

## PREISWERTER AUDIO- MESSPLATZ

Mit PC-Software und  
USB-Audio-Interface

S. 6



IM FOKUS

Messen &amp; Testen



S. 14 **Netzspannungs-Frequenzmessgerät**  
Netzfrequenz und -spannung überwachen

S. 18 **Kleines Induktivitätsmessgerät**  
Eine erschwingliche Lösung  
für Ihr Heimlabor

S. 30 **Erste Schritte  
mit dem Oszilloskop**  
Finden Sie den Weg durch den  
Knopf- und Tasten-Dschungel



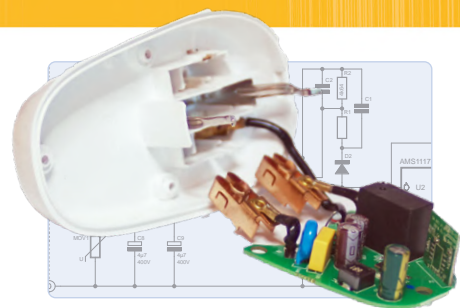
**Umbruch in der  
Mess- und Prüftechnik**  
Innovationen kleinerer Akteure

S. 48



**CO<sub>2</sub>-Ampel  
mit Sigfox-Interface**  
Vom WLAN unabhängig!

S. 74



**Reingeschaut:  
Wireless Smart Plugs**  
Smarte Funksteckdosen mit  
ESP8266 & Co.

S. 90



# e-lektor e-zine

Your dose of electronics



Jede Woche, in der Sie den Elektor e-zine Newsletter nicht abonnieren, ist eine Woche mit großartigen Artikeln und Projekten zum Thema Elektronik, die Sie verpassen!

Also, worauf warten Sie noch? Melden Sie sich heute für unseren Elektor e-zine Newsletter unter [www.elektor.de/ezine](http://www.elektor.de/ezine) an und erhalten Sie zusätzlich ein kostenloses Raspberry Pi Projektbuch!



## Was können Sie erwarten?

### Redaktioneller Elektor-Newsletter

Jeden Freitag erhalten Sie die wichtigsten Artikel und Projekte der Woche. Wir zeigen MCU-basierte Projekte, IoT, Programmierung, KI und mehr!

### Elektor-Newsletter mit exklusiven Angeboten

Verpassen Sie nicht unsere Shop-Angebote, jeden Dienstag und Donnerstag haben wir eine besondere Aktion für Sie.

### Mailing von externen Partnern

Sie wollen über die laufenden Aktivitäten in der Branche informiert bleiben? Dann gibt Ihnen diese E-Mail die besten Einblicke. Unregelmäßig, aber immer mittwochs.

### Verlag

Elektor Verlag GmbH  
Kackertstraße 10  
52072 Aachen  
Tel. 0241 95509190

Technische Fragen bitten wir per E-Mail an [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de) zu richten.

### Hauptsitz des Verlags

Elektor International Media  
Postbus 11, 6114 ZG Susteren  
Niederlande

### Anzeigen

Raoul Morreau (Leitung)  
Mobil: +31 6 440 399 07  
E-Mail: [raoul.morreau@elektor.com](mailto:raoul.morreau@elektor.com)

Büra Kas

Tel. 0241 95509178  
E-Mail: [busra.kas@elektor.com](mailto:busra.kas@elektor.com)

Es gilt die Anzeigenpreisliste ab 01.01.2022.

### Distribution

IPS Pressevertrieb GmbH  
Postfach 12 11, 53334 Meckenheim  
Tel. 02225 88010

### Druck

Senefelder Misset, Doetinchem (NL)

Der Herausgeber ist nicht verpflichtet, unverlangt eingesandte Manuskripte oder Geräte zurückzusenden. Auch wird für diese Gegenstände keine Haftung übernommen. Nimmt der Herausgeber einen Beitrag zur Veröffentlichung an, so erwirbt er gleichzeitig das Nachdruckrecht für alle ausländischen Ausgaben inklusive Lizenzen. Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen einschließlich Platinen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch teilweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die veröffentlichten Schaltungen können unter Patent- oder Gebrauchsmusterschutz stehen. Herstellen, Feilhalten, Inverkehrbringen und gewerblicher Gebrauch der Beiträge sind nur mit Zustimmung des Verlages und ggf. des Schutzrechtsinhabers zulässig. Nur der private Gebrauch ist frei. Bei den benutzten Warenbezeichnungen kann es sich um geschützte Warenzeichen handeln, die nur mit Zustimmung ihrer Inhaber warenzeichengemäß benutzt werden dürfen. Die geltenden gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Bau, Erwerb und Betrieb von Sende- und Empfangseinrichtungen und der elektrischen Sicherheit sind unbedingt zu beachten. Eine Haftung des Herausgebers für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Schaltungen und sonstigen Anordnungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts der veröffentlichten Aufsätze und sonstigen Beiträge ist ausgeschlossen.

von Jens Nickel

Chefredakteur ElektorMag

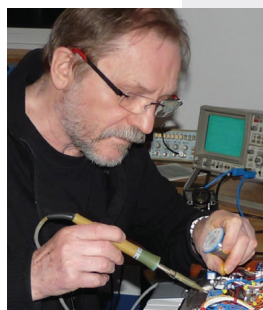


# Messen muss nicht teuer sein

Wer misst, misst Mist: Jede(r) Student(in) einer technischen oder naturwissenschaftlichen Fachrichtung erlebt das spätestens im ersten einschlägigen Praktikum - und so soll es ja auch sein. Die Erfahrung des Anwenders und fundiertes Hintergrundwissen ist eben durch kein Gerät zu ersetzen.

Deshalb gibt es auch zu diesem wichtigen Thema von uns wieder die typische Mischung aus Praxis und Theorie. Einsteiger führt mein Kollege Clemens Valens in den Gebrauch von Oszilloskopen ein. In seinem Artikel „Preiswerter Audio-Messplatz“ verbindet Alfred Rosenkränzer seine berufliche Spezialisierung auf Messtechnik mit seiner Leidenschaft für Audio. Ein gutes USB-Audiointerface, ein PC und eine günstige Mess-Software genügen, um eine mehr als nur brauchbare Lösung für Messungen an HiFi-Anlagen, (Selbstbau-) Boxen und weiterem Equipment zu erhalten. Der Ingenieur, der sein gutes Urteil auch mit verschiedenen Messungen belegt, wünscht sich nur noch ein Notchfilter vor dem Eingang des Interfaces. Dieses reichen wir in einer der nächsten Ausgaben nach!

Darüber hinaus gibt es natürlich auch wieder jede Menge Projekte mit praktischen Nutzen, bei deren Bau man überdies eine Menge lernt. In dieser Ausgabe finden Sie ein Messgerät für die Netzfrequenz genauso wie eines für den Serienwiderstand bei Kondensatoren. Dazu kommt ein Induktivitätsmesser, der den Geldbeutel schont, und vieles mehr!



### Kurt, du wirst uns fehlen!

Für uns alle war es ein Schock, dass unser langjähriger Mitarbeiter Kurt Diedrich im April unerwartet verstorben ist. Kurt war in den Achtzigern Redakteur bei Elektor; seit dieser Zeit ist er uns all die Jahrzehnte freiberuflich treu geblieben. Der studierte Geologe schrieb Bücher und Artikel, übersetzte ganze Ausgaben (zuletzt unsere Schwesterzeitschrift *MagPi*) und brachte Schaltpläne und andere Zeichnungen in den berühmten Elektor-Stil. In seiner Freizeit baute der Musik-Liebhaber analoge Synthesizer und griff zur Gitarre. Kurt, wir werden dich vermissen!

## Unser Team



Chefredakteur:	Jens Nickel (v.i.S.d.P.) ( <a href="mailto:redaktion@elektor.de">redaktion@elektor.de</a> )
Redaktion:	Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf, Dr. Thomas Scherer, Clemens Valens
Elektor-Labor:	Mathias Claußen, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens
Grafik & Layout:	Giel Dols, Harmen Heida
Herausgeber:	Erik Jansen



Elektor ist Mitglied des 1929 gegründeten VDZ (Verband Deutscher Zeitschriftenverleger), der „die gemeinsamen Interessen von 500 deutschen Consumer- und B2B-Verlagen vertritt.“



Elektor ist Mitglied von FIPP, einer Organisation, die „über fast 100 Jahre gewachsen ist und Medienbesitzer und Content-Ersteller aus der ganzen Welt umfasst“.

## Preiswerter Audio-Messplatz

Mit PC-Software und USB-Audio-Interface



## Rubriken

- 3 Impressum**
- 25 Aller Anfang ...**  
Gleichrichter
- 28 electronica fast forward 2022**
- 68 Bemerkenswerte Bauteile**  
Reed-Relais
- 84 Ethics**  
Frauen in der Technik
- 104 Aus dem Leben gegriffen**  
Der Prophet gilt nichts im Vaterland
- 114 Hexadoku**  
Sudoku für Elektroniker

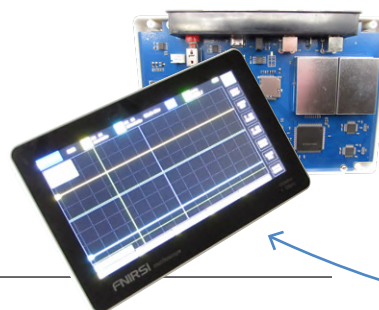
## Hintergrund

- 22 Reiten auf der Schallwelle**  
Ein Blick auf das Makerfabs Acoustic Levitation Kit
- FOCUS**
- 30 Erste Schritte mit dem Oszilloskop**  
Finden Sie den Weg durch den Knopf-und-Tasten-Dschungel
- FOCUS**
- 42 Feuchtigkeitssensoren für Gießanlagen**  
Automatische Bewässerung
- 61 GUIs mit Python**  
Teil 5: Tic-Tac-Toe

- FOCUS**
- 86 Low-Budget-Tablet-Oszilloskop ADS1013D**  
Ein gutes Preis-/Leistungsverhältnis?
- 100 Hautwiderstand und Hautkapazität**  
Kleine Experimente mit der menschlichen Hülle
- FOCUS**
- 106 Messgerät Pokit - die eierlegende Wollmilchsau?**  
Klein und mit vielen Messmöglichkeiten

## Industry

- FOCUS**
- 48 Umbruch in der Mess- und Prüftechnik**  
Innovationen kleinerer Akteure
- FOCUS**
- 54 Infografik**  
Fakten und Zahlen zur Mess- und Prüftechnik
- 56 Inspiration: Was wirklich wichtig ist**  
Interview mit dem Unternehmer Walter Arkesteijn von InnoFaith Beauty Sciences
- 58 EMV-Störungen durch Speicherdrosseln minimieren**

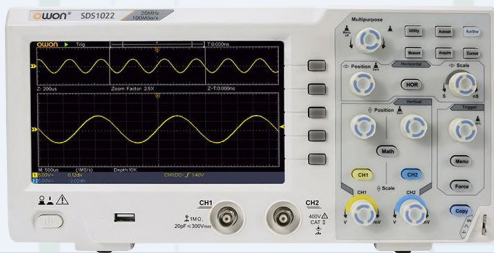


**Low-Budget-  
Tablet-Oszilloskop  
ADS1013D**

86

# Erste Schritte mit dem Oszilloskop

Finden Sie den Weg durch den Knopf- und Tasten-Dschungel



30



# Reingeschaut: Wireless Smart Plugs

Smarte Funksteckdosen mit ESP8266 & Co.

90

## Projekte

**FOCUS**

### 6 Preiswerter Audio-Messplatz

Mit PC-Software und USB-Audio-Interface

**FOCUS**

### 14 Netzspannungs-Frequenzmessgerät

Netzfrequenz und -spannung überwachen

**FOCUS**

### 18 Kleines Induktivitätsmessgerät

Eine erschwingliche Lösung für Ihr Heimlabor

### 34 Raspberry Pi Pico als Software Defined Radio

Dekodiert das MSF-Zeitsignal

**FOCUS**

### 70 Einfaches analoges ESR-Messgerät

Mit Drehspulinstrument-Genauigkeit

### 74 CO<sub>2</sub>-Ampel mit Sigfox-Interface

Vom WLAN unabhängig!

### 90 Aufgeschraubt und reingeschaut: Wireless Smart Plugs

Smarte Funksteckdosen mit ESP8266 & Co.

## Vorschau

### Elektor Summer Circuits 2022

In der Tradition des klassischen Halbleiterhefts ist die nächste Ausgabe besonders umfangreich, gefüllt mit über 50 DIY-Projekten, Hintergrundartikeln über Platinentwurf, Tipps und Tricks und vieles mehr!

#### Aus dem Inhalt:

- > Batterieloser Heizkörper-Sensor
- > Zehnfache LED-Stromquelle
- > Kleine Frequenzreferenz
- > Soundaktivierter Schalter
- > Rauscharmer ADC-Kalibrator
- > Leistungshalbleiter-Tester
- > Diskreter Aufwärtswandler
- > Digitaler 230-V-Dimmer mit Arduino

#### Und vieles mehr!

Elektor Summer Circuits 2022 erscheint am 4. August 2022. Änderungen vorbehalten.



Reiten auf der Schallwelle

22



# Preiswerter Audio-Messplatz

## Mit PC-Software und USB-Audio-Interface

Von Alfred Rosenkränzer

Professionelles Equipment zum Durchmessen und/oder Entwickeln von Audiogeräten ist für ein privates Elektroniklabor fast unerschwinglich. Allerdings gibt es Mess-Software und gute Audio-Interfaces für relativ kleines Geld. Zusammen mit einem PC entsteht eine mehr als brauchbare Lösung für Messungen an HiFi-Anlagen und anderer Audio-Hardware. Hier ein Bericht aus der Praxis.

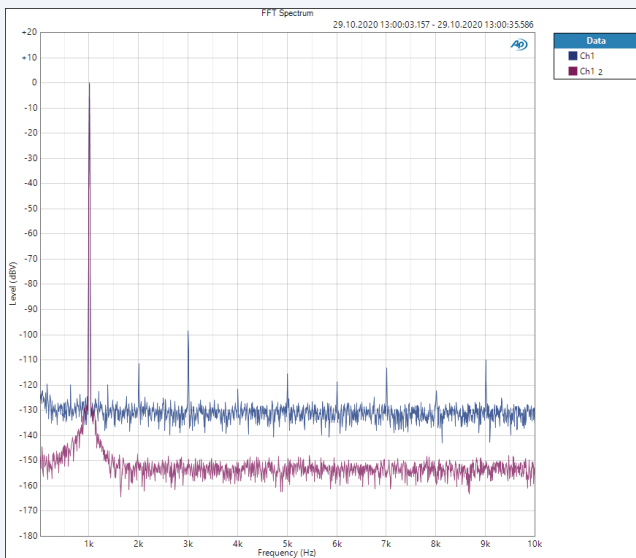


Bild 1. Spektrum eines 1-kHz-Sinus mit  $1 V_{rms}$  (0 dBV), erzeugt und gemessen mit dem Audio Precision APx555.

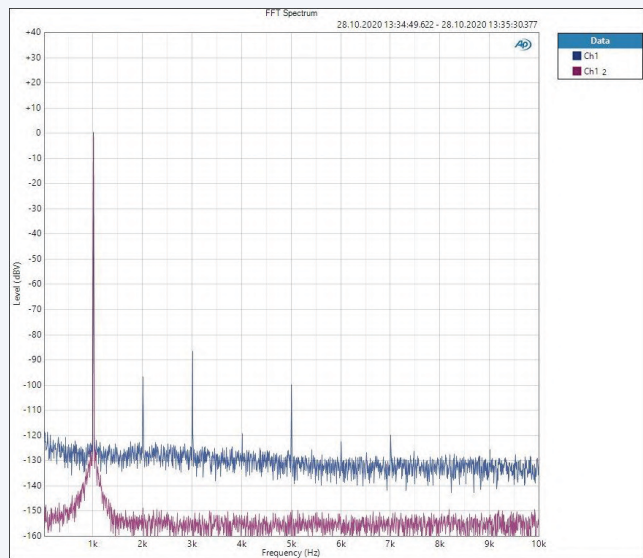


Bild 2. Zum Vergleich mit Bild 1: Spektrum eines 1-kHz-Sinus mit  $1 V_{rms}$  des Steinberg UR22.

Meine Ausgangssituation: Über 20 Jahre der Tätigkeit in einer High-Tech-Entwicklungsfirma mit exzellenter Messgeräteausstattung (auch im Audibereich) waren irgendwann vorbei. Plötzlich waren meine Möglichkeiten, irgendetwas „mal schnell“ zu messen, deutlich eingeschränkt. Nicht nur die Entfernung zwischen Wohnort und Firmensitz, sondern aktuell auch Corona trennten mich rabiati vom gewohnten Profi-Equipment. Also

blieb mir nur, bei Bedarf eigene Messgeräte anzuschaffen.

### Überlegungen

Eine Suche nach gebrauchten, professionellen Messgeräten bei Ebay führt schnell zur Ernüchterung. Selbst mehr als zehn Jahre alte Geräte, für die es längst keinen Support mehr gibt, kosten mehrere tausend Euro. Neue Geräte mit den von mir gewünschten

Eigenschaften sind erst knapp unter 10.000 € zu haben, was ihre Anschaffung für meine Anwendungen unvernünftig erscheinen ließ. Also musste ich mir eine alternative und vor allen Dingen bezahlbare Lösung einfallen lassen.

Die meisten professionellen Messgeräte des noch jungen dritten Jahrtausends sind so etwas wie eine „Black Box“, ohne Bedienelemente. Bedienung und Datenverarbei-



Bild 3. Vorderansicht des Steinberg UR22C.

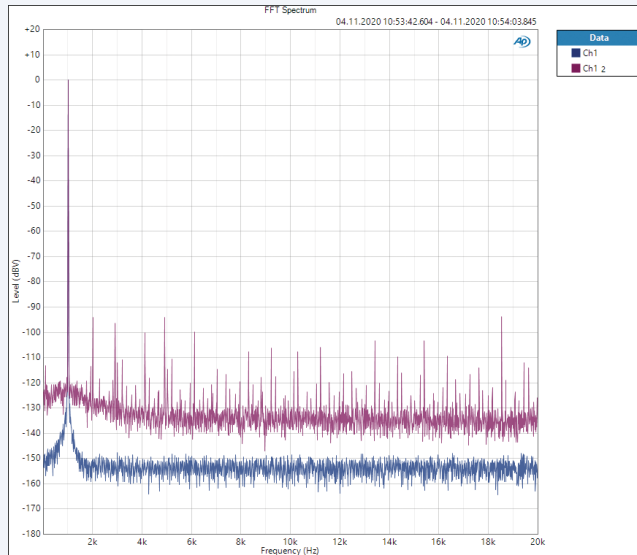


Bild 4. Zum Vergleich mit Bild 1 und Bild 2: Spektrum eines 1-kHz-Sinus mit  $1 V_{rms}$  des Steinberg UR22C.

oder Kommentare?“) darauf aufmerksam machen.

## Hardware

Meine ersten Tests habe ich mit der internen Audiohardware via Loopback durchgeführt. Ich habe hierfür den Audioausgang per Mini-Klinkenkabel direkt mit dem Line-Eingang (nicht dem Mikrofon-Eingang) verbunden. Da sich die integrierte Audio-Elektronik auf dem Motherboard des PCs befindet, waren meine Erwartungen nicht allzu hoch. Die Ergebnisse waren zwar gar nicht einmal so schlecht, aber für meine Zwecke nicht gut genug.

Folglich machte ich mich auf die Suche nach einem besseren externen Audio-Interface mit USB-Anschluss. Das Gerät sollte mit XLR-Steckverbindungen für differentielle Signale (*balanced*) und mit Cinch oder Klinkenbuchsen für auf Masse bezogene Signale (*unbalanced*) versehen sein. Die bei Messgeräten häufig anzutreffenden BNC-Buchsen sind bei solchen Interfaces eher unüblich. Das ist aber kein Problem, denn hierfür gibt es ja Adapter. Ein Kopfhörer-Ausgang vereinfacht die akustische Kontrolle. Ein- und Ausgangspegel müssen am Interface selbst oder zumindest über eine zugehörige Software einstellbar sein.

Hier sei gleich der vielleicht größte Nachteil einer solchen Lösung erwähnt: Bei einem Profigerät sind die Ein- und Ausgangspegel meist in V oder dBV kalibriert. Stellt man in der Software einen bestimmten Pegel ein, so kommt er aus den Buchsen des Generators auch so heraus. Die Software steuert das Gerät so, dass der gewünschte Pegel mit bester Qualität erzeugt wird. Den Messeingang kann man auf Automatik oder den zu erwarteten Pegel stellen.

## Pegel

Die Software AudioTester erlaubt die Einstellung des Ausgangspegels in dBFS (dB Full Scale), also bezogen auf den maximalen Pegel des DACs. Den am Ausgang des Interfaces real anliegenden Pegel muss man folglich entweder direkt am Interface oder über die zugehörige Software einstellen. Hierzu benötigt man einen zusätzlichen Pegelmesser – zum Beispiel ein Oszilloskop. Die Software AudioTester kann die Pegel des Interfaces leider nicht direkt einstellen.

Diese Problematik betrifft natürlich auch den Eingang. Am oberen Rand des Fensters gibt

tung erfolgt durch Software auf einem PC. Warum sollte das im Hobby-Bereich anders sein? Also machte ich mich zunächst auf die Suche nach einer geeigneten Software für Audiomessungen.

Meine Ansprüche an die Software: Sie sollte mit interner und auch mit über USB angeschlossener externer Audiohardware funktionieren. Ich wollte damit Verzerrungen, Rauschabstand (THD und SNR) sowie Frequenzgänge messen können. Weiter sollte der damit realisierte Tongenerator mindestens Sinus-, Rechteck- und Rauschsignale erzeugen. Beim Sinussignal müsste ein Frequenz-Sweep möglich sein. Weitere Signalformen wie Dreieck oder Pulse waren für mich nicht zwingend, aber trotzdem „nice to have“ - aufgrund der einfachen Implementierbarkeit per Software erfordern solche Optionen ja auch keinen großen Mehraufwand, der viel Geld kosten würde.

Die Software muss das Spektrum eines Signals am Audioeingang berechnen und anzeigen können. Der Frequenzgang muss mindestens den Audibereich von 20 Hz bis 20 kHz abdecken – mehr wäre wünschens-

wert. Die Digitalisierung sollte mit Samplerraten von 44,1 kHz, 48 kHz und deren Vielfachen bis mindestens 192 kHz möglich sein.

## Software

Bei meiner Suche stach mir die Software „AudioTester V3.0“ ins Auge. Sie läuft unter Windows ab XP und lässt sich samt Handbuch (in deutsch und englisch) unter [1] kostenlos herunterladen. Die kostenlose Testversion erlaubt einen Monat lang alle Messungen. Die einzige Einschränkung: Das Programm beendet die Messungen nach zehn Minuten von selbst. Um dann weiter testen zu können, muss man die Software neu starten. Da sie sich die letzten Einstellungen merkt, kann man gleich damit weitermachen.

Eine Lizenz kostet akzeptable 39 €. Nach ein paar Tagen des Ausprobierens kaufte ich eine Lizenz beim Entwickler und erhielt ein Key-File zur Freischaltung der Software. An dieser Stelle war die Suche nach weiteren Software-Lösungen für mich beendet. Möglicherweise sind Sie auf weitere interessante Programme gestoßen. Sie können mich gerne per Mail (siehe **Kasten „Sie haben Fragen**

es eine Art Aussteuerungsanzeige für den ADC. Mit den Einstellern am Interface oder seiner Software sorgt man dann dafür, dass der ADC genügend ausgesteuert, aber nicht übersteuert wird.

## Tongeneratoren

Zunächst habe ich den Ausgang der internen Soundkarte mit einem professionellen Messgerät (Audio Precision APx555) vermessen. In **Bild 1** ist der Ausgang des APx555 in violett dargestellt. Es sind keine Oberwellen zu sehen, der Noisefloor liegt bei  $-150$  dBV. Die blaue Kurve zeigt den Ausgang der Soundkarte. Die stärkste Oberwelle liegt bei  $3$  kHz und weist einen Pegel von  $-98$  dBV auf. Der Noisefloor liegt gut  $20$  dB über dem des APx555, dennoch sind die Resultate der integrierten Soundkarte erstaunlich gut. Letzteres wird insbesondere bei einem Vergleich mit dem externen Interface Steinberg UR22 in **Bild 2** deutlich, denn die Oberwelle bei  $3$  kHz hat den höheren Pegel von  $-87$  dBV.

Ein weiterer Vergleich wurde mit einem geliehenen Interface in der neueren Version UR22C durchgeführt. **Bild 3** zeigt dessen Frontseite und die Messresultate sind in **Bild 4** zu bewundern.

Das sich ergebende Oberwellenmuster ist übrigens von der eingestellten Abtastrate des ADC abhängig. Weitere Vergleiche zum Beispiel mit dem Interface Zoom R16 ergaben ähnliche Spektren, sodass auf deren Abbildung verzichtet werden kann.

Ein wesentliches Resultat war, dass die Ergebnisse der externen Interfaces nicht wirklich überzeugen konnten. Also hörte ich mich in meinem technisch orientierten Bekanntenkreis um. Dabei wurde mir das Modell RME Babyface Pro FS [2] empfohlen. Die Geräte von Steinberg kosten um die  $150$  €. Das Interface von RME ist mit  $709$  € deutlich teurer. Einen optischen Eindruck vermittelt **Bild 5**.

*Bild 7. 1-kHz-Sinussignal des APx555 mit  $1 V_{rms}$  gemessen mit dem Eingang des RME-Interfaces und der Software AudioTester. Im oberen Teil sieht man die „Aussteuerungsanzeige“ des ADCs.*

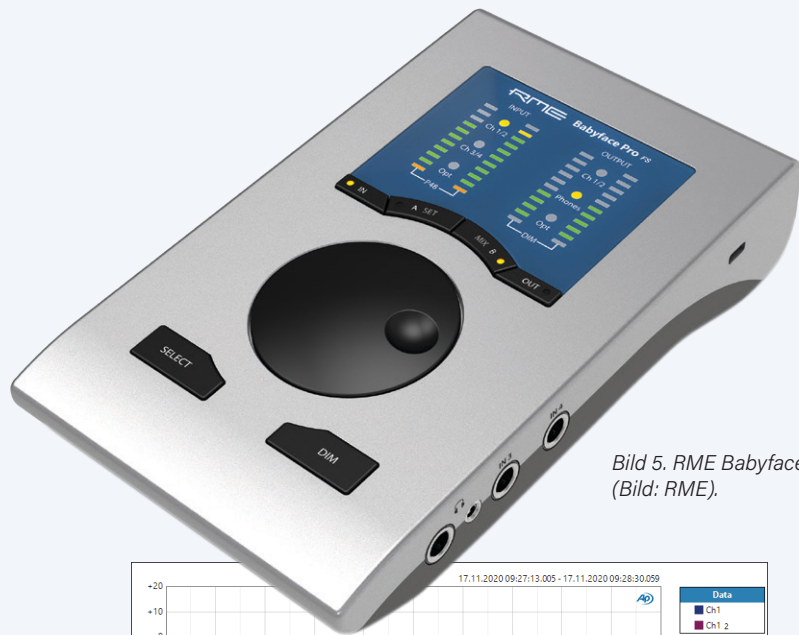


Bild 5. RME Babyface Pro (Bild: RME).

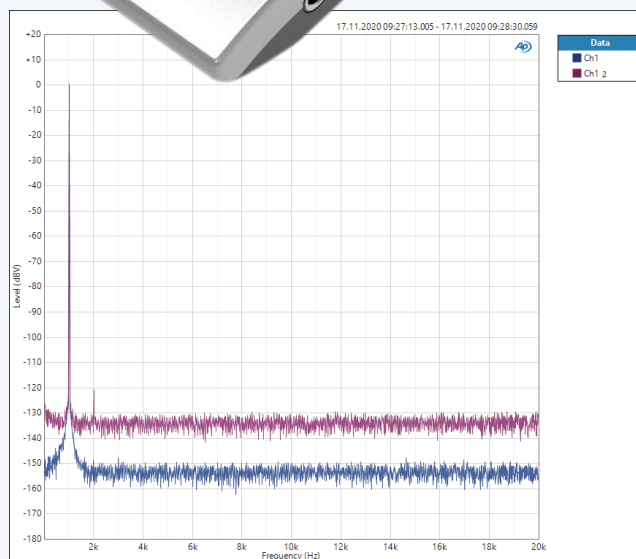
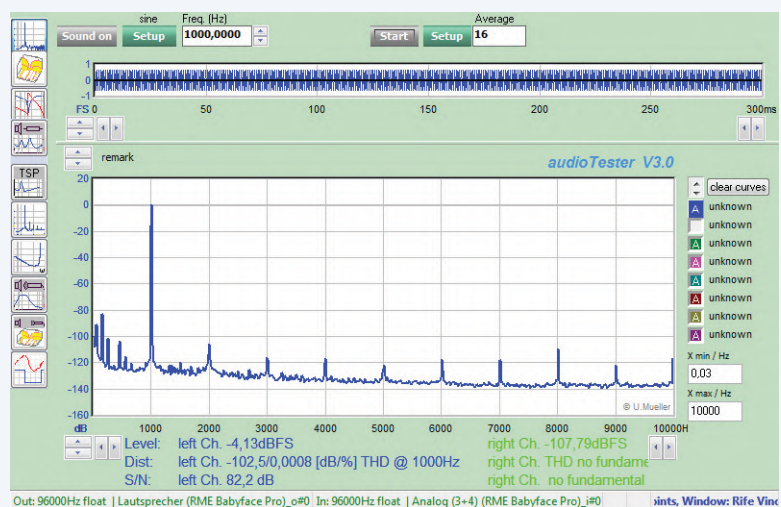


Bild 6. Zum Vergleich mit den Bildern 1, 2 und 4: Spektrum eines 1-kHz-Sinus mit  $1 V_{rms}$  des RME Baby Face Pro.





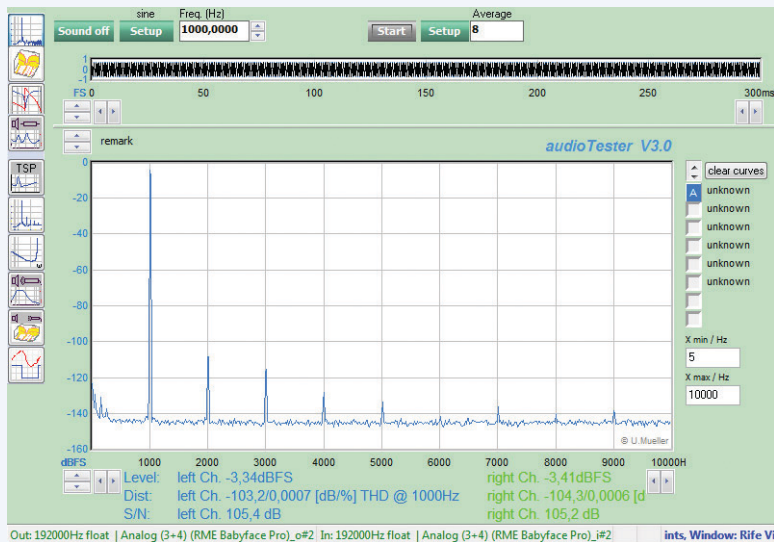


Bild 8. Loopback des RME Babyface Pro bei einer Samplerate von 192 kHz.

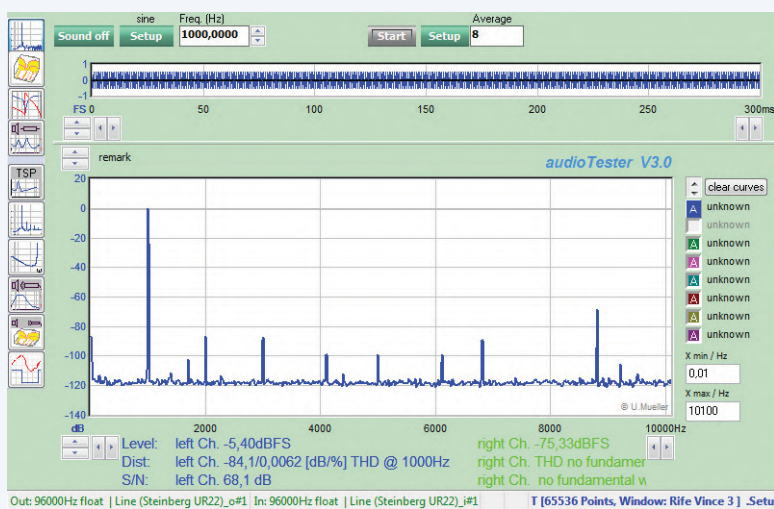


Bild 9. Loopback des Steinberg UR22 bei einer Samplerate von 48 kHz.

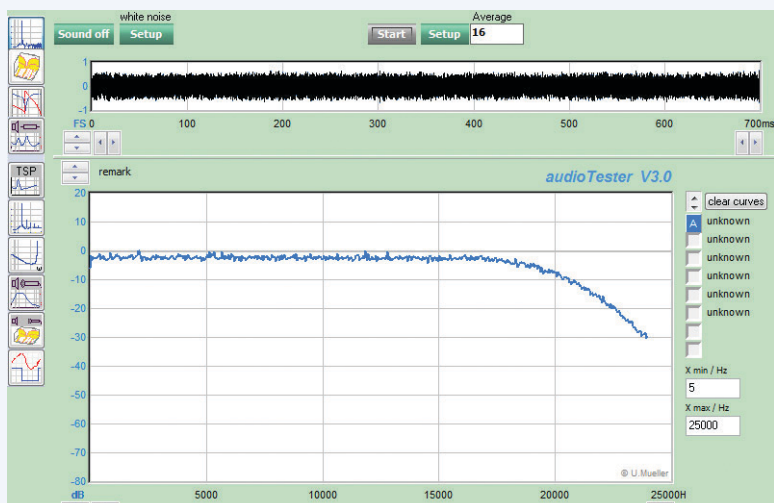


Bild 10. Frequenzgang des RME Babyface Pro bei einer Samplerate von 48 kHz.

Infos hierzu finden sich beispielsweise bei Thomann [3]. Bild 6 zeigt, dass sich der hohe Preis auszahlt. Die erste Oberwelle liegt bei -120 dBV! Bei reduziertem Pegel von  $0,25 V_{\text{rms}}$  verschwindet sie im Rauschen.

## Audioeingänge

Im zweiten Schritt wurden die hochqualitativen Ausgangssignale des APx555 mit den Audioeingängen des RME-Interfaces erfasst und via AudioTester dargestellt (Bild 7). Die Spektren der internen Soundkarte und der Steinberg-Interfaces sind schlechter und werden hier nicht gezeigt.

Nachfolgend wurden Messungen bei Loopback zwischen Ein- und Ausgang des gleichen Interfaces vorgenommen. Bild 8 zeigt die Verhältnisse beim RME-Interface und Bild 9 beim Steinberg UR22.

Fairerweise muss angemerkt werden, dass sich die Spektren mit der Samplerate und der Aussteuerung des ADC verändern. Ein Ergebnis aber bleibt: Das RME-Interface ist in jeder Einstellung besser.

Zur Überprüfung des Frequenzgangs kann man weißes Rauschen erzeugen und das sich ergebende Spektrum anschauen oder aber einen Sweep über die Frequenz durchführen. Die Bilder 10, 11 und 12 zeigen den Frequenzgang des RME-Interfaces bei den Abtastraten 48 kHz, 96 kHz und 192 kHz, alle gemessen mit weißem Rauschen. Laut Bild 12 bleibt der Frequenzgang bis etwa 90 kHz flach, weshalb auch Messungen deutlich oberhalb des Audiobereichs möglich sind.

## Bedienung

Die Bedienung des RME-Interfaces kann zum Teil über Tasten und ein Drehrad erfolgen. Die 48-V-Phantomspannung und das Abschwächer-Pad der Eingänge können damit leider nicht geschaltet werden.

Die komplette Steuerung des Interfaces erfolgt über die zu installierende Software „RME TotalMix“, die automatisch startet, sobald das Interface an den PC angeschlossen wird. Damit lassen sich nicht nur Pegel einstellen, sondern es gibt auch parametrische Equalizer und anderes mehr. Die Lektüre der Bedienungsanleitung ist nicht überflüssig. Auf YouTube finden sich etliche Videos, die in die Feinheiten dieses Interfaces einführen.

