlich größeren Widerstand als ein kurzes. Über die Länge des in einem Widerstand enthaltenen Kohlestücks kann man also den Wert des Widerstands verändern. Beim selbst gebauten Kohlewiderstand funktioniert das genauso: Der Widerstand verändert sich mit dem Abstand, in welchem die beiden Drahtenden auf die Kohlebahn aufgesetzt werden.

Ein Vorteil dieser Variante ist, dass man die Tonhöhe nun kontinuierlich verändern kann. Man kann also die Orgel richtig stimmen und dann an den passenden Stellen die korrekten Musiknoten eintragen. Außerdem stellt diese Methode eine Möglichkeit dar, die Orgel zu betreiben, auch wenn nicht genügend Widerstände oder Taster zur Hand sind.

Ein weiteres interessantes Experiment ist die „elektrische Menschenkette": Dafür muss man lediglich die beiden Drahtenden der Kohlebahnorgel fest in die Hand nehmen. Durch den Körperwiderstand wird ein Ton mit einer bestimmten Frequenz erzeugt. Das funktioniert sogar noch, wenn zwei Menschen jeweils ein Drahtende in die Hand nehmen. Sobald sich die beiden berühren, ertönt wieder ein Signal. Auch mit drei oder mehr Teilnehmern gelingt der Versuch, wenn sich alle zu einer Kette zusammenschließen (Bild 4). Auf Partys oder Kindergeburtstagen sorgt die Schaltung meist für viel Spaß!

Warnung:
Die Orgel darf nur mit Batterien betrieben werden. Insbesondere bei der Menschenkette kommt es zu intensivem Kontakt mit der Schaltung. Bei Verwendung eines möglicherweise fehlerhaften Netzteils oder Ladegeräts besteht hier Lebensgefahr!

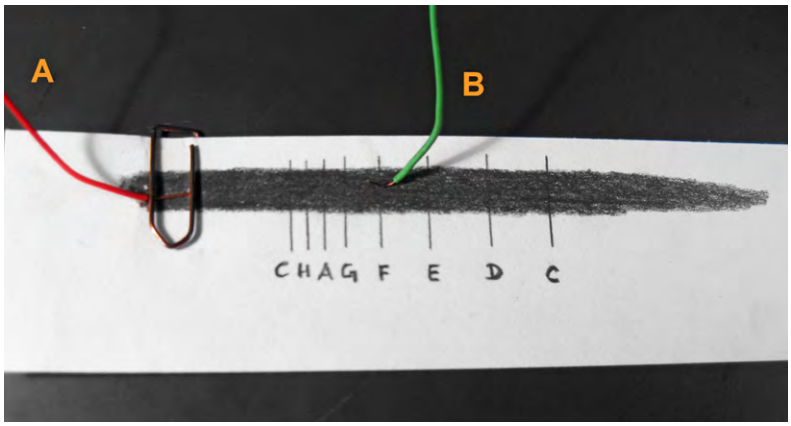


Bild 3: Bleistift-Kohlebahn

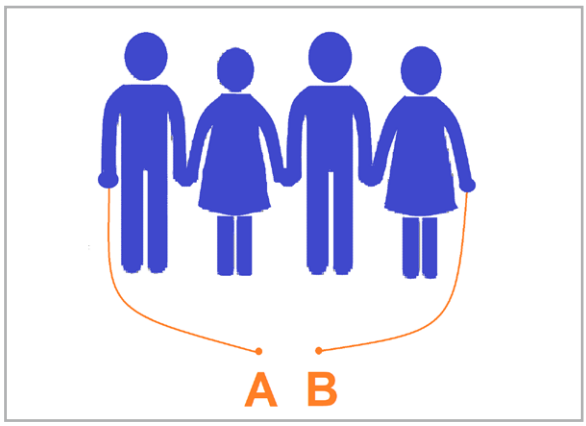


Bild 4: Elektrische Menschenkette

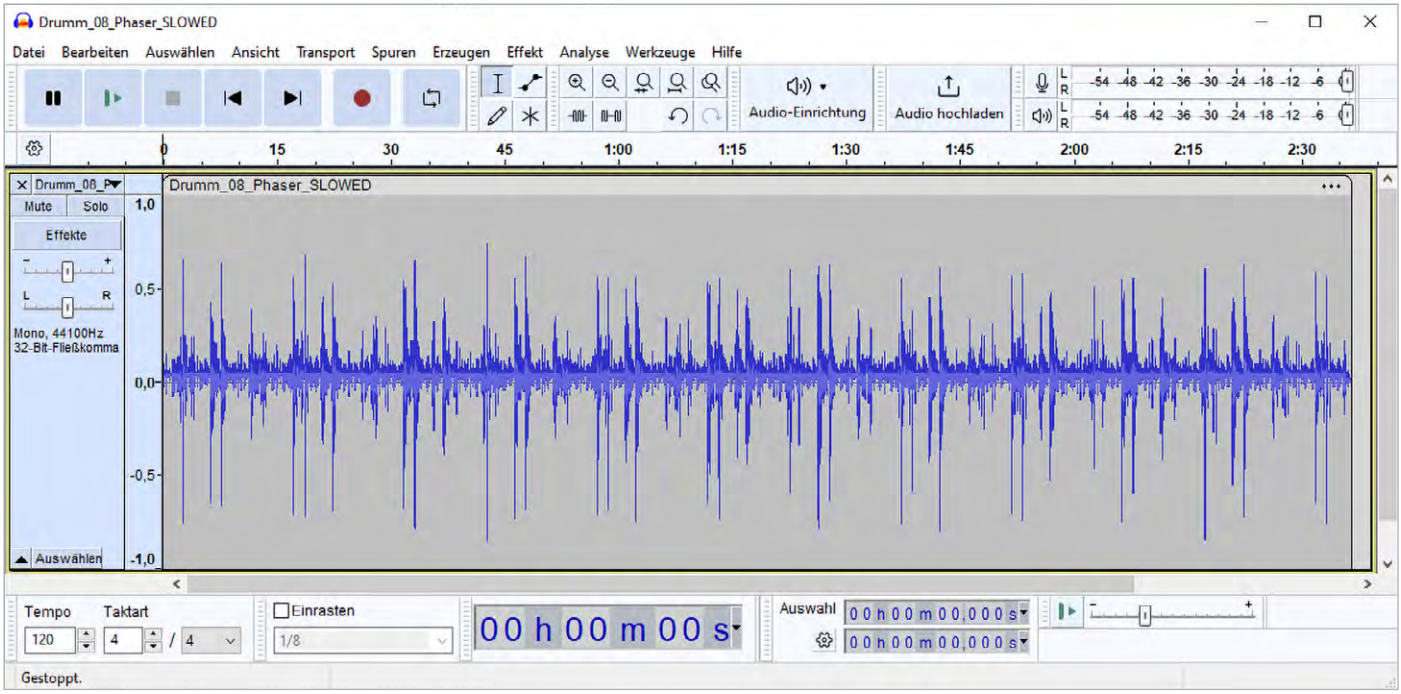


Bild 5: Hauptfenster von Audacity

Analog trifft digital

Der Klang der Miniorgel ist eher kalt und technisch. Das liegt daran, dass die Schaltung keine Sinustöne, sondern scharfe Schaltimpulse erzeugt. Diese Variante hat mit dem vollen, raumfüllenden Klang professioneller Synthesizer noch relativ wenig zu tun. Um diesen „Klangwolken" näherzukommen, ist allerdings ein erheblicher Schaltungsaufwand erforderlich. Diesen zu beschreiben würde den Rahmen der Artikelserie sprengen. In früheren Tagen füllten entsprechende klangschwere modulare Synthesizer ganze Hallen! Aber man kann mit einfacheren Mitteln auch zum Ziel kommen. Man muss hierbei allerdings den Pfad der rein analogen Klangerzeugung verlassen und einen PC zuhilfe nehmen. Mit Programmen wie Audacity kann man auch aus den einfachen Tonfolgen der Miniorgel ganz erstaunliche Effekte herausholen (Bild 5). Das Programm ist kostenlos im Internet verfügbar. Es bietet eine Fülle von Klangeffekten wie Echo, Chorus, Pitchveränderung usw.

Die durch Download verfügbaren Klangbeispiele wurden mit einem selbst gebauten Synthesizer (Bild 6) in Kombination mit Audacity erstellt. Auch dieser inzwischen recht komplexe Aufbau entstand im Laufe mehrerer Jahre aus einer einfachen Orgelschaltung gemäß Bild 1.

Bild 6: Synthesizer im Eigenbau

Ungleiche Brüder: NPN und PNP

In früheren Schaltungen dieser Artikelserie kamen ausschließlich Transistoren eines Typs vor. Es handelte sich dabei um sogenannte NPN-Transistoren, z. B vom Typ BC847 in den Modulen der PAD-Serie oder um Einzeltransistoren des Typs BC548. Neben den NPN-Transistoren gibt es jedoch auch sogenannte PNP-Typen. In der Orgelschaltung nach Bild 1 werden beide Typen eingesetzt.

Bei NPN- und PNP-Transistoren handelt es sich um zwei verschiedene Arten von Bipolartransistoren. Da sie sich in vielen Eigenschaften ergänzen, werden sie auch als komplementäres Paar bezeichnet. Ein NPN-Transistor besteht aus zwei n-dotierten Schichten, die eine p-dotierte Schicht einschließen (n-p-n). Wenn eine kleine positive Spannung an die Basis angelegt wird (relativ zum Emitter), fließt ein Strom von der Basis zum Emitter. Dies ermöglicht einen größeren Stromfluss vom Kollektor zum Emitter. Beim PNP-Transistor dagegen schließen zwei p-dotierte Schichten eine n-dotierte Schicht ein (p-n-p). Hier muss eine kleine negative Spannung (relativ zum Emitter) angelegt werden, damit ein Strom im Kollektor-Emitter-Kreis fließen kann.

Eine wichtige Anwendung von NPN- und PNP-Transistoren sind sogenannte Gegentaktverstärker. Hierbei handelt es sich um eine Schaltungstopologie, die häufig in Verstärkern verwendet wird, die sowohl positive als auch negative Halbwellen eines Eingangssignals verstärken sollen. Die Transistoren sind so angeordnet, dass sie gemeinsam das Eingangssignal verstärken. Wenn einer der Transistoren leitet, sperrt der andere und umgekehrt. Bild 7 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer solchen Verstärkerstufe. Damit diese auch perfekt arbeitet, sind jedoch noch einige Modifikationen notwendig, die in einem der folgenden Artikel näher erläutert werden.

Experimente und Anregungen

- Wie können die Tonfrequenzen der einfachen Orgel näher an die korrekten Werte der C-Dur-Tonleiter gebracht werden?
  - Hinweis: Serien- und Parallelschaltung von Widerständen
  - Helfen Potentiometer hier weiter?
- Wie verändert sich die Tonhöhe, wenn die Kondensatorwerte verändert werden?
- Die „Kohlebahnorgel" bietet ein weites Experimentierfeld. So kann man die Tonhöhe und den Tonbereich verändern z. B. durch:
  - die Strichdicke
  - die Länge der Graphitbahn
  - die Härte des verwendeten Bleistifts
  - die Befestigung der Anschlussdrähte

Ausblick

Nachdem in diesem Artikel die Grundlagen der elektronischen Tonerzeugung vorgestellt wurden, sollen im nächsten Beitrag Töne oder Schallsignale verwendet werden, um Schaltsignale zu erzeugen. Diese Methode ist also gewissermaßen die Umkehrung der hier vorgestellten Schaltung. Die Schallsignale werden von einem empfindlichen Mikrofon aufgenommen, verstärkt und dann einer elektronischen Schaltung zugeführt. Die Schaltung kann als sogenannter „Klatschschalter" eingesetzt werden, der es erlaubt, beliebige Verbraucher durch einfaches Händeklatschen ein- und auszuschalten. ELV

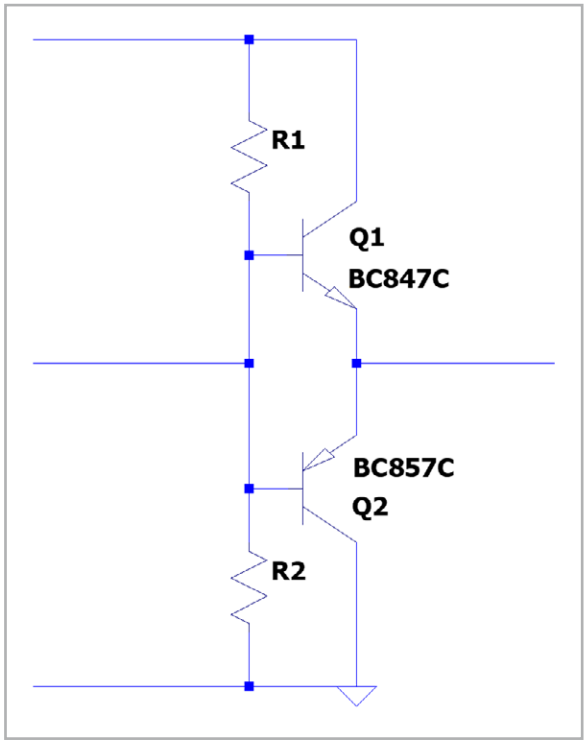


Bild 7: Gegentaktverstärker mit NPN- und PNP-Transistor

Material

Breadboard	Artikel-Nr. 251467
Transistoren, Kondensatoren und Widerstände sind im Set PAD-PRO-EXSB enthalten	Artikel-Nr. 158980
Kleinlautsprecher 50 mm, 8 Ω, 0,25~0,5 W	Artikel-Nr. 009394
Taster	Artikel-Nr. 022634

Leser fragen

Experten antworten

Sie suchen Beratung oder haben Fragen zu Ihrem ELV Projekt? Wir helfen Ihnen gerne!

Jeden Tag beantworten wir Hunderte von Fragen per E-Mail oder Telefon. Dieses Wissen stellen wir Ihnen im Internet zur Verfügung. Die wichtigsten Fragen zum Produkt finden Sie im ELVshop direkt beim Artikel.

Frage **von Herrn Peter zur Messdatenfunktion in der Homematic IP App:**
Ich bin mit der Funktion Messdaten sehr glücklich. Ein tolles Feature innerhalb der App. Jetzt habe ich erstmals die Export-Funktion benutzt und habe folgendes Problem festgestellt:
Es handelt sich um Temperaturmesswerte, die exportiert werden sollen. Ausgegeben werden die Daten als gepackte CSV-Datei. Die Daten werden durch ein Komma getrennt und können in Excel dadurch leicht getrennt werden. Der Hauptwert (die Temperatur) wird so ausgegeben: „22.4" und von Excel in „22. April" umgesetzt.
Mein Problem: Wie kann ich das in Excel korrekt in 22,4 umsetzen?

Antwort **von ELV:** Ändern Sie in Excel bitte das Dezimaltrennzeichen vom Komma auf den Punkt (unter Datei → Optionen → Erweitert → Dezimaltrennzeichen). Fortan werden dann die Messwerte nicht mehr als Datum, sondern als Zahlenwert angezeigt.

Frage **von Herrn Brandt zur Homematic IP Multi IO-Box HmIP-MIOB (Artikel-Nr. 142988):**
Ich verwende zwei HmIP-FALMOT-C12 Controller und eine HmIP-MIOB Multi IO Box. An dem Ausgang OUT (5.1/5.2/5.3) habe ich eine Umwälzpumpe angeschlossen. Kann man irgendwo eine Nachlaufzeit für diesen Ausgang der IO Box parametrieren?

Antwort **von ELV:** Die Einstellung der Pumpenvorlauf- und der Pumpennachlaufzeit ist ausschließlich in Systemen mit elektrothermischen Antrieben möglich. In Ihrem Fall wird jedoch eine sogenannte stetige Regelung mit Getriebemotoren verwendet, über welche die jeweiligen Ventile gemäß des erforderlichen Wärmebedarfs eingestellt werden. Daher ist die Einstellmöglichkeit der Pumpenvorlauf- und der Pumpennachlaufzeit in Ihrem Fall nicht möglich (und auch nicht erforderlich).

Frage **von Herrn Müller zum HmIP-BWTH Wandthermostat (Artikel-Nr. 150628):**
Wir setzen den HmIP-FALMOT-C12 Controller ein, welcher über mehrere HmIP-BWTH Wandthermostate mit Schaltausgang gesteuert wird. Früher hatte ich diese über den Access Point eingerichtet und konnte hier das Relais zum Schalten deaktivieren. Nun bin ich aus verschiedenen Gründen auf die CCU3 Zentrale umgestiegen. Ich finde jedoch nicht die Möglichkeit, das bei dem Wandthermostat im meinem Fall nicht benötigte Schaltrelais zu deaktivieren.

Antwort **von ELV:** Löschen Sie hierzu die direkte Verknüpfung zwischen den Kanälen 8 und 10 des HmIP-BWTH Wandthermostats (diese finden Sie unter „Programme und Verknüpfungen → Direkte Verknüpfungen").

Frage **von Herrn Wieczorek zur Homematic IP Rollladensteuerung:**
Die Rollos sollen immer mit dem Sonnenaufgang hochfahren auf 0 %, allerdings nicht vor 6:45 Uhr morgens und auch nicht später als 7:30 Uhr, sprich es gibt für den Sonnenaufgang zwei einzelne Punkte:

Der erste Punkt heißt „Hochfahren auf 0 % bei Sonnenaufgang, aber frühestens um 6:45 Uhr" und der zweite Punkt heißt „Hochfahren zum Sonnenaufgang auf 0 %, aber spätestens um 7:30 Uhr".
Fürs Runterfahren gibt es eine einfache Regel: Runterfahren zum Sonnenuntergang, aber +30 Minuten. Dieses funktioniert auch. Das Hochfahren klappt aber nicht, die Rollos fahren pünktlich mit dem Sonnenaufgang (derzeit um 6:21 Uhr) hoch – viel zu früh.

Antwort **von ELV:** Die Funktionen „Frühestens" oder „Spätestens" lassen sich nicht kombinieren. Es lässt sich nur eine von beiden verwenden. Folgende alternative Lösung können wir Ihnen anbieten:

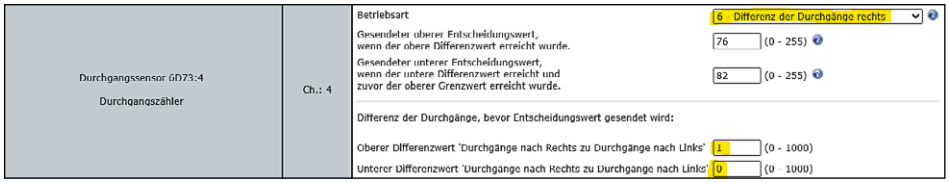
1. Automatisierung:
Auslöser: Sonnenaufgang
Zusatzbedingung: zwischen 6:45 und 7:30 Uhr
Aktion: Rollladen hochfahren

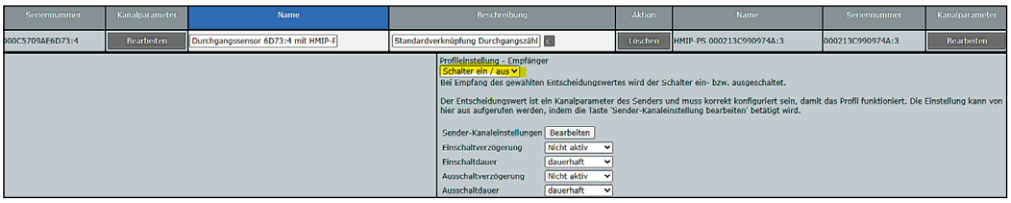
2. Zeitprofil:
um 7:30 Uhr den Rollladen hochfahren

Durch die Kombination von Zeitprofil und Automatisierung wird sichergestellt, dass der Rollladen nicht früher als 6:45 Uhr und nicht später als 7:30 Uhr hochfährt.

Frage **von Herrn Schmalzl zum Homematic IP Durchgangssensors HmIP-SPDR (Artikel-Nr. 151159):**
Für mein Badezimmer habe ich den Durchgangssensor (HmIP-SPDR) erworben, um das Licht über einen Unterputzschaltaktor (HmIP-BSM) abhängig von der Personenanzahl zu schalten. Der SPDR ist so angebracht, dass die Bewegung von links nach rechts in das Bad führt, also Licht eingeschaltet werden soll. Leider ist mir dies über Direktverknüpfung bislang nicht gelungen und ich bitte um Unterstützung für diesen Fall.

Antwort **von ELV:** Die gewünschte Funktion lässt sich anhand der folgenden Screenshots der Einstellungen des Durchgangssensors und der Verknüpfung realisieren:





Hinweis: Aufgrund einer bereits vor einiger Zeit getätigten Überarbeitung des HmIP-SPDR Durchgangssensors steht der Punkt „Entscheidungswert Durchgang" nur in der Betriebsart 2 = „Durchgangszählung beide Richtungen" zur Verfügung. Unser entsprechender Expertentipp aus dem ELVjournal 4-2018 ist somit nicht mehr gültig.

Technische Fragen?

Sie erreichen uns **montags bis donnerstags von 9.00–16.30 Uhr** und **freitags von 9.00–15.00 Uhr** (werktags). Halten Sie bitte Ihre ELV Kundennummer (wenn vorhanden) bereit.

0491/6008-88

technik@elv.com

Python & MicroPython: Programmieren lernen für Einsteiger

Erfassung analoger Werte

Teil 5

Einer der wesentlichen Nachteile des Raspberry Pi gegenüber vielen Mikrocontrollern wie dem Arduino oder dem ESP32 ist, dass der Pi nicht über analoge Eingänge verfügt. Die reale Welt ist aber analog. Bei Sonnenaufgängen wird es allmählich hell. Lufttemperaturen ändern sich stetig und nicht sprunghaft. Um also Umweltparameter exakt erfassen zu können, ist das Messen analoger Werte erforderlich. Auch bei dieser Aufgabe zeigt Python seine universelle Funktionalität. So ist es mit speziellen Verfahren möglich, ein Python-Programm zu erstellen, das analoge Werte erfassen kann, ohne dass dazu zusätzliche Hardware erforderlich wäre. Will man allerdings Messwerte mit hoher Präzision erfassen, kommt man um einen Analog-Digital-Konverter nicht herum. Der MCP3002 leistet hier gute Dienste.

In diesem Beitrag werden wir die Erfassung analoger Messwerte ausführlich in den folgenden Themen behandeln:

- Erfassung von Spannungspegeln über Zeitmessung
- Einsatz eines Analog-Digital-Konverters zur präzisen Erfassung analoger Messwerte
- grafische Darstellung von Spannungspegeln in der Thonny Shell
- Aufbau und Test eines computergesteuerten Digitalvoltmeters mit Python

Damit werden dann auch Anweisungen und Befehle klar, die in früheren Beispielen bereits erforderlich waren, aber noch nicht im Detail diskutiert wurden.

Für Minimalisten: Spannungspegel über Zeitmessung erfassen

Mithilfe der digitalen Port-Pins lassen sich bereits mit minimalem zusätzlichen Hardware-Aufwand einfache Messaufgaben erledigen. Im Folgenden wird ein Python-Programm vorgestellt, das eine einfache Temperaturmessung ausführt, ohne dass dafür ein spezieller Analog-Digital-Konverter (ADC) erforderlich wäre.

Dazu kommt ein temperaturabhängiger Widerstand zum Einsatz. Dieser sogenannte NTC 10k hat bei 25 °C einen Widerstandswert von 10 kΩ. Bei höheren Temperaturen nimmt dieser Widerstand ab, bei geringeren zu.

Für das Laden bzw. Entladen eines Kondensators über diesen Widerstand werden also je nach Umgebungstemperatur unterschiedliche Zeiten benötigt. Diese Zeiten kann der Raspberry Pi problemlos und exakt messen. Ein passender Hardware-Aufbau ist in Bild 1 dargestellt. Als Bauelemente können entweder Einzelkomponenten (wie in Bild 1) oder Module aus den PAD-Sets (s. Kasten Material) verwendet werden (Bild 2).

WICHTIG: Damit der Raspberry keinen Schaden nimmt, sollte der Kondensator immer entladen werden, bevor er in die Schaltung eingesetzt wird. Das kann erreicht werden, indem man die beiden Anschlüsse des Elkos kurzzeitig miteinander verbindet.

Im zugehörigen Python-Programm wird ein Pin als Output deklariert und auf HIGH, d. h. auf 3,3 V geschaltet. Dann wird der Kondensator geladen. Sobald eine bestimmte Ladespannung erreicht wird, erkennt ein als Eingang definierter Pin ebenfalls einen HIGH-Pegel. Die Zeit bis zum Erreichen dieses Pegels wird gemessen und dient als Maß für die Temperatur.

Über zwei Parameter – `cal` und `offset` – wird aus der gemessenen Zeit eine Temperatur errechnet. Falls die angezeigte Temperatur nicht mit der wirklichen Umgebungstemperatur übereinstimmt, kann man die beiden Parameter entsprechend anpassen.

Der NTC-Thermistor und der Kondensator bilden ein RC-Glied (Widerstand-Kondensator-Netzwerk). Die Entladezeit des Kondensators hängt vom Widerstand des NTC-Thermistors ab, der wiederum temperaturabhängig ist. Durch Messen der Entladezeit kann auf die Temperatur geschlossen werden, da der Widerstand des NTC-Thermistors mit der Temperatur variiert.

Der Kalibrierungsfaktor und der Offset müssen experimentell bestimmt werden, um genaue Temperaturwerte zu erhalten (s. u.). Die vorgegebenen Werte sollten aber einen brauchbaren Startwert liefern.

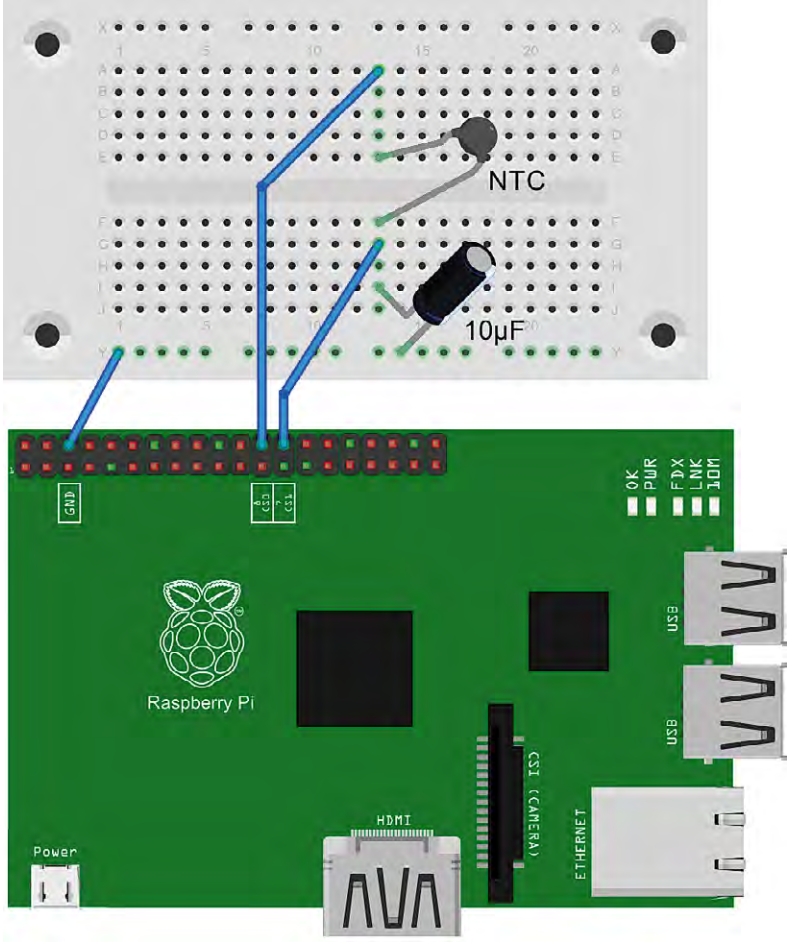


Bild 1: Temperaturmessung ohne ADC

Bild 2: Aufbau Bild 1 mit PAD-Set

Dieses Programm (NTC_RC.py) nutzt also eine Zeitmessung, um die analoge Spannung an einem Kondensator zu überwachen und daraus eine Temperatur abzuleiten.

```
# Pin Config: activePort-NTC 10k-readoutPort-10uF-GND

import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)

activePort = 8
readoutPort = 7
cal = 1000.0
offset = 100.0

GPIO.setup(activePort, GPIO.OUT)
GPIO.setup(readoutPort, GPIO.IN)

while(True):
 GPIO.output(activePort, 1)
 time.sleep(1)
 GPIO.output(activePort, 0)
 tStart = time.time()
 while GPIO.input(readoutPort) > 0:
   pass
 tStop = time.time()
 T = int (offset-((tStop-tStart)*cal))
 print(T)
 time.sleep(1)
```

Im Programm wird zunächst die Pin-Konfiguration festgelegt:
activePort (Pin 8):
Dieser Pin wird verwendet, um den Kondensator aufzuladen.
readoutPort (Pin 7):
Dieser Pin misst den Spannungspegel am Kondensator

Die Variablen **cal** und **offset** dienen als Kalibrierfaktoren:
`cal` sorgt für die Umrechnung der gemessenen Zeit in eine Temperatur, `offset` dient zur Anpassung des Temperaturstartpunkts. Im Setup werden zunächst GPIO-Warnungen unterdrückt. Dann wird der GPIO-Modus auf BCM (Broadcom Channels) gesetzt. Im Pin-Setup wird über `GPIO.setup(activePort, GPIO.OUT)` der „activePort" als Ausgang festgelegt. Über `GPIO.setup(readoutPort, GPIO.IN)` wird der `readoutPort` als Eingang definiert.

In der Hauptschleife wird der Kondensator aufgeladen, indem `activePort` auf HIGH gesetzt wird. Mit `time.sleep(1)` wird eine Sekunde gewartet, damit der Kondensator sicher vollständig aufgeladen wird.

Dann wird der `activePort` auf LOW geschaltet, um das Entladen des Kondensators zu starten. Die Anweisung `tStart = time.time()` speichert den aktuellen Zeitpunkt als Startzeit. Die Anweisung

```
while GPIO.input(readoutPort) > 0
```

wartet, bis der Spannungspegel am `readoutPort` auf LOW fällt. Dies ist der Fall, wenn der Kondensator weitgehend entladen ist. Die Variable

```
tStop = time.time()
```

speichert diesen Zeitpunkt als Stoppzeit.
Dann wird über

```
T = int(offset - ((tStop - tStart) * cal))
```

die Temperatur basierend auf der Zeit, die der Kondensator zum Entladen benötigt hat, berechnet und über `print(T)` ausgegeben. Mit `time.sleep(1)` wird eine Sekunde bis zur nächsten Messung gewartet.

Bild 3 zeigt den Signalverlauf an den beiden Pins.

Mit den voreingestellten Parametern wird zunächst ein Wert ausgegeben, der meist relativ stark von der tatsächlichen Umgebungstemperatur abweicht.

Man sollte zunächst den Offset-Parameter verändern, um die aktuelle Temperatur (z. B. von einem Vergleichsthermometer) einzustellen. Dann wird der Sensor erwärmt, z. B. durch vorsichtiges Anblasen mit einem Fön. Ist die Temperatur am Vergleichsthermometer um ca. 10 °C angestiegen, sollte auch die Temperaturanzeige des NTC-Thermometers

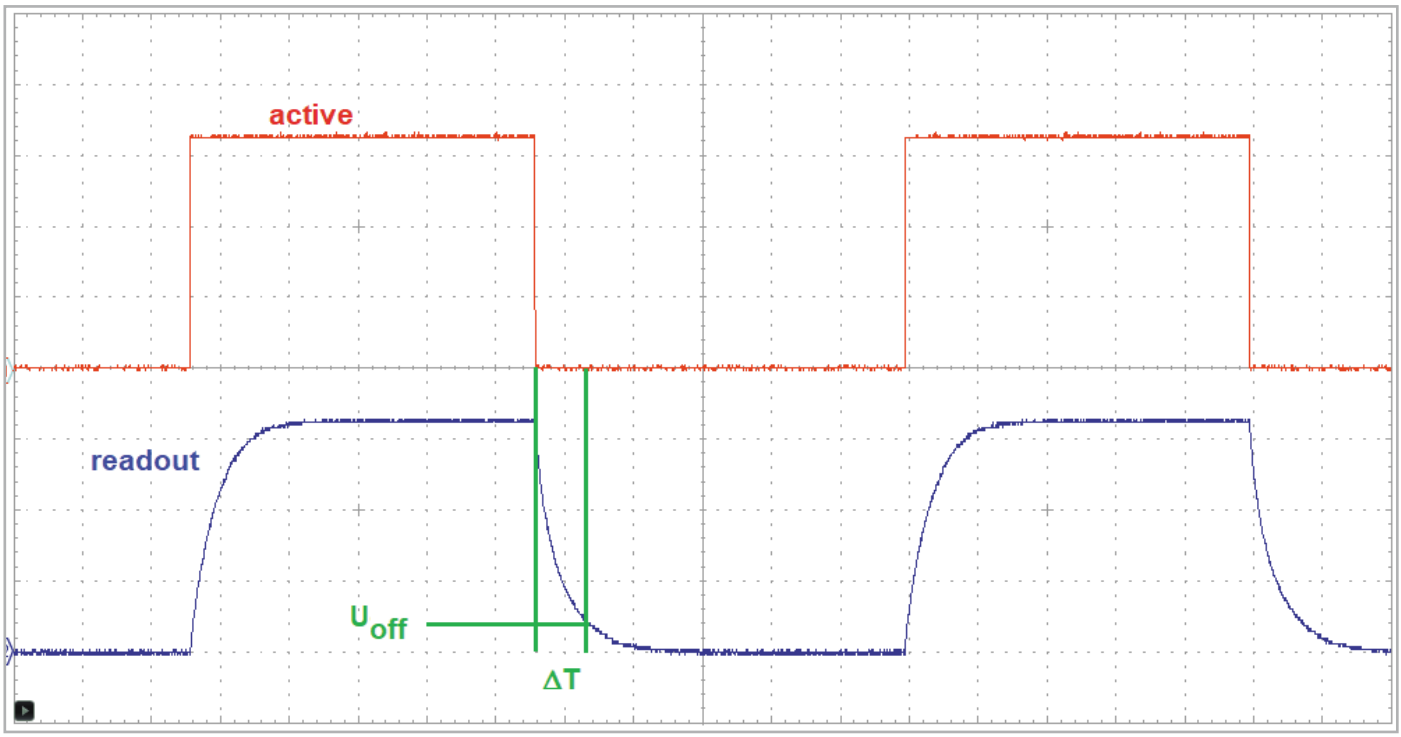


Bild 3: Signalverlauf an den Ports

höher liegen. Vorhandene Unterschiede kann man nun mit dem cal-Parameter korrigieren. Gegebenenfalls muss nun auch der Offset nochmals nachgestellt werden. Dieses Verfahren wird als iterative Kalibrierung bezeichnet.

Mathematisch versierte Anwender können `cal` und `offset` auch berechnen. Hierfür werden zwei feste Temperaturniveaus benötigt, z. B. Eiswasser (0 °C) und kochendes Wasser (100 °C). Dann werden die Anzeigewerte des NTC-Thermometers bei beiden Werten gemessen. Nun kann man zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten aufstellen, deren Lösung die Werte `cal` und `offset` liefern.

Präzise Erfassung analoger Messwerte

Wie in den letzten Abschnitten gezeigt wurde, kann man zwar mit einigen Tricks auch mit GPIO-Ports direkt analoge Werte erfassen. Allerdings ist das meist nur eine Notlösung. Für präzise Messungen sind andere Verfahren erforderlich.

Will man analoge Spannungswerte zuverlässig und präzise messen, ist der Einsatz eines Analog-Digital-Converters (ADC) das Mittel der Wahl. ADCs werden über spezielle Bus-Systeme mit einem Prozessor oder Controller verbunden. Auch beim Raspberry Pi verfügen einige der GPIO-Pins über eine alternative Funktionalität. Diese ermöglicht es, z. B. über einen I2C-Bus oder über SPI mit externen Komponenten zu kommunizieren.

Viele ADCs werden über einen SPI-Bus gesteuert. Deshalb soll diese Variante im folgenden Abschnitt näher betrachtet werden.

Der ADC am SPI-Bus

Die Abkürzung SPI steht für Serial Peripherial Interface. Damit wird ein ursprünglich von der Firma Motorola entwickeltes Bus-System bezeichnet, das es erlaubt, Daten zwischen integrierten Schaltkreisen

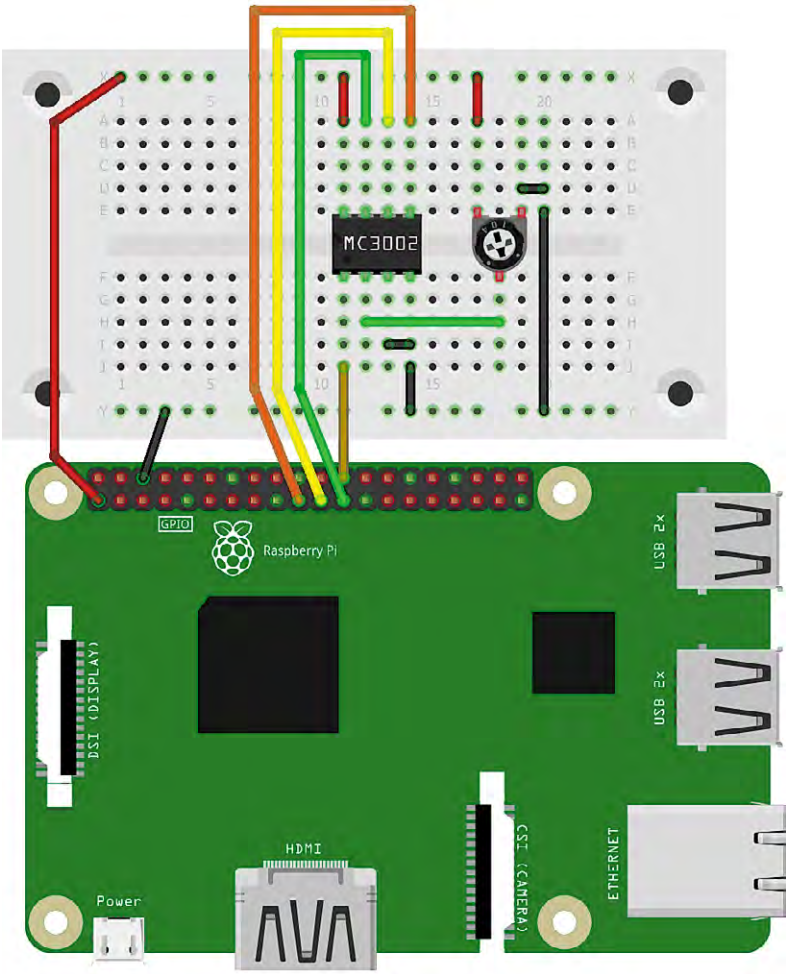


Bild 5: Schaltbild zum MCP3002 am Raspberry Pi

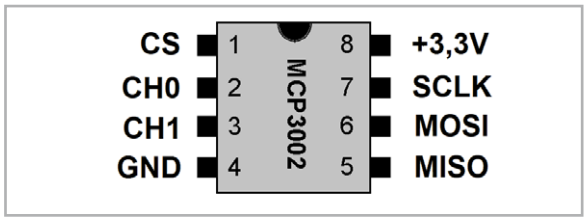


Bild 4: Der AD-Wandler MCP3002 verfügt über ein SPI-Interface.

auszutauschen. Ein Entwicklungsziel des Bus-Systems war, mit möglichst wenigen Leitungen auszukommen. Beim SPI-Bus werden die einzelnen Bausteine über ein Master-Slave-Prinzip miteinander verbunden.

Der Bus verfügt über vier Leitungen, die vom Master zum Slave oder auch zu mehreren Slaves führen. Der bekannte und preisgünstige Analog-Digital-Konverter DC MCP3002 wird über die SPI-Schnittstelle mit dem Raspberry Pi verbunden. Dieser integrierte Baustein verfügt über zwei unabhängig voneinander arbeitende Eingänge, CH0 und CH1. Die Auflösung beträgt zehn Bit. Die gesamte Funktionalität des Bausteins wird über die vier Leitungen des SPI-Busses gesteuert.

Für die Kommunikation auf dem SPI-Bus müssen Daten in beide Richtungen fließen. Also sowohl vom Master zum Slave als auch umgekehrt. Dieser Datenaustausch erfolgt über zwei getrennte Leitungen:

- MOSI (Master-Out-Slave-In)
- MISO (Master-In-Slave-Out)

Für jede Datenrichtung wird jeweils eine Leitung verwendet. Zusätzlich wird noch eine

- SCLK-Leitung (Serial-Clock)

verwendet, die den Bustakt liefert.

Die Auswahl der am Bus angeschlossenen Komponenten (Slaves) erfolgt über die

- CS-Leitung (Chip-Select).

Bild 4 zeigt einen AD-Wandler-Baustein mit SPI-Interface. Der IC verfügt über die folgenden Pins:

MC 3002	Funktion	Verbinden mit RasPi Pin
Pin 1	Chip-Select, LOW-Aktiv	GPIO 10 - CE0
Pin 2	CH0: Analog-Kanal 0	-
Pin 3	CH1: Analog-Kanal 1	-
Pin 4	Vss (GND)	GND
Pin 5	MOSI (Din)	GPIO 12 - MOSI
Pin 6	MISO (Dout)	GPIO 13 - MISO
Pin 7	CLK (Serial Clock)	GPIO 14 - SCLK
Pin 8	VDD/VREF Spannungsversorgung 3,3 V	3V3

Da der MCP3002 in einem 8-poligen DIL-Gehäuse untergebracht ist, kann er leicht in ein Breadboard eingebaut werden (s. Bild 5).

Der ADC-Wandler MCP3002

Aufgrund seines kompakten Gehäuses und des SPI-Interfaces kann der MC3002 sehr einfach mit dem Raspberry Pi verbunden werden. Bild 5 und Bild 6 zeigen das Schaltbild und den Aufbau dazu.

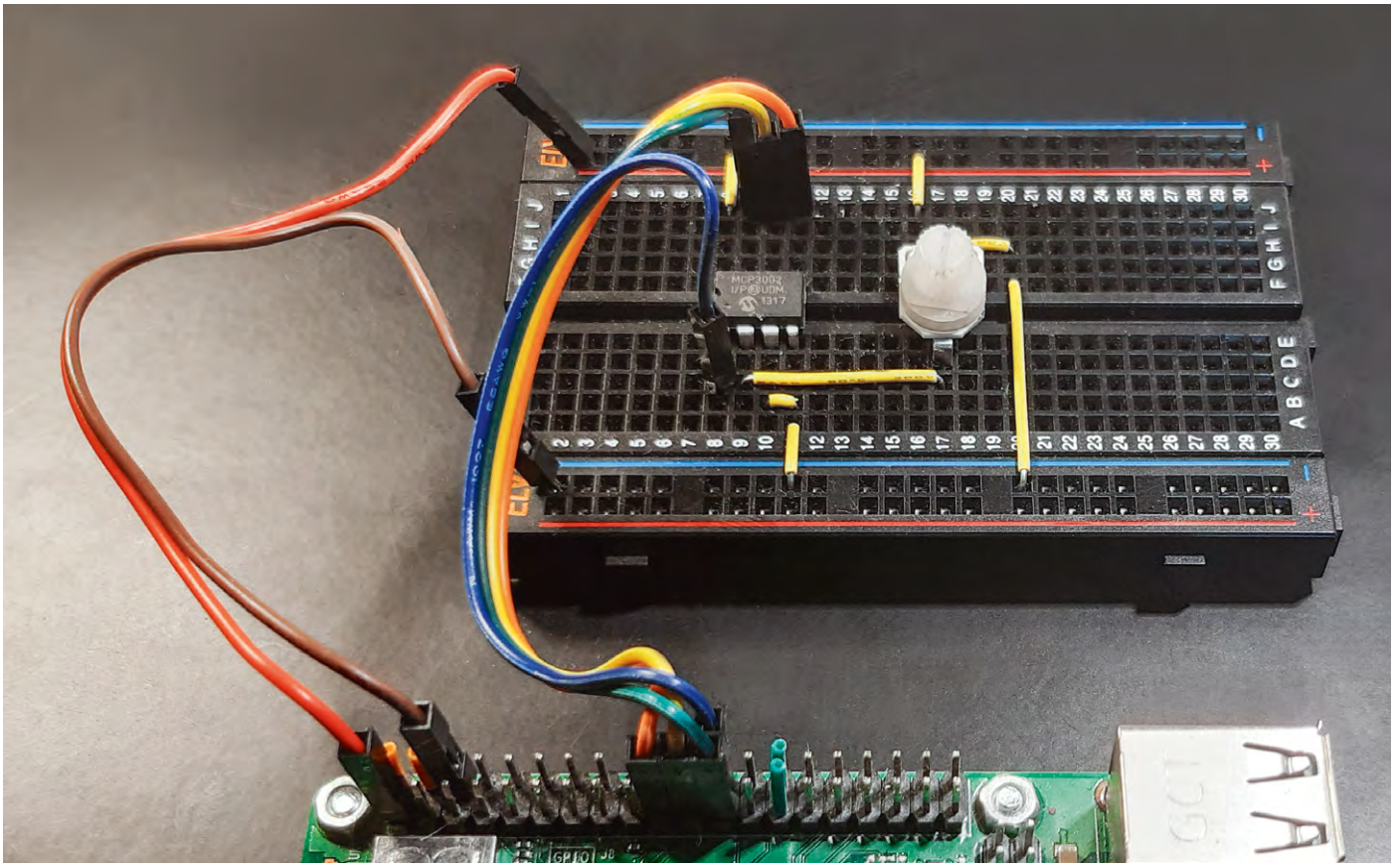


Bild 6: Aufbaubild zur Erfassung von Analogwerten mit dem MCP3002

Die Kommunikation mit dem Chip findet über die beiden Leitungen MISO (Dout) und MSO (Din) statt. Die analogen Eingänge liegen auf Pin 2 und Pin 3 und führen die Bezeichnung CH0 und CH1.

Der Pin VDD/VREF wird mit 3,3 V versorgt, sodass Eingangsspannungen von 0 V bis 3,3 V direkt gemessen werden können. Für höhere Spannungspegel sind geeignete Spannungsteiler vorzuschalten (s. u.).

Die Auflösung des MCP3002 beträgt 10 Bit. Damit können

$2^{10} = 1024$

verschiedene Spannungswerte erfasst werden. Der Wertebereich der Digitalausgabe beträgt also

$0 \ldots 2^{10} - 1 = 0 \ldots 1023$

Bei einer Versorgungs- bzw. Referenzspannung von 3,3 V sind somit prinzipiell Spannungsänderungen von 3,22 mV messbar.

Inbetriebnahme des MCP3002

Um den MCP3002 in Betrieb nehmen zu können, muss zuerst ein SPI-Treiber importiert werden, damit die Kommunikation über den SPI-Bus ermöglicht wird.

Für die Installation von spidev (SPI devices) sind die folgenden Schritte im Terminal erforderlich:

```
sudo apt-get install python-setuptools
sudo apt-get install python-dev
sudo apt-get install git git clone git://github.com/doceme/py-spidev
cd py-spidev/
sudo python setup.py install
```

Danach muss zudem die config.txt Datei aktualisiert werden:

```
sudo nano /boot/config.txt
```

Am Ende der Datei ist die Zeile

```
dtparam=spi=on
```

einzufügen.

Damit ist der Raspberry Pi bereit, über den SPI-Bus zu kommunizieren. Das Python-Programm zur Ansteuerung des MC3002 sieht wie folgt aus (MCP3002_ADC.py):

```
import time, spidev

spi = spidev.SpiDev(0, 0)  # device 0, channel 0
spi.max_speed_hz = 1200000

def read_adc(adc_ch, vref = 3.3):
    msg = 0b11
    reply = spi.xfer2([(msg << 1) + adc_ch << 5, 0b0000000])
    adc = 0
    for n in reply:
        adc = (adc << 8) + n
    adc = adc >> 1
    voltage = (vref * adc) / 1024
    return voltage

print("MCP3002")
print("==============================\n")

while True:
    print("Ch 0:", round(read_adc(0), 2), "V \t Ch 1:",
round(read_adc(1), 2), "V")
    time.sleep(0.2)
```

Das Python-Programm liest die analogen Spannungswerte beider Kanäle des MCP3002 über die SPI-Schnittstelle aus und zeigt diese auf der Konsole an. Dabei wird die Python-Bibliothek spidev verwendet, um mit dem ADC über SPI zu kommunizieren. Die notwendigen Bibliotheken werden in der ersten Programmzeile importiert:

time für die Zeitsteuerung

und

spidev für die SPI-Kommunikation.

Danach wird die SPI-Schnittstelle konfiguriert. Mit

```
spi = spidev.SpiDev(0, 0)
```

wird ein Default-Wert für den SPI-Kanal (0) auf dem ersten Baustein (0) ausgewählt und eine neue SPI-Verbindung mit dem SPI-Bus „0" erstellt. Die maximale Übertragungsgeschwindigkeit für die SPI-Kommunikation wird über

```
spi.max_speed_hz = 1200000
```

auf 1,2 MHz festgelegt.

Die Funktion

```
read_adc(adc_ch, vref=3.3)
```

liest den ADC aus und gibt die gemessenen Spannungswerte zurück.

`adc_ch:`

Der Kanal des ADC, von dem gelesen werden soll (0 oder 1).

`vref:`

Die Referenzspannung des ADC, standardmäßig auf 3,3 V gesetzt.

Der ADC wird über SPI mit einem 2-Bit-Nachrichtentyp (Command) 0b11 konfiguriert, gefolgt vom gewünschten Kanal (adc_ch).

Innerhalb der Funktion werden die ersten vier Bits der SPI-Nachricht „msg" konfiguriert:

- Das erste Bit (Start) ist immer HIGH, um den Start der Nachricht anzugeben.
- Das zweite Bit (SGL/DIFF) wird ebenfalls auf 1 gesetzt, um den Einzelmodus (Single Mode) auszuwählen. Das bedeutet, dass jeweils nur ein einzelner Kanal gemessen wird.
- Das dritte Bit (ODD/SIGN) wird verwendet, um den Kanal auszuwählen, der gelesen werden soll. Es kann entweder 0 oder 1 sein, je nachdem welcher Kanal ausgewählt werden soll.
- Das vierte Bit (MSFB) wird auf 0 gesetzt, um anzugeben, dass die Übertragung mit dem Least Significant Bit (LSB) zuerst erfolgt, was auch als Little-Endian bezeichnet wird. Diese Reihenfolge wird für die meisten Anwendungen verwendet.

Die gelesenen Daten werden in einem 10-Bit-Wert von 0 bis 1023 empfangen, und die Funktion konvertiert diesen Wert in eine Spannungswert mithilfe der angegebenen Referenzspannung (vref).

In der Hauptschleife werden die Spannungswerte auf zwei Dezimalstellen gerundet und zusammen mit den Kanalbezeichnungen „Ch 0:" und „Ch 1:" ausgegeben.

Die Anweisung time.sleep(0.2) sorgt für eine Verzögerung von 0,2 Sekunden zwischen den Messungen. Das Programm gibt damit alle 0,2 Sekunden die aktuellen Spannungen von Kanal 0 und Kanal 1 des ADC aus. Nach dem Start des Programms können die Werte in der Konsole ausgegeben werden (Bild 7).

Ch 0 zeigt die aktuellen Werte der Potentiometer-Spanungen. Ch 1 zeigt 0 Volt an, da dieser Kanal zunächst auf GND (0 V) gelegt wurde (s. Bild 5). Bei praktischen Anwendungen können natürlich beide Kanäle simultan verwendet werden.

```
Shell
>>> %Run MCP3002_ADC_V3.py
  MCP3002
  ==============================

  Ch 0: 2.3 V      Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 2.3 V      Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 3.02 V     Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 3.3 V      Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 2.8 V      Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 2.3 V      Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 2.01 V     Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 1.74 V     Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 2.02 V     Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 2.48 V     Ch 1: 0.0 V
  Ch 0: 2.48 V     Ch 1: 0.0 V
```

Bild 7: Ausgabe der ADC-Werte in der Konsole

Raspberry Pi als Transientenrekorder: Grafische Datenausgabe

Die Daten des ADCs können auch im Plotter der Thonny IDE ausgegeben werden. Dazu muss man die Ausgabezeile

```
print("Ch 0:", round(read_adc(0), 2), "V Ch
1:", round(read_adc(1), 2), "V")
```

auf rein numerische Werte umstellen:

```
print(round(read_adc(0), 2), round(read_adc(1)))
```

Dann hat man bereits ein grafisches Datenerfassungssystem vor sich, das in vielen Anwendungsfällen nutzbringend eingesetzt werden kann. Bild 8 zeigt die grafische Ausgabe der beiden Kanäle. Bild 9 zeigt die gleichen Signale auf einem digitalen Oszilloskop.