Bild 13 zeigt die Bedienoberfläche der RME-Software. Der Dialog von Bild 14 erlaubt grundsätzliche Einstellungen wie Eingangswahl, Abtastrate und so weiter. Letzteres muss mit der eingestellten Samplerate der AudioTester-Software übereinstimmen, sonst ergeben sich Fehler oder gar Störfrequenzen im Spektrum.

Das RME-Interface kann via USB oder durch ein extra 12-V-Netzteil versorgt werden. Da die Stromaufnahme an USB circa 500 mA beträgt, empfiehlt sich besonders bei Laptops die Verwendung eines Netzteils, da dann der USB-Anschluss nicht belastet wird. Um Störsignale zu vermeiden, sollte die Schaltfrequenz eines eventuellen Schaltnetzteils oberhalb des Audiospektrums liegen.

### Bedienung der Mess-Software

Nach Installation, Start und Anwählen des obersten Auswahlfeldes *2D FFT* ergibt sich eine Anzeige wie beispielsweise in Bild 8. Als ersten Schritt muss man das zu benutzende Interface für den Ein- und Ausgang unter dem Menüpunkt *Options* festlegen. Sollte die interne Soundkarte des PCs nicht angezeigt werden, so muss man gegebenenfalls zunächst etwas in die entsprechenden Buchsen stecken. Sind mehrere Interfaces vorhanden, kann man Ein- und Ausgänge auch heterogen wählen.

Anschließend werden unter *Options* die Parameter wie etwa Samplerate und Kanalzahl für Audio In und Out festgelegt.

Mit dem Button *Setup* rechts neben *Sound on* wählt man die Signalform, die Aussteuerung des DAC, die Frequenz und gegebenenfalls weitere Parameter. *Sound on* aktiviert den Ausgang. Den Ausgangspegel sollte man mit einem Oszilloskop kontrollieren und mit den Pegelstellern des Interfaces auf den gewünschten Wert einstellen.

Der Button *Start* startet die Messung. Unter

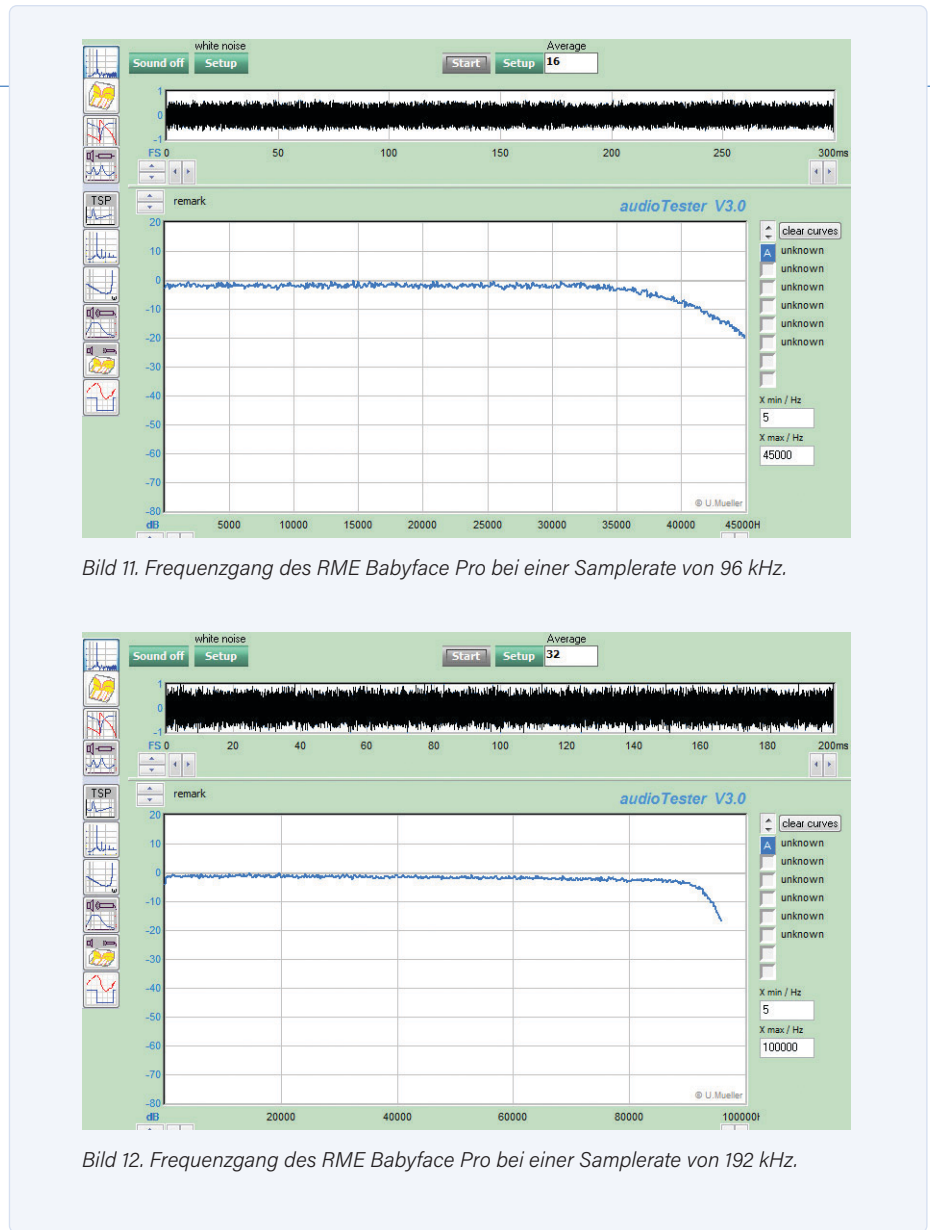


Bild 11. Frequenzgang des RME Babyface Pro bei einer Samplerate von 96 kHz.

Bild 12. Frequenzgang des RME Babyface Pro bei einer Samplerate von 192 kHz.

*Setup* kann man verschiedene Fensterfunktionen und Längen für die FFT einstellen. Mit steigenden *Averages* vermindert sich das Rauschen auf Kosten der Messdauer.

Im *Analyze Dialog* unter *Analyze* kann man die automatischen Messungen konfigurieren. Hier lässt sich beispielsweise definieren, wie viele Oberwellen zur Berechnung der THD herangezogen werden sollen. Die Messwerte werden unter der Grafik angezeigt.

Auf den Menüpunkt *3D FFT Waterfall Plots*

gehe ich nicht weiter ein. Mit dem dritten Button schaltet man die *Sweep Measurements* (etwa für Frequenzgang-Messungen) ein. Unter *Setup* werden die Parameter festgelegt. Mit einem Rechtsklick in die Grafik kann die Anzeige geändert werden.

In Bild 15 ist eine praktische Anwendung zu sehen. Hier werden die Frequenzgänge zweier Butterworth-Filter (1,2-kHz-Tiefpass und 2-kHz-Hochpass) erfasst. Bild 16 zeigt den Messaufbau. Es wurden die Single-En-

### WEBLINKS

[1] Software AudioTester: <http://www.audiotester.de>

[2] Audio-Interface: [http://www.rme-audio.de/de\\_babyface-pro-fs.html](http://www.rme-audio.de/de_babyface-pro-fs.html)

[3] Infos zum Interface von RME: [http://www.thomann.de/de/rme\\_babyface\\_pro\\_fs.htm](http://www.thomann.de/de/rme_babyface_pro_fs.htm)



Bild 13. Screenshot der Software-Oberfläche des RME Babyface Pro.

ded-Anschlüsse auf der rechten Seite des RME benutzt.

Im vierten Menüpunkt *Impedance Magnitude* kann man Impedanzverläufe über der Frequenz darstellen, zum Beispiel von Lautsprechern mit und ohne Frequenzweichen. Die Resonanzen zeigen sich sehr deutlich. Für diese Messung müssen natürlich noch ein Endverstärker zur Ansteuerung der Lautsprecher eingeschleift und beide Eingänge entsprechend dem Bild in der Dokumentation zusammen mit einem Leistungswiderstand verschaltet werden.

Auf den Menüpunkt *Thiele Small Parameter Measurement* gehe ich hier nicht weiter ein. Wählt man den nächsten Punkt *Distortion Measurement vs. Frequency*, misst man den Verlauf der Verzerrungen über der Frequenz. Für die Verzerrungen in Abhängigkeit vom Pegel ist der nächste Menüpunkt gedacht. Hier muss man beachten, dass AudioTester nur die Aussteuerung des DACs beeinflussen kann – nicht aber die Pegelsteller des verwendeten Interfaces. Bei kleinen Pegeln sinkt also die digitale Auflösung, was die Verzerrungen erhöht. Bevor man eine Schaltung durchmisst, sollte man via Loopback schauen, wie sich das Ganze verhält. Ansonsten kann man die Ampli-

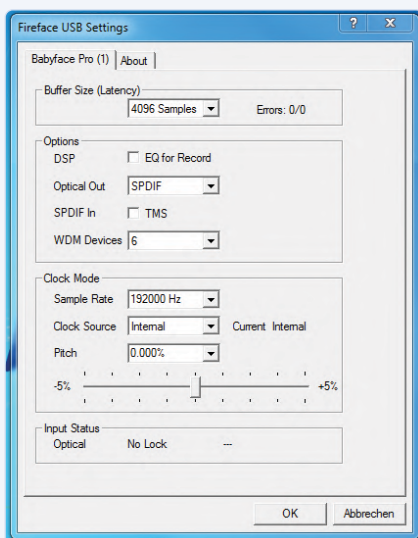


Bild 14. Basiseinstellungen beim RME Babyface Pro.



Bild 15. Frequenzgänge eines 12-kHz-Tiefpasses und eines 2-kHz-Hochpasses (beide Butterworth) mit logarithmischer Frequenzskala.

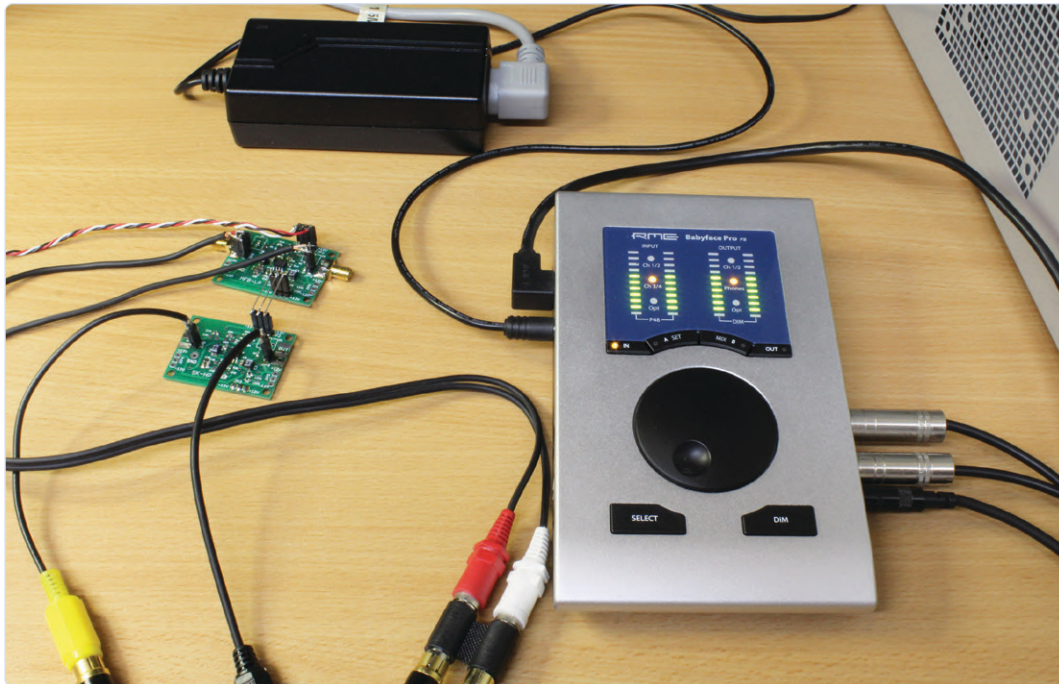


Bild 16. Testaufbau mit dem RME-Interface samt externem 12-V-Netzteil und den beiden Filterplatinen.

tude manuell am Interface ändern und dabei die Aussteuerung des DACs konstant halten. Neben dem Mangel definierter absoluter Pegel fehlt dem Audio-Interface eine wichtige Baugruppe, die wohl alle professionellen Audiomessgeräte mitbringen: ein einstellbares Notchfilter. Dieses unterdrückt die Grundwelle des Signals und ermöglicht damit die Erfassung der restlichen Signalanteile wie Oberwellen, Störfrequenzen und Rauschen mit höherer Auflösung. Auch Oberwellen, welche der ADC selbst durch hohe Signalamplituden erzeugen würde, werden dadurch vermieden. Will man solche Vorteile nutzen, braucht man ein externes Notchfilter. Im Rahmen dieses Artikels ist es selbstverständlich kaum möglich, wirklich alle Möglichkeiten der AudioTester-Software zu demonstrieren. Hier hilft nur Ausprobieren und das Stöbern in der Dokumentation. Da man die Software vorab ausgiebig testen kann und auch die Lizenz sehr günstig ist, kann man kaum etwas falsch machen.

## Fazit

Die Software AudioTester V3.0 erfüllt alle meine Messwünsche (und noch einige mehr). Außerdem zeigte sie sich stabil und hat offenbar nur wenige Bugs. Man kann sie vor einem eventuellen Kauf ausgiebig testen und mit

Kosten von nur 39 € ist sie sehr preiswert. Sie war sowohl mit der internen Audiokarte als auch allen USB-Audio-Interfaces kompatibel, die ich ausprobieren konnte. Das Interface RME Babyface Pro ist zwar deutlich teurer als andere Interfaces, aber mich haben die Qualität seiner Signale und meine Messungen voll überzeugt. ◀

200604-02

## Sie haben Fragen oder Kommentare?

Bei technischen Fragen können Sie sich gerne an den Autor wenden unter der E-Mail-Adresse [alfred\\_rosenkraenzer@gmx.de](mailto:alfred_rosenkraenzer@gmx.de) oder auch an die Redaktion unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

## Über den Autor

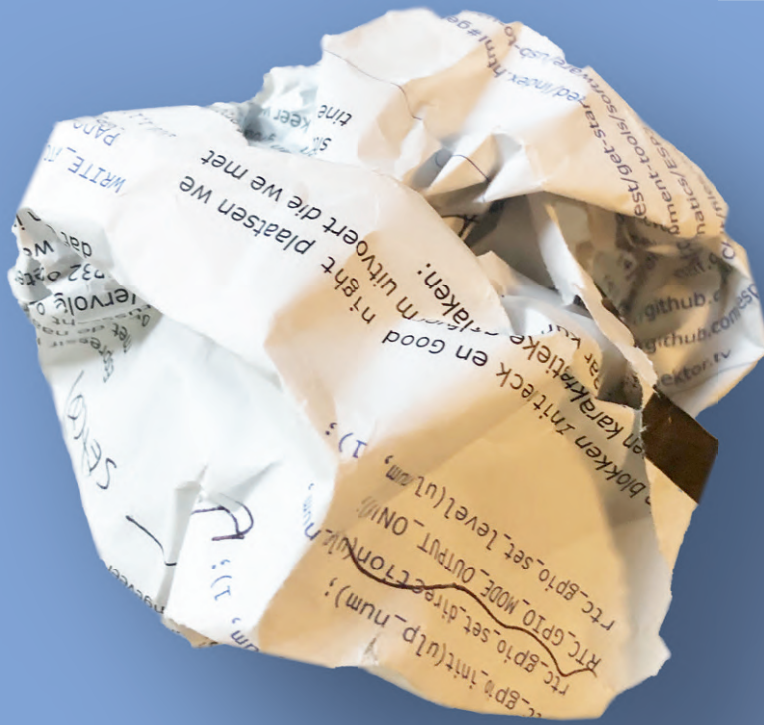
Alfred Rosenkränzer arbeitete viele Jahre als Entwicklungsingenieur, zu Anfang im Bereich der professionellen Fernsehtechnik. Seit Ende der 1990er Jahre entwickelt er digitale High-Speed- und Anlogschaltungen für IC-Tester. Das Thema Audio ist sein privates Steckenpferd.



## PASSENDE PRODUKTE

- > The Complete Linear Audio Library (USB Stick) (SKU 19672) [www.elektor.de/19672](http://www.elektor.de/19672)
- > Designing Audio Power Amplifiers (2nd Edition) (SKU 19150) [www.elektor.de/19150](http://www.elektor.de/19150)
- > Audioschaltungstechnik (PDF) (SKU 18458) [www.elektor.de/18458](http://www.elektor.de/18458)

# Grrr. Stecken geblieben?



Sie finden unsere Elektor Projekte richtig klasse, kommen aber aus irgendeinem Grund nicht weiter und benötigen Hilfe? Oder haben Sie gar eine Idee oder einen Kommentar zu einem bestimmten Artikel?

Kein Problem. Unsere Elektor-Ingenieure, -Redakteure und Community-Mitglieder sind auch in den **sozialen Medien aktiv**.

Sie können uns hier finden:



[www.elektor.de/FB](http://www.elektor.de/FB)



[www.elektor.de/TW](http://www.elektor.de/TW)



[www.elektor.de/YT](http://www.elektor.de/YT)



[www.elektor.de/insta](http://www.elektor.de/insta)



[www.elektor.de/LI](http://www.elektor.de/LI)

# Netzspannungs- Frequenzmessgerät

## Netzfrequenz und -spannung überwachen

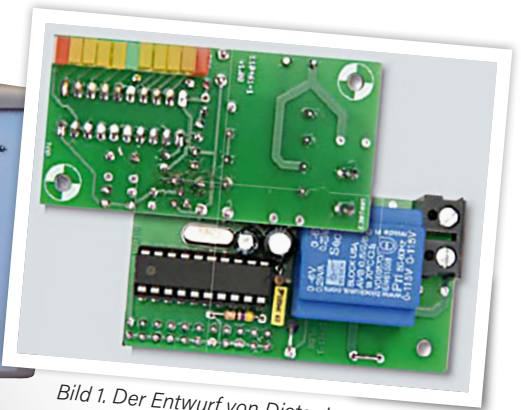
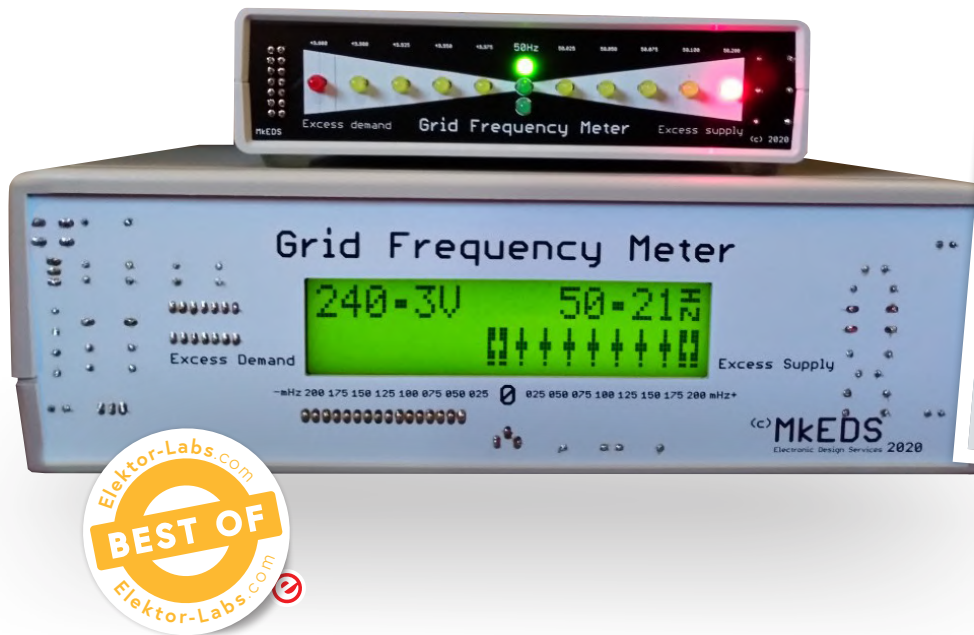


Bild 1. Der Entwurf von Dieter Laues mit seiner Netzfrequenz-LED-Balkenanzeige.

Von Mark Stevenson (Großbritannien)

Die Frequenz der Netzspannung ist ein guter Indikator für die Auslastung des Netzes. Dieser Netzfrequenzmesser überwacht nicht nur diesen wichtigen Parameter unserer Netzversorgung, sondern auch die Netzspannung.

Vor einigen Jahren sah ich in Elektor einen Artikel von Dieter Laues, in dem gezeigt wurde, wie man die Belastung des Stromnetzes durch Messung der Netzfrequenz bestimmen kann [1]. Kurz gesagt: Je größer die Last, desto langsamer drehen die Generatoren und desto niedriger ist die Frequenz der Netzspannung, oder anders herum, je geringer die Last, desto schneller die Generatoren und desto höher die Frequenz.

Da sich die Energie im Wechselstromnetz nicht im nennenswerten Maße speichern und wieder aus einem Speicher abrufen

lässt, müssen Angebot und Nachfrage zu jedem Zeitpunkt übereinstimmen. Diese Aufgabe übernimmt ein intelligentes Regelenergiesystem, das bei aller Raffinesse und „Intelligenz“ aber stets nur mit einer gewissen Verzögerung arbeiten kann. Wird in dieser Verzögerungszeit zu viel oder zu wenig Wirkleistung zur Verfügung gestellt, weicht die Netzfrequenz vom Nennwert ab. Im Europäischen Verbundnetz beträgt der Nennwert der Netzfrequenz 50,0 Hz und soll davon maximal  $\pm 200$  mHz abweichen, die Netzfrequenz also stets zwischen 49,8 Hz und 50,2 Hz liegen. Um ein Gefühl für die Größenordnung zu erhalten: 0,2 Hz entspricht in etwa einer Last von 3 GW oder der Leistung zweier gewöhnlich großer Kraftwerksblöcke.

Bei größeren und unerwarteten Sprüngen auf der Angebots- oder Nachfrageseite kann es aber zu nicht mehr ausgleichbaren Fehlern und damit stärkeren Schwankungen der Netzfrequenz und -spannung kommen. Um einen Komplettausfall des Verbundnetzes zu verhindern, müssen dann die Betreiber das Netz segmentieren und diese Segmente mühselig wieder synchronisieren und zusammenschalten.

Glücklicherweise ist es nur äußerst selten nötig, ein Segment komplett abzuschalten, so dass der Verbraucher im Normalfall von den Kalamitäten im Stromnetz wenig bis gar nichts mitbekommt.

### Hardware

Genug der Vorrede! Ich habe meinen ursprünglichen Zähler mit LED-Balken (Bild 1) gebaut, als das Projekt von Dieter gerade veröffentlicht wurde. Einige Jahre später habe ich aber eine eigene Version mit einem PIC-Mikrocontroller von Microchip Technology anstelle des AVR entworfen. Die LEDs wurden durch ein LCD ersetzt, und mein Messgerät gibt auch die genaue Netzspannung an. Das Display zeigt allerdings nur Trends der Netzwertergebnisse an und kann deshalb nicht als hochgenaues Gerät zur Messung der momentanen Netzspannung und -frequenz angesehen werden. Die Schaltung meines neuen Netzfrequenzmessers ist in Bild 2 dargestellt. Ein Steckernetzteil mit einer Ausgangsspannung von  $9...12 V_{RMS}$  AC (!) wird an K1 angeschlossen. C1 beseitigt alle hochfrequenten Störungen. D2 fungiert als Halbwellen-Gleichrichter und zwei

470- $\mu$ F-Kondensatoren glätten die pulsierende Gleichspannung, so dass IC1 für eine passable 5-V-Versorgung des Controllers IC2 sorgen kann. C5 (und C2, C3) halten ein wenig Energie vor, damit der Controller im Falle eines Stromausfalls ebendiesen Spannungseinbruch noch im EEPROM speichern kann.

R5, R8 und R9 sind Pull-up-Widerstände (auf 5 V) für den Kalibrierstaster (NO) und die beiden Lötbrücken für die Wahl der Nennspannung von 120 V oder 220 V. Wenn keine der beiden Brücken gelötet ist, wird die Spannungsskalierung auf das Maximum von 240 V gesetzt. Da die Ausgangsspannung des Wechselspannungsnetzteils als Maß für die Netzspannung verwendet wird, können wir zwar keine hochpräzise Messung erwarten, da aber die Belastung des Trafos keine großen Sprünge macht, ist dies sicher und genau genug, um Schwankungen der Netzspannung zu überwachen.

Die Sekundärspannung des Trafos  $U_{IN}$  wird für die Spannungs- und die Frequenzmessung getrennt durch D3 respektive D4 einweg-gleichgerichtet.  $U_{IN}$  wird durch den Widerstandsteiler R1, das Zehngang-Trimpoti R11 und R12 auf ein für den Mikrocontrollereingang RA4 (Pin 3) vernünftiges Maß reduziert. D5 und R10 als „Rettungsanker“ sorgen dafür, dass die Spannung am Controller nie auf einen unzulässig

hohen Wert steigen kann. R10 sorgt zudem für eine zusätzliche Dämpfung, wenn das Trimpoti auf seinem höchsten Wert steht. Die Frequenz wird über D4 (mit C4 zur Verringerung des Rauschens) erfasst. Die Halbwellen steuern über R3 den Transistor T1, der daraus Impulse mit einer dem Controller genehmen Amplitude erzeugt. C4 bewirkt zwar eine gewisse „Neigung“ des Impulses, aber dies wird in der Software durch Messung der Ein- und Ausschaltperioden des Impulses kompensiert. Die Impulse erreichen schließlich den Frequenzmesseingang RA5 (Pin 5) des Controllers, eines mit 32 MHz getakteten Mikrocontrollers (IC2) des Typs PIC16F1825. Außer der Berechnung von Netzfrequenz und -spannung hat der Mikrocontroller die Aufgabe, diese Angaben in lesbarer Weise in einem alphanumerischen LC-Display mit 2x16 Zeichen darzustellen. Um I/O-Pins zu sparen, wird das Display im 4-Bit-Modus betrieben, wobei R/W permanent mit Masse verbunden ist (Nur-Schreib-Modus). Die Hintergrundbeleuchtung des Displays ist aktiv und wird durch D1, R2, R4 und C8 mit Energie versorgt. Auch hier haben wir es mit einer Halbwellengleichrichtung zu tun, was sichtbare Folgen haben könnte. Sollte die Beleuchtung nämlich bei näherer Betrachtung flackern, so kann dieser Makel durch Vergrößerung von C8 beseitigt werden. R2 und R4 sollten so gewählt werden, dass

sie die richtige Strombegrenzung für das LCD bieten. Der Kontrast des LCDs kann an Trimpoti R13 eingestellt werden.

## Aufbau

Die Schaltung ist sehr einfach aufgebaut und enthält ausschließlich bedrahtete Standardbauteile. Es sollte deshalb nicht schwierig sein, die Schaltung auf einem Steckboard oder einer Lochrasterplatine aufzubauen, wenn man keine Leiterplatte anfertigen lassen will. Die meisten Fotos in diesem Artikel und auf Elektor Labs zeigen eine Version mit einem extragroßen LCD, das ich einem ausrangierten Gerät entnommen habe. Übrigens, wenn Sie sich über die merkwürdige „platinenartige“ Frontplatte meines Messgeräts gewundert haben: Es handelt sich dabei tatsächlich um die lackierte und beschriftete Kupferseite der Platine. Auf Elektor Labs [2] gibt es Eagle-Design- und Gerberdateien zum Herunterladen, entweder für Standard-2x16-LCDs oder für eine größere LCM1602-Version.

## Software

Ein neues Design braucht eine neue Software! Nach einigem Nachdenken und Recherchieren fand ich im Forum [3] von Great Cow BASIC eine gute Idee, um die Periode eines Impulses mit einem PIC-Controller zu messen. Deshalb habe ich diesen Open-Source-Compiler für 8-Bit-PICs, AVR

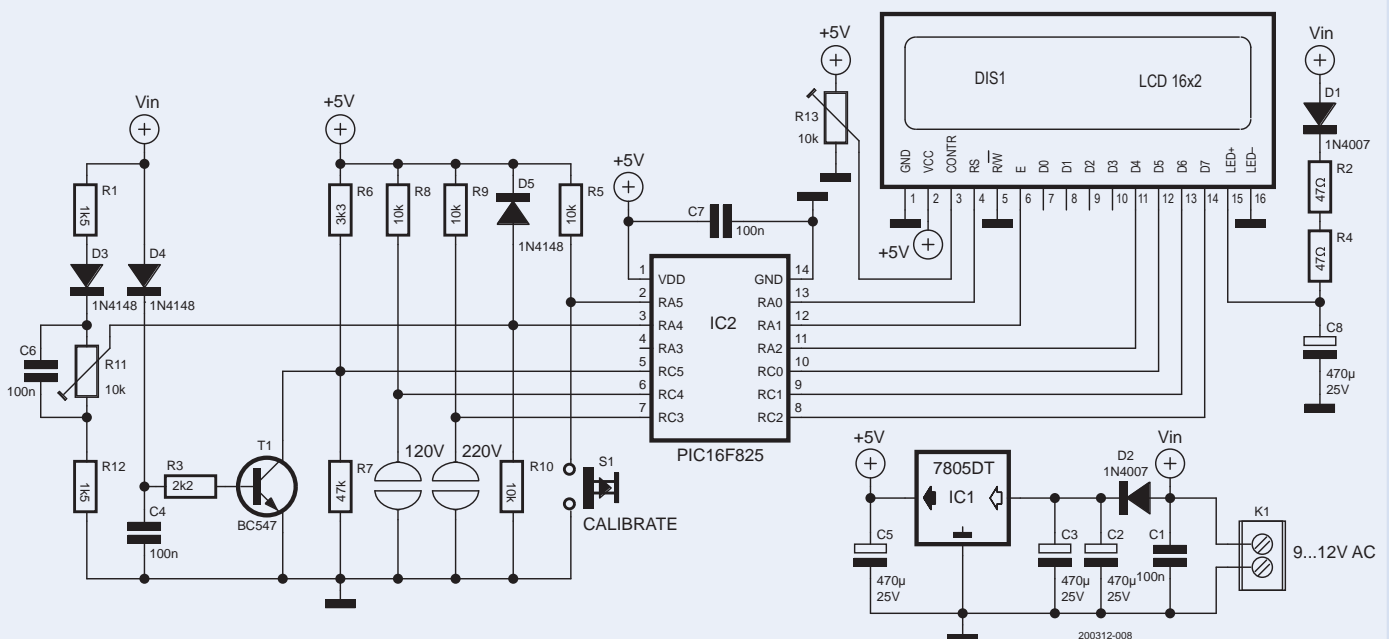


Bild 2. Schaltplan des Projekts.

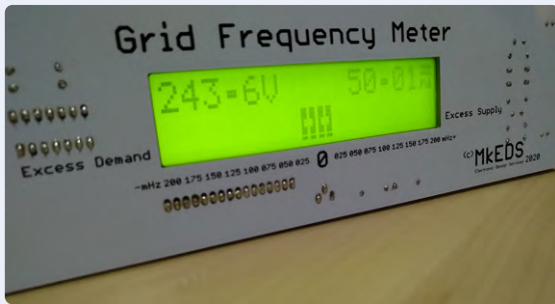


Bild 3. Das Display zeigt: Alles in Ordnung!



Bild 4. Anzeige des Unterspannungserignisses.

und LGTs verwendet, um den Code zu schreiben [4]. Der Quellcode und die HEX-Datei zur Programmierung des PIC16F1825 stehen auf der Elektor-Labs-Seite dieses Projekts zum Download bereit [2].

Die Zeitspanne, in der der Frequenz-Eingangspin eingeschaltet ist, wird zu der Zeitspanne addiert, in der er ausgeschaltet ist. Der schon erwähnte Grund dafür ist, dass die Transistorstufe, die für die Impulsformung zuständig ist, ein leicht asymmetrisches Signal erzeugt. Zählt man aber beide Zeiten zusammen, spielt diese Asymmetrie keine Rolle mehr. Ein Timeout sorgt dafür, dass der Zähler nicht einfriert, wenn aus irgendeinem Grund eine Messung scheitert. Die Frequenz wird über 20 Zählungen gemittelt und dadurch der angezeigte Wert wesentlich stabiler. Die Software ist so konzipiert, dass sie automatisch eine nominale Netzfrequenz von 60 Hz erkennt und die Balkenanzeige so steuert, dass sie sich auf diesen Wert zentriert. Da ich keine genauen Mittel zur Erzeugung von 60 Hz habe, bleibt diese Funktion ungetestet.

Sobald die Software die Frequenz gemessen hat, wird die Spannung ermittelt. An Pin 3 liegt eine rohe, ungefilterte pulsierende Gleichspannung, deren Spitzenwert 50 Mal in Abständen von 1 ms abgetastet wird. Der Spitzenwert wird dann mit einem Faktor hochskaliert, um den ungefähren Effektivwert der Versorgungsspannung anzuzeigen. Der Skalierungsfaktor kann durch Verbinden (k)einer der Lötbrücken ausgewählt werden, wie im Schaltplan angegeben. Damit kann eine Nennspannung von 120 V, 220 V oder 240 V abgedeckt werden. Ein zehngängiges Trimpoti erlaubt es, eine Wechselstromversorgung von 9...12  $V_{\text{eff}}$  an die Sollnetzspannung anzupassen. Wenn die richtige Brücke gelötet ist, sollte die Spitzenspannung an Pin 3 genau 4 V betragen. Die Spannung wird über acht Messungen gemittelt, um sie zu stabilisieren und ein gewisses Maß an Störfestigkeit zu gewährleisten.

## Was das Display anzeigt

Bei Verwendung eines üblichen 2x16-LCD

zeigt unter normalen Bedingungen die obere Zeile links die aktuelle Netzspannung und rechts die Frequenz mit jeweils sechs Zeichen an (Bild 3). In der unteren Zeile des LCDs ist ein Balkendiagramm zu sehen, bei dem die Segmente von der Mitte aus nach rechts (die Frequenz liegt über dem Sollwert) und nach links (die Frequenz liegt unter dem Sollwert) aufleuchten. Jedes Segment steht für einen 25-mHz-Schritt. Bei acht Segmenten in jeder Richtung kommen wir auf eine Abweichung von  $\pm 200$  mHz. Wenn die Frequenz sehr nahe am Sollwert liegt, zeigen die beiden mittleren Elemente jeweils einen großen quadratischen Block an. Wenn sich die Frequenz vom Nennwert entfernt, ändert sich der Block links oder rechts von der Mitte in ein vertikal gedehntes „+“-Zeichen, das je nach Lage der Dinge eine Abweichung nach oben oder unten anzeigt.

Die beiden mittleren Zeichen der oberen Zeile werden für die Meldung von „Ereignissen“ verwendet. Wenn die Versorgungsspannung oder -frequenz einen Grenzwert überschreitet ( $\pm 5\%$  für die Spannung,  $\pm 0,6\%$  für die Frequenz), wird ein Ereignisflag angezeigt, zusammen mit einem Indikator, der den Grund für das Ereignis angibt. Zum Beispiel bedeutet ein Pfeil nach unten eine zu niedrige und einer nach oben eine zu hohe gemessene Netzspannung. Wenn ein Ereignis eingetreten ist, wird etwa einmal pro Minute die ungefähre Zeit, die seit dem Ereignis verstrichen ist, im nicht belegten Teil des Bargraph-Anzeigebereichs angezeigt. In den ersten 24 Stunden wird die Zeit als Stunden und Minuten angezeigt, danach als Tage und Stunden. Die Anzeige in Bild 4 zeigt beispielsweise ein Unterspannungserignis, ein Symbol, das vage an einen aus der Steckdose gezogenen Stecker erinnert, gefolgt von einem Abwärtspfeil. Die zweite Zeile zeigt an, dass das Ereignis vor einer Minute eingetreten ist, während die Netzfrequenz über dem Sollwert lag: Die Zeitangabe befindet sich links und das Balkendiagramm nimmt die rechte Seite der Zeile ein. Hätte die Frequenz unter dem

Sollwert gelegen, würde sich der Zeitpunkt des Ereignisses auf der rechten Seite des Balkendiagramms befinden.

Die Spannungsereignisse werden automatisch nach sieben Tagen gelöscht, die Frequenzereignisse nach zehn Minuten. Die Ereignisse können auch manuell gelöscht werden, indem man kurz auf die Taste *Kalibrieren* drückt. Die Software speichert das jüngste Ereignis im EEPROM. Dabei handelt es sich höchstwahrscheinlich um ein Niederspannungserignis. Wenn die Stromversorgung unterbrochen wird, sollten die Elektrolytkondensatoren auf beiden Seiten des 5-V-Reglers die Versorgung des Controllers für mindestens einige Millisekunden länger aufrechterhalten als die Versorgung der Frequenz- oder Spannungsmessungspins des Prozessors. Wenn die Versorgung dann für mehr als 500 ms einbricht, sollte dieses Ereignis noch erfasst und aufgezeichnet werden können. Wenn die Stromversorgung wiederhergestellt ist, wird dieses Ereignis dann auch angezeigt, wobei die Zeitmessung natürlich erst mit der Wiederherstellung der Stromversorgung beginnt.

## Kalibrierung

Der verwendete Controller besitzt einen internen Resonator. Dieser ist recht genau, aber wenn man versucht, Frequenzen bis hinunter in den Millihertz-Bereich zu messen, kann es zu gewissen Abweichungen kommen. Die Kalibrierung des Taktgebers erfolgt deshalb durch Hinzufügen eines kleinen Korrekturfaktors zum Timing, das durch Messung der Ein- und Ausschaltzeiten der von der Eingangswchselspannung abgeleiteten Impulse ermittelt wird. Der Korrekturfaktor wird im EEPROM gespeichert und muss nur einmalig eingestellt werden. Die Kalibrierung erfolgt durch Drücken und Halten des Reset/Kalibrierungstasters S1. Der anfängliche Kalibrierungswert wird einige Millisekunden lang angezeigt, dann beginnt der Wert schrittweise anzusteigen. Der Einstellbereich reicht von -99 bis zu +99, dann läuft der Wert über und kehrt zu -99

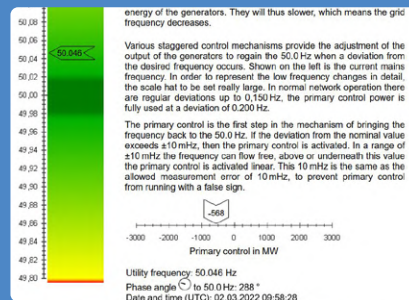


zurück. Ein einziger Einstellschritt addiert oder subtrahiert einen Wert, der  $\pm 250 \mu\text{Hz}$  (Mikrohertz!) entspricht, während der gesamte Einstellbereich knapp unter  $\pm 250 \text{ mHz}$  (Millihertz) liegt. Wenn Sie Zugang zu einem stabilen Signalgenerator haben, der eine Auflösung (und Genauigkeit) bis in den unteren Millihertzbereich bietet, können Sie diesen zur Kalibrierung verwenden. Dabei wird D4 entfernt und das Signal direkt an Pin 5 von IC2 eingespeist. Praktischer ist es, sich eine Nacht um die Ohren zu schlagen und die Zeit um 2 Uhr bis 3 Uhr in der Früh zur Kalibrierung zu nutzen, wenn die niedrigsten Lastspitzen zu erwarten sind und die Netzfrequenz mit großer Wahrscheinlichkeit auf dem Sollwert von 50 Hz (oder 60 Hz) liegt. Dies ist mein bevorzugter Ansatz, der am wenigsten zu Frustration führt (allerdings auch zu mangelnder Nachtruhe)! Wenn das Messgerät auf diese Weise eingestellt ist, empfehle ich, die Frequenz im Auge zu behalten und festzustellen, ob sie überwiegend über oder unter der Nennfrequenz liegt, und bei Bedarf langsame, kleine Anpassungen vorzunehmen, bis sie stimmt. Die Spannungsanzeige kann mit jedem einigermaßen genauen Multimeter kalibriert werden, wobei die Sicherheitsanforderungen für die Messung an der gefährlichen Netzspannung zu beachten sind. Wenn Sie sich die Messung hoher Spannungen nicht zutrauen, können Sie, wenn Sie schon einmal wach sind, auch die angezeigte Spannung mit dem Trimpoti so einstellen, dass der Wert der Sollspannung entspricht.

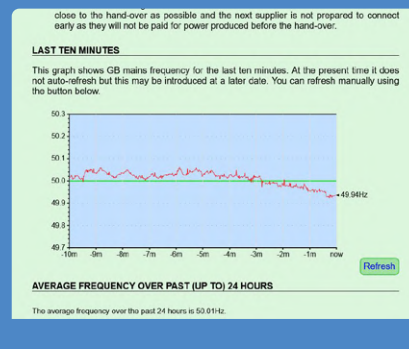
Auf Elektor Labs gibt es einige Kommentare zur Genauigkeit oder Relevanz der Werte bei Verwendung eines Controllers mit internem Resonator statt mit einem externen Quarz. Ich habe festgestellt, dass sich das Design in der Praxis bewährt hat. Vor Kurzem konnte ich meine eigene Version des Entwurfs von Dieter Laues bauen, der einen Quarz verwendet, und habe sowohl mein als auch sein Gerät einige Monate

## Netzfrequenz im Netz

Ohne einen eigenen Frequenzmesser kaufen oder bauen zu müssen, können Sie die momentane Netzfrequenz auch online verfolgen. Sie brauchen nur einen Suchbegriff wie „Netzfrequenz-Anzeige“ in Ihrer Suchmaschine anzugeben und schon erhalten Sie etliche Angebote von Energieversorgern und unabhängigen Stellen wie [5]. Meist finden sich dort auch interessante Hinweise zu besonderen Ereignissen im Europäischen Verbundnetz und weiterführende Informationen zum Beispiel zum Lastabwurf und Zuschaltung bei Unter- oder Überangebot.



Bei der Recherche zu diesem Artikel wurde auch eine Website gefunden, die im Vereinigten Königreich genau zu sein schien [6], aber sie aktualisiert sich nicht automatisch, so dass die Seite ständig aktualisiert werden muss, um den aktuellen Wert zu erhalten.



lang nebeneinander betrieben. Zu keinem Zeitpunkt hatte ich das Gefühl, dass ich meinen Oszillator auf einen Quarz umrüsten müsste. ◀

200312-02

## STÜCKLISTE

### Widerstände:

R1,R12 = 1k5  
R2,R4 = 47  $\Omega$   
R3 = 2k2  
R5,R8,R9,R10 = 10 k  
R6 = 3k3  
R7 = 47 k  
R11 = 10 k, Trimpoti, 10-Gang  
R13 = 10 k, Trimpoti

### Kondensatoren:

C1,C4,C6,C7 = 100 n  
C2,C3,C5,C8 = 470  $\mu$ , 25 V radial

### Halbleiter:

D1,D2 = 1N4007  
D3,D4,D5 = 1N4148  
T1 = BC547  
IC1 = 7805  
IC2 = PIC16F1825

### Außerdem:

S1 = Taster 1 x an  
DIS1 = Alphanumerisches LCD  
2 x 16 Zeichen



## PASSENDE PRODUKTE

- ▶ **SmartPi 3.0 Smart Meter für Raspberry Pi (Bundle) SKU 19953**  
[www.elektor.de/19953](http://www.elektor.de/19953)
- ▶ **PeakTech 2715 Digitaler LOOP/PSC Schleifentester SKU 19078**  
[www.elektor.de/19078](http://www.elektor.de/19078)
- ▶ **PeakTech 3445 Digitales True-RMS-Multimeter mit Bluetooth SKU 18774**  
[www.elektor.de/18774](http://www.elektor.de/18774)

## Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel haben, schicken Sie bitte eine E-Mail an die Elektor-Redaktion unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

## WEBLINKS

- [1] Dieter Laues, „Netzlupе – Frequenz im Fokus“, Elektor 01/2012: [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-201201/4001](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-201201/4001)
- [2] Projekt auf Elektor Labs: [www.elektormagazine.de/labs/electricity-grid-frequency-meter-v2](http://www.elektormagazine.de/labs/electricity-grid-frequency-meter-v2)
- [3] W. Roth, „Measuring Pulse Width To Sub-Microsec Resolution with PIC Capture & Compare“, Great Cow BASIC, 2015: <https://bit.ly/measuring-pulse-width>
- [4] Great Cow BASIC Compiler: <http://gcbasic.sourceforge.net/Typesetter/index.php/Home>
- [5] Netzfrequenzmessung online: [www.netzfrequenzmessung.de/index.htm](http://www.netzfrequenzmessung.de/index.htm)
- [6] Netzfrequenz UK online: <http://mainsfrequency.uk/fm-last10m>

# Kleines Induktivitätsmessgerät

Eine erschwingliche Lösung für Ihr Heimlabor



Von Philippe Le Guen (Frankreich)

Benötigen Sie ein Instrument zum Prüfen und Messen von Induktivitäten? Dieses Induktivitätsmessgerät ist eine erschwingliche Selbstbau-Alternative zu vielen der teure(re)n kommerziellen Lösungen.

Ein gutes Gerät zum Testen und Messen von Induktivitäten steht schon seit vielen Jahren auf meinem Laborgeräte-Wunschzettel, aber die Kosten für ein solches Gerät waren mir immer zu hoch. Deshalb habe ich beschlossen, selbst etwas zu bauen. Das hier vorgestellte kleine Gerät kann zwar nicht mit den komplexen kommerziellen Alleskönnern konkurrieren, sondern ist nur ein bescheidenes Induktivitätsmessgerät, das es mir ermöglicht, den Wert einer unbekanntenen Induktivität zu ermitteln. Es gibt viele solcher Selbstbauvorschläge im Internet, manchmal auf der Basis von Arduino.

Vor einigen Jahren entdeckte ich die Website von F. Kudelsko [1], auf der ein kleines, selbstgebautes Induktivitätsmessgerät beschrieben wird, das Induktivitäten von einigen zehn Nanohenry bis zu etwa 10 mH messen kann. Ein kleines Windows-Programm ruft den Wert der zu testenden Induktivität über USB ab und zeigt ihn an. Obwohl

ich diesen Ansatz recht interessant fand, war ich aber eher auf der Suche nach einem eigenständigen Gerät. Dennoch möchte ich dem Autor an dieser Stelle für die Weitergabe seiner Arbeit danken, auf der ich meinen Entwurf aufgebaut habe.

## Das Funktionsprinzip

Das Funktionsprinzip des Induktivitätsmessers ist recht einfach. Die unbekanntene Induktivität wird in einen LC-Oszillator einbezogen. Durch die Messung der Frequenz des Oszillators kann der Wert der unbekann-

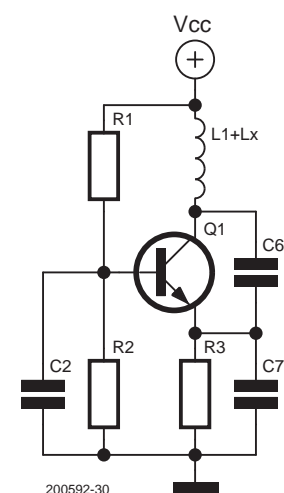


Bild 1. Ein LC-Schwingkreis bestimmt die Frequenz des Colpitts-Oszillators.

ten Induktivität bestimmt werden. Es gibt viele Möglichkeiten für einen LC-Oszillator. Hier wird ein Colpitts-Oszillator verwendet (**Bild 1**). In der Schaltung ist ein Transistorverstärker zu sehen (Q1), wobei der Eingang am Emitter und der Ausgang am Kollektor liegt. Ohne auf die Funktionsweise dieses Oszillators im Einzelnen einzugehen, wird seine Ausgangsfrequenz durch die Formel von Thomson (a.k.a. Lord Kelvin) bestimmt:

$$f = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$$

Nach Umformung erhalten wir:

$$L = 1 / (4\pi^2 f^2 C)$$

Dabei ist C der Wert der beiden in Reihe geschalteten Kondensatoren C6 und C7:

$$C = C6 \times C7 / (C6 + C7)$$

Der Wert dieser Kondensatoren ist bekannt, sogar recht genau: Ich habe die MKT-Typen mit 5 % Toleranz mit meinem Kapazitätsmessgerät zugunsten eines möglichst exakten Ergebnisses genau vermessen. Wir müssen nur C in die überarbeitete Formel einsetzen (zusammen mit der gemessenen Frequenz), um den Wert von L zu ermitteln.

## Das Schaltbild

Die Schaltung des Induktivitätsmessers ist in **Bild 2** dargestellt. Ich habe den PIC18F2550-Mikrocontroller des ursprünglichen Entwurfs durch einen PIC18F252 ersetzt, da ich keine USB-Schnittstelle zum Anschluss eines Computers benötigte.

Der Kondensator C5 wurde aus dem ursprünglichen Entwurf übernommen und hat nur einen leichten Einfluss auf die Oszillatorfrequenz. Mit C5 ist der in den Berechnungen zu verwendende C gegeben durch:

$$C = C5 + C6 \times C7 / (C6 + C7)$$

C5 sollte die gleiche Präzision und Qualität aufweisen wie C6 und C7. Mit meinen Bauteilwerten (und der durch das Relais kurzgeschlossenen Induktivität Lx) beträgt die theoretische Betriebsfrequenz des Oszillators 83,821 kHz (86,488 kHz mit idealen Bauteilen). Die Messung mit einem Oszilloskop ergab eine Frequenz von 88,652 kHz, was einer Abweichung von 5,4 % entspricht.

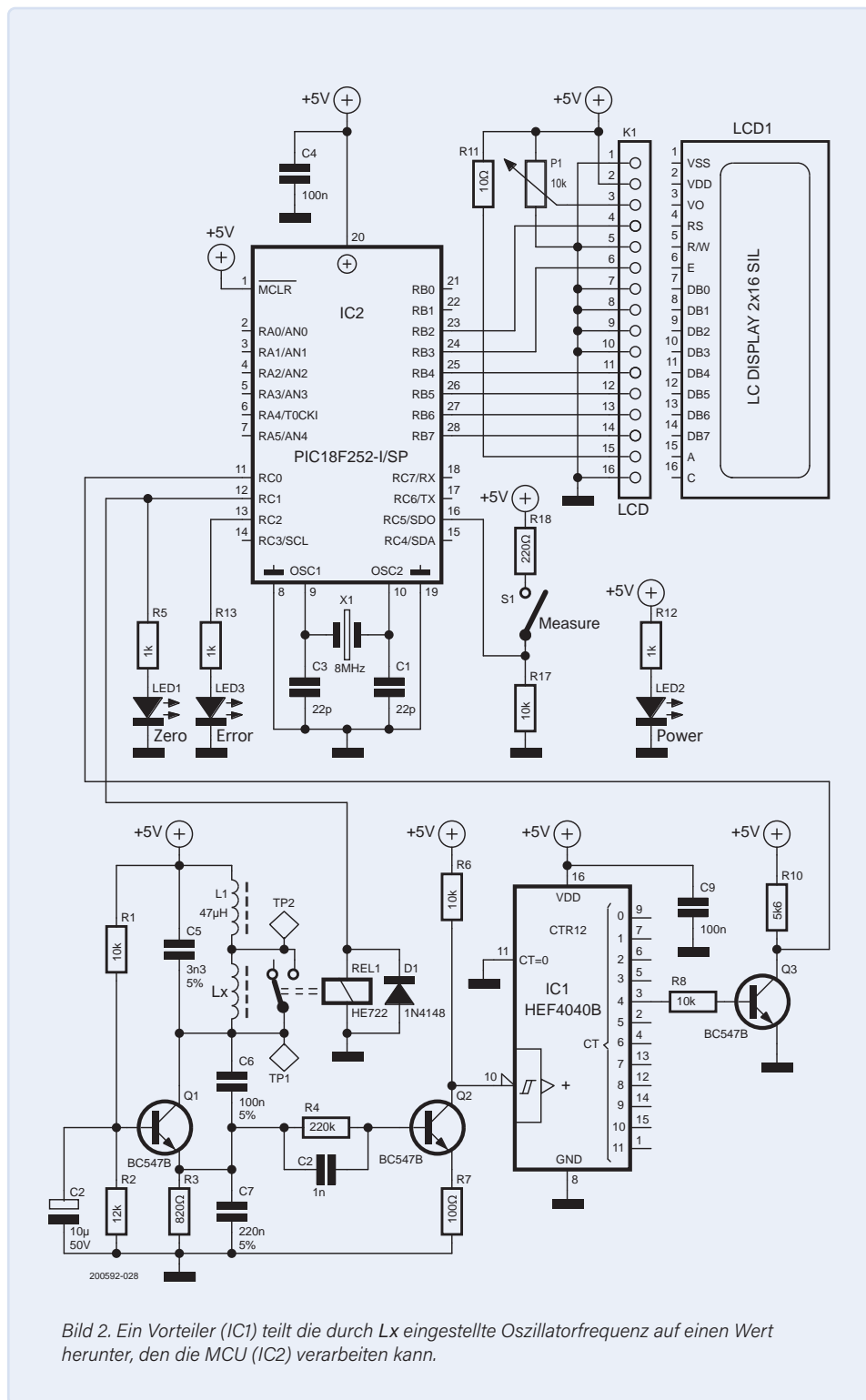


Bild 2. Ein Vorteiler (IC1) teilt die durch Lx eingestellte Oszillatorfrequenz auf einen Wert herunter, den die MCU (IC2) verarbeiten kann.

Alle Berechnungen werden von dem Mikrocontroller durchgeführt. Er misst die Frequenz des Oszillators über seinen Port RC0. Dazu ist es notwendig, die Frequenz auf für die MCU verarbeitbare Werte zu reduzieren. Ein Binärzähler 4040 (IC1) übernimmt diese Aufgabe und teilt hier die Ausgangsfrequenz um den Faktor 32. Ich habe für IC1 einen HEF4040B verwendet, weil ich diesen auf Lager hatte, aber ein 74HCT4040 funktioniert genauso gut.

## L1 und das Relais

Um den schnellen Start des Oszillators unabhängig vom Wert der unbekanntenen Induktivität Lx zu gewährleisten, wird eine weitere Induktivität L1 in Reihe mit der unbekanntenen geschaltet. Bei einer Messung

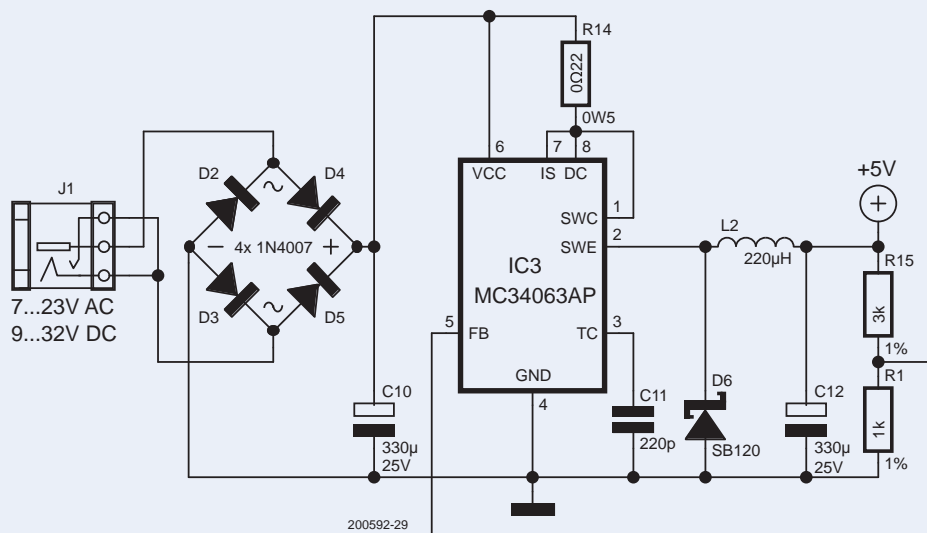


Bild 3. Der Schaltwandler erlaubt einen weiten Eingangsspannungsbereich.

wird die Frequenz des Oszillators natürlich durch beide Induktivitäten bestimmt, sodass die Software zunächst  $L_x$  kurzschließt und eine Nullreferenz ermittelt und speichert, um sie später von der Gesamtinduktivität abzuziehen. So wird nur der Wert von  $L_x$  angezeigt.

### Die Spannungsversorgung

Die Stromversorgung basiert auf einem MC34063 (IC3), einem schaltenden Abwärtsregler, der eine Versorgungsspannung von +5 V liefert (Bild 3). Die an den Eingang der Schaltung angelegte Spannung wird zunächst gleichgerichtet und dann durch den Kondensator C10 gepuffert, bevor sie zu IC3 gelangt. Durch den Brückengleichrichter D2..D5 kann das Gerät sowohl mit Wechsel- als auch Gleichspannung versorgt werden und um deren Polarität muss man sich gar nicht mehr kümmern. Auf diese Weise akzeptiert das Gerät 7 V<sub>AC</sub> bis 23 V<sub>AC</sub> oder 9 V<sub>DC</sub> bis 32 V<sub>DC</sub> an seinem Eingang. Die Arbeitsfrequenz des Schaltreglers beträgt etwa 30 kHz. Die Stromaufnahme der gesamten Schaltung beträgt nur 35 mA, kein Problem für dieses Netzteil, das einen maximalen Strom von 1,2 A liefern kann. Der Mittelstift der Niederspannungsbuchse weist einen Durchmesser von 2 mm auf, was die Verwendung vieler marktüblicher (Stecker-) Netzteile ermöglicht.

### Firmware

Ich habe ein kleines Programm in *mikroC* [2] entwickelt, das wie der ursprüngliche Entwurf die Messung einer beliebigen Induktivität ermöglicht und deren Wert (in nH, µH oder mH) auf dem LCD anzeigt. Die Auswahl des Messbereichs erfolgt automatisch. Die Messung des Wertes von  $L_x$  erfolgt in zwei Schritten:

1. Kalibrierungssequenz des Systems (Relais geschlossen, Bild 4).
2. Messsequenz mit Anzeige des berechneten Wertes.

Timer1 der MCU ist so konfiguriert, dass er bei der ersten steigenden Flanke von RC0 mit dem Zählen beginnt. Er zählt eine Sekunde lang (gesteuert durch Timer0), so dass der Wert von Timer1 die Frequenz des am Eingang anliegenden Signals darstellt. Jetzt kann der Controller alle notwendigen Berechnungen durchführen, um den Wert von  $L_1$  (Schritt 1) oder  $L_x$  (Schritt 2) zu bestimmen.

Das LCD zeigt immer an, was vor sich geht. Während des ersten

Schritts leuchtet zudem die gelbe LED (LED1, Zero) auf. Wenn die zu messende Induktivität nicht angeschlossen ist, wird die Meldung „no coil detected“ angezeigt und die rote LED (LED3, Error) leuchtet. Überprüfen Sie in diesem Fall, ob die Spule richtig angeschlossen ist, und starten Sie die Messsequenz durch einen Tastendruck erneut. Da das System vollautomatisch arbeitet, ist es einfach und bequem zu bedienen. Es muss lediglich kurz (etwa 0,5 s) der an RC5 angeschlossene Taster gedrückt werden, um den Vorgang bei Bedarf erneut zu starten. Auf dem Display erscheint ein Pfeil, der eine neue Messung anzeigt.

### Der Aufbau

Nachdem der Prototyp funktionierte, konnte ich eine doppelseitige Leiterplatte für das Messgerät entwerfen [2]. Die Platine sollte in ein Gehäuse des Typs MCRH3135 von Multicomp passen (Bild 5). Dem geschulten Auge ist vielleicht die geringe Größe der Pads aufgefallen. Die meisten von ihnen haben einen Durchmesser von nur 1,4 mm für ein 0,8 mm großes Loch. Ich empfehle daher dringend, einen guten LötKolben für die Montage der Bauteile zu verwenden oder die Platine anders zu bestücken.

Obwohl ich mein Bestes getan habe, um eine gute Platine zu entwerfen, gab es am Ende zwei Probleme, die ich nicht behoben mehr habe:

- Ich habe vergessen, die Abmessungen und die Form der Pads des Stromanschlusses J1 zu überprüfen. Wenn Sie das gleiche Modell wie ich verwenden, müssen Sie die Platine mit einem Dremel etwas nacharbeiten (Bild 6). Da der Stecker durch seine Lötverbindungen nicht mehr richtig gehalten wird, habe ich ihn (nach dem Löten) auf die Platine geklebt.
- Es gibt keinen ICSP-Anschluss für die In-Circuit-Programmierung des Controllers, was ziemlich unpraktisch ist, weil man jedes Mal den Controller aus seiner Fassung ziehen und auf ein Bread- oder Prototyping-Board stecken muss, um ihn neu zu programmieren.

Das LCD ist mit einer einreihigen 16-poligen Stift/Buchsenleiste verbunden und wird mit vier Nylon-Abstandshaltern (M3 × 10 mm) und passenden Schrauben und Muttern fest auf der Platine fixiert.

Die ICs sind in Fassungen montiert, die natürlich nicht unbedingt



Bild 4. Für die beste Genauigkeit wird jede Messung in zwei Schritten durchgeführt. Hier ist als Schritt 1 die Systemkalibrierungssequenz dargestellt.

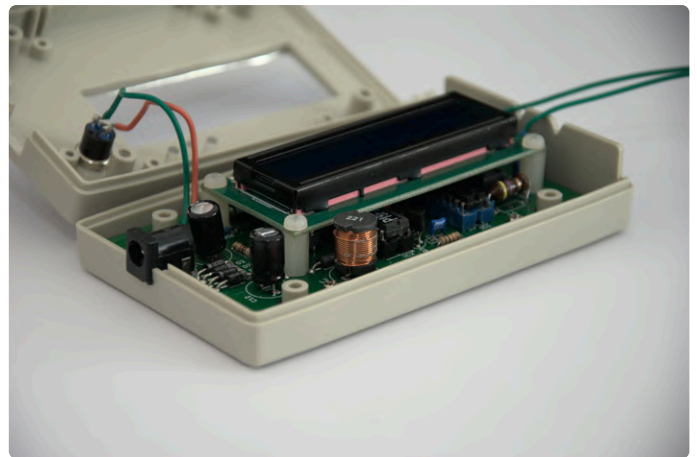


Bild 5. Die Platine für den Induktivitätsmesser passt genau in das Gehäuse.

notwendig sind (es sei denn, man möchte den Mikrocontroller umprogrammieren). Das Relais ist dagegen direkt auf die Platine gelötet, hauptsächlich um unerwünschte parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten zu vermeiden. Die drei LEDs sind fast bündig mit der Platine verlötet, ich habe Lichtleiter (Glasfaser) verwendet, um ihre Sichtbarkeit zu verbessern. Alternativ kann man die LEDs natürlich auch in einer passenden Höhe verlöten, so dass sie aus dem Gehäusedeckel schauen. Die vom Compiler erzeugte Binärdatei muss mit einem Programmiergerät wie dem PICkit3 in den Flash-Speicher des Mikrocontrollers programmiert werden.

Nachdem ich die Frontplatte mit dem kostenlosen *Front Panel Designer* [2][3] entworfen hatte, druckte ich sie mit meinem Laserdrucker auf eine selbstklebende Aluminiumfolie von 3M. Das Ergebnis ist sauber, aber es ist etwas knifflig, die Frontplatte richtig auszuschneiden und passgenau aufzukleben.

### Der Feinschliff

Ich empfehle, die Verbindungen zwischen dem Gerät und der zu prüfenden Induktivität  $L_x$  so kurz wie möglich zu halten, da sie aufgrund von parasitären Kapazitäten und Induktivitäten Fehler verursachen können. Meine Messleitungen sind 12 cm lange Litzen mit einer Querschnittsfläche von  $0,2 \text{ mm}^2$  und mit Haken an einem Ende. Wie bei jedem Messgerät sollte man das Gerät einige Minuten lang einschalten, um die Betriebstemperatur zu stabilisieren, bevor man Messungen vornimmt. ◀

200592-02

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter [pleguen@gmail.com](mailto:pleguen@gmail.com) oder kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

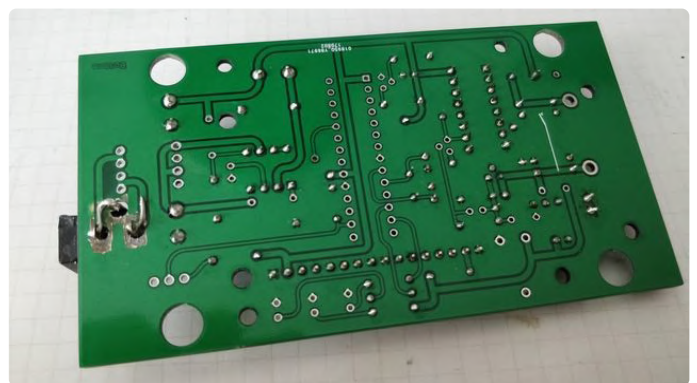


Bild 6. Errare humanum est! Die Platine musste etwas nachbearbeitet werden, damit die Buchse auf den falschen Footprint passte.



### PASSENDE PRODUKTE

- Elektor 2 MHz LCR-Meter Kit SKU 19883 [www.elektor.de/19883](http://www.elektor.de/19883)
- Miniware DT71 Mini Digital Tweezers SKU 19422 [www.elektor.de/19422](http://www.elektor.de/19422)
- T. Hanna, Mikrocontroller-Basics mit PIC (Elektor, 2020) (Buch SKU 19188): [www.elektor.de/19188](http://www.elektor.de/19188) 18946 (E-Buch SKU 18946): [www.elektor.de/18946](http://www.elektor.de/18946)

### WEBLINKS

- [1] DIY-Induktivitätsmesser (auf Französisch): [http://kudelsko.free.fr/inductance\\_usb/sommaire.htm](http://kudelsko.free.fr/inductance_usb/sommaire.htm)  
 [2] Dieses Projekt mit Downloads bei Elektor Labs: [www.elektormagazine.de/labs/autonomous-inductance-meter](http://www.elektormagazine.de/labs/autonomous-inductance-meter)  
 [3] Frontplatten-Designer: [www.frontpanelexpress.com/](http://www.frontpanelexpress.com/)

# Reiten auf der Schallwelle

Ein Blick auf das Makerfabs Acoustic Levitation Kit

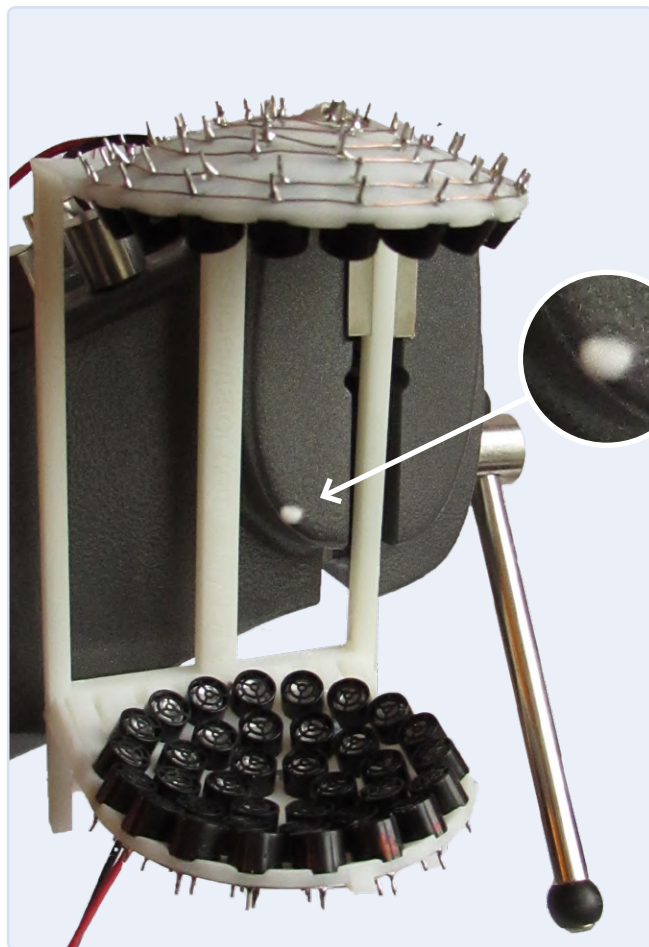
Von Luc Lemmens (Elektor)

Mit dem TinyLev-Projekt können Sie mit stehenden Ultraschallwellen experimentieren, um Objekte zum Schweben zu bringen. Das Makerfabs-Kit enthält alle Komponenten, die für den Bau eines eigenen akustischen Levitators nötig sind. Aber ist er wirklich so einfach zu bauen?

In den letzten Ausgaben von *Elektor* haben wir drei kleine und einfache Schaltungen für magnetische Levitation vorgestellt [1]. Es war dort zu lesen, dass es auch andere Methoden gibt, Objekte schweben zu lassen, zum Beispiel mit Schallwellen.

*Instructables.com* beschreibt ein an der Universität Bristol entwickeltes Hobby-Projekt, das Schallwellen von handelsüblichen Ultraschallwandlern verwendet, um kleinen Objekten scheinbare Schwerelosigkeit zu verleihen [2]. Das *Acoustic Levitator DIY Kit* von Makerfabs, das im Elektor-Store erhältlich ist, enthält alle Teile, die für den Bau dieses so genannten TinyLev-Projekts benötigt werden, und erspart Ihnen damit die Mühe, die Komponenten und Bauteile selbst zu suchen. Es enthält auch einen 3D-gedruckten Rahmen, der für den Bau des kompletten Geräts benötigt wird. Der Bausatz wird ohne Dokumentation geliefert, aber der Weblink im Elektor-Onlineshop führt uns zu der bereits erwähnten *Instructables*-Projektseite [3]. Sie ist voll von Anleitungen mit Text, Fotos und sogar Videos und führt Sie Schritt für Schritt durch den Aufbau des Bausatzes.

Auf dieser Webseite finden Sie auch (Links



zu) Hintergrundinformationen und Theorie zur akustischen Levitation. Das ist eine gute Lektüre, wenn Sie den TinyLev mehr als nur zur Spielerei bauen wollen. Kurz gesagt: Die Levitation beruht auf dem Stehwellenmuster von (in diesem Fall zwei) Arrays von Ultraschallwandlern, wobei jedes Array in einem gekrümmten, kugelförmigen „Reflektor“ angeordnet ist. Die richtige Form und Geometrie des Sockels mit den Reflektoren und die Positionierung der Wandler sind für den Levitationseffekt entscheidend. Auf der *Instructables*-Website stehen zwei 3D-Entwürfe zum Herunterladen und 3D-Drucken

dieser Basis für TinyLev zur Verfügung. Der Bausatz *Acoustic Levitator* von Makerfabs enthält aber ein gedrucktes Exemplar der ersten Version sowie den Halter, der auf die Basis geklebt werden muss, und ist sofort einsatzbereit.

## Das Wichtigste zuerst

Nachdem Sie den Bausatz auf Vollständigkeit überprüft haben (**Bild 1**), müssen Sie die richtige Polarität jedes einzelnen Ultraschallwandlers bestimmen (Schritt 4...6). Offenbar ist den Polaritätsangaben auf den Ultraschallwandlern prinzipiell nicht zu trauen, denn es

ist nicht so, dass die MakerFabs-Bausätze fragwürdige Komponenten enthalten! Bei insgesamt 72 Schallwandlern ist dies eine recht zeitaufwändige Angelegenheit. In der Anleitung werden zwei Methoden vorgestellt, darunter die Verwendung des Arduino Nano-Boards aus dem Makerfabs-Bausatz als minimalistisches „Oszilloskop“. Das Testen mit einem gewöhnlichen Digitalmultimeter ist aber wahrscheinlich die einfachste und schnellste Methode: Markieren Sie einfach die Polarität an den Wandlerpins auf Grundlage der Anzeige auf dem DMM, wenn die Messfühler angeschlossen sind. Meine DMMs mit automatischem Messbereich erwiesen sich hier jedoch als unbrauchbar. Man braucht nämlich ein Messgerät, das manuell auf den empfindlichsten Spannungsbereich umgeschaltet werden kann und sofort reagiert, wenn die Messfühler des Messgeräts an den Messwandler angeschlossen werden. Letztendlich habe ich deshalb die Arduino-Nano-Methode verwendet. Nehmen Sie sich dafür Zeit, denn ein einziger Fehler kann den Levitationseffekt verderben oder sogar ganz zunichtemachen. Es ist von größter Wichtigkeit, dass **alle** Wandler das Schallsignal in der gleichen Phase arbeiten.