Man erkennt, dass die Werte des Transientenrekorders gut mit den Ausgabedaten des digitalen Speicheroszilloskops (DSO) übereinstimmen. Lediglich die Flanken sind in der Thonny-Grafik nicht ganz so steil, da hier nur mit fünf Werten pro Sekunde abgetastet wird.

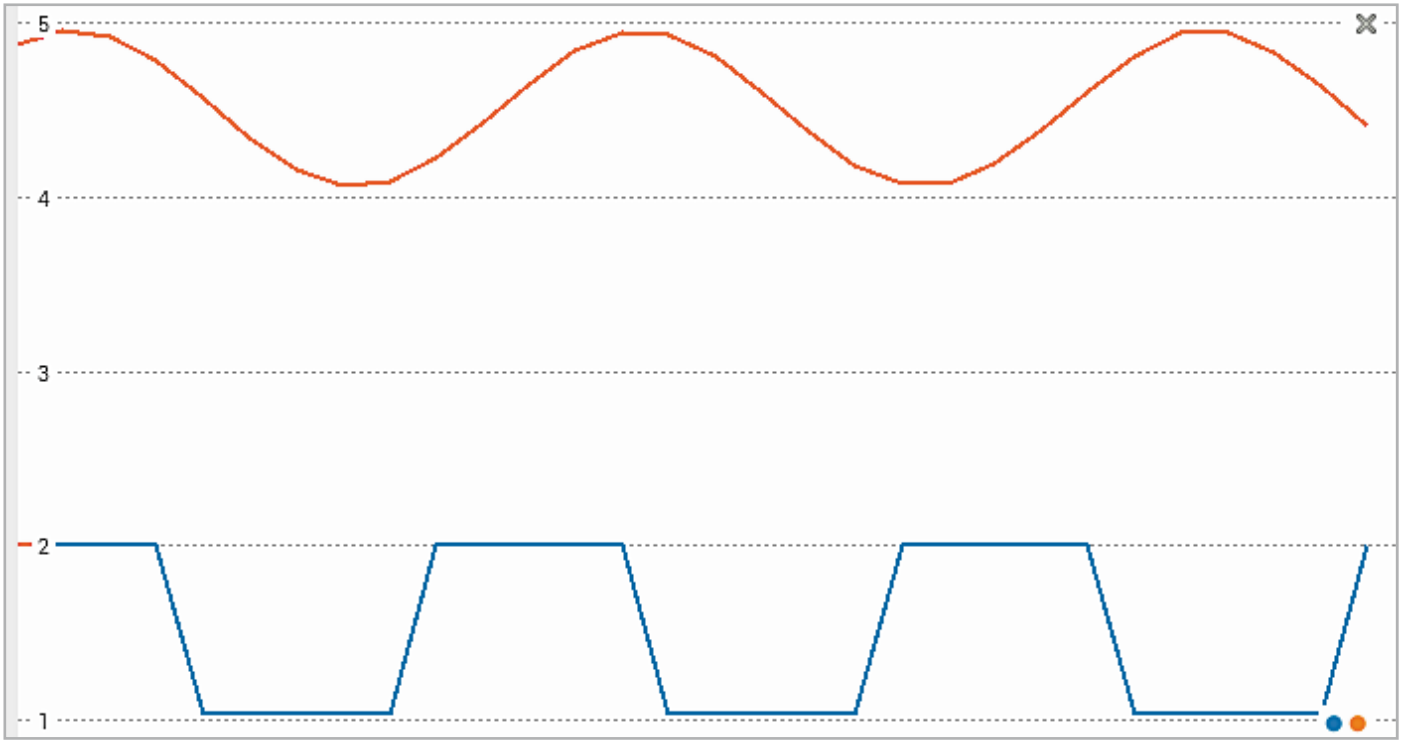


Bild 8: Grafische Ausgabe der beiden ADC-Kanäle im Thonny Plotter

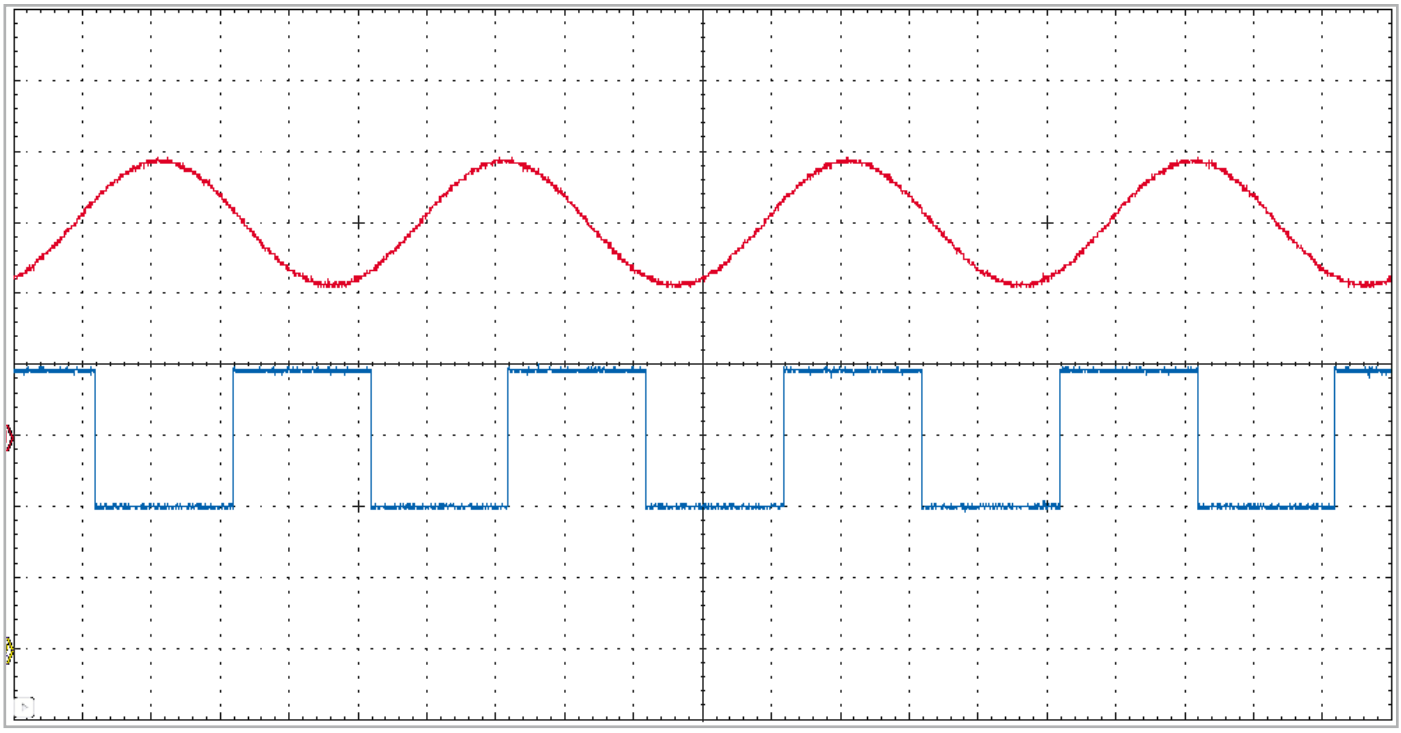


Bild 9: Die Werte aus Bild 8 auf einem Digitaloszilloskop

Darf in keinem Labor fehlen: Präzises Computer-Digitalvoltmeter mit Python-Steuerung

Mit dem MCP3002 ist es nun möglich, Spannungen sehr präzise zu messen. Allerdings darf die Eingangsspannung an den Analogpins CH0 und CH1 keinesfalls die Versorgungsspannung des A/D-Wandlers von 3,3 V überschreiten. Möchte man größere Spannungen messen, muss man einen Spannungsteiler vorschalten. Verwendet man einen Teiler aus einem 100-kOhm- und einem 10-kOhm-Widerstand, so erhält man eine Spannungsreduktion um den Faktor

$$F = 10\ \text{kOhm} / (100\ \text{kOhm} + 10\ \text{kOhm}) = 1/11$$

Die Referenzspannung von 3,3 V liefert als Eingangspegel den Wert von

$$2^{10} - 1 = 1023$$

Als Kalibrationskonstante erhält man so

$$\text{cal} = 11 \times 3{,}3 / (2^{10}-1) = 11 \times 3{,}3 / 1023 = 0{,}03548...$$

Mit diesen Konstanten kann der ADC-Wert im Python-Programm direkt in eine Spannung umgerechnet werden. Die Schaltung dazu ist in Bild 10 zu sehen.

Damit ist es nun möglich, externe Spannungen mit bis zu 35 V zu messen. Vorsichtshalber sollte man aber einen gewissen Sicherheitsabstand zur zulässigen Maximalspannung einhalten. Bis 30 Volt kann man aber mit dem Computer-Voltmeter problemlos und sehr genau messen.

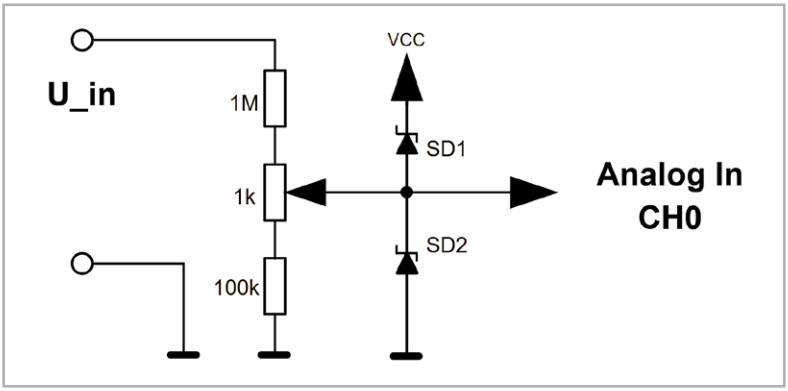


Bild 10: Computer-Voltmeter bis max. 30 V

Die zusätzlichen Schottky-Dioden dienen dazu, den A/D-Wandler vor Verpolung bzw. Überlastung zu schützen. Wird eine Spannung falsch herum an den Messeingang angelegt, schließt die Diode SD2 den Eingang des MCP3002 nahezu kurz. Es können dann maximal ca. -0,3 V am Eingang des ICs anliegen, sodass dieses keinen Schaden nehmen kann. Die Diode SD2 schützt auf ähnliche Weise vor zu hohen Spannungen (> V_{CC} + 0,3 V). Nun muss nur noch das Programm entsprechend angepasst werden:

```
# MCP3002_voltmeter.py

from Tkinter import *
import spidev
import time

# SPI setup
spi_max_speed = 1000000      # 1 MHz for SPI
CE = 0                       # select SPI device

spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0,CE)

root=Tk()
root.font=('Arial', 30, 'normal')
root.title("Voltmeter")
root.geometry('280x60') #window size

cal = 11*3.3/1023
offset = 0

def read_mcp3002(lb):
    cmd = 0b01100000  # CH0
    #   cmd = 0b01110000   # CH1
    spi_data = spi.xfer2([cmd,0]) # start sp communication
    adc_data = ((spi_data[0] & 3) << 8) + spi_data[1]
    Voltage = 0.01*int((100*adc_data-offset)*cal)
    lb.config(text= str(Voltage) + " V")
    # time.sleep(1)
    lb.after(100, read_mcp3002, lb)
    # return adc_data


lb = Label(root)
lb.config(text="", font = root.font)
lb.pack()


read_mcp3002(lb)
root.mainloop()
```

Hardware- und Softwarekalibrierung

Nach der Inbetriebnahme des Voltmeters sollte am Bildschirm ein bestimmter Spannungswert angezeigt werden. Durch Drehen am Potentiometer lässt sich der Wert in gewissen Grenzen verändern. In einem ersten Schritt wird das Potentiometer so eingestellt, dass die aktuelle Spannung korrekt angezeigt wird. Dieser Abgleich wird als Hardware-Kalibration bezeichnet.

Nun kann man das Voltmeter bei anderen Spannungen testen. Falls es zu Messabweichungen kommt, kann man die Parameter `cal` und `offset` so verändern, dass alle Messwerte mit nur noch minimalen Fehlern angezeigt werden. Dieses Vorgehen ist auch als iterative Methode bekannt.

Durch die Anpassung der beiden Parameter `cal` und `offset` wird eine sogenannte Softwarekalibration durchgeführt. Wer mathematisch interessiert ist, kann die Parameter wieder aus verschiedenen Messpunkten mittels spezieller Verfahren wie etwa der gaußschen Fehlerquadratmethode berechnen. Alternativ kann man auch eine sogenannte Ausgleichsgerade durch die Messpunkte legen und dann die beiden Parameter ablesen.

Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde die Erfassung analoger Messwerte mit Python ausführlich dargestellt. Neben einer einfachen Ladezeit-Messung kam dabei auch ein SPI-gesteuerter ADC zum Einsatz. Die Werte konnten in Thonny sowohl als numerische Tabelle oder auch als einfache Zeit/Messwert-Grafiken ausgegeben werden.

Diese einfache Form der grafischen Ausgabe ist in vielen Fällen ausreichend. Allerdings ist Python auch in der Lage, komplexere Grafiken darzustellen. Damit wird es möglich, z. B. Messwerte in den verschiedensten Varianten aufzutragen. Neben einfachen x/y-Grafiken können dann auch Balken- oder Streudiagramme erstellt werden.

Auch komplexe Signalanalysemethoden sind in Python vergleichsweise leicht programmierbar. Die umfangreiche und weit verbreitete Matplotlib-Bibliothek stellt dazu eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung. Sie soll daher im nächsten Artikel detailliert betrachtet werden. ELV

Material

z. B. Raspberry Pi 4 Model B, 8 GB RAM	Artikel-Nr. 250567
Breadboard	Artikel-Nr. 251467
Kondensator und NTC sind im Set PAD-PRO-EXSB enthalten	Artikel-Nr. 158980
A/D-Konverter, z. B. MCP3002	

Zum Download-Paket

Zeit für Selber-Macher

EXKLUSIV

59,95 €

Artikel-Nr. 150261

Zum Produkt

ELV
Kreis-LED-Wecker KLW1

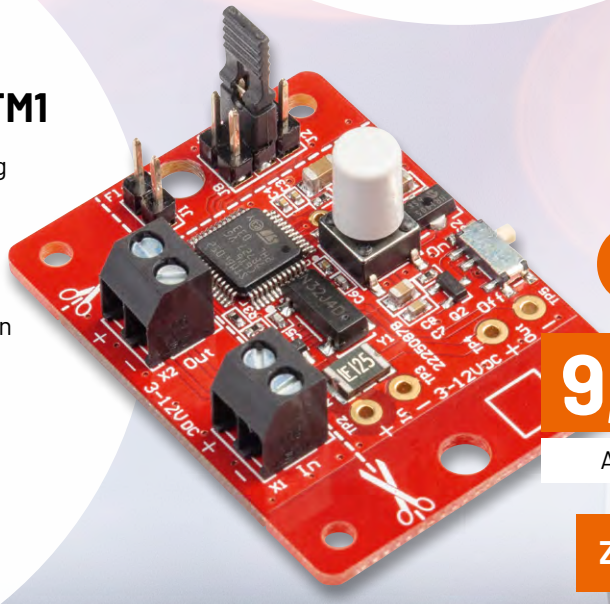
- Anzeigekombination aus mehrfarbigem LED-Kreis und LED-Matrixanzeige
- Dimmbar, automatische Nachführung der Raumhelligkeit
- Bequeme Einstellung und Konfiguration
- Quarzuhr mit batteriegepufferter Echtzeituhr für Nachstellen und Stromausfallüberbrückung für die Uhrzeitdaten
- Zwei Weckzeiten
- Aufrüstoption für DCF77-Funkempfänger
- USB-Schnittstelle für einfache Steuerung per Terminalprogramm
- Spannungsversorgung über USB-Netzteil (5 V)

Gleich mitbestellen: Gehäuse Kreis-LED-Wecker KLW1
Artikel-Nr. 151395 – 12,95 €

ELV
LED-Timermodul LED-TM1

- Universal-LED-Timer für LED-Ansteuerung mit Automatikbetrieb, Flackerlicht und manueller Schaltung
- Ein- und Ausgang 3-12 VDC, max. 1,25 A
- Durch Jumper/Lötbrücken wählbare Zeitintervalle von 2/4/5/6/7/8/9/10 Stunden
- Integrierter RTC-Chip für präzise Zeitsteuerung, kein Zeitdatenverlust bei abgeschaltetem Gerät
- Mehrere Module über Trigger-Auslösungen kaskadierbar

Gleich mitbestellen: Gehäuse für LED-Timermodul
Artikel-Nr. 157326 – 6,95 €



EXKLUSIV

9,95 €

Artikel-Nr. 156911

Zum Produkt

Passendes Netzteil für alle Produkte:

Universal-Netzteil Eco-Friendly 3-12 V/1,5 A

Durch die verschiedenen einstellbaren Ausgangsspannungen im Bereich von 3-12 V und den enthaltenen Anschlussstecken sind diese für viele Anwendungen einsetzbar. (ggf. zusätzliches USB-Kabel erforderlich)

13,95 €

Artikel-Nr. 087565

Zum Produkt

ELV

Binär-Uhr mit Frontplatte BU1

- Stellt die Uhrzeit in drei binär codierten LED-Anzeigereihen mit insgesamt 20 Leuchtdioden dar
- Große, hell leuchtende 10-mm-LEDs sind in drei Farben entsprechend der Stunden-, Minuten- und Sekundenanzeige ausgeführt
- Steuerung erfolgt mit Quarztakt oder per einfach ergänzbarem DCF77-Funkuhr-Modul (optional, Artikel-Nr. 091610)
- Spannungsversorgung über ein externes (unstabilisiertes) Netzteil
- Max. Stromaufnahme: 100 mA
- Versorgungsspannung: 7–15 VDC
- Als Tisch- oder Wanduhr geeignet

EXKLUSIV

29,95 €

Artikel-Nr. 084774

Zum Produkt

ELV

Fibonacci-Uhr FC1

- Darstellung der ersten fünf Ziffern der Fibonacci-Zahlenfolge
- 10 RGB-LEDs zur homogenen Ausleuchtung aller fünf Anzeigefelder
- RTC für hochgenaue Uhrzeitausgabe, Datenerhalt bei Stromausfall und automatische Sommer-/Winterzeitumstellung
- LED-Helligkeit einstellbar, integrierter Umgebungslichtsensor für automatische Helligkeitsnachführung
- USB für 5-V-Stromversorgung und PC-Verbindung

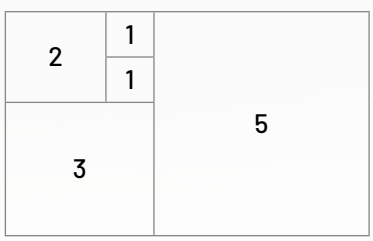
Gleich mitbestellen: Gehäuse für Fibonacci-Uhr FC1 – Artikel-Nr. 155279 – 34,95 €

Vorgehensweise zum Ablesen der Uhr:

Stunden: Werte der **roten** und **blauen** Quadrate addieren

Minuten: Werte der **grünen** und **blauen** Quadrate addieren und die Summe mit 5 multiplizieren

Die **weißen** Felder werden ignoriert



EXKLUSIV

49,95 €

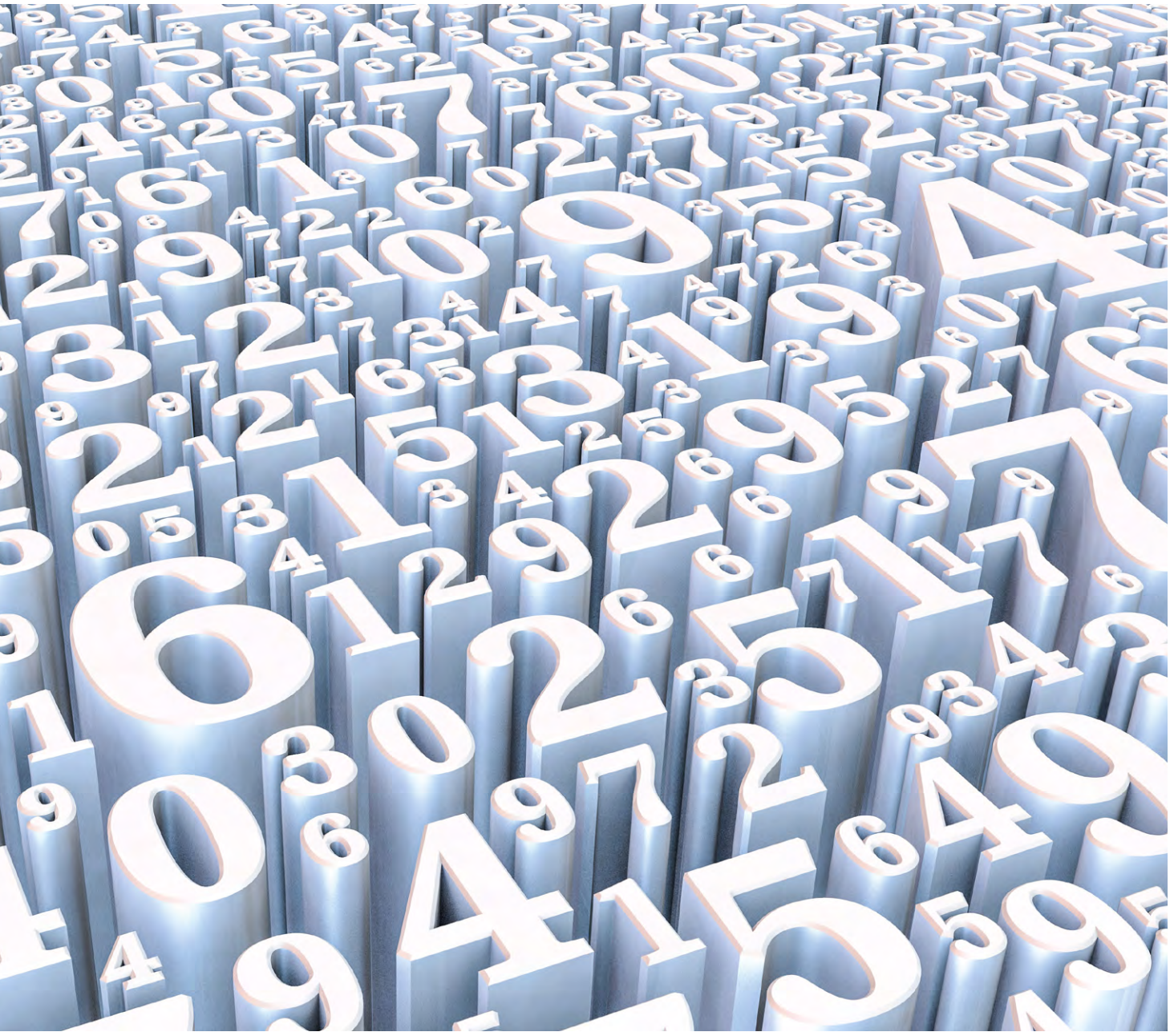
Artikel-Nr. 154778

Zum Produkt

Nützliche Zahlenkniffeleien

Lehrreiches aus scheinbar Sinnlosem

Was ist der Unterschied zwischen einem Mathematiker und einem Computer? Diese etwas scherzhaft klingende Frage lässt sich durchaus ernst gemeint so beantworten: „Der Mathematiker kann etwas beweisen, muss aber nicht rechnen. Der Computer muss rechnen, kann aber nichts beweisen." Dabei schwindet im Zeichen der Künstlichen Intelligenz die Sicherheit, dass das immer so bleiben muss. Wird es Computern in Zukunft gelingen, mathematische Vermutungen unwiderlegbar nach den formalen Regeln der logisch-mathematischen Beweisführung zu bestätigen? Noch sind wir nicht so weit. Das leicht zu verstehende „Collatzproblem" ist ein Beispiel dafür, dass eine einfache Frage eine offensichtlich schwierig zu gebende Antwort hat. So wartet das Collatzproblem bis heute auf eine akzeptierte Lösung durch einen mathematischen Beweis - entweder vom Menschen oder vom Computer.



Wer kann noch kopfrechnen?

Im Zeitalter von Taschenrechner und Computer haben viele Menschen die Fähigkeit zum gedanklichen Lösen mathematischer Probleme weitgehend verloren oder erst gar nicht erworben. Auch die als Wirtschaftsingenieurin mitten im Berufsleben stehende Tochter des Autors stellte dies bei sich selbst fest und beklagte sich darüber im Gespräch mit ihrem Vater. Da kam es gerade gelegen, dass dieser zufällig kurz zuvor auf das Collatzproblem gestoßen war, das sein Interesse an Folgen ganzzahliger Zahlen und deren Bildungsgesetzen erweckte. Bis zu einer gewissen Komplexität lassen sich die Zahlen einer Collatzfolge nämlich im Kopf bestimmen, was die Kopfrechenfähigkeit zumindest in Bezug auf Multiplikation und Divison fordert und trainiert.

Das Collatzproblem wurde von Lothar Collatz (1910–1990) im Jahr 1937 formuliert. Er war lange Jahre als Professor der Mathematik an der Universität Hamburg tätig, von deren Hompage auch das Foto (Bild 1) stammt.

Collatz beschreibt die Bildung einer Zahlenfolge gemäß zwei ganz einfacher Regeln, nach denen sich von einer beliebigen Ganzzahl ausgehend die Folgenelemente bestimmen lassen. Das Merkwürdige ist nun, dass unabhängig von der frei gewählten Ausgangszahl die sich daraus entwickelnde Zahlenfolge immer bei der Zahl 1 endet oder besser gesagt in einer Schleife 1 → 2 → 4 → 1 → 2 → 4 → ... Weil Collatz bei allen untersuchten Startzahlen dieses Verhalten feststellen konnte, war seine Vermutung, dass dieses Phänomen des abschließenden Zyklus 1, 2, 4 nicht nur bei den durch Nachrechnen bestätigten Startzahlen, sondern generell für jede Startzahl gilt.

Man hat bis heute Startzahlen bis in den Trillionenbereich (10^{18}) untersucht und dabei keine Ausnahme von der Collatzschen Vermutung gefunden. Aber die empirische Bestätigung einer Vermutung ist eben kein Beweis! Der konnte auch im Laufe der vielen Jahre von keinem Mathematiker nach den Regeln der logischen Beweisführung erbracht werden. Deshalb gilt das Problem als „notorisch schwierig", obwohl seine Formulierung einfach ist.

Der Mathematiker Paul Erdös sagte zur Lösung des Collatzproblems: „Hoffnungslos. Absolut hoffnungslos." und „Die Mathematik ist für solche Probleme noch nicht bereit." Der Mathematiker Richard Guy warnte 1983 mit den Worten: „Versuche nicht, dieses Problem zu lösen!" Um bei geistiger Gesundheit zu bleiben, wollen wir das erst gar nicht versuchen, doch einen Eindruck von der Problematik gewinnen. Also werden wir jetzt konkret.

Der Weg zur Collatzfolge

Bild 1: Der Mathematiker Lothar Collatz im Mai 1990

Die zu einer Collatzfolge führende Rechenvorschrift lautet: Ein Folgewert wird aus seinem Vorgänger n bestimmt, indem man diesen durch 2 teilt, wenn er gerade ist (n/2), oder mit 3 multipliziert und 1 addiert, falls er ungerade ist (3n+1). Deshalb wird das Collatzproblem auch als (3n+1)-Vermutung bezeichnet.

Ein Beispiel: Betrachten wir einen Startwert von cstart = 5. Weil er ungerade ist, müssen wir ihn mit 3 multiplizieren und 1 addieren, was zum Folgewert 16 führt. 16 wird (weil gerade) durch 2 geteilt, was zum nächsten geradzahligen Folgewert 8 führt. So geht es jetzt über 4 und 2 bis zur 1 weiter. Gemäß Vorschrift muss die ungerade 1 mit 3 multipliziert werden und 1 addiert werden, wodurch man wieder bei 4 landet. Teilt man 4 durch 2 und 2 durch 2, ist man wieder bei 1 angekommen usw. Wir zyklieren nun in einer Endlosschleife 4, 2, 1, 4, 2, 1, 4 ...

Anhand einiger Beispiele mit niedrigen Startwerten können wir uns von diesem verblüffenden Resultat noch mit Kopfrechnen überzeugen (Bild 2) und unsere Fähigkeiten darin trainieren.

Die sich aus den Startzahlen 1 bis 25 ergebenden Collatzfolgen konnten ohne Hilfsmittel über Kopfrechnung ermittelt werden. Das geht bis zu einer gewissen Anzahl von Folgenwerten, aber einfacher ist es, das repetitive Abarbeiten der Bildungsvorschrift (gerade/2) und (ungerade*3+1) einem kleinen Pythonprogramm zu überlassen, dem wir auch einige Auswerteaufgaben übertragen können, beispielsweise wie viele Schritte bis zum Erreichen des finalen Zyklus 4, 2, 1 erforderlich waren und wie viele Elemente die Collatzfolge hat. Wenn es darum geht, möglichst viele Collatzfolgen in einem bestimmten Zeitraum zu berechnen, lassen sich auch einige Erkenntnisse aus der näheren Betrachtung der 25 dar-

```
Startzahl  1: 1, 4, 2, 1, …
Startzahl  2: 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl  3: 3, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl  4: 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl  5: 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl  6: 6, 3, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl  7: 7, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl  8: 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl  9: 9, 28, 14, 7, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 10: 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 11: 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 12: 12, 6, 3, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 13: 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 14: 14, 7, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 15: 15, 46, 23, 70, 35, 106, 53, 160, 80, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 16: 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 17: 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 18: 18, 9, 28, 14, 7, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 19: 19, 58, 29, 88, 44, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 20: 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 21: 21, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 22: 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 23: 23, 70, 35, 106, 53, 160, 80, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 24: 24, 12, 6, 3, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
Startzahl 25: 25, 76, 38, 19, 58, 29, 88, 44, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, …
usw., usw., …
```

Bild 2: Diese Collatzzahlenfolgen lassen sich durchaus noch im Kopf berechnen.

gestellten Folgen programmtechnisch verwerten, was sich aber nur bei Berechnungen über riesige Startzahlenmengen lohnt.

- Jede ungerade Zahl wird durch Multiplikation mit 3 wiederum zu einer ungeraden Zahl und durch Addition von 1 zu einer geraden. Es folgt also immer auf eine ungerade Folgenzahl eine gerade. Daher genügt es, nur gerade Startzahlen zu betrachten. Sollte vor einer geraden Startzahl eine ungerade Zahl liegen, muss diese den Wert (gerade Startzahl-1)/3 haben. Starten wir also beispielsweise bei 10, ergibt sich die Folge 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1. Nur einen Folgewert mehr und ansonsten die gleiche Folge verursacht ein Startwert von (10-1)/3 = 3. Damit ergibt sich 3, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1. Das Gleiche gilt aber auch für einen doppelt so großen und deshalb ebenfalls geraden Vorgängerwert von 2*10: 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1. Es ist schon vertrackt.
- Stößt man bei der sukzessiven Bildung der Glieder der Collatzzahlenfolge auf ein Element, das eine Zweierpotenz ($2^2 = 4$, $2^3 = 8$, $2^4 = 16$, $2^5 = 32$, $2^6 = 64$ usw.) darstellt, oder beginnt die Folge mit einer Zweierpotenz als gerader Startzahl, geht es von hier aus kontinuierlich mit der Halbierung jedes Elements zum Folgenelement weiter, bis die 1 erreicht ist. Der geraden Startzahl $2^4 = 16$ folgen demnach in gerader Linie 4 weitere Folgenelemente 8, 4, 2, 1, bei $2^{10} = 1024$ sind es 10 weitere Folgenelemente bis zur 1 usw.

Bild 3 zeigt ein Python-Programm, das die Collatzzahlen bis zu einem maximalen Startwert berechnet. In der Kommandozeile (Konsole) sind die Folgenwerte für die Startzahlen 5, 6 und 7 zu sehen.

Um Platz in der Kommandozeile zu sparen, kann man die Zeilen 4 und 12 durch Voransetzen eines #-Zeichens auskommentieren (sie werden dann bei der Programmausführung nicht beachtet) und sich die Ergebnisse cstart (Startzahl), cmax (größte Zahl in der Collatzfolge) und n (Länge der Collatzfolge) für einen größeren Bereich von Startzahlen ohne die einzelnen Folgenwerte ausgeben lassen. Bild 4 zeigt das für die Startzahlen 1 bis 35. Die Variabilität der Ergebnisse ist verblüffend. Während der Startwert 26 eine 11 Elemente lange Folge mit einem Maximalwert von 40 erzeugt, sind dies 112 Folgenwerte mit einem Maximalwert von 9232 beim nächsten Startwert 27. Man kann diese Ergebnisse auch grafisch darstellen (z. B. Folgenlänge n und Maximalwert cmax als Funktion des Startwerts cstart), wie es Bild 5 für cstart im Bereich von 1 bis 35 zeigt.

Collatz_1.py

```
1  for c in range (1, 9):
2      cmax = cstart = c
3      i = 1
4      print(i, "  ", c)
5
6      while c != 1:
7          if c % 2 == 0:
8              c = int(c/2)
9          else:
10             c = 3*c + 1
11         i += 1
12         print(i, "  ",  c)
13         if c > cmax:
14             cmax = c
15     print("cstart =", cstart, "| cmax =", cmax, "| n =", i)
```

Kommandozeile

```
4    4
5    2
6    1
cstart = 5 | cmax = 16 | n = 6
1    6
2    3
3    10
4    5
5    16
6    8
7    4
8    2
9    1
cstart = 6 | cmax = 16 | n = 9
1    7
2    22
3    11
4    34
5    17
6    52
7    26
8    13
9    40
10    20
11    10
12    5
13    16
14    8
15    4
16    2
17    1
cstart = 7 | cmax = 52 | n = 17
1    8
2    4
3    2
4    1
cstart = 8 | cmax = 8 | n = 4
>>>
```

Bild 3: Mit wenigen Python-Programmzeilen kann man die Collatzzahlenfolgen bis zu einem maximalen vorgegebenen Startwert bestimmen.

Collatz_1.py

```
1  for c in range (1, 36):
2      cmax = cstart = c
3      i = 1
4      #print(i, "  ", c)
5
6      while c != 1:
7          if c % 2 == 0:
8              c = int(c/2)
9          else:
10             c = 3*c + 1
11         i += 1
12         #print(i, "  ",  c)
13         if c > cmax:
14             cmax = c
15     print("cstart =", cstart, "| cmax =", cmax, "| n =", i)
```

Kommandozeile

```
>>> %Run Collatz_1.py
  cstart = 1 | cmax = 1 | n = 1
  cstart = 2 | cmax = 2 | n = 2
  cstart = 3 | cmax = 16 | n = 8
  cstart = 4 | cmax = 4 | n = 3
  cstart = 5 | cmax = 16 | n = 6
  cstart = 6 | cmax = 16 | n = 9
  cstart = 7 | cmax = 52 | n = 17
  cstart = 8 | cmax = 8 | n = 4
  cstart = 9 | cmax = 52 | n = 20
  cstart = 10 | cmax = 16 | n = 7
  cstart = 11 | cmax = 52 | n = 15
  cstart = 12 | cmax = 16 | n = 10
  cstart = 13 | cmax = 40 | n = 10
  cstart = 14 | cmax = 52 | n = 18
  cstart = 15 | cmax = 160 | n = 18
  cstart = 16 | cmax = 16 | n = 5
  cstart = 17 | cmax = 52 | n = 13
  cstart = 18 | cmax = 52 | n = 21
  cstart = 19 | cmax = 88 | n = 21
  cstart = 20 | cmax = 20 | n = 8
  cstart = 21 | cmax = 64 | n = 8
  cstart = 22 | cmax = 52 | n = 16
  cstart = 23 | cmax = 160 | n = 16
  cstart = 24 | cmax = 24 | n = 11
  cstart = 25 | cmax = 88 | n = 24
  cstart = 26 | cmax = 40 | n = 11
  cstart = 27 | cmax = 9232 | n = 112
  cstart = 28 | cmax = 52 | n = 19
  cstart = 29 | cmax = 88 | n = 19
  cstart = 30 | cmax = 160 | n = 19
  cstart = 31 | cmax = 9232 | n = 107
  cstart = 32 | cmax = 32 | n = 6
  cstart = 33 | cmax = 100 | n = 27
  cstart = 34 | cmax = 52 | n = 14
  cstart = 35 | cmax = 160 | n = 14
>>>
```

Bild 4: Wenn man nicht an den Werten der Collatzzahlenfolge interessiert ist, sondern nur an Startwert, Maximalwert der Folge und Anzahl der Folgenelemente, muss man die Zeilen 4 und 12 auskommentieren.

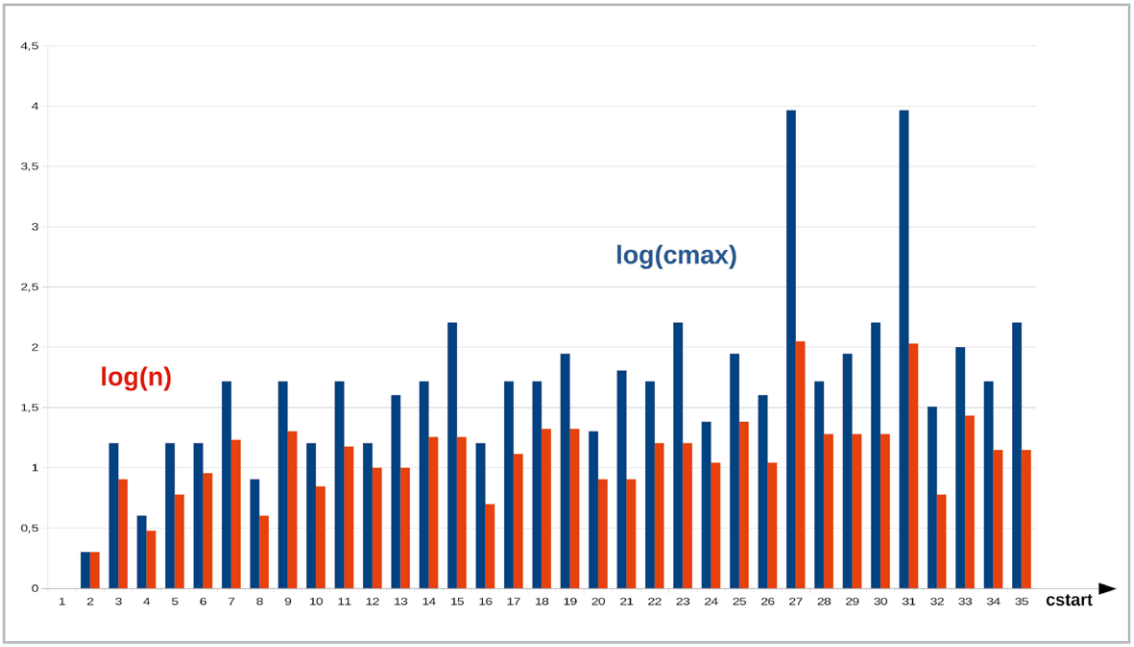


Bild 5: Das Bild zeigt den logarithmierten Maximalwert und die Anzahl der Glieder der von den Startwerten 1 bis 35 ausgehenden Collatzfolgen.

Um die besonders große Wertespanne von cmax = 1 bei cstart = 1 und cmax = 9232 bei cstart = 27 darstellen zu können, wurden die Ordinatenwerte logarithmisch gestaucht.

Aber auch diese Grafik lässt kein System der Werte erkennen. Lediglich bei den Collatzfolgen mit einer Zweierpotenz als Startwert oder einem ungeraden Startwert, der nach der Behandlung gemäß 3n+1 den Wert einer Zweierpotenz annimmt, ist es möglich, exakte Voraussagen über Länge und Werteverlauf zu machen.

Um eventuell doch noch Erkenntnisse aus dem Bereich größerer Startzahlen gewinnen zu können, wurden die maximalen Folgenwerte cmax und die Folgenlängen n für Startwerte im Intervall 1 bis 999 berechnet und in Bild 6 logarithmiert dargestellt.

Es ergibt sich für cstart = 871 die längste Folge mit n = 179 Folgegliedern (logarithmiert 2,253) und einem Maximalwert cmax = 190996 (logarithmiert 5,281). cstart = 703 und cstart = 937 führen zu je einer Folge, deren größtes Element cmax = 250504 (logarithmiert 5,399) ist, die sich aber in der Länge mit n = 171 Elementen (logarithmiert 2,233) und n = 174 Elementen (logarithmiert 2,241) gerinfügig unterscheiden.

Die genannten Maximalwerte sind die drei blauen Nadeln im Diagramm, die über die Ordinatenlinie 5 herausragen. Aber was soll man daraus folgern?

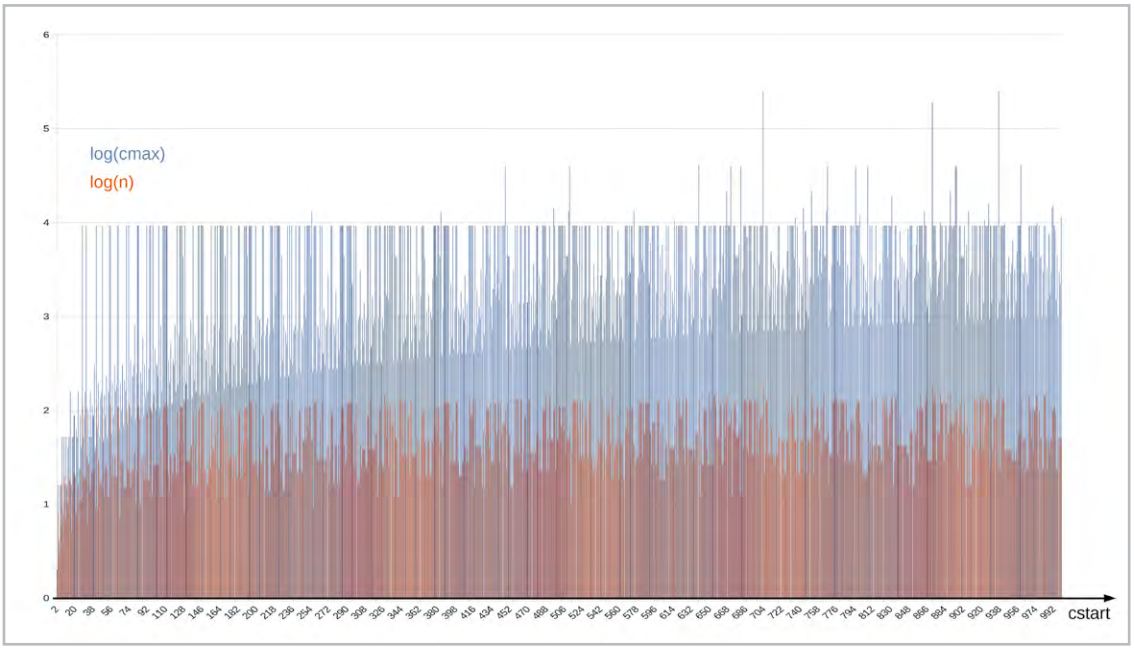


Bild 6: Die Darstellung gleicht Bild 5, jetzt aber für 1000 Startwerte. Nur drei Maximalwerte überschreiten einen Maximalwert von log(100000) = 5.

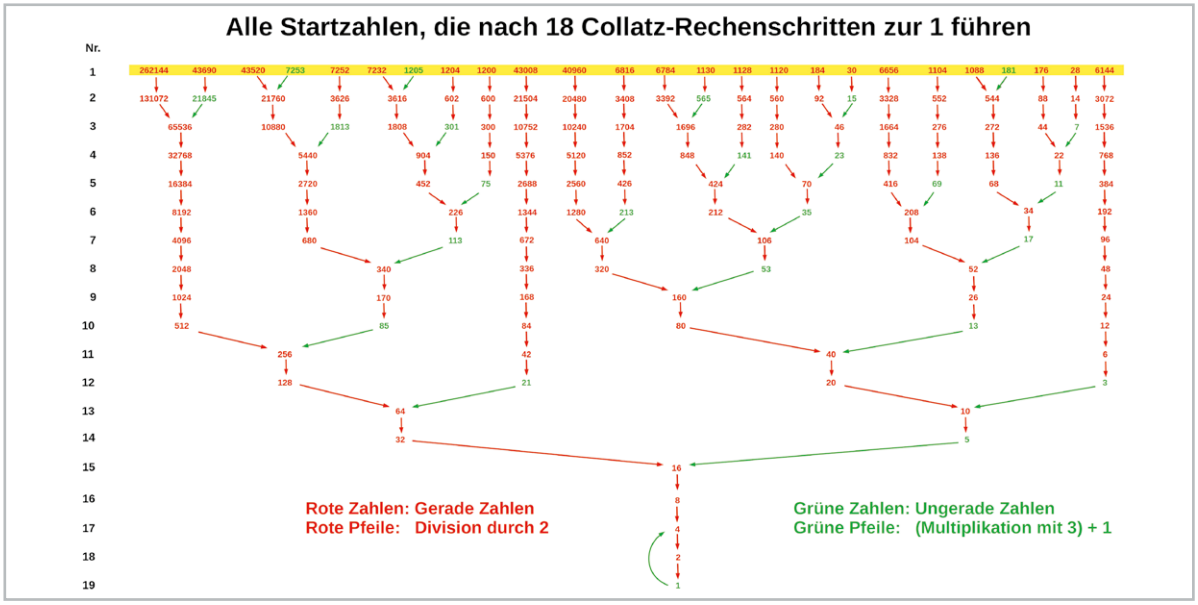


Bild 7: Der Collatzbaum (Collatz tree) wird von der Wurzel aus quasi rückwärts entwickelt. Der Folgenwert an jeder Verzweigungsstelle kann entweder aus einem durch 2 geteilten Vorgänger (n/2) oder einem mit 3n+1 behandelten herrühren. Im Beispiel ist man nach 18 Rechenschritten beim jeweiligen Startwert der Folge angelangt.

Eine gewisse Veranschaulichung gibt der Graph in Bild 7 (Collatzbaum), der die 19-elementigen Collatzzahlenfolgen darstellt, die ausgehend von den Startzahlen in der oberen, gelb hinterlegten Zeile mit 18 Rechenschritten zur Wurzel 1 führen. Er entsteht, indem man sich an der Wurzel startend überlegt, aus welchen Vorgängern in der Collatzfolge die gerade betrachtete Collatzzahl entstanden sein kann, und endet in der gelb hinterlegten Zeile. Geradzahlige Vorgänger sind stets doppelt so groß (gegen Richtung der roten Pfeile), ungeradzahlige durch Subtraktion von 1 und anschließender Division durch 3 entstanden (gegen Richtung der grünen Pfeile). Das ist die (3n+1)-Vorschrift in Gegenrichtung!

Es fällt auf, dass in allen Pfaden von der Startzahl zur Wurzel die Division durch 2 (rote Pfeile) deutlich häufiger vorkommt als die Multiplikation mit 3 und anschließender Addition von 1 (grüne Pfeile), was im Resultat die Konvergenz zur 1 verursacht.

Das ist natürlich nicht der gesuchte Beweis, aber macht plausibel, warum sich die Folgenelemente ausgehend von den Startzahlen durch Anwendung der Collatzrechenschritte im Mittel in Richtung 1 bewegen.

Wer sich davon überzeugen möchte, dass von den Startwerten in der oberen, gelb hinterlegten Zeile des Graphen die Folge über alle Folgenwerte auf dem Weg zur Wurzel des Graphen führt, kann das mit dem Miniscript in Bild 8 nachvollziehen. Hier kann man erkennen, dass vom Startwert 262144 = 2^{18} oben links der Weg zur Wurzel ohne Umwege durch 18-malige Halbierung zur 1 führt. Aber auch vom Startwert 28 entstehen 19 Folgenwerte, was verdeutlicht, dass ein kleiner Startwert nicht schneller zum Ziel führen muss als ein vieltausendfach größerer.

Bild 9 verdeutlicht das anhand der logarithmierten Collatzzahlen, exemplarisch ausgehend von den Startwerten 262144 = 2^{18} (blau), 1130 (rot) und 28 (grün). Weil 2^{18} nach jeder Division durch 2 bis zum Erreichen der Wurzel 1 stets auf eine weitere Zweierpotenz führt, fallen die Folgenwerte monoton. In Bild 7 kommt das darin zum Ausdruck, dass in diesem Pfad kein grüner Pfeil auftritt, der ja mit dem Faktor 3n und der anschließenden Addition von 1 verbunden ist, also das darauf folgende Collatzfolgenglied größer macht als das vorausgehende. Im Pfad des Startwerts 1130 finden sich 3 grüne Pfeile, was den dreimaligen Anstieg der Folgenwerte verursacht. Vom Startwert 28 ausgehend durchläuft man 5 grüne Pfeile, wodurch die Folgenwerte in ihrem Verlauf fünfmal wieder ansteigen.

Im Übrigen ist es interessant, dass sich das Konvergenzverhalten der Folge drastisch ändert, wenn man in dem Script in Bild 8 die Zeile 7 von c = 3*c + 1 zu c = 3*c - 1 ändert. Dann weicht die Bildungsvorschrift natürlich von der einer echten Collatz-

Collatz_2.py

```
1 while True:
2     c = int(input("Startzahl für Collatzfolge eingeben: "))
3     while c > 1:
4         if c % 2 == 0:
5             c = int(c/2)
6         else:
7             c = 3*c + 1
8         print(c)
```

Kommandozeile

```
Python 3.7.3 (/usr/bin/python3)
>>> %Run Collatz_2.py
  Startzahl für Collatzfolge eingeben: 28
  14
  7
  22
  11
  34
  17
  52
  26
  13
  40
  20
  10
  5
  16
  8
  4
  2
  1
  Startzahl für Collatzfolge eingeben:
```

Bild 8: Mit dem Programm lassen sich die Collatzfolgenglieder zu einem bestimmten Startwert ermitteln. Damit kann man den Collatzbaum in Bild 7 überprüfen.

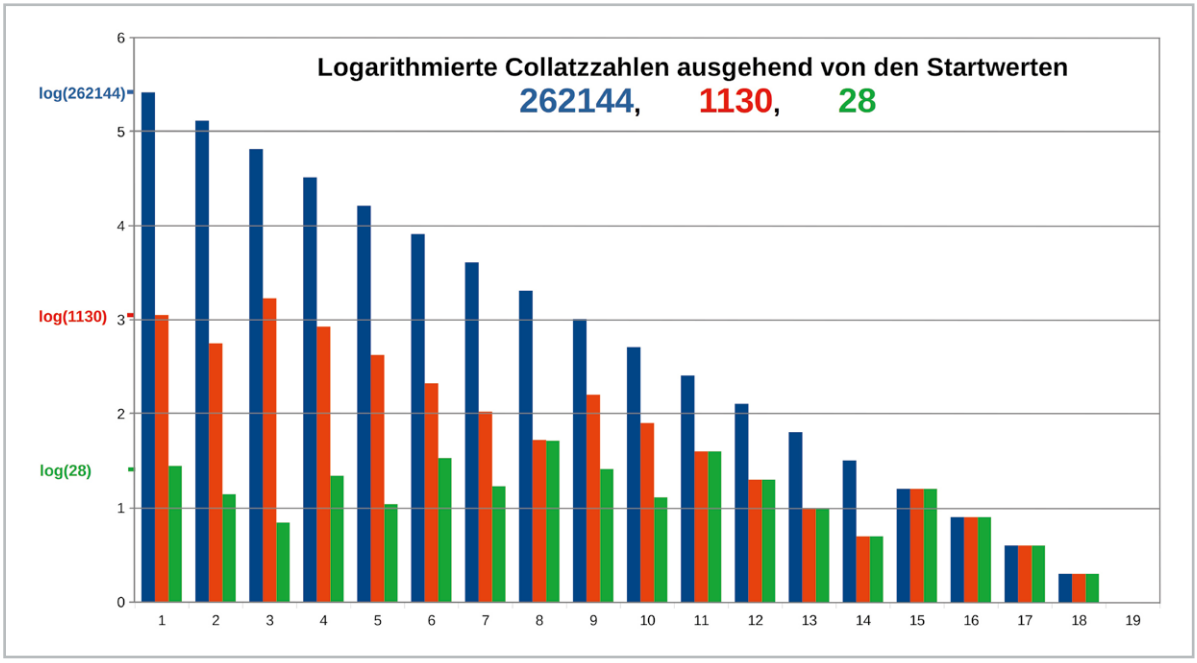


Bild 9: Wo im Verlauf einer Collatzzahlenfolge nach einem ungeraden Folgenelement die Multiplikation mit 3 mit der anschließenden Addition von 1 vorgenommen wird, steigt der Zahlenwert des dadurch gebildeten Folgegliedes.