### Die Schallwandler-Arrays

Nachdem alle Schallwandler markiert sind, können sie auf den 3D-gedruckten Rahmen geklebt werden. Die Anleitung auf Instructables empfiehlt Heißkleber, bei mir funktioniert das mit solch relativ kleinen Teilen wie diesen Schallwandlern nicht. Wenn du willst, dass ich meine Werkbank versae, gib mir eine Heißklebepistole... Ich habe stattdessen eine Tube Hobbykleber für Hartplastik verwendet. Doch was auch immer Sie verwenden, achten Sie darauf, dass alle Markierungen, die Sie auf diesen Teilen angebracht haben, in die gleiche Richtung zeigen: entweder alle zur Mitte oder alle zum äußeren Rand des Reflektors. Sie sollten bündig in die runden Aussparungen/Sockel im Sockel passen. Am Ende hatte ich einige Ersatzteile, denn vier Wandler wurden nicht benötigt, um den Rahmen vollständig auszufüllen (das heißt, es sind 76 Wandler im Bausatz). Zwei von ihnen werden möglicherweise für die Fehlersuche benötigt und können als Sensoren (Mikrofone) verwendet werden, um die Phase der Schallwelle von allen Wandlern einzeln zu überprüfen (falls etwas nicht funktioniert...).

Der nächste Schritt, Schritt 8 in der Anleitung, ist die Verkabelung der Schallwandler. Der Bausatz enthält ein Stück vielpoliger Litze mit aufgeschnittener Isolierung (**Bild 2**), von dem

jede einzelne Ader verwendet werden kann, um die Beine der Schallwandler in konzentrischen Kreisen miteinander zu verbinden. Die längeren roten und schwarzen Adern im Bausatz schließen die Verdrahtung der Basis ab, wobei die Wandler in zwei 36er-Reihen angeordnet sind. Die kürzeren Drähte werden für die Verdrahtung der Stromversorgung der Elektronik in Schritt 15 und Schritt 16 beiseite gelegt. **Bild 3** zeigt, wie die Verdrahtung eines der Reflektoren aussehen sollte.

### Andere Hardware und Software

In den folgenden Schritten müssen die anderen Verbindungen hergestellt werden: zwischen dem Arduino Nano und der Treiberplatine, der Verdrahtung zur Stromversorgung

und zwischen der Treiberplatine und der Basis mit den Schallwandlern. Der Arduino muss natürlich programmiert werden. Laden Sie also den Sketch *Nano\_TinyLev.ino* von der Instructables-Website herunter, kompilieren Sie ihn und laden Sie ihn mit der Arduino-IDE auf das Nano-Board.

Der Treiber ist ein standardmäßiger L298N-Doppelmotortreiber, der in diesem Fall die 40-kHz-Ultraschallsignale für die beiden Wandleranordnungen liefert. Die Herstellung dieser Verbindungen ist für den erfahrenen Tüftler (also auch für Sie) nicht schwierig: Folgen Sie einfach dem Text und den Fotos auf Instructables, die - zugegebenermaßen - an einigen Stellen etwas deutlicher hätten ausfallen können. Die Grundplatte, auf der die



Bild 1. Inhalt des Bausatzes.



Bild 2. Drähte für den Anschluss der US-Wandler.

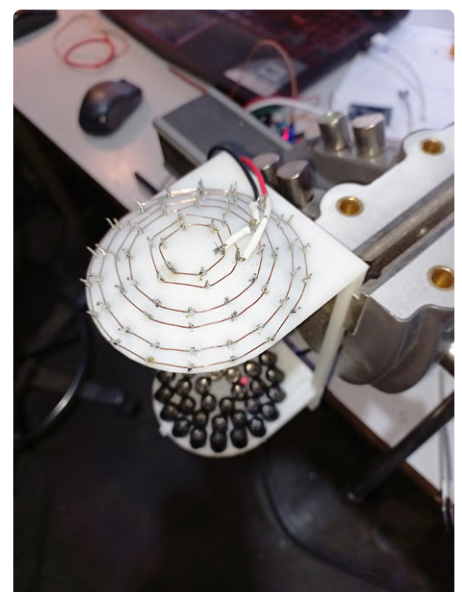


Bild 3. Die Verdrahtung eines der beiden Arrays.

Platinen und die Stromversorgung befestigt werden, ist nicht im Bausatz enthalten, aber ein mindestens 10 x 10 cm großes Stück Sperrholz ist ausreichend.

### Prüfen, prüfen, doppelt prüfen...

Es ist ratsam, die in der Anleitung beschriebenen Tests durchzuführen, bevor die Schallwandler angeschlossen werden, insbesondere zu prüfen, ob es in den Arrays Kurzschlüsse gibt, die wahrscheinlich die Treiberplatine beschädigen würden. Überprüfen Sie auch die Ausgangssignale der Treiberplatine mit einem Oszilloskop. Wenn Sie genügend Vertrauen in Ihre eigene Arbeit haben, also so gut wie sicher sind, dass alle Schallwandler korrekt angeschlossen sind und funktionieren, können Sie Zeit sparen und die individuelle Überprüfung (der Phase) aller Schallwandler überspringen. Das kann man immer noch nachträglich machen, denn wenn die Levitation nicht richtig funktioniert, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der Fehler in den Arrays liegt. Ich hatte viel Vertrauen in meine Arbeit und das erwies sich als gerechtfertigt: Es funktionierte auf Anhieb!

### Erste Experimente

Und dann ist es an der Zeit, mit allen möglichen „Dingen“ zu experimentieren, die man mit dem TinyLev schweben lassen kann. Ich habe allerdings nicht allzu viel Zeit darauf verwendet, sondern nur ein paar aufgerollte winzige Papierstücke, kleine Plastikperlen und Styroporkugeln ausprobiert, und diese konnte ich ziemlich leicht zwischen den Wandleranordnungen schweben lassen (siehe **Bild 4**). Auf der Instructables-Seite wird auch das Schweben von kleinen Insekten und Flüssigkeitstropfen beschrieben. Wenn Sie im Internet nach „TinyLev“ suchen, finden Sie viele andere Experimente mit diesem Projekt, die Sie vielleicht selbst ausprobieren möchten (oder die Sie auf neue Ideen bringen können).

### Schweben auf akustischen Wellen

Der Bau des TinyLev ist mit diesem *Akustik-Levigator-Kit* von MakerFab einfach zu bewerkstelligen. Alle wesentlichen Teile sind enthalten, und mit all den Informationen, die auf der Instructables-Website und in anderen Internetquellen zu finden sind, dürfte es relativ



Bild 4. Eine winzige Styroporkugel, die im TinyLev schwebt.

einfach sein, mit der akustischen Levitation zu experimentieren. Expecten Sie nicht, dass Sie den Bau innerhalb einer Stunde oder so abschließen können. Ich habe einige Zeit nur damit verbracht, die Wandler zu prüfen und zu markieren und die Arrays zu verlöten. Und beim Rest habe ich sogar einige Schritte übersprungen, die nicht unbedingt notwendig waren, um die Levitation auf meinem Labortisch zum Laufen zu bringen. Andererseits sollte man auch nichts überstürzen: Ein Fehler - vor allem bei den Wandleranordnungen - kann viel Zeit für die Fehlersuche und -behebung kosten! Wenn Sie es aber richtig gemacht haben, wird die harte Arbeit mit einem riesigen „Wow“-Gefühl belohnt, wenn das erste Objekt auf den akustischen Wellen des TinyLev reitet! ◀

220062-02

### Gut zu hören!

Wie der Name schon sagt, liegt die Frequenz des Ultraschalls oberhalb der menschlichen Hörgrenze. In diesem Fall handelt es sich um 40 kHz, also etwa eine Oktave höher als der höchste Ton, den wir wahrnehmen können. Im besten Fall hören wir ein Klicken oder ein kurzes Knistern, wenn wir den TinyLev einschalten, aber andere Lebewesen, zum Beispiel Ihre Haustiere, können es hören und möglicherweise stark darauf reagieren. Die Katzen des Autors scheinen sich nicht daran zu stören, aber sie reagieren ohnehin nur auf Geräusche, die mit Fressen zu tun haben.

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Wenden Sie sich an den Autor unter [luc.lemmens@elektor.com](mailto:luc.lemmens@elektor.com) oder an das Elektor-Team unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



**PASSENDES  
PRODUKT**

➤ **Makerfabs Acoustic Levitator DIY Kit**  
SKU 19984  
[www.elektor.de/19984](http://www.elektor.de/19984)

### WEBLINKS

- [1] Eric Bogers, „Powerful tractor beam suspends people ... at least in the future“, Elektormagazine.com: <https://bit.ly/3lzO7uu>
- [2] Akustischer Levitator auf Instructables: [www.instructables.com/Acoustic-Levitator/](http://www.instructables.com/Acoustic-Levitator/)



# Aller Anfang ...

## muss nicht schwer sein: Dioden als Gleichrichter

Von Eric Bogers (Elektor)

In der letzten Ausgabe von Elektor haben wir die Diode als ersten Vertreter der Halbleiterfamilie begrüßt, ein Bauteil, das aus der modernen Elektronik nicht mehr wegzudenken ist. Jetzt wollen wir uns mit Dioden in ihrer Funktion als Gleichrichter beschäftigen und sie berechnen. Schließlich können wir nicht einfach Teile zusammenlöten und hoffen, dass es funktioniert.

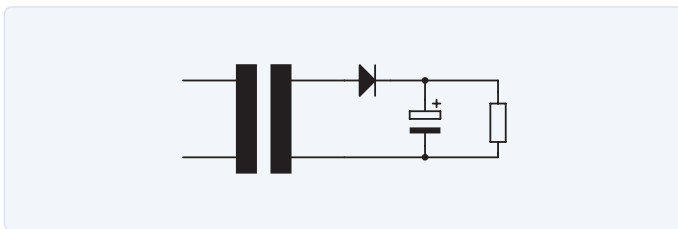
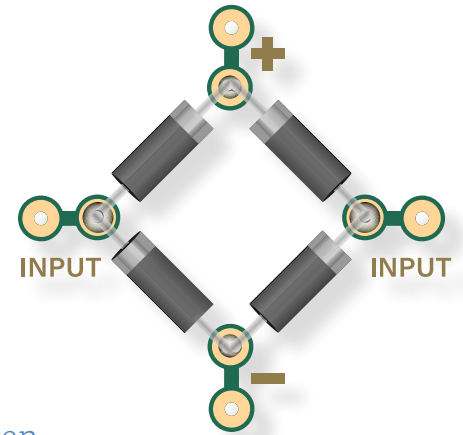


Bild 1. Der Einweggleichrichter.

Schauen wir uns zunächst den schon bekannten Einweggleichrichter an (**Bild 1**). Je größer die Kapazität des Elektrolytkondensators, desto weniger fällt die Spannung während der negativen Halbwelle der Wechselspannung ab, und je kleiner der Lastwiderstand (und damit der von der Last aufgenommene Strom größer), desto mehr fällt die Spannung während der negativen Halbwelle ab. Wir können dies in einer Formel ausdrücken:

$$U = \frac{Q}{C} \rightarrow \Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I \cdot T}{C} = \frac{I}{f \cdot C}$$

Wir haben dabei vorausgesetzt, dass der Strom durch die Last konstant ist. Nehmen wir nun an, wir haben einen 15-V-Transformator, einen Einweggleichrichter und eine Last mit einer Stromaufnahme von 1 A. Die vom Gleichrichter gelieferte Spannung soll von einem Spannungsregler-IC stabilisiert werden, das eine Mindesteingangsspannung von 18 V benötigt, um eine stabile Ausgangsspannung von 15 V liefern zu können (auf dieses IC werden wir in einer späteren Ausgabe zurückkommen). Zunächst müssen wir den Spitzenwert der Wechselspannung berechnen. In einer früheren Folge haben wir gesehen, dass für den Spitzenwert gilt:

$$U_{peak} = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

Der Einfachheit halber ziehen wir von dieser Spitzenspannung 0,7 V ab (das ist die Durchlassspannung der als Gleichrichter verwendeten Siliziumdiode):

$$U_{peak} = 15 \text{ V} \cdot \sqrt{2} - 0,7 \text{ V} = 20,5 \text{ V}$$

Wir haben das Ergebnis auf eine Dezimalstelle gerundet, was hier genau genug ist. Da das IC laut Datenblatt eine Eingangsspannung von mindestens 18 V benötigt, darf die Spannung während einer Periode um maximal 2,5 V abfallen. Wir schreiben die Formel für die Spannung über dem Kondensator um und fügen die Werte für Strom, Spannung und Frequenz hinzu:

$$\Delta U = \frac{I}{f \cdot C} \rightarrow C = \frac{I}{f \cdot \Delta U}$$

$$C = \frac{1 \text{ A}}{50 \text{ Hz} \cdot 2,5 \text{ V}} = 8000 \mu\text{F}$$

Der nächsthöhere Standardwert für den Kondensator wäre 10.000  $\mu\text{F}$ , ein für einen Strom von nur 1 A recht „sperriger“ Kondensator. Im Prinzip gibt es zwei Methoden, um einen niedrigeren Wert (und damit einen kleineren und billigeren Elko) zu erreichen:

- Man wendet Vollwellen- oder Brückengleichrichtung an, was bedeutet, dass der Kondensator doppelt so oft geladen wird.
- Wir erhöhen die Trafospannung und damit die Spannungsdifferenz zwischen Ein- und Ausgang des Spannungsreglers.

Auf die Brückengleichrichtung kommen wir gleich, zunächst soll es um die Erhöhung der Trafospannung gehen. Wenn wir statt der 15-V-Version im Beispiel einen 18-V-Transformator verwenden, messen wir an der Diode eine Spitzenspannung von etwa 24,7 V, und das bedeutet eine maximal zulässige Spannungsdifferenz von

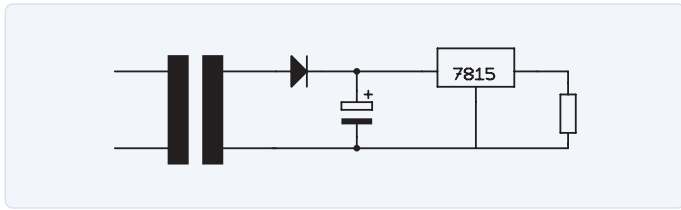


Bild 2. Einweggleichrichter mit Spannungsregler-IC.

6,7 V. Der Kondensator kann daher entsprechend kleiner gewählt werden: Der errechnete Wert liegt bei etwa 3000  $\mu\text{F}$  und die nächst größeren Standardwerte wären 3300  $\mu\text{F}$  und 4700  $\mu\text{F}$ .

Wie der berühmte niederländische Fußballphilosoph und Vizeweltmeister Johan Crujff einmal sagte, wohnt jedem Vorteil auch ein Nachteil inne: Diese Lösung bringt einen höheren Stromverbrauch und auch eine höhere Verlustleistung (Wärmeabgabe) des Spannungsreglers mit sich. Schauen wir uns dazu **Bild 2** an. Das Bauteil mit der Bezeichnung 7815 ist der Festspannungsregler. Uns interessiert vorerst nicht, wie dieses Ding funktioniert; entscheidend ist, dass dieses IC eine (in gewissen Grenzen) schwankende Eingangsgleichspannung in eine (fast) konstante Ausgangsgleichspannung umwandelt.

Für die Ausgangsleistung gilt in beiden Fällen (dem Beispiel mit dem 15-V-Transformator und dem Beispiel mit dem 18-V-Transformator) folgendes:

$$P_{out} = 15 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 15 \text{ W}$$

Die Verlustleistung im IC ist gleich der Differenz zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung multipliziert mit dem Strom (wie in vielen Fällen können wir auch hier die eigene Leistungsaufnahme des ICs vernachlässigen).

$$P_{loss} = (U_{in} - U_{out}) \cdot I = \left( \frac{U_{in(\min)} + U_{in(\max)}}{2} - U_{out} \right) \cdot I$$

$$P_{loss(15\text{V})} = \left( \frac{18 \text{ V} + 20,7 \text{ V}}{2} - 15 \text{ V} \right) \cdot 1 \text{ A} = 4,35 \text{ W}$$

$$P_{loss(18\text{V})} = \left( \frac{18 \text{ V} + 24,7 \text{ V}}{2} - 15 \text{ V} \right) \cdot 1 \text{ A} = 6,35 \text{ W}$$

Die Eingangsspannung des ICs ist nicht konstant; in diesem Fall verwenden wir das arithmetische Mittel aus der minimalen und maximalen Eingangsspannung (was für unsere Zwecke genau genug ist).

Durch die Erhöhung der Eingangsspannung steigt die Verlustleistung im Spannungsregler um etwa 50 % - das ist eine Menge überschüssiger Wärme, die abgeführt werden muss. Die Tatsache, dass der Transformator nun 22 W statt 20 W liefern muss (einschließlich der Verluste in der Diode und im Spannungsregler), spielt eigentlich keine Rolle, es sei denn, wir sind dadurch gezwungen, einen etwas größeren Transformator zu verwenden.

## Der Vollwellen- oder Brückengleichrichter

Wir haben den Vollwellengleichrichter, üblicherweise Brückengleichrichter oder selten Graetz-Schaltung genannt, in **Bild 3** schematisch dargestellt. Dank der ausgeklügelten Schaltung mit vier Dioden werden nun beide Halbperioden der sinusförmigen Wechselspannung am Eingang genutzt. Während der positiven Halbperiode fließt der Ladestrom für den Elektrolytkondensator durch die Dioden oben rechts und unten links, während der negativen Halbperiode durch die Dioden unten rechts und oben links. Der Vorteil ist, dass der Elektrolytkondensator doppelt so oft aufgeladen wird und daher (grob geschätzt) nur etwa halb so „dick“ sein muss. Daraus ergeben sich die Spannungskurven in **Bild 4**: oben die Eingangsspannung, in der Mitte die Spannung über der Last ohne den Kondensator und unten die Spannung über dem Kondensator.

Für die Spannungsänderung über dem Pufferkondensator des Brückengleichrichters gilt folgendes:

$$\Delta U = \frac{I}{2 \cdot f \cdot C}$$

Berechnen wir nun unser früheres Beispiel für einen Brückengleichrichter (mit 15-V-Transformator). Durch den zusätzlichen

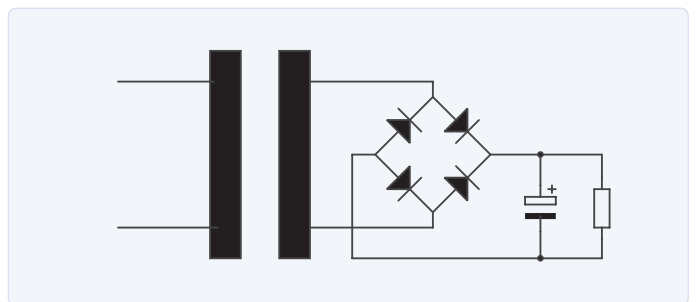


Bild 3. Der Vollwellen- oder Brückengleichrichter.

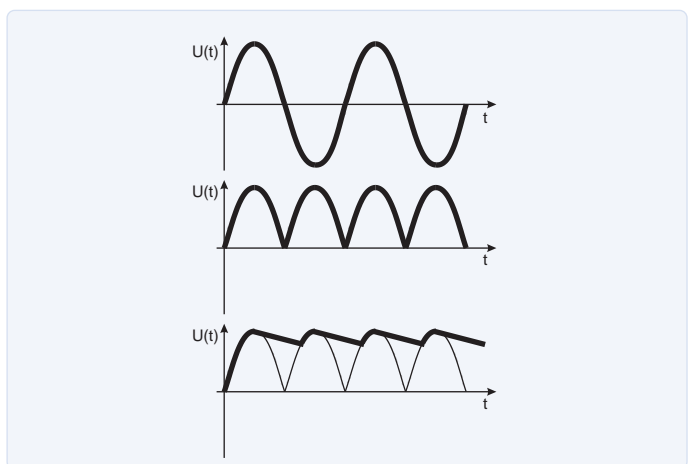


Bild 4. Spannungskurven beim Brückengleichrichter.

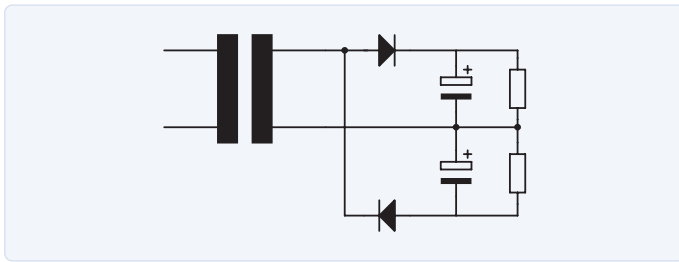


Bild 5. So erzeugen wir eine symmetrische Versorgungsspannung.

Spannungsabfall an der zweiten Diode ergibt sich nun eine Spitzenspannung von:

$$U_{peak} = 15\text{ V} \cdot \sqrt{2} - 1,4\text{ V} = 19,8\text{ V}$$

Daraus ergibt sich ein Wert für den Elektrolytkondensator von:

$$C = \frac{1\text{ A}}{2 \cdot 50\text{ Hz} \cdot 1,8\text{ V}} = 5500\ \mu\text{F}$$

Der nächst größere, aber schlecht erhältliche Standardwert wäre 6800  $\mu\text{F}$ , so dass meist ein Elektrolytkondensator von 10.000  $\mu\text{F}$  verwendet werden muss. Bei einer Trafospaltung von 18 V ergibt sich ein rechnerischer Wert von 1700  $\mu\text{F}$  und ein Standardwert von 2200  $\mu\text{F}$ , der deutlich kleiner ist. Was unsere ursprüngliche Erwartung betrifft, dass der Pufferkondensator nur halb so groß sein ausfallen könnte, wird durch die verdoppelte Durchlassspannung der Gleichrichterdioden wieder zunichte gemacht.

Es ist klar, dass der Strom durch die Last eine entscheidende Rolle spielt: je größer der Strom, desto größer der Kondensator. Das ist der Grund, warum man in der Stromversorgung schwerer Audio-Leistungsverstärker oft eine große Anzahl großer Elektrolytkondensatoren findet.

### Symmetrische Versorgungsspannung

Für Schaltungen mit Operationsverstärkern (Opamps) wird oft eine symmetrische Versorgungsspannung benötigt, das heißt, eine gleiche positive und negative Spannung in Bezug auf die gemeinsame Masse. Im Prinzip kann man dies mit zwei Transformatoren (oder mit einem Transformator mit zwei Sekundärwicklungen) und zwei Gleichrichtern erreichen.

Es geht auch einfacher: Man kann aus einer einzigen Wechselspannung eine positive und eine negative Gleichspannung ableiten, wie in **Bild 5** dargestellt. Dabei kommen zwei Einweggleichrichter zum Einsatz, von denen einer die positiven Halbperioden der sinusförmigen Eingangswchselspannung und der andere die negativen Halbwellen verarbeitet. Für die Berechnung der Elektrolytkondensatoren gelten die gleichen obigen Gleichungen wie für „normale“ Einweggleichrichter.

Allerdings erfordert die Größe des Transformators nun etwas mehr Aufmerksamkeit. Angenommen, wir benötigen eine symmetrische Versorgungsspannung von  $\pm 15\text{ V}$  für einen Strom von 1 A und diese Spannungen werden durch Spannungsregler stabilisiert. Der

Transformator muss mindestens 20 W liefern können (1 A bei einer Spitzenspannung von etwa 20 V) - und zwar für jede Halbwellen! Insgesamt muss der Transformator also mindestens 40 W liefern können.

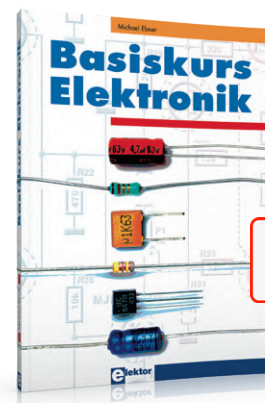
Das war's für dieses Mal. In der nächsten Folge werden wir Spannungen multiplizieren. ◀

220169-02

Die Artikelreihe „Aller Anfang ...“ gründet auf dem Buch „Basiskurs Elektronik“ von Michael Ebner, erschienen im Elektor-Verlag.

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Senden Sie eine E-Mail an die Redaktion unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



### PASSENDE PRODUKTE

- **Ebner, Michael, „Basiskurs Elektronik“**  
[www.elektor.de/basiskurs-elektronik-pdf](http://www.elektor.de/basiskurs-elektronik-pdf)
- **B. Kainka, Elektronik-Grundlagen und Einsteiger-Projekte (E-Book), Elektor 2020**  
[www.elektor.de/elektronik-grundlagen-und-einsteiger-projekte-pdf](http://www.elektor.de/elektronik-grundlagen-und-einsteiger-projekte-pdf)

### WEBLINK

- [1] E. Bogers und M. Ebner, „Aller Anfang muss nicht schwer sein: Willkommen bei der Diode“, Elektor 5-6/2022: [www.elektormagazine.de/220003-02](http://www.elektormagazine.de/220003-02)

# E-FFWD

Der Blick wieder nach  
vorn gerichtet!

Gemeinsam mit der Messe München und der gesamten Branche freut sich Elektor auf eine gut besuchte electronica 2022 im November. Von allen Seiten spüren wir das Bedürfnis, sich wieder einmal persönlich zu treffen, und das gilt vielleicht am meisten für die kreativen Innovatoren, die die Säulen des jährlichen electronica fast forward awards (e-ffwd) sind!



So sehr wir uns auch bemühen, nicht direkt über COVID zu sprechen, jetzt, da wir endlich wieder etwas mehr wagen können, ist es natürlich unvermeidlich, die Auswirkungen der Pandemie auf den kommenden e-ffwd zu berücksichtigen. Wir sind stolz darauf, dass wir keine Ausgabe des *fast forward awards* haben absagen müssen. Aber nach einer digitalen Version im Jahr 2020 und der letztjährigen *productronica*-Veranstaltung, die noch stark von Reisebeschränkungen betroffen war, dürfte klar sein, dass wir in diesem Jahr eine größere Wirkung erwarten.

Daher blicken wir mit großer Spannung auf die Veranstaltung im Herbst 2022 während der größten Elektronikmesse der Welt, die ab dem 15. November in München stattfindet. Es verspricht eine großartige Veranstaltung zu werden, die sowohl die Messe selbst (fast alle großen Player haben ihre Teilnahme angekündigt) als auch den *electronica fast forward*, die Start-up-Plattform von *electronica* und *Elektor*, umfassen wird. Mit einer führenden Rolle für innovative Start-ups und Scale-ups auf einer Standfläche von nicht weniger als 273 m<sup>2</sup> werden wir den Platzmangel der letzten Jahre mehr als wettmachen!

Im Jahr 2022 wird es noch viel mehr zu entdecken geben, denn wir werden nicht nur innovativen Konzepten in ihrer Anfangsphase eine Bühne geben, sondern auch Akteuren, die bereits die ersten Hürden auf ihrem unternehmerischen Weg genommen haben.

### Die Besten der Besten

In diesem Jahr wollen wir wirklich die „Crème de la Crème“ der Start-ups ausfindig machen und ihnen ein Podium bieten. Wir konzentrieren uns auf interessante und innovative Unternehmer mit viel Überzeugung und Mut. Um sie zu finden, gehen wir im Jahr 2022 noch weiter. Neben dem jährlichen Aufruf über die Kanäle der Messe München und von *Elektor* betreiben wir auch international aktives Scouting über Branchenkooperationen, Plattformen wie

Kickstarter, Indiegogo und Crowd Supply sowie über internationale Publikationen.

Wir suchen nach Start-ups und Scale-ups in verschiedenen Phasen des frühen Unternehmertums. Mit einigen aufstrebenden Talenten und bis zu drei Unternehmen, die bereits erste Geschäftserfolge erzielt haben, verspricht der e-ffwd 2022 eine Kombination aus Inspiration und Anspruch zu werden.

Wie jedes Jahr lädt *Elektor* die interessantesten und inspirierendsten Unternehmer, Menschen und Produkte ein, sich am e-ffwd-Stand vor der gesamten Branche zu präsentieren und ihre Geschichten zu erzählen.

Mit monatlichen Artikeln und Online-Videos in den vielsprachigen *Elektor*-Zeitschriften, in E-Zines und auf unseren Sozialen

Kanälen werden potentielle Kandidaten vorgestellt. Eine öffentliche Abstimmung über die interessantesten Geschichten wird mit einer Jurybewertung kombiniert, um zu entscheiden, wer nach München eingeladen wird. Der diesjährige e-ffwd ist also „invite only“, aber gewichtet. Den Gewinnern winkt ein Preisgeld von insgesamt 150.000 € in Form von Marketing und einer der begehrten Einladungen zur *electronica 2024*. So können sich alle Interessierten auch bei der nächsten Ausgabe der weltgrößten Elektronikmesse mit eigenen Augen von der Entwicklung überzeugen.

### Hochschulteams

Neu im Jahr 2022 ist der Plan, auch ein studentisches Team einer technischen Hochschule einzuladen. Viele Universitäten nehmen mit erstaunlich ehrgeizigen Projekten an weltweiten Wettbewerben teil (die oft auch von unserer Industrie gesponsert werden). In den letzten Jahren gab es viele großartige Entwicklungen, die zum Teil noch nicht die Aufmerksamkeit erhalten haben, die sie verdienen. Ihnen wollen die Messe München und *Elektor* deshalb mit dem Comeback der *electronica 2022* eine Plattform bieten!

Unser Team sucht wieder einen hochkarätigen Gast aus der internationalen Bildungslandschaft. Natürlich laden wir auch unsere eigene Community ein, mit nachzudenken und vorzuschlagen. Dies kann über unsere spezielle *Fast-forward-2022-Website* geschehen. Natürlich können sich die Teams auch selbst anmelden. Bildungseinrichtungen nehmen zwar nicht am e-ffwd-Wettbewerb teil, aber es gibt natürlich keinen besseren Ort, um die Ergebnisse harter Arbeit der gesamten internationalen Branche zu zeigen, von der jeder Student träumt, ein Teil zu werden!

### Ambitionen

Es ist klar, dass die Ambitionen bei dem *electronica fast forward award 2022* hochgesteckt sein werden, vor allem natürlich der engagierten Start-up-Unternehmer und der beteiligten Studenten. Aber auch die e-ffwd-Organisation hat den Ehrgeiz, diese Ausgabe zur bisher besten zu machen. Die Messe München hat einen beeindruckenden Stand in der Mitte der Halle B4, direkt neben dem Forum, zur Verfügung gestellt, auf dem sich jedes studentische Team, Start-up oder Scale-up präsentieren kann. Und *Elektor* wird alle Medien nutzen, um den diesjährigen Gästen des *fast forward awards* einen Marketingschub zu geben.

Die Organisation lädt Industriepartner herzlich ein, an dieser besonderen Ausgabe des *fast forward awards* teilzunehmen. Zeigen Sie Ihre Unterstützung für die Zukunft unserer Branche und werden Sie Sponsor dieser einzigartigen Veranstaltung. Bitte kontaktieren Sie das Team unter [fastforward@elektor.com](mailto:fastforward@elektor.com) oder fragen Sie Ihre direkten Ansprechpartner nach den Möglichkeiten.



# Erste Schritte mit dem Oszilloskop

Finden Sie den Weg durch den Knopf-und-Tasten-Dschungel

Von Clemens Valens (Elektor)

Wenn Sie schon eine Weile mit Elektronik zu tun haben und Ihre Projekte ernsthafter werden, ist es wahrscheinlich, dass Sie ein Oszilloskop brauchen. Ein Oszilloskop ist ein Messgerät, das die Entwicklung einer oder mehrerer Spannungen über der Zeit anzeigt. Aber wie wählt man ein geeignetes Oszilloskop aus? Und wie benutzt man es?

Natürlich haben Sie bereits in ein Multimeter investiert, das ist toll, aber ein Oszilloskop kann Dinge tun, die ein Multimeter vor unlösbare Aufgaben stellt. Oszilloskope sind zudem viel komplexere Geräte als Multimeter, so dass es etwas Zeit und Übung braucht, um das Beste aus ihnen herauszuholen.

## Was brauchen Sie?

Früher waren Oszilloskope teuer, aber heute sind die Preise so weit gesunken, dass sich fast jeder eines leisten kann. Für die meisten Anwendungen von Bastlern, Tüftlern und Makern ist ein einfaches Oszilloskop mehr als ausreichend. Wenn Sie sich für Arduino- oder Raspberry-Pi-Projekte oder den Bau und die Reparatur von Audioverstärkern, Musikinstrumenten oder Gitarreneffekten interessieren, müssen Sie wirklich nicht in ein vier- oder noch-mehr-kanaliges Oszilloskop mit Hunderten von Megahertz Bandbreite und vielen Gigasamples Speicher investieren. Ein Zweikanal-Oszilloskop mit 20 MHz bis 50 MHz Bandbreite ist völlig ausreichend (Bild 1).

## Bitte nicht zu klein!

Auch wenn es verlockend erscheint, empfehle ich nicht, Geld für diese billigen kleinen DIY-Oszilloskop-Kits auszugeben, die Sie vielfach im Netz finden können (Bild 2). Sie bieten einfach nicht den Komfort und die Funktionen selbst

eines preisgünstigen, aber echten Tischoszilloskops. Sie sind vielleicht als Zweitoszilloskop praktisch, wenn man reist oder wirklich wenig Platz hat, aber das ist wahrscheinlich auch schon alles, wofür sie gut sind. Ich möchte, dass mein Oszilloskop dort bleibt, wo es ist, wenn ich an einem eingesteckten Messkabel ziehe, und es muss Knöpfe und Tasten haben, die ich schnell finden kann. Ein Oszilloskop ohne Knöpfe für die horizontale und vertikale Achse ist für mich kein echtes Oszilloskop.

## Oszilloskope ohne Display

Natürlich gibt es auch Oszilloskope ohne Display mit ausgezeichneten Eigenschaften (Bild 3), aber sie erfordern ein Tablet oder einen Computer und eine Maus. Solche Geräte eignen sich gut für Fernmessungen, zur Dokumentation oder zur ständigen Überwachung, zur Datenprotokollierung und Nachbearbeitung (oder für sehr präzise Aufgaben, die viel Tüftelei erfordern). In meinem Labor wird der Computer benötigt, um einen Schaltplan anzuzeigen, eine Firmware zu ändern, Datenblätter zu lesen und im Internet zu recherchieren. Ich möchte nicht, dass er auch noch ein Oszilloskop ist. Und ich möchte keinen zweiten Computer, weil er zu viel Platz auf dem Schreibtisch einnimmt. Und natürlich, weil ich echte Knöpfe zum Anfassen haben möchte.





## DSO, MSO, Analog?

Die heutigen Oszilloskope sind digital und werden DSO genannt, was für *Digital Storage Oscilloscope* steht. In der Vergangenheit waren Oszilloskope analog. Analoge Oszilloskope sind sperrig und in ihren Möglichkeiten begrenzt, und man braucht sie nur, wenn man ganz besondere Anforderungen hat. Es gab auch schon Hybrid-Oszilloskope, die beides konnten, aber auch von denen wollen Sie nicht wirklich etwas wissen. Verwechseln Sie diese Oszilloskope übrigens nicht mit den so genannten Mixed-Signal-Oszilloskopen oder MSOs, denn das sind DSOs mit speziellen Funktionen für digitale Signale und Kommunikationsbusse und so weiter.

## Schalten wir es ein!

Da Sie nun ein wenig mehr über Oszilloskope wissen, können Sie jetzt lernen, wie man eines benutzt. Wenn Sie schlau waren und ein preiswertes Gerät gekauft haben, dürfte es nicht allzu viele Funktionen besitzen, so dass der Einstieg einfach ist.

Wie eingangs erwähnt, zeigt ein Oszilloskop die zeitliche Entwicklung einer Spannung, eines „Signals“, in Form eines zweidimensionalen Graphs in der Mitte des Bildschirms an. Beach-

ten Sie, dass ich „Spannung“ und nicht „Strom“ geschrieben habe. Ein Oszilloskop ist nämlich nichts anderes als ein ausgefuchstes Voltmeter.

## Die Bereiche der Hauptsteuerung

Da ein Oszilloskop Signale als Graphen anzeigt, verfügt es über Bedienelemente zur Einstellung der horizontalen und der vertikalen Achse des Graphen. Bei allen modernen Oszilloskopen, die ich kenne, sind die Bedienelemente eines Abschnitts mit der Bezeichnung *Horizontal* und eines Abschnitts mit der Bezeichnung *Vertical* zusammengefasst (**Bild 4**). Der horizontale Bereich wird auch als Zeitbasis (*Time Base*) bezeichnet, da die horizontale Achse normalerweise die Zeit darstellt.

Dann gibt es noch einen dritten Bereich mit der Bezeichnung *Trigger*. Dies ist wahrscheinlich der wichtigste Abschnitt, da er bestimmt, wie und wann ein Signal angezeigt wird. Meist ist es zwar einfach, das zu messende Signal auf dem Bildschirm anzuzeigen, indem man die horizontale und vertikale Achse entsprechend einstellt, aber das Oszilloskop dazu zu bringen, nur den Teil des Signals anzuzeigen, an dem man interessiert ist, kann viel schwieriger sein. Die Trigger-Sektion gibt Ihnen die

Kontrolle darüber und es ist daher wichtig zu verstehen, was und wie der Trigger tut.

## Vertical

Doch zuerst wollen wir uns den Bereich *Vertical* ansehen. In diesem Bereich können Sie die Eingangsspannung oder das Eingangssignal verstärken oder abschwächen, also die Amplitude des Signals einstellen und es nach oben oder unten verschieben. Dies kann unabhängig für jeden Eingangskanal geschehen. In der Sprache der Oszilloskope wird ein Signal übrigens auch als *Trace* bezeichnet. *Single-Trace* bedeutet ein Signal oder einen Kanal, *Dual-Trace* bedeutet zwei, und so weiter.

## XY-Modus

Ein weiterer Punkt, der für Verwirrung sorgen kann: Die Eingangsanschlüsse werden nicht nur mit Kanal 1 und Kanal 2, sondern manchmal auch als X und Y bezeichnet (**Bild 5**). Dies bezieht sich auf einen speziellen Betriebsmodus des Oszilloskops, bei dem die horizontale Achse nicht die Zeit anzeigt, sondern den Spannungsverlauf am X-Eingang. Mit dieser Betriebsart werden die berühmten Lissajous-Figuren erzeugt, die so gerne in alten Science-Fiction-Filmen gezeigt wurden. Wir

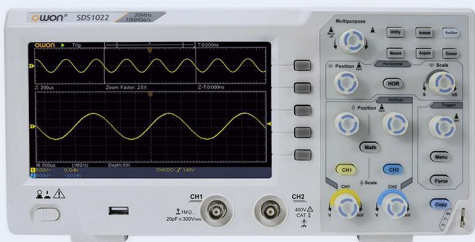


Bild 1. Für die meisten Messaufgaben ist ein einfaches Zweikanal-Oszilloskop mit 20...50 MHz ausreichend.



Bild 4. Die drei wichtigsten Steuerbereiche eines jeden Oszilloskops: Vertical, Horizontal und Trigger.



Bild 5. Die Eingänge X und Y werden im XY-Modus verwendet und ermöglichen beispielsweise die Darstellung von Lissajous-Figuren.



Bild 2. Miniatur-Oszilloskope sind nicht besonders praktisch, auch wenn sie irgendwie cool aussehen.



Bild 3. Ein Oszilloskop ohne Display spart Platz auf der Werkbank. Oder doch nicht? Für die Anzeige der Signale ist nämlich ein Computermonitor oder ein Tablet erforderlich.

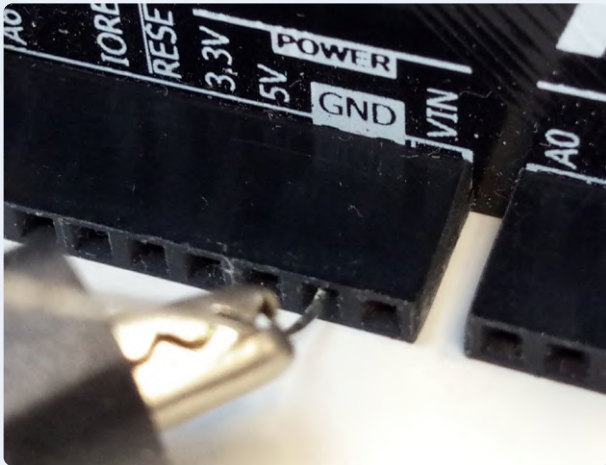


Bild 6. Schließen Sie die Krokodilklemme des Tastkopfs an GND (Masse) an, vorzugsweise so nah wie möglich am interessierenden Signal. Wenn das nicht geht, ist aber oft auch „irgendwo“ ok.

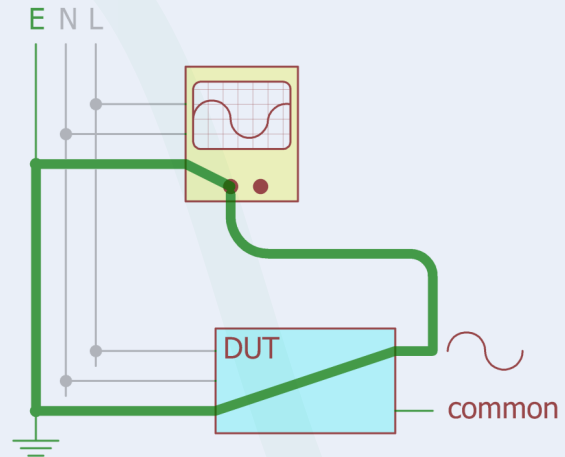


Bild 7. Denken Sie immer daran, dass ein Oszilloskop mit der Erde verbunden sein kann. Dann kann es zu Kurzschlüssen kommen, wenn die Krokodilklemme des Tastkopfs an etwas anderem als Masse angeschlossen wird.

werden den XY-Modus in diesem Artikel nicht erläutern; für uns stellt die horizontale Achse immer die Zeit dar.

### Anschließen des Tastkopfs

Schließen Sie einen Tastkopf an einen der Kanal-Buchsen an, nicht an *Ext*, *Trigger*, *Aux* oder *Z*. Beachten Sie, dass Tastköpfe oft einen kleinen Schalter besitzen, mit dem Sie zwischen 1:1 und 10:1 wählen können. Dabei handelt es sich um eine zusätzliche Abschwächung, die es ermöglicht, große Signale an den Eingangsspannungsbereich des Oszilloskops anzupassen oder die Genauigkeit von Messungen empfindlicher Signale zu verbessern. Manche Leute verwenden immer den 10:1-Dämpfungsmodus, und es gibt Sonden, die nur im 10:1-Modus arbeiten. Andere Verhältnisse wie 1.000:1 sind ebenfalls erhältlich. Tastköpfe werden deshalb auch als *1x* und *10x* bezeichnet, wobei das „x“ für die Abschwächung und nicht für die Verstärkung steht. Oft ist es möglich, dem Oszilloskop mitzuteilen, welche Art von Tastkopf Sie verwenden, so dass es automatisch die Skalierung entsprechend anpasst.

Bevor Sie die Spitze des Tastkopfes an das zu prüfende Signal anschließen, verbinden Sie zunächst die Krokodilklemme des Tastkopfes mit der Erdungsreferenz des zu prüfenden Schaltkreises. In der Regel sollte die Krokodilklemme so nahe wie möglich am Signal angeschlossen werden, doch in vielen Fällen spielt das keine große Rolle: Hauptsache, die Klemme ist irgendwo mit Masse verbunden (Bild 6). Es kann sogar praktisch sein, nur für den Masseanschluss die Krokodilklemme einer zweiten Sonde zu verwenden, so dass

Sie die Krokodilklemme von der eigentlichen Messsonde entfernen können, damit sie beim Messen nicht störend herunterbaumelt.

### Ein Wort zur Erdung

Beachten Sie, dass die Masse der zu untersuchenden Schaltung nicht zwangsläufig die Masse des Oszilloskops sein muss, sondern eine beliebige Spannung oder ein beliebiges Signal im Stromkreis sein kann, aber sie muss für jeden Kanal gleich sein. Beachten Sie aber auch, dass die Tastkopfmasse in der Regel mit der Masse des Oszilloskops verbunden ist, die wiederum mit der Netzspannungsmasse (Schutzleiter) verbunden sein kann. Wenn Sie also die Tastkopfmasse mit etwas anderem als der Masse verbinden, kann es zu Kurzschlüssen und gefährlichen Situationen kommen (Bild 7). Schließen Sie daher die Krokodilklemme immer an Masse an, es sei denn, Sie wissen genau, was Sie tun.

### Horizontal oder Timebase

Mit dem Drehknopf im Abschnitt *Horizontal* können Sie die Zeitskalierung vergrößern oder verkleinern und das Signal nach links oder rechts verschieben. Normalerweise legen Sie den Nullpunkt in die Mitte des Bildschirms.

### Trigger

Bis jetzt bin ich davon ausgegangen, dass Sie etwas auf dem Display des Oszilloskops sehen, aber vielleicht ist das gar nicht der Fall? Ein Grund dafür kann sein, dass sich die Messkurve unter oder über dem Bildschirm befindet. Benutzen Sie den vertikalen Pegelregler, um sie zu finden. Ein anderer Grund kann sein, dass die Helligkeit zu gering ist. Drehen Sie sie in diesem

Fall höher. Ein dritter Grund kann ein Triggerproblem sein. Wenn Ihr Oszilloskop über eine *Auto-Setup*-Taste oder etwas Ähnliches verfügt (Bild 8), sollten Sie diese jetzt drücken. Sie sehen dann vielleicht nicht das, was Sie erwartet haben, aber Sie sollten zumindest irgendetwas sehen. Verwenden Sie die vertikalen und horizontalen Drehknöpfe, um das Signal mittig in den Anzeigebereich zu bringen.

Triggern ist das, was ein Oszilloskop so wirklich nützlich macht, da es Ihnen erlaubt, sich auf den interessanten Teil eines Signals zu konzentrieren. Ein Trigger (Auslöser) ist erforderlich, um eine Kurvendarstellung zu starten. Wenn kein Trigger vorhanden ist, wird die Aufzeichnung nicht gestartet, und Sie werden nichts sehen. Aus diesem Grund verfügt ein Oszilloskop über mehrere Triggeroptionen. Man könnte sogar argumentieren, dass ein Oszilloskop umso nützlicher ist, je mehr Triggeroptionen es besitzt.

Jedes Oszilloskop, das diese Bezeichnung verdient, besitzt mindestens eine automatische und eine normale Triggermöglichkeit, einen einstellbaren Triggerpegel, Triggerung bei positiven oder negativen Flanken und einen externen Triggereingang.

Als Erstes müssen Sie die Quelle für das Triggersignal auswählen. Normalerweise ist es eines der Signale, die Sie betrachten möchten, aber es kann auch ein Signal sein, das von einem anderen Gerät erzeugt wird.

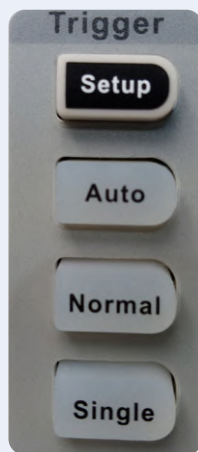
### Automatische Triggerung

Die automatische Triggerung ist am einfachsten zu verwenden (Bild 9). In diesem Modus entscheidet das Oszilloskop selber, wann es triggert, und der Benutzer kann den



## Auto Setup

*Bild 8. Der Knopf „Auto Setup“ kann Ihnen helfen, Ihre Signale zu finden, aber das Ergebnis ist nicht immer das, was Sie sich erhofft haben.*



*Bild 9. Verwechseln Sie nicht die Knöpfe „Auto Trigger“ und „Auto Setup“. Mit dem Auto-Trigger-Modus lässt sich eine Messung schnell einrichten, bevor Sie in den Normalmodus wechseln.*



*Bild 10. Mit den Tasten Run, Stop und Single können Sie seltene Ereignisse aufzeichnen oder die Messkurven einfrieren, ohne dass das Signal verschwindet.*

Triggerpegel und die Flanke, auf die getriggert werden soll, festlegen. Dieser Modus ist nützlich, um schnell zu sehen, ob an einem Eingang „etwas los“ ist oder es sich nur um eine einfache Gleichspannung handelt.

### Normaler Modus

Im *Normal Mode* triggert das Oszilloskop nur, wenn die Bedingungen für Triggerpegel und Steigung oder eine andere von Ihnen festgelegte Triggerbedingung erfüllt ist. Nach einem Trigger läuft die Messkurve, bis sie den rechten Rand des Bildschirms erreicht. Ein neuer Trigger ist erforderlich, um sie wieder zu starten. Wenn Sie den Triggerpegel zu niedrig oder zu hoch einstellen, bleibt die Kurve stehen oder wird nicht angezeigt, da sie nie ausgelöst wird. Dieser Modus eignet sich gut für seltene Ereignisse oder um sich auf besondere Ereignisse zu konzentrieren.

### Run/Stop und Single

Wahrscheinlich verfügt Ihr Oszilloskop über eine *Run/Stop*- und eine *Single*-Taste (**Bild 10**). Mit der *Run/Stop*-Taste können Sie die Darstellung einfrieren, was praktisch ist, wenn Sie ein Signal im Detail untersuchen wollen, ohne dass ein neuer Trigger es verändert oder verschwinden lässt. Drücken Sie die Taste erneut, um diesen Modus zu verlassen. Die Taste *Single* kann verwendet werden, wenn ein Ereignis nur gelegentlich auftritt, zum Beispiel nur beim Einschalten oder nach dem Drücken einer Taste oder wenn es nicht periodisch ist. Nach dem Eintreten des Triggers läuft die Kurve nur einmal durch und das Oszilloskop geht dann in den *Stop*-Modus über. Sie müssen *Run* oder *Single* drücken,

um die Erfassung eines einzelnen Ereignisses erneut zu starten. Drücken Sie erneut *Single* oder *Run*, um in den normalen Modus zurückzukehren (welche Taste zu drücken ist, hängt natürlich vom Oszilloskop ab).

Je nach Oszilloskop kann es weitere Triggeroptionen geben. Typische weitere Optionen reichen von Triggerung auf beide Flanken oder auf eine Zeitverzögerung zwischen den Flanken, sozusagen einen Impuls, bis hin zur Triggerung auf eine Sequenz auf einem Bus, innerhalb oder außerhalb eines Fensters, mit Verzögerungen und so weiter. Wie ich schon sagte, je mehr Triggeroptionen, desto besser.

Wir werden hier aufhören. Ihr Oszilloskop hat wahrscheinlich noch weitere Tasten, die in diesem Artikel nicht behandelt wurden. Aber jetzt, wo Sie wissen, wie Sie ein stabiles Signal auf das Display bekommen, können Sie alle Funktionen genauer erforschen.

Was auch immer Sie tun, denken Sie immer daran, dass Sie vor der Messung eine Vorstellung davon haben sollten, was Sie erwarten, damit Sie das Ergebnis mit dem vergleichen können, was es sein soll. Wenn Sie nämlich nicht wissen, was Sie erwarten, können Sie auch nicht sagen, ob das Ergebnis falsch oder richtig ist. ◀

200661-02

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Ja, wir bedauern, dass einige Kürzungen vorgenommen werden mussten und dass er lange nicht vollständig ist. Dieser Artikel richtet sich nämlich nicht an Experten, sondern an Elektronik-Einsteiger. Senden Sie eine E-Mail an den Autor unter [clemens.valens@elektor.com](mailto:clemens.valens@elektor.com) oder kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



### PASSENDE PRODUKTE

- ▶ Owon SDS1022 Zweikanal-Digital-Oszilloskop (20 MHz) SKU 18898  
[www.elektor.de/18898](http://www.elektor.de/18898)
- ▶ LabNation SmartScope USB-Oszilloskop SKU 17169  
[www.elektor.de/17169](http://www.elektor.de/17169)
- ▶ PeakTech 1375 All-in-one 4-Kanal-Oszilloskop (100 MHz, 1 GS/s) SKU 19316  
[www.elektor.de/19316](http://www.elektor.de/19316)
- ▶ JYE Tech DSO Coral 112A Oszilloskop SKU 18319  
[www.elektor.de/18319](http://www.elektor.de/18319)

# Raspberry Pi Pico als Software Defined Radio

Für das MSF-Zeitsignal

VLF-Antenne in Anthorn (Dougsim, <https://bit.ly/34HXeuG>)

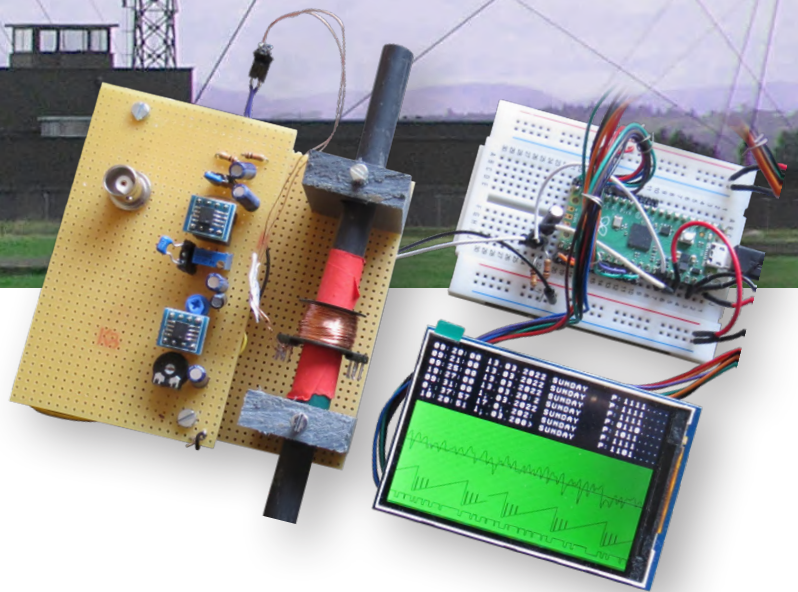
Von Martin Ossmann (Deutschland)

MSF ist das britische Pendant des deutschen DCF77-Zeitzeichensenders. Wie man mit einfachen und vor allem preisgünstigen Mitteln heutzutage einen Empfänger und Dekodierer für diese (und andere) Zeitzeichensignale realisieren kann, zeigt dieses SDR-Projekt. Als Hardware ist nicht viel mehr als ein Raspberry Pi Pico nötig.

Was den Deutschen ihr DCF77, ist den Briten der altherwürdige Zeitzeichensender MSF, früher als „Rugby Clock“ [1] bekannt, der seit fast 100 Jahren zunächst von Rugby und später von seinem nordenglischen Standort Anthorn aus Zeitsignale auf einem Langwellen-Träger von 60 kHz in den Äther verbreitet. In den Anfangszeiten des Zeitzeichensenders, der ursprünglich als Frequenznormal diente, wurde nur zweimal am Tag eine fünfminütige Impulsfolge gesendet. Das „Sendeprotokoll“ wechselte im Laufe der Jahrzehnte mehrfach, aber erst im Jahre 1977 wurde das Signal so kodiert gesendet, dass es auswertbare Zeit- und Datuminformationen enthielt.

## Das Projekt

Während Schaltungen von und mit DCF77-Empfängern/Dekodern seit Jahrzehnten zum Standard-Repertoire von Elektor gehören, dürfte die hier beschriebene Schaltung eines MSF-Empfängers eine Premiere für die deutsche Ausgabe von Elektor sein. In der elektronischen Stein-



zeit, 40 Jahre sind seitdem vergangen, gab es (nur) in der englischen Elektor-Ausgabe [2] ein entsprechendes Projekt als Vorsatzschaltung für den guten alten 6502-Junior-Computer [3].

Natürlich ist die Technik des Empfängers/Dekoders, den wir hier vorstellen, „up to date“; das Ganze wird mit einem Software Defined Radio (SDR) auf einem kleinen Mikrocontroller-Board realisiert. Als geeignete, ja geradezu prädestinierte Hardware bietet sich das Raspberry-Pi-Pico-Board an, das über eine mit 125 MHz getaktete CPU RP2040 (dem hauseigenen Controller der Raspberry Pi Foundation mit zwei Kernen vom Typ Cortex-ARM M0) verfügt. Der ebenfalls vorhandene Analog-Digital-Wandler kann mit 500 kSamples pro Sekunde betrieben werden. Und das alles gibt es für geradezu lächerliche 5 € zu kaufen (siehe **Passende Produkte!**)

Wir zeigen hier, wie man einen Empfänger für das MSF-Zeitsignal auf 60 kHz in Hard- und Software realisieren kann. Der vollständige Empfänger, ohne Display, aber mit RS232-Ausgabe und Antennenanschluss, ist in **Bild 1** zu sehen.

## Hardware

Zuerst besprechen wir die Hardware unseres SDR. An unser Pico-Board werden nur wenige zusätzliche Dinge angeschlossen.

### Antennenanschluss

Wir verwenden für den Antennenanschluss den Analog-Eingangspin ADC2 (GPIO28, am Pico-Board Pin 34). Der ADC nutzt die inter-

nen 3,3 V als Referenzspannung. Daher muss der Pin auf die halbe Referenzspannung als Offset gelegt werden. Dies besorgen die beiden Widerstände in **Bild 2**. Die Wechselspannungskopplung ist durch den 10- $\mu$ F-Kondensator C1 gegeben.

### RS232-Ausgabe

Im einfachsten Fall (ohne LC-Display) verfügt unser Empfänger über eine serielle Schnittstelle (115.200 Bit/s) zur Ausgabe. Die Schnittstelle ist in der Schaltung nach **Bild 3** realisiert. Die serielle Ausgabe über die USB-Schnittstelle können wir nicht verwenden, da ihre Interrupts später unsere Software in nicht vorhersagbarer Weise unterbrechen würden.

### PWM-DACs

Wenn kein LC-Display angeschlossen ist, kann man mit DACs und der Puls-Weiten-Modulation (PWM) eine einfache Möglichkeit zum Debugging schaffen. Wir haben zwei PWM-DACs mit den dazu gehörigen Tiefpassfiltern wie in **Bild 4** aufgebaut. Mit GPIO 2 und GPIO 3 als PWM-Ausgänge lässt sich beispielsweise das demodulierte Signal zusammen mit dem Bit-Timer darstellen (**Bild 5**).

### LC-Display

Als LC-Display kommt das *3,5 inch Arduino 8 Bit Module ILI9486* zum Einsatz, und zwar in der Version ohne Touchscreen (SKU MAR3502 bei [4]). Das 3,5-Zoll-Arduino-Shield bietet für einen Preis von etwa 10 € 480x320 farbige Pixel und wird wie in **Bild 6** zu sehen an den Raspberry Pi Pico angeschlossen.

Auf dem LC-Display wird das empfangene Signal zusammen mit dem Bit-Timing in Form eines Oszillogramms dargestellt. Über dem Oszillogramm ist die empfangene Zeit-Information im Klartext dargestellt (**Bild 7**). Will man den Empfänger ohne LCD betreiben, kann man dieses einfach weglassen, ohne dass in der Software etwas geändert werden müsste.

### Aktive Antenne

Den Antennenanschluss haben wir schon vorbereitet; die Schaltung der aktiven Antenne ist in **Bild 8** zu sehen. Sie basiert im Wesentlichen auf dem dualen Operationsverstärker LM6132. Dieser Opamp ist besonders gut geeignet, weil er über die folgenden wesentlichen Eigenschaften verfügt: Betriebsspannung 2,7...24 V, Bandbreite 10 MHz, Rail-to-Rail-Eingang und -Ausgang, niedrige Stromaufnahme von 360  $\mu$ A/A. Will man den LM6132 durch einen anderen OP ersetzen, muss man also sorgfältig prüfen, ob dieser dann auch geeignet ist.

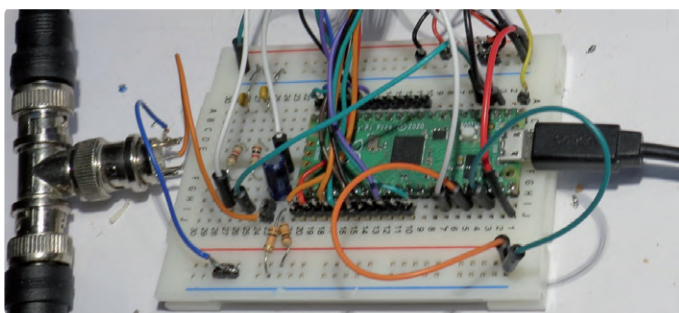


Bild 1. Das Raspberry-Pi-Pico-Board als Software-Defined-Radio für den MSF-Empfang.

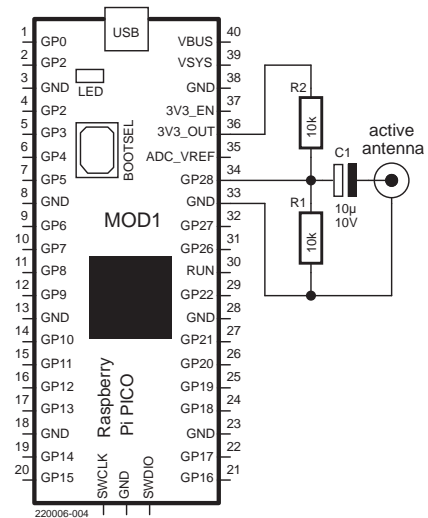


Bild 2. Hardware am Analog/Digitalwandler-Anschluss.

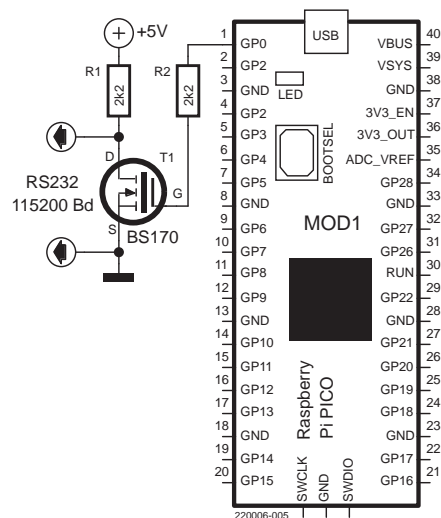


Bild 3. Anschluss des seriellen RS232-Ausgangs an das Pico-Board.

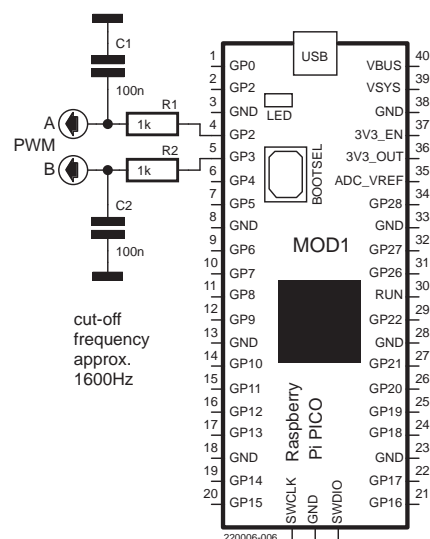


Bild 4. Zwei PWM-DAC-Tiefpass-Ausgänge fürs Debugging.

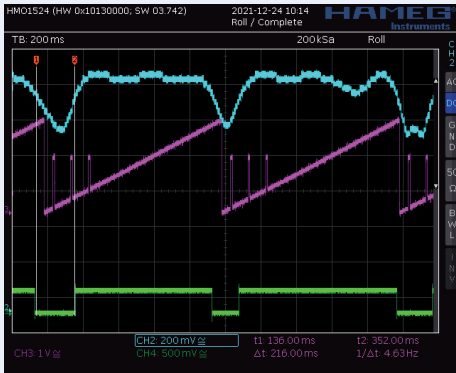


Bild 5. PWM-Testsignale: oben der *ampl*-Wert, in der Mitte *SecondTimer* mit *Sampling-Trigger*-Impulsen und unten das digitale Signal *sigValue*.

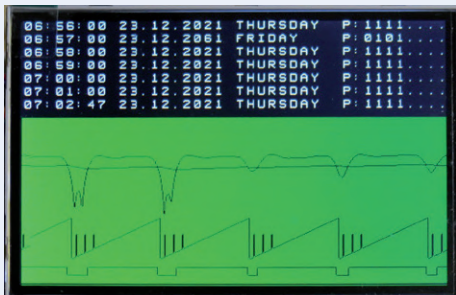


Bild 7. Empfangsinformation auf dem LC-Display.

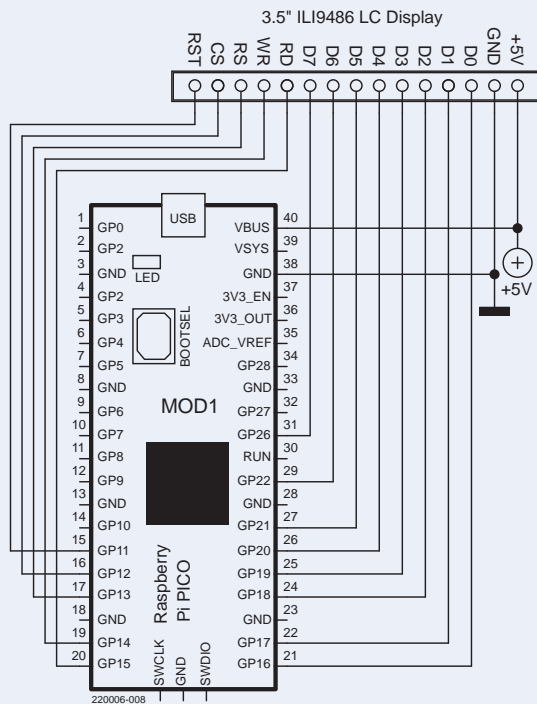
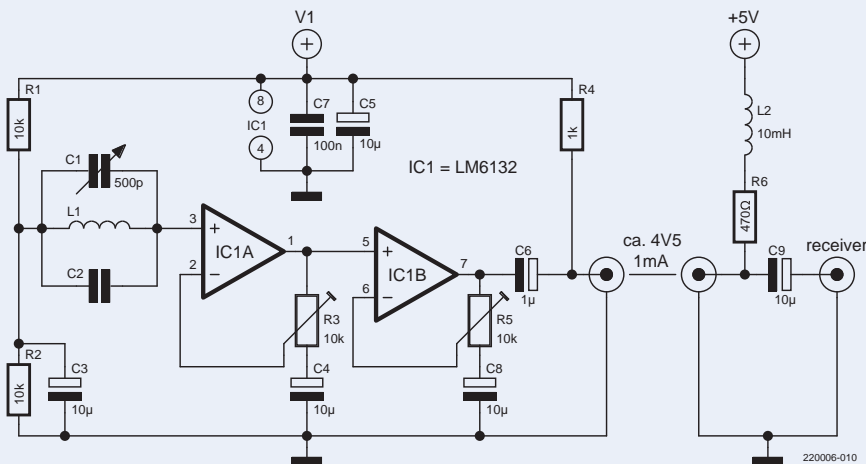


Bild 6. Hardware-Anschluss des 3,5"-LC-Displays.



L1: 500 turns enamelled copper wire 0.2 mm on 10 mm ferrite rod (length 180 mm)  
C2: as required

Bild 8. Aktive Antenne für MSF-Signale auf 60 kHz.

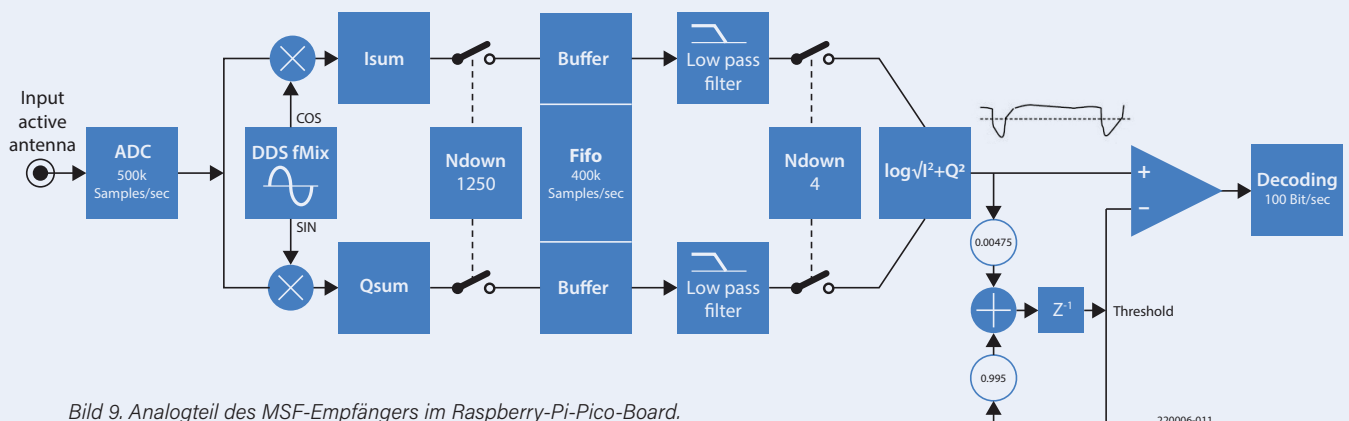


Bild 9. Analogteil des MSF-Empfängers im Raspberry-Pi-Pico-Board.

## Programmierung des Eingangsmischers

Nach der Hardware beschäftigen wir uns mit der Programmierung. Der Analogteil des SDR ist aufgebaut wie in **Bild 9**. Der Raspberry Pi Pico kann in verschiedenen Sprachen programmiert werden. Wir haben uns für C entschieden und benutzen die Entwicklungsumgebung *Visual Studio Code* von Microsoft auf einem PC unter Windows 10. Schauen wir uns an, wie die verschiedenen Stufen arbeiten.

Die ADC-Sample-Routine wird von der PWM getriggert und 500.000 Mal pro Sekunde per Interrupt aufgerufen. Vom ADC-Wert wird der Offset `ADCOffset = 2048` abgezogen und der Wert mit `ADCscale = 10` multipliziert (**Listing 1**).

Die Phase des Lokalen Oszillators (LO-DDS) wird aktualisiert und der Eingangswert mit dem Cosinus (Inphasen- oder I-Signal) und dem Sinus (Quadraturphasen- oder Q-Signal) multipliziert. Die Produkte werden über 1250 Samples summiert (in `Isum` und `Qsum`). Die Summenwerte werden danach (in **Listing 2**) per FIFO an die weitere Verarbeitung weitergereicht, welche dann mit  $500000/1250 = 400$  Samples/s erfolgt. Diese Rate ist bereits so niedrig, dass man die komplette Weiterverarbeitung mit Double-Variablenwerten vornehmen kann.

Die Werte werden aus der FIFO entnommen und jeweils an ein Butterworth-Tiefpassfilter 4. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 3 Hz weitergereicht. Diese niedrige Grenzfrequenz war in der Entwicklung notwendig, weil die Antenne beim Autor starke Störsignale direkt benachbart zum Nutzsignal empfing. Danach erfolgt noch einmal ein Down-Sampling, diesmal um den Faktor 4, so dass danach 100 Samples/s bearbeitet werden.

Die Routine `msfSample()` in **Listing 3** berechnet dann aus den I/Q-Komponenten die Trägeramplitude `ampI`. Von `ampI` wird dann der Logarithmus gebildet und wiederum in `ampI` gespeichert, weil so die Bits besser zu dekodieren sind.

Mit einer rekursiven Filterberechnung erster Ordnung wird aus `ampI` die Schaltschwelle `threshold` abgeleitet. Das Signal `ampI` wird dann mit der Schaltschwelle `threshold` verglichen und so der logische Empfangspegel `sigValue` bestimmt. Damit ist der Analogteil der Verarbeitung beschrieben. Nun muss noch aus dem digitalen Empfangssignal berechnet werden, welche Bits empfangen wurden und welcher empfangenen Zeitinformation dies entspricht.

## Programmierung Digitalteil

Der MSF-Sender sendet Sekundenimpulse aus, wie in **Bild 10** gezeigt. Bei Sekunde 0 wird der Träger für 0,5 s unterdrückt. Diesen Impuls nutzt das SDR zur Synchronisation. Die anderen Sekundenimpulse übertragen jeweils die beiden Bits A und B. Zuerst wird der Träger um 0,1 s (entsprechend 10 Samples) abgesenkt. Ist Bit A = 1, bleibt der Träger danach weitere 0,1 s abgesenkt, und ist auch Bit B = 1, erfolgt nochmal eine Absenkung um 0,1 s.