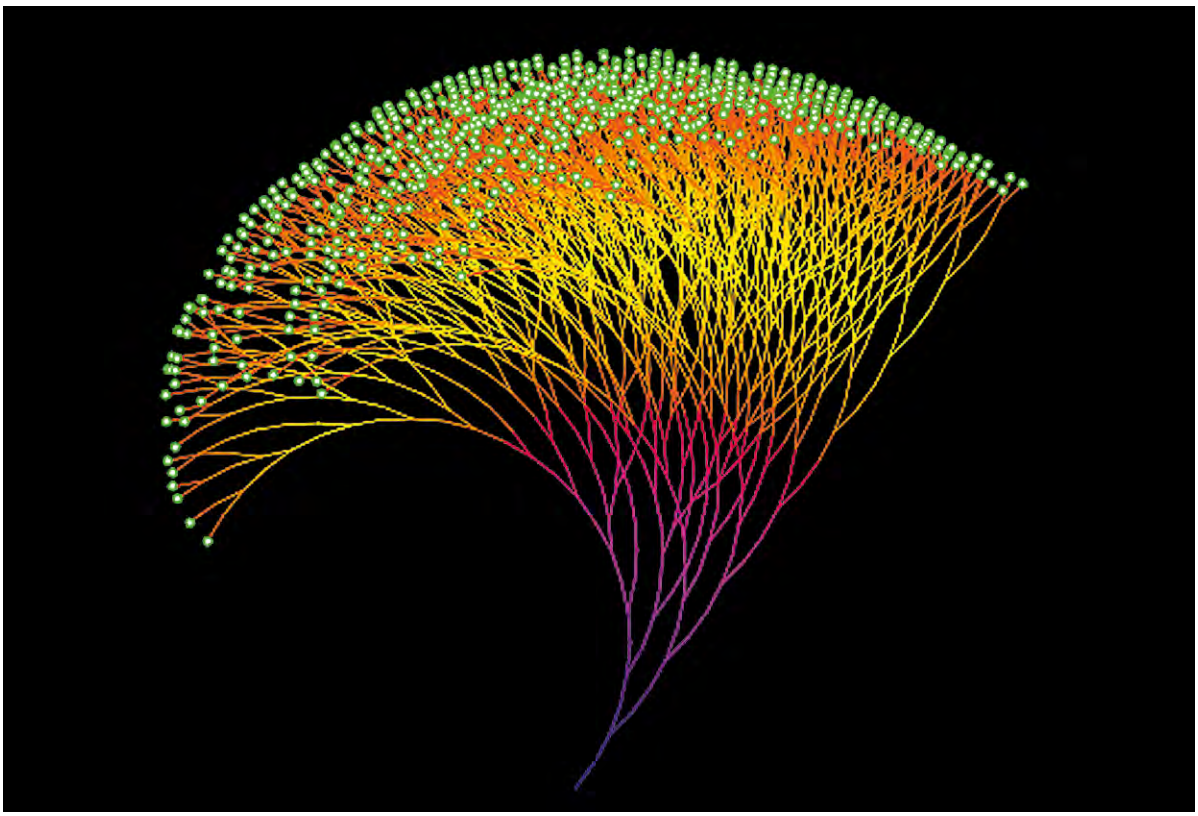


Bild 10: Wenn man an den Verzweigungspunkten eines Collatzbaumes die Wachstumsrichtung des Astes in Richtung gerader Vorgänger leicht nach links und in Richtung ungerader Vorgänger leicht nach rechts ändert und dabei noch etwas mit den Farben spielt, entsteht ein kleines Kunstwerk mit ästhetischem Reiz.

folge ab! Beispielsweise erreicht die modifizierte Folge ausgehend von dem Startwert 1130 nie den Wert 1, sondern endet nach erheblich mehr Folgenwerten in dem Endloszyklus 14, 7, 20, 10, 5. Beim Startwert 28 ist man nach dem ersten Halbierungsschritt bereits in diesem Zyklus. Bei anderen Startwerten kann es ganz anders aussehen.

Wenn man den Graphen des Collatzbaums etwas fantasievoller gestaltet, entsteht ein veritables kleines Kunstwerk. Bild 10 zeigt, wie ein animierter Collatzbaume beeindrucken kann. Ein Blick auf die Homepage des Programmierers lohnt sich!

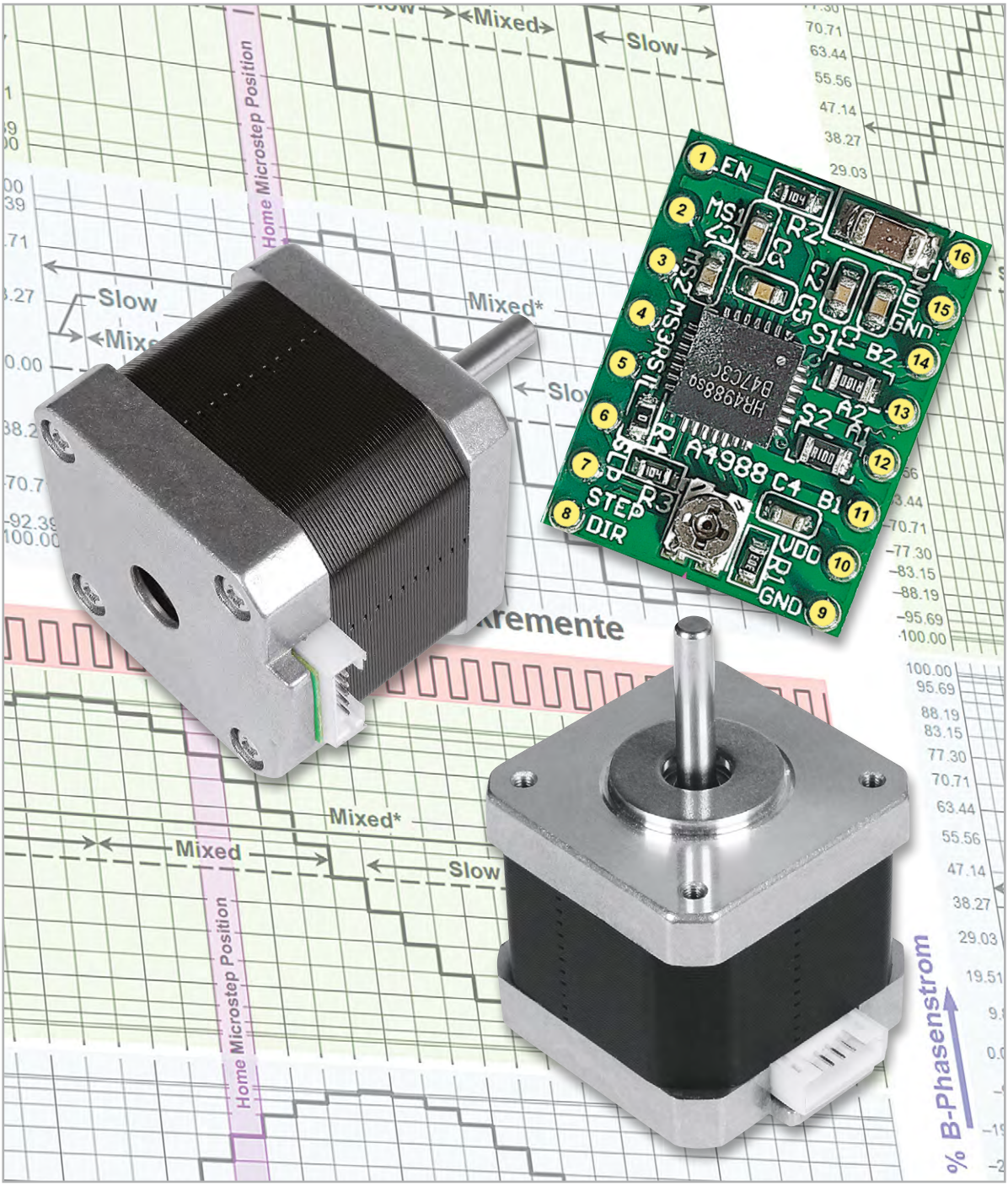
Noch vieles gäbe es zum Collatzproblem zu sagen. Wer sich für Erstaunliches und Nachdenkenswertes auf dem Gebiet der Zahlentheorie interessiert, findet auf der Internetseite „The On-Line Encyclopedia of Integer Sequences" interessantes Material.

Ebenso spannend ist für den mathematisch und naturwissenschaftlich Interessierten die Internetseite „Wolfram MathWorld". ELV

Schritt für Schritt

Steppermotoren zur präzisen Positionierung – Motortreiber A4988 am Raspberry Pi

In diesem Teil der Folge über Schrittmotoren wollen wir uns den bipolar angesteuerten Typen im NEMA-Format zuwenden. Der Schrittmotor wird mithilfe eines Raspberry Pi angesteuert und nach einigen Vorbereitungen kann der Motor mithilfe eines Python-Sketchs in Betrieb genommen werden.



Steppermotoren – Performance durch Controller

Als geeignetes Testobjekt wurde der Motor 17PM-K077BP01 CN des Herstellers Minebea gewählt, dessen zwei Phasenspulen über zwei auf die Anschlusssteckerleiste herausgeführte Mittelanschlüsse verfügen. Damit lassen sie sich auch für die unipolare Bestromung nutzen und eignen sich als universelle Studienobjekte. Als Treibermodul verwenden wir den ST-A4988 vom Hersteller Allegro Microsystem. Der Motor 17PM-K077BP01CN ist eine NEMA-17-Type. Er wird mit einem ca. 50 cm langen, 4-drähtigen Anschlusskabel mit Steckern und Ferritkern zur Entstörung geliefert. Bild 1 gibt einen schnellen Überblick. Durch einen Schrittwinkel von 1,8 Grad im Vollschrittbetrieb werden 200 Schritte pro Umdrehung der Motorwelle benötigt. Ein 14-zahniges Kunststoffrad erlaubt den Einsatz eines Zahnriemens zur Übertragung der Motorwellenrotation mit Untersetzung.

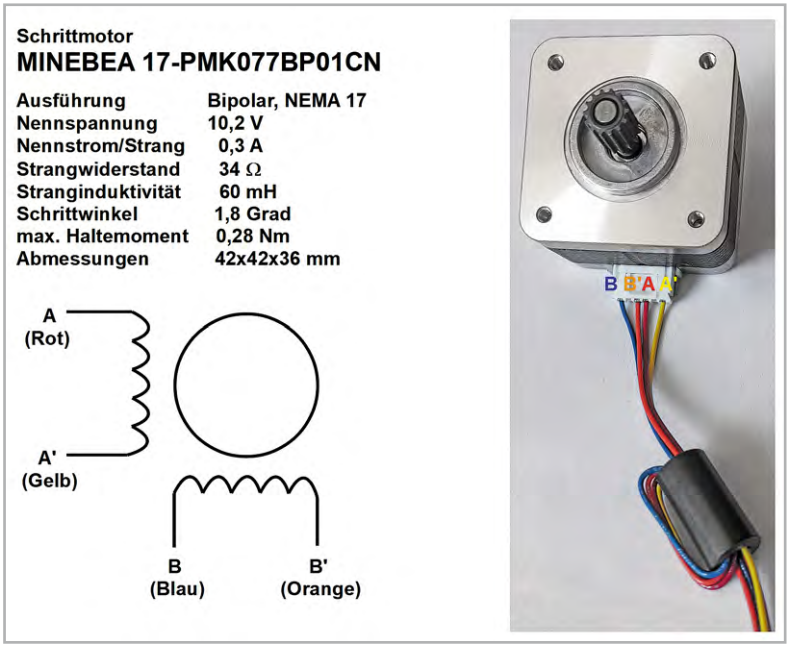


Bild 1: Mit diesem NEMA-17-Steppermotor mit herausgeführten Mittelanzapfungen der Phasen lassen sich vielfältige Experimente mit unipolarer und bipolarer Bestromung durchführen.

Treibermodul

Das Treibermodul ST-A4988 besteht aus einer kleinen Platine, deren Herzstück der DMOS-Treiber-Chip A4988 des Herstellers Allegro Microsystems ist. Für Spulenströme bis 1 A ist der Betrieb des Chips ohne Kühlkörper möglich. Um auf der sicheren Seite zu sein, empfiehlt sich jedoch das Aufkleben des mitgelieferten kleinen Kühlkorpers (Bild 2).

Trotz seiner geradezu winzigen Abmessungen hat es das Modul ganz schön in sich. Das Prinzipschaltbild in Bild 3 aus dem Allegro-Datenblatt soll einen knappen Überblick ermöglichen. Man sieht, dass die Phasenspulen des Steppermotors direkt an den Chip angeschlossen werden können. Die erforderlichen zwei H-Brücken, bestehend aus je 4-DMOS-Feldeffekttransistoren, schalten äußerst verlustarm, wodurch ihre Erwärmung sehr gering ausfällt. Die Spannungsversorgung der Brücken zur Bestromung der Phasenspulen sollte aus einem getrennten Netzteil erfolgen, das die erforderlichen Spannungen und Ströme zuverlässig liefern kann. Angesteuert wird der Chip von einem Microcontroller, dessen Aufgabe hier der Raspberry Pi 4B oder ein Raspberry Pi Pico übernimmt.

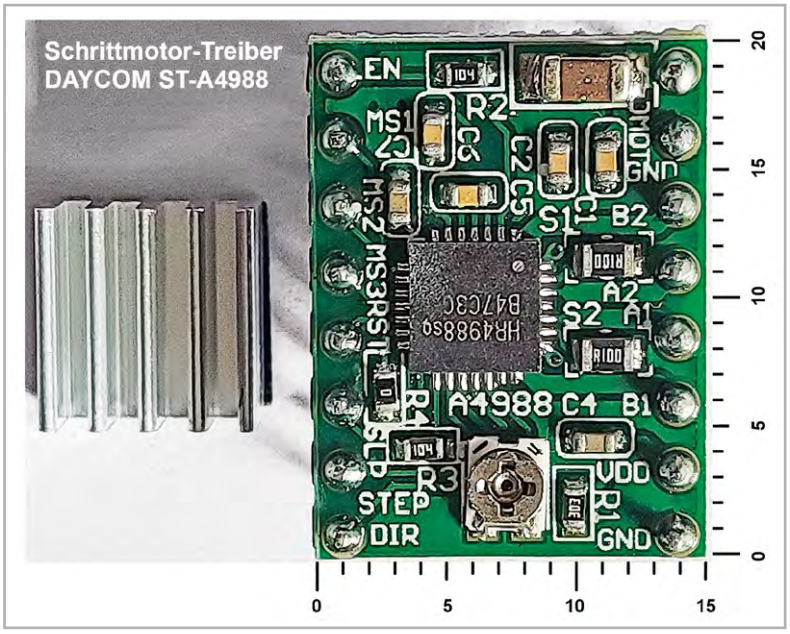


Bild 2: Briefmarkenklein, aber oho! Auf der 3 cm² großen Treiberplatine spielt der Allegro-Stepperchip A4988 die zentrale Rolle.

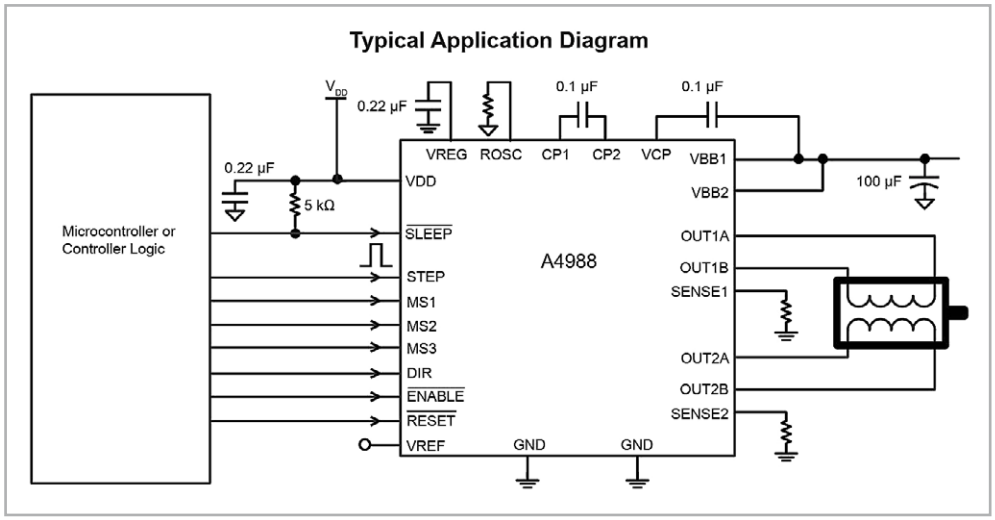


Bild 3: Dieses typische Anwendungsbeispiel lässt erkenen, dass sich der Chip A4988 leicht über die als Output geschalteten GPIO-Ports des Raspberry Pi 4B oder des Raspberry Pi Pico steuern lässt.

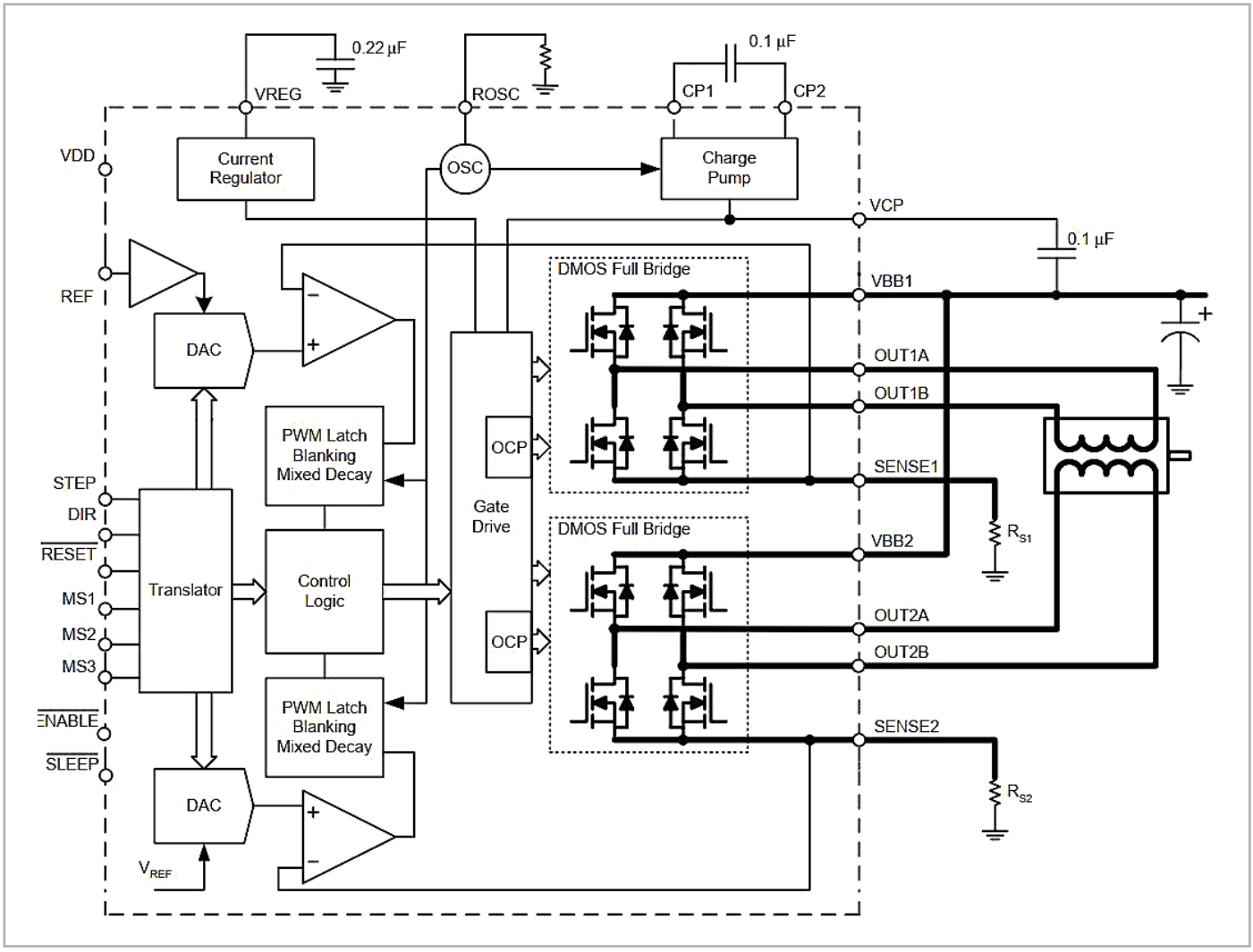


Bild 4: Durch die im Chip integrierten beiden Vollbrücken für die bipolare Phasenbestromung vereinfacht sich die Motoransteuerung erheblich.

Hinweis: Weil die Pins STEP (Schritt) und DIR (DIRection = Richtung) intern nicht auf HIGH- oder LOW-Potential gezogen werden, sollten sie nicht im schwebenden Zustand (floating) belassen, sondern stets mit dem gewünschten Potential angesteuert werden.

Eine wesentliche Schaltungsgruppe des Chips ist der sogenannte Translator (Übersetzer). Er bereitet die digitalen Ansteuersignale so auf, dass der Chip seine Aufgaben erfüllen kann (Bild 4). Die H-Brücken sind fett hervorgehoben. Die Widerstände RS1 und RS2 arbeiten als Fühler (Sensor) für den Spulenstrom. Der Spannungsabfall an ihnen wird von zwei Komparatoren als Abschaltkriterium herangezogen, um eine Überlastung von Motor und Chip durch Überströme zu vermeiden.

Bild 5 zeigt die Anschlussbelegung der Treiberplatine. Wir wollen die Anschlussfunktionen systematisch durchgehen.

Stromversorgung

Die Platine erfordert zwei Spannungsversorgungen. An Pin 16 (VMOT) und 15 (GND) wird das Gleichspannungsnetzteil zur Speisung der Phasenspulen des Motors angeschlossen (8–35 V, 2,5 A). Im Datenblatt des A4988 wird empfohlen, hier noch einen Entkopplungskondensator (50–100 µF) vorzusehen. An Pin 10 (VDD) und Pin 9 (GND) wird die Speisespannung für die Chip-Logik in Höhe von 3–5,5 V angelegt. Der Betriebsstrom für die Chiplogik liegt zwischen 5 und 10 mA und kann leicht vom Raspberry Pi übernommen werden. Auch hier empfiehlt sich ein Stützkondensator von 10–22 µF, der Spannungsspitzen und -einbrüche ausgleicht.

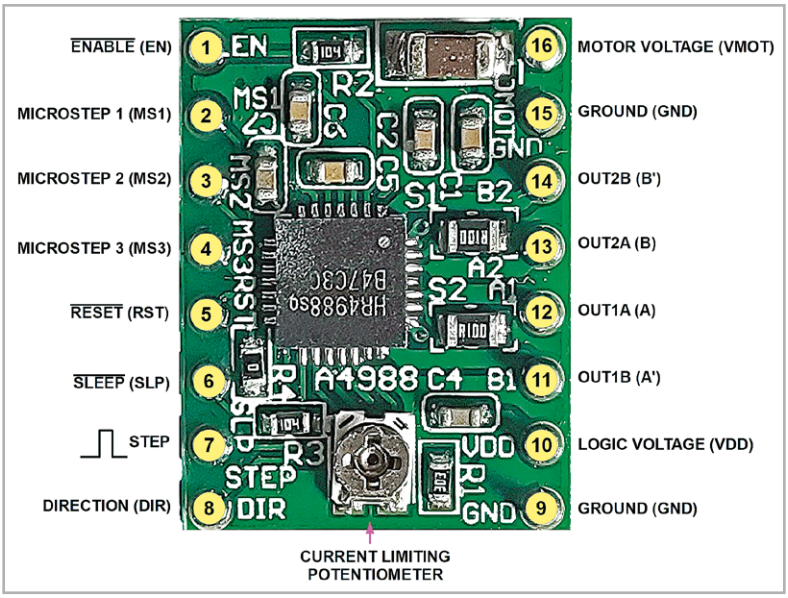


Bild 5: Das Pinout der Treiberplatine mit dem Potentiometer zur Einstellung des maximalen Spulenstroms

Microstep Selection Pins

Diese mit MS1 (Pin 2), MS2 (Pin3) und MS3 (Pin 4) bezeichneten Anschlüsse liegen unbeschaltet über interne Pull-down-Widerstände auf Massepotential und erzeugen so eine Bestromung der Motorspulen für den Vollschrittbetrieb mit 200 Steps/Umdrehung. Die weiterhin möglichen Betriebsarten Halbschritt (400 Steps/Umdrehung), Viertelschritt (800 Steps/Umdrehung), Achtelschritt (1600 Steps/Umdrehung) und Sechzehntelschritt (3200 Steps/Umdrehung) werden durch Anlegen von Logikpegeln an die MS-Pins gemäß Tabelle 1 gewählt.

Die Auswirkungen der gewählten Microstep-Auflösungen auf die Bestromung der Phasen A und B zeigt Bild 6. Die horizontalen mit Slow und Mixed bezeichneten Zeitabschnitte beziehen sich auf das erzwungene Abklingverhalten (decay) der Motorspulenströme nach einem ausgeführten Schritt. Man unterscheidet Fast (schnelles), Slow (langsames) und Mixed (gemischtes) Decay (Abklingen). Letztlich geht es darum, den stetigen Spulenstrom in den durch die Taktfrequenz und die Microstep-Einstellungen vorgegebenen Zeiten schnell genug abzubauen, um im nächsten Step für die FETs der H-Brücken gefahrlos mit dem erforderlichen neuen Spulenstrom fortfahren zu können. Im Datenblatt des A4988-Chips und in einem Application Report „Current Recirculation and Decay Modes" von Texas Instrument (SLVA321a-2.pdf) werden weitere Informationen gegeben.

Die senkrecht violett hervorgehobenen Taktabschnitte kennzeichnen die sogenannte Home Microstep Position, aus der der Treiber nach dem Einschalten den Rotor von der 45°-Position ausgehend in Bewegung setzt. Über den Reset-Eingang (Pin 5 der Treiberplatine) wird der Translator in einen vordefinierten Home-Zustand versetzt. Alle STEP-Ansteuerimpulse werden so lange ignoriert, bis der Reset-Eingang auf HIGH gelegt wird.

Tabelle 1

MS1	MS2	MS3	Microstep-Auflösung
LOW	LOW	LOW	Vollschritt
HIGH	LOW	LOW	Halbschritt
LOW	HIGH	LOW	Viertelschritt
HIGH	HIGH	LOW	Achtelschritt
HIGH	HIGH	HIGH	Sechzehntelschritt

Steuer-Pins

Über die Steuer-Pins EN (ENable), RST (ReSeT) und SLP (SLeeP) lässt sich das Betriebsverhalten des A4988-Treiberchips steuern. Die Pins arbeiten mit inverser Logik (active low), d. h., sie aktivieren die mit ihnen verbundenen Funktionen, wenn ihr Logikpegel LOW (0) ist.

EN ist im LOW-Zustand aktiv und versetzt damit den Chip in den Betriebszustand. Erst wenn an EN ein HIGH-Potential angelegt wird, werden die Brücken-FETs alle abgeschaltet und damit die Bestromung der Motorspulen eingestellt. Damit ist dieser Pin besonders zur Schnell- oder Notabschaltung des Motors geeignet.

RST ist ebenfalls „active low". Im LOW-Zustand werden alle STEP-Eingangsimpulse ignoriert. Zugleich wird der interne Translator auf einen Home-Zustand zurückgesetzt, von dem ausgehend der Motor nach dem Aufheben der Reset-Bedingung (RST → HIGH) startet.

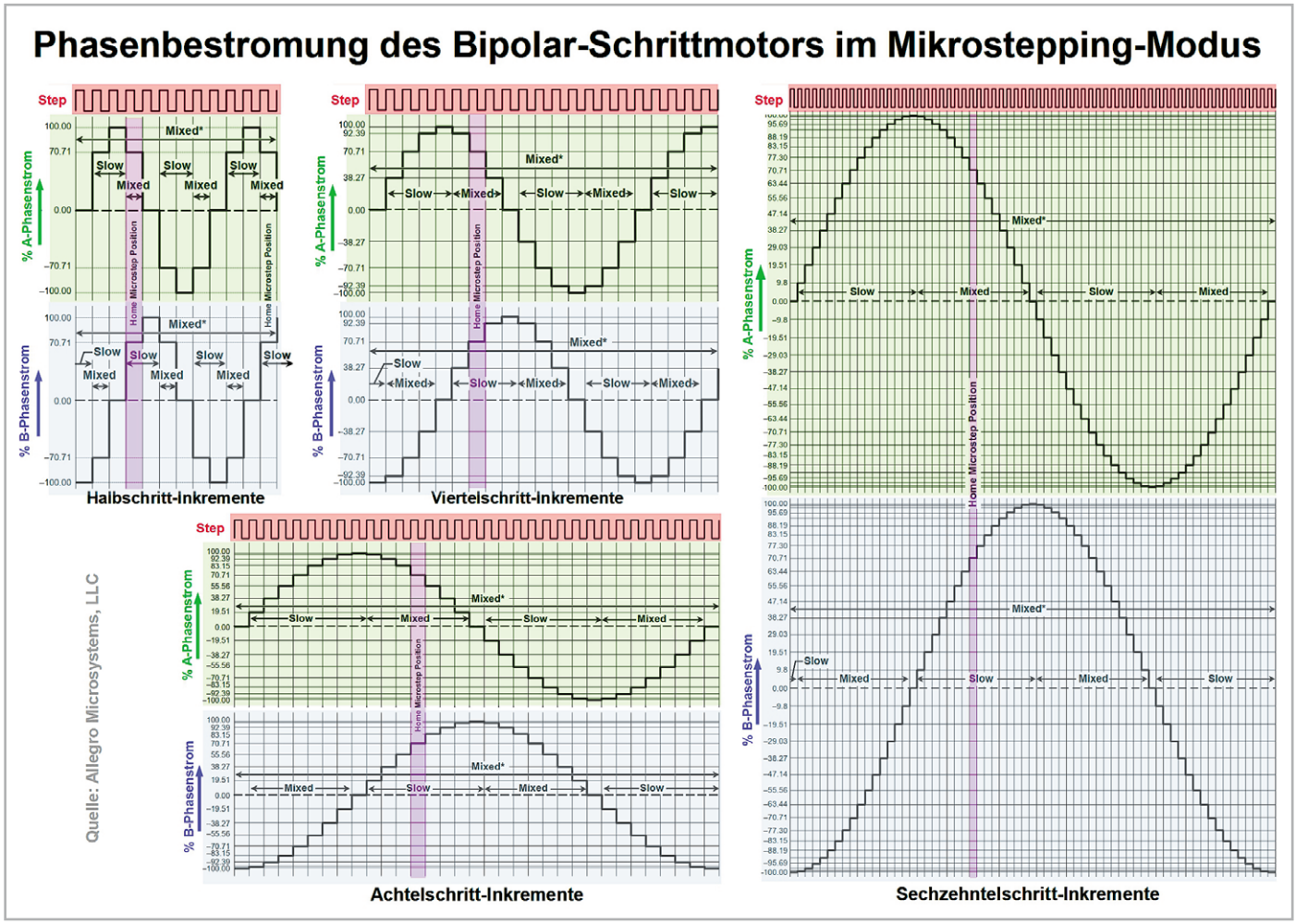


Bild 6: Die Bestromung der Phasen A und B im Halb-, Viertel-, Achtel- und Sechzehntel-Microstep-Betrieb

SLP minimiert im Active-Low-Zustand die Leistungsaufnahme des Motors im Stillstand durch Abschalten eines Großteils der inneren Schaltungsgruppen wie Ausgangs-FETs, Stromregelung und Ladungspumpe. Mit logischem HIGH-Pegel beaufschlagt wird der Chip in den normalen Betriebszustand versetzt. Nach dem Abschalten des Sleep-Zustands muss zur Stabilisierung der Ladungspumpe 1 ms vor der Abgabe des ersten Schrittkommandos gewartet werden.

Step- und Richtungseingänge

Jede positive Flanke eines Impulses am STEP-Eingang treibt den Motor um einen Schritt (entsprechend der Microstep-Einstellung an MS1, MS2 und MS3) weiter. Je höher die Impulsfrequenz, desto schneller dreht der Motor. Seine Drehrichtung gibt der Logikpegel am DIR-Eingang vor. Ist er HIGH, dreht sich der Motor im Uhrzeigersinn, ist er LOW in Gegenrichtung.

Die STEP- und DIR-Eingänge werden intern nicht auf ein bestimmtes Potential gelegt, weshalb sie nicht unbeschaltet (floating) bleiben sollten!

Die Ausgangspins 12 und 11 werden mit Anfang (A) und Ende (A') der Phasenspule A verbunden, die Pins 13 und 14 mit Anfang (B) und Ende (B') der Phasenspule B. Jeder Ausgang kann Ströme bis zu 2 A führen. Die Höhe des Stroms hängt von der Stärke des Netzteils, der Chipkühlung und dem eingestellten Maximalstrom (current limit) ab.

Strombegrenzung: Vor der Inbetriebnahme des Motors muss der Strom durch die Motorspulen auf einen maximal zulässigen Wert in Höhe des Nennstroms (rated current) begrenzt werden. Dazu dient ein kleines Trimmpotentiometer am unteren Platinenrand (current limiting potentiometer), dessen Schleifer die Referenzspannung V_{REF} als Bruchteil der Versorgungsspannung für die Chiplogik V_{DD} abgreift.

Im Datenblatt des A4988-Chips wird der Zusammenhang im Vollschrittbetrieb zwischen maximalem Spulenstrom I_{MAX}, Referenzspannung V_{REF} und Sensorwiderstand R_S mit $I_{MAX} = V_{REF} / (8 \times R_S)$ beschrieben. Da die Stromfühlerwiderstände R_S in der Regel 0,05 Ω betragen, muss bei vorgegebenem maximalem Spulenstrom I_{MAX} die Referenzspannung auf $V_{REF} = 0{,}4\ \Omega \times I_{MAX}$ am Schleifer des Trimmpotentiometers eingestellt werden. Dazu empfiehlt es sich, das Voltmeter mit einer Krokodilklemme am blanken Schaft des Einstellschraubendrehers anzuschließen, um während der Drehung die Spannung auf dem Voltmeter ablesen zu können.

Für den verwendeten Schrittmotor Minebea 17-PMK077BP01CN mit einem Nennstrom von 300 mA ist das Trimmpoti also so lange zu verdrehen, bis an seinem Schleifer 0,4 V/A x 300 mA = 120 mV anstehen.

Weil die Referenzspannung ein Bruchteil von V_{DD} ist, muss die Justierung des maximalen Strangwicklungsstroms bei einer Änderung von V_{DD} erneut wie vorstehend beschrieben vorgenommen werden.

Die Vorgehensweise noch einmal zusammengefasst:

1. Aus dem Datenblatt des Schrittmotors Nennspannung und Nennstrom pro Strang entnehmen. Im vorliegenden Beispiel sind die relevanten Werte NEMA 17, 200 Schritte/Umdrehung, 10,2 V und 300 mA.
2. Den Treiber in den Vollschrittmodus versetzen (MS1, MS2 und MS3 unbeschaltet lassen).
3. Den Motor anhalten, indem der Step-Eingang auf Masse gelegt wird.
4. V_{REF} nach der Formel $V_{REF} = 0{,}4\ \Omega \times I_{MAX}$ berechnen
5. Spannung V_{REF} am Schleifer des metallenen Trimmpotentiometers beim Justieren messen und auf berechneten Wert einstellen.
6. Netzgerät zur Motorspeisung auf Strangnennspannung des Motors einstellen und an Pin 16 (+) sowie Pin 15 (-) anschließen.

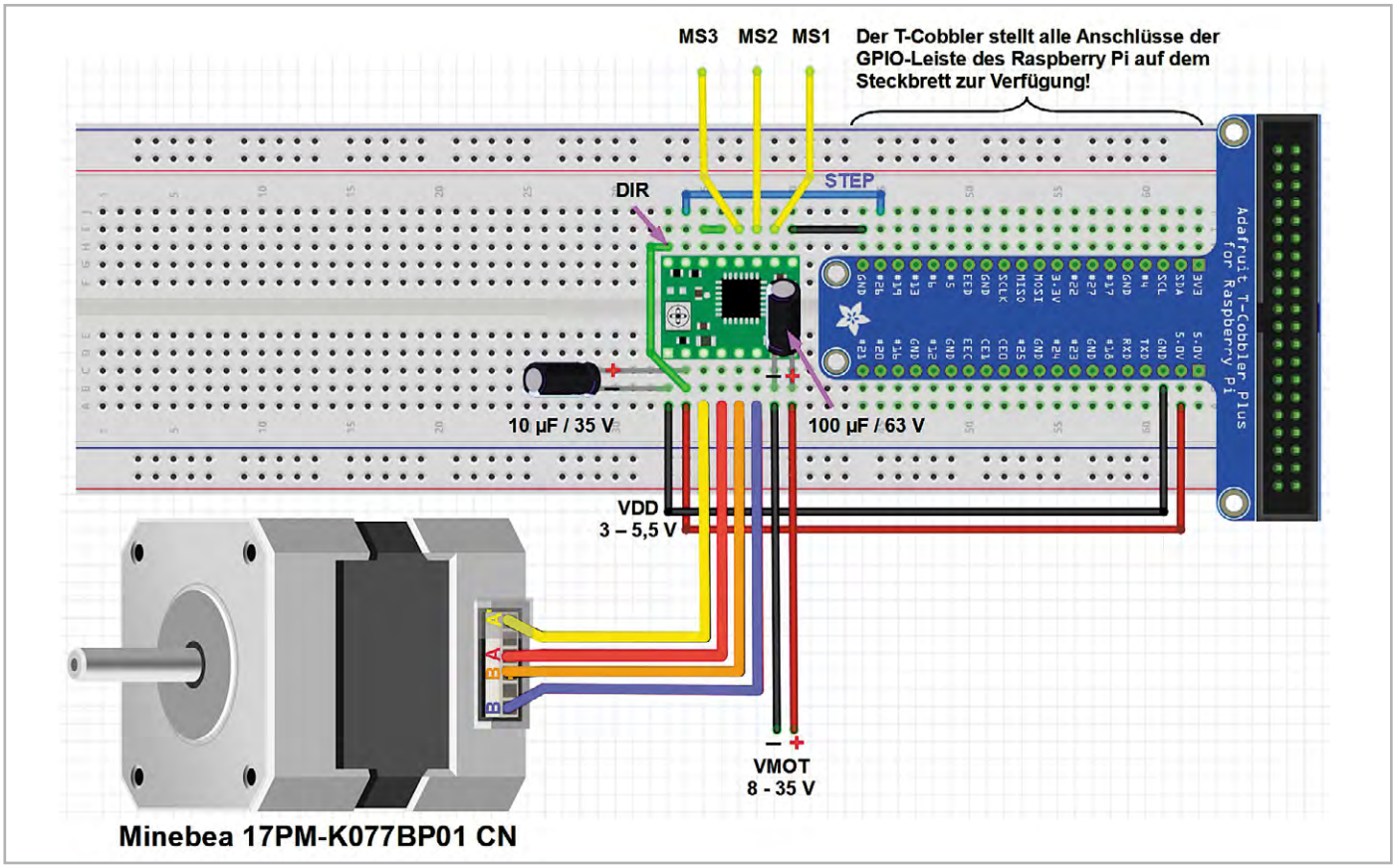


Bild 7: Mit dem Programm Fritzing lässt sich die Verdrahtung der Versuchsanordnung besonders übersichtlich darstellen.

Eine andere Vorgehensweise besteht im direkten Messen des Phasenstroms nach den vorbereitenden Schritten 1. bis 3. und dessen Einstellung mit dem Trimmpotentiometer auf den Sollwert.

Wenn alle Vorbereitungen getroffen sind und die Verdrahtung gemäß Bild 7 vorgenommen wurde, kann der Motor in Betrieb genommen werden.

Das nur wenige Zeilen umfassende Python-Sketch in Bild 8 dient einzig und allein der Erzeugung von Step-Impulsen mit variabler Frequenz, um den Motor zu Drehschritten zu veranlassen. Dafür wird nur ein einziger GPIO-Port des Raspberry Pi verwendet, nämlich GPIO26. Drehrichtung, Microstepping, Sleep und Reset können hardwaremäßig auf dem Steckbrett vorgenommen werden. In einer verfeinerten Software können dies auch weitere Ports des Raspberry Pi abhängig übernehmen.

In Zeile 13 wurde als Sleep-Variable 13,5 Sekunden gewählt, was im sechzehnschrittigen Microstep-Modus (3200 Steps/Umdrehung) zu einer Achsendrehung des Motors mit der Geschwindigkeit eines Stundenzeigers führt. Die Achse vollzieht demnach eine volle Umdrehung in zwölf Stunden.

Ein weiteres Programmbeispiel, durch das der Steppermotor abwechselnd eine Volldrehung nach rechts und eine Volldrehung nach links vollzieht, zeigt Bild 9. Nach jeweils einer Vierteldrehung wird deren Vollzug in der Kommandozeile gemeldet.

Konstantspannung oder -strom?

Für einen Neuling auf dem Gebiet der Schrittmotoren kommt es bei der Interpretation der Daten eines Schrittmotors gelegentlich zu Verständnisproblemen. So ist z. B. bei dem nachfolgend verwendeten NEMA-23-Motor 5T5618S2404-A der Firma Nanotec aus München auf dem Typenschild zu lesen: „3.6A 1.25V" (Bild 10). Dies sind die Nennwerte für Wicklungsspannung und -strom der beiden bipolar bestromten Statorspulen des Schrittmotors. Das dazu verwendete Treibermodul TB6600 ist mit einem Eingangsspannungsbereich von 9-42 V_{DC} spezifiziert. Wie passt das mit der Wicklungsnennspannung von 1,25 $V_{REF} = 0{,}4\ \Omega \times I_{MAX}$ V zusammen?

Die Antwort ist einfach: Direkt an der Wicklung darf höchstens eine Spannung von 1,25 V anliegen, die dann einen Wicklungsstrom von 3,6 A zur Folge hat. Das resultiert aus dem ohmschen Gesetz gemäß dem im Motordatenblatt angegebenen Wicklungswiderstand von 0,35 Ω: I = 1,25 V/0,35 Ω = 3,5714 A. Die dabei in jeder Wicklung umgesetzte Leistung ist dann P = 1,25 V x 3,6 A = 4,5 W. Sie darf nicht dauerhaft überschritten werden, weil dies zur Überhitzung der Wicklung führen würde. Daher darf bei der Bestromung der Spulen über eine Vollbrückenschaltung (H-Brücke), die mit einer Konstantspannung gespeist wird, diese den genannten Spannungsnennwert überschreiten.

Minebea_12h_simpel.py

```
1  from time import sleep        # Imp. Meth. sleep aus Bib. time
2  import RPi.GPIO as GPIO       # Namenszuweisung
3
4  GPIO.setmode(GPIO.BCM)        # Broadcom-Nummerierung der IO-Pins
5  GPIO.setwarnings(False)       # GPIO-Warnungen unterdrücken
6  STEP = 26                     # Zuweisung von 26 zu Variable STEP
7
8  GPIO.setup(STEP, GPIO.OUT)    # GPIO26 als Output definieren
9  GPIO.output(STEP, 0)          # GPIO26 auf LOW setzen
10
11 while True:                   # Endlosschleife einrichten
12     GPIO.output(STEP, 1)      # pos. Flanke auf GPIO26 als STEP
13     sleep(13.5)               # 13.5 sec. schlafen (entspricht
14                               # bei 16tel Microstep einer
15                               # Rotordrehung in 12 Stunden)
16     GPIO.output(STEP, 0)      # GPIO26 auf LOW setzen
```

Bild 8: Das „Programmchen" Minebea_12_simpel erzeugt lediglich STEP-Impulse, die den Motor zu einem Rotationsinkrement veranlassen.

Minebea_230919_dir.py

```
1  from time import sleep; import RPi.GPIO as GPIO
2
3  GPIO.setmode(GPIO.BCM); GPIO.setwarnings(False)
4  STEP = 26; DIR = 19; links = 1; rechts = 0
5
6  GPIO.setup(STEP, GPIO.OUT); GPIO.setup(DIR, GPIO.OUT)
7
8  while True:
9      GPIO.output(DIR, links)
10     for i in range(3201):
11         GPIO.output(STEP, 1)
12         sleep(0.001)
13         GPIO.output(STEP, 0)
14         if i == 800:
15             print("Step ", i, "Vierteldrehung rechts")
16         elif i == 1600:
17             print("Step", i, "Halbdrehung rechts")
18         elif i == 2400:
19             print("Step", i, "Dreivierteldrehung rechts")
20         elif i == 3200:
21             print("Step", i, "Volldrehung rechts \n")
22     GPIO.output(DIR, rechts)
23     for i in range(3201):
24         GPIO.output(STEP, 1)
25         sleep(0.001)
26         GPIO.output(STEP, 0)
27         if i == 800:
28             print("Step ", i, "Vierteldrehung links")
29         elif i == 1600:
30             print("Step", i, "Halbdrehung links")
31         elif i == 2400:
32             print("Step", i, "Dreivierteldrehung links")
33         elif i == 3200:
34             print("Step", i, "Volldrehung links \n")
```

Kommandozeile

```
Step 2400 Dreivierteldrehung links
Step 3200 Volldrehung links

Step  800 Vierteldrehung rechts
Step 1600 Halbdrehung rechts
Step 2400 Dreivierteldrehung rechts
Step 3200 Volldrehung rechts

Step  800 Vierteldrehung links
```

Bild 9: Hier wird demonstriert, wie sich die Drehrichtung steuern lässt.

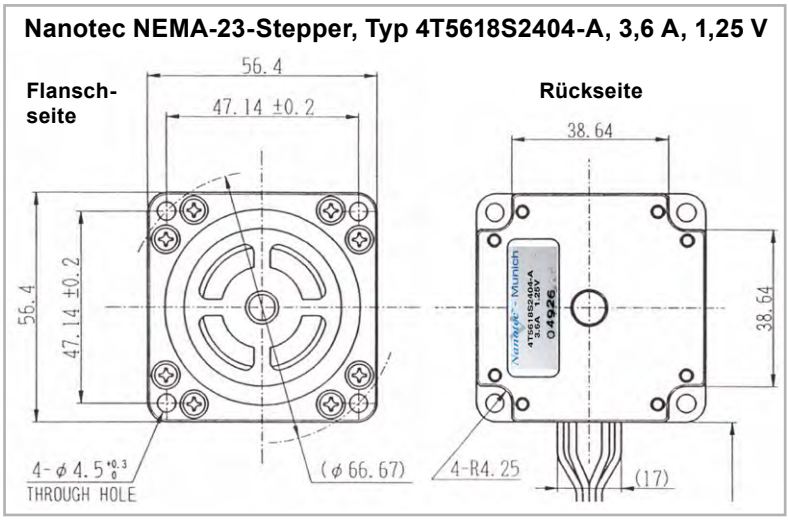


Bild 10: Maßzeichnungen aus dem Datenblatt des NEMA-23-Motors 5T5618S2404-A der Münchener Firma Nanotec

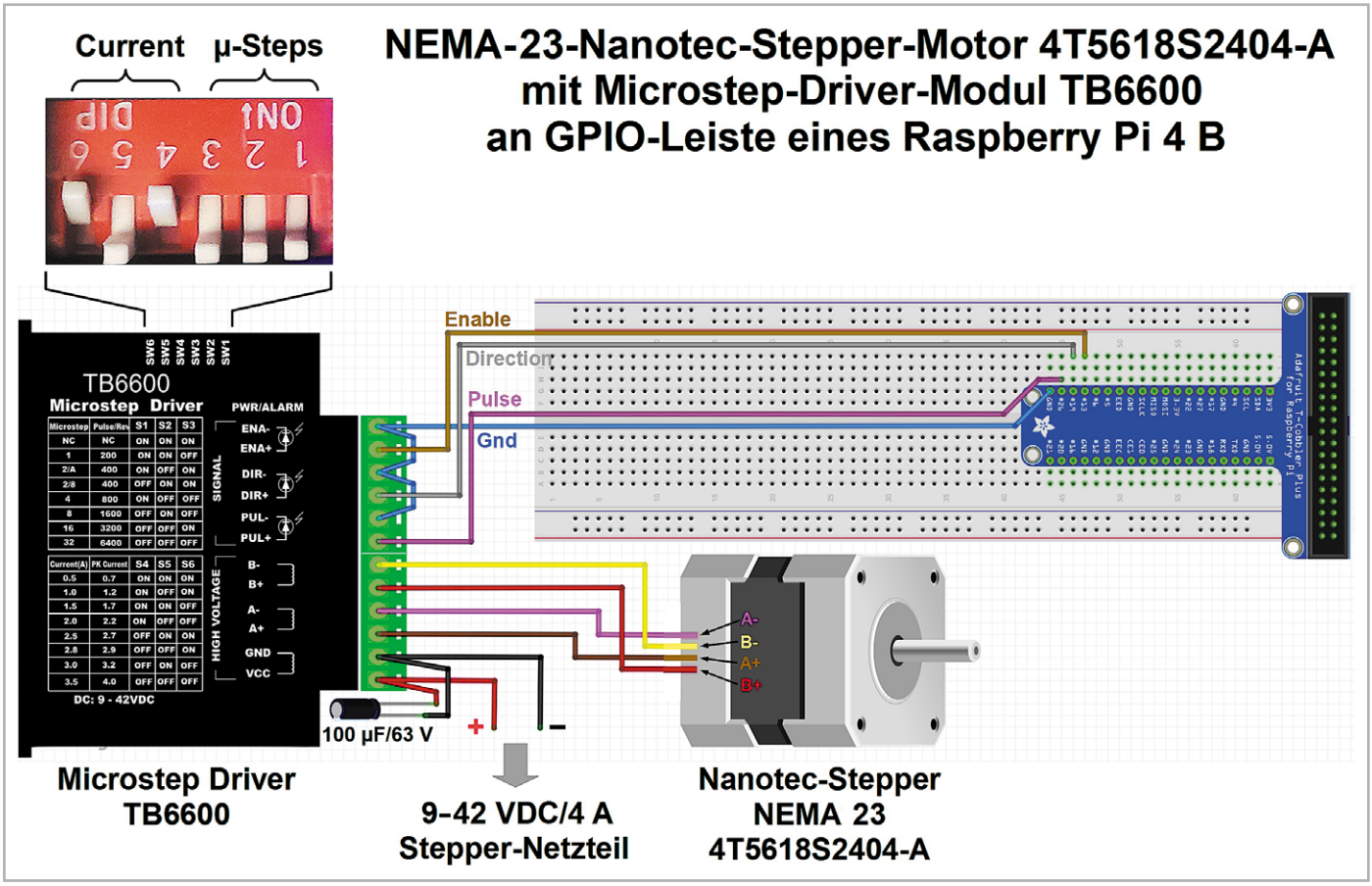


Bild 11: So werden Motor und Controller verdrahtet.