In `SecondTimer` soll ein Timer laufen, der synchron zur Sekunde immer von 0 bis 99 zählt. Die Dekodierungssoftware arbeitet wie folgt: In `Duration` wird die Impulslänge des aktuellen Impulses gemessen. Wird eine 0,5-s-Absenkung erkannt, wird `SecondTimer` auf den Wert  $50-2=48$  gesetzt (die internen Verarbeitungszeiten erfordern die Verringerung um diese zwei Impulse), damit der Timer `SecondTimer` jetzt synchron zur Sekunde läuft (**Listing 4**). Gleichzeitig erfolgt eine Synchronisation der Minute, indem in `doMinuteSync()` der Wert der aktuellen Sekunde auf 0 gesetzt wird. Mit Hilfe von `SecondTimer` wird nun das Empfangssignal an den Mitten von Bit A und Bit B abgetas-

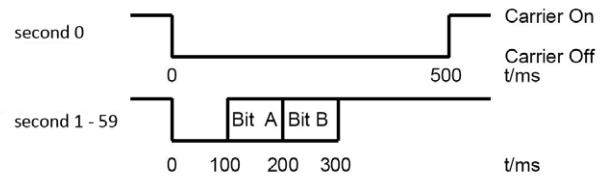


Bild 10. Sekunden-Impulse und Kodierung von Bit A und Bit B.

Year (BCD coded 0...99)								Meaning
80	40	20	10	8	4	2	1	BCD weighting
17A	18A	19A	20A	21A	22A	23A	24A	Bit

Month (BCD coded 1...12)					Meaning
10	8	4	2	1	BCD weighting
25A	26A	27A	28A	19A	Bit

Day of month (BCD coded 1...31)						Meaning
20	10	8	4	2	1	BCD weighting
30A	31A	32A	33A	34A	35A	Bit

Day of week (BCD coded 0...6)			Meaning
4	2	1	BCD weighting
36A	37A	38A	Bit

Hour (BCD coded 0...23)						Meaning
20	10	8	4	2	1	BCD weighting
39A	40A	41A	42A	43A	44A	Bit

Minute (BCD coded 0...59)							Meaning
40	20	10	8	4	2	1	BCD weighting
45A	46A	47A	48A	49A	50A	51A	Bit

Minute marker								Meaning
52A	53A	54A	55A	56A	57A	58A	59A	Bit
0	1	1	1	1	1	1	0	Value

### Parity bits

- Bit 54B with bit 17A to 24A results in odd number of bits
- Bit 55B with bit 25A to 35A results in odd number of bits
- Bit 56B with bit 36A to 38A results in odd number of bits
- Bit 57B with bit 39A to 51A results in odd number of bits

Bild 11. So ist die übertragene Information kodiert (Quelle: [5]).



### Listing 1. AD-Sampling und LO-Oszillator-Operation. Summierung und Downsampling mit Faktor 1250 auf 400 Samples/Sekunde.

```
int16_t adc=(uint16_t) adc_hw->result; //get ADC result
hw_set_bits(&adc_hw->cs, ADC_CS_START_ONCE_BITS); //start ADC again
pwm_clear_irq(pwm_gpio_to_slice_num(PWM_PIN1)); //interrupt flag
DDSp += DDSd ; //increment LO-DDS phase
inputVal=ADCscale*(adc-ADCOffset) ; //offset and scaling
Isum += LOcosTab[DDSp>>24]*inputVal ; //I-multiplication
Qsum += LOsinTab[DDSp>>24]*inputVal ; //Q-multiplication
SampleTime++ ; //refresh this step
if(sampleTime>=1250){ //downsampling
    FIFO...} //further steps
```

### Listing 2. Filterung der I- und Q-Signale und Downsampling um Faktor 4 auf 100 Samples/Sekunde.

```
Isample=IntFifoI[IntFifoOutPtr] ; //get I-signal from FIFO
Qsample=IntFifoQ[IntFifoOutPtr] ; //get Q-signal from FIFO
IntFifoOutPtr=(IntFifoOutPtr+1) & IntFifoMask ; //increment FIFO pointer
IfilOut = tprun(IIfil,Isample) ; //lowpass filter I-signal
QfilOut = tprun(QQfil,Qsample) ; //lowpass filter Q-signal
kdown++ ;
if(kdown>=4){ //downsampling factor 4
    msfSample(IfilOut,QfilOut) ;
    kdown=0 ;
}
```

### Listing 3. Berechnung des Amplitudenwertes ampl und der Schaltschwelle threshold sowie Dekodierung der Pulse, Dauer in Duration.

```
void msfSample(double ii, double qq){
    ampl=sqrt(ii*ii+qq*qq) ; //get carrier amplitude
    ampl=4*log(ampl+1) ; //log is better!
    threshold=0.995*threshold+0.005*ampl*0.95 ; //recursive mean as threshold
    if(ampl>threshold){ //comparator function
        sigValue=1 ; //digital value = 1
    }
    else {
        sigValue=0 ; //digital value = 0
    }
    doScope(ampl/2.0+20,threshold/2+20,sigValue*10+10, DAC/2.0+30) ;
    if(sigValue==lastSigValue){
        Duration++ ; //pulse goes on
    }
    else { //pulse end reached
        tt=pulseForm(lastSigValue,Duration) ; //get pulse character
        if(tt=='z'){
            printf("sync on z") ; //signalize sync
            SecondTimer=50-2 ; //sync SecondTimer
        }
        printf("%c",tt) ; //display pulse character
        Duration=0 ; //new pulse length starts
        lastSigValue=sigValue ; //update lastSigValue
    }
}
```

### Listing 4. Von SecondTimer getriggertes Sampling von Bit A und Bit B.

```
IncSecondTimer() ; //SecondTimer runs from 0 to 99
DAC=SecondTimer ; //scope sawtooth signal
if (SecondTimer==5+0) { DAC=60 ; } //scope signal pulse
if (SecondTimer==15+0) { //bit A sample time
    DAC=60 ; //scope signal pulse
    putMSFbit(Second,0) ; //clear bit store
    if (sigValue==0) { //if carrier switched off
        addMSFbit(Second,1) ; //Bit A set true
    } ;
}
if (SecondTimer==25+0) { //bit B sample time
    DAC=60 ; //scope signal pulse
    if (sigValue==0) { //if carrier switched off
        addMSFbit(Second,2) ; //Bit B set true
    } ;
}
```

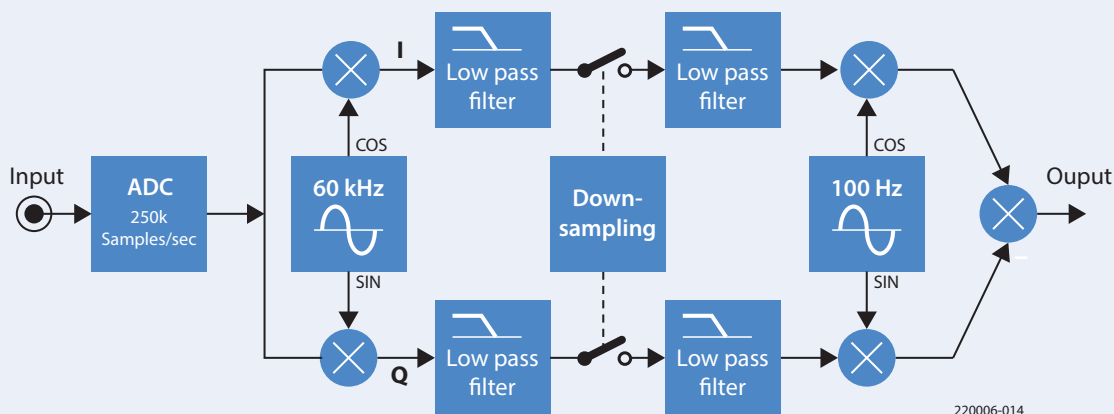


Bild 12. Heraufmischen auf eine 100-Hz-ZF.

tet (`SecondTimer==15` beziehungsweise `SecondTimer==25`), um die Werte der gesendeten Bits zu bestimmen. Den digitalen Empfangswert geben wir einfach über GPIO-Pin 4 (Pico-Pin 6) aus:

```
gpio_put(GPIO4, sigValue); // Output sigValue at
                          // pico GPIO4=pin 6
```

Der Wert von `SecondTimer` wird später auch für das Debugging per PWM ausgegeben, ebenso die Werte von `amp1` und `DAC`. Dies geschieht durch folgende beiden Zeilen:

```
pwm_set_gpio_level(PWM_PIN1, amp1/5.0 ); // Output
                                          // amplitude
pwm_set_gpio_level(PWM_PIN2, DAC );      // Output timing
```

### Dekodierung der Zeitinformation

Immer wenn eine Synchronisation von `SecondTimer` erfolgt, ist eine Minute vergangen und wir können die aktuelle Zeitinformation berechnen. Die empfangenen Datenbits stehen in den Werten `MSFbits[0..59]`. Der Sender sendet die in **Bild 11** aufgelisteten Informationen in diesen Bits. Die Zeit- und Datumsinformation rekonstruiert man dann einfach wie in **Listing 5** für die Stunden und die Minuten. Die gleichen Informationen, die wir per serieller Schnittstelle ausgesandt haben, stellen wir auch als Text auf dem LC-Display dar. Dies geschieht durch die Befehle in **Listing 6**. Die Auswertung der Paritätsprüfung erfolgt wie in **Listing 7**. Die überwachten Bits sind die A-Bits der übertragenen Information. Die vier Prüfbits sind B-Bits entsprechender Sekundenpulse. Es werden vier Paritätsprüfungen durchgeführt, wobei bis zu 12 Bits von einem Paritätsbit gesichert werden.

### Debugsignal

Klassische Superhets mischen das Eingangssignal auf eine niedrige Zwischenfrequenz herunter. Das ZF-Signal wird dann relativ schmalbandig gefiltert. Das ZF-Signal kann man beim MSF60 auch gut auf einem Oszilloskop ansehen. Unser Empfänger mischt das Eingangssignal auf die ZF = 0 Hz herunter. Wenn man ein Wechselstrom-ZF-Signal

anschauen will, kann man das 0-ZF-Signal auf die Wechselstrom-ZF heraufmischen. Die Schaltung sieht dann aus wie in **Bild 12**.

Die Software zum Heraufmischen ist in **Listing 8** zu sehen. Als DAC wird ein PWM-Ausgang verwendet. Das mit 100 Hz AM-modulierte ZF-Signal ist in **Bild 13** dargestellt.

Damit sind die Konstruktion und der Aufbau des MSF-Empfängers vollständig besprochen. Es wird dabei nur ein Kern der CPU genutzt, so dass noch viel Computing-Power für Erweiterungen übrigbleibt. Man könnte beispielsweise die Bit-Dekodierung fehlertoleranter gestalten. Einen DCF77-Empfänger könnte man weitgehend gleich aufbauen, nur die Bit-Dekodierung müsste man anpassen. Die Empfangsqualität des MSF-Signals ist hier in Aachen natürlich deutlich schlechter als der Empfang des DCF77-Signals mit einem äquivalent aufgebauten SDR. Die Parity-Bits zeigen dementsprechend oft Fehler an. Es kommen aber noch häufig genug fehlerfreie Gruppen an, so dass man ganz gut die Zeichen der Zeit erkennen kann.

### Fazit

Mit minimaler Hardware-Ergänzung konnte das Raspberry-Pi-Pico-Board in ein MSF-SDR verwandelt werden. Am aufwändigsten ist der Bau der aktiven Antenne. Doch wenn man den niedrigen Preis des

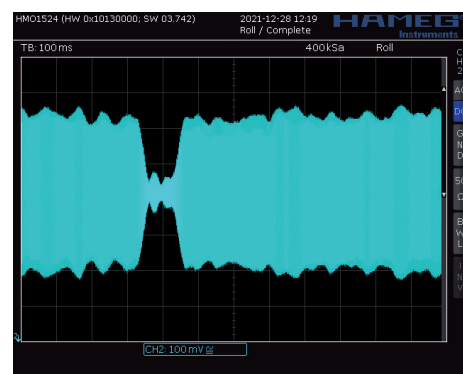


Bild 13. Mit 100 Hz AM-moduliertes ZF-Signal.

#### Listing 5. Dekodierung und serielle BCD-Ausgabe von Stunden und Minuten.

```
void OutBCD2(int v){ //issue 2 BCD digits
    uartPutc('0'+(v>>4)) ; //via serial interface
    uartPutc('0'+(v & 0xf)) ;
}
int GetBCDbits(int StartPos , int Length){ //fetch length bits from MSFbits
    int v,k ; //start at StartPos
    V=0 ; //BCD coding
    for (k=0 ; k<Length ; k++){
        v=(v<<1) + ( MSFbits[StartPos++] & 1) ;
    }
    return v ;
}
hours =GetBCDbits(39,6) ; OutBCD2(hours) ; //hours = bits 39 to 44
uartPutc(':') ;
minutes=GetBCDbits(45,7) ; OutBCD2(minutes) ; //minutes = bits 45 to 51
UartBlank()
```

#### Listing 6. LCD-Ausgabe von Stunden und Minuten.

```
LcdPutc(CRcode) ; //output carriage return
LcdPutc(LFcode) ;
LcdPutc('0'+((hours>>4)&0xF)) ; //MS digit of hours
LcdPutc('0'+(( hours)&0xF)) ; //LS digit of hours
LcdPutc(':') ; //separator
LcdPutc('0'+((minutes>>4)&0xF)) ; //MS digit of minutes
LcdPutc('0'+(( minutes)&0xF)) ; //LS digit of minutes
LcdPutc(':') ; //separator
```


#### Listing 7. So wird der Parity-Check durchgeführt.

```
LcdPutc(CRcode) ; //output carriage return
int parity(int from , int to) { //parity over A bits
    int parity ;
    int k ;
    parity=0 ;
    for (k=from ; k<=to ; k++){
        parity ^= MSFbits[k] ; //XOR with bits
    }
    Parity &= 1 ; //select A bit
    return parity ;
}
void parityCheck(int from , int to , int checkPosition) {
    int p ;
    p=parity(from,to) ;
    if ( (MSFbits[checkPosition] & 2)>0) { //B bit is parity
        P ^= 1 ; //XOR parity bit
    }
    uartPutc(' ') ;
    uartPutc('P') ;
    uartPutc('=') ;
    uartPutc('0'+p) ; //output parity bit
}
ParityCheck(17,24,54) ; //four parity checks
parityCheck(25,35,55) ;
parityCheck(36,38,56) ;
ParityCheck(39,51,57) ;
```

#### Listing 8. Die Software zum Heraufmischen.

```
debugDDSp += debugDDSD ; //100Hz phase update
v=IfilOut*cosTab[debugDDSp>>24] //add I signal
+QfilOut*sinTab[debugDDSp>>24] ; //add Q signal
v=62+v/1024 ; //offset and scaling
pwm_set_gpio_level(PWM_PIN2,v) ; //PWM output
```



Boards bedenkt, sieht man, wie preisgünstig man heutzutage selbst als „Hobbyist“ solche Konzepte auf der Basis von Mikrocontrollern realisieren kann. Im Zusammenhang mit dem Pico-Board wird oft erwähnt, wie gut sich dieses in Python programmieren lässt. Für Systeme mit 500k Samplerate am Eingang ist Python allerdings nicht geeignet. Mit C aber lässt sich die Mikrocontroller-Hardware gut ansprechen und effizient programmieren. Der RP2040 ist selbst ohne Floating-Point-Unit-FPU leistungsfähig genug, um beispielsweise digitale Tiefpassfilter laufen zu lassen. 

220006-02

### Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter [ossmann@fh-aachen.de](mailto:ossmann@fh-aachen.de) oder kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



### PASSENDE PRODUKTE

- > Elektor Raspberry Pi RTL-SDR Bundle SKU 20090 (Buch und Bausatz) [www.elektor.de/20090](http://www.elektor.de/20090)
- > Elektor SDR-Praxis-Bundle SKU 19042 (Buch und SDR-Shield mit Ringkern und Kabel) [www.elektor.de/19042](http://www.elektor.de/19042)
- > Raspberry Pi Pico RP2040 SKU 19562 [www.elektor.de/19562](http://www.elektor.de/19562)



### WEBLINKS

- [1] Wikipedia-Seite zum MSF-Sender: [https://en.wikipedia.org/wiki/Time\\_from\\_NPL\\_\(MSF\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Time_from_NPL_(MSF))
- [2] „Time receiver for the Rugby MSF,“ Elektor 9/1982: [www.elektormagazine.com/magazine/elektor-198209/44950](http://www.elektormagazine.com/magazine/elektor-198209/44950)
- [3] Jan Buiting, „Elektor Junior-Computer,“ 1/2005: [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-200501/2044](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-200501/2044)
- [4] 3,5"-Display: [www.lcdwiki.com/3.5inch\\_Arduino\\_Display-UNO](http://www.lcdwiki.com/3.5inch_Arduino_Display-UNO)
- [5] NPL Time & Frequency Services, „MSF 60 kHz Time and Date Code“: [www.npl.co.uk/products-services/time-frequency/msf-radio-time-signal/msf\\_time\\_date\\_code](http://www.npl.co.uk/products-services/time-frequency/msf-radio-time-signal/msf_time_date_code)

Anzeige

## PERFORMANCE. RELIABILITY. SERVICE.

Optokoppler von Würth Elektronik



WÜRTH  
ELEKTRONIK  
MORE THAN  
YOU EXPECT

### WE are here for you!

Nehmen Sie teil an unseren  
kostenlosen Webinaren:  
[www.we-online.de/webinare](http://www.we-online.de/webinare)

#### Optokoppler von Würth Elektronik

Würth Elektronik präsentiert mit seinen Optokopplern die neueste Produkterweiterung im Bereich Optoelektronik. Das innovative Design sorgt durch seine koplanare Struktur und das hochwertige Silizium (Epoxy) für eine vollständige Reflexion im Inneren. Die koplanare Bauart stellt sicher, dass der Isolationsspalt während des Produktionsprozesses fixiert bleibt und bietet perfekte Isolation und Schutz für Ihre Anwendung. Die innere Reflexion sorgt für einen stabilen CTR über den gesamten Temperaturbereich und ermöglicht einen hohen CTR bei geringem Strombetrieb.

Verfügbar in allen branchenüblichen Verpackungen. Alle Binings ab Lager verfügbar. Muster kostenlos erhältlich: [www.we-online.com/optocoupler](http://www.we-online.com/optocoupler)

- Innovatives koplanares Design
- Hochwertige Silizium-Verkapselung
- Leadframe aus Kupfer für hohe Zuverlässigkeit
- Stabiler CTR über den gesamten Temperaturbereich
- Hoher CTR bei geringem Strom

# Feuchtigkeitssensoren

## für Gießanlagen

### Automatische Bewässerung

Von **Peter Tschulik (Österreich)** und  
**Christof Hübner (Deutschland)**

Schon seit vielen Jahren setze ich automatische Gießanlagen ein, um nicht Sklave meines Grünraums zu sein. Meine erste Anlage bestand aus einer simplen Zeitschaltuhr mit preiswerten Magnetventilen, wie sie beispielsweise in Waschmaschinen eingesetzt werden. Die nächste Generation war schon mit einem Arduino samt Display bestückt, informierte sich über einfache, kapazitive Feuchtigkeitssensoren und führte schon ein Gieß-Log. Meine aktuelle Gießanlage basiert auf einem ESP32 und ist vollständig in mein Hausautomatisierungssystem eingebunden. So kann ich manuelle Gießvorgänge starten, die letzten Gießzeiten abfragen, diese Zeiten plus andere Parameter einstellen und anderes mehr. Lassen Sie sich durch meine Erfahrungen anregen!

Diese Beschreibung ist natürlich noch nicht vollständig: Es ist auch eine Alarmfunktion enthalten. Sie meldet, ob zum Beispiel ein Gießvorgang wegen eines gebrochenen Schlauches nicht erfolgreich war. Außerdem kann die Anlage auch via Webbrowser bedient werden und ein Softwareupdate ist zeitgemäß „Over the air“ möglich.

Meine Gießanlage ist jedoch nicht der Schwerpunkt dieses Artikels, da sie sehr auf meine speziellen Bedürfnisse (meine Terrasse) ausgelegt ist. Stattdessen schildere ich meine Erfahrungen bei der Auswahl von Feuchtigkeitssensoren, da ich in etlichen Jahren viel darüber gelernt habe.

Feuchtigkeitssensoren haben bei einer Gießanlage zwei Aufgaben: Sie informieren die Anlage über den aktuellen Bewässerungsstatus und verhelfen so zur Sparsamkeit bezüglich der Ressource Wasser. Etliche Pflanzen vertragen Staunässe genauso wenig wie Trockenheit. Obwohl es enorm viele Feuchtesensoren gibt, scheinen nur wenige wirklich gut zu funktionieren.

Nach einem kurzen Überblick über die Funktionsweise der gängigsten Feuchtesensoren geht es um die Einbindung von Sensoren mit Hilfe der Arduino-IDE für gängige Boards wie Arduino oder ESP. Falls Sie also eine Gießanlage ohne Sensoren betreiben oder mit Ihren Feuchtigkeitssensoren unzufrieden sind, sind Sie hier genau richtig.

#### **Bodenfeuchte messen**

Für die Bodenfeuchte sind unterschiedliche Definitionen gebräuchlich. Meist ist man am volumetrischen Wassergehalt interessiert, dem Volumenanteil des Wassers im Boden. Wenn alle Luftporen im Boden mit Wasser gefüllt sind, beträgt er in natürlichen Böden maximal etwa 50...60 %. Bei Torf und anderen organischen Materialien können höhere Werte vorkommen.

Der gravimetrische Wassergehalt bezieht sich auf die relative Masse des Wassers im Boden und kann beispielsweise durch Wiegen vor und nach der Trocknung einer Bodenprobe bestimmt werden. Die Erfassung dieses Parameters benötigt ein Labor; er eignet sich daher nicht gut für eine kontinuierliche Überwachung der Bodenfeuchte. Elektrische Bodenfeuchtesensoren basieren auf unterschiedlichen physikalischen Messprinzipien. Die Messung der elektrischen Leitfä-

higkeit ist zwar sehr preiswert, aber dafür auch sehr unzuverlässig. Die Leitfähigkeit wird nämlich auch durch die Menge der gelösten Ionen beeinflusst. Bei gleichem Wassergehalt kann es in Abhängigkeit von Bodenart, Salzgehalt und Dünger zu völlig unterschiedlichen Messwerten kommen. Außerdem ist die Leitfähigkeit stark temperaturabhängig und eine Kompensation praktisch nicht möglich. Das größte Problem der verwendeten Elektroden ist jedoch ihre Korrosion - ihre Haltbarkeit beträgt oft nur Tage bis Wochen.

Viel besser sind kapazitive Sensoren, da hier die Elektroden durch eine isolierende Schicht geschützt sind. Der Messeffekt beruht auf einer Wechselwirkung der Wassermoleküle mit einem elektrischen Feld, da  $H_2O$  ein Dipol mit einem positiven und einem negativen Ende ist. Bringt man Dipole in einen Plattenkondensator und legt eine Spannung an die metallischen Plattenelektroden an, so kommt es zu einer Ausrichtung der Dipole im elektrischen Feld (siehe **Bild 1**).

Die Polarisationsfähigkeit wird durch die Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  beschrieben. Sie reicht von  $\epsilon_r = 1$  bei Luft über  $\epsilon_r = 3 \dots 8$  bei mineralischen Bodenkörnern bis zu  $\epsilon_r = 80$  bei Wasser [1]. Die effektive Dielektrizitätszahl eines Bodens als Mischung aus Luft, Wasser und Bodenkörnern wird deshalb weitgehend durch den Wassergehalt bestimmt. Man bringt eine Bodenprobe zwischen die Elektroden eines Kondensators, misst die Kapazität und errechnet daraus die dazugehörige Dielektrizitätszahl und schließlich den Wassergehalt. In der Praxis legt man eine Wechselspannung an, um Elektrolyse an den Kondensatorelektroden, Störungen durch Oberflächenpolarisation sowie den Einfluss der Leitfähigkeit des Bodens zu reduzieren. Je höher die Messfrequenz, desto genauer und störungsempfindlicher ist die Bestimmung. Ideal wären Frequenzen über 100 MHz, was jedoch die Elektronik deutlich verteuern würde.

## Verschiedene Sensortypen

### Leitfähigkeitssensoren

**Messprinzip:** Die Bestimmung der Bodenfeuchte erfolgt über die Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens zwischen zwei Elektroden. Zum Sensor wird meistens eine analoge Auswerteschaltung zur Einstellung eines Schwellwerts mitgeliefert (siehe **Bild 2**).

**Nachteile:** Die elektrische Leitfähigkeit des Bodens ist nicht nur vom Wassergehalt, sondern stark vom Salzgehalt, Dünger und Bodentyp abhängig und daher ein unzuverlässiges Maß für die Bodenfeuchte. Der Sensor ist im Boden starker Korrosion ausgesetzt und hat daher nur eine geringe Lebensdauer. Dies gilt übrigens auch für Elektroden mit dünner Goldbeschichtung. Außerdem sind die Anschlüsse gewöhnlich nicht vor Wasser geschützt.

**Vorteil:** Sehr preisgünstig.

### Niederfrequente kapazitive Sensoren

**Messprinzip:** Die Bodenfeuchte wird über eine Kapazitätsmessung ermittelt. Die elektronische Schaltung arbeitet bei niedrigen Frequenzen vom Kilohertz-Bereich bis etwa 1 MHz. Im Internet finden sich zahlreiche Varianten, die oft mit dem Timer NE555 arbeiten (siehe **Bild 3**).

**Nachteile:** Aufgrund der niedrigen Frequenz ist die Feuchtemessung stärker von Störgrößen wie der elektrischen Leitfähigkeit und Temperatur des Bodens beeinflusst, so dass nur eine eingeschränkte Genauigkeit möglich ist. Die Elektroden werden häufig nur durch den dünnen Lötstopplack geschützt, der im Boden nicht langzeitbeständig ist. Schaltung und Anschlüsse sind oft nicht wasserdicht versiegelt.

**Vorteil:** Recht preisgünstig.

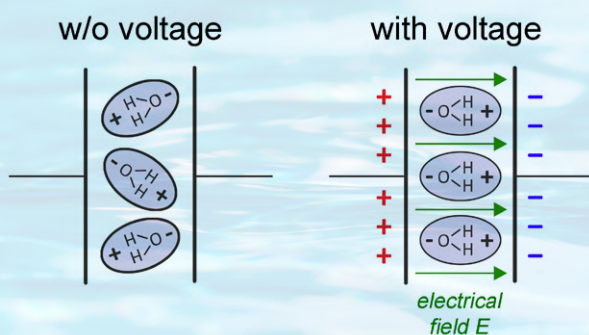


Bild 1. Orientierungspolarisation von  $H_2O$ -Dipolen im Plattenkondensator.



Bild 3. Beispiel eines niederfrequenten kapazitiven Sensors (Quelle: [3]).

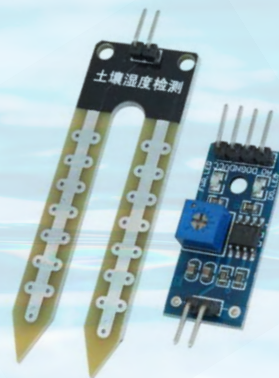


Bild 2. Sensor zur Leitfähigkeitsmessung (YL69 und ähnliche; Quelle: [2]).



Bild 4. Sensor VH400 (Quelle: [4]).



Bild 5. Sensor CWT-SOIL-H-S (via AliExpress, Quelle: [6]).

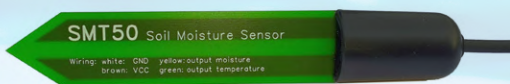


Bild 6. Hochfrequenter kapazitiver Sensor SMT 50 (Quelle: [7]).



Bild 7. Sensor DAV-6440 (Quelle: [8]).



Bild 8. TDT-Sensor SMT 100 (Quelle [9]).

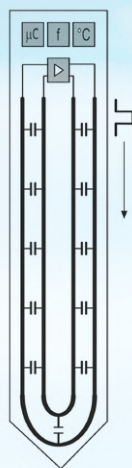


Bild 9: Prinzip eines TDT-Sensors: Die feuchteabhängige Impulslaufzeit der Leiterschleife wird in eine Frequenz umgewandelt.

### Hochfrequenter kapazitiver Sensor VH400

**Messprinzip:** Die Bodenfeuchte wird über eine Kapazitätsbestimmung ermittelt.

**Nachteile:** Mittlere Preisklasse. Der Einfluss des Bodentyps auf den Messwert ist noch bemerkbar. Die Elektroden liegen sehr eng beieinander, so dass das elektrische Messfeld kaum über die Platine hinausreicht und der Sensor für grobkörnige Böden nur eingeschränkt geeignet ist (siehe **Bild 4**). Die Messwerte sind temperaturabhängig und ändern sich bei Berührung des Zuleitungskabels mit der Hand [5].

**Vorteil:** Ausreichend genaue Feuchtemessung in vielen Böden.

### CWT-SOIL-H-S

**Messprinzip:** Keine Informationen zum Messprinzip und zur Messfrequenz verfügbar.

**Nachteil:** Mittlere Preisklasse. Nach kurzer Zeit im Boden häufigere Ausfälle.

**Vorteile:** Verspricht eine zusätzliche Messung der elektrischen Leitfähigkeit; verschiedene Ausführungen (siehe **Bild 5**).

### Hochfrequenter kapazitiver Sensor SMT 50

**Messprinzip:** Die Bodenfeuchte wird über einen kapazitiven Spannungsteiler ermittelt. Die Elektronik arbeitet ab 16 MHz.

**Nachteile:** Mittlere Preisklasse. Einfluss des Bodentyps auf den Messwert noch bemerkbar.

**Vorteile:** Die Messfrequenz ist hoch genug für eine zuverlässige Feuchtemessung in vielen Böden. Dank Einbettung der Elektroden in einer mehrlagigen Platine optimaler mechanischer Schutz und eine hohe Lebensdauer im Boden. Die Elektronik ist vollständig wasserdicht mit Epoxidharz vergossen (siehe **Bild 6**). Das 10 m lange Anschlusskabel mit PU-Mantel ist für Bodenverlegung geeignet (mikroben- und hydrolysebeständig).

### Tensiometer DAV-6440

**Messprinzip:** Dieser Watermark-Sensor ist ein Beispiel für ein Tensiometer, das die Saugspannung des Bodens ermittelt, die mit dem Wassergehalt des Bodens korreliert. Dazu wird der elektrische Widerstand eines Materials bestimmt, das in hydraulischen Kontakt mit dem Boden steht (siehe **Bild 7**). Andere tensiometrische Messkonzepte nutzen ein Vlies im Kontakt mit dem Boden, dessen Wassergehalt durch elektrisches Aufheizen und Temperaturbeobachtung ermittelt wird (beispielsweise bei Gardena).

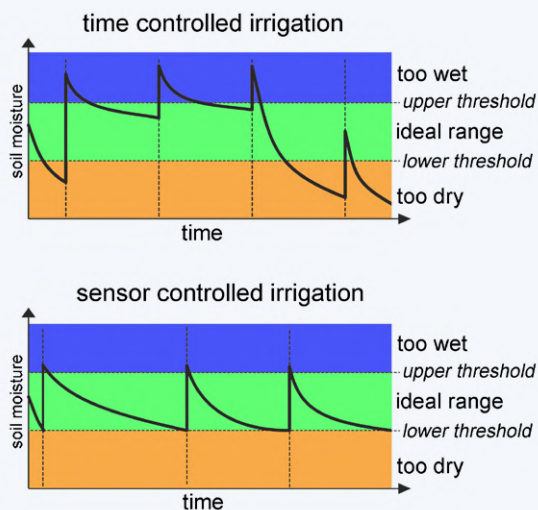
**Nachteile:** Tensiometer sind träge und reagieren nur langsam auf sich ändernde Bodenfeuchtigkeit. Es tritt eine Hysterese auf, das heißt, die Messwerte sind bei gleicher Saugspannung unterschiedlich (bei steigendem gegenüber sinkendem Wassergehalt). Bei starker Austrocknung kann der Sensor den hydraulischen Kontakt mit dem Boden verlieren. Als Lebensdauer im Boden werden für diesen Sensor nur größer oder gleich 5 Jahre angegeben.

**Vorteil:** Die Saugspannung gibt das den Pflanzen zur Verfügung stehende Wasser im Boden an.

### TDT-Sensor SMT 100

**Messprinzip:** Dieser *Time Domain Transmission Sensor* besteht aus Leiterschleifen, die eine hochfrequente Übertragungsleitung bilden und mit Impulsen angeregt werden (siehe **Bild 8** und **Bild 9**). Über eine Rückkopplung mit einem Verstärker wird ein Ringoszillator realisiert, dessen Frequenz von einem Mikrocontroller gemessen wird. Die

## Bewässerungsstrategie



Zeit- und sensorgesteuerte Bewässerung im Vergleich.

Die klassische zeitgesteuerte Bewässerung berechnet in festen Zeitintervallen unabhängig vom tatsächlichen Bewässerungsbedarf. Deshalb kann es je nach Wetter zur Überversorgung der Pflanzen mit schädlicher Staunässe oder Unterversorgung und Trockenstress kommen. Abmildern kann man dies mit einem Regensensor oder Wetterinformationen aus dem Internet. Weitaus besser ist aber eine sensorgesteuerte Bewässerungssteuerung. Damit kann nicht nur die Wasserversorgung der Pflanzen optimiert, sondern auch Wasser eingespart werden. Die Unterschiede sind in der Grafik zu sehen. Für die Einstellung der Schwellwerte gibt es unterschiedliche Strategien. Der erfahrene Gärtner kennt durch Beobachtung der Pflanzen (leichte Welke, Einrollen der Blätter) den Beginn von Trockenstress. Bei zu starker Bewässerung kommt es zu Sättigung und die Bodenfeuchte steigt nicht weiter an. Wartet man dann eine Weile (etwa 24 h), so drainiert der Boden das Wasser in den Untergrund. Eine Faustregel ist, davon 60 % für die untere Schwelle anzusetzen. Während einer Einlernphase beobachtet man die Pflanzen in Kombination mit dem Feuchteverlauf und korrigiert gegebenenfalls die Schwellwerte, um damit langfristig eine optimale und sparsame automatisierte Bewässerung zu erzielen. Wichtig ist dabei auch die richtige Platzierung des Sensors im Wurzelbereich der Pflanzen. Bei Tropfbewässerung sollte der Sensor weder zu nah noch zu weit von der Tropfstelle eingebaut werden, damit der Zeitverlauf der Bodenfeuchte eine gute Dynamik aufweist.

Kapazität zwischen den Elektroden wird von der Bodenfeuchte beeinflusst. Je höher der Wassergehalt, desto größer die Impulslaufzeit und desto geringer die Frequenz des Ringoszillators.

**Nachteil:** Gehobene Preisklasse.

**Vorteile:** Die Messfrequenz von über 150 MHz ermöglicht eine hohe Genauigkeit mit guter Auflösung bei gleichzeitig minimaler Beeinflussung der Messwerte durch den Bodentyp. Als mehrlagige Platine mit Epoxydharzverguss und hochwertigem Kabel wird eine lange Lebensdauer im Boden erreicht. Es gibt eine große Auswahl an Schnittstellen wie analoger Ausgang, RS-485 (TBUS/ASCII und Modbus), SDI-12 und eine 4-20-mA-Stromschnittstelle.

Der SMT 100 wird oft für professionelle Anwendungen eingesetzt (Präzisionslandwirtschaft, wissenschaftliche Anwendungen in der Hydrologie und Bodenkunde).

## Einbindung von Sensoren in Gießanlagen

Wie schon erwähnt, verfügen billige Sensoren über analoge und nur höherwertige Sensoren über digitale Schnittstellen. Einfache analoge Sensoren kann man in der Arduino-IDE leicht ohne zusätzliche Bibliotheken einbinden. Nötig ist lediglich ein Analogeingang. Im folgenden Programmbeispiel wird Pin A0 eines Arduino Uno verwendet:

```
int SENSOR_PIN = A0; /* select analog pin */
int SENSOR_VAL = 0; /* variable storing sensor value */
void setup()
{
  Serial.begin(9600); /* setup serial connection */
}
void loop()
{
  /* read value */
  SENSOR_VAL = analogRead(SENSOR_PIN);
  Serial.println(SENSOR_VAL); /* output value */
}
```

Höherwertige Exemplare wie der Sensor CWT-SOIL-H-S oder der SMT 100 bieten digitale Schnittstellen. In meiner Anlage sind beide Sensoren per Modbus-RS485-Schnittstelle angebunden. Die Vorteile dieser Verbindung liegen klar auf der Hand: Lange Kabelverbindungen bis zu 100 m vom Sensor zur Steuerung sind unbedenklich und die Datenübertragung ist unempfindlich gegen Störungen. Außerdem können viele Sensoren über die gleiche Schnittstelle bedient werden. Der CWT-SOIL-H-S funktioniert prinzipiell nicht schlecht, doch haben bei mir schon zwei Sensoren nach einem Jahr einfach aufgehört zu funktionieren oder unrealistische Werte angezeigt. Außerdem wird zwar eine verständliche Anleitung mitgeliefert, jedoch ist das darin beschriebene Konfigurationsstool nur schwer im Internet zu finden und dann nur in chinesisches. Aus diesem Grund wird nachfolgend lediglich auf die Integration des Sensors SMT 100 eingegangen.

Noch etwas zu den Begriffen RS485 und Modbus: RS485 ist eine differentielle serielle Schnittstelle, deren zwei Leitungen Daten im Gegentakt übertragen, was Gleichtaktstörungen unterdrückt und das SN-Verhältnis gegenüber RS232 verbessert. Mit einfachen, verdrehten und ungeschirmten Leitungen sind leicht stabile Verbindungen bis 100 m machbar. Modbus ist ein Client/Server-Kommunikationsprotokoll, das schon 1979 für die Kommunikation bei speicherprogrammierbaren Steuerungen entwickelt wurde. Dieses offene Protokoll hat sich zum De-facto-Industrie-Standard entwickelt. Alle technischen Dokumente sind unter [10] frei verfügbar. Prinzipiell verfügt jeder Knoten über eine eindeutige Adresse, über die er adressierbar ist.

## Sensor konfigurieren

Für erste Experimente mit dem SMT 100 empfiehlt sich eine USB-RS485-Bridge oder eine PCIe-RS485-Karte, mit der der Sensor direkt mit einem Laptop oder PC kommunizieren kann. Ich verwende einen gut dokumentierten Stick auf der Basis eines FTDI-Chips.

Auf der Webseite des Sensorherstellers [11] kann man ein sehr komfortables Modbus-Konfigurationsprogramm herunterladen. Nach dem Entpacken und der Installation verbindet man die RS485-Variante des Sensors wie folgt mit der RS485-Schnittstelle: Die weiße Leitung des Sensorkabels ist Masse, die grüne Leitung RS485-A und die gelbe

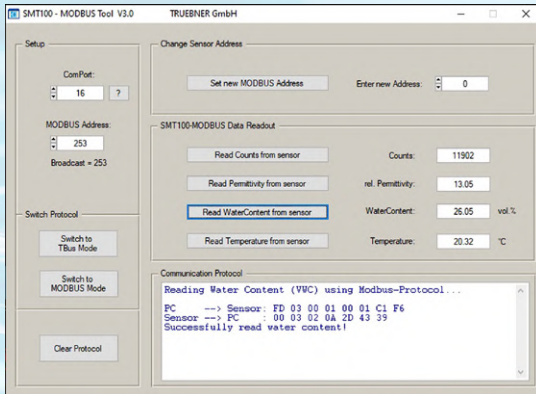


Bild 10. Modbus-Testprogramm für SMT 100.

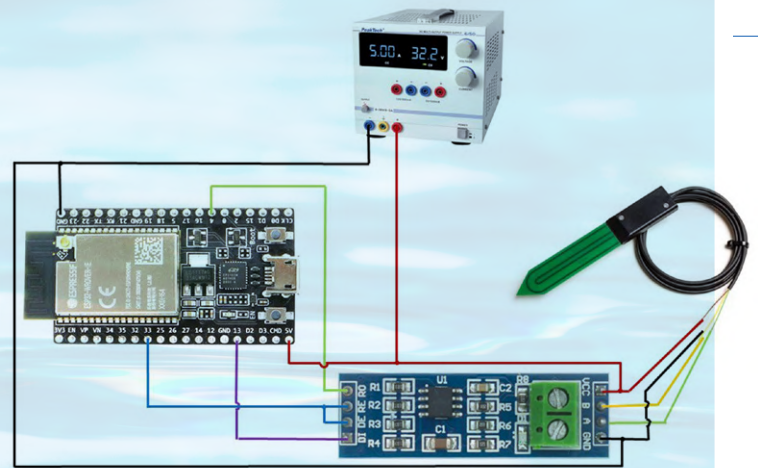


Bild 11. Testaufbau für den Anschluss eines SMT 100 an einen ESP32.

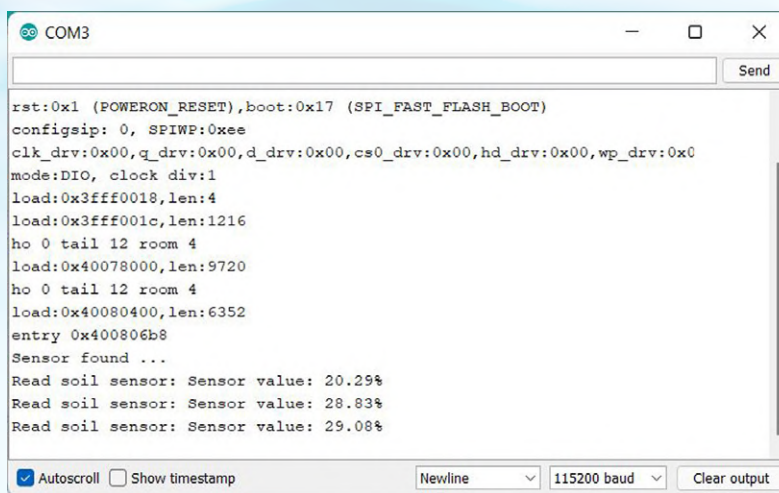


Bild 12. Ausgabe im Serial Monitor der Arduino-IDE.

Leitung RS485-B. An die braune Leitung muss dann noch eine Versorgungsspannung von +4...+24 V (gegen Masse) gelegt werden. Nach dem Start des Modbus-Tools muss man nur noch den korrekten COM-Port auswählen. Erscheint bei einem USB-Stick kein Port, so muss noch der passende USB-Treiber installiert werden. Ist alles gut, erscheint das Fenster von **Bild 10**.

Man kann nun die einzelnen Parameter auslesen oder die Modbus-Adresse ändern. Standardmäßig ist der Sensor unter der Adresse 253 (Broadcast) erreichbar. Sollen mehrere Sensoren eingebunden werden, so muss jeder Sensor eine eindeutige Adresse haben. Im Programmbeispiel wird die Modbus-Adresse mittels *Set new MODBUS Address* auf 1 gesetzt. Anschließend testet man zur Sicherheit die Kommunikation über Adresse 1 (dafür *MODBUS Address* links auf 1 setzen). Zum Einstellen der Adresse darf immer nur ein Sensor am Bus angeschlossen sein!

## Ein Testprogramm

Nun wird demonstriert, wie solch ein Sensor in eine Gießanlage eingebunden wird. **Bild 11** zeigt den Testaufbau.

Zum Einsatz kommt neben einem leicht erhältlichen ESP32-DEV-Kit ein kleines Konverter-Board, das die RS485-Signale des Sensors in computergerechte TTL-Pegel umsetzt. Das Pad *DI* ist ein Eingang,

über den der ESP32 Daten seriell an den Sensor übertragen kann. Via *RO* kann der ESP32 Daten vom Sensor empfangen. *DE* und *RE* sind hier miteinander verbunden. Werden diese Pins auf „low“ gelegt, wird der Empfänger im MAX485 freigegeben - bei „high“ ist dann der Sender des MAX485 aktiv.

Nun zum Testprogramm: Vor der Setup-Routine werden Definitionen für die Pins vorgenommen und die Variablen für den Sensor definiert. In der Setup-Routine wird der Pin zum Umschalten des Senders/Empfängers initialisiert, die serielle Standard-Schnittstelle als Debug-Schnittstelle definiert, das serielle Interface zum Sensor als „Hardware Serial Interface 2“ initialisiert und über eine Subroutine geprüft, ob der Sensor korrekt angeschlossen ist.

In der Hauptschleife wird durch Aufruf der Subroutine *SUB\_RECEIVE\_HUMIDITY* alle 3 s der Sensor abgefragt und das Ergebnis ausgegeben. Drei Subroutinen regeln die Abfrage der Sensorwerte: *SUB\_CHECK\_HUMIDITY* testet über eine korrekt empfangene Sensoradresse, ob ein Sensor angeschlossen ist. *SUB\_RECEIVE\_HUMIDITY* fragt den Sensorwert ab und *SUB\_CALCULATE\_CRC* berechnet die CRC-Checksumme. Den kompletten, gut kommentierten Beispielcode kann man kostenlos unter [12] herunterladen. Wenn im *Serial Monitor* der Arduino-IDE dann eine Ausgabe wie in **Bild 12** erscheint, ist alles gut gegangen. ◀

210684-02

## Sie haben Fragen oder Kommentare?

Sie haben Fragen oder Kommentare? Bei technischen Fragen können Sie sich gern an den Autor wenden unter [peter.tschulik@chello.at](mailto:peter.tschulik@chello.at) oder an die Elektor-Redaktion unter der E-Mail-Adresse [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



## PASSENDE PRODUKTE

- ESP-C3-12F-Kit Entwicklungsboard mit 4 MB Flash SKU 19855:  
[www.elektor.de/19855](http://www.elektor.de/19855)
- MakePython ESP32 Development Kit SKU 20137  
[www.elektor.de/20137](http://www.elektor.de/20137)
- Bundle: Buch Getting Started with ESPHome + LILYGO TTGO T-Display ESP32 (16 MB) SKU 19896  
[www.elektor.de/19896](http://www.elektor.de/19896)

## WEBLINKS

- [1] C. Hübner, U. Kaatze, „Electromagnetic moisture measurement“, Universitätsverlag Göttingen: <https://doi.org/10.17875/gup2016-958>
- [2] Leitfähigkeitssensor YL69: <https://store.siqma.com/yl69-soil-moisture-sensor-module.html>
- [3] Kapazitiver Sensor: [www.reichelt.de/entwicklerboards-feuchtesensor-bodenfeuchte--debo-cap-sens-p223620.html](http://www.reichelt.de/entwicklerboards-feuchtesensor-bodenfeuchte--debo-cap-sens-p223620.html)
- [4] Vegetronix VH400: [www.vegetronix.com/Products/VH400](http://www.vegetronix.com/Products/VH400)
- [5] Sensorvergleich: <https://dvs-bodenfeuchte-sensoren.de/pages/smt50-vs-vegetronix-vh400>
- [6] Sensor CWT-SOIL-H-S: <https://de.aliexpress.com/item/1005001524845572.html>
- [7] Sensor SMT 50: [www.truebner.de/en/smt50.php](http://www.truebner.de/en/smt50.php)
- [8] Sensor DAV-6440: <https://davis-wetterstationen.de/6440-davis-bodenfeuchtesensor-soil-moisture-sensor-6440-p-116.html>
- [9] Sensor SMT 100: [www.truebner.de/en/smt100.php](http://www.truebner.de/en/smt100.php)
- [10] Modbus: <https://modbus.org>
- [11] Download SMT 100 Modbus Tool: [www.truebner.de/download/ModbusTool\\_Installer\\_V3.zip](http://www.truebner.de/download/ModbusTool_Installer_V3.zip)
- [12] Beispiel-Code: [www.elektormagazine.de/210684-02](http://www.elektormagazine.de/210684-02)

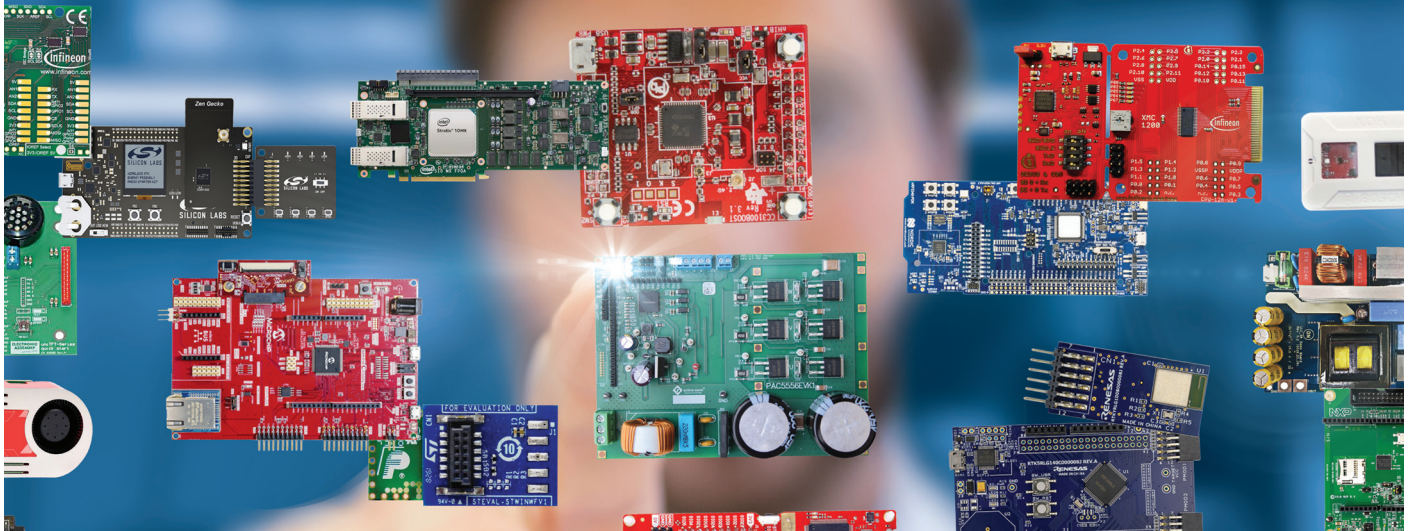
Advertentie

# Development Tools alle an einem Ort

Tausende Tools von hunderten zuverlässigen Herstellern



Wählen Sie Ihr Produkt aus unserer breiten Palette auf [mouser.de/dev-tools](http://mouser.de/dev-tools)



# Umbbruch in der Mess- und Prüftechnik

## Innovationen kleinerer Akteure



Von **Stuart Cording (Elektor)**

Es gibt nichts Befriedigenderes, als ein Labor zu sehen, das mit Mess- und Prüfgeräten ausgestattet ist. Es ist ein Zeichen dafür, dass die Dinge richtig angepackt werden. Allerdings können die Kosten für herkömmliche Geräte für Startups, kleinere Unternehmen und Studenten unerschwinglich sein. Was wird also unternommen, um das Messen für diese „breite Masse“ zugänglich zu machen?

Wenn man die Hallen und Stände einer Elektronikmesse wie der *electronica* oder der *embedded world* durchstreift, kann man sich leicht für die Stände der weltbesten Anbieter von Mess- und Prüfgeräten (Test and Measurement, T&M) begeistern. Farbdisplays, glatte und weiche Tasten und Knöpfe, die beim Drehen einen beruhigenden haptischen Eindruck hinterlassen, strahlen Qualität, Zuverlässigkeit und Messgenauigkeit aus. Doch das alles hat seinen Preis. Selbst Oszilloskope der Einsteigerklasse mit einer Bandbreite von 50 MHz von großen Namen wie Rohde & Schwarz oder Keysight lassen Ihnen nicht viel von 1.000 € übrig. Signalgeneratoren und Spektrumanalysatoren beginnen bei etwa 2.000 €. Und wenn Sie mobil sein wollen, vielleicht mit einem Handheld, müssen Sie nochmal deutlich mehr ausgeben.

Die starke Belastung des Budgets wird überdeutlich, wenn es um die Ausstattung ganzer Labore geht, was sich insbesondere im Bereich typischer Bildungseinrichtungen und im Bereich von Forschung und Entwicklung negativ bemerkbar macht. Auch wenn ein Student oder ein Ingenieur vielleicht den ganzen Tag am Labortisch verbringt, werden die einzelnen Messgeräte unterschiedlich oft benutzt, einige Geräte vielleicht den ganzen Tag, andere kommen bisweilen nur einmal in der Woche zum Einsatz. Oszilloskope und Spektrumanalysatoren sind zudem recht unhandliche Geräte und lassen sich nur mühsam an einen anderen Standort transportieren, wo sie vielleicht gerade gebraucht werden. Da die Anwendungen ständig komplexer ausfallen, werden T&M-Geräte während der

Entwicklung auch regelmäßig in Testautomatisierungssystemen aufgenommen. In solchen Fällen kann ein einzelnes Gerät tage- oder wochenlang in einem Setup „eingefroren“ sein, so dass andere Anwender gehindert werden, es zu benutzen.

Seit einiger Zeit aber bekommen die traditionellen T&M-Anbieter Konkurrenz. Startups und Veteranen der Elektronikindustrie, die von der Komplexität herkömmlicher Werkzeuge, dem eintönigen Äußeren und den unzureichenden Benutzeroberflächen enttäuscht sind, haben kompetente Alternativen entwickelt, die außergewöhnliche Fähigkeiten für einen Bruchteil des Preises von Labortisch-Geräten bieten. Dies hat die Art und Weise verändert, wie Ingenieure ihre Labors ausstatten, und es verändert auch die Art und Weise, wie Studenten lernen.

### Lab in a Box

Traditionell erforderte die Beschaffung eines Oszilloskops, eines Netzgeräts, eines Spektrumanalysators, eines Funktions- oder Arbiträrgenerators oder eines Voltmeters ein großzügiges Budget und einen stabilen Labortisch, auf dem jedes dieser Geräte als Einzelkönner seinen Platz fand. Im Laufe der Jahre und in Zusammenhang mit der Aufkommen automatisierter Testsysteme haben Anbieter wie *National Instruments* modulare Hardware-Lösungen für T&M-Aufgaben entwickelt, wie zum Beispiel das PXI-System. Dieses besteht aus einem Chassis, in das eine Reihe von Messkarten eingesetzt werden können, was die Erstellung



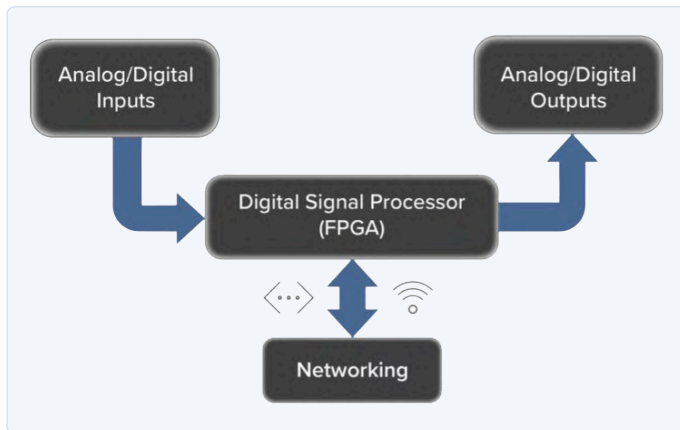


Bild 1. Die Moku-Familie verwendet den Ansatz eines Instrument-on-chip (IoC), bei dem ein hochleistungsfähiges Analogsystem mit einem rekonfigurierbaren FPGA gekoppelt ist, um die verschiedenen unterstützten Funktionen zu implementieren. (Quelle: Liquid Instruments)



Bild 2. Das Moku:Go ist das portable Mess- und Prüfgerät der Einsteigerklasse von Liquid Instruments. (Quelle: Liquid Instruments)

von individuell angepassten Messlösungen ermöglicht. Aber was wäre, wenn die Hardware stets gleich bliebe und nur die Software die Messfunktionen definieren würde?

Diese Frage stellten sich die fünf Gründer von *Liquid Instruments*, einem Startup mit Sitz in der Nähe des kalifornischen San Diego. Die Gruppe von Wissenschaftlern, die mit Experimentalphysik und der Erforschung von Gravitationswellen beschäftigt war, fand das bestehende T&M-Angebot unflexibel und schlecht skalierbar. Die Verfügbarkeit leistungsfähiger Systems-on-Chip (SoC) in Form von Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs) brachte sie auf die Idee, dass man eine gemeinsamen Hardware-Plattform entwickeln könne, die auf viele verschiedene Arten genutzt werden konnte (Bild 1). Ihr Ziel war es, Benutzer Messlösungen entwickeln lassen, an die selbst das Team nicht gedacht hatte.

Das Ergebnis ihrer Bemühungen ist die Moku-Reihe softwaredefinierter T&M-Lösungen. Am unteren Ende des Preisspektrums steht das Moku:Go (Bild 2), eine technische Plattform, die leicht in den Rucksack eines Studenten oder Ingenieurs passt. Bei einer Größe von nur 24 cm × 13 cm und einer Höhe von nur 3,8 cm verfügt das Gerät über zwei analoge 12-Bit-Eingangskanäle mit 125 MS/s, bietet eine Bandbreite von 30 MHz und weist einen Eingangsbereich von ±25 V auf. Auf der Ausgangsseite gibt es zwei analoge 12-Bit-Ausgänge mit 125 MS/s, 20 MHz Bandbreite und einem Bereich von ±5 V sowie 16 digitale I/O-Kanäle. Vier Stromversorgungsausgänge, je nach Modell zwischen 150 mA und 1 A sowie -5 V und 16 V, runden die Funktionen des Gerätes ab.

### Nutzen Sie Ihr Tablet!

Wie ähnliche Tools dieser Art ist auch Moku für die grafische Benutzeroberfläche (GUI) anderer Geräte angewiesen. Während Laptops und PCs über einen Browser auf die GUI zugreifen können, ist Moku für den Betrieb mit dem Touchscreen eines iPad optimiert. Moku:Go Mo und Moku:Go M1 sind über WLAN verbunden, während Moku:Go M2 auch über einen Ethernet-Anschluss verfügt. Dank des durchdachten Designs ist die Benutzeroberfläche übersichtlich und intuitiv.

Das Moku:Go [1] bietet elf verschiedene Instrumente, darunter

ein Oszilloskop, einen Standard- und einen Arbiträrgenerator, einen Logik- und einen Spektrumanalysator. Darüber hinaus gibt es fortgeschrittene Instrumente wie einen FIR-Filtergenerator, einen Datenlogger, einen 20-MHz-Lock-in-Verstärker und einen PID-Regler mit mehreren Ein- und Ausgängen [2]. Die letztgenannte Funktion verdeutlicht die Leistungsfähigkeit dieser Geräte, mit denen bis zu zwei PID-Regler implementiert, konfiguriert und überwacht werden können. Der interaktive Bode-Plot bietet einen PID-Konfigurator mit zwei Pfaden und Echtzeitregelung, die allen, die Regelsysteme entwickeln oder darüber unterrichten, einen hervorragenden Einblick in die Funktionsweise geben.

Im Gespräch mit Michi Yoneda, einem Mitglied des Liquid Instruments-Teams, erklärte er, dass die Moku-Produktreihe häufig in Universitätslabors und Forschungsinstituten zum Einsatz kommt. Dort wird sie für alles Mögliche, von Photonik und LiDAR bis hin zu Spektroskopie und Quantencomputing eingesetzt. Das Instrument kann während des Betriebs gewechselt werden. Dies und die programmierbare Schnittstelle machen es zu einer wertvollen Alternative zu teuren herkömmlichen Messgeräten. Benutzer können zudem ohne Zugang zu traditionellen FPGA-Entwicklungstools ihre eigenen Instrumente entwickeln. Dank der Plattform Cloud Compile [3] können Kenner der VHDL den erforderlichen Bitstream erstellen. Derzeit ist diese Funktion zwar nur beim High-End-Gerät Moku:Pro enthalten, aber es besteht die Möglichkeit, dass sie zukünftig auf den Rest der Produktpalette ausgeweitet wird.

Ein Problem bei solchen Tools ist oft ihre Genauigkeit. Sicherlich sind sie geeignet, um einen Überblick über die Signale auf einer Platine zu gewinnen, aber kann ich einem Kunden Versprechungen auf der Grundlage eines gemessenen Wertes machen? Yoneda versichert mir, dass dies möglich ist, und zwar dank eines Drittanbieters, der die Kalibrierung zusammen mit einem Zertifikat anbietet.

### Von Frustration zum Logik-Analysator

Wenn Sie Ihre Tastköpfe an einer seriellen Schnittstelle angeschlossen und einen geeigneten Dekoder für Ihren Logikanalysator gefunden haben, ist eine der frustrierendsten Momente, wenn Sie



Bild 3. Das Einstiegsmodell Logic 8 von Saleae bietet acht Kanäle für die Mixed-Signal-Erfassung in einem winzigen quadratischen Aluminiumgehäuse mit einer Kantenlänge von nur 5,3 cm. (Quelle: Saleae)

entdecken, dass eine zusätzliche kostenpflichtige Lizenz erforderlich ist, obwohl die Hardware prinzipiell für diese Aufgabe geeignet ist und Sie das Tool ja auch bezahlt haben. In anderen Fällen war es einfach der fehlende Zugang zu erschwinglichen Testgeräten, der zur Gründung von Unternehmen wie Saleae führte, dem Entwickler und Hersteller der beliebten USB-basierten Logikanalysatoren. Mark Garrison, Vice President of Engineering bei Saleae, erklärt, dass es zur Entwicklung der Tools kam, als sein Bruder an einem Embedded-Design arbeitete. Damals war ein großer Logikanalysator für den Labortisch nicht finanzierbar, nicht einmal gebraucht auf eBay, also beschaffte er sich ein USB-basiertes Gerät. Das einzige Problem war aber, dass dieses Gerät mehr Fehlersuche nach sich zog als das Produkt, das er gerade entwickelte.

Im Laufe der Jahre hat sich die Produktpalette der Logikanalysatoren weiterentwickelt, aber heute ist der Logic 8 (Bild 3) das Einstiegsmodell des Unternehmens [4]. Logic 8 verfügt über acht Mixed-Signal-Eingänge, die digital, analog oder beides aufzeichnen können. Mit einer digitalen Abtastrate von 100 MS/s und einer analogen Abtastrate von 10 MS/s deckt er die meisten Anwendungsfälle in Forschungslabors und in der Ausbildung ab.

### Reibungslose Abläufe

Besonders hervorzuheben ist die Software Logic 2 (Bild 4), die Benutzeroberfläche des Tools, die unter Windows, Linux und mac OS läuft. Die grafische Benutzeroberfläche ist intuitiv und ermöglicht es dem Benutzer, Kanäle zu aktivieren, zu deaktivieren und sie zu benennen. Die Farbkodierung in der GUI entspricht den Farben der Verbindungskabel des Geräts. Die Dekodierung vieler serieller Standardprotokolle wird unterstützt, von I<sup>2</sup>C, SPI und UART bis hin zu MIDI, Modbus RTU und sogar der HD44780-Schnittstelle, die bei alphanumerischen LCDs verwendet wird. Das Gerät wird auch häufig für die Datenprotokollierung verwendet, wobei die Entwickler die Python-API (Application Programming Interface) nutzen.

Im Vergleich zu einem herkömmlichen Tischgerät wird der Benutzer beeindruckt durch die Einfachheit, mit der Signale in der Software überprüft werden können. Garrison erklärt, dass bei der anfänglichen Entwicklung die Benutzerfreundlichkeit der Google-Maps-Benutzeroberfläche als Inspiration gedient hat. Das GUI ermöglicht es, aufeinanderfolgende Flanken im Datenstrom leicht zu finden, selbst wenn sie weit auseinander liegen. Wenn man den Datenstrom nach links oder rechts wischt, rollt die Logikausgabe bis zu einem eventuellen Stopp, wenn sie nicht vorher angehalten wird. Dies ist eine enorme Verbesserung gegenüber den vielen Knöpfen und Tasten herkömmlicher Prüfgeräte.

Zur Zeit werden etwa 80 % der Geräte an professionelle

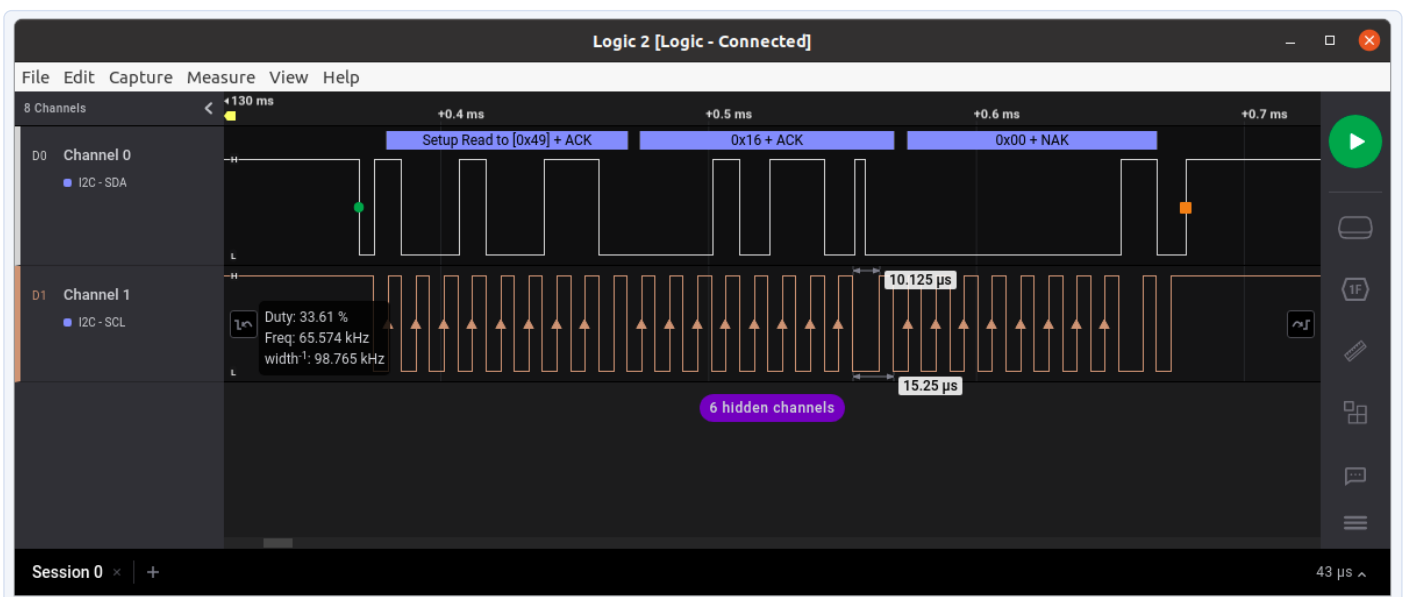


Bild 4. Logic 2 ist die Benutzeroberfläche für die Tools von Saleae. Sie ist außerordentlich einfach zu bedienen und ermöglicht das schnelle Auffinden von Flanken und die Dekodierung serieller Schnittstellen.

Ingenieurteams verkauft, von denen viele die hochauflösende Datenerfassung schätzen, die dieses doch bescheidene Gerät bietet. Die restlichen Kunden sind Maker, Ausbilder und Startups, die froh sind, Zugang zu einem Werkzeug dieses Kalibers zu einem akzeptablen Preis zu erlangen. Dies spiegelt sich auch in dem aktiven Benutzerforum [5] wider, in dem sich die Community gegenseitig hilft und unterstützt, sowohl bei den Tools als auch bei Fragen der Entwickler. In dem Forum werden auch Erweiterungen behandelt, eine Reihe von Python-Paketen, die Merkmale der erfassten Daten wie zum Beispiel Signal-Jitter liefern können oder eine übergeordnete Analyse der dekodierten Datenströme durchführen.

### Das Labor im Schulranzen

Während die Bildungseinrichtungen hervorragende Arbeit geleistet haben, um auf der digitalen Welle zu reiten und Embedded-Programmierer und App-Entwickler hervorgebracht haben, ist die Begeisterung für das Analoge unter den Studenten stark zurückgegangen. Dies stellte schon vor einem Jahrzehnt Robin Getz, Director of Systems Engineering bei Analog Devices, in einem Gespräch mit einem Professor am MIT fest. Damals beschäftigten sich von 200 Ingenieurstudenten nur etwa vier mit Analogtechnik, der Rest konzentrierte sich auf Software und Digitaltechnik. Diese Erkenntnis gab den Anstoß zur Entwicklung einer Reihe kostengünstiger aktiver Lernmodule (ALM), die einen einfachen Einstieg in die Analog- und HF-Technologie ermöglichen.

Diese Reihe beginnt mit dem ADALM1000 [6] (auch bekannt als M1K), einem eigenständig arbeitenden Tool, mit dem Studenten die Beziehung zwischen Strom, Spannung und Impedanz erforschen können (Bild 5). Es wird über USB mit Strom versorgt und konfiguriert und bietet zwei Kanäle zur Signalerzeugung und -messung für Spannung und Strom. Die 16-Bit-Oszilloskope und Funktionsgeneratoren mit einer Geschwindigkeit von 100 kS/s sind mehr als ausreichend, um analoge Konzepte zu erforschen. Unterstützt wird dies durch die einfach zu bedienende, quelloffene Software PixelPulse 2 [7], die unter Windows und macOS läuft. Linux-Benutzer können die Anwendung selbst erstellen. Eine traditionellere Benutzeroberfläche wird vom Softwarepaket ALICE [8] bereitgestellt. Das Modul ADALM2000 [9] in Bild 6 (auch bekannt als M2K) ist noch leistungsfähiger: Zwei analoge Eingänge (100 MS/s, 25 MHz) und zwei analoge Ausgänge (150 MS/s, 30 MHz) werden durch zwei variable Stromversorgungen (0...±5 V bei 50 mA) ergänzt. Außerdem gibt es 16 digitale I/Os und zwei digitale Trigger. Dieses Tool verwendet Scopy [10], eine voll funktionsfähige Geräte-GUI, die unter Windows, macOS und Linux läuft (Bild 7). Die Software funktioniert auch unter Android, wenn das Gerät über einen OTG-Adapter an ein Tablet angeschlossen ist.

### Messung auf Laptop und Tablet

Die Unterstützung für Android-Tablets ist begründet, sagt Getz. „Wir haben festgestellt, dass die Studenten in den USA unserem



Bild 5. Mit dem ADALM1000 (M1K) können Studenten der Elektrotechnik ein komplettes Labor in ihrem Wohnheim oder zu Hause nutzen. (Quelle: Analog Devices)



Bild 6. Der ADALM2000 (M2K) gehört jetzt zur Standardausrüstung der FAEs von Analog Devices und umfasst ein Oszilloskop, einen Funktionsgenerator, einen Logikanalysator und einen Mustergenerator. (Quelle: Analog Devices)



Bild 7. Die Benutzeroberfläche (GUI) ist entscheidend für den Erfolg eines jeden Headless-Messgeräts. Scopy bietet für alle Betriebssysteme und auf Android-Tablets einen klaren Zugang zu seinen Funktionen und Einstellungen. (Quelle: Analog Devices)

Labormaterial auf ihren Laptops folgen, das M2K aber mit ihrem Tablet nutzen. In Asien besitzen die meisten Studenten ohnehin meist nur ein Tablet.“ Auf der Website des Engineering University Program [11] finden die Studierenden eine Fülle von Lernmaterialien.