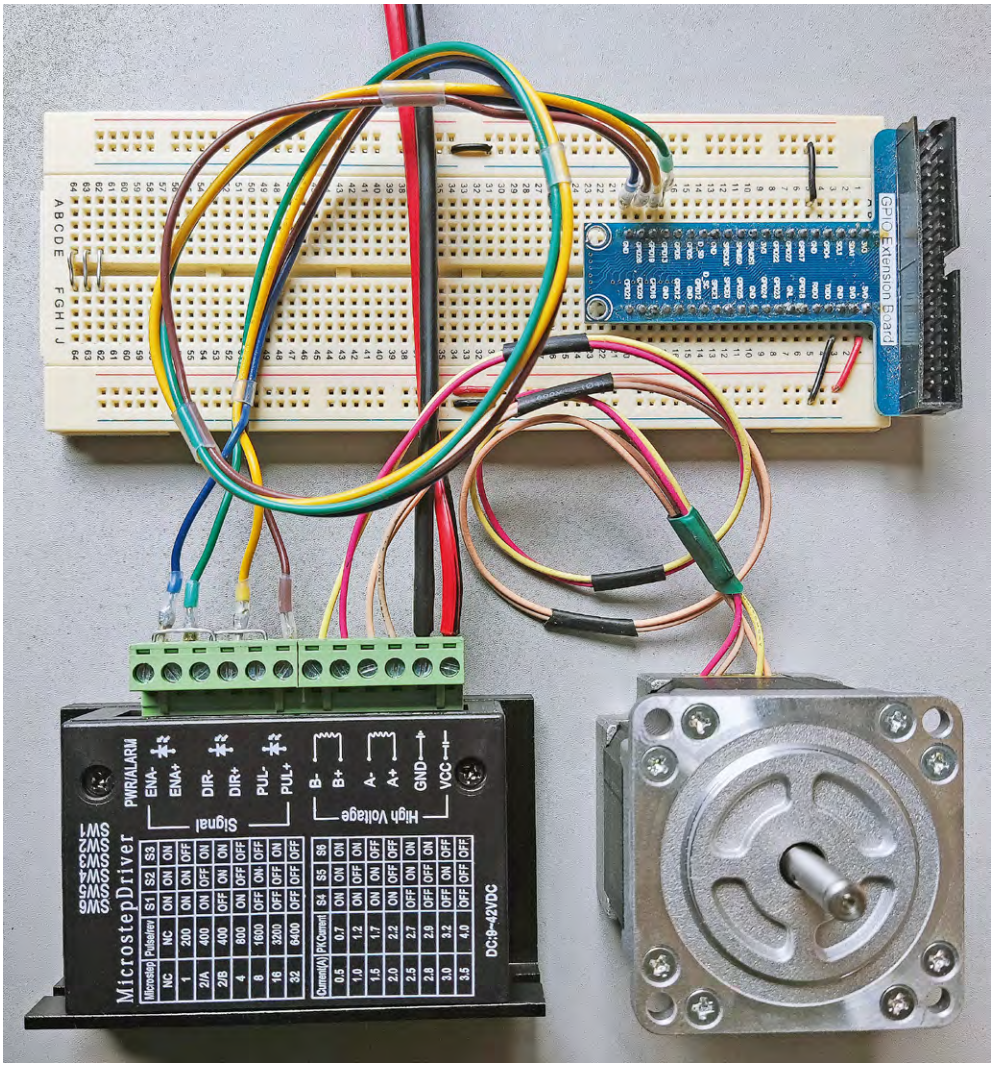


Bild 12: Die Verdrahtung in der Praxis

Bild 13: Das Python-Programm sollte leicht nachzuvollziehen sein.

Nanotec_4T56118S2404-A_231015.py

```python
from time import sleep; import RPi.GPIO as GPIO

GPIO.setmode(GPIO.BCM); GPIO.setwarnings(False)
STEP = 26; DIR = 19; ENA = 13; links = 1; rechts = 0; enable = 1; delay = 0.001

GPIO.setup(STEP, GPIO.OUT); GPIO.setup(DIR, GPIO.OUT); GPIO.setup(ENA, GPIO.OUT)

if enable == 1:
    GPIO.output(ENA, 0)
elif enable == 0:
    GPIO.output(ENA, 1)

while True:
    GPIO.output(DIR, links)
    for i in range(6401):
        GPIO.output(STEP, 1)
        sleep(delay)
        GPIO.output(STEP, 0)
        if i == 1600:
            print("Step", i, "Vierteldrehung rechts")
        elif i == 3200:
            print("Step", i, "Halbdrehung rechts")
        elif i == 4800:
            print("Step", i, "Dreivierteldrehung rechts")
        elif i == 6400:
            print("Step", i, "Volldrehung rechts \n")
    GPIO.output(DIR, rechts)
    for i in range(6401):
        GPIO.output(STEP, 1)
        sleep(delay )
        GPIO.output(STEP, 0)
        if i == 1600:
            print("Step", i, "Vierteldrehung links")
        elif i == 3200:
            print("Step", i, "Halbdrehung links")
        elif i == 4800:
            print("Step", i, "Dreivierteldrehung links")
        elif i == 6400:
            print("Step", i, "Volldrehung links \n")
```

Kommandozeile

```
Step 6400 Volldrehung links

Step 1600 Vierteldrehung rechts
Step 3200 Halbdrehung rechts
Step 4800 Dreivierteldrehung rechts
Step 6400 Volldrehung rechts

Step 1600 Vierteldrehung links
```

Anders ist es, wenn am Ein- oder Ausgang der Brücke eine Konstantstromquelle angeordnet ist. Diese Konstantstromquelle darf die Wicklung höchstens mit dem Nennstrom bestromen, wird aber natürlich selbst mit einer höheren Spannung als der Wicklungsnennspannung betrieben. Dabei gilt: Je höher die Betriebsspannung der Konstantstromquellen, desto größer ist deren Verlustleistung.

Beim erstgenannten Konstantspannungsbetrieb stellt sich also ein entsprechender Wicklungsstrom ein, beim zweitgenannten ergibt sich eine zugehörige Wicklungsspannung. Der Konstantstrombetrieb ist dem Konstantspannungsbetrieb hinsichtlich erreichbarer Drehzahl, dynamischen Verhaltens und Drehmoment im oberen Drehzahlbereich überlegen und kommt in modernen Treiber-ICs nahezu ausnahmslos zur Anwendung. In beiden Betriebsarten darf die maximal zulässige Verlustleitung in den Wicklungen nicht überschritten werden.

TB6600 ist ein preiswertes (ca. 5 Euro) und dennoch leistungsfähiges, universell verwendbares Schrittmotortreibermodul. Es wird durch ein separates Netzteil gespeist, das eine Gleichspannung von 9-42 V mit einem Spitzenstrom von 4 A liefern können sollte. TB6600 verfügt über drei Steuerungseingänge, nämlich

- ENA: ENAble = Modul aktivieren,
- DIR: DIRection = Drehrichtung,
- PUL: PULse = Schrittimpuls,

die mit drei jeweils als Ausgang geschalteten Ports der GPIO-Leiste des Raspberry Pi gemäß Bild 11 verbunden sind. Ein „Mäuseklavier" (DIP-Schalter, DIP: Dual Inline Package) an der Seite des Stepper-Moduls erlaubt die Einstellung der Mikrosteps und und des Wicklungsstroms.

Ein Foto des realen Aufbaus zeigt Bild 12. Der Wannenstecker am T-Cobbler wird über ein 20-poliges Flachbandkabel mit der GPIO des Raspberry Pi 4 B verbunden, die rot-schwarzen Kabel am oberen Bildrand führen zum Netzteil zur Motorspeisung. Wie in Bild 11 zu sehen ist, wurde an den DIP-Schaltern SW4 = ON, SW5 = OFF, SW6 = ON gewählt, was zu einem Wicklungsstrom von 1 A führt. Mit SW1 = OFF, SW2 = OFF und SW3 = OFF werden 32 zusätzliche Mikrosteps gewählt. Weil der Motor ohne Mikrosteps mit 200 Schritten à 1,8° eine ganze Drehung vollzieht, sind es jetzt 32 x 200 = 6400 Steps/Umdrehung.

Bild 13 zeigt das zugehörige Python-Programm. Zu erwähnen ist, dass bei einem passiven Enable-Ausgang (GPIO13 = 0) der Motor steht, ohne dass die Statorspulen bestromt werden. Das spart Energie und erlaubt die leichte, widerstandsarme Drehung des Rotors in eine Wunschposition. ELV

Für Technik-Fans und Selber-Macher

ELV

Mini-Signalverfolger mit 1-kHz-Generator MSV2

- Batteriebetriebener Audio-Signalverfolger für den Bereich von 170 Hz bis 15 kHz
- Verstärkungsfaktor einstellbar für einen Eingangsspannungsbereich von 1 mVss bis 6 Vss
- Signalausgabe über integrierten Lautsprecher, Wiedergabelautstärke einstellbar
- Zusätzlicher Signalgenerator, 1-kHz-Sinussignal, max. 2 Vss, Ausgangspegel einstellbar
- Sparsamer Batteriebetrieb, Batterie-lebensdauer bis zu 30 Betriebsstunden

BAUSATZ

39,95 €

Artikel-Nr. 152801

Zum Produkt

Anwendungsbeispiel

BAUSATZ

26,95 €

Artikel-Nr. 156596

Zum Produkt

ELV

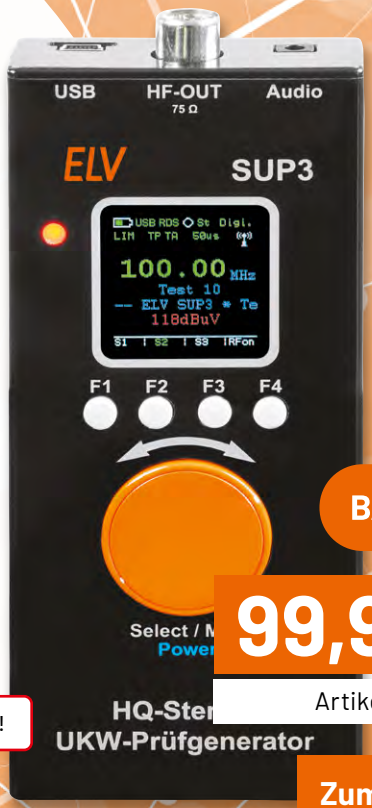
Mini-Voltmeter für Steckboards mit TFT-Display MVM1

- 2 Spannungen bis 40 V gleichzeitig messbar
- Hochwertiges 0,96" TFT-Display (80 x 160 Pixel)
- Verschiedene Anzeigemodi auf dem TFT-Display (digital, analog, Bargraph, Plotter)
- Autorange oder feste Einstellung für 6 -V- oder 40-V-Messbereich
- Weiter Versorgungsspannungsbereich von 4 bis 24 V
- Sehr kleines Modul (40,3 x 30,3 x 17 mm)
- Nutzung Stand-alone/Steckbrett-kompatibel
- Ausgabe der Messwerte per UART-Schnittstelle
- Addition/Subtraktion der beiden Messwerte möglich, dadurch z. B. auch Messung über ein Bauteil in einer Schaltung möglich

ELV

HQ-Stereo-UKW-Prüfgenerator mit OLED-Display SUP 3

- Frequenzbereich: 87,5–108 MHz
- Signalquellen: analoger Stereo-Audioeingang (Klinkenbuchse), digitaler USB-Port oder interner Oszillator
- RDS-Textausgabe (2 x 8 Zeichen)
- Übersichtliche Anzeige und Bedienung am Gerät über farbiges OLED-Display (1,5"/3,81 cm) und Inkrementalgeber mit Tasterfunktion
- Konfiguration und Fernbedienung über USB per PC möglich, dabei fungiert der SUP3 als externe Soundkarte
- PC-Steuersoftware für Windows 7, 8, 10 als Downloaddatei



BAUSATZ

99,95 €

Artikel-Nr. 143310

Hier geht es zum Video!

Zum Produkt

ELV

Komponententester/ESR-Meter mit OLED-Display KT200

- Mehrfarbiges 4,1-cm-OLED-Display (1,6") zur menügeführten Bedienung, Ergebnisausgabe und Kennliniendarstellung
- Zoomen der Anzeige bei Komponententest möglich
- Speicherung einer parallel zur aktuellen Messung anzeigbaren Referenzkennlinie möglich
- Im ESR-Betrieb Nutzung eines akustischen Signalgebers mit einstellbarer Schaltschwelle für die schnelle Beurteilung gut/schlecht
- Zusätzlich als Durchgangsprüfer und genaues R-Messgerät bis 20 Ω nutzbar
- Messbereiche: ESR: 0-20 Ω/Auflösung 0,1 Ω; KT: ±10 V (20 Vss), 50 Hz
- Messspannung: ESR: 250 mV/60 kHz; KT: 20 Vss/50 Hz
- Akku-/Netzbetrieb möglich

Hier geht es zum Video!

BAUSATZ

84,95 €

Artikel-Nr. 132237

Zum Produkt

Kondensator-Leckstrom-Tester

Gerätekonzept

von Manuel Caldeira

In diesem Beitrag erkläre ich, warum das Testen von Kondensatoren bei der Restaurierung alter elektronischer Geräte von großer Bedeutung ist, und präsentiere mein Gerätekonzept für einen Tester zur Messung des Leckstroms von Kondensatoren. Da sich das dielektrische Medium von Kondensatoren im Laufe der Zeit zersetzt und Leckströme erzeugt, ist es häufige Fehlerquelle in elektronischen Schaltungen.

Für diejenigen mit Erfahrung in der Restaurierung alter elektronischer Geräte, insbesondere von solchen mit Röhren, ist der Austausch von Kondensatoren wahrscheinlich eine Routineaufgabe. Fehlerhafte Kondensatoren sind eine häufige Ursache für Gerätefehlfunktionen, folgerichtig sind sie daher Ausgangspunkt im Restaurierungsprozess.

Aber warum ist das so? Viele erwarten vielleicht, dass Röhren wegen der großen Hitze, die sie während des Betriebs aushalten müssen, als Erstes ausfallen. Es stimmt zwar, dass Röhren regelmäßig ausgetauscht werden müssen, der Austausch aber dank ihrer Stecksockel leicht möglich ist. Frühere Besitzer haben die Röhren wahrscheinlich mindestens einmal während der Lebensdauer des Geräts erneuert. Kondensatoren hingegen sollten ursprünglich die gesamte Lebensdauer des Geräts überdauern, sodass sie im Gegensatz zu Röhren oder auch Sicherungen nicht für einen einfachen Austausch durch den Benutzer ausgelegt sind.

Interessanterweise habe ich bei über hundert restaurierten Röhrenradios oft Originalröhren gefunden, die noch zufriedenstellend funktionierten, dagegen nie eines, bei dem alle Kondensatoren in einem akzeptablen Zustand waren (Bild 1).

Der Grund ist ganz einfach: Kondensatoren bestehen aus zwei leitenden Oberflächen, die durch ein nichtleitendes dielektrisches Medium getrennt sind. Mit der Zeit verschlechtert sich diese dielektrische Schicht, was zum Ausfall des Kondensators führt. Häufig resultiert daraus ein sogenannter Leckstrom, der im Mittelpunkt dieses Artikels steht. Beschrieben wird der Entwurf eines Geräts, das dieses Problem messtechnisch erfassen kann.

Über den Autor
Manuel Caldeira schloss sein Studium der Elektrotechnik an der University of Natal (Durban) 1985 ab. Direkt nach der Universität begann er, bei Siemens (Südafrika) zu arbeiten. Danach ging er in die Wirtschaft, anstatt in der Technik zu bleiben. Schließlich kehrte er zur Elektronik zurück und restauriert alte Röhrenradios. Er tüftelt so ziemlich an allem, was ihm auf dem Gebiet der Elektronik gefällt.
Von seinem Wohnsitz auf Madeira aus betreibt Manuel Caldeira auf Youtube den Kanal Electronics Old and New by M Caldeira, der sich hauptsächlich mit Röhrenradios beschäftigt. In den vergangenen acht Jahren hat er dazu mehr als 570 Videos veröffentlicht. Mittlerweile hat er mehr als 244500 Abonnenten.

Messen des Kondensatorzustands

Der erste Schritt zur Beurteilung der Verfassung eines Kondensators besteht darin, seine Kapazität zu messen. Kapazitätsmessgeräte sind weit verbreitet und recht günstig, was sie zu einem unverzichtbaren Werkzeug in jeder Elektronikwerkstatt macht. Sie liefern einen eindeutigen Messwert der Kapazität in Mikrofarad (oder Picofarad, Nanofarad usw.), der mit dem Nennwert und damit den Spezifikationen verglichen werden kann.

Die Kapazität allein reicht jedoch nicht aus, um den Zustand eines Kondensators abschließend zu bestimmen. Die Messung des äquivalenten Serienwiderstands (ESR: Equivalent Series Resistance) ist ebenfalls entscheidend. Insbesondere bei Elektrolytkondensatoren, in denen ein erhöhter ESR auf eine Verschlechterung der Kondensatorzustands hinweist. ESR-Messgeräte sind ebenfalls leicht und erschwinglich verfügbar.

Die größere Herausforderung besteht darin, den Leckstrom eines Kondensators zu messen – den „lautlosen Killer", der Ihr Gerät beim unvorsichtigen Einschalten zerstören kann. Herausfordernd ist dabei, dass dieser Leck-Gleichstrom durch den Kondensator in Spannungsbereichen gemessen werden muss, die nahe bei den maximalen Betriebswerten liegen. Dies ist insbesondere bei Röhrengeräten wichtig, in denen diese sehr hohen Spannungen nahe den Spezifikationen auch tatsächlich schaltungsbedingt auftreten!

Papier- oder Filmkondensatoren, wie sie häufig in Röhrengeräten eingesetzt werden, neigen ebenfalls dazu, mit dem Alter abzubauen. Das Dielektrikum kann durch Einwirkung von Hitze, Luft oder Feuchtigkeit beschädigt werden, wodurch es seine isolierenden Eigenschaften verliert und den Kondensator effektiv in einen Widerstand verwandelt. Dadurch kann ein echter Gleichstrom durchgelassen werden, anstatt nur Ladung über die beiden Oberflächen zu übertragen. In diesem Fall spricht man davon, dass der Kondensator „leckt".

Sind ungebrauchte, aber alte Lagerteile noch okay?

Besitzer wertvoller Vintage-Röhrengeräte möchten oft die vollständige Originalität ihrer Geräte bewahren und bestehen darauf, dass alle ausgetauschten Teile originalgetreu sind. Hier stoßen wir auf ein interessantes Problem: Selbst wenn eingelagerte, aber neue und damit unbenutzte Kondensatoren gefunden werden, gibt es keine Garantie dafür, dass sie nicht unter denselben altersbedingten Leckageproblemen leiden.

Die Alterung ist der gemeinsame Faktor, der sowohl gebrauchte als auch ungenutzte Kondensatoren ähnlichen Herstellungsdatums betrifft. Im Laufe der Zeit kann es zu einer Verschlechterung des Dielektrikums kommen, unabhängig davon, ob das Bauteil im Betrieb verwendet wurde oder nicht. Dieser Prozess ist häufiger bei Elektrolytkondensatoren vorzufinden, bei denen das Austrocknen des Dielektrikums ein Hauptproblem darstellt - aber auch das Eindringen von Feuchtigkeit kann andere gängige Kondensatortypen in Röhrengeräten beeinträchtigen.

Besitzer defekter Röhrengeräte sind daher gut darin beraten, ihren Wunsch nach Ästhetik zugunsten eines garantiert funktionierenden Geräts aufzugeben.

Alte Kondensatoren sollten durch moderne Typen ersetzt werden, die nicht nur besser konstruiert, sondern auch viel kleiner als ihre alten Gegenstücke sind. Oft können diese neuen Teile so „getarnt" werden, dass sie wie die Originale aussehen. Hierfür werden sie in den Gehäusen der alten Kondensatoren versteckt. Bei diesem Verfahren wird das Innenleben der alten Kondensatoren entfernt, danach werden die neuen, kleineren Kondensatoren in die ursprüngliche physische „Hülle" eingesetzt. So bleibt die Anwesenheit neuer Komponenten in alten Schaltungen verborgen. Dies ist zwar ein sehr zeitaufwendiges Verfahren, liefert jedoch optisch elegante Ergebnisse ohne Kompromisse bei Funktion und Sicherheit.

Bild 1: Einige der üblichen „Opfer" von Restaurierungsprojekten

Fazit: Unabhängig davon, ob ein Kondensator ständig verwendet oder jahrzehntelang unbenutzt in einer Bauteileschublade gelagert wurde - es immer eine gute Idee, ihn vor dem Einbau auf Leckströme zu testen.

Wird nur ein Gleichspannungsnetzgerät benötigt?

Im Wesentlichen wird nur eine Gleichspannungsquelle benötigt, weil das Ziel darin besteht, den Leckstrom durch den Kondensator zu messen, wenn er seiner Betriebsspannung ausgesetzt ist (Bild 2).

Bild 2: Leckströme können bei erhöhter Spannung unterhalb der maximalen Nennspannung des Bauteils gemessen werden.

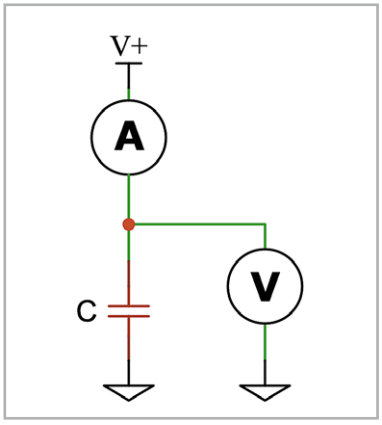


Bild 3: Die einfachste Testschaltung für Kondensatorleckströme

Daher muss eine solche Spannung an den Kondensator auch angelegt und der durch ihn fließende Strom gemäß Bild 3 gemessen werden. Das Amperemeter misst den Leckstrom, während das Voltmeter parallel die angelegte Spannung misst.

Da die Nennspannungen von Kondensatoren enorm variieren, wird eine einstellbare Stromversorgung benötigt. Der von ihr zu liefernde Strom ist sehr klein, da der zu erwartende Leckstrom sehr gering sein wird. Wie gering? Nun, jeder Kondensator, der mehr als ein paar Milliampere Leckstrom aufweist, kann als fehlerhaft angesehen werden. Daher gilt es als vernünftig, eine mit 10 mA mehr als ausreichende Obergrenze festzulegen.

Warum ist Leckstrom ein so großes Problem?

Wenn der Leckstrom eines Kondensators sehr gering sein kann, warum ist er dann ein so großes Problem in elektronischen Schaltungen? Dies lässt sich am besten anhand des Schaltbilds einer typischen Leistungsendstufe eines Röhrenradios (wie sie im Grundig 2147 Röhrenradio verwendet wird), verstehen (siehe Bild 4).

Das Audiosignal wird von der vorhergehenden Vorverstärkerstufe über einen Kondensator (C) in das Gitter der Leistungsröhre eingespeist. Der Vorverstärker besteht aus einer Triode, an deren Anode das Ausgangssignal erzeugt wird und die ein relativ hohes Gleichspannungspotential von 84 V_{DC} aufweist.

Der Kondensator C blockiert die Gleichspannung und lässt nur das Audiosignal passieren. Normalerweise funktioniert das problemlos, vorausgesetzt, der Kondensator blockiert die Gleichspannung vollständig. Doch was passiert, wenn der Kondensator einen Leckstrom aufweist? Welche Auswirkungen können ein paar Mikroampere in diesem Fall haben?

Die Folgen von nur wenigen Mikroampere (z. B. 3 µA) können erheblich sein, wie eine einfache Rechnung mit dem ohmschen Gesetz aufzeigt.

Die Leistungsröhre muss für den Betrieb richtig vorgespannt sein. In der Schaltung von Bild 4 ergibt ein 140-Ω-Widerstand zwischen Kathode und Masse eine Kathodenspannung (VK) von 5,6 V auf Masse bezogen. Normalerweise fließt kein Strom in oder aus dem Gitter der Röhre, da es eine sehr hohe Impedanz hat. Folglich fließt kein Strom durch den

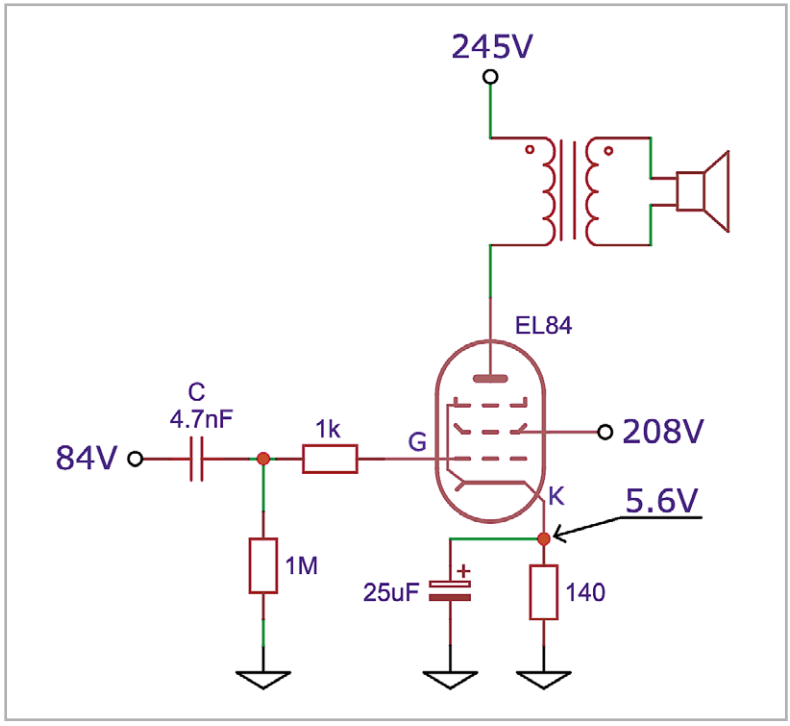


Bild 4: Typische Leistungsausgangsstufe eines Röhrenradios, die über den Kondensator C mit der vorhergehenden Vorverstärkerstufe gekoppelt ist

Gittervorwiderstand (1 kΩ), der auch als „Gridstopper" bezeichnet wird und hauptsächlich dazu dient, jegliche Hochfrequenzstörungen zu beseitigen bzw. zu „stoppen", sowie durch den Gitterableitwiderstand (1 MΩ). Dies bedeutet, dass die Spannung am Gitter (V_G) der Röhre 0 V betragen muss, da diese über die Widerstände, durch die kein Strom fließen kann und an denen daher kein Spannungsabfall auftritt, mit Masse verbunden ist.

Wir haben also:

V_K = 5,6 V
V_G = 0 V

Daher gilt:

$V_{GK} = V_G - V_K$
= 0 – 5,6 V
= -5,6 V

Erwartungsgemäß benötigt die Röhre eine negative Gitter-Kathoden-Spannung (V_{GK}), um eine sichere Vorspannung zu gewährleisten. Wenn diese Spannung „weniger" negativ wird, steigt der Ruhestrom in der Röhre, was wiederum ihre Verlustleistung erhöht. Umgekehrt wird bei negativerer V_{GK} der Anodenstrom in der Röhre schließlich vollständig gesperrt.

So weit, so gut. Es besteht ein stabiler Ruhezustand und das Audiosignal moduliert die Gitterspannung, um das Ausgangssignal zu erzeugen. Richtig, es sei denn, die Gittergleichspannung beträgt nicht 0 V, was durch den Leckstrom des Kondensators verursacht werden kann und, wie wir erkennen werden, möglicherweise dramatische Auswirkungen hat.

Nehmen wir beispielsweise einen Leckstrom von 3 µA an – wohin fließt dieser Strom? Er kann nicht in das Gitter der Röhre fließen, also muss er durch den einzigen verfügbaren Weg zur Masse abfließen, nämlich durch den 1-MΩ-Gitterableitwiderstand.

Hier beginnt das Problem: Der 3-µA-Strom fließt durch den 1-MΩ-Widerstand und erzeugt einen Spannungsfall von 3 Volt, was zur Folge hat, dass das Gitter nun auf 3 V_{DC} und nicht mehr auf einem Potential von 0 V liegt.

Achtung, Gefahr! – Hochspannung!

Die Spannungen im Inneren eines Röhrenradios und die, die beim Gebrauch dieses Testgeräts auftreten, können sehr hoch sein – im Bereich von Hunderten von Volt, sodass äußerste Vorsicht geboten ist, um lebensbedrohliche Stromschläge zu vermeiden.
Die beschriebenen Arbeiten dienen nur als Anschauungsbeispiel und zum Verständnis der verwendeten Technologie und sollten nur von dafür qualifizierten Technikern durchgeführt werden.

Nun sieht unsere Rechnung so aus:

$V_{GK} = V_G - V_K$
$= 3\ V - 5{,}6\ V$
$= -2{,}6\ V$

Mit einer deutlich geringeren negativen Spannung am Gitter „öffnet" die Röhre weiter und ihr Ruhestrom steigt dramatisch an. Ein kurzer Blick in das Datenblatt der EL84 (Bild 5) zeigt einen Anodenstromanstieg von etwa 45 mA auf 88 mA, ein Zuwachs von nahezu 100 Prozent!

Der Leckstrom könnte auch noch höher sein. Betrüge er beispielsweise 10 µA, so würde die Spannung zwischen Gitter und Kathode positiv werden, was zum vollständigen Öffnen und praktisch zum Schmelzen der Röhre führen würde. Diese Situation wäre nicht nur verheerend für die Röhre, sondern auch für den Ausgangstransformator, durch den dieser Anodenstrom fließt.

So können einige wenige µA Leckstrom in einem Bauteil, dessen Ersatz weniger als einen Euro kostet, zum Verlust einer Röhre und eines sehr teuren (und schwer zu beschaffenden) Ausgangstransformators führen.

Das Design der Stromversorgung

Kondensatoren gibt es in vielen Formen und Größen, und ihre Nennspannungen variieren je nach Anwendung stark. Viele Papierkondensatoren in Röhrenradios haben eine Nennspannung von 400 V bis 600 V, einige erreichen sogar bis zu 1000 V!

Diese hohe Spannung stellt eine Herausforderung für die Prüfung dar. Um den Leckstrom eines Kondensators genau zu messen, ist ein Test bei seiner maximalen Nennspannung ideal. Die Konstruktion eines Gleichspannungsnetzgeräts, das 1000 V_{DC} liefern kann, ist aber sowohl komplex als auch kostspielig und birgt erhebliche Risiken sowohl bei der Konstruktion als auch bei der Verwendung. Um diese Herausforderungen zu verringern, wurde ein System mit niedrigerer Spannung entwickelt, welches auf spezielle Anforderungen zugeschnitten ist, anstatt zu versuchen, jedes mögliche Szenario abzudecken.

Die meisten Röhrenradios arbeiten mit Spannungen von 300 V_{DC} oder weniger. Die Konstruktion einer Stromversorgung für diesen Spannungsbereich ist viel einfacher - daher wurden 300 V_{DC} als ungefähre Obergrenze des Projekts festgelegt.

Dennoch nochmal der eindringliche Hinweis:

Selbst diese „reduzierte" Spannung von 300 V_{DC} ist immer noch extrem gefährlich und stellt eine tödliche Stromschlaggefahr dar.
Es besteht absolute Lebensgefahr!
Den Lesern wird dringend davon abgeraten, diesen Aufbau nachzustellen, wenn sie keine Erfahrung im Umgang mit hohen Spannungen haben.
Die Restaurierung von Röhrenradios oder anderen Röhrengeräten beinhaltet den Umgang mit Spannungen dieser Höhe und erfordert äußerste Vorsicht. Sollten Ihre Fähigkeiten und Kenntnisse nicht ausreichend sein, versuchen Sie es keinesfalls!

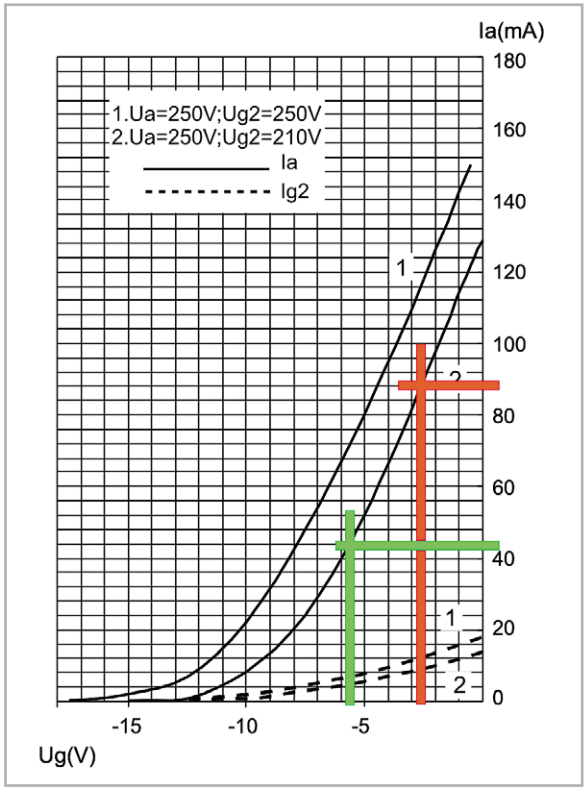


Bild 5: Auswirkung einer Erhöhung der Gitterspannung um 3 V auf den Anodenstrom einer EL84-Röhre

Einführung in das Design

Die Grundlage dieses Designs ist eine einfache Gleichstromversorgung, die die maximal erforderliche Spannung liefern kann. In diesem Fall liegt das Ziel bei etwa 300 V_{DC}, was einen Transformator erfordert, der dieses Spannungsniveau liefern kann. Der Transformator muss für die Netzspannung ausgelegt sein und eine Sekundärspannung von etwa 230 V_{AC} haben. Nach der Gleichrichtung durch einen Brückengleichrichter sollte die daraus resultierende Spannung wie folgt aussehen:

$V_{DC} = (V_{AC} \times 1{,}414) - (2 \times 0{,}7)$
$= (230\ V_{AC} \times 1{,}414) - 1{,}4$
$= 323{,}8\ V_{DC}$

Für dieses Projekt wurde ein Ringkerntransformator (Bild 6) von einem Röhrenvorverstärkerprojekt wiederverwendet, das nie abgeschlossen wurde. Dieser Transformator mit einer Sekundärspannung

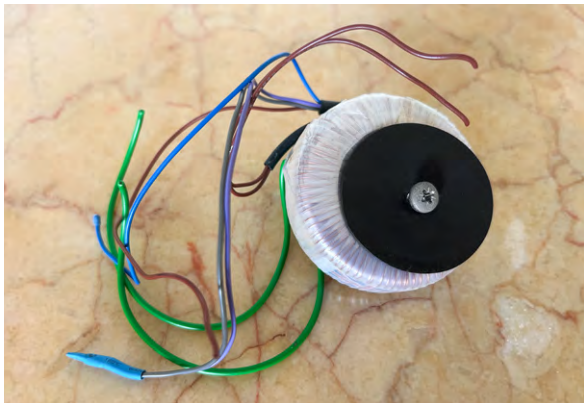


Bild 6: Ein im Originaldesign verwendeter Transformator mit geringer Leistung für einen Röhrenvorverstärker

von 230 VAC bei maximal 30 mA verfügt außerdem über eine 6,3-VAC-Heizwicklung. Da das Ziel darin besteht, mit sehr kleinen Leckströmen zu testen, reicht ein Transformator aus, der nur 10 mA liefern kann. Ein Trafo mit diesen Leistungsdaten ist zudem nicht sehr teuer. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Artikels bietet ein großer Online-Händler einen Transformator mit diesen Spezifikationen für weniger als zwanzig Euro an.

Bild 7 zeigt das grundlegende Schaltbild des ersten Teils des Projekts. Die Primärseite ist durch eine Sicherung geschützt, eingeschaltet wird das System über einen Schalter. Der Schutzleiter ist aus Sicherheitsgründen fest mit dem Chassis verbunden. Die Sekundärspannung wird durch einen Brückengleichrichter gleichgerichtet, was zu einer Gleichspannung von ungefähr 320 V führt. Der Minuspol der gleichgerichteten Gleichspannung wird zur gemeinsamen Masse für den Schaltkreis, jedoch nicht mit dem Chassis (Netzerde) verbunden, da die Versorgung vollständig „schwimmen" muss. Der Grund dafür wird später in diesem Artikel erläutert.

Ein 10-µF-Siebkondensator dient der Glättung dieser Gleichspannung und ist auf eine Nennspannung von 450 Volt ausgelegt. Da die Strombelastung des Transformators sehr gering ist, reduziert ein 100-Ω-Widerstand den Einschaltstrom, wenn der Siebkondensator zum ersten Mal aufgeladen wird. Ein dem Kondensator parallel geschalteter Widerstand dient zu seiner Entladung, wenn das Gerät ausgeschaltet wird.

Die Heizungsversorgungsspannung wird mit einer einzelnen Diode gleichgerichtet und mit einem 100-µF-Kondensator geglättet. Dadurch wird eine Niederspannungsquelle für die LED-Einschaltanzeige sowie für das digitale Voltmetermodul bereitgestellt, das zur Anzeige der Ausgangsspannung verwendet wird.

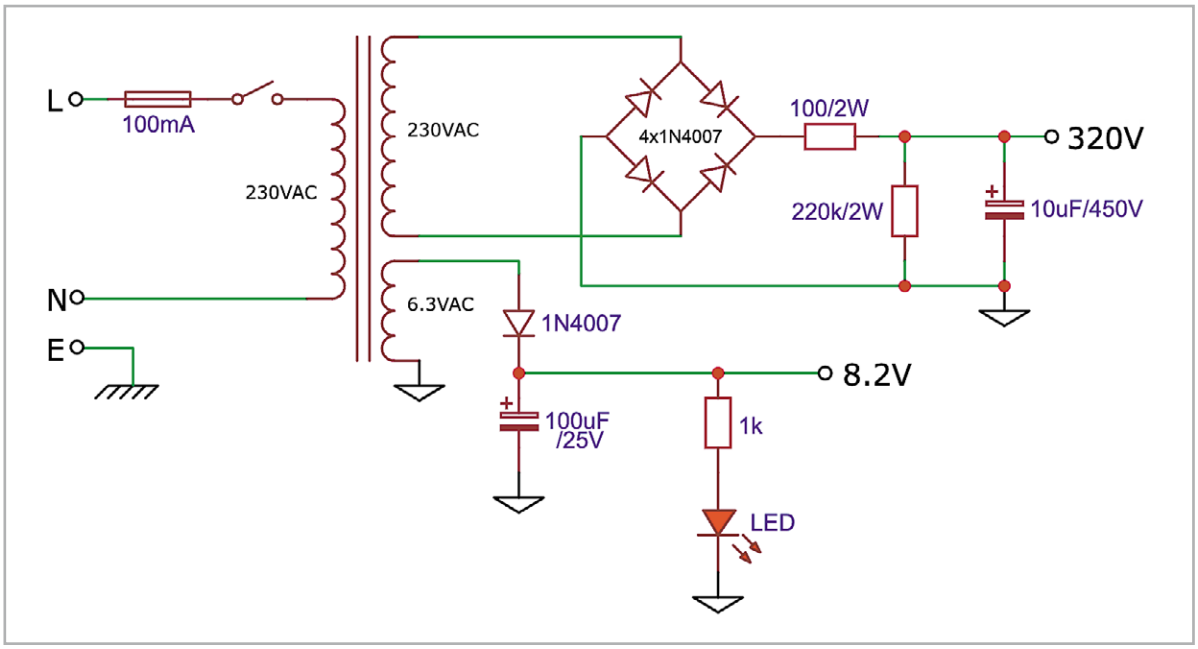


Bild 7: Schaltbild der Hauptspannungsversorgung

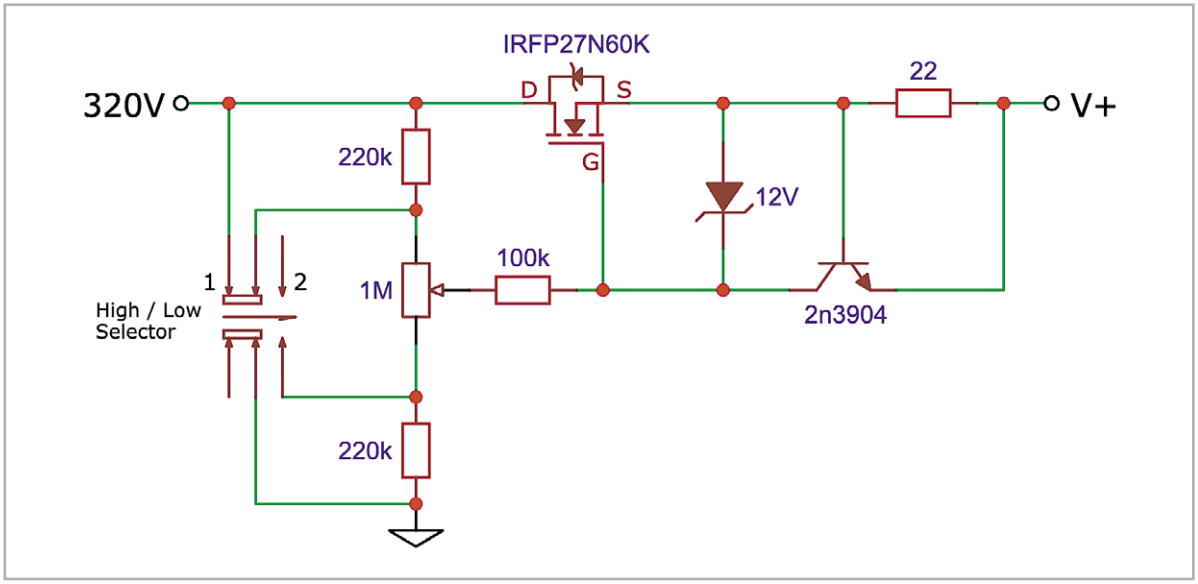


Bild 8: Strombegrenzte variable Spannung mit MOSFET-Source-Folger

Variable Versorgung

Die gleichgerichtete, stabile Spannung von ungefähr 320 V muss nun einstellbar gemacht werden. Idealerweise sollte sie von 0 V bis zur maximalen Spannung kontrolliert veränderbar sein. Dafür gibt es zwei grundlegende Gründe:

1. Die Nennspannungen der Kondensatoren variieren, daher ist es unpraktisch und auch gefährlich, an alle die gleiche Festspannung anzulegen.
2. Wenn Kondensatoren längere Zeit inaktiv waren, zeigt die Praxiserfahrung, dass es gut ist, sie einer inkrementellen Spannung auszusetzen, die niedrig beginnt und langsam auf den Betriebs- oder Nennwert ansteigt. Dies gilt insbesondere für Elektrolytkondensatoren, da sie sich bei angelegter Spannung tatsächlich „reformieren" können, ein Vorgang, der die dielektrischen Eigenschaften ändert und die Leistung verbessert oder wiederherstellt, was jedoch einige Zeit dauern kann.

Eine der einfachsten Möglichkeiten, dies zu erreichen, ist die Verwendung einer MOSFET-Source-Folger-Schaltung, wie in Bild 8 dargestellt. Diese Schaltung ist bei Gitarrenverstärkerbauern sehr beliebt, um eine „Leistungsskalierung" zu erreichen. Die Schaltung funktioniert, indem sie die Eigenschaft des „variablen Widerstands", des MOSFET, ausnutzt, wenn er in seinem linearen Bereich betrieben wird. Der Drain-Source-Pfad wird effektiv entsprechend der Gate-Source-Spannung (V_{GS}) geöffnet und geschlossen. Wenn V_{GS} 0 ist, ist der Pfad geschlossen und es fließt kein Strom – wie bei einem unendlich großen Widerstand.

Überschreitet V_{GS} einen bestimmten Pegel (die sogenannte Schwellenspannung), öffnet er sich vollständig und stellt nahezu einen Null-Widerstand für den Drain-Source-Pfad dar. Die am Source-Anschluss auftretende Spannung folgt (mit einer kleinen Differenz) der am Gate vorhandenen Spannung, daher auch der Name „Source-Folger" (source follower).

Die Spannung von ca. 320 V, die im vorhergehenden Abschnitt erzeugt wurde, liegt am Drain-Anschluss des MOSFET an. Sie tritt auch an den drei Widerständen zur Masse auf, von denen einer ein Potentiometer ist. Diese Widerstandskette fungiert als Spannungsteiler, wodurch ein Teil der 320 V (über einen Gate-Vorwiderstand) an das Gate des MOSFET geleitet werden kann, was wiederum dafür sorgt, dass sie am Source-Anschluss wegen der Source-Folger-Funktion des MOSFET am Ausgang erscheint. Ein zweipoliger Umschalter schließt einen von zwei Widerständen kurz und nimmt ihn aus dem Stromkreis. Dadurch ergeben sich zwei Möglichkeiten:

- Position 1: Der obere Widerstand ist kurzgeschlossen und das Potentiometer ist direkt mit 320 V verbunden. Der untere Widerstand ist dabei mit Masse verbunden.
- Position 2: Der untere Widerstand ist kurzgeschlossen, das Potentiometer ist mit Masse und über den oberen Widerstand mit 320 V verbunden.

Die Funktion der zwei Widerstände

Sehen wir uns an, welche Spannungen am Schleifkontakt des Potentiometers in den beiden Positionen möglich sind:

Position 1:

Am oberen Ende des Potentiometers (1 MΩ) liegen 320 V, wobei der untere Widerstand (220 kΩ) mit Masse verbunden ist. Dieser einfache Spannungsteiler sorgt dafür, dass am Verbindungspunkt der beiden eine Spannung von

$$V = 320\ V \times 220/(1000+220)$$
$$= 57{,}7\ V$$

anliegt. Das bedeutet, dass die Spannung am Schleifer zwischen 57,7 V und 320 V variieren kann, wenn er im Uhrzeigersinn gedreht wird.

Position 2:

Das Potentiometer ist jetzt mit einem Ende an Masse und mit dem anderen Ende über einen 220-kΩ-Widerstand mit 320 V verbunden, sodass an der Verbindung eine Spannung von

$$V = 320\ V \times 1000/(1000+220)$$
$$= 262{,}3\ V$$

anliegt. Das bedeutet, dass die Spannung am Schleifer zwischen 0 V und 262,3 V variieren kann, wenn er im Uhrzeigersinn gedreht wird.

Es wurden damit effektiv zwei Spannungsbereiche (niedrig und hoch) geschaffen, um das Gate des MOSFET zu versorgen. Nun könnte man argumentieren, dass dies überflüssig sei, da das Potentiometer ohne diese Widerstände den ganzen Bereich von 0 V bis 320 V abdecken würde. Es soll jedoch vermieden werden, dass die vollen 320 V über dem Potentiometer angelegt werden, da viele dieser Potentiometer nicht für Spannungen über 250 V ausgelegt sind. Dies erfordert den Einsatz eines Potentiometers von optimaler Qualität. Zudem sollte keine Miniaturausführung eingesetzt werden, da es eine angelegte Spannung von 262,3 V aushalten muss. Ziel sollte es sein, eine übermäßig starke elektrische Belastung zu vermeiden. Die Leistung stellt kein Problem dar, da der Strom sehr gering ist (etwa 0,26 mA).

Die Zenerdiode verhindert, dass die Gate-Source-Spannung des MOSFET jemals ihren Nennwert überschreitet, wodurch das Gerät beschädigt werden könnte. Dies wäre der Fall, wenn das Potentiometer schnell reduziert wird, während die Ausgangsspannung aufgrund großer (Test-)Kondensatoren in der Last kurzzeitig höher als die Gate-Spannung gehalten wird.

Der 22-Ω-Widerstand und der Transistor in der Schaltung dienen als Strombegrenzer. Wenn die Spannung über dem 22-Ω-Widerstand aufgrund des zunehmenden Stromflusses durch ihn steigt, wird der Transistor irgendwann leitend, da diese auch die Basis-Emitter-Spannung des Transistors ist. Sein Kollektor-Emitter-Pfad beginnt sich zu öffnen und zwingt die Gate-Spannung des MOSFET zum Abfallen. Hierdurch wird der MOSFET abgeschaltet und ein maximaler Stromfluss durch ihn aufrechterhalten. So wie es in diesem Beispiel aussieht, ist der maximale Strom mit etwa 27 mA tatsächlich etwas hoch, kann aber durch Erhöhen des Widerstandswerts reduziert werden. Ein 47-Ω-Widerstand würde den Strom beispielsweise auf etwa 10 mA begrenzen.

Bei der Auswahl eines geeigneten MOSFET ist etwas Sorgfalt geboten. Es muss eine N-Kanal-Ausführung sein, die mindestens die maximale Ausgangsspannung unserer Versorgung plus einen gewissen Spielraum verarbeiten kann.

Dies ist notwendig, weil die gesamten 320 V über der Drain-Source-Strecke anliegen, wenn wir das Potentiometer so einstellen, dass am Ausgang 0 V vorhanden sind. Auch wenn der Stromfluss zwar gering ist, kann ein Kühlkörper immer noch notwendig werden. Alle Widerstände in der Schaltung haben eine Nennleistung von 2 W, hauptsächlich aus Sicherheitsgründen und zur persönlichen Beruhigung.

Bild 9: Das 100-μA-Analogmessgerät mit 0,216-V-Abfall bei Vollausschlag

Das Ergebnis ist eine Spannungsversorgung, die wir durch Einstellung des Potentiometers zwischen 0 V und 262,3 V in der Schalterstellung „Low" und zwischen 57,7 V und 320 V in der „High"-Position variieren können. Der Ausgangsstrom ist für den Fall eines Kurzschlusses oder übermäßiger Belastung durch den Strombegrenzer auf 27 mA limitiert.

Die Messschaltung

Der Schlüssel zum Erhalt aussagekräftiger Leckstromwerte ist ein sorgfältig entworfenes Shunt-Netzwerk mit einem empfindlichen Mikroamperemeter. Um dies zu erreichen, muss berücksichtigt werden, welche Stromstärke voraussichtlich gemessen wird.

Hier sind einige Beispiele:

1. Kurzgeschlossener Testkondensator:
   Es wird der maximale Strom fließen, den die Versorgung liefern kann, in diesem Fall 27 mA.
2. Großer Elektrolytkondensator:
   Bis zu 10 mA oder mehr aufgrund von Stromspitzen beim Laden
3. Undichte Elektrolytkondensatoren: 1–10 mA
4. Papier- oder Folienkondensatoren mit mäßig hohem Leckstrom: unter 1 mA
5. Papier- oder Folienkondensatoren mit mäßig niedrigem Leckstrom: unter 100 uA

Da die Verwendung von Verstärkern in der Strommessschaltung unerwünscht ist, wird der niedrigste Strom, den dieses System messen kann, durch die Empfindlichkeit des Messinstruments begrenzt. Das empfindlichste, seinerzeit verfügbare Messgerät, war ein analoges 100-μA-Zeigerinstrument (Bild 9). Durch Messungen wurde festgestellt, dass der Spannungsfall bei Vollausschlag 0,216 V beträgt, was für die folgende Berechnung des Shunt-Widerstands wichtig ist.

Diese Betrachtungen führten zur Definition der festgelegten Bereiche durch entsprechende Shunt-Widerstände, die zum genauen Ablesen des Stroms erforderlich sind, siehe Bild 10. Die angelegte Spannung wird, während sie mit dem Potentiometer eingestellt wird, von einem Voltmeter angezeigt, Das verwendete Voltmeter ist ein LED-Modul mit einer Nennspannung von 500 VDC, das schnell und günstig auf dem Markt zu finden ist. Es handelt sich um ein Messgerät mit drei Anschlussdrähten, das von der 8,2-VDC-Versorgung der Heizwicklung gespeist wird. Der Messeingang wird an den Ausgang der variablen

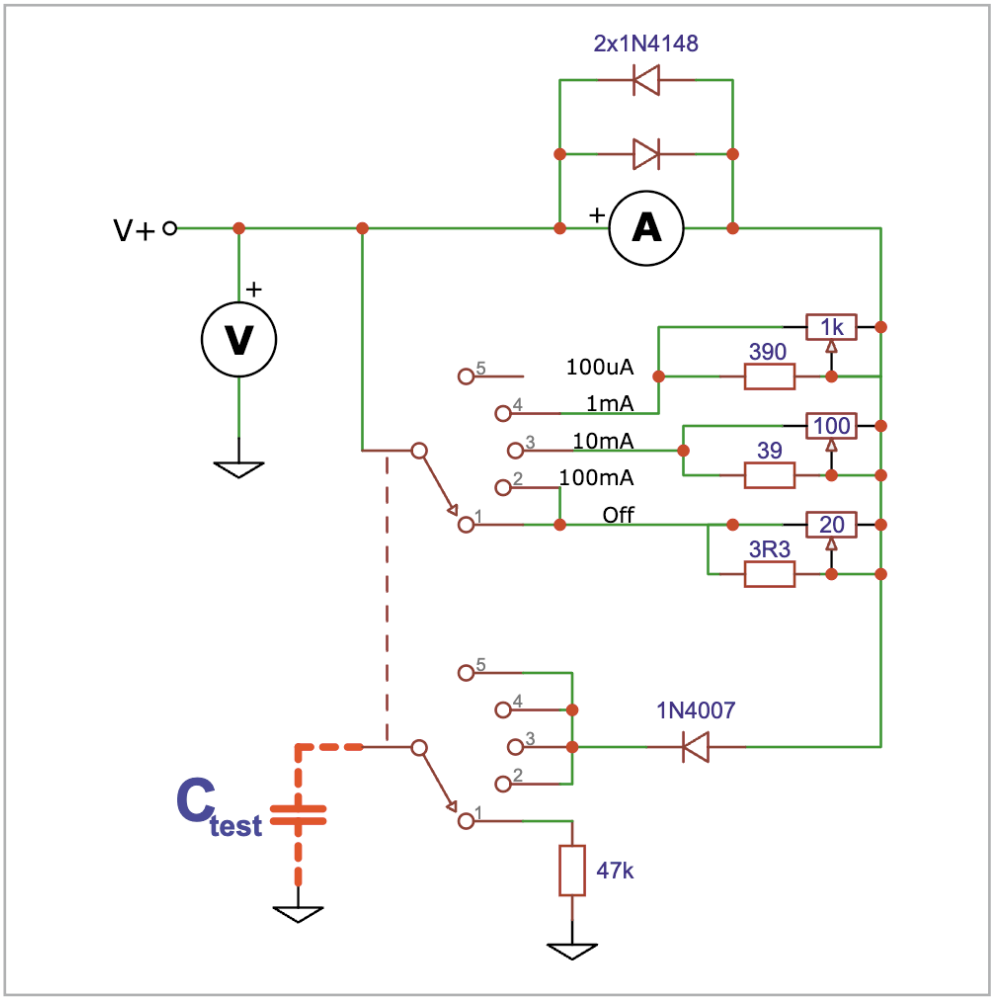


Bild 10: Die Mess- und Shunt-Schaltung

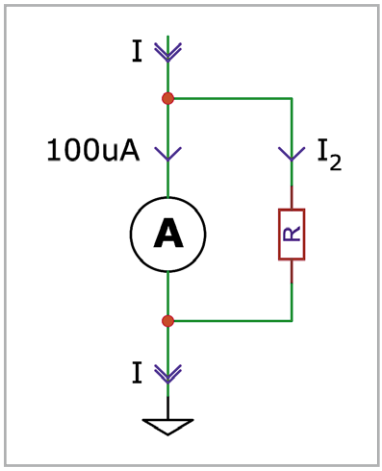


Bild 11: Shunt (Parallelwiderstand) für Amperemeter

Versorgung angeschlossen. Anfangs wurde ein analoges Voltmeter verwendet, das in den Abmessungen dem Amperemeter ähnelte. Später wurde aber doch die LED-Option gewählt, da diese besser in das Gehäuse passt.

Der Strom fließt durch das Amperemeter, geschützt durch zwei antiparallele Dioden und einen der parallelen Shunt-Widerstände, bevor er den zu testenden Kondensator erreicht.

Ein 2-poliger Drehschalter mit fünf Positionen wird verwendet, um durch die Bereiche zu schalten - beginnend mit „Aus" in Position 1, 100 mA in Position 2, 10 mA in Position 3, 1 mA in Position 4 und schließlich 100 uA in Position 5. Der Schalter verbindet den jeweiligen erforderlichen Shunt-Widerstand parallel zum Messgerät.

Um eine höhere Genauigkeit und zudem Kalibrierung zu ermöglichen, besteht jeder Shunt-Widerstand aus einem Festwiderstand mit einem parallel geschalteten 10-Gang-Trimmpotentiometer, sodass für jeden Bereich eine sehr genaue Feineinstellung erzielt werden kann. Der Shunt-Widerstandswert wird berechnet, indem darauf geachtet wird, dass das 100-uA-Messgerät bei Vollausschlag einen Spannungsabfall von 0,216 V anzeigt. Dadurch werden uns die notwendigen Daten bereitgestellt, um den Wert des Shunt-Widerstands R für die unterschiedlichen Bereiche zu berechnen.

Die Berechnung ist dabei sehr einfach. Der maximale Strom durch das Messgerät bei vollem Zeigerausschlag beträgt 100 µA, sodass jeder zusätzliche Strom durch den parallelen Shunt-Widerstand fließen muss, siehe Bild 11. Der hineinfließende Strom (I) ist der gleiche wie der aus der Parallelschaltung herausfließende Strom, sodass in jedem gewählten Bereich jeder über 100 uA hinausgehende Strom durch R fließen muss. Der Spannungsabfall über dieser Kombination beträgt bekannterweiße 0,216 V. Hiermit erhalten wir mithilfe des ohmschen Gesetzes die erforderlichen Werte:

Bereich	Instrumentenstrom	I_2	R
100 µA	100 µA	0	-
1 mA	100 µA	0,9 mA	240 Ω
10 mA	100 µA	9,9 mA	21,8 Ω
100 mA	100 µA	99,9 mA	2,16 Ω

Weil die berechneten Widerstandswerte keine Standardwerte sind, wird der nächsthöhere Standardwert verwendet und ihm, wie bereits aufgeführt, ein 10-Gang-Trimmpotentiometer zum präzisen Bereichsabgleich parallel geschaltet.

Zusätzlich sollte beachten werden, dass ein unterbrechungsfreier Schalter (make before break) verwendet wird, um eventuelle Stromspitzen zu vermeiden. Diese könnten das Messinstrument beschädigen.

Weiter mit dem Schaltplan: Sofern sich der beschriebene Schalter in den Positionen 2 bis 5 befindet, wird die Spannung über die Schaltkontakte des Schalters an den zu testenden Kondensator angelegt. In Position 1 wird der Kondensator über einen 47-k-Widerstand mit Masse kurzgeschlossen, um ihn nach einem Testzyklus entladen zu können. Die Diode verhindert dabei, dass Strom zurück in den Schaltkreis fließt, wenn aus irgendeinem Grund die Spannung am Kondensator höher, als die von der Versorgung ausgegebene Spannung ist.

Bild 12: Die aktuelle Version des Kondensator-Leckstromtesters verwendet eine Leiterplatte.

Bild 13: Die sorgfältige Verwendung des Bereichsschalters und der Spannungseinstellung ist für den sicheren Betrieb des Testers von entscheidender Bedeutung.

Aufbau des Testers

Der hier beschriebene Tester hat einige Entwicklungsstufen bis zur finalen Version durchlaufen. Ich habe ihn zunächst mit Punkt-zu-Punkt-Verdrahtung, dann auf einer Prototypen-Platine aufgebaut und abschließend eine Leiterplatte dafür entworfen (Bild 12). Die genauen Ausführungen sind nicht allzu wichtig, aber einige Erfahrungswerte sind erwähnenswert:

- Es wird ein Metallgehäuse verwendet, das aus Sicherheitsgründen mit dem Schutzleiter des Netzanschlusses verbunden ist.
- Die eigentliche Masse des Schaltkreises ist nicht mit dem Gehäuse verbunden, um sicherzustellen, dass das gesamte System potentialfrei ist. Dadurch ist es möglich, Kondensatoren im Schaltkreis zu testen, indem einfach eine Leitung abgeklemmt wird, während der andere Anschluss an Ort und Stelle bleibt.
- Die gesamte Verdrahtung muss sorgfältig geprüft werden, insbesondere um Fehler zu vermeiden, die den Tester zerstören und während des Gebrauchs ein Sicherheitsrisiko darstellen könnten.
- Aufgrund der äußerst hohen Spannungen sind Potentiometer und Drehschalter von professioneller Qualität zu verwenden.
- Das LED-Voltmeter wurde anstelle des ursprünglichen analogen Messinstruments installiert, da es besser in das endgültige Gehäuse passte. Zusätzlich konnte damit der Sicherheitsaspekt erhöht werden, da die anliegende Spannung bei der Benutzung des Testers nochmals optisch hervorgehoben wird. Das Messgerät ist ein Modul mit drei Anschlussdrähten, welches von der Niederspannungs-Gleichstromversorgung versorgt wird. Der Messeingang ist mit der tatsächlichen Ausgangsspannung verbunden. Der Messbereich von 0-500 VDC ist für den Anwendungsfall ideal geeignet.
- Die Überwachung der Spannung kann nicht am Kondensator selbst erfolgen, sondern muss vor dem Amperemeter erfolgen. Dies liegt daran, dass die Stromaufnahme des Amperemeters, so gering sie auch sein mag, die Messwerte verfälscht.
- Obwohl das 100-uA-Analogmessgerät recht empfindlich ist, könnte der Einwand kommen, dass für zuverlässige Testergebnisse eine höhere Empfindlichkeit erforderlich ist. Ich würde dem zustimmen, aber ein Messgerät mit höherer Empfindlichkeit wird unverhältnismäßig teurer. Ich tausche den Kondensator daher einfach aus, wenn im niedrigsten Messbereich irgendein Leckstrom angezeigt wird.

Testablauf

Um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten, muss beim Testen eines Kondensators ein bestimmtes Vorgehen eingehalten werden:

1. Schließen Sie den Kondensator bei ausgeschaltetem Tester an die Testbuchsen an und beachten Sie bei polarisierten Kondensatoren die Polarität (Bild 13).
2. Schalten Sie den High-Low-Wahlschalter auf „Low".
3. Drehen Sie das Spannungspegelpotentiometer vollständig gegen den Uhrzeigersinn auf die Nullposition.
4. Drehen Sie den Bereichsdrehschalter auf die Position „Aus".
5. Schalten Sie den Tester ein. Die Anzeige leuchtet auf und das Voltmeter wird 000,0 V anzeigen.
6. Drehen Sie den Drehbereichsschalter auf die Position 100 mA.
7. Beginnen Sie, die Spannung langsam zu erhöhen und behalten Sie dabei das Mikroamperemeter im Auge. Wenn es einen hohen Strom anzeigt (könnte so hoch sein wie die im Versorgungsstromkreis festgelegte Grenze), schalten Sie den Bereichsschalter auf die Position „Aus". Dies würde auf einen kurzgeschlossenen Kondensator hinweisen.
8. Wenn der Strom niedrig ist, erhöhen Sie die Spannung langsam auf einen Wert unterhalb der Nennspannung des Kondensators.
9. Beobachten Sie den Strommesswert, während Sie sich noch im 100-mA-Bereich befinden. Wenn er unter 10 mA liegt, drehen Sie den Schalter in den 10-mA-Bereich.
10. Beobachten Sie den Strommesswert. Wenn er unter 1 mA liegt, drehen Sie den Schalter in den 1-mA-Bereich.
11. Beobachten Sie den Strommesswert. Wenn der Wert unter 100 uA liegt, drehen Sie den Schalter auf den 100-uA-Bereich.
12. Mit Erreichen des empfindlichsten Bereichs sollten Sie eine Vorstellung des Zustands des Kondensators haben. Bei Elektrolytkondensatoren kann der Strom langsam abfallen, während sich der Kondensator neu formiert.
13. Um den Testzyklus zu beenden, drehen Sie den Bereichsschalter auf die Position „Aus". In dieser Position entlädt sich der Kondensator über den 47-kΩ-Widerstand und ist nach einigen Sekunden sicher in der Handhabung.
14. Jetzt senken Sie die Spannung wieder auf 0 V.
15. Das Gerät ist bereit für den nächsten Test.

Fazit

Dieser Leckstromtester für Kondensatoren ist zu einem unverzichtbaren Werkzeug bei meinen Restaurierungsprojekten geworden und liefert durchweg wertvolle Einblicke in den Zustand von Kondensatoren unter echten Betriebsbedingungen – ein kritischer Faktor, der bei herkömmlichen Testmethoden mit niedrigeren Spannungen oft übersehen wird.

In einem Video auf meinem YouTube-Kanal finden Sie weitere Informationen zu diesem Projekt.

Ich freue mich bereits zu sehen, wie andere Hobbyisten und Techniker dieses Projekt einsetzen und von den Ergebnissen in ihren Projekten profitieren. Die Verwendung außerhalb meiner Werkstatt unterstreicht den praktischen Nutzen und Wert in der breiteren Gemeinschaft der Elektronikbegeisterten. ELV

ELVjournal Leser testen und gewinnen

Ihre Meinung interessiert uns! Was gefällt Ihnen, was gefällt Ihnen nicht? Bewerben Sie sich als Tester und seien Sie als Gewinner Teil des Testberichts, der in der nächsten Ausgabe des ELVjournals erscheint! Unter allen Bewerbern losen wir die glücklichen Gewinner aus, die dann das jeweilige Testgerät behalten dürfen.

Unter allen Bewerbern verlosen wir diesmal folgende Produkte:

10x ELV Bausatz LED-Tester 2 – LED-T2

- Zum Testen von SMD- und bedrahteten LEDs, aber auch LED-Modulen und LED-Strips
- Anzeige von LED-Strom und Flussspannung
- Softstart zur Vermeidung von Spannungsspitzen
- Test auch innerhalb der Schaltung möglich

Im Wert von

39,95 €

Artikel-Nr. 160390

Mehr Infos

5x Technoline Appgesteuerter Rucksack mit HD-Anzeige BAG1

- Fassungsvermögen: 21,5 l, Rucksack-Abm.: 312 x 420 x 160 mm
- Anzeigeauflösung: 96 x 128 Pixel, Anzeige-Abmaße: 200 x 275 mm
- Anzeige von Bildern/GIF
- Laptopfach bis 15,6 Zoll

Im Wert von

119,99 €

Artikel-Nr. 254187

Mehr Infos

So können Sie gewinnen und werden ELVjournal Leser-Tester:**

Einsendeschluss: 13.10.2024

Als Gewinner erhalten Sie zum Testprodukt eine ausführliche Bedienungsanleitung, gegebenenfalls weitere Informationen zum Produkt und einen Fragebogen, den Sie innerhalb von vier Wochen nach Erhalt des Produkts und nach Abschluss Ihres Tests an uns zurücksenden müssen. Das Testprodukt dürfen Sie nach Abschluss des Tests behalten.

Jetzt bewerben

Die Gewinner der Verlosung im ELVjournal 4/2024:

10x SwitchBot Smarter Tastendrücker

Tobias Mehlhorn, 07548 Gera
Carolin Reichel, 04157 Leipzig
Thomas Sorges, 20257 Hamburg
Claudia Hoffmann, 50969 Köln
Nancy Weyer, 54552 Dockweiler
Michel Engel, 12627 Berlin
Manja Thiel, 26188 Edewecht
Ronny Kiesewalter, 15738 Zeuthen
Markus Brinkmann, 86637 Wertingen
Rudolf Gutschka, 87784 Westerheim

10x Homematic IP Bewegungsmelder*

Janet Laczko, 90425 Nürnberg
Karin Zeidler, 74906 Bad Rappenau
Manfred Krämer, 60431 Frankfurt am Main
Anastasia Semikova, 77960 Seelbach
Astrid Neumann, 44581 Castrop-Rauxel
Michael Schüller, 56564 Neuwied
Merita Krasniqi, 53498 Bad Breisig
Andrea Kind, 07548 Gera
Ulf Schwalbe, 99094 Erfurt
Marco Wagner, 53113 Bonn

** ELV ist berechtigt, die Testergebnisse sowie die Gewinner unter der Nennung ihres Namens und Wohnorts im ELVjournal und auf www.elvjournal.com zu veröffentlichen. Teilnahmeberechtigt sind Personen über 18 Jahre. Nicht teilnahmeberechtigt sind Mitarbeiter der ELV Elektronik AG und der eQ-3 AG Gruppe, der beteiligten Unternehmen und deren Angehörige sowie Gewinnspielvereine und automatisierte Dienste. Unter allen fristgerecht eingegangenen Einsendungen entscheidet das Los. Mehrfache Teilnahmen derselben Person werden als nur eine Teilnahme gezählt und erhöhen nicht die Gewinnchance. Eine Barauszahlung oder ein Tausch gegen andere Produkte ist nicht möglich. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

* Homematic IP Access Point oder Smart Home Zentrale CCU3 vorausgesetzt

Unsere Leser testeten

OSRAM LED-Sicherheits-/Warnleuchte

Form/Befestigung/Handhabung ★★★★★

Leuchtkraft/Sichtbarkeit ★★★★★

Akku-Laufzeit ★★★★★

Unsere Leser bewerteten

1,6 Durchschnitt

In die Gesamtnote sind weitere Kriterien unseres Fragebogens einbezogen

Michael Schüller:
„... ist bei der Fahrzeugabsicherung ein echter Sicherheitsfaktor"

Im Wert von

59,00 €

Artikel-Nr. 254001

Das gesetzlich vorgeschriebene Warndreieck bei einem Unfall oder einer Panne aufzustellen ist Pflicht, aber im modernen Verkehr und dank der extrem materialsparenden Ausführung durch die meisten Fahrzeughersteller eher schnell umfallende Makulatur als Sicherheits-Accessoire. Deutlich wirksamer sind leistungsstarke Warnleuchten.So sind LED-Blinkleuchten weithin sichtbar und rufen die Aufmerksamkeit deutlich schneller und deutlicher hervor als das (umgefallene) Warndreieck auf der Fahrbahn.
Die OSRAM-Sicherheits-/Warnleuchte repräsentiert mit ihrem sehr hellen, rotierenden Warnlicht eine völlig andere Klasse der Warneinrichtungen. Derartige Warnleuchten benötigen eine StVZO-Zulassung – diese hat die OSRAM-Leuchte. Sie verfügt über einen wiederaufladbaren Akku mit extrem langer Laufzeit sowie ein sehr helles und weitreichendes Rundum-Warnlicht und lässt sich blitzschnell und sicher über eine Magnethalterung am Fahrzeug anbringen.
Wir haben die vielseitige Leuchte von acht Lesern testen lassen.

Die sehr gute Gesamtbewertung zeigt, dass OSRAM mit diesem Produkt einen Nerv getroffen hat - keine der Gesamtbewertungen lag unter einer Zwei vor dem Komma. Auf so etwas hat der sicherheitsbewusste Fahrer offensichtlich gewartet – statt LED-Effektspielereien in den Fahrzeugdesigns und des technisch veralteten Warndreiecks (dessen einziges Rest-Positivmerkmal das „Funktionieren" ohne Strom ist) sollte man heute auf solche modernen Sicherheitsfeatures umsteigen – freilich nur im zugelassenen Rahmen.
Beeindruckend fanden die Tester die starke Leuchtkraft, die einfache und gerade im Notfall nötige schnelle Handhabung und die lange Akku-Laufzeit. Auch die Magnetkraft der Halterung wurde positiv hervorgehoben. Selbst Erschütterungen wie sie z. B. vorbeifahrende Fahrzeuge im Pannenfall verursachen, ließen die Magnethalterung unbeeindruckt.

Auch die Nachhaltigkeit – die Leuchte lässt sich über ein USB-Kabel auch im Fahrzeug nachladen – sammelte Pluspunkte bei der Bewertung.

Unseren kreativen Testern fielen auch abseits der Straße weitere Einsatzmöglichkeiten ein, etwa zur Sicherung von Maschinen oder eines Arbeitsorts. Auch weitere Möglichkeiten, die aber Änderungen an der Leuchte bedingen würden, etwa wechselnde Farben, Blaulicht, andere Blinkfolgen, andere Halterungen etc., wurden vorgeschlagen – dann aber würde ein Einsatz im Straßenverkehr nicht mehr möglich sein. Hier ist der Gesetzgeber sehr genau.

Einem Tester fiel auf, dass das mitgelieferte USB-Ladekabel zwar leuchtenseitig USB-C hat, aber fahrzeugseitig das bei den meisten Fahrzeugen noch weit verbreitete USB-A. Man benötigt also ein anderes Kabel oder einen Adapter, wenn kein USB-C an Bord ist.

Als wünschenswerte und praktische Ergänzung wurde eine Ladestandsanzeige genannt, auch ein alternativer Einsatz als Taschenlampe mit Dauerlicht kam zur Sprache.

Fazit: Ein mit hoher positiver Resonanz aufgenommenes, zeitgemäßes und äußerst nützliches Accessoire für das Fahrzeug, das im Extremfall sogar lebensrettend sein kann. Die Leuchte ist einfach handhabbar, robust, nachhaltig und bietet mit ihrem weit reichenden, hellen Licht Sicherheit bei allen Wetter- und Sichtbedingungen. ELV

Unsere Leser testeten

ELV Fledermaus-Detektor FMD1

Bedienungsanleitung/Bedienung ★★★★½

Funktionsumfang ★★★★☆

Frequenzbereich/Richtcharakteristik ★★★★☆

Unsere Leser bewerteten

1,9 Durchschnitt

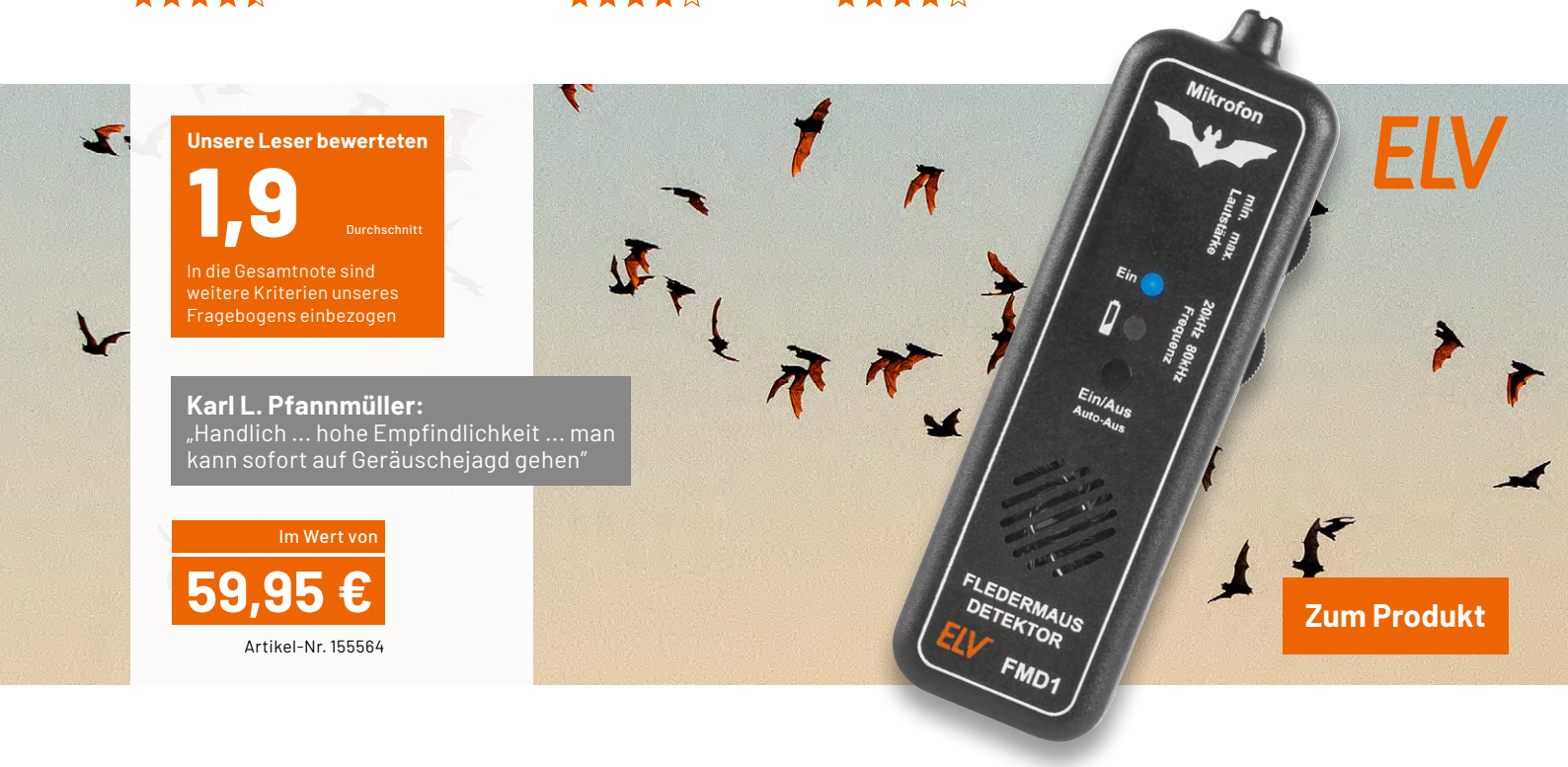
In die Gesamtnote sind weitere Kriterien unseres Fragebogens einbezogen

Karl L. Pfannmüller:
„Handlich … hohe Empfindlichkeit … man kann sofort auf Geräuschejagd gehen"

Im Wert von

59,95 €

Artikel-Nr. 155564



In der Tierwelt, aber auch in der Technik, spielen Ultraschallsignale eine große Rolle. So sind viele Tiere in der Lage, Ultraschallsignale zu erzeugen und darauf zu reagieren, man denke hier nur an das Schulen von Hunden, an die Abwehr bzw. das Fernhalten von Insekten und Wildtieren, aber auch an die von den meisten Menschen nicht bewusst wahrgenommene Störsignalerzeugung etwa von Schaltnetzteilen oder schnell laufenden Antrieben.
Der Fledermaus-Detektor FMD1 widmet sich vorrangig einem speziellen Phänomen in der Natur – den Ultraschalllauten von Fledermäusen, die sich damit im Dunkeln präzise orientieren und auf Jagd gehen können. Der FMD1 empfängt diese Signale in einem weiten Frequenzbereich und setzt sie in einen für den Menschen hörbaren Bereich um. Damit ist er ein handliches und universelles Werkzeug für Naturfreunde und alle, die sich beruflich mit diesem interessanten Naturphänomen befassen.
Unsere Leser haben das Gerät auf Herz und Nieren geprüft.

Der auf einem interessanten Heterodyne-Empfängerprinzip mit Schaltmischer beruhende Frequenzumsetzer setzt den höherfrequenten Eingangsfrequenzbereich in dazu adäquate Frequenzen im menschlichen Hörbereich um. Und das sehr gut, wie unsere Tester im Gesamtfazit fanden.

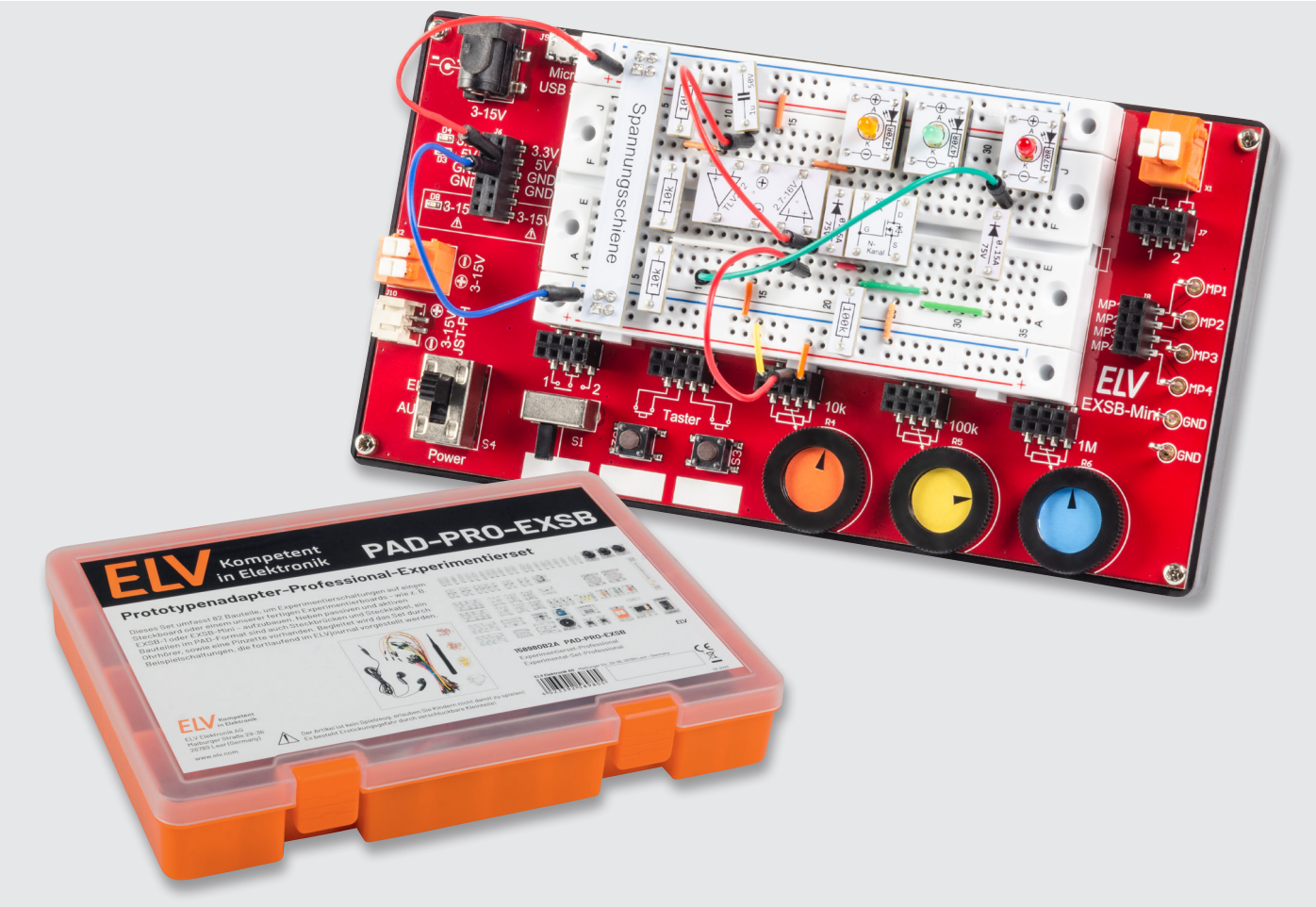
In der Hauptsache haben sie das Gerät tatsächlich zur Fledermausbeobachtung eingesetzt, aber sich auch andere Anwendungen erschlossen, so für das Detektieren und Beobachten von Vogel- und Insektenarten, für das Aufspüren von Oberschwingungen in Netzteilen oder zum Testen von Ultraschallsensoren an Autos oder am Zisternen-Füllstandsmesser. Tatsächlich eignet sich der FMD1 auch für sehr viele technische Analysen und Anwendungen.

Herausragend positiv wurden die Handlichkeit des kompakten Geräts, die sehr einfache Bedienung und die hohe Empfindlichkeit bewertet. Gerade Letztere ist bei der Fledermausbeobachtung wichtig, um die Tiere nicht zu stören. Auch die Richtcharakteristik, die Lautstärkeregelung und der Funktionsumfang bekamen gute Bewertungen.

Entsprechend blieben auch nur wenige Wünsche wie etwa ein erweiterter (schaltbarer) Frequenzbereich für die Beobachtung spezieller Arten, eine Aufzeichnungsmöglichkeit für Dokumentationszwecke, z. B. per SD-Karte, und ein einfacheres, werkzeugloses Wechseln der Batterien übrig.

Allgemeiner Kritikpunkt war die automatische Abschaltung zur Batterieschonung, die nach Ansicht der Tester nach einer zu kurzen Zeitspanne eintritt. Gerade bei der Fledermausbeobachtung sei diese Zeitspanne von ca. 3 min zu kurz – in der ist oft erst das eigentliche Detektieren abgeschlossen. Auch erntete eine in manchen Situationen störende, ungenügende akustische Gehäuseentkopplung des empfindlichen MEMS-Mikrofons Kritik.

Fazit: Kompakt und handlich, einfach bedienbar, hohe Empfindlichkeit – der FMD1 erfüllt alle Ansprüche an ein preisgünstiges (der Bausatz kostet nur 39,95 €), robustes, einfach bedienbares und vielseitiges Detektionsgerät für Ultraschallsignale – nicht nur für Anwendungen in der Natur. ELV



Komparatorschaltungen mit Operationsverstärkern

Anwendungsschaltungen mit dem Prototypenadapter-Professional-Experimentierset PAD-PRO-EXSB

Teil 7

In diesem Teil unserer Serie widmen wir uns dem Thema „Komparatoren". Wir zeigen an praxisnahen Beispielen, wie man mit Operationsverstärkern unterschiedliche Komparatorschaltungen realisiert.

Verstehen und Anwenden

Die hier vorgestellten Beispielschaltungen zum Thema „Komparatoren" sind vorwiegend als Begleitmaterial für das PAD-PRO-Experimentierset gedacht.

Die einfachen Schaltungen können natürlich auch mit handelsüblichen Bauteilen auf Steckboards oder Lochrasterplatinen nachbaut werden.

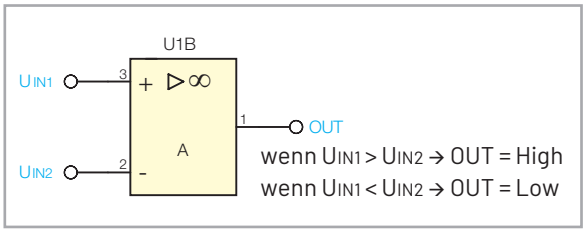


Bild 1: Schaltsymbol eines Komparators mit Operationsverstärker

Vorzugsweise sollte man aber Steckboards verwenden, da es sich um Beispielschaltungen handelt, die zum Verständnis der Funktionsweise von Komparatorschaltungen dienen und nicht als fertige Praxisschaltungen gedacht sind. Wenn man die Funktion verstanden hat, sollte es einem möglich sein, die gewonnenen Erkenntnisse für seine eigenen Bedürfnisse anzupassen. Ein Steckboard bietet hierfür die geeignete Voraussetzung, da sich die Schaltung leicht modifizieren lässt und auch Bauteilwerte problemlos geändert werden können.

Komparator: Grundlagen

Die Bezeichnung Komparator entstammt dem lateinischen Wort: comparator = Vergleicher. Ein Komparator vergleicht zwei Werte miteinander und liefert als Ergebnis einen digitalen Wert, der anzeigt, welche der beiden Spannungen höher ist. Bild 1 zeigt das Schaltsymbol eines Komparators in Form eines Operationsverstärkers. Da der Operationsverstärker ohne Rückkopplung arbeitet, ist die Leerlaufverstärkung

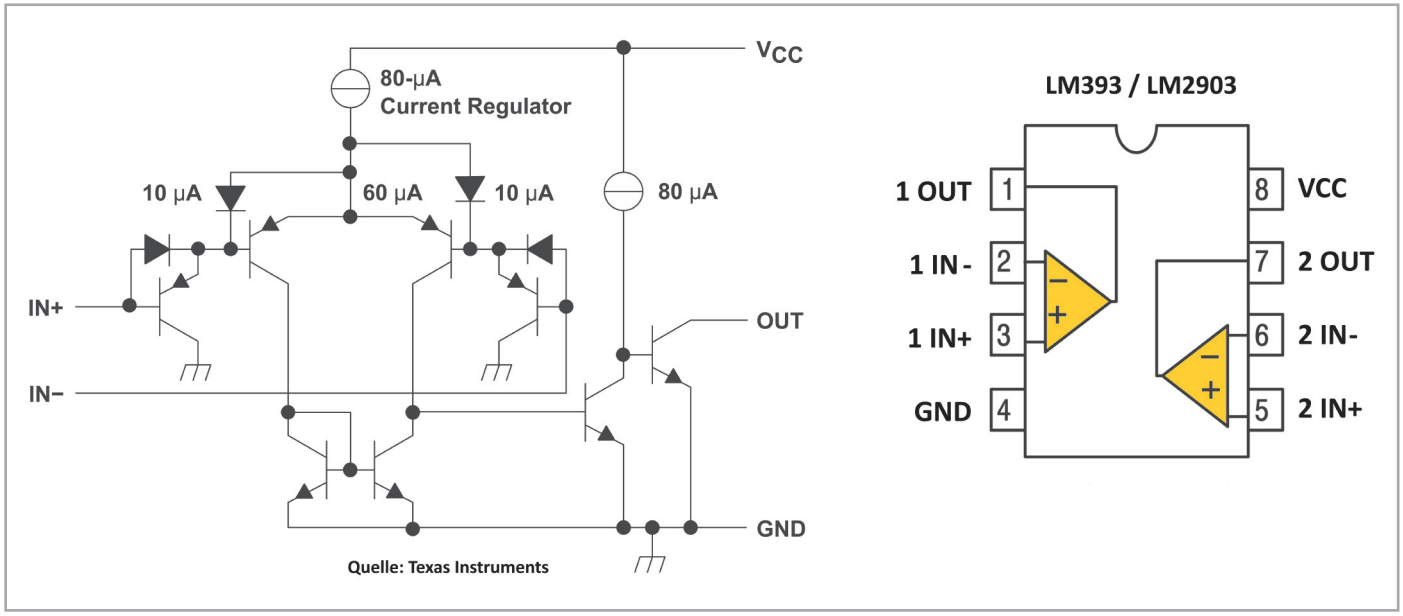


Bild 2: Blockschaltbild und Anschlussbelegung des LM393/LM2903

extrem hoch. Somit kann es im Prinzip nur zwei unterschiedliche Ausgangszustände geben. In Bild 1 sind die Bedingungen für beide Ausgangszustände dargestellt.

Im Bereich der Elektronik werden Komparatoren vorwiegend mit Operationsverstärkern oder speziellen Komparatorschaltkreisen aufgebaut. Mit Transistoren könnte man im Prinzip auch Komparatorschaltungen realisieren, die aber sehr schwierig im Aufbau sind. In den folgenden Beispielen verwenden wir einen „normalen" Operationsverstärker zur Realisierung eines Komparators. Für niedrige Frequenzen bis hin zu DC-Signalen reicht in der Regel ein Operationsverstärker aus. Möchte man hingegen Schaltsignale > ca. 10 kHz verarbeiten, sind spezielle, nur für diesen Einsatzzweck entwickelte Komparatoren zu verwenden. Bei echten als Komparatoren ausgewiesenen Schaltkreisen wurde auf die interne Frequenzkompensation verzichtet, wodurch die Ansprechzeit verkleinert und somit auch die max. Schaltfrequenz steigt. Als Beispiel sei hier der LM2093/LM393 erwähnt. Wie man im Blockschaltbild (Bild 2) erkennt, verfügt dieser Komparator über einen Open-Collector-Ausgang. Das bedeutet, es muss immer ein Lastwiderstand (Pull-up) nach +UB extern beschaltet werden. So kann man die Größe des Lastwiderstands, der ja auch Einfluss auf die Geschwindigkeit und somit die max. nutzbare Frequenz hat, selbst bestimmen.

Schauen wir uns nun im Folgenden an, wie man mit Operationsverstärkern unterschiedliche Grundarten von Komparatoren realisiert.

Invertierender Komparator

Die erste Grundschaltung, die wir näher betrachten wollen, ist ein invertierender Komparator, der in Bild 3 dargestellt ist. Die Ausgangszustände des Komparators werden hier durch zwei LEDs angezeigt. Bei einem High-Potential am Ausgang leuchtet die untere LED2 (rot) auf, während bei einem Low-Potential die obere LED1 (orange) aufleuchtet.

Die Eingangsspannung wird mit dem Potentiometer P1 vorgegeben und erstreckt sich über den vollen Betriebsspannungsbereich. Diese Spannung führt auf den invertierenden Eingang (-). Die Schaltschwelle am nichtinvertierenden Eingang (+) ist mit dem Spannungsteiler R1/R2 fest auf UB/2 festgelegt. Im Diagramm (Bild 3, rechts) ist zu erkennen, was am Ausgang (UA) passiert, wenn man die Eingangsspannung verändert (grüne Kennlinie UIN). Bei einer Eingangsspannung von 0 V liegt am Ausgang (UA) High-Potential, da der Operationsverstärker das Eingangssignal invertiert. Erreicht die Eingangsspannung den Wert der Schaltschwelle (UB/2), wechselt der Ausgang auf Low-Potential. Solange die Eingangsspannung sich oberhalb der

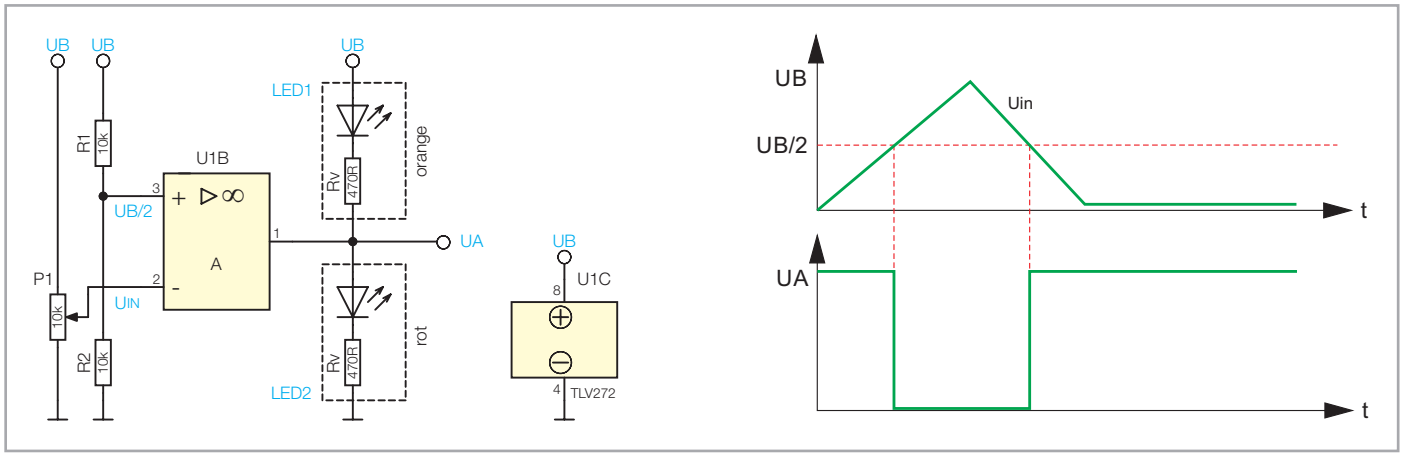


Bild 3: Grundschaltung eines Komparators (invertierend) mit Kennlinie

Schaltschwelle befindet, verbleibt der Ausgang auf Low-Potential. Erst wenn die Eingangsspannung wieder unter die Schaltschwelle sinkt, wechselt der Ausgang auf High-Potential. Möchte man die Schaltschwelle verändern, geschieht dies durch das Widerstandsverhältnis von R1 zu R2.

Die Schaltung ist relativ einfach aufzubauen, weshalb wir uns auf den Aufbau auf einem Steckboard (Bild 4) beschränken. Weitere Hinweise zum Aufbau gibt es im Abschnitt „Aufbau der Beispielschaltungen".

Nichtinvertierender Komparator

Soll das Eingangssignal nicht invertiert werden, sind einfach die beiden Eingänge des Komparators zu tauschen, wie dies in Bild 5 zu sehen ist. Im Diagramm (Kennlinie) ist erkennbar, dass das Ausgangssignal im Gegensatz zum invertierenden Komparator genau entgegengesetzt ist. Auch für diese Schaltungsvariante gibt es ein Foto für den Aufbauvorschlag auf einem Steckboard (Bild 6).

Komparator mit Hysterese

Bei den beschriebenen Grundschaltungen kann unter Umständen ein Problem auftauchen, das wir als Schwingneigung bezeichnen wollen. Befindet sich die Eingangsspannung im Bereich der Schaltschwelle, reichen wenige Millivolt mehr oder weniger aus, um das Ausgangssignal zu ändern. Liegt auf dem Eingangssignal ein Ripple- oder Rauschsignal von nur wenigen Millivolt, schaltet der Komparator nicht sauber und es kommt zu einer Art Schwingneigung am Ausgang des Komparators. Mit etwas Fingerspitzengefühl kann dieses Phänomen in den beiden Grundschaltungen reproduziert werden, indem man vorsichtig das Potentiometer P1 im Bereich der Schaltschwelle sehr geringfügig verändert. Mit etwas Glück trifft man genau den Punkt, an dem das Ausgangssignal des Komparators kurz schwingt.

Dieses Problem kann mit einer Rückkopplung, besser gesagt Mitkopplung, verhindert werden. Dies geschieht durch einen Widerstand, der vom Ausgang auf den nichtinvertierenden Eingang (+) führt. Das Prinzip ist recht einfach: Durch die Mitkopplung wird die Schaltschwelle dynamisch verändert, wodurch eine sogenannte Hysterese erzeugt wird. Bild 7 zeigt die Grundschaltung des invertierenden Komparators mit zusätzlichem Rückkoppelwiderstand R3. Wie man in Bild 8 erkennt, liegt je nach Ausgangszustand des Komparators der Rückkoppelwiderstand R3 parallel zu R1 (wenn Ausgang UA = UB) oder parallel zu R2 (wenn UA = GND). Es gibt somit zwei unterschiedliche Schaltschwellen, die im Diagramm von Bild 7 als U_{S2} und U_{S1} bezeichnet sind.

Steigt die Eingangsspannung langsam an und erreicht den Wert U_{S1}, wechselt der Ausgang UA auf Low-Potential. In diesem Moment liegt die Schaltschwelle nicht mehr bei der Schaltschwelle US_1, sondern wechselt zu U_{S2}, die etwas niedriger ist. In Bild 9 ist dies an einem speziellen Diagramm ersichtlich.

Hierbei ist zu beachten, dass die X-Achse die Eingangsspannung U_{IN} und die Y-Achse die Ausgangsspannung UA darstellt. Nehmen wir an, die Eingangsspannung beträgt 0 V, dann liegt der Ausgang auf High-

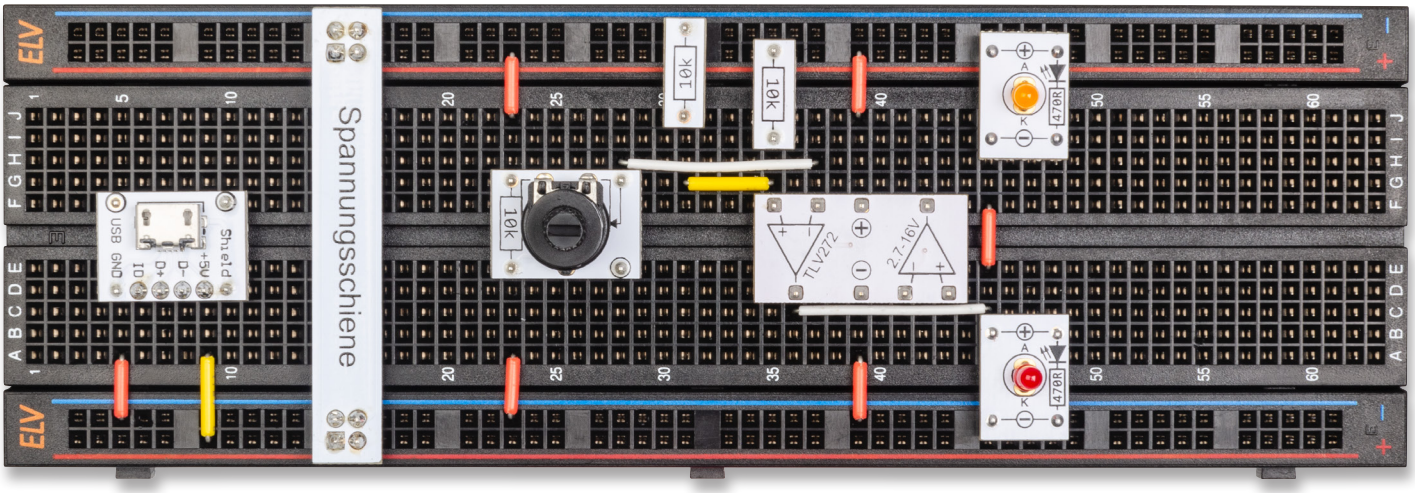


Bild 4: Aufbau des Komparators (invertierend) auf einem Steckboard

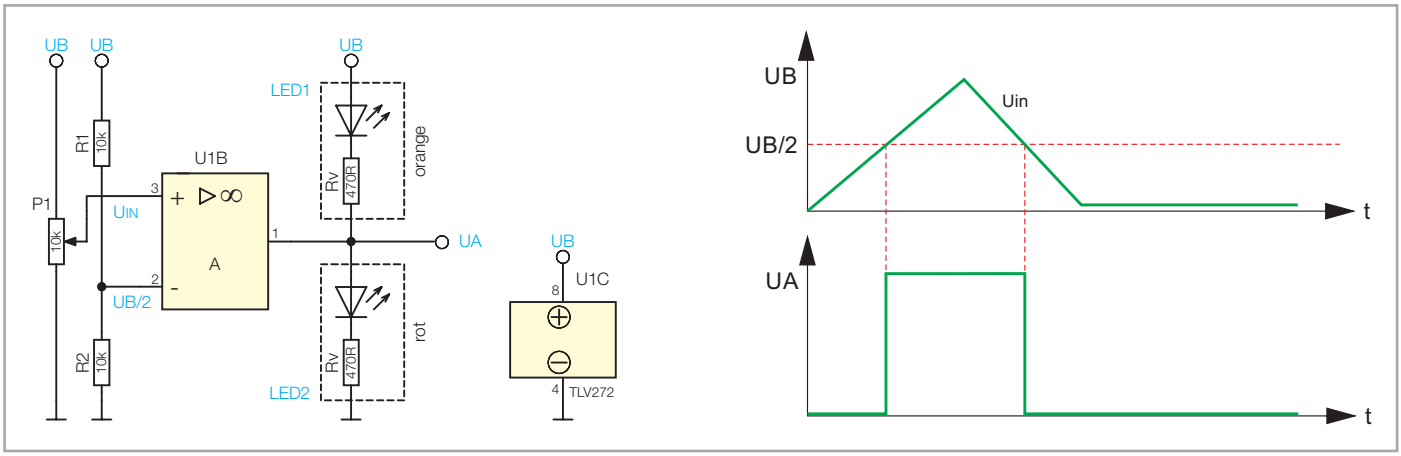


Bild 5: Grundschaltung eines Komparators (nichtinvertierend)

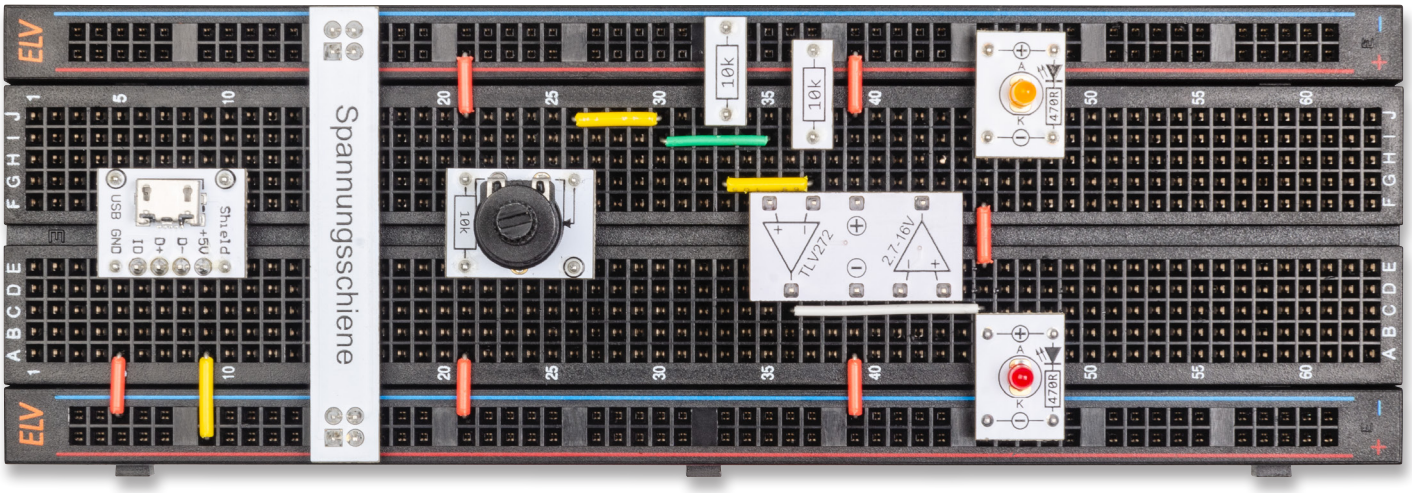


Bild 6: Aufbau des Komparators (nichtvertierend) auf einem Steckboard

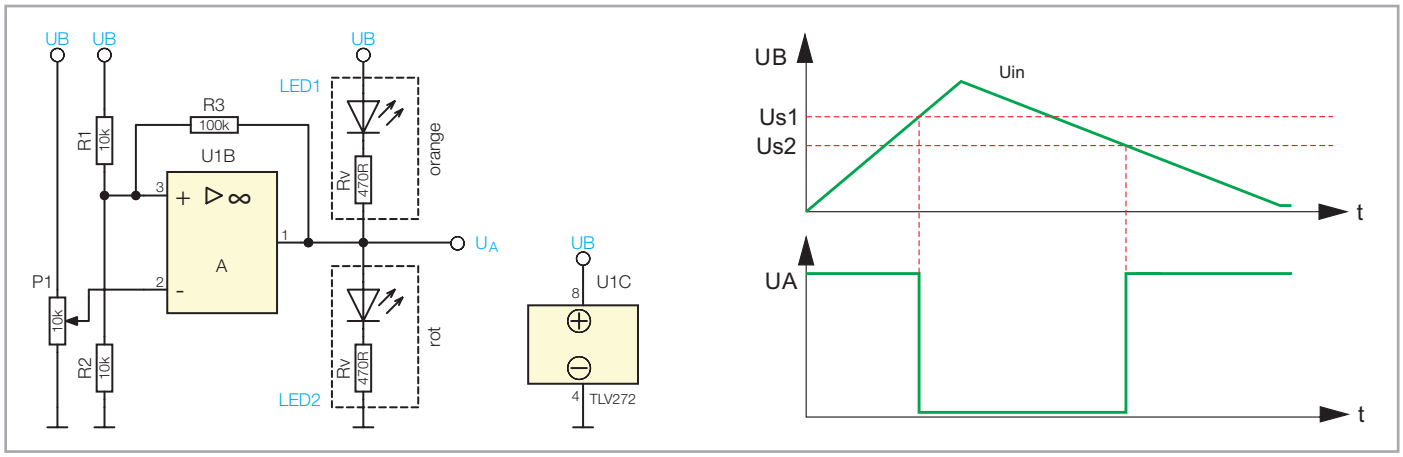


Bild 7: Grundschaltung des Komparators (invertierend) mit Hysterese

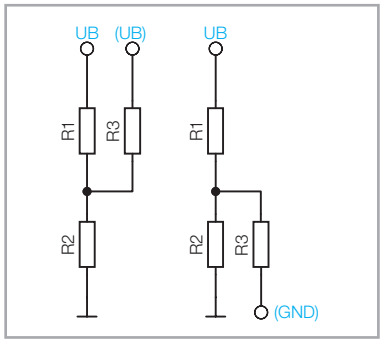


Bild 8: Wirkungsweise des Rückkoppelwiderstands

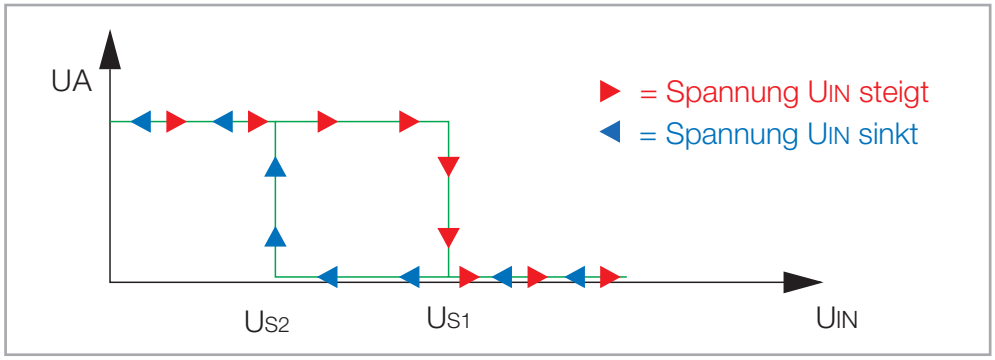


Bild 9: Kennlinie einer Hysterese

Potential. Steigt die Eingangsspannung, dann folgen wir der Linie mit den roten Pfeilen. Sobald die Eingangsspannung die Marke für die Schaltschwelle U_{S1} erreicht, wechselt der Ausgang auf Low-Potential (wir folgen immer noch den roten Pfeilen). Wenn jetzt die Eingangsspannung reduziert wird, folgen wir den blauen Pfeilen. Nun nimmt die Kennlinie (blaue Pfeile) einen anderen Verlauf, da die Schaltschwelle U_{S1} durch den Wechsel am Ausgang nicht mehr aktiv ist und nun Schaltschwelle U_{S2} ausschlaggebend ist. Dies erkennt man daran, dass der Ausgang erst beim Unterschreiten der Marke U_{S1} wieder auf High-Potential wechselt.

Der Unterschied zwischen den beiden Schaltpunkten wird als Hysterese bezeichnet. Diese Hysterese ist in vielen Schaltungen sehr nützlich, wie wir im folgenden Beispiel eines Temperaturschalters sehen werden.

Die Berechnung der Widerstände in solch einer Schaltung ist nicht ganz einfach, weshalb wir hier auf komplizierte Formeln verzichten und stattdessen auf das Internet verweisen. Viele Privatpersonen und auch Firmen haben sogenannte Berechnungstools online gestellt. Hier gibt man einfach die gewünschten Spannungen ein und erhält dann die notwendigen Widerstandwerte. Zu finden sind diese Seiten mit den Suchbegriffen „Komparator Online Berechnung".

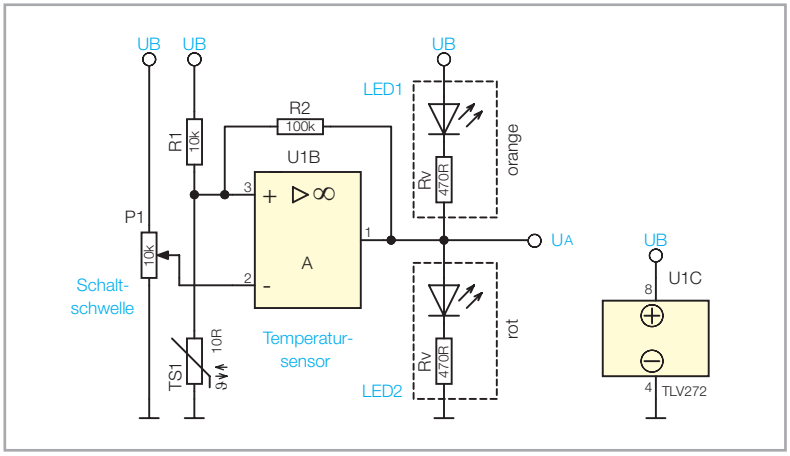


Bild 10: Temperaturschalter mit Komparator

Beispielschaltung: Temperaturschalter

Mit einem Komparator lässt sich auf sehr einfache Weise ein Temperaturschalter realisieren, wie man an der Beispielschaltung in Bild 10 erkennt. Der Temperatursensor (Bild 11) besteht aus einem temperaturabhängigen Widerstand (Thermistor), der eine NTC-Charakteristik (Negative Temperature Coefficient) aufweist. Ein NTC, auch Heißleiter genannt, ändert seinen Widerstand in Abhängigkeit zur Temperatur, sodass bei steigender Temperatur der Widerstandswert fällt (siehe Kennlinie in Bild 12). In unserem Beispiel bildet dieser Temperartursensor (TS1) zusammen mit dem Widerstand R1 einen Spannungsteiler. Der Knotenpunkt ist mit dem nichtinvertierenden Eingang (+) des Komparators verbunden. Mit dem Potentiometer P1 kann die Schaltschwelle eingestellt werden. Wenn die Temperatur steigt, sinkt der Widerstandswert des Sensors und somit auch die Spannung am Eingang (+) des Komparators. Sinkt die Spannung unter die eingestellte Schaltschwelle, wechselt der Ausgang des Komparators von High- auf Low-Potential und die orange LED1 leuchtet. Der Rückkoppelwiderstand R2 sorgt für eine Hysterese, wodurch sich die zwei Schaltschwellen ergeben. Diese Hysterese sorgt dafür, dass der Temperaturschalter auf zwei unterschiedliche Temperaturen reagiert. In der Kennlinie in Bild 13 erkennt man, dass sich durch den Widerstand R2 (100 k) eine Hysterese von ca. 4 K (Kelvin) ergibt. Dies bedeutet, dass in unserem Beispiel der Komparator High-Potential führt, wenn die Temperatur unterhalb von 20 °C liegt, und der Ausgang wieder auf Low-Potential wechselt, wenn die Temperatur über 24 °C steigt. Je nach Einstellung von P1 ergeben sich natürlich unterschiedliche Schaltschwellen, wobei die Temperaturdifferenz zwischen dem Ein- und Ausschaltpunkt jedoch relativ konstant bleibt. Die Hysterese wird durch den Widerstandswert von R2 bestimmt. In unserem Fall ist die Hysterese mit 4 K relativ groß gewählt, damit dies in der Beispielschaltung gut erkennbar ist. Möchte man mit solch einer Schaltung z. B. einen Temperaturregler realisieren, der ein Heizelement ansteuert, zeigt sich der Vorteil einer Hysterese. Ohne Hysterese würde der Regler schon bei geringfügiger Temperaturänderung ein- und wieder ausschalten. Mit Hysterese pendelt die Temperatur immer zwischen den beiden Schaltpunkten, und im Mittel würde sich eine Temperatur einstellen, die genau zwischen diesen beiden Werten liegt. Möchte man ein genau umgekehrtes Schaltverhalten erreichen, können R1 und der Temperatursensor einfach gegeneinander getauscht werden. Alternativ könnte man auch das Ausgangssignal des Komparators invertieren.

In Bild 14 ist der Aufbau des Temperaturschalters auf einem Steckboard dargestellt

Beispielschaltung: Fensterkomparator

In Bild 15 ist eine weitere Beispielschaltung mit Komparatoren dargestellt. Hier werden zwei Komparatoren kombiniert, um einen bestimmten Spannungsbereich zu überwachen. Der Eingangsspannungsbereich wird dabei in drei Bereiche unterteilt, deren Grenzwerte über Spannungsteiler frei definierbar sind. So kann man überwachen, ob sich die Eingangsspannung in einem bestimmten Spannungsbereich befindet bzw. darüber oder darunter. Anwendungsbereiche sind z. B. Füllstandkontrollen, Batteriespannungsüberwachung und vieles mehr. Solche Schaltungen werden als Fensterkomparatoren oder Fensterdiskriminatoren bezeichnet.

Ein Fensterkomparator besteht aus zwei kombinierten Komparatoren. Für den unteren und den

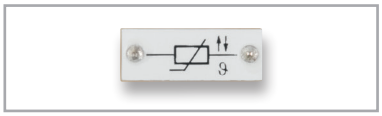


Bild 11: Temperatursensor als PAD-Modul CM-RN-N01

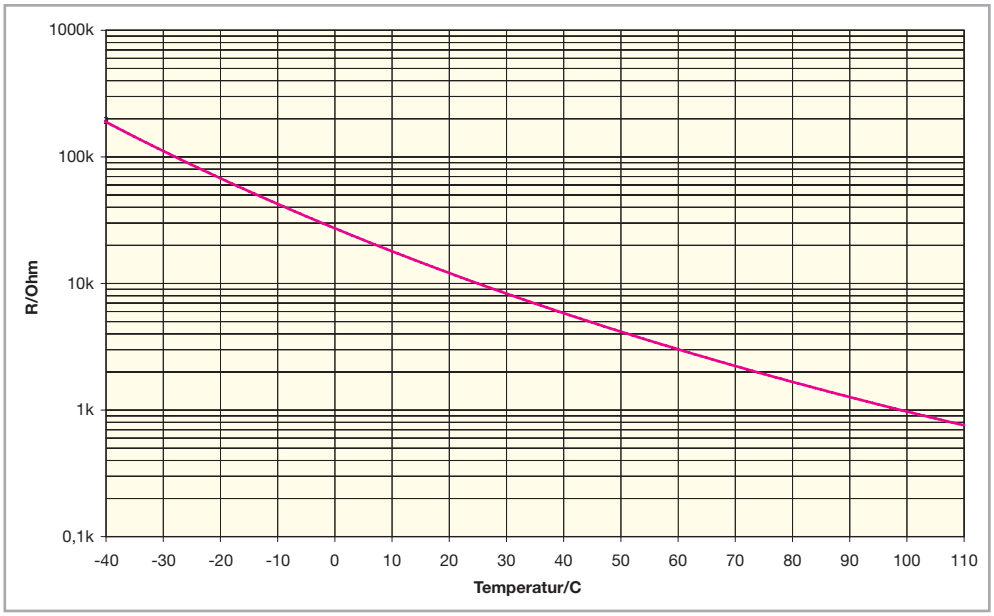


Bild 12: Kennlinie des Temperatursensors

oberen Grenzwert ist jeweils ein Komparator zuständig. Die einzelnen Ausgänge dieser Komparatoren verwenden wir, um ein Unter- oder Überschreiten der jeweiligen Grenzwerte anzuzeigen. Führt man diese Ausgänge auf ein UND-Gatter, kann auch der dritte, mittlere Bereich ausgewertet werden. Die Eingangsspannung wird in unserem Beispiel mit dem Potentiometer P1 simuliert und auf die Eingänge der beiden Komparatoren U1A und U1B gegeben. Der Komparator U1A ist für den oberen Grenzwert zuständig, während es U1B für den unteren Grenzwert ist.

Mit dem Spannungsteiler R1 bis R3 werden die Schaltschwellen der Grenzwerte eingestellt. Entscheidend ist der Spannungsabfall über dem Widerstand R2, denn dieser Widerstand legt den mittleren Spannungsbereich für unser Spannungsfenster fest. Im rechten Teil der Schaltung (Bild 15) ist dargestellt, welche Spannung sich über den Widerstand R2 einstellt, wenn für R2 ein Wert von 1 kΩ oder 10 kΩ verwendet wird. Die Spannungsangaben U_{R1}, U_{R2}

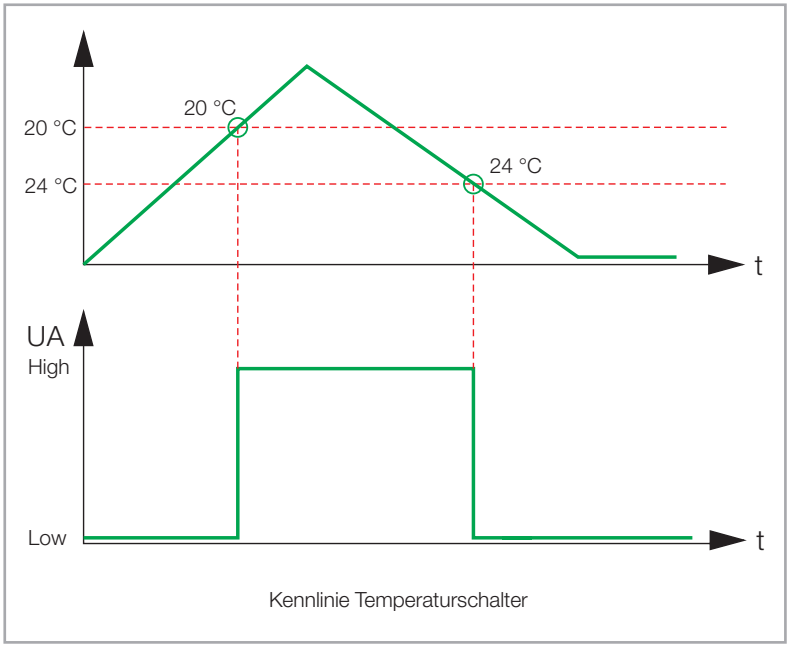


Bild 13: Kennlinie des Temperaturschalters

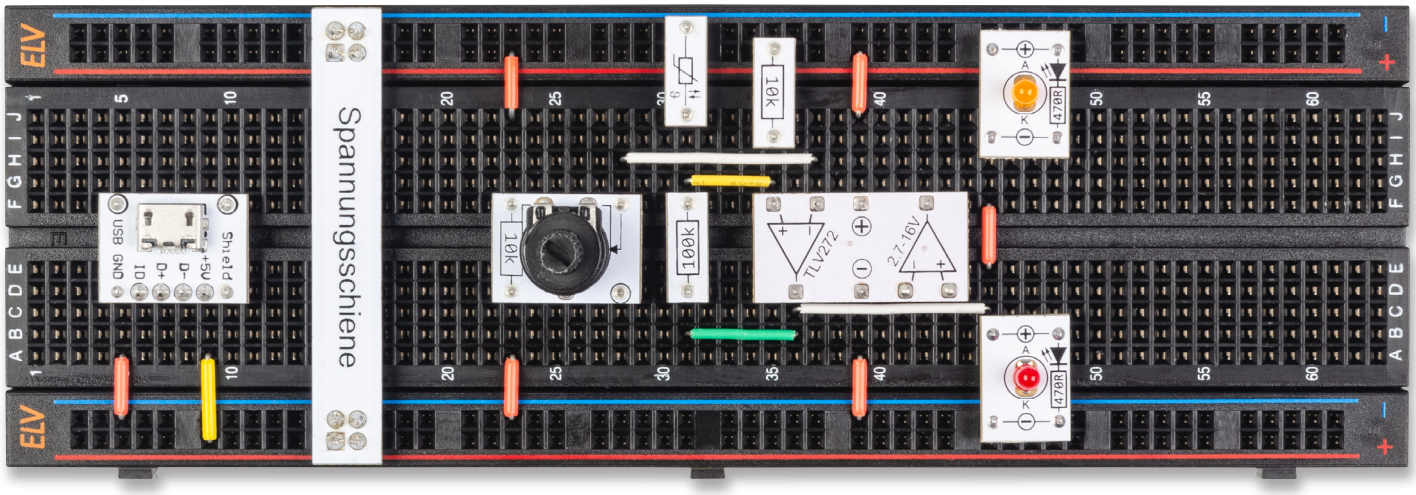


Bild 14: Steckboardaufbau des Temperaturschalters

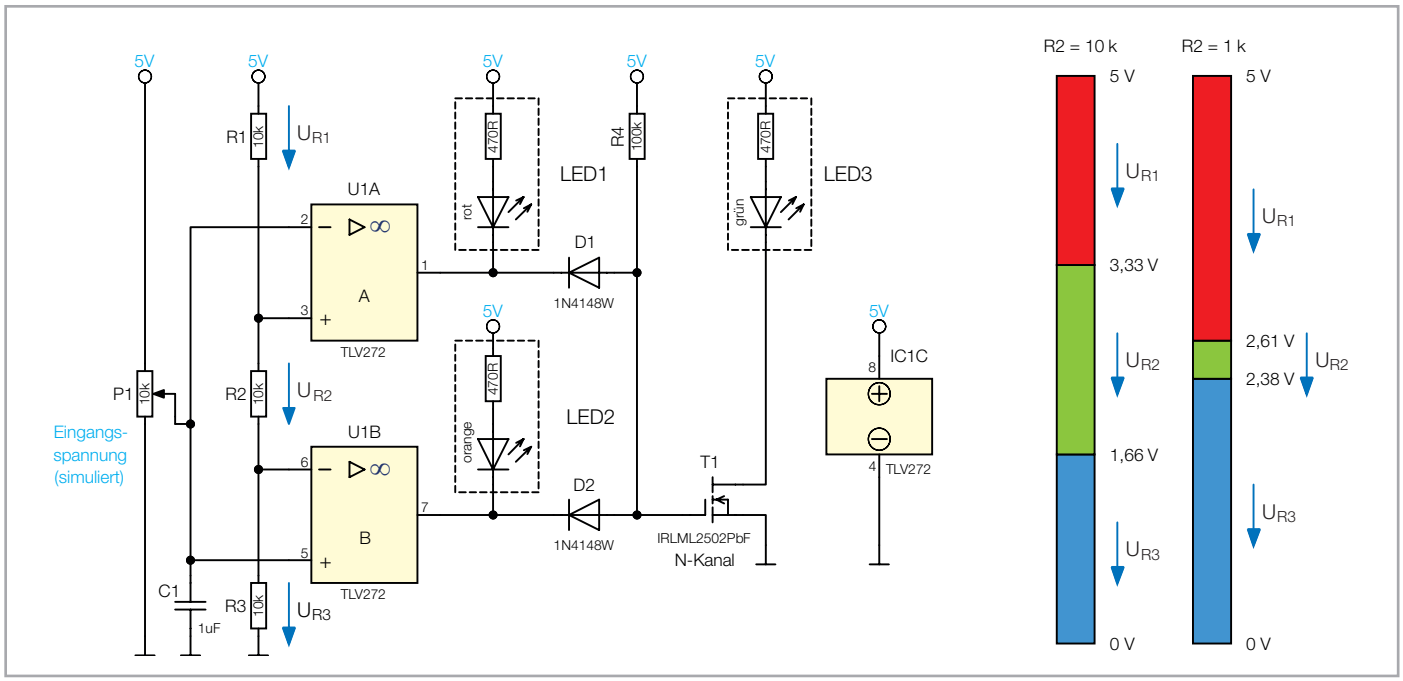
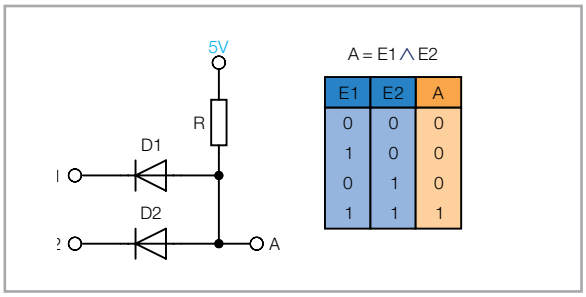


Bild 15: Schaltbild des Fensterkomparators

und U_{R3} korrespondieren mit den Spannungsabfällen an den Widerständen des Spannungsteilers, wenn die Versorgungsspannung 5 V beträgt. Je kleiner der Wert für R2 gewählt wird, desto kleiner ist auch das Spannungsfenster für den mittleren Spannungsbereich. Wichtig ist aber das Widerstandsverhältnis aller drei Widerstände zueinander. Man kann somit durch Wahl der entsprechenden Widerstände die drei Spannungsbereiche beliebig aufteilen.

Der obere Komparator U1A schaltet den Ausgang (Pin1) auf Low-Potential, wenn die Eingangsspannung im Bereich von 3,3 bis 5 V liegt, was dem Spannungsabfall über R1 entspricht. In diesem Fall leuchtet die LED1 auf. Der untere Komparator schaltet auf Low-Potential, wenn sich die Eingangsspannung im Bereich von 0 bis 1,66 V befindet. Der Spannungsbereich entspricht dem Spannungsabfall über R3. Wenn also die Eingangsspannung unterhalb von 1,66 liegt, leuchtet die LED2 auf.



E1	E2	A
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Bild 16: Wired-AND mit Dioden

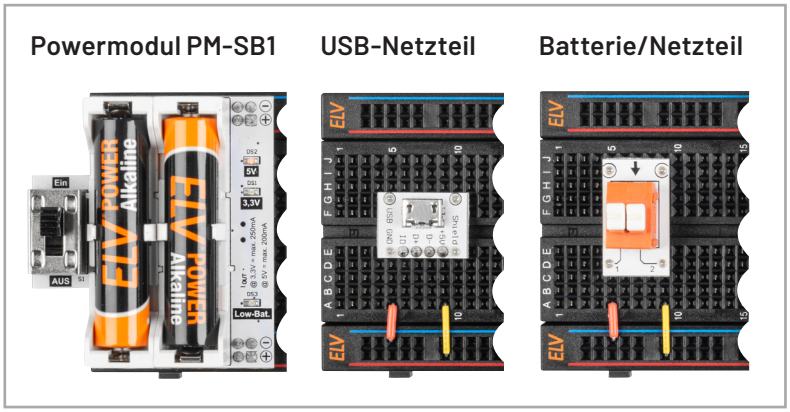


Bild 17: Unterschiedliche Varianten der Spannungsversorgung: mittels Powermodul PM-SB1, per 5-V-USB-Steckernetzteil oder einer Klemmleiste zum Anschluss an ein Labornetzteil oder eine Batterie

Wir haben nun einen Detektor, der Spannungen oberhalb und unterhalb von bestimmten Spannungsschwellen erkennt. Was wir jetzt noch benötigen, ist eine Anzeige für den mittleren Spannungsbereich. Da in diesem Spannungsfenster beide Ausgänge der Komparatoren auf High-Potential liegen (LED1 und LED2 sind aus), müssen wir diesen Zustand auswerten. Dies geschieht üblicherweise mit einer logischen UND-Verknüpfung.

Wir haben uns für eine sehr einfache Schaltungsvariante, nämlich einer sogenannten Wired-AND-Schaltung entschieden. Wired-AND bedeutet übersetzt: verdrahtete UND-Verknüpfung. Hier wird ein UND-Gatter mit wenigen konventionellen, passiven Bauteilen realisiert.

In Bild 16 ist diese Schaltungstechnik separat dargestellt. Wie man erkennt, werden nur zwei Dioden und ein Widerstand benötigt. In der Wahrheitstabelle erkennt man, dass der Ausgang A nur dann auf High wechselt, wenn beide Eingänge E1 und E2 gleichzeitig auf High liegen. In diesem Fall sperren beide Dioden und der Widerstand R (Pull-up-Widerstand) zieht den Pegel am Ausgang A auf High-Pegel. Wir finden diesen in Bild 16 dargestellten Schaltungsteil in unserer Beispielschaltung wieder.

Wir nutzen in der praktischen Anwendung zur weiteren Verarbeitung einen MOSFET-Transistor (Q1), der erst ab einer Spannung von mehr als 1,5 V am Gate durchschaltet, sodass die 0,7 V noch nicht ausreichen, um den Transistor durchzusteuern.

Mit einem NPN-Transistor würde diese Schaltungstechnik nicht funktionieren, da mit einer 0,7-V-Durchlassspannung der Dioden an der Basis ein NPN-Transistor bereits durchschaltet. Wenn unser MOSFET-Transistor Q1 über den Widerstand R4 Spannung am Gate erhält, schaltet dieser Transistor durch und die LED3 leuchtet, sodass wir nun eine Anzeige für den mittleren Spannungsbereich haben.

Durch Austausch des Widerstands R2 (1 k oder 10 k) kann man experimentieren und man erkennt durch Verändern der Eingangsspannung mit P1, wie sich die Spannungsbereiche unterschiedlich aufteilen.

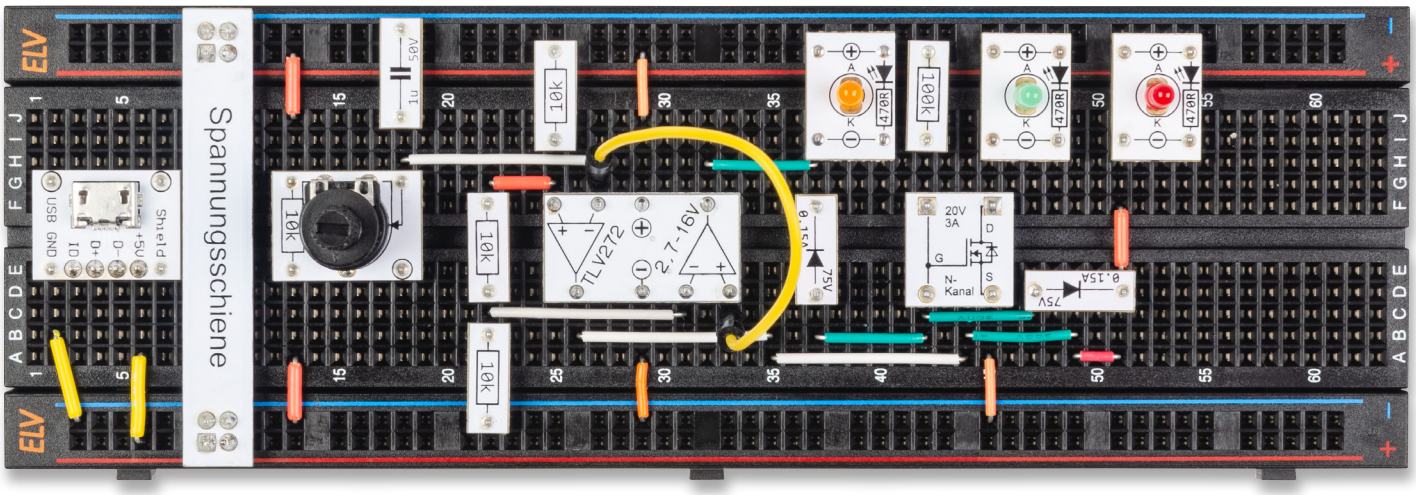


Bild 18: Steckboardaufbau des Fensterkomparators

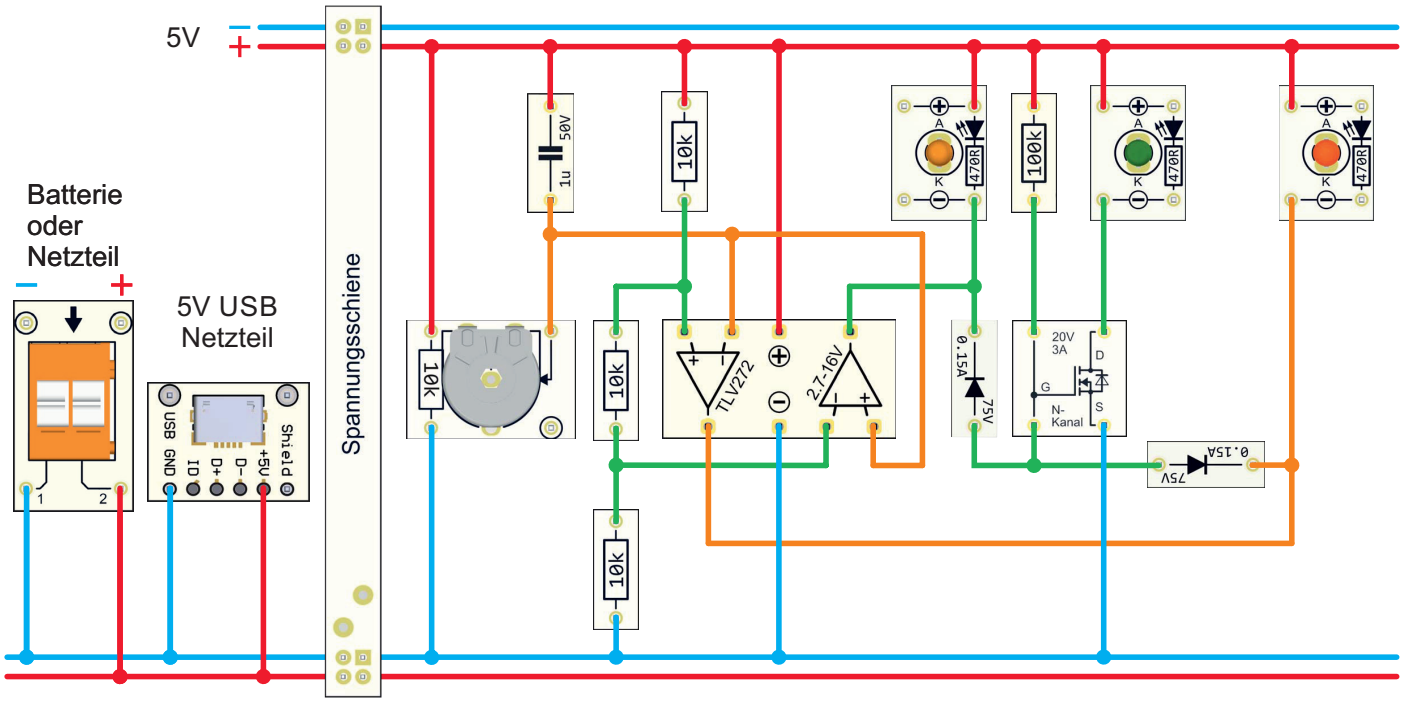


Bild 19: Verdrahtungsplan für den Fensterkomparator

Aufbau der Beispielschaltungen

Für unsere Beispielschaltung gibt es Aufbauvorschläge unter Zuhilfenahme des Experimentiersets PAD-PRO-EXSB. Zum Set, das alle notwendigen Bauteile enthält, wird zusätzlich noch eine Aufbauplattform benötigt. Dies können die Experimentierplattformen EXSB1 und EXSB-Mini sowie ein „normales" Steckboard sein.

Die Kontakte der Steckboards sind in der Regel nummeriert. Spalten, also von links nach rechts mit 1 bis 63, und die Reihen mit den Buchstaben A bis F. Dies kann sich aber je nach Hersteller geringfügig unterscheiden. Anhand der Nummerierung kann man die Position der Bauteile und Brücken in den Bildern abzählen und auf die eigene Schaltung übertragen. Wichtig ist hierbei, dass das Steckboard so platziert werden muss, dass sich Pin 1 auf der linken Seite befindet. Dreht man das Steckboard andersherum, stimmen die Positionen nicht mehr mit den Bildern überein.

Die elektrischen Verbindungen werden mit starren und flexiblen Steckbrücken hergestellt, die im Experimentierset enthalten sind.

Versorgungsspannung

Die Spanungsversorgung für diese Schaltungen ist nicht kritisch und sollte ca. 5 V betragen. Eine höhere oder niedrige Spannung ist natürlich auch möglich, jedoch sind die Spannungsangaben im Schaltbild vom Fensterkomparator für 5 V ausgelegt.

Im Prinzip kann die Schaltung mit einer Spannung im Bereich 5 bis 12 V versorgt werden. Die beiden Experimentierboards EXSB1 und EXSB-Mini verfügen über eigene Spannungsversorgungseinheiten, auf die wir hier nicht weiter eingehen wollen, da dies in der jeweiligen Bauanleitung beschrieben ist.

Für das universelle Steckboard kann man auf unterschiedliche Spannungsversorgungsmöglichkeiten zurückgreifen, wie man in Bild 17 sieht. Über eine USB-Buchse kann ein normales Steckernetzteil oder ein Ladegerät mit Micro-USB-Stecker als Spannungsquelle genutzt werden.

Die Variante mit einer Klemmleiste dient zum Anschluss einer externen Spannungsversorgung wie z. B. einem Netzteil oder einer Batterie. Hierbei muss unbedingt auf die korrekte Polung geachtet werden. Eine sehr komfortable Lösung bietet auch das ELV Powermodul PM-SB1, das mit zwei Batterien ausgestattet ist und somit autark arbeitet.

Aufbau auf dem EXSB1 und auf einem universellen Steckboard

Für den Aufbau der Beispielschaltung „Fensterkomparator" gibt es einen Aufbauvorschlag auf einem Steckboard wie in Bild 18 dargestellt. Der dazu passende Verdrahtungsplan ist in Bild 19 zu sehen.

Beim EXSB1 kann der in Bild 20 gezeigte Verdrahtungsplan genutzt werden, nur mit dem Unterschied, dass das Potentiometer P1 durch das integrierte Potentiometer mit dem Wert 10 kΩ ersetzt wird.

Aufbau auf dem EXSB-Mini

Beim Einsatz des EXSB-Mini kann wie auch beim EXSB1 das auf dem Board befindlichen Poti (10 k) verwendet werden. In Bild 21 ist die fertig aufgebaute Schaltung auf dem EXSB-Mini zu sehen. ELV

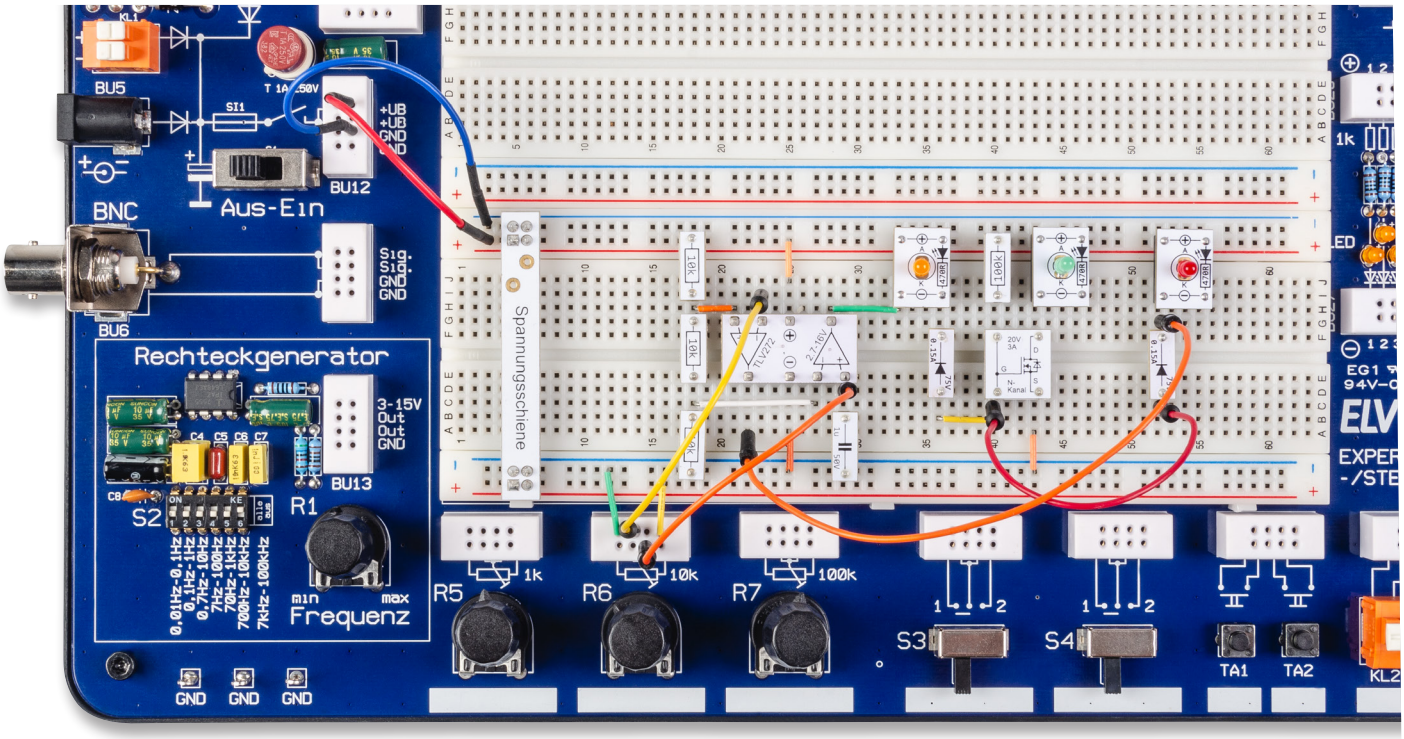


Bild 20: Steckboardaufbau des Fensterkomparator dem EXSB1

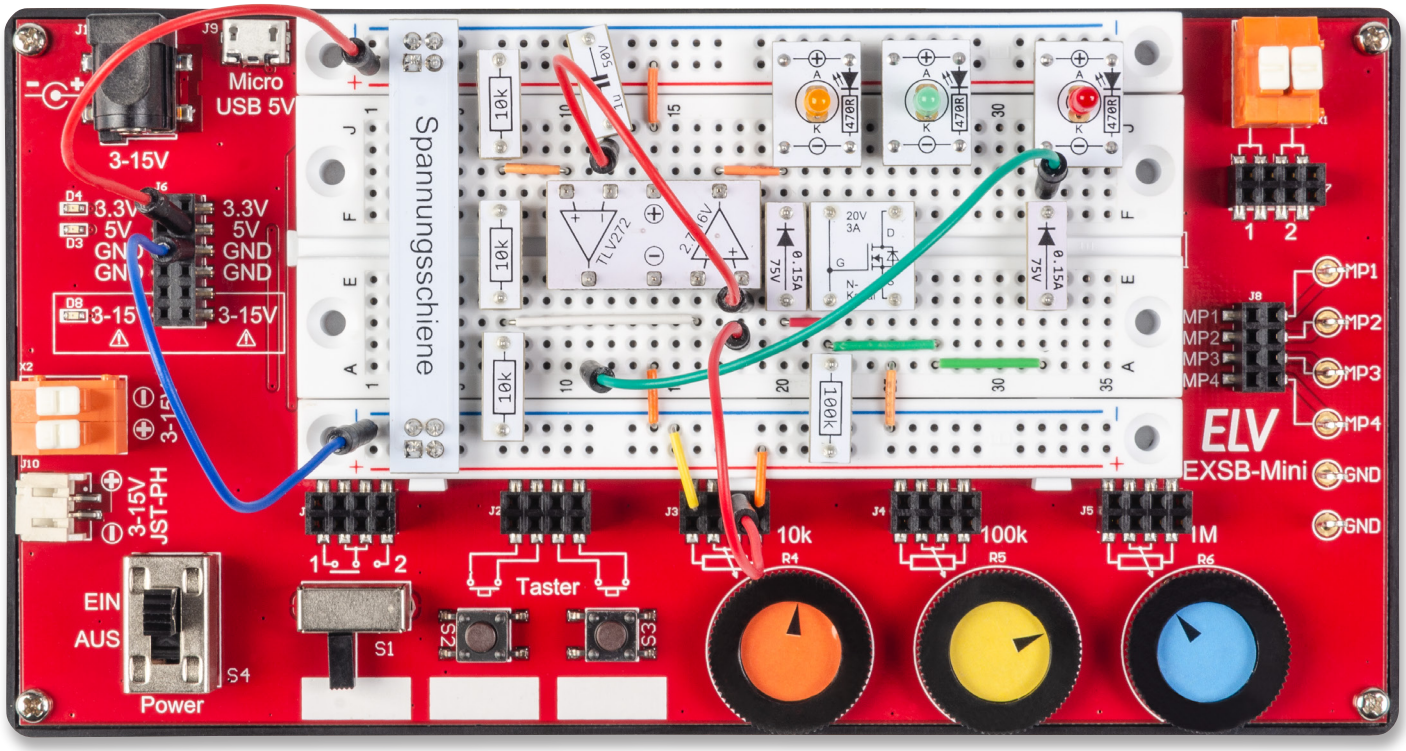


Bild 21: Steckboardaufbau des Fensterkomparator auf dem EXSB-Mini

Alle bisher erschienene Teile dieser Artikelserie zum PAD-PRO-Experimentierset finden Sie im ELVshop:

ELVjournal 3/2023	Professionell experimentieren - Prototypenadapter-Professional-Experimentierset PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 253473
ELVjournal 5/2023	Audioverstärker mit MEMS-Mikrofon - Anwendungsschaltung mit dem Prototypenadapter	Artikel-Nr. 253711
ELVjournal 6/2023	NE555-Grundschaltungen - Anwendungsschaltungen mit dem Prototypenadapter	Artikel-Nr. 253836
ELVjournal 1/2024	Anwendungsschaltungen mit dem Prototypenadapter - Professional-Experimentierset PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 253948
ELVjournal 2/2024	LEDs richtig ansteuern - Anwendungsschaltungen mit dem PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 254100
ELVjournal 3/2024	Alarmanlage mit Vibrationssensor - Anwendungsschaltungen mit dem PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 254146

Maker Faire Hannover 2024

Deutschlands größte Do-it-yourself-Messe feiert 10-jähriges Jubiläum

Die Maker Faire 2024 in Hannover, die am 17. und 18. August im Hannover Congress Centrum (HCC) stattfand, war ein beeindruckendes Event voller Innovation, Kreativität und technischer Begeisterung. Mit rund 250 Ausstellern und ca. 16000 Besuchern bot die Messe auf etwa 7000 Quadratmetern Ausstellungsfläche eine Plattform für Maker, Bastler und Technikbegeisterte, um ihre Projekte und Ideen zu präsentieren und sich auszutauschen.

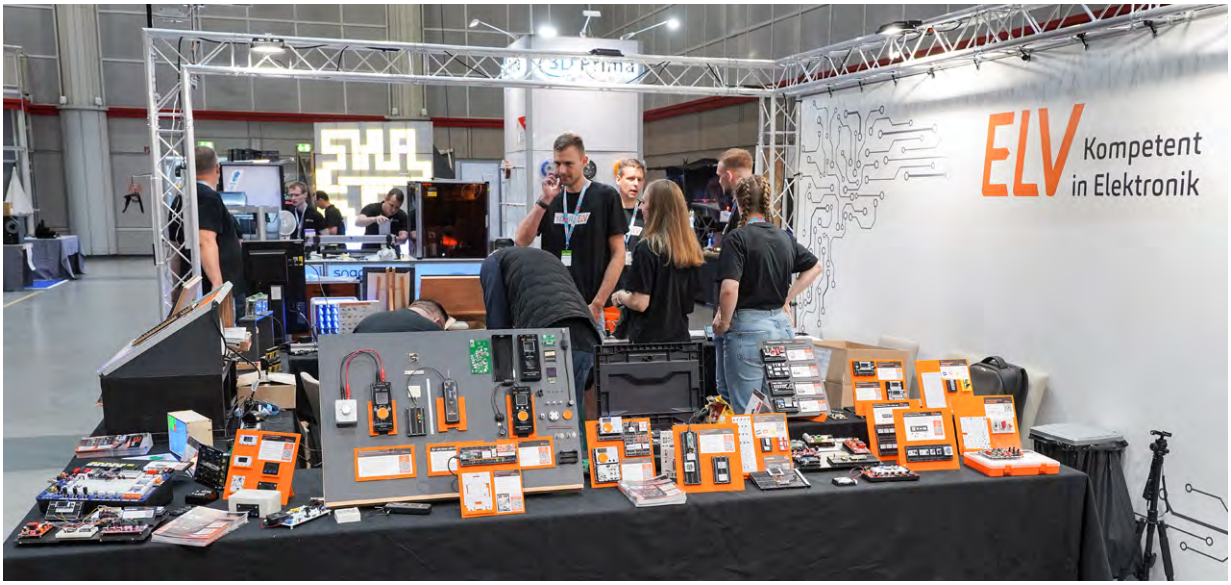


Bild 1: Der Messestand von ELV

„Ich glaub, es geht schon wieder los!"

Es war wieder so weit – Deutschlands größte Do-it-yourself-Messe, die Maker Faire in Hannover, öffnete ihre Pforten und feierte diesmal sogar das 10-jährige Jubiläum.

Wir vom ELV Team waren mit unserem Motto *YOURSELV* ebenfalls wieder vor Ort dabei und präsentierten auf unserem Maker-Faire-Messestand (Bild 1) einen Teil aus dem sehr umfangreichen Sortiment an Elektronikbausätzen und Modulen des ELVshops.

Neben Bausätzen aus dem Bereich der Messtechnik wie dem LED-Tester LED-T2 oder dem digitalen Panelmeter DPM1 wurden auch diesmal diverse Uhrenbausätze und ebenso die bei vielen beliebten MP3-Soundmodule gezeigt.

Ein Highlight war die Vorstellung neuer – bisher noch nicht veröffentlichter – Bausätze wie z. B. des MP3-Soundmoduls MSM5 oder der ELV Smart Home Schalter-Fernbedienung ELV-SH-SRC8, mit der man clever Automatisierungen steuern kann. Einen ausführlichen Bericht zur ELV-SH-SRC8 gibt es in diesem ELVjournal ab Seite 19.

Das ELV-Modulsystem – egal ob auf Basis von LoRaWAN® mit der ELV-LW-Base oder „powered by Homematic IP" mit der ELV-SH-Base – wurde ebenfalls von vielen Besuchern mit großem Interesse verfolgt.

Bild 2: Bei den Mitmachstationen war immer viel los. Selbst die jüngsten Maker konnten mit etwas Unterstützung Erfolge feiern.

Revival der steckbaren Schaltungen

Eine weitere sehr stark angelaufene Produktgruppe am ELV Stand war das PAD-Stecksystem mit den dazugehörigen Elektronikbaukästen. Diese Produkte ermöglichen eine einfache und flexible Verbindung von Elektronikkomponenten, ohne dass gelötet werden muss. Sie eignen sich hervorragend zum Experimentieren mit elektronischen Schaltungen, aber auch für den Prototypenbau, da sie eine schnelle und sichere Verbindung der Bauteile gewährleisten.

Das Grundprinzip des Stecksystems kennen erfahrene Maker dabei schon lange aus den Elektronikbaukästen des KOSMOS-Verlags oder auch den legendären „Polytronic"-Kästen der ehemaligen DDR. Es kamen dabei auch immer wieder interessante Gespräche mit den Makern über diese „alten" Baukästen zustande.

Mitmachstationen

Besonders beliebt waren die angebotenen Löt- und Steckkurse (Bild 2). Hierbei hatten „kleine" wie auch „große" Maker die Möglichkeit, unter fachkundiger Anleitung das Löten an einem „ELV-Roboter" zu erlernen oder ihre Fähigkeiten zu verbessern. Ebenfalls stand mit dem PAD-SK1 das Stecken einer Blinker-Schaltung auf einem Breadboard zur Wahl. Diese Kurse waren sowohl für Anfänger als auch für Fortgeschrittene geeignet und boten eine praxisnahe Einführung in die Welt der Elektronik.

Das neue PAD-SK1 wird in diesem ELVjournal ab Seite 6 mit einem tollen Bericht vorgestellt.

Auf Augenhöhe

Neben den Produktvorstellungen und Mitmachstationen kamen viele Besucher auch gezielt an den Stand von ELV, um „auf Augenhöhe" mit den Entwicklern der jeweiligen Produkte ins Gespräch zu kommen und eventuelle Fragen oder auch Produktanregungen loszuwerden – eine großartige Möglichkeit, die sich sonst nicht bietet und von den Makern honoriert wurde! Dabei waren viele der Fragen sehr komplex und tiefgehend, teils auch hochspeziell – doch immer nahmen sich die Kollegen von

ELV die nötige Zeit, um solche Fragen kompetent und lösungsorientiert zu beantworten.

Dieser direkte Austausch zwischen Ausstellern und Besuchern hat sicherlich auch mit dazu geführt, dass die diesjährige Messe einen neuen Besucherrekord aufstellen konnte – rund 16000 Besucher waren vor Ort und füllten schnell die Ausstellungshallen des HCC (Bild 3).

Spaß verknüpft mit Wissen

Die Maker Faire Hannover 2024 war nicht nur ein Ort der schrillen Schaltungen, der bunten LED-Effekte oder der hupenden und fahrenden Modelle – ohne das wäre es keine „echte" Maker Faire –, sie ist auch ein Ort der Inspiration, des Austauschs sowie der Gelegenheit, praktische Fähigkeiten zu erlernen und neue Technologien hautnah zu erleben und verstehen zu lernen.

Hier halfen auch die zahlreichen Workshops und Vorträge, die die Veranstaltung zu einem unvergesslichen Erlebnis für alle Teilnehmer machten. Diese Chance hat auch ELV genutzt und einen Vortrag zum ELV-Modulsystem gehalten (Bild 4). Auch hier gab es für das Publikum die Möglichkeit, Fragen zu stellen und sich mit den Entwicklern auszutauschen.

Leute treffen, die genauso denken!

Wenn es die Zeit und der Andrang an Makern am Stand erlaubten, hat man sich auch einmal selber auf der Maker Faire umgesehen – und ja, viele der anderen Aussteller denken genauso quer wie wir!

Wie in jedem Jahr gab es zudem ein Get-together am Vorabend auf dem Messegelände. Hier trifft man sich zu einem oder auch mehreren kalten Getränken sowie dem Genuss von Street-Food-Spezialitäten unter Gleichgesinnten, um sich gemütlich auf den eigentlichen Messetag einstimmen zu können. Dabei trifft man alte Bekannte oder lernt neue Maker kennen, die an diesem Wochenende selbst interessante Erlebnisse und Eindrücke erfahren wollen und Ideen für ihre eigenen Projekte suchen.

Apropos alte Bekannte: An dieser Stelle senden wir viele Grüße an den R2 Builders Club e. V. (Bild 5), die Standnachbarn von KosyMo Sci-Fi Modellbau (Bild 6) und die Kollegen der Make sowie von Oxocard!

Mittendrin statt nur dabei!

Und da bekanntlich Bilder mehr als tausend Worte sagen – und Bewegtbilder vielleicht sogar noch mehr – hat unser Kollege Torsten ein Video zu seinen persönlichen Highlights am Messestand von ELV erstellt. ELV

Bild 3: Schon kurz nach Einlass waren die Hallen schnell mit Makern gefüllt.

Bild 4: Der ELV Vortrag zum Thema „ELV-Modulsystem"

Bild 5: Der kleine „Fuhrpark" des R2 Builders Club e. V.

Bild 6: Eine kleine Auswahl der Modelle von KosyMo Sci-Fi Modellbau

Innovative Bauteile kurz beleuchtet

Diesmal: MEMS-3-Achsen-Beschleunigungssensoren

Das Entwicklerteam von ELV und eQ-3 mit ca. 90 Entwicklern konstruiert jährlich bis zu 120 neue Produkte inklusive Weiterentwicklungen und Produktanpassungen. Internationale Bauteilehersteller informieren uns laufend über aktuelle Bauteile und innovative Sensoren. An diesem Wissen möchten wir Sie gerne teilhaben lassen. In loser Reihenfolge stellen wir Ihnen spannende elektronische Bauteile mit umfassendem Hintergrundwissen, Datenblättern und Anwendungsbeispielen vor. In diesem Beitrag geht es um MEMS-3-Achsen-Beschleunigungssensoren – winzig, genau und vielseitig.

Die MEMS-Technologie

Wenn es um die Miniaturisierung mechanischer Strukturen geht, hat die klassische Feinwerktechnik schon seit Jahrzehnten ihre Grenzen erreicht. Sie ermöglicht zwar die Herstellung von Strukturen mit Abmessungen bis in den Sub-Millimeterbereich (1 mm = 10^{-3} m), was aber für die Kombination mit halbleiterbasierter Mikroelektronik noch um Größenordnungen zu groß ist.

Um die Sub-Mikrometer- bis Nanometerabmessungen elektronischer Halbleiterstrukturen denen der mit ihnen zusammenarbeitenden mechanischen Komponenten anzugleichen, müssen durchgehend die bei der Chipherstellung eingesetzten Methoden zum Einsatz kommen. Dann lassen sich mechanische Komponenten wie Zahnräder, Kämme, Hebel, Federn, Lager usw. mit Mikroelektronik auf Siliziumchips gemeinsam schaffen und zu einem MEMS (Micro Electro Mechanical System = mikro-elektromechanisches System) kombinieren.

Durch das Zusammenwirken von Lithografie, Material aufdampfen (deposition) durch Sputtern, Maskieren, Material entfernen (etching) durch Ätzen, Oxidation und vielen weiteren Prozessschritten, entstehen auf einem Halbleiterwafer komplexe, extrem miniaturisierte Systeme für enorm vielfältige, sich ständig erweiternde Anwendungsbereiche.

MEMS sind in Automobilbau, Medizintechnik, Elektronik, Kommunikation, Halbleitern, Luft- und Raumfahrt und vielen mehr anzutreffen. MEMS-Produkte werden heute in Airbagsensoren, Tintenstrahldruckköpfen, Lese- und Schreibköpfen von Computerfestplatten, Projektionschips, optischen Schaltern, Mikroventilen, Blutdrucksensoren, Biosensoren, Lagereglungssystemen für Luft- und Raumfahrt und weiteren Geräten eingesetzt.

Eine Vorstellung von der Feinheit mikromechanischer Strukturen zeigt Bild 1 in einer elektronenmikroskopischen Aufnahme einer etwa 0,1 mm großen Milbe zusammen mit winzigen, mikromechanisch hergestellten Zahnrädchen mit wenigen µm Durchmesser (Quelle: Sandia National Laboratories).

Eine schöne Zusammenfassung zum Thema MEMS ist in der Themenwelt von Bosch oder in Wikipedia zu finden.

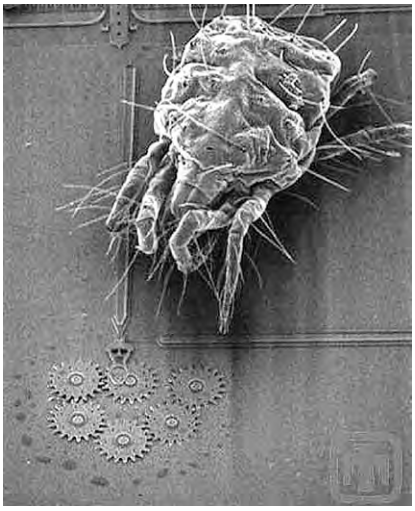


Bild 1: Der Größenvergleich einer Hausmilbe mit mikromechanisch hergestellten Zahnrädern demonstriert deren Winzigkeit im µm-Bereich.

Beschleunigung

Unter Beschleunigung a (a: acceleration) versteht man in der Physik, die Zu- oder Abnahme der Geschwindigkeit Δv (v: velocity, dim v: m/s) eines Körpers in einem gewissen Zeitintervall Δt (t: time), es wird also Δv/Δt bestimmt. Weil die Geschwindigkeitsänderung Δv in m/s (Meter/Sekunde) gemessen wird und das Zeitintervall Δt die Einheit s (Sekunde) hat, ist die Einheit der Beschleunigung m/s² (Meter pro Quadratsekunde).

Kennt man die Masse m (m: mass, dim m: kg) des beschleunigten Körpers, kann man mithilfe des 2. Newtonschen Gesetzes F = m · a die Kraft F (F: force, dim F: N) berechnen, die erforderlich ist, um dem Objekt mit der Masse m die Beschleunigung a [a: acceleration, dim a: m/s²] zu erteilen.

$$F = m \cdot a$$

Beispiel : Die Masse eines Motorrades einschließlich Fahrer , Beifahrer und Gepäck beträgt 500 kg. Welche Motorkraft ist erforderlich, um es in 10 Sekunden von 0 auf 80 km/h zu beschleunigen?
Antwort : Zunächst 80 km/h in m/s umrechnen:

$$v = 80 \cdot \frac{1000\,m}{3600\,s} = 22{,}2\,\frac{m}{s}$$

Diese Geschwindigkeitsänderung soll in 10 s erreicht werden, wofür eine Beschleunigung von a = 2,22 m/s² erforderlich ist.
Die Kraft in Newton [N] ist das Produkt aus Masse in kg und Beschleunigung in m/s², also

$$F = 500\,kg \cdot 2{,}22\,\frac{m}{s^2} = 1110\,N$$

Die Beschleunigung ist eine vektorielle Größe! Sie wird in einem dreidimensionalen Raum, der durch ein kartesisches Koordinatensystem (mit senkrecht aufeinander stehenden x-, y- und z-Achsen) beschrieben wird, als Pfeil dargestellt. Die Pfeilspitze zeigt in Richtung der Beschleunigung und die Pfeillänge gibt die Stärke der Beschleunigung an (Bild 2). Die vektorielle Eigenschaft wird durch einen nach rechts weisenden Pfeil über dem Variablenbuchstaben gekennzeichnet, z. B. als $\vec{a}$ (acceleration = Beschleunigung).

Zur Definition eines kartesischen Vektors: Ein beliebig im Raum liegender Vektor $\vec{a}$ setzt sich aus der Summe der drei Teilvektoren $\vec{a}_x$, $\vec{a}_y$ und $\vec{a}_z$ zusammen, die jeweils in Richtung der x-, y- und z-Achse des Koordinatensystems zeigen. Durch Addition der skalaren Komponenten dieser Teilvektoren erhält man die richtungsbestimmenden Komponenten des Summenvektors $\vec{a}$. Seine Länge (Betrag) wird aus der Wurzel der Summe seiner Komponentenquadrate berechnet. Das Gesagte ist in dieser Gleichung zusammengefasst:

$$\vec{a} = \vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z = \begin{pmatrix} a_x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ a_y \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ a_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_x+0+0 \\ 0+a_y+0 \\ 0+0+a_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix}$$

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

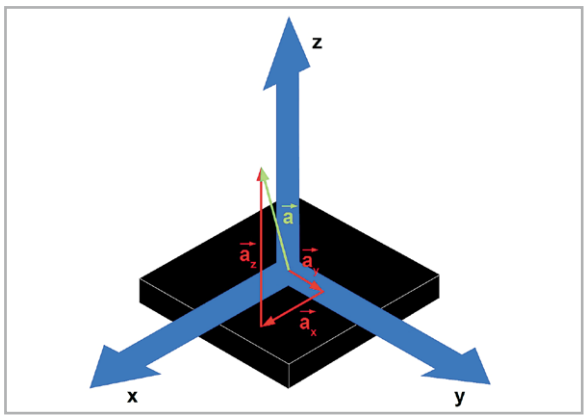


Bild 2: Der dreidimensionale Beschleunigungsvektor $\vec{a}$ ist die Summe von drei in die kartesischen Raumrichtungen weisenden Vektoren $\vec{a}_x$, $\vec{a}_y$ und $\vec{a}_z$.

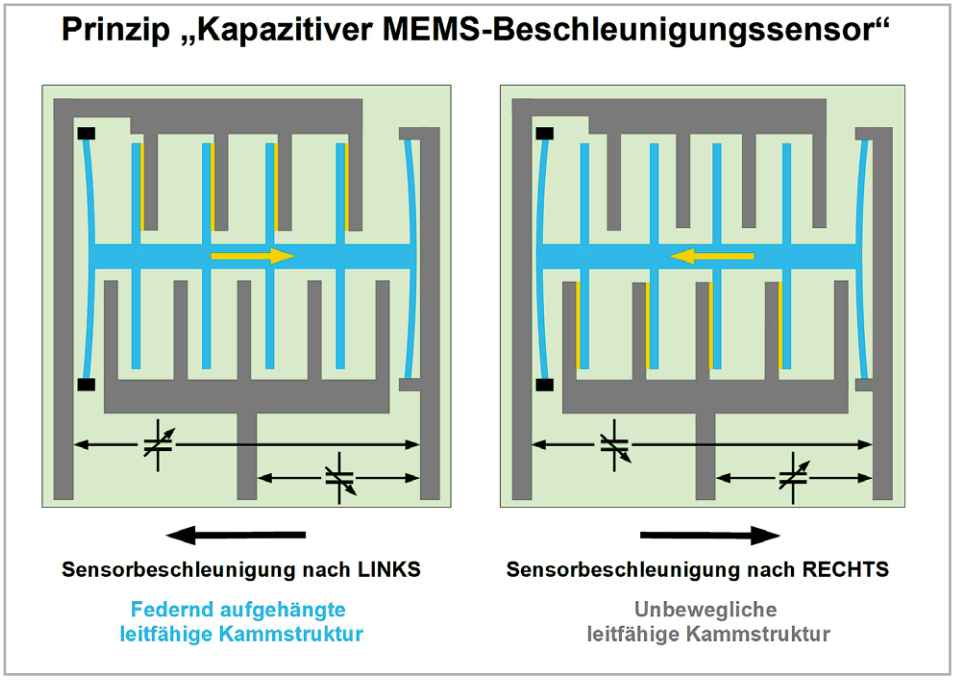


Bild 3: Die Trägheit einer elastisch aufgehängten leitfähigen Kammstruktur bewirkt Kapazitätsänderungen gegenüber den Zinken einer fest auf dem Chipsubstrat verankerten Kammstruktur.

Sensorprinzip

Es gibt eine Vielzahl von Methoden, lineare Beschleunigungen messtechnisch zu erfassen. Eine besonders für die Integration in elektronische Systeme geeignete Form sind MEMS-Beschleunigungssensoren. Bei ihnen wird die Geschwindigkeitszunahme oder -abnahme durch die auf eine Testmasse wirkende Trägheitskraft bestimmt und in achsenbezogene Messwerte umgerechnet.

Anhand von Bild 3 soll das Prinzip eines kapazitiven Beschleunigungssensors mit MEMS-Technologie beschrieben werden. In Blau ist eine federnd aufgehängte, leitende Kammstruktur mit nach oben und unten weisenden Zinkenreihen dargestellt. Diese beweglichen Zinken greifen in fest auf dem Halbleitersubstrat angebrachte, kammförmige Gegenstrukturen, mit denen sie zwei Kondensatoren bilden – einen oberen und einen unteren. Wird nun diese MEMS-Struktur quer zur Zinkenrichtung beschleunigt, bewirkt die Trägheit des beweglichen Doppelkamms, dass die zwischen den oberen Kammzinken ausgebildeten Kapazitäten wegen des verringerten Zinkenabstands zunehmen und die zwischen den unteren Kammzinken wegen des vergrößerten Zinkenabstands abnehmen – oder umgekehrt. Gemäß der Gleichung $Q = C \cdot U$ ändert sich die in den beiden Kondensatoren gespeicherte Ladung proportional zur Kapazitätsveränderung, was sich messtechnisch auswerten lässt.

Für eine vollständige Ermittlung der x-, y- und z-Komponenten des räumlichen Beschleunigungsvektors $\vec{a}$ wirken drei orthogonal orientierte MEMS-Strukturen gemäß Bild 3 für die Raumrichtungen zusammen.

Bild 4 zeigt stark vereinfacht das Blockschaltbild einer möglichen Messanordnung.

Einsatzgebiete

MEMS-3-Achsen-Beschleunigungssensoren finden vielfältigen Einsatz

- in der Messung von (linearen) Beschleunigungen
- für die Feststellung von Vibrationen an Gebäuden und Maschinen
- zur Auslösung von Airbags in Fahrzeugen
- in aktiven Fahrzeug-Federungssystemen
- in Alarmanlagen bei beweglichen Gütern oder als Berührungssensor
- als Head-Crash-Schutz bei Festplatten
- in Health-Care-Anwendungen (Gesundheitsvorsorge, Überwachung)
- bei Crashtests in den Dummys und Fahrzeugen
- in der Sensorik von Digitalkameras in Smartphones
- für Schadensuntersuchungen beim Warentransport
- in Beschleunigungsschreibern und Seismographen auf dem Gebiet der Seismik und der Erdbebenüberwachung
- zur Neigungsmessung in statischen Systemen (d. h., solange andere Beschleunigungen im Vergleich zur Erdbeschleunigung vernachlässigbar sind)

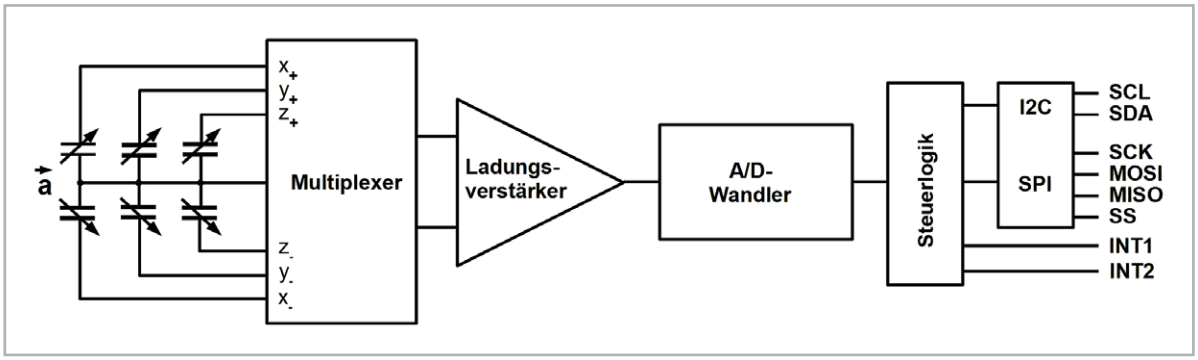


Bild 4: Die Ladungsveränderungen auf den Zinken der Kammstrukturen werden im I²C- oder SPI-Format als 12-Bit-Werte ausgegeben.

- in aktiven Lautsprechern (motional feedback)
- zusammen mit Gyroskopen zur Lageregelung oder Stabilisierung von Luftfahrzeugen wie Hubschraubern oder Drohnen
- zur Steuerung von Videospielen und in Augmented-Reality-Anwendungen
- im Aufzugbau
- für die Satelliten- und Raketentechnik
- in der Analyse von Fahrzeugbewegungen
- für die Autoelektronik
- in Fitnessanwendungen
- usw.

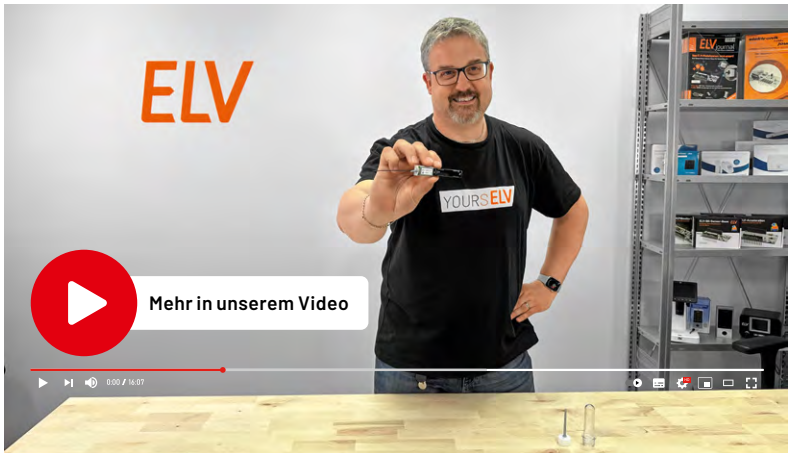
Erdbeschleunigung

Liegt der Sensor unbewegt auf einer horizontalen Unterlage, ist die z-Komponente maximal, die x- und y-Komponente jeweils 0. Das rührt daher, dass der Sensor nun ausschließlich die durch das Gravitationsfeld (Schwerefeld) der Erde verursachte Erdbeschleunigung misst, die mit sehr hoher Genauigkeit lotrecht auf der Erdoberfläche steht. Sie ist für die Beschleunigung eines frei fallenden Körpers verantwortlich und wird deshalb auch Fallbeschleunigung genannt.

Unter der idealisierenden Voraussetzung einer absolut runden Erdkugel mit vollständig homogener Massenverteilung wäre die durch die reine Massenanziehung verursachte Gravitationskraft und damit die Fallbeschleunigung überall auf der Erdoberfläche die gleiche. In der Realität sind aber die Pole der Erde abgeplattet und Gebirge sowie unterschiedliche Gesteinsschichten im Erdinneren verursachen eine (sehr geringe) ortsabhängige Variation der reinen zum Erdmittelpunkt gerichteten Gravitationskraft. Ihr entgegen wirkt aber die Zentrifugalkraft (Fliehkraft), die ein Körper durch die Erdrotation erfährt. Diese Zentrifugalkraft ist im Bereich des Äquators am größten, um dann mit zunehmender geografischer nördlicher und südlicher Breite abzunehmen und an den Polen zu verschwinden. Diese Tatsache, verbunden mit der Abplattung des Erdgeoids an den Polen, bewirkt, dass hier die Gewichtskraft am größten ist.

Die lokale Fallbeschleunigung innerhalb Deutschlands kann mit einem Näherungswert von 9,81 m/s² angegeben werden, der breitenabhängig um bis zu ±0,004 m/s² schwankt. Die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) gibt eine Näherungsformel für das mathematische Modell des Normalschwerefeldes g_0 an, in der φ die geografische Breite und H_P die Höhe über dem Meeresspiegel darstellt:

$$g_0 = 9{,}780327 \cdot [1 + 0{,}005 \cdot \sin^2(\varphi) - 0{,}0000058 \cdot \sin^2(2\varphi) - 3{,}086 \cdot 10^{-6} \cdot H_P] \frac{m}{s^2}$$



Im Video erläutern wir die Funktionen und die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten des ELV Smart Home Temperatur- und Beschleunigungssensors.

Bild 5: ELV Smart Home Temperatur- und Beschleunigungssensor Außenbereich ELV-SH-TACO

Daraus folgt für
München:
$\varphi = 48{,}1372\,°$, $H_P = 518$ m, $g_0 = 9{,}809034425$ m/s²,

Frankfurt:
$\varphi = 50{,}1109\,°$, $H_P = 112$ m, $g_0 = 9{,}810803129$ m/s²,

Hamburg:
$\varphi = 53{,}395\,°$, $H_P = 8{,}6$ m, $g_0 = 9{,}813694777$ m/s².

Bewegungsbeschleunigung

Wird der 3D-Sensor zusätzlich zur allgegenwärtigen Erdbeschleunigung einer weiteren Beschleunigung im Raum ausgesetzt, die vom Vektor $\vec{a}$ repräsentiert wird, nehmen die x-, y- und z-Sensoren die in die Richtung der Koordinatenachsen wirkenden Teilbeschleunigungen auf, aus denen sich Orientierung (Richtung) und Stärke (Betrag) des Vektors ableiten lassen.

ELV Smart Home Temperatur- und Beschleunigungssensor ELV-SH-TACO

ELV hat mit dem ELV-SH-TACO (Bild 5) für das Homematic IP System einen Sensor entwickelt, der seine **T**emperature, **A**cceleration (Beschleunigung), **C**oncussion (Erschütterung) und **O**rientation (Ausrichtung) erfassen kann.

Bis auf die Temperatur (T), die von einem NTC (Widerstand mit negativem Temperaturkoeffizienten) erfasst wird, dessen Wert sich verkleinert, wenn seine Temperatur zunimmt, auch Heißleiter genannt, liefert ein triaxialer MEMS-Beschleunigungssensor BMA400 von der Bosch Sensortec GmbH die drei restlichen Größen (ACO) mit 12-it Auflösung über I²C- oder SPI-Schnittstelle .

Zwei Interruptausgänge können beispielsweise die signalverarbeitende Elektronik bei Grenzwertüberschreitungen aus dem Schlafzustand wecken.

Der extrem niedrige Stromverbrauch des BMA400 ermöglicht im Zusammenwirken mit dem Ultra-Low-Power-Sub-GHz-Funkmodul CC1310 von Texas Instruments den drahtlosen Betrieb des TACO über mindestens zwei Jahre, ohne die eingesetzte AA-1,5-V-Batterie wechseln zu müssen.

Eine detaillierte Beschreibung der Funktion und des Zusammenbaus finden Sie in dem Fachbeitrag „Universaltalent – Temperatur- und Beschleunigungssensor ELV-SH-TACO". ELV

Smarte Bausätze für Ihr Zuhause

homematic IP

Fenster- und Türkontakt

HmIP-SWDO-I, verdeckter Einbau

- Verdeckter Einbau im Rahmen – bei geschlossenem Fenster bzw. geschlossener Tür nicht sichtbar
- Einfache Montage dank Klebestreifen (inkl.)
- Geöffnete Fenster/Türen werden direkt in der Homematic IP App angezeigt – Status auch unterwegs jederzeit einsehbar
- Eingebauter Sabotagekontakt informiert per App bei Manipulation des Fenster- und Türkontakts
- Hohe Batterielebensdauer von typ. 4 Jahren

FERTIGGERÄT – Artikel-Nr. 151039 – 59,95 €

Während des Lüftens wird die Raumtemperatur in Verbindung mit dem Homematic IP **Heizkörperthermostat** automatisch abgesenkt.

Hinweis: Homematic IP Access Point, CCU3 oder Homematic IP Home Control Unit vorausgesetzt.

BAUSATZ

49,95 €

Artikel-Nr. 152331

Zum Produkt

homematic IP

Fenstergriffsensor HmIP-SRH

- Erkennt offene, gekippte oder geschlossene Fenster
- Für alle gängigen Fenstergriffmodelle (7-x-7-mm-Vierkantstift)
- Einfache, unauffällige und dank Batteriebetrieb netzunabhängige Montage ohne Beschädigung des Fensters
- Für Fenster mit linker und rechter Öffnungsrichtung geeignet
- Optische Anpassung durch weiße und silberne Abdeckung (inkl.)

FERTIGGERÄT – Artikel-Nr. 142800 – 59,95 €

Um sich nicht selber auszusperren, wird über den **Aussperrschutz** ein automatisierter Rollladen nicht mehr herungergefahren, sobald die Balkon- oder Terrassentür geöffnet ist.

Hinweis: Homematic IP Access Point, CCU3 oder Homematic IP Home Control Unit vorausgesetzt.

BAUSATZ

49,95 €

Artikel-Nr. 152133

Zum Produkt

Cloud-Integration voraussichtlich bis Ende 2024!

homematic IP

MP3 Kombisignalgeber
HmIP-MP3P

- Bis zu 250 **akustische** Meldungen als MP3-Files (CBR, VBR, ABR) von microSD-Karte abspielbar
- **Optische** Anzeige mittels RGB-LEDs im Leuchtrahmen (7 Farben inkl. Weiß auswählbar)
- Versorgung per externem Netzteil oder Batterien möglich
- Dank integriertem Wochenprogramm sind zeitgesteuerte Meldungen auch unabhängig von einer Zentrale nutzbar

Menschen mit eingeschränktem Hörvermögen können den **MP3 Kombisignalgeber** in Verbindung mit dem Homematic IP Klingeltaster zur optischen Benachrichtigung nutzen.

Hinweis: Aktuell ist der Betrieb ausschließlich über die Smart Home Zentrale CCU3 möglich. Die Einbindung in die Homematic IP Cloud (App) wird voraussichtlich bis Ende 2024 erfolgen.

BAUSATZ

79,95 €

Artikel-Nr. 152383

Zum Produkt

ELV

Klingelsignalerkennung
HmIP-DSD-PCB

- Zur Signalweitermeldung im Homematic IP System über den Homematic IP Access Point (LAN/WLAN), die Smart Home Zentrale CCU3 oder die Home Control Unit HCU1
- Wahlweise 2- oder 3-Draht-Betrieb mit Reaktion auf Anliegen oder Unterbrechung der Signalspannung
- Universell einsetzbar zur Spannungserkennung im Smart Home (6-12 VAC/DC), z. B. um ausgefallene Netzgeräte, Akkus usw. zu erkennen
- Spannungserkennung und Tastersteuerung parallel einsetzbar
- Flexibler Einsatz durch Batterieversorgung

ELV Bausatz Homematic IP Klingeltaster HmIP-DBB
Artikel-Nr. 153424– 29,95 €

Einsetzbar zur Auswertung von potentialfreien Tastern, Schaltern, Tür-/Fensterkontakten usw.

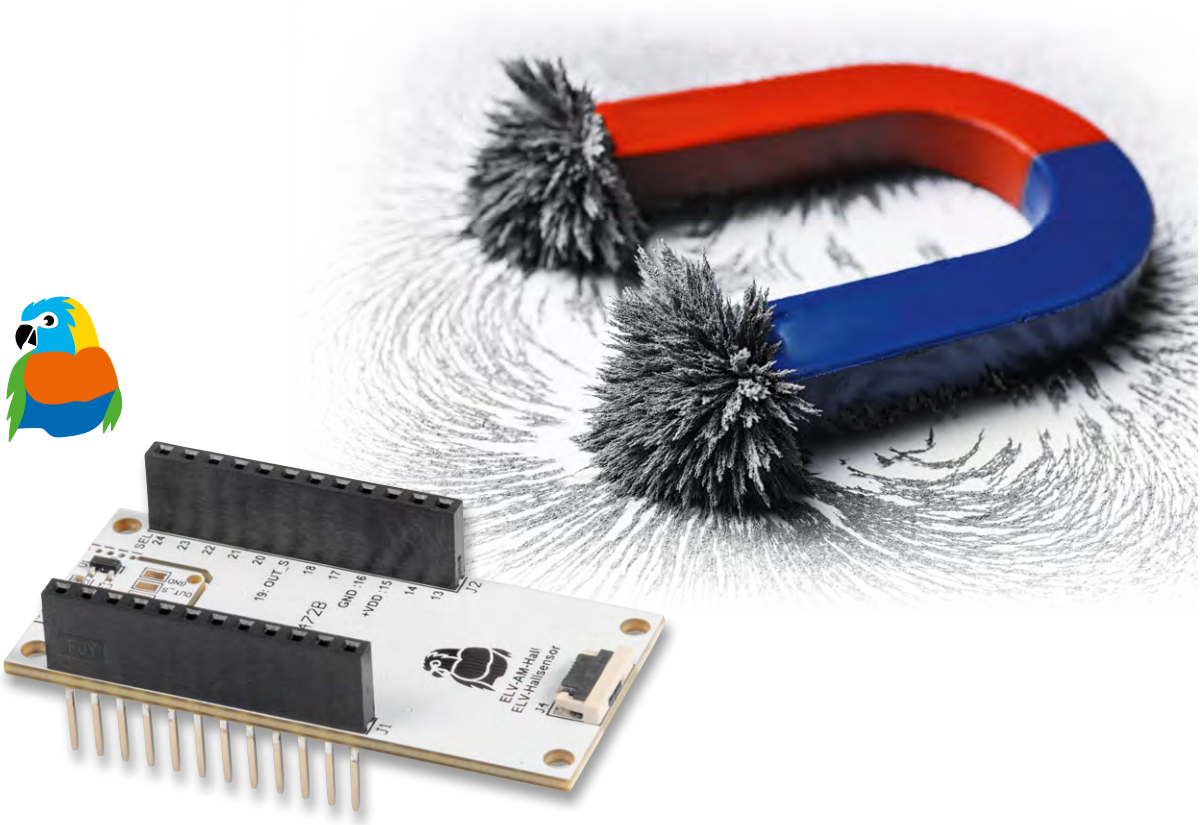
Hinweis: Homematic IP Access Point, CCU3 oder Homematic IP Home Control Unit vorausgesetzt.

BAUSATZ

24,95 €

Artikel-Nr. 154751

Zum Produkt



„Unsichtbar“ schalten!

Mit dem ELV-AM-Hall berührungslos schalten und Automatisierungen starten!

Die Vorstellung, dass uns allgegenwärtig ein Kraftfeld umgibt, das mit den richtigen Techniken und ein wenig Unterstützung für alle erdenklichen Anwendungen nutzbar wird, klingt nach einer klassischen Science-Fiction-Geschichte. Allerdings gibt es so etwas nicht nur in einer weit, weit entfernten Galaxie, sondern auch im echten Leben. Das ELV Applikationsmodul Hallsensor eröffnet genau diese Möglichkeiten, indem es magnetische Felder in elektrische Signale umwandelt. Ob zur Geschwindigkeitsmessung oder als berührungsloser Schalter – dieser Sensor ist ein wahres Multitalent in der Elektronik.

Infos zum Bausatz ELV-AM-Hall

Schwierigkeitsgrad: leicht

Bau-/Inbetriebnahmezeit: ca. 0,5 h

Besondere Werkzeuge: Elektronik-Seitenschneider, Cuttermesser

Löterfahrung: nein

Programmierkenntnisse: nein

Elektrofachkraft: nein

Unsichtbare Anziehungskräfte

Sie sind oft nicht sichtbar, aber für viele Funktionen im alltäglichen Leben verantwortlich. Ohne sie gäbe es z. B. keine Elektromotoren, keine Wechselstromgeneratoren und somit wäre unser tägliches Leben unvorstellbar. Dennoch ist vielen nicht bekannt, wie genau sie funktionieren – die Rede ist von Magneten.

Ein magnetischer Fluss kann durch mehrere Phänomene hervorgerufen werden, u. a. durch die Anwesenheit eines Dauermagneten oder eines anderen magnetischen Materials, aber auch durch elektrischen Strom oder eine Änderung in einem elektrischen Feld.

Ein solches Magnetfeld kann durch die Feldlinien (siehe Bild 1) dargestellt werden, die die Richtung des magnetischen Flusses anzeigen. Wie beim Strom gibt es eine Richtung, in der der magnetische Fluss fließt – die Feldlinien entspringen immer dem Nordpol des Magneten und fließen zum Südpol.

Die Einheit der magnetischen Flussdichte heißt Tesla (T) und ist definiert als die Feldstärke, die eine Punktladung von 1 Coulomb, die sich mit 1 Meter pro Sekunde senkrecht zum Feld bewegt, mit 1 Newton ablenkt. Als Referenz: Das Magnetfeld der Erde weist in Mitteleuropa etwa eine Flussdichte von 48 µT auf, ein Kühlschrankmagnet ca. 20 mT

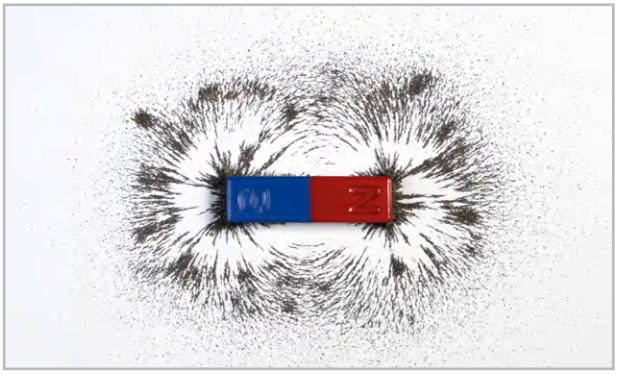


Bild 1: Die Feldlinien eines Magnetfelds können mithilfe von Eisenspänen sichtbar gemacht werden.

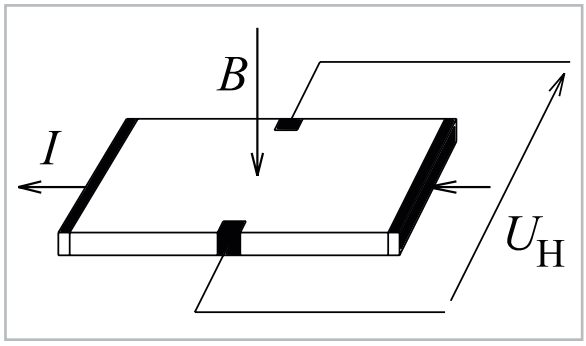


Bild 2: Hall-Effekt
Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halleffekt.svg via Wikimedia CommonsSaure, CC BY-SA 3.0

und der Magnet, der die Membran in einem Lautsprecher zum Schwingen bringt, kommt auf ca. 0,1 T.

Änderungen im Magnetfeld können mithilfe des Hall-Effekts gemessen werden (Bild 2). Hierbei kann man sich eine dünne, leitende Platte vorstellen, durch die in eine Richtung ein Gleichstrom fließt. Wenn die Feldlinien des magnetischen Felds senkrecht zu dieser Platte liegen, werden die Elektronen des Gleichstroms aufgrund der Lorentzkraft (Stichwort: Linke-Hand-Regel, siehe Bild 3) in Richtung einer der Kanten, die parallel zur Stromrichtung liegen, abgelenkt. Dies führt zu einer negativen Ladungskonzentration an einer der Kanten.

Wenn an beiden Kanten gemessen wird, kann ein Potentialunterschied, also eine Spannung, festgestellt werden. Diese Spannung variiert mit der Stärke des Magnetfelds sowie der Ausrichtung der Feldlinien an der Platte und wird Hall-Spannung genannt (Bild 2). Sie schaltet im Sensor einen Transistor, und am Ausgang des verwendeten Sensors liegt eine Spannung an. Die Formel zur Hall-Spannung lautet:

$$U_H = A_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}$$

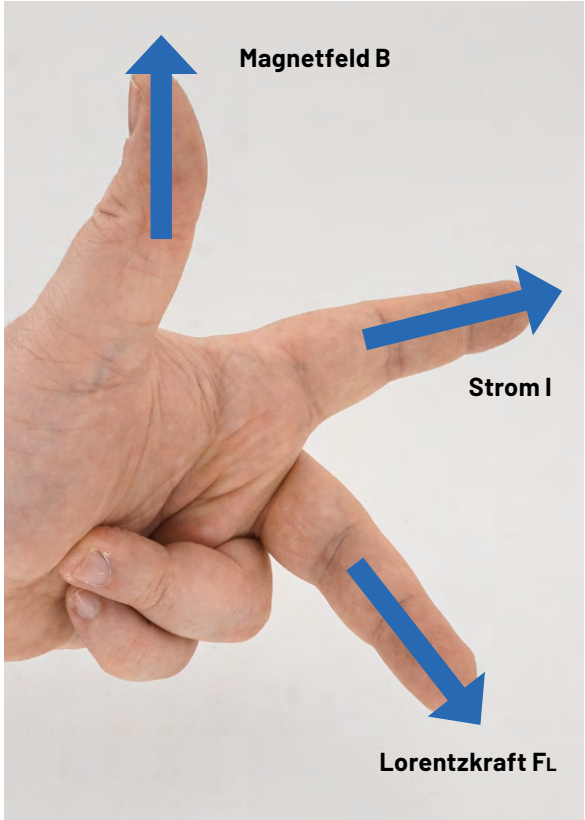


Bild 3: Linke-Hand-Regel

Magnetische Vielfalt

Magneten gibt es in vielen Formen und Ausführungen. Die bekanntesten und weit verbreitetsten sind Ferritmagneten. Sie zeichnen sich durch ihre mattgraue Farbe aus und sind an vielen Orten des täglichen Lebens anzutreffen: Kühlschrankmagneten, Ferrite zur Entstörung von Elektronik, auch die Kerne von Transformatoren bestehen oft aus diesem Material.

Betrachtet man Magnete der gleichen Größe, sind Neodymmagnete um ein Vielfaches stärker. Oft haben sie eine silberne oder manchmal golden glänzende Oberfläche und kommen mit deutlich mehr Warnhinweisen daher als ihre Ferrit-Gegenparts. Ein Neodymmagnet hat eine so hohe Haftkraft an ferromagnetischem Material, dass er bis zum Tausendfachen seines eigenen Gewichts halten kann. Die beschriebenen Dauermagneten sind in Bild 4 beispielhaft dargestellt.

Elektromagneten sind ein weiterer Bestandteil der magnetischen Welt. Im Gegensatz zu Dauermagneten erzeugen Elektromagneten erst ein magnetisches Feld, wenn Strom durch sie hindurchfließt.

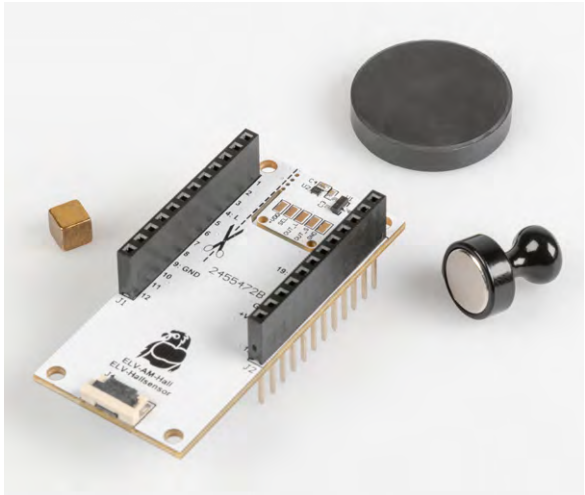


Bild 4: Das ELV Applikationsmodul Hallsensor mit verschiedenartigen Magneten (v. l. n. r.): ein kleiner, goldfarbener Neodymmagnet, ein großer Ferritmagnet, wie man ihn von Kühlschrankmagneten kennt, und ein weiterer Neodymmagnet, der aufgrund seiner Stärke in ein Passteil mit Griff eingebettet wurde.

Schaltungsbeschreibung

Das Schaltbild des ELV-AM-Hall ist in Bild 5 zu sehen. Die beiden Kernelemente des ELV-AM-Hall sind die beiden Hall-Effekt-Sensoren DRV5032 (U1) und DRV5012 (U2). Der Unterschied zwischen diesen beiden Bauteilen ist die Art und Weise, wie sie auf Änderungen im Magnetfeld reagieren.

Bei U1 handelt es sich um einen sogenannten Switching-Type-Hall-Effekt-Sensor, der eine Spannung auf Masseniveau ausgibt, wenn ein Magnet in der Nähe detektiert wird. Sobald dieser Magnet entfernt wird, wird die Spannung des Ausgabe-Pins (OUT_S) zurück auf das Versorgungsniveau erhöht.

Der Sensor U2, bei dem es sich um einen "Latching Type" Hall-Effekt-Sensor handelt, funktioniert etwas anders. Dieser Sensor schaltet seinen Ausgabe-Pin (OUT_L) nur aktiv, wenn magnetischer Fluss von oben nach unten durch den Sensor wahrgenommen wird. Bei einem Stabmagneten heißt das, man nähert sich mit dem Südpol, bei einem klassischen Hufeisenmagneten, dass sich der Sensor zwischen den Polen befindet, und zwar mit der Bestückungsseite dem Südpol zugewandt. Wenn ein solcher magnetischer Fluss durch den Sensor erkannt wurde, bleibt im Gegensatz zu U1 die Ausgabeleitung so lange auf einem hohen Spannungsniveau, bis ein ausreichend starker magnetischer Fluss in die entgegengesetzte Richtung erkannt wird, der Magnet also umgedreht wird.

Bei höherer Drehzahl kann der Sensor in den Hochfrequenzmodus geschaltet werden, indem der Pin SEL auf das Potential von +VDD gesetzt wird.

Die Kondensatoren C1, C2, C3, C4 sind Glättungskondensatoren und dienen dazu, Spannungsspitzen in der Versorgung der Sensoren auszugleichen.

Nachbau

In Bild 6 sind die Platinenfotos und die Bestückungsdrucke des Hallsensors ELV-AM-Hall zu sehen. Alle Komponenten sind auf der Platine bereits fertig bestückt, weshalb keine Lötarbeiten notwendig sind.

Optional: Heraustrennen der Sensorplatine

Bei Anwendungen, die wenig Platz für den Sensor bieten, kann die Ausbrechplatine entlang der vorgefrästen Schnittkante herausgetrennt werden. So kann anschließend ein flexibler Einsatz über das mitgelieferte Flachbandkabel oder die Lötkontakte erfolgen.

Die Sensorkomponenten des Moduls befinden sich auf dieser Ausbrechplatine. Zum Heraustrennen der Ausbrechplatine eignen sich besonders ein Elektronik-Seitenschneider und ein Cuttermesser. Mit

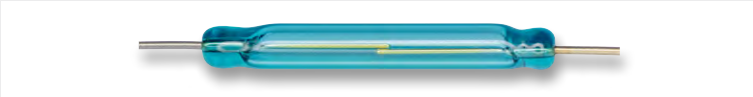
Technikwissen

Reedkontakte oder Hall-Effekt-Sensoren

Um auf Änderungen im Magnetfeld reagieren zu können, können sowohl ein Reedkontakt als auch ein Hall-Effekt-Sensor verwendet werden. Je nach Anforderung der Anwendung haben diese unterschiedliche Vor-, aber auch Nachteile:

Reedkontakt

- Ein Reedkontakt besteht aus zwei dünnen Schaltzungen, die bei ausreichendem magnetischem Fluss geschlossen werden. (siehe Bild)
- Stromverbrauch: Reedkontakte sind passive Bauteile, bei denen ein Kontakt bei einer gewissen Feldstärke geschlossen wird. Dies verbraucht im Gegensatz zu Hall-Effekt-Sensoren keinen Strom.
- Prellverhalten: Da es sich bei den Reedkontakten um einen klassischen Schaltkontakt handelt, kommt es beim Schaltvorgang zum sogenannten Prellen, wenn die beiden Kontakte elastisch miteinander kollidieren. Dabei gibt es einen kurzen Zeitraum, in dem der Kontakt schnell hintereinander öffnet und schließt. Ein solches Verhalten muss entweder durch Hardware, beispielsweise ein RC-Glied als Tiefpass, oder mithilfe von Software durch Entprell-Routinen abgefangen werden. Ebenfalls kann es je nach der Stromstärke der Leitung zu Schaltlichtbögen kommen, die die feinen Schaltzungen des Reedschalters auf Dauer beschädigen können.



- Ein Reedkontakt schließt nur eine Leitung. Bei einem potentialfreien Schalteingang wie z. B. beim ELV LoRaWAN® GPS Tracker 1 (Artikel-Nr. 157519) kann dieses Bauteil zum Einsatz kommen.

Hall-Effekt-Sensor

- Die im ELV-AM-Hall verwendeten Hall-Effekt-Sensoren schalten Transistoren, wenn die durch den Hall-Effekt erzeugte Spannung hoch genug ist. Dies führt zu einer einzelnen scharfen Schaltflanke, auf die in der Firmware des verwendeten Prozessors einfach reagiert werden kann. Eine Hysterese ist in den Sensor bereits eingearbeitet.
- Langlebigkeit: In einem Hall-Effekt-Sensor sind keine beweglichen Teile verbaut. Dies führt durch weniger Verschleiß zu einer längeren Lebensdauer.
- Im Gegensatz zum Reedkontakt muss sich im Hallsensor kein ferromagnetisches Material befinden. Der mechanische Einfluss des Sensors auf den Magneten ist deutlich geringer als beim Reedkontakt. So können leichte Teile bei langsamer Bewegung durch die Interaktion zwischen Reedkontakt und Sensor gebremst werden. Dieser Effekt ist bei Hall-Effekt-Sensoren deutlich kleiner.
- Aufgrund der Tatsache, dass keine mechanische Bewegung stattfindet, kann der Sensor in einen viel kleineren Formfaktor verpackt werden

Je nach Einsatz- bzw. Anwendungsfall sind unterschiedlich starke Magneten nötig, um ggf. höhere Materialdurchdringungen zu erreichen. Wenn z. B. eine Holzplatte von mehreren Zentimetern Materialstärke zwischen Magnet und einem Hallsensor platziert wird, kann ein starker Neodymmagnet notwendig sein oder ggf. muss die Materialstärke reduziert werden.

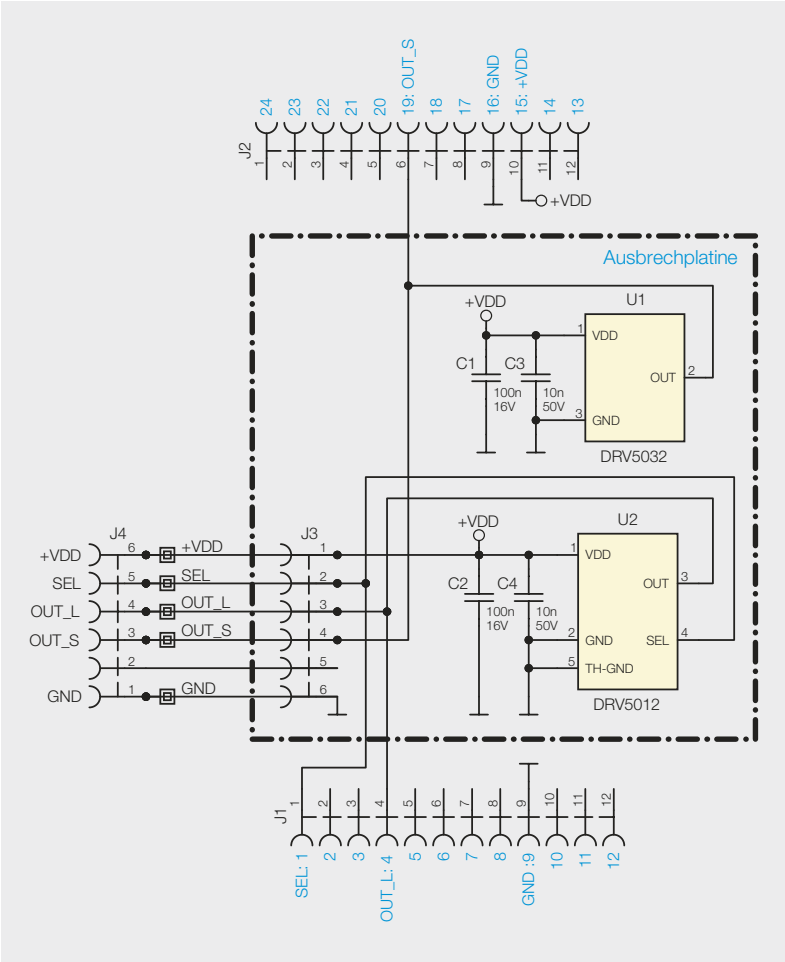


Bild 5: Schaltbild des ELV-AM-Hall

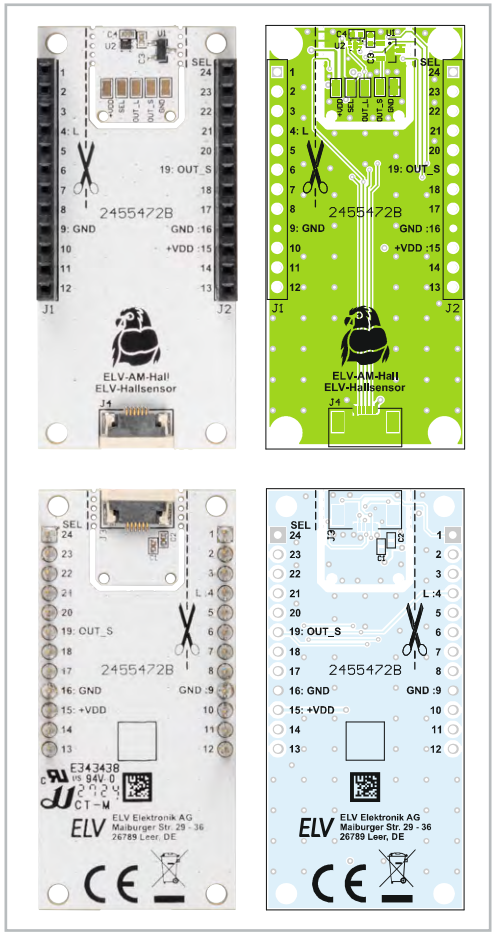


Bild 6: Platinenfotos und Bestückungsdrucke

diesem Werkzeug lassen sich die Perforationen am Rand der Ausbrechplatine sehr gut durchtrennen (siehe Bild 7).

Nach dem Heraustrennen lässt sich die Ausbrechplatine über das FFC-Kabel mithilfe der zwei Buchsen abgesetzt betreiben. Alternativ stehen an der Ausbrechplatine Lötkontakte zur Verfügung.

Flashen der ELV Smart Home Sensor-Base

Das Flashen der Firmware erfolgt für die ELV Smart Home Sensor-Base mit dem Flasher-Tool per USB-C-Verbindung. Eine genaue Beschreibung der Vorgehensweise ist im entsprechenden Fachbeitrag beschrieben. Die Firmware-Dateien befinden sich bei der Produktbeschreibung des ELV-AM-Hall im Downloadbereich.

Bild 7: Wenn gewünscht, kann die Ausbrechplatine mit einem Cuttermesser oder Seitenschneider herausgetrennt werden.

Stückliste

Kondensatoren:	
10 nF/50 V/SMD/0402	C3, C4
100 nF/16 V/SMD/0402	C1, C2
Halbleiter:	
DRV5032/SMD	U1
DRV5012/SMD	U2
Sonstiges:	
Buchsenleisten, 1x 12-polig, 10 mm Pinlänge, gerade	J1, J2
FFC/FPC-Verbinder, 6-polig, 0,5 mm, liegend, SMD	J3, J4
FFC-Kabel, 6-polig, 10 cm lang	

Bild 8: Ein Modulstapel mit der ELV Smart Home Sensor-Base (unten), einem ELV Powermodul LR03 (Mitte) und einem ELV Applikationsmodul Hallsensor

Nach dem Flashen kann das ELV-AM-Hall, wie vom Modulsystem bereits bekannt, von oben oder von unten auf das ELV Smart Home Sensor-Base-Modul gesteckt werden (Bild 8).

Anlernen an eine Homematic IP Installation

Das Einbinden in das Smart-Home-System erfolgt über das Versetzen der ELV Smart Home Sensor-Base in den Anlernmodus. Wenn diese noch an keiner Installation angelernt wurde, begibt sie sich bei Systemstart direkt für 3 min in den Anlernmodus. Sollte diese Zeit verstreichen, kann der Modus durch Betätigung der Systemtaste S1 neu gestartet werden. In der CCU3 kann die ELV Smart Home Sensor-Base durch den Anlernmodus im Postfach gefunden werden. Eine detaillierte Beschreibung des Anlernprozesses finden Sie im Fachbeitrag aus ELVjournal 6/2023.

Hinweis: Die ELV-SH-BM-S kann nur in Verbindung mit einer CCU3 verwendet werden!

Immer mehr Geräte des Modulsystems können gleichzeitig verwendet werden, daher muss die ELV Smart Home Sensor-Base aufgrund der begrenzten Anzahl an Kanälen mithilfe der UART-Schnittstelle vorkonfiguriert werden. Dazu wird diese per USB-C-Kabel mit dem PC verbunden und ein Terminal-Programm wie HTerm verwendet. Eine detaillierte Beschreibung der Konfiguration der Messkanäle und Konfigurationsparameter finden Sie im entsprechenden Fachbeitrag.

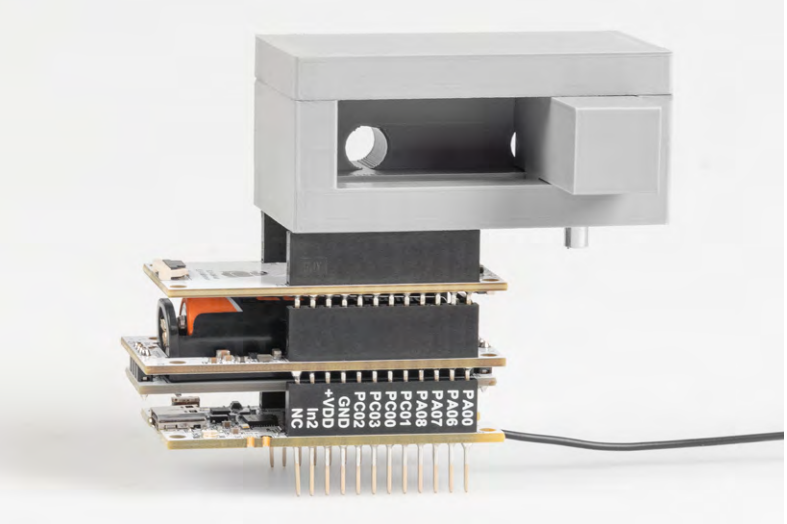


Bild 9: Der Magnet (silberfarben) löst bei Verschieben in die linke Position den Hallsensor auf dem ELV-AM-Hall aus.

Auswerten der Daten

Nach erfolgreichem Anlernen werden die Daten zyklisch zur CCU3 übermittelt. Diese Daten können nun entweder in einem Diagramm dargestellt oder über ein Programm weiterverarbeitet werden.

Smart-Home-Anwendungen

Die einfachste Anwendung ist die alleinige Auswertung des Switching-Type-Hall-Sensors U1. Hierbei kann ein Magnet an einem Gegenstand befestigt und anschließend mithilfe des ELV-AM-Hall geprüft werden, ob sich der Gegenstand noch in seiner ursprünglichen Position befindet. So kann z. B. bei einem Parkplatz festgestellt werden, ob sich noch ein Fahrzeug auf diesem befindet. Ebenfalls lässt sich, u. a. durch Einsatz einer 3D-Druck-Datei ein selbst gebauter Magnetschalter realisieren. Hierbei wird ein Magnet in die Führung des Schalters eingeklebt, der dann vom ELV-AM-Hall detektiert werden kann. Dieser Aufbau ist in Bild 9 zu sehen.

Die gleiche Schaltung lässt sich auch etwas raffinierter verstecken und kreativer einsetzen. So könnte z. B. ein unter der Blumenvase ausreichend starker Magnet angebracht werden. Unter der Tischplatte, auf der die Vase platziert wird, wird der ELV-SH-Hall installiert. Bei Verschieben der Blumenvase an die richtige Position startet nun eine bestimmte Szene in der Hausautomatisierung. Natürlich kann anstelle einer Vase auch ein Teller auf dem Esszimmertisch genutzt werden und so direkt die „Mittagessen"-Szene inklusive gedämpfter Musik mit der Familie starten.

Programmiertechnisch kann eine solche Szene über die Tasterkanäle der ELV Smart Home Sensor-Base gelöst werden, die den jeweiligen Zustand der Hallsensoren darstellen (siehe Tabelle 1, Beispiel Zeile 2, Digitalkanal D1). Diese digitalen Kanäle können anschließend durch „Direktverknüpfen" über die CCU3 mit Schaltaktoren verbunden werden oder Szenarien bzw. Automatisierungen starten.

Hierzu muss der ELV Smart Home Sensor-Base vorab mitgeteilt werden, dass einer der digitalen Kanäle dem Zustand des Hall-Switches entspricht. Dies passiert im Terminalprogramm HTerm mit dem erfolgreichen Senden des Befehls <C1A10D1>. Informationen zum Senden von Befehlen über das Terminalprogramm haben wir, wie bereits aufgeführt, im entsprechenden Fachbeitrag aufgeführt.

Weitere Zuordnungen der Messwertkanäle können der Tabelle 1 entnommen werden

Um den Latching-Type-Hall-Sensor verwenden zu können, muss zunächst ein Magnet an einem rotierenden Gegenstand angebracht werden. Hierbei ist die zuvor beschriebene Funktionsweise des Magnet-Latches zu beachten, bei dem nur Polübergänge einen Ein- oder Ausschaltvorgang auslösen. Wird der Sensor mit der Blickrichtung parallel zur Rotationsachse des zu überwachenden Gegenstands be-

Tabelle 1

Messwertkanäle des ELV-AM-Hall in Verbindung mit der ELV Smart Home Sensor-Base

Kanalbefehl	Kanalnummer	Applikationsmodul			Messwert oder digitales Event		Beschreibung
C	Digitalkanäle 1–8	A	10	ELV-AM-Hall	D	1	Status Hall-Switch
						2	Status Hall-Latch
	Messwertkanäle 9–16				M	1	Drehzahl
						2	Zustand Hall-Switch
						3	Zustand Hall-Latch

Tabelle 2

Konfigurationsparameter des ELV-AM-Hall in Verbindung mit der ELV Smart Home Sensor-Base

Parameter-befehl	Applikations-modul		Parameter-auswahl		Parameter-wert		Beschreibung	Default
P	10	ELV-AM-Hall	P	1	V	0-255	Anzahl Polwechsel/Umdrehung	2
				2		1-255	Flügellänge in cm	10

trieben, müssen mehrere Magneten in abwechselnder Ausrichtung angebracht werden (siehe Bild 10). Sofern die Ausrichtung des Sensors senkrecht zur Rotationsachse ist, kann ein ausreichend langer Stabmagnet unter Umständen bereits ausreichen. Hierbei ist bei einer sich drehenden Mechanik natürlich immer darauf zu achten, dass keine Unwuchten entstehen, die eine Beschädigung hervorrufen könnten.

Eine mögliche Anwendung für den Latching-Type-Sensor wäre beispielsweise ein Grillspieß, dessen Drehgeschwindigkeit überwacht werden soll. So kann sich der Gastgeber um andere Vorbereitungen rund um die Grillparty kümmern. In diesem Fall wird der Messwertkanal 3 des ELV-AM-Hall ausgewertet und bei Unstimmigkeiten der Drehgeschwindigkeit eine Warnmeldung ausgegeben.

Ebenfalls kann mithilfe dieses Sensors ein Messgerät zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit gebaut werden. Hierbei wird entweder ein Ringmagnet oder eine gerade Anzahl Stabmagnete benötigt. Diese werden an einem Schalenstern (beispielsweise aus dem Zubehör-Set zum HmIP Wettersensor) befestigt, wobei alle Pole gegenüberliegend den gleichen Abstand zur Mittelachse haben und sich in Rotationsrichtung immer zwischen Nord- und Südpol abwechseln müssen. Diese Polübergänge können dann mit dem ELV-AM-Hall gemessen werden.

Um die Windgeschwindigkeit korrekt berechnen zu können, müssen die Parameter aus Tabelle 2 per serieller Schnittstelle in das Gerät geschrieben werden – so z. B. mit den Befehlen <P1A10V4> für vier Polübergänge pro Umdrehung oder <P2A10V9> für 9 cm Flügellänge.

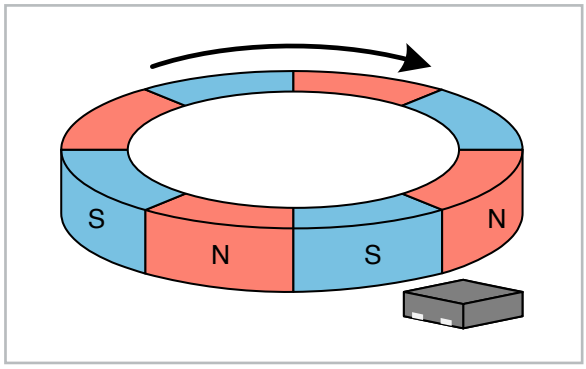


Bild 10: Bei mehreren Polübergängen pro Umdrehung muss das Gerät entsprechend konfiguriert werden. Details dazu sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Über die Drehzahl wird mit der Formel

$$v = d \cdot \pi \cdot n$$

(n ist die Drehzahl, d der Durchmesser des Schalensterns) die Windgeschwindigkeit berechnet.

So kann bei aufkommendem Wind z. B. die Pumpe eines Springbrunnens abgeschaltet oder eine Markise automatisiert eingefahren werden.

Eine weitere interessante Anwendung wird in der nächsten Ausgabe des ELVjournals vorgestellt. Dann wird mit einem brandneuen Basismodul für das ELV-Modulsystem ein eigenes Tachometer mit Display gebaut. ELV

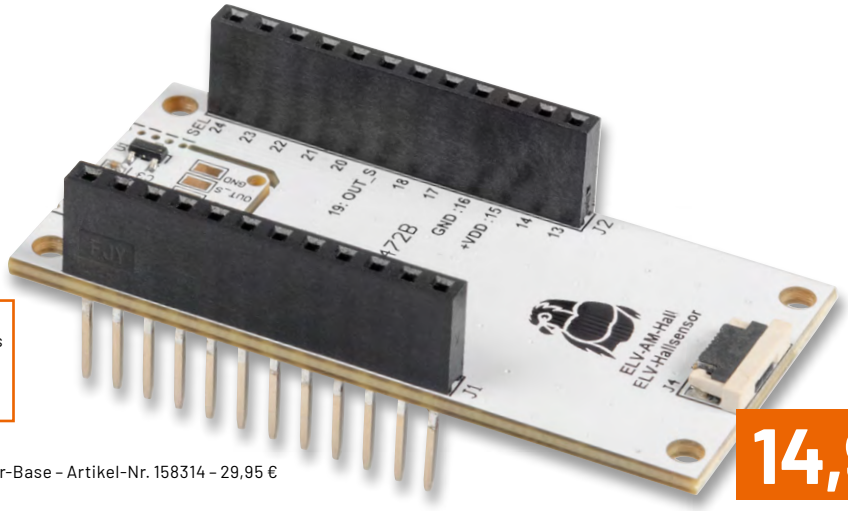
Technische Daten

Geräte-Kurzbezeichnung	ELV-AM-Hall
Spannungsversorgung	1,65–5,5 V
Stromaufnahme (mit ELV-SH-BM-S)	35 mA max.; 18 µA min. (Sleep + No Select)
Sensorschwellwert DRV5032	±3 mT
Sensorschwellwert zur Aktivierung DRV5012	+2 mT
Sensorschwellwert zur Deaktivierung DRV5012	-2 mT
Umgebungstemperatur	-10 bis 55 °C
Abmessung (B x H x T)	55 x 26 x 19 mm
Gewicht	9 g

ELV Applikationsmodul Hallsensor ELV-AM-Hall

ELV

Sollte das Modul für Ihre Anwendung zu groß sein, kann dieser Teil des Moduls mit einem Cutter herausgetrennt und mit dem beiliegenden Flachbandkabel abgesetzt werden.



NEU

EXKLUSIV

BAUSATZ

14,95 €

Artikel-Nr. 161301

Zum Produkt

Gleich mitbestellen: ELV Smart Home Sensor-Base – Artikel-Nr. 158314 – 29,95 €

- Zum kontaktlosen Schalten per Magnet oder zur Messung von Rotationsgeschwindigkeiten
- Szenen und Automationen ohne mechanische oder elektrische Verbindung auslösen
- Niedriger Stromverbrauch
- Einfache Einbindung der Messdaten in die CCU3 über die Smart Home Sensor Base

So können Sie den ELV-AM-Hall intelligent einsetzen:

Diskret und unsichtbar schalten
Mit dem ELV-AM-Hall und einem Magneten können Szenen und Automatisierungen einfach ausgelöst werden.

Dafür kann z. B. unter dem Esstisch der Hallsensor befestigt werden. Wird nun ein Magnet z. B. unter einem Gefäß befestigt und auf diese Stelle gestellt, kann das Deko-Licht automatisiert eingeschaltet und die Stereoanlage passend zum Abendessen aktiviert werden.

Markisen vor Sturm schützen
Mit der Rotationsmessung des Hallsensors können eigene Windräder durch Messung der Drehgeschwindigkeit und Konvertierung in eine Windgeschwindigkeit entwickelt und konstruiert werden.

Wenn der Wind zu stark wird, kann so über die SH-Base und einen passenden Homematic IP Aktor die Markise automatisch eingefahren werden.

homematic IP

Homematic IP Ersatz-Mechanik für Wettersensor SW0

24,95 €

Artikel-Nr. 157237

Zum Produkt

ELV

Modulares Gehäuse

Transparenter Deckel

9,95 €

Artikel-Nr. 157760

Zum Produkt

Schwarzer Deckel

9,95 €

Artikel-Nr. 157754

Zum Produkt

Das ELVjournal hat sein Archiv geöffnet

45 Jahre neue Ideen, Bausätze und Produkte sowie spannende Wissensvermittlung für elektronikbegeisterte Leser.

Wir blicken zurück auf ...

vor 45 Jahren

Aus dem Inhalt:
- High-Speed-Transistorzündung
- Quarzstroboskop für Plattenspieler
- Haustelefonanlage

Download-PDF

ELVjournal Ausgabe 5/1979

vor 35 Jahren

Aus dem Inhalt:
- Prozessor-Frequenzzähler (1,3 Ghz)
- Funktionsgenerator 10 Hz – 26 MHz
- Elektronischer Würfel in SMD-Technik

Download-PDF

ELVjournal Ausgabe 5/1989

vor 25 Jahren

Aus dem Inhalt:
- PC-Funk-Wetterstation
- Funk-Tür- und Fenster-Sendeeinheit
- Milli-Ohm-Meter-Vorsatz

Download-PDF

ELVjournal Ausgabe 5/1999

vor 15 Jahren

Aus dem Inhalt:
- Wasserdichten Langzeit-Datenlogger
- Pulsweiten-Modulator für DC-Verbraucher
- Zwischendecken-Radio

Download-PDF

ELVjournal Ausgabe 5/2009

vor 5 Jahren

Aus dem Inhalt:
- Präzisions-Spannungsreferenz
- Batterietester für Knopfzellen
- Leichtes Löten mit (Heiß-)Luft

Download-PDF

E-Paper

ELVjournal Ausgabe 5/2019

Mit der **ELVjournal App** lesen Sie das ELVjournal jederzeit und überall **kostenlos** auf Ihrem mobilen Gerät

Zur iOS-App

Zur Android-App

ELV Smart Home Temperatur-/ Beschleunigungssensor ELV-SH-TACO

ELV

EXKLUSIV

BAUSATZ

39,95 €

Artikel-Nr. 160516

Fachbeitrag

Zum Produkt

Abm. (ø x L): 33 x 103 mm, Länge Antenne: 70 mm,
Gewicht (inkl. Batterie): 50 g

Geräte-Kurzbezeichnung:	ELV-SH-TACO
Versorgungsspannung:	1x 1,5 V LR03
Stromaufnahme:	30 mA max.
Batterielebensdauer:	2 Jahre (typ.)
Umgebungstemperatur:	-20 bis +55 °C
Funk-Frequenzband:	868,3 MHz/869,525 MHz
Max. Funk-Sendeleistung:	10 dBm
Empfängerkategorie:	SRD category 2
Typ. Funk-Freifeldreichweite:	525 m
Duty-Cycle:	< 1 % pro h/< 10 % pro h
Winkel:	0–180°, ± 1°
Temperatur:	-20 bis +55 °C, ±1 % @ 25 °C

- Robuster PET-Rohling – besonders gut für Outdoor-Anwendungen geeignet
- Versorgung durch eine langlebige und handelsübliche Micro-Batterie (nicht inkl.) – extrem energiesparend, daher lange Batterielaufzeit (typ. 2 Jahre)
- Individuell konfigurierbare Meldeschwellen für Beschleunigung und Lageabweichungen, inklusive einstellbarem Bezugspunkt (am Gerät aktivierbar)
- Auch für die Bodentemperaturmessung geeignet
- 3D-Druckdateien zum Selbstanfertigen von Gerätehalterungen verfügbar

Wie kann ich den ELV-SH-TACO in meinem Homematic IP System nutzen?

Der ELV-SH-TACO als Thermometer für Ihren Pool
In regelmäßigen Abständen ermittelt der ELV-SH-TACO die Pooltemperatur und kann somit z. B. die Pumpenlaufzeit mithilfe eines Schaltaktors in Abhängigkeit zur Temperatur verändern. Ebenso lassen sich Temperaturdiagramme oder andere Szenarien, wie eine automatisierte Poolheizung hiermit realisieren (Abdichtung vorausgesetzt, kleiner Schwimmkörper aus Schaumstoff).

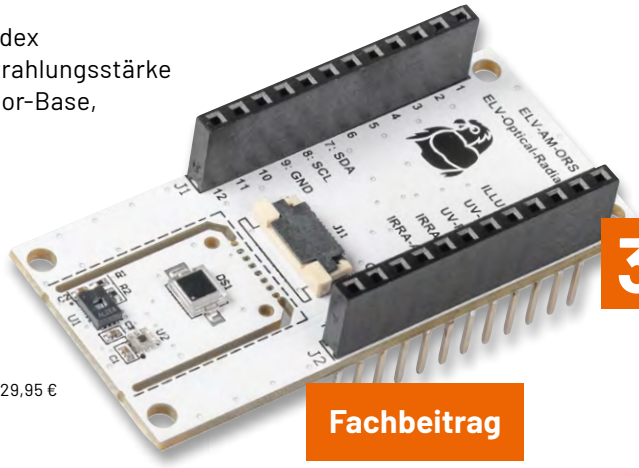
Der intelligente Melder für Ihren Briefkasten
Der an der Briefkastenklappe montierte Beschleunigungssensor des ELV-SH-TACO erkennt die Bewegung beim Einwerfen der Post. Daraufhin wird ein Signal an das Smart-Home-System gesendet, und der Homematic IP Schaltaktor für Markenschalter mit Signalleuchte HmIP-BSL (Fertiggerät) leuchtet grün auf.

Der ELV-SH-TACO als Frostwächter für Ihre Pflanzen
Der Temperatursensor des ELV-SH-TACO erfasst die Erdtemperatur der empfindlichen Pflanze. Ab einem bestimmten Schwellwert kann eine Benachrichtigung, z. B. über den Homematic IP MP3 Kombisignalgeber HmIP-MP3P ausgelöst werden.

ELV Applikationsmodul Optische Strahlungssensoren ELV-AM-ORS

ELV

- Messung von UV-Strahlung und UV-Index
- Messung von Beleuchtungs- und Bestrahlungsstärke
- Kompatibel mit der Smart Home Sensor-Base, somit auch an der CCU3 einsetzbar
- Ebenso einfache Einbindung in ein LoRaWAN®-Netzwerk



EXKLUSIV

BAUSATZ

34,95 €

Artikel-Nr. 160837

Gleich mitbestellen:
ELV Smart Home Sensor-Base – Artikel-Nr. 158314 – 29,95 €

Abm. (B x H x T): 55 x 26 x 19 mm

Fachbeitrag

Zum Produkt

Geräte-Kurzbezeichnung:	ELV-AM-ORS
Spannungsversorgung:	3,0-3,3 VDC
Stromaufnahme (mit ELV-SH-BM-S):	
Active Mode:	35 mA @ 3,0 VDC (max.)
Low-Power-Mode:	10,1 µA @ 3,0 VDC (average)
Sensormessbereiche:	
Beleuchtungsstärkesensor:	0,01 lx – 83 klx
Bestrahlungsstärkesensor:	0–1286 W/m²
UV-Spektrum:	A/B/C

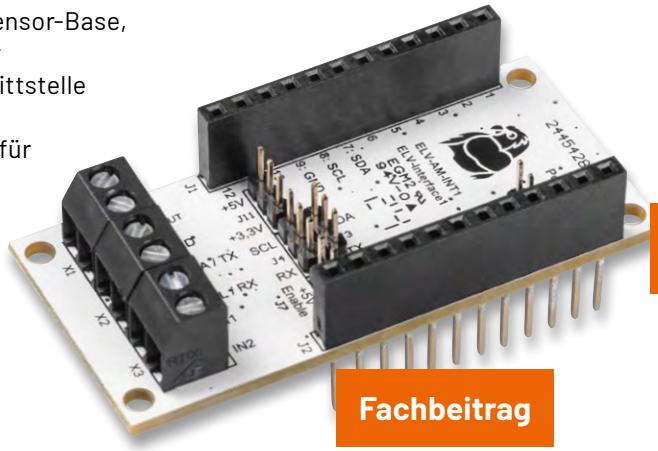
Fernsehen bei Sonnenschein? Rollladen einfach runterfahren

In Kombination mit einer Homematic IP Schalt-Mess-Steckdose HmIP-PSM-2 und dem Homematic IP Rollladenaktor HmIP-BROLL-2 kann der ELV-AM-ORS automatisch für Beschattung sorgen und so Lichteinfall auf den Bildschirm vermeiden.

ELV Applikationsmodul Interface ELV-AM-INT1

ELV

- Kompatibel mit der Smart Home Sensor-Base, somit auch an der CCU3 einsetzbar
- Sensoren mit UART- oder I²C-Schnittstelle mit dem ELV-Modulsystem nutzen
- Schaltbare Versorgungsspannung für Sensoren mit bis zu 100 mA
- Zwei digitale Eingänge für Kontaktschalter oder Open-Collector-Ausgänge
- Versorgungsspannung auf 3,3 V und 5,0 V einstellbar



EXKLUSIV

BAUSATZ

16,95 €

Artikel-Nr. 160847

Abm. (B x H x T): 55 x 26 x 19 mm, Gewicht: 13 g

Fachbeitrag

Zum Produkt

Gleich mitbestellen:
ELV Smart Home Sensor-Base – Artikel-Nr. 158314 – 29,95 €

Geräte-Kurzbezeichnung:	ELV-AM-INT1
Versorgungsspannung:	3,3 VDC
Stromaufnahme:	180 mA max.
Leistungsaufnahme:	0,6 W max.
Spannungsausgang VOUT:	3,3 V/5,0 V, 100 mA max.
Kommunikationsschnittstelle:	I²C/UART
Kontakteingänge:	2 (für NO/NC-Kontakte)
Länge der Anschlussleitungen:	3 m max.

Für eine (noch) intelligentere Gartenbewässerung

Mit dem ELV-AM-INT1, der Smart Home Sensor-Base und dem Bodenfeuchtesensor SoMo1 lässt sich die in unserem ELVprojekt vorgestellte intelligente Gartenbewässerung um praktische Features (Video) erweitern.

USB-I²C-Interface

- I²C-Schnittstelle per USB vom PC steuern und auswerten
- Drei I²C-Steckanschlüsse
- I²C-Versorgungsspannung auf 3,3 V und 5,0 V einstellbar
- USB-C-Anschlussbuchse
- Versorgung von I²C-Komponenten mit bis zu 200 mA
- Bus-Taktfrequenzen: 245 Hz – 400 kHz

ELV

Abm. (B x H x T): 50 x 39 x 14 mm, Gewicht: 16 g

EXKLUSIV

BAUSATZ

39,95 €

Artikel-Nr. 160452

Geräte-Kurzbezeichnung:	USB-I2C-2
Versorgungsspannung:	USB powered
Stromaufnahme:	250 mA max.
Schnittstellen:	3x I²C-Bus
Mögliche Bus-Taktfrequenzen:	245 Hz – 400 kHz
Versorgung von I²C-Komponenten:	3,3 V/5 V/max. 200 mA (total)
Länge der Anschlussleitungen:	3 m max.
Umgebungstemperatur:	5–35 °C

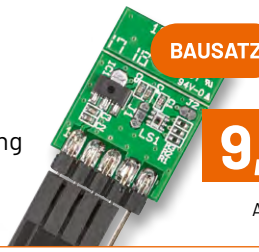
Fachbeitrag

Zum Produkt

Kombinieren Sie den USB-I²C-2 für Ihre Anwendungsfälle:

Lichtsensor OPT3001 mit I²C-Schnittstelle I2C-LS

- Basiert auf dem Ambient-Light-Sensor von Texas Instruments
- Weiter Messbereich: 0,01 lx bis 83 klx, sensorinterne Bereichsumschaltung
- Weiter Versorgungsspannungsbereich von 1,8 bis 5 VDC
- Sehr geringe Stromaufnahme: nur 10 µA in Betrieb, 2 µA in Bereitschaft



BAUSATZ

ELV

9,95 €

Artikel-Nr. 152106

Applikationsmodul Temperatur und Luftfeuchte ELV-AM-TH1

- Kann über die SH-Base ins Homematic IP System oder über die LW-Base ins LoRaWAN®-Netzwerk eingebunden werden
- Auch für die Stand-alone-Anbindung an Mikrocontroller/SBC geeignet
- Messung von Temperatur und relativer Luftfeuchte
- Messbereich: Temperatur: -20 bis +55 °C, Luftfeuchtigkeit: 0–99 %

ELV

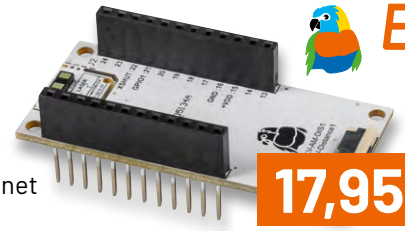
Kabelsensor nicht per I²C auslesbar

15,95 €

Artikel-Nr. 158055

Applikationsmodul Abstandsüberwachung ELV-AM-DIS1

- Kann über die SH-Base ins Homematic IP System oder über die LW-Base ins LoRaWAN®-Netzwerk eingebunden werden
- Auch für die Stand-alone-Anbindung an Mikrocontroller/SBC geeignet
- Basiert auf ToF-Sensor mit Abstandserfassung von 4 bis 360 cm
- Extrem geringer Stromverbrauch (ø 20 µA), Batterie-/Solarbetrieb möglich



ELV

17,95 €

Artikel-Nr. 158060

LED-Tester LED-T2

ELV

Abm. (B x H x T): 160 x 42 x 22 mm,
Gewicht: 93 g/70 g (mit/ohne Batterien)

EXKLUSIV

BAUSATZ

39,95 €

Artikel-Nr. 160390

- Test von SMD- und bedrahteten LEDs möglich
- Anzeige der LED-Kenndaten (Flussspannung vs. LED-Strom)
- Durch 15-V-Versorgungsspannung auch Test von LED-Modulen und LED-Strips möglich
- Berechnung des erforderlichen Vorwiderstands möglich
- Test auch innerhalb der Schaltung möglich

Fachbeitrag **Zum Produkt**

Geräte-Kurzbezeichnung:	LED-T2
Versorgungsspannung:	2x 1,5 V LR03/Micro/AAA
Stromaufnahme:	33 mA (ohne LED)
	165 mA (max. LED-Strom)
LED-Strom:	0–20 mA
LED-Spannung (UF):	13 V max.
Sonstiges:	Auto-Power-off / Berechnung Vorwiderstand
Umgebungstemperatur:	5–35 °C

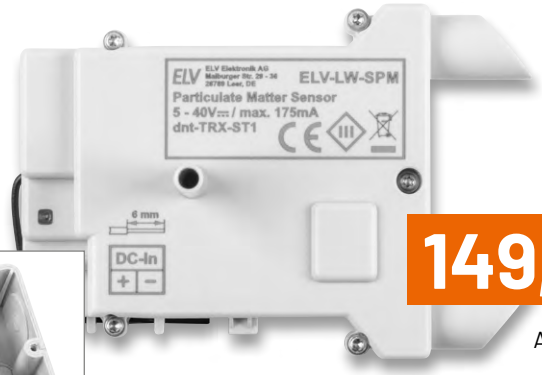
Bedrahtete und SMD-LEDs einfach testen

Mit dem LED-Tester können Sie LEDs in unterschiedlichen Gehäuseformen testen und wichtige Kenndaten ermitteln. Auch können LEDs im eingebauten Zustand in einer Schaltung getestet werden.

ELV LoRaWAN®-Feinstaubsensor ELV-LW-SPM

ELV

- Hochpräziser Laser-Feinstaubsensor auf Basis des Feinstaubsensors Sensirion SPS30 (MCERTS-zertifiziert)
- Verwendet das hochwertige LoRaWAN®-Funkmodul von dnt
- Auch im geschützten Außenbereich platzierbar: passgenauer Einbau in optionale Spelsberg-Verbindungsdose Abox 040 (Artikel-Nr. 125990)
- Großer Eingangsspannungsbereich von 5–40 VDC



Abm. (B x H x T): 93 x 105 x 55 mm,
Gewicht: 63 g (165 g montiert in Spelsberg Abox 040, nicht inkl.)

EXKLUSIV

149,95 €

Artikel-Nr. 160408

Fachbeitrag **Zum Produkt**

Geräte-Kurzbezeichnung:	ELV-LW-SPM
Versorgungsspannung:	5-40 VDC
Stromaufnahme:	175 mA max.
Schutzart:	IP43 (montiert in Spelsberg Abox 040)
Umgebungstemperatur:	-10 bis +55 °C
Leitungsart/-querschnitt:	0,08-1,5 mm² (starr)
	0,08-0,75 mm² (flexibel)
Funkmodul:	dnt-TRX-ST1

Automatisch für bessere Luft sorgen

Kombinieren Sie den Feinstaubsensor z. B. mit einem Luftreiniger oder einer Lüftungsanlage und lassen Sie diese bei hoher Feinstaubbelastung gezielt ansteuern.

Service

Technische Anfragen

Für technische Fragen zu den Beiträgen aus dem ELVjournal, kontaktieren Sie gerne unsere technische Kundenberatung über unser Kontaktformular.
Bitte nennen Sie hierbei die Artikelnummer, Artikelbezeichnung und Journalseite. Unsere Techniker klären Ihre offenen Fragen im Anschluss.

Reparatur-Service

Für ELV Markenprodukte, aber auch für Geräte, die Sie aus ELV Bausätzen selbst herstellen, bieten wir Ihnen einen kostengünstigen Reparatur-Service an. Im Sinne einer schnellen Abwicklung führen wir eine Reparatur sofort durch, wenn die Reparaturkosten den halben Artikelpreis nicht überschreiten. Bei einem größeren Defekt erhalten Sie vorab einen unverbindlichen Kostenvoranschlag. Die Kontaktdaten:
ELV Elektronik AG, Reparatur-Service, 26789 Leer, Deutschland

Qualität/Sicherheit

Bausätze von ELV beinhalten sämtliche zum Aufbau erforderlichen elektronischen und mechanischen Teile einschließlich Platinen, Gehäuse mit gebohrter und bedruckter Frontplatte, Netztrafos, Schrauben, Muttern usw. Es finden ausschließlich hochwertige Markenbauteile Verwendung. Fertiggeräte werden mit Gehäuse betriebsfertig und komplett abgeglichen geliefert. Sämtliche ELV Bausätze und ELV Fertiggeräte sind mit 1-%-Metallfilmwiderständen ausgerüstet. Technische Änderungen vorbehalten.

Wichtiger Hinweis

Bitte beachten Sie beim Aufbau von Bausätzen die Sicherheits- und VDE-Bestimmungen. Netzspannungen und Spannungen ab 42 V sind lebensgefährlich. Bitte lassen Sie unbedingt die nötige Vorsicht walten und achten Sie sorgfältig darauf, dass Spannung führende Teile absolut berührungssicher sind.
Zahlreiche ELV Bausätze, insbesondere solche, bei denen für den Betrieb der fertigen Geräte Netzspannung erforderlich ist, dürfen ausschließlich von einer ausgebildeten Elektrofachkraft aufgebaut werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt und hinreichend mit den einschlägigen Sicherheits- und VDE-Bestimmungen vertraut ist.

Versandkosten

Unsere Versandkosten betragen 3,99 €, ab 39,00 € liefern wir für Sie innerhalb Deutschlands versandkostenfrei. Unsere Versandkosten in andere Länder entnehmen Sie bitte unserer Internetseite.

Kontaktdaten

Bestellannahme, Technische Kundenberatung, Reklamation/Retouren

Telefon:	+49 (0) 491/6008-88
Hotlinezeiten:	Montag bis Donnerstag: 9:00-16:30 Uhr Freitag: 9:00-15:00 Uhr
Kontakt per E-Mail:	Kontaktformular
Adresse:	ELV Elektronik AG Maiburger Straße 29-36 26789 Leer Deutschland

Bestellhinweise

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB), die Sie auf unserer Internetseite de.elv.com/service-bereich/agb/ einsehen, speichern und ausdrucken können. Sie können die AGB auch telefonisch anfordern.

Widerrufsbelehrung

Widerrufsrecht
Sofern Sie Verbraucher sind, können Sie Ihre Vertragserklärung innerhalb von 14 Tagen ohne Angabe von Gründen mittels einer eindeutigen Erklärung widerrufen. Die Frist beginnt nach Abschluss des Vertrags und nachdem Sie die Vertragsbestimmungen einschließlich der Allgemeinen Geschäftsbedingungen erhalten haben, im Falle eines Verbrauchsgüterkaufs jedoch nicht, bevor Sie oder ein von Ihnen benannter Dritter, der nicht Frachtführer ist, die Ware erhalten hat; im Falle der Lieferung mehrerer Waren oder Teilsendungen im Rahmen einer einheitlichen Bestellung nicht vor Lieferung der letzten Ware oder Teilsendung; im Falle der regelmäßigen Belieferung über einen festgelegten Zeitraum nicht vor Lieferung der ersten Ware.
Zur Wahrung der Widerrufsfrist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs.
Der Widerruf ist zu richten an: ELV Elektronik AG, Maiburger Str. 29-36, 26789 Leer, Tel.-Nr. +49 491/6008-88, Telefax: +49 491/7016, E-Mail: widerruf@elv.com. Sie können dafür das beigefügte Muster-Widerrufsformular verwenden, das jedoch nicht vorgeschrieben ist. Zur Wahrung der Widerrufsfrist reicht es aus, dass Sie die Mitteilung über die Ausübung des Widerrufsrechts vor Ablauf der Widerrufsfrist absenden.

Für den Beginn der Widerrufsfrist erforderliche Informationen
Die Informationen im Sinne des Abschnitts 1 Satz 2 umfassen folgende Angaben:
1. die Identität des Unternehmers; anzugeben ist auch das öffentliche Unternehmensregister, bei dem der Rechtsträger eingetragen ist, und die zugehörige Registernummer oder gleichwertige Kennung;
2. die Hauptgeschäftstätigkeit des Unternehmers und die für seine Zulassung zuständige Aufsichtsbehörde;
3. die ladungsfähige Anschrift des Unternehmers, bei juristischen Personen, Personenvereinigungen oder Personengruppen auch den Namen des Vertretungsberechtigten;
4. die wesentlichen Informationen darüber, wie der Vertrag zustande kommt;
5. gegebenenfalls zusätzlich anfallende Kosten;
6. eine Befristung der Gültigkeitsdauer der zur Verfügung gestellten Informationen, beispielsweise die Gültigkeitsdauer befristeter Angebote, insbesondere hinsichtlich des Preises;
7. Einzelheiten hinsichtlich der Zahlung und der Erfüllung;
8. das Bestehen eines Widerrufsrechts sowie die Bedingungen, Einzelheiten der Ausübung, insbesondere Name und Anschrift desjenigen, gegenüber dem der Widerruf zu erklären ist, und die Rechtsfolgen des Widerrufs einschließlich Informationen über den Betrag, den der Verbraucher im Fall des Widerrufs für die erbrachte Leistung zu zahlen hat, sofern er zur Zahlung von Wertersatz verpflichtet ist (zugrundeliegende Vorschrift: § 357a des Bürgerlichen Gesetzbuchs);
9. eine Vertragsklausel über das auf den Vertrag anwendbare Recht oder über das zuständige Gericht;
10. die Sprachen, in welchen die Vertragsbedingungen und die in dieser Widerrufsbelehrung genannten Vorabinformationen mitgeteilt werden, sowie die Sprachen, in welchen sich der Unternehmer verpflichtet, mit Zustimmung des Verbrauchers die Kommunikation während der Laufzeit dieses Vertrags zu führen;
11. den Hinweis, ob der Verbraucher ein außergerichtliches Beschwerde- und Rechtsbehelfsverfahren, dem der Unternehmer unterworfen ist, nutzen kann, und gegebenenfalls dessen Zugangsvoraussetzungen;

Widerrufsfolgen
Im Fall eines wirksamen Widerrufs sind die beiderseits empfangenen Leistungen zurückzugewähren. Für die Rückzahlung verwenden wir dasselbe Zahlungsmittel, das Sie bei der ursprünglichen Transaktion eingesetzt haben.
Das Widerrufsrecht besteht nicht bei Lieferung von Waren, die nicht vorgefertigt sind und für deren Herstellung eine individuelle Auswahl oder Bestimmung durch den Verbraucher maßgeblich ist oder die eindeutig auf die persönlichen Bedürfnisse des Verbrauchers zugeschnitten sind; bei Lieferung von Ton- oder Videoaufnahmen oder Computersoftware in einer versiegelten Packung, wenn die Versiegelung nach der Lieferung entfernt wurde.

Ende der Widerrufsbelehrung

Muster-Widerrufsformular
Wenn Sie den Vertrag widerrufen wollen, füllen Sie bitte dieses Formular aus und senden Sie es zurück an:

ELV Elektronik AG
Maiburger Str. 29-36
26789 Leer
Telefax: +49 491/7016
E-Mail: widerruf@elv.com

Hiermit widerrufe(n) ich/wir (*) den von mir/uns (*) abgeschlossenen Vertrag über den Kauf der folgenden Waren (*) / die Erbringung der folgenden Dienstleistung (*)

_____

_____

Bestellt am _____ (*) / erhalten am_____(*)

Name und Anschrift des/der Verbraucher(s)

_____

_____

_____ _____

Datum Unterschrift des/der Verbraucher(s) (nur bei Mitteilung auf Papier)

(*) Unzutreffendes streichen

Rücknahme von Elektro- und Elektronik-Altgeräten
Hersteller und Händler sind gesetzlich verpflichtet, Altgeräte kostenfrei wieder zurückzunehmen und nach vorgegebenen Standards umweltverträglich zu entsorgen bzw. zu verwerten. Dies gilt für betreffende Produkte mit nebenstehender Kennzeichnung.

= Symbol für die getrennte Erfassung von Elektro- und Elektronikgeräten

Verbraucher/-innen dürfen Altgeräte mit dieser Kennzeichnung nicht über den Hausmüll entsorgen, sondern können diese bei den dafür vorgesehenen Sammelstellen innerhalb Ihrer Gemeinde bzw. bei den ÖRE (öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger) abgeben.
Verbraucher/-innen sind im Hinblick auf das Löschen personenbezogener Daten auf den zu entsorgenden Altgeräten selbst verantwortlich.

Unsere Rücknahmeverpflichtung nach dem ElektroG wickeln wir über die Fa. Hellmann Process Management GmbH & Co. KG (HPM) und die Fa. DHL Paket GmbH (DHL) ab. HPM übernimmt für uns die Entsorgung und Verwertung der Altgeräte über die kommunalen Sammelstellen. Zum Erstellen eines DHL-Retouren-Aufklebers für die Rücksendung Ihres Elektro- und Elektronik-Altgeräts benutzen Sie bitte unser DHL-Retouren-Portal im Internet. Weitere Informationen finden Sie unter de.elv.com/hinweise-zur-entsorgung. Unsere Registrierungsnummer lautet: WEEE-Reg. Nr. DE 14047296.

Batteriegesetz – BattG
Verbraucher(innen) sind zur Rückgabe von Altbatterien gesetzlich verpflichtet.

= Batterien sind schadstoffhaltige Produkte und dürfen nicht über den Hausmüll entsorgt werden.

Mit nebenstehendem Zeichen versehene Batterien dürfen nicht über den Hausmüll entsorgt werden, sondern sind einer getrennten Entsorgung zuzuführen. Verbraucher(innen) können Batterien nach Gebrauch unentgeltlich an unser Versandlager schicken oder dort abgeben.

Altbatterien können Schadstoffe enthalten, die bei nicht sachgemäßer Lagerung oder Entsorgung die Umwelt oder Ihre Gesundheit schädigen können. Batterien enthalten aber auch wichtige Rohstoffe, wie z. B. Eisen, Zink, Mangan oder Nickel und werden wiederverwendet. Bedeutung chemischer Zeichen in Kennzeichnung: Hg = Quecksilber; Cd = Cadmium; Pb = Blei

Datenschutz

Erklärung zu personenbezogenen Daten
Personenbezogene Daten sind Informationen, die Ihrer Person zugeordnet werden können. Hierunter fallen z. B. der Name, die Anschrift oder die E-Mail-Adresse.

Erfassung und Verwendung von personenbezogenen Daten
Persönliche Daten, die Sie uns zur Verfügung stellen, dienen der Abwicklung der Bestellung, der Lieferung der Waren sowie der Zahlungsabwicklung. Da der Datenschutz für die ELV Elektronik AG einen sehr hohen Stellenwert einnimmt, erfolgt die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung Ihrer uns zur Verfügung gestellten Daten ausschließlich auf der Grundlage der gesetzlichen Bestimmungen der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), des Bundesdatenschutzgesetzes (BDSG) und des Telemediengesetzes (TMG).
Nach den geltenden gesetzlichen Regelungen haben Sie ein Recht auf unentgeltliche Auskunft über Ihre gespeicherten Daten sowie ggf. ein Recht auf Berichtigung, Sperrung oder Löschung dieser Daten.
Bei Erstbestellungen auf Rechnung oder per Lastschrift können wir bei Bestehen eines berechtigten Interesses zur Risikovermeidung Informationen zu Ihrem bisherigen Zahlungsverhalten sowie Bonitätsinformationen auf der Basis mathematisch-statistischer Verfahren von der Creditreform Boniversum GmbH, Hellersbergstr. 11, 41460 Neuss, vertreten durch Dr. Holger Bissel, Ingolf Dorff, Thomas Schurk, einholen.
Im Bereich der **Kreditkartenzahlung** arbeiten wir zusammen mit der Concardis GmbH (Concardis), Helfmann Park 7, D-65760 Eschborn, vertreten durch ihre Geschäftsführer Robert Hoffmann, Patrick Höijer, Martin Skov. In diesem Rahmen werden neben Kaufbetrag und Datum auch Kartendaten an das oben genannte Unternehmen übermittelt.
Wir weisen gemäß Art. 6 ff. DSGVO darauf hin, dass wir die von unseren Kunden mitgeteilten Daten EDV-mäßig speichern.
Sollten Sie keine Informationen über unsere Angebote und Dienstleistungen wünschen, genügt ein formloser Brief, Telefax, eine E-Mail an: ELV Elektronik AG, Maiburger Str. 29-36, 26789 Leer, Deutschland, Telefax-Nr. +49 (0)491-7016, E-Mail: datenschutz@elv.com

Weitergabe von Daten
Im Rahmen der Auftragsdatenverarbeitung wählen wir unsere Partner sorgfältig aus und verpflichten unsere Dienstleister gemäß Art. 28 DSGVO zum vertrauensvollen Umgang mit Ihren Daten.

Widerruf von Einwilligungen
Jede von Ihnen erteilte Einwilligung zur Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten können Sie jederzeit widerrufen. Näheres entnehmen Sie bitte unserer Datenschutzerklärung unter de.elv.com/sicherheit-datenschutz bzw. ch.elv.com/sicherheit-datenschutz

ELVjournal

Alle Ausgaben auf einen Blick!

Lesen Sie jetzt alle ELVjournal Ausgaben wann und wo Sie wollen – und das digital komplett kostenlos.
Wir haben alle ELVjournale von der ersten bis zur aktuellen Ausgabe übersichtlich für Sie zusammengestellt.

ELVjournal Redaktion

ELV Elektronik AG
Redaktion ELVjournal
Maiburger Straße 29–36
26789 Leer
Deutschland

redaktion@elvjournal.com

Wir wollen es wissen! Ihre Anwendungen und Applikationen

Leserwettbewerb

Welche eigenen kreativen Anwendungen und Applikationen haben Sie mit den ELV Haustechnik-Systemen, aber auch anderen Produkten und Bausätzen realisiert? Schreiben Sie uns, fotografieren Sie Ihre Applikation, berichten Sie uns von Ihren Erfahrungen und Lösungen. Die interessantesten Anwendungen werden redaktionell bearbeitet und im ELVjournal mit Nennung Ihres Namens vorgestellt.

Jede veröffentlichte Anwendung belohnen wir mit einem **Gutscheincode** im Wert von **200,– €***

* Der Einsender der veröffentlichten Anwendung erhält einen Gutscheincode zur einmaligen Nutzung im Wert von 200,– €. Der Gutscheincode wird mit einer Bestellung verrechnet – ein etwaiger Restbetrag verfällt. Bei Rückabwicklung des Kaufvertrags oder eines Teils hiervon wird der gewährte Gutscheinbetrag vom zu erstattenden Kaufpreis abgezogen, sofern durch die Ausübung des Widerrufsrechts und der Rückabwicklung der Gesamtwarenwert von 200,– € unterschritten wird. Auszahlung/Verrechnung mit offener Rechnung sowie Gutschrift nach Widerruf sind nicht möglich. Der Gutscheincode ist nicht mit anderen Aktionen kombinierbar. Die Auswahl der Veröffentlichungen wird allein durch die ELV Redaktion ausschließlich nach Originalität, praktischem Nutzen und realisierter bzw. dokumentierter Ausführung vorgenommen, es besteht kein Anspruch auf Veröffentlichung, auch bei themengleichen Lösungen. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

Ihre Einsendungen senden Sie per Brief oder Mail mit dem Stichwort „Leserwettbewerb" an:

ELV Elektronik AG, 26789 Leer, Deutschland
oder **leserwettbewerb@elv.com**

Impressum

Herausgeber:
ELV Elektronik AG
Maiburger Straße 29-36, 26789 Leer, Deutschland
Telefon 0491/6008-0
E-Mail: redaktion@elvjournal.com

Chefredaktion:
Prof. H.-G. Redeker

Redaktionsleitung:
Holger Arends, verantw.

Erscheinungsweise:
zweimonatlich (Januar, März, Mai, Juli, September, November)

Technisches Layout:
Silvia Heller, Wolfgang Meyer, Annette Schulte,
Dipl. Ing. (FH) Martin Thoben

Satz und Layout:
Franziska Giesselmann, Andrea Rom

Redaktion:
Dipl.-Ing.(FH) Holger Arends, Markus Battermann (M. Eng.),
Dipl.-Ing. (FH) Karsten Beck, Dipl.-Ing. Bartholomeus Beute,
Dipl.-Ing. (FH) Hans-Jürgen Boekhoff, Wilhelm Brückmann,
Dipl.-Ing. (FH) Gerd Busboom, Markus Cramer (M. Sc.),
Dipl.-Ing. (FH) Timo Friedrichs, Dipl.-Inf. Andreas Gabel,
Dipl.-Ing.(FH) Frank Graß, Alfred Grobelnik, Stephan Fabry (M. Eng.),
Dipl.-Ing. (FH) Fredo Hammiediers, Lothar Harberts,
Dipl.-Ing. (FH) Christian Helm, Julian Kaden (M. Eng.), Damian Krause,
Nikolai Krause, Dipl.-Ing. (FH) Karsten Loof, Marcel Maas (M. Eng.),
Simon Mählmann (B. Eng.), Hilko Meyer (M. Eng.), Tammo Post (M. Eng.),
Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Reck, Helga Redeker, Dipl.-Ing. (FH) Keno Reiß,
Dipl.-Wi-Inf. (FH) Frank Sanders, Dipl.-Ing. (FH) Lothar Schäfer,
Kevin Schönig (M. Eng.), Bastian Schmidt (B. Eng.), Udo Schoon (M. Eng.),
Dirk Stüben, Dipl.-Ing. (FH) Heiko Thole, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Wiemken,
Dipl.-Ing. (FH) Markus Willenborg, Florian Willms (M. Sc.),
Sebastian Witt (B. Eng.), Dipl.-Ing. (FH) Matthias Ysker

Lithografie:
KruseMedien GmbH
48691 Vreden
Telefon: +49 2564 5686-110
www.krusemedien.com
Verantwortlicher: Udo Wesseler

Urheberrechte:
Alle Inhalte dieses ELVjournals, insbesondere Texte, Fotografien und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der ELV Elektronik AG. Bitte fragen Sie, falls Sie die Inhalte dieses Internetangebots verwenden möchten.

Patente und Marken:
Sämtliche Veröffentlichungen erfolgen ohne Berücksichtigung eines eventuellen Patent- oder Gebrauchsmusterschutzes. Bei den verwendeten Warenbezeichnungen kann es sich um geschützte Marken handeln, die nur mit Zustimmung ihrer Inhaber markenmäßig benutzt werden dürfen.

Eingesandte Beiträge:
Der Herausgeber ist nicht verpflichtet, unverlangt eingesandte Manuskripte oder Geräte zurückzusenden. Eine Haftung wird für diese Gegenstände nicht übernommen.

Gesetzliche Bestimmungen:
Die geltenden gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Erwerb, Herstellung und Inbetriebnahme von Sende- und Empfangseinrichtungen sind zu beachten.

Haftungsausschluss:
Der Herausgeber übernimmt keine Haftung für die Richtigkeit der veröffentlichten Schaltungen und sonstigen Anordnungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts der veröffentlichten Artikel und sonstigen Beiträge.

Im nächsten ELV journal

ELV Smart Home Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor Kompakt

Der kompakte Temperatur- und Feuchtesensor von Homematic IP bietet zahlreiche Vorteile. Dank seiner geringen Größe lässt er sich unauffällig in jede Umgebung integrieren und beeinträchtigt das Wohnambiente nicht. Die einfache Installation und flexible Platzierung sowie die vollständige Integration in Cloud und CCU ermöglichen eine Abdeckung aller noch nicht erfassten Bereiche im Haus.

ELV Basismodul Microcontroller

Das ELV Basismodul Microcontroller ELV-BM-MCU liefert eine schier unendliche Vielzahl an Experimentier- und Anwendungsmöglichkeiten. Das neue Basismodul im beliebten ELV-Modulsystem bringt einen LowPower-Cortex-M0+-Prozessor, der sich sehr gut für batteriebetriebene Anwendungen eignet. Mit einem 64-Kilobyte-Flash-Speicher bietet es auch für komplexere Firmwareprojekte genügend Platz. Der Fantasie des Anwenders sind damit dank frei programmierbarer Firmware mithilfe der Arduino-Entwicklungsumgebung, der Kombination mit dem beliebten PAD-System sowie den verfügbaren Applikations- und Powermodulen keine Grenzen gesetzt.

ELV Solar-Powermodul

Das ELV Solar-Powermodul SPM1500 ist ein mit drei NiMH-Zellen betriebener Energiespeicher, der mittels eines Energy-Harvesting-ICs (AEM10941) und einer Solarzelle die NiMH-Zellen mit Energie aufladen und verschiedene Ausgangsspannungen bei max. 300 mA zur Verfügung stellen kann. Mit dem SPM1500 können batteriebetriebene Geräte schnell und einfach so umgebaut werden, dass sie energieautark mit Sonnenenergie betrieben werden können.

Anwendungsbeispiel Oxocard Connect

In diesem Anwendungsbeispiel zeigen wir, wie man mit der Experimentierplattform „Oxocard Connect" auf einfache Weise serielle LEDs vom WS2812 ansteuert. Neben der Hardwarekonfiguration betrachten wir anhand von Programmbeispielen, wie man einen Programmcode erstellt und diesen auf eine Oxocard Connect überträgt.

Anwendungsbeispiel für das Professional-Experimentierset, Teil 8

In diesem Teil unserer Serie zum PAD-PRO-EXSB widmen wir uns dem Thema „Tonerzeugung". Anhand von Beispielschaltungen zeigen wir, wie man z. B. eine Sirenenschaltung oder einen einstellbaren Rechteckoszillator realisiert.

Python & MicroPython - Programmieren lernen für Einsteiger, Teil 6

Im letzten Beitrag wurde die Erfassung analoger Messwerte mit Python ausführlich dargelegt. Die Werte konnten in Thonny sowohl als numerische Tabelle wie auch als einfache Zeit/Messwert-Grafiken ausgegeben werden. Diese einfache Form der grafischen Ausgabe ist in vielen Fällen ausreichend. Allerdings ist Python auch in der Lage, komplexere Grafiken darzustellen. Neben einfachen x/y-Grafiken können dann auch Balken- oder Streudiagramme erstellt werden. Auch komplexe Signalanalysemethoden sind in Python vergleichsweise leicht programmierbar. Die Matplotlib-Bibliothek, die wir in Teil 7 vorstellen werden, stellt dazu eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung.

Projekte für Elektronikeinsteiger, Teil 9

Nachdem im letzten Artikel die Grundlagen der elektronischen Tonerzeugung vorgestellt wurden, beschreiben wir in diesem Beitrag, wie Töne verwendet werden, um Schaltsignale zu erzeugen. Die Schallsignale werden von einem empfindlichen Mikrofon aufgenommen, verstärkt und dann einer elektronischen Schaltung zugeführt. Die fertige Schaltung kann als sogenannter „Klatschschalter" eingesetzt werden. Dieser erlaubt es, beliebige Verbraucher durch einfaches Händeklatschen ein- und auszuschalten.

Das ELVjournal 6/2024 erscheint am 20. November 2024

Änderungen vorbehalten

Smart und schick in Anthrazit

Es muss nicht immer Weiß sein: Die anthrazitfarbenen Produkte von Homematic IP fügen sich perfekt in moderne Wohnumgebungen ein. Mit dem erweiterten Produktsortiment des Smart-Home-Systems in edlem Anthrazit bietet Homematic IP jetzt noch mehr Möglichkeiten für Designliebhaber.

Homematic IP Wandthermostat – basic
HmIP-WTH-B-A

Zum Produkt

Homematic IP
Access Point HmIP-HAP-A

Zum Produkt

Homematic IP
Türschlossantrieb
HmIP-DLD-A

Zum Produkt

Homematic IP
Heizkörperthermostat Evo
HmIP-eTRV-E-A

Zum Produkt

Das gesamte Homematic IP Sortiment finden Sie bei uns im ELVshop

Zum Sortiment

Bedrahtete und SMD-LEDs testen

ELV
Bausatz LED-Tester 2
LED-T2

- Test von SMD- und bedrahteten LEDs möglich
- Anzeige der LED-Kenndaten (Flussspannung und LED-Strom)
- Durch 15-V-Versorgungsspannung auch Test von LED-Modulen und LED-Strips möglich
- Berechnung des erforderlichen Vorwiderstands möglich
- Test auch innerhalb der Schaltung möglich

BAUSATZ

39,95 €

Artikel-Nr. 160390

Zum Produkt

Alles, was Sie zum LED-Tester 2 wissen müssen!

In unserem ELVjournal Fachbeitrag erfahren Sie alles über die Funktion und den Aufbau des LED-T2.

Zum Fachbeitrag