Das Team hat sich nicht für den Lehrplan nur eines einzelnen Instituts entschieden, sondern sich darauf konzentriert, alle Kursmaterialien zusammenzustellen, die die Institute in Elektronik- und Bauteil-Grundlagenkursen für Ingenieurstudenten verwenden. In den USA führen die Studenten, die die Tools von Analog Devices verwenden, die Laborarbeiten in der Regel nicht im Labor, sondern zu Hause durch und besprechen dann die Ergebnisse und etwaige Unklarheiten mit den Mitarbeitern an ihrem College oder ihrer Universität. Sie können auch LTspice [12] verwenden, um Simulationen mit praktischen Ergebnissen zu vergleichen. Während der durch Covid-19 auferlegten Beschränkungen hat dies ein kontinuierliches Studium ermöglicht. Es stellt sich aber auch die Frage, wann die Studenten mit „richtigen“ Mess- und Prüfgeräten vertraut gemacht werden. Denn „irgendwann braucht man immer noch Benchtop-Geräte“, sagt Getz. „Wir sehen uns als Einstiegshilfe in das Lernziel, richtig messen und prüfen zu können.“

Die Studenten verbringen auch mehr Zeit mit dem Studium des Materials. Diejenigen, die das M1K und die von Analog Devices an der Universität Limerick (Irland) bereitgestellten Komponenten verwendeten, stellten fest, dass sich die Studenten intensiver mit den im Kurs behandelten Konzepten auseinandersetzten und mehr Zeit darauf verwendeten, diese zu überprüfen. Professor Hayes, Leiter des *The Electronic & Computing Engineering Department*, sagte, dass die Studenten schneller zu Experten werden, indem sie durch ihre praktische Arbeit „einfach lernen, wie sie ihre Laborumgebung nachbilden“ können [13].

### Mess- und Prüftechnik für immer verändert?

Schwere Labor-Mess- und Prüftechnik wird es auch weiterhin geben. Die Industrie benötigt schließlich standardisierte,

kalibrierte, handelsübliche Geräte, die sich problemlos in gängige Softwareprogrammierwerkzeuge wie LabVIEW von National Instruments oder MATLAB von MathWorks integrieren lassen. Wenn es jedoch um Ausbildung, Preis und Portabilität geht, bieten die von diesen neuen Marktteilnehmern angebotenen Tools eine Fülle von hochwertigen Messfunktionen zu einem Bruchteil der Kosten, die für vergleichbare T&M-Geräte von Anbietern mit großem Namen anfallen. Getz von Analog Device hebt außerdem hervor, dass all ihre *Field Application Engineers* (FAE) mit ihren Tools ausgestattet sind. Es gibt eine Vielzahl von Herausforderungen in der Entwicklung, die sie innerhalb der Möglichkeiten dieser Tools beim Kunden bewältigen können. Und er merkt an, dass ein Holzarbeiter ja nicht nur einen Hammer und eine Säge besitzt, warum sollten sich FAEs also ausschließlich auf Labor-Prüfgeräte verlassen? ◀

220201-02

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Senden Sie eine E-Mail an den Autor unter [stuart.cording@elektor.com](mailto:stuart.cording@elektor.com) oder kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



### PASSENDE PRODUKTE

- ▶ **PicoScope 2204A (10 MHz) SKU 17303**  
[www.elektor.com/17303](http://www.elektor.com/17303)
- ▶ **ScanaQuad SQ200 Logic Analyzer & Signal Generator SKU 18103**  
[www.elektor.de/18103](http://www.elektor.de/18103)

### WEBLINKS

- [1] Produktseite Moku:Go: <https://bit.ly/35tKNmz>
- [2] „Multiple-Input Multiple-Output PID Controller“, Liquid Instruments: <https://bit.ly/3NF3Zin>
- [3] „Moku Cloud Compile: A Getting Started Guide“, Liquid Instruments, September 2021: <https://bit.ly/35tWR7m>
- [4] Produktseite Saleae Logic Analyzers: <https://bit.ly/3qWyt62>
- [5] User-Forum Saleae: <https://bit.ly/376dAyf>
- [6] Produktseite ADALM1000: <https://bit.ly/3tXoFdE>
- [7] Pixelpulse-Software: <https://bit.ly/3NRfdkj>
- [8] ALICE Active Learning Interface (for) Circuits (and) Electronics Software: <https://bit.ly/3tYFi96>
- [9] Produktseite ADALM2000: <https://bit.ly/36G6laZ>
- [10] Scopy-Software: <https://bit.ly/3Jcj2Nr>
- [11] Analog Devices Hochschulprogramm für Ingenieure: <https://bit.ly/3LE3OCT>
- [12] Produktseite LTspice: [www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html](http://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html)
- [13] „UL and Analog Devices partner on digital learning tool to recreate lab environment at home“, University of Limerick, Dezember 2020: <https://bit.ly/3uOZVDB>



# WARTungszone

ALLES FÜR DIE INSTANDHALTUNG UND KLEINSERIE



## Wir warten nur auf Sie!

Ausgewählte Markenprodukte und unsere preisgünstige Eigenmarke RND für die Wartung/Instandhaltung, das Prototyping und die Kleinserie. Warten Sie nicht länger und genießen Sie unser Riesensortiment, die schnelle Lieferung und die hohe Verfügbarkeit.

- Aktiv, Passiv, Elektromechanik
- Steckverbinder
- Automation, Pneumatik
- Messtechnik
- Löttechnik, Stromversorgungen
- Arbeitsplatzausstattungen, PSA
- Industrielle IT und Office-IT

[distrelec.de](http://distrelec.de)

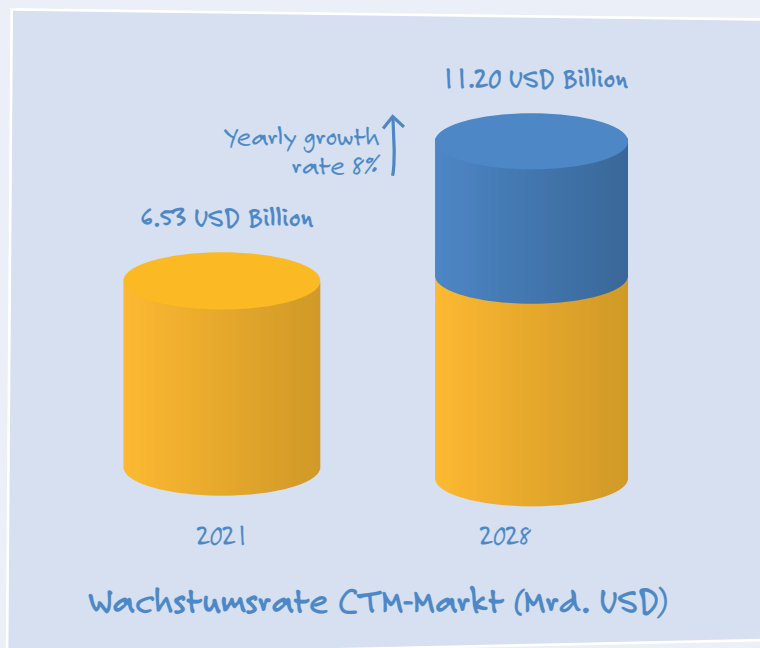


**DISTRELEC**

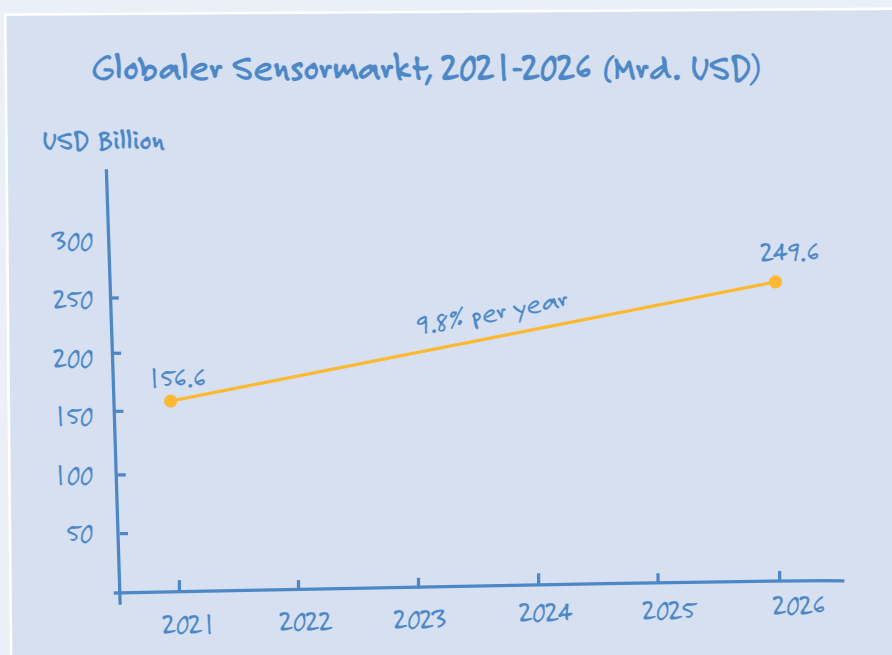
## CTM: Stärkeres Wachstum als TM (und es bleibt stark)

In den kommenden Jahren wird der Markt für Kommunikations-Messtechnik (CTM) viel stärker wachsen als der Markt für allgemeine Messtechnik (TM). Das ist nichts Neues: Im Jahr 2020 haben wir eine Wachstumsrate von 9 % für den CTM-Markt gegenüber nur 4 % für TM gemeldet. Aufgrund von Covid-19 ist der Optimismus für den globalen CTM-Markt in den kommenden Jahren jedoch etwas geringer geworden. Einige Marktforschungsunternehmen sind der Meinung, dass eine Wachstumsrate von 8 % realistischer wäre oder wollen sogar bei einer Schätzung nur auf 7 % bleiben. Wir gehen von 8 % aus, basierend auf verschiedenen Untersuchungen zur Marktgröße und Wachstumsrate.

(Quellen: Data Bridge Market Research; MarketsandMarkets; Research and Markets; Vantage Market Research)



## Sensoren: Ja, es liegt an der Lieferkette



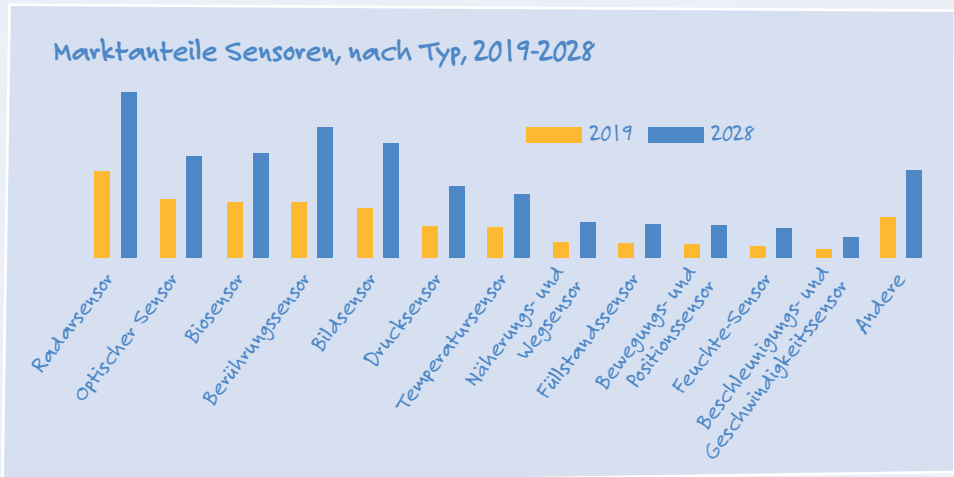
Was für den globalen Markt für Kommunikations-Messtechnik gilt, gilt auch für den globalen Sensormarkt: Die Nachfrage bleibt in den kommenden Jahren hoch, aber Covid-19 hat die Lieferketten unterbrochen. Da man weiß, dass die Lieferschwierigkeiten irgendwann enden werden, hat die hohe Nachfrage das letzte Wort, was zu einem Wachstum von etwa 10 % im Zeitraum 2021...2026 führt. Diese hohe Wachstumsrate hat mit der Tatsache zu tun, dass es keinen Industriebereich gibt, der nicht an (mehr oder weniger) intelligenten Sensoren interessiert ist. Die Anwendungen reichen von der Senkung der Wartungskosten bis zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus im Verkehrs- und im Gesundheitswesen.

(Quelle: Allied Market Research; BCC Publishing)

# And the winner is: der Radarsensor!



Was ist und wird das vielversprechendste Sensorbauteil der Messtechnik dieses Jahrzehnts sein? Oder anders ausgedrückt: Wer hätte gedacht, dass die Radartechnik so wichtig werden würde? Die Radartechnologie kann nicht mehr nur mit der Luftfahrt und der Schifffahrt in Verbindung

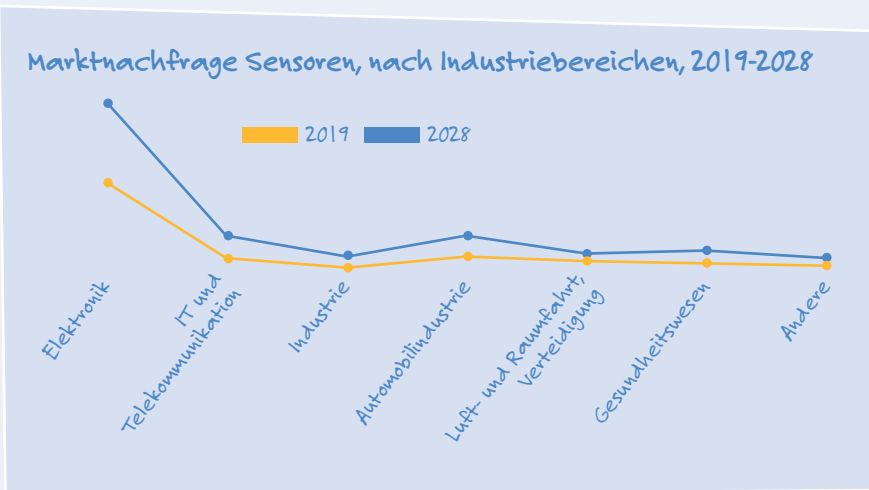


gebracht werden. Was ist von autonomen Autos zu halten? Radarsensoren können ein Objekt nicht nur erkennen, sondern auch seine Form, seine Bewegungsrichtung und sogar seine Geschwindigkeit bestimmen. Grob gesagt machen Radarsensoren 20 %

des gesamten globalen Sensormarktes aus. Dieser würde sich im Jahr 2028 auf rund 70 Mrd USD belaufen.

(Quellen: Allied Market Research; Fierce Electronics)

## Und wo landen all diese Sensoren?



Wo, in welchen technischen Bereichen werden all diese Sensoren eingesetzt? Man könnte meinen, dass IT und Telekommunikation angesichts des Wachstums der Breitbandkommunikation den wichtigsten Markt für Sensoren darstellen. Folgt man diesem Gedankengang, so würde ein anderer wachstumsstarker Sektor, die Automobilindustrie, wahrscheinlich an zweiter Stelle stehen. Ja, IT und Telekommunikation sowie die Automobilindustrie sind weltweit immer noch stark im Kommen. Aber es ist die (Unterhaltungs-) Elektronik, die bis 2028 mit Sicherheit den größten Teil des Sensormarktes ausmachen wird. Von Waschmaschinen über Kühlschränke bis hin zu Spielkonsolen - die Liste ist endlos und genau das ist der Punkt.

(Quelle: Allied Market Research)

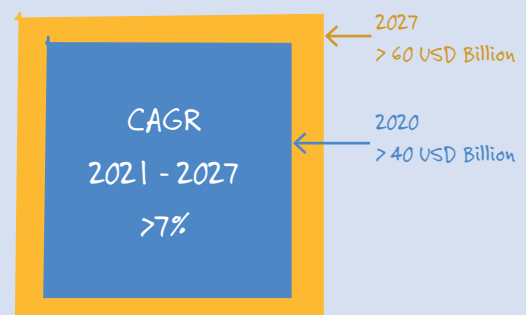


## Ist Covid-19 gar ein Wachstumsimpuls?

Im Vergleich zu den Angaben von vor zwei Jahren ist das Marktforschungsunternehmen *Global Market Insights* etwas optimistischer, was den globalen Markt für Softwaretests angeht. Dafür gibt es mindestens zwei Gründe: Softwareanwendungen in der Cloud werden von Tag zu Tag beliebter. In Anbetracht der Tatsache, dass diese Anwendungen regelmäßig aktualisiert werden, bleibt das Testen von Software in den Köpfen der Menschen präsent. Ein weiterer Grund hat mit der Pandemie zu tun. Covid-19 gibt dem Wachstum von Cloud-Anwendungen einen zusätzlichen Impuls. Aus diesem Grund geht *Global Market Insights* davon aus, dass der Markt für Softwaretests zwischen 2021 und 2027 um mehr als 7 % wachsen wird, anstatt der geschätzten 6 % für 2020 bis 2026.

(Quelle: Global Market Insights)

### Größe des Markts für Softwaretests, 2021-2027 (Mrd. USD)



# Inspiration: Was wirklich wichtig ist

## Interview mit dem Unternehmer Walter Arkesteijn von InnoFaith Beauty Sciences

Von Jan Buiting (Elektor)

In der Elektronik können sich Ideen, grobe Skizzen und Anregungen als wertvoller erweisen als fertige Schaltungen. Wie Walter Arkesteijn diese Philosophie in seinem jungen Unternehmen anwendet, erzählt er in diesem Interview.

**Jan Buiting:** In der Elektronikindustrie, in der Entwicklung und in der Ausbildung erleben viele ein Déjà-vu, wenn sie plötzlich wieder auf Elektor stoßen, oft nachdem sie schon lange beruflich aktiv gewesen sind. Aber bei Ihnen ist das anders, da Sie heute nicht nur in diesem Bereich tätig, sondern auch aktiver Elektor-Leser sind?

**Walter Arkesteijn:** Das stimmt, ich bin immer noch aktiver Leser von Elektor. Doch da ist ein Unterschied zu früher. Während ich heute ein eher nostalgischer Leser bin, war ich schon in jungen Jahren ein aktiver Elektor-Leser. Es war das richtige Medium für mich, um all das Wissen aufzusaugen und damit meinen Kindheitstraum vom Gestalten zu verwirklichen. Ich kann wirklich sagen, dass Elektor viel zu dem beigetragen hat, was ich heute bin. Durch Ihre Zeitschrift konnte ich viel Wissen sammeln und es dazu nutzen, um über Lösungen und Möglichkeiten nachzudenken. Elektor spornt immer noch meinen kreativen Geist an, und es macht mir Spaß, die präsentierten Innovationen und verschiedenen Projekte zu verfolgen.

**Jan:** Was war Elektor für Sie? Seien Sie ehrlich!

**Walter:** Für mich war und ist die Zeitschrift eine Informationsquelle. Vor allem damals, als meine Begeisterung für Elektronik anfang und ich noch lernen musste, jede Tabelle zu verstehen.

**Jan:** Was ist Ihr technischer Hintergrund und wie hat Elektor geholfen oder ausgebremst? Was waren Ihre Lieblingsprojekte oder -artikel und warum?

**Walter:** Mein technischer Hintergrund basiert auf einem Studium der Elektrotechnik an einer Fachhochschule. Elektor hat meine Leidenschaft für Elektronik geweckt, weshalb ich mich für dieses Studium entschieden habe. Ich wollte mehr lernen, insbesondere im Bereich Elektrotechnik. Ich neigte immer dazu, alles selbst zu entdecken, und in dieser Hinsicht hat Elektor dazu beigetragen, mich zu inspirieren.

Besonders fasziniert hat mich der Prozess, wie Fantasie mit Hilfe von Technik Wirklichkeit wird. Wenn ich Elektor-Projekte nennen müsste, wären es die in der Zeitschrift vorgestellten Audio-Verstärker. Was mich faszinierte, war die Tatsache, dass man sich innerhalb ein und desselben Themas - den Audioverstärkern - sehr spezialisieren kann. Hier finde ich die konzeptionellen Einblicke und die technischen Erkenntnisse sehr interessant.

**Jan:** Sie haben Ihre eigene Firma namens InnoFaith gegründet. Beschreiben Sie bitte kurz, wie es dazu kam. Was waren die Hauptmotive? Hoffentlich nicht die Rubrik Nachlese (heute Projekt 2.0) bei Elektor?

**Walter:** Ich habe InnoFaith Beauty Sciences [1] aus unternehmerischem Ehrgeiz heraus gegründet. Ich verspürte den persönlichen Drang, eine Nische innerhalb der ästhetischen Medizin zu nutzen. Ich fand heraus, dass es eine Menge Möglichkeiten gab, als ich als Teenager meine Mutter zu einer Messe begleitete - sie ist in der Schönheitsindustrie tätig. Ich wollte ein Instrument schaffen, das der Branche hilft, Hautprobleme und Hautalterung zu interpretieren und zu behandeln. So ist Sylton entstanden, die Marke, unter der wir diese Geräte verkaufen. Die Korrekturen von Elektor waren dabei kein Thema. Für mich ist Elektor wirklich ein Nährboden für Phantasie und Wissen.

**Jan:** Elektor als Zeitschrift propagiert oft, dass sie lieber inspiriert als belehrt. Wie haben Sie das erlebt? Was war Ihr persönlicher Auslöser, um einen Artikel zu lesen oder ein Projekt in Angriff zu nehmen?

**Walter:** Ich habe Elektor als inspirierend und nicht als pedantisch erlebt. So erlebe ich es immer noch. Ich habe nicht so viele Elektor-Projekte nachgebaut, denn meine Motivation war begrenzt, wenn etwas schon von jemand anderem erdacht war. Für mich ist der wichtigste Trigger: Beim Lesen eines Artikels wächst in mir die Faszination an der Technik. Andere Perspek-





tiven zu sehen, beflügelt meine Kreativität; es ermöglicht mir, Möglichkeiten zu sehen, die mir Lust machen, in neuen Bahnen zu denken.

**Jan:** Wie ist InnoFaith organisiert, und wie sieht die Produktpalette aus?

**Walter:** InnoFaith Beauty Sciences besteht zur Zeit aus einem Team von 23 Mitarbeitern. Wir entwickeln Soft- und Hardware selbst. Unser Hauptprodukt, das Observ 520x, wird über Distributoren in verschiedenen Ländern der Welt verkauft.

Für unser Produkt ist es wichtig, dass es einfach zu bedienen ist, obwohl es technisch sehr anspruchsvoll und kompliziert ist. Die digitale Technologie schlägt eine Brücke zwischen unseren instinktiven und unseren analytischen Fähigkeiten, Schönheit zu betrachten und zu beurteilen; das ist sehr inspirierend.

**Jan:** Welche Technologien spielen bei InnoFaith eine Rolle?

**Walter:** Bei InnoFaith Beauty Sciences arbeiten wir an verschiedenen Dingen, bei denen die Signalverarbeitung besonders wichtig ist - aber auch an Softwareentwicklung und Gerätedesign. Wir versuchen immer, uns im Bereich der Bildverarbeitung und Bildgebung weiterzuentwickeln. Wir arbeiten zum Beispiel mit verschie-

denen Lichtmodi und haben eine Anwendung entwickelt, die bei der Verwendung des Observ benötigt wird.

**Jan:** Wie würden Sie die Branche beschreiben, in der InnoFaith tätig ist? Was sind die Chancen und Herausforderungen?

**Walter:** InnoFaith Beauty Sciences ist in einer sehr interessanten Branche unterwegs, in der Endverbraucher des Produkts keine Techniker sind. Daher ist es für uns sehr wichtig, dass das Produkt nicht nur innovativ, sondern auch einfach zu handhaben ist.

Ich sehe vor allem im Bereich der Bildverarbeitung viele Möglichkeiten. Unser Sektor wird durch die Verfügbarkeit neuer Technologien enorm beflügelt. Dabei besteht die Herausforderung darin, in kurzer Zeit eine große Menge an Bilddaten zu sammeln, kombiniert mit verschiedenen Arten von Aufnahmen. Wir wollen in der Lage sein, immer mehr Informationen von der Haut zu erfassen, um das Verhältnis zwischen Perspektive und visueller Wahrnehmung richtig zu verstehen. Wir wollen an der Spitze des Schönheitsempfindens stehen und dies durch digitale Technologie sichtbar und verständlich machen.

**Jan:** Zum Thema Technologieverfügbarkeit: Inwieweit leidet InnoFaith unter der Krise auf dem Bauteilemarkt, insbesondere bei Chips?

**Walter:** Auch wir sind mit einem Markt konfrontiert, in dem es zu Engpässen bei Chips, langen Lieferzeiten von elektronischen Bauteilen und stark steigenden Bauteilpreisen kommt, zusätzlich zu allgemeinen Unterbrechungen der Lieferketten. Glücklicherweise sind wir in der Lage, die Auswirkungen der Engpässe zu minimieren. Wir haben kleine Umgestaltungen vorgenommen, rechtzeitig und in großen Mengen bestellt, eine genaue Produktionsprognose erstellt und schwer erhältliche, aber wichtige Chips auf dem freien Markt über Chip-Broker beschafft.

**Jan:** Die Niederlande will wieder mehr im Inland produzieren. Was ist Ihre Meinung dazu?

**Walter:** Auch ich sehe diesen Trend, vor allem in der Produktion von industriellen technischen Massenprodukten. Der derzeitige Arbeitskräftemangel ist meines Erachtens ein hemmender Faktor für diese Entwicklung. Wir haben uns daher entschieden, die technische und kritische Produktion/Kontrolle im eigenen Haus durchzuführen und die großen, arbeitsintensiveren Montageschritte in eine Partnerschaft mit einem slowakischen Produktionsunternehmen ausgelagert.

**Jan:** Vielen Dank für das Interview. Wir werden bald mehr von Ihnen und Ihrer Firma in Elektor lesen und auf unserem YouTube-Video-Kanal [2] sehen und hören. ◀

220257-02

## WEBLINKS

[1] InnoFaith Beauty Sciences: <https://innofaith.com/>

[2] Elektor TV: [www.youtube.com/elektorim](http://www.youtube.com/elektorim)

# EMV-Störungen durch Speicherdrosseln minimieren

Von Ranjith Bramanpalli, Würth Elektronik (Redaktion: Gerhard Stelzer)

Schaltregler kommen normalerweise nicht ohne Speicherinduktivitäten aus. Aber wenn man deren Einfluss auf das EMV-Verhalten verbessern möchte, gibt es eine Reihe von Ansatzpunkten, wie Schirmungsgrad, Wicklungsanfang und die Schaltübergänge.

DC/DC-Schaltregler spielen eine wichtige Rolle im Energiemanagement, beispielsweise um effiziente Schaltnetzteile zu realisieren. Dabei gehören Speicherinduktivitäten zu den wichtigsten Bauelementen solcher Schaltregler, wobei im Entwicklungsprozess häufig nur die reinen elektrischen Eigenschaften wie  $R_{DC}$ ,  $R_{AC}$  oder Kernverluste Gegenstand der Betrachtung sind. Die elektromagnetischen Abstrahlungseigenschaften hingegen werden häufig ignoriert. **Bild 1** zeigt einen typischen getakteten DC/DC-Wandler mit den Schaltern  $S_1$  und  $S_2$ .

## Speicherinduktivitäten in Schaltnetzteilen

Speicherinduktivitäten in Schaltnetzteilen können aus verschiedenen Kernmaterialien und in unterschiedlichen Wicklungsarten ausgeführt und aufgebaut sein. Zudem lassen sich Speicherinduktivitäten in drei Arten unterteilen: ungeschirmte, halbgeschirmte und geschirmte. Jeder Schirmungstyp weist spezifische Vor- und Nachteile auf, welche die Anwendungsbereiche definieren.

Aufgrund der Schaltvorgänge in einem Schaltnetzteil wird eine Wechselfeldspannung in der Induktivität erzeugt. Da eine Induktivität - rein praktisch betrachtet - wie eine Rahmenantenne wirken kann, hängt die elektromagnetische Strahlung von einer ganzen Reihe von Faktoren ab. Hierzu gehören beispielsweise Eigenschaften wie Kern- und Schirmungsmaterial oder auch der Wicklungsanfang.

Die durch die Schaltfrequenz und deren Oberwellen verursachte elektromagnetische Strahlung einer Speicherinduktivität hängt im unteren Frequenzbereich von

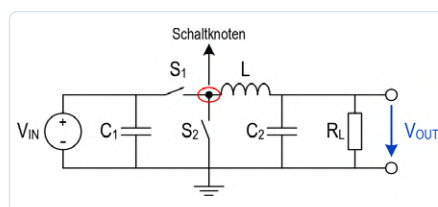


Bild 1. Typischer getakteter DC/DC-Wandler mit den Schaltern  $S_1$  und  $S_2$ .

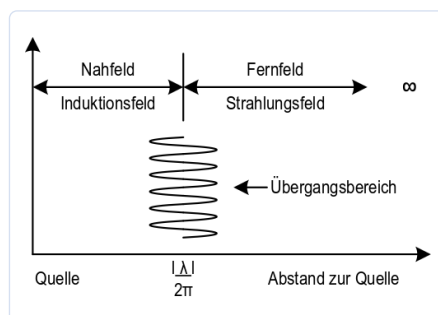


Bild 2. Ausbreitungsspektrum im Nah- und Fernfeld, dessen Übergang bei  $\lambda/2\pi$  liegt.

100 kHz bis 30 MHz zum einen davon ab, ob die Spule geschirmt ist, aber auch von den Wicklungseigenschaften. Dagegen besteht die Abhängigkeit der elektromagnetischen Strahlung im oberen Frequenzbereich (30 MHz bis 1 GHz), in dem die Emissionen von Oberschwingungen und deren Oberwellen verursacht werden, eher von den Schirmungseigenschaften des Kernmaterials, der Schaltfrequenz und dem grundlegenden Design ab.

## Elektromagnetische Feldeffekte

Der Betrieb von Speicherinduktivitäten in DC/DC-Wandlern bringt unerwünschte

Nebeneffekte mit sich, die mit denen einer Rahmenantenne vergleichbar sind. Wechselfeldspannung und Wechselstrom in der Spule erzeugen ein elektrisches Feld (E-Feld) und ein magnetisches Feld (H-Feld). Diese beiden Felder breiten sich ausgehend von der Quelle im rechten Winkel zueinander aus.

Im Nahbereich dieser Rahmenantenne (Quelle) werden die Eigenschaften von E-Feld und H-Feld durch das Verhalten der Quelleigenschaften (Schaltfrequenz, Übergänge und so weiter) bestimmt. Weiter von der Quelle entfernt jedoch werden die Feldeigenschaften durch das Übergangsmedium bestimmt. Diese separaten und doch miteinander in Verbindung stehenden Phänomene lassen sich folglich zwei Bereichen zuordnen: dem Nahfeld und dem Fernfeld (**Bild 2**). Der Bereich innerhalb von  $\lambda/2\pi$  von der Quelle wird dabei als Nahfeld definiert, während die außerhalb dieses Bereichs liegenden Emissionen Fernfeld genannt werden.

Im Nahfeld müssen E-Feld und H-Feld separat betrachtet werden, da das Verhältnis zwischen den beiden, definiert als Wellenwiderstand  $E/H$  nicht konstant ist. Im Fernfeld dagegen bilden diese Felder gemeinsam eine ebene Welle. Aus diesem Grund werden das elektrische Feld  $E$  und das magnetische Feld  $H$  nur im Kontext des Nahfeldes beschrieben. Wird die Quelle mit einem starken Strom und niedriger Spannung betrieben, so spricht man von einem dominanten Magnetfeld, während bei schwachem Strom und hoher Spannung das elektrische Feld dominant ist.

Bei einer Rahmenantenne ist das magnetische Feld im Bereich der Quelle stark, was dort zu einem niedrigen Wellenwiderstand

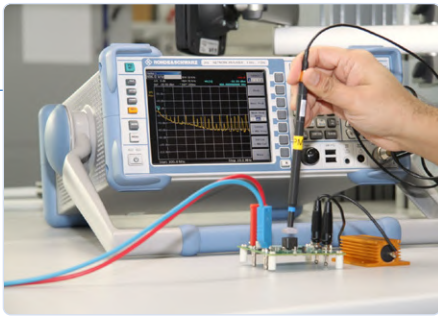


Bild 3. Testaufbau zur Messung des elektrischen Feldes bei einem DC/DC-Schaltregler (DUT).

führt. Nimmt der Abstand von der Quelle zu, dann schwächt sich dieses Magnetfeld ab und erzeugt gleichzeitig ein elektrisches Feld, das rechtwinklig zur Ausbreitungsrichtung des H-Feldes steht. Bewegt man sich von der Quelle fort, dann erfolgt die Abschwächung des Magnetfeldes um den Faktor  $1/r^3$  und die Abschwächung des elektrischen Feldes um den Faktor  $1/r^2$  (wobei  $r$  (Radius) der Abstand ist). Bei einer geraden Drahtantenne ist der Wellenwiderstand hoch, da das elektrische Feld im Bereich der Quelle dominant ist. Die Abschwächungseigenschaften sind denen der Rahmenantenne genau entgegengesetzt.

### Abstrahlungsverhalten von Spulen

Wie oben erwähnt, ist die Abstrahlung elektromagnetischer Felder von Speicheringduktivitäten in DC/DC-Wandlern kein zu vernachlässigender Faktor. Dies gilt insbesondere bei Berücksichtigung von Typ und Abstand der umgebenden Bauteile und deren Anfälligkeit für magnetische Kopplungen. Da die Sensibilität für diese potentielle EMV-Problematik unter Ingenieuren zugenommen hat, haben die Bauteilhersteller reagiert und bieten nun ein erweitertes Portfolio an, welches zusätzlich zu konventionellen ungeschirmten Spulen auch geschirmte sowie halbgeschirmte Exemplare umfasst. Geschirmte Spulen werden so gefertigt, dass die Wicklung vollständig in einem Formteil aus Material zur magnetischen Schirmung gekapselt ist. Bei ungeschirmten Spulen liegen die Spulenwicklungen normalerweise frei und es gibt auch keine magnetische Schirmung. Aufgrund der ungehinderten Ausbreitung von elektromagnetischen Feldern sind dies normalerweise die stärksten EMV-Störquellen. Bei halbgeschirmten Spulen werden magnetische Materialien meist mit Epoxidharz auf die freiliegenden Windungen aufgebracht. **Bild 3** zeigt den Testaufbau zur Messung des elektromagnetischen Feldes bei einem DC/DC-Schaltregler (DUT).

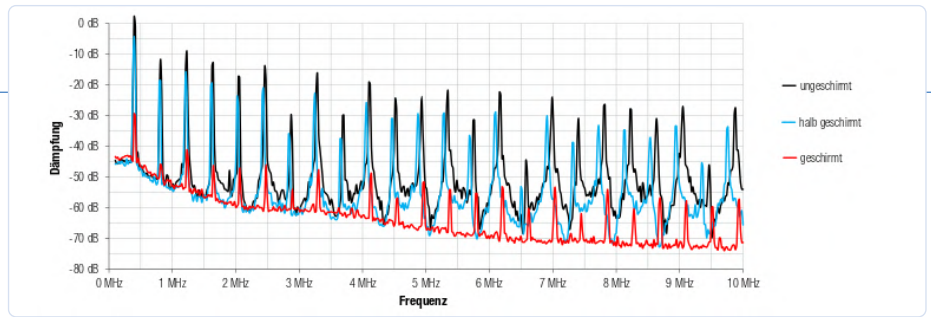


Bild 4. Messergebnis des H-Feldes ungeschirmter, halbgeschirmter und geschirmter Spulen.

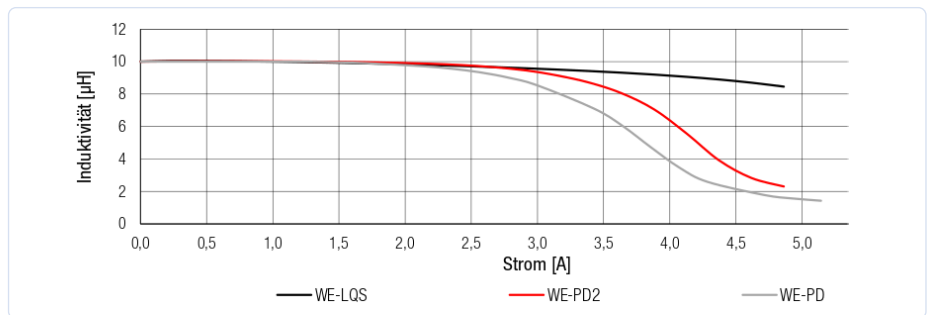


Bild 5. Sättigungsverhalten einer geschirmten (grau), halbgeschirmten (schwarz) und ungeschirmten (rot) Spule im Vergleich.

Wie bereits erwähnt, bietet jeder Spulentyp sowohl Vor- als auch Nachteile. Der wesentliche Vorteil der geschirmten Spule besteht in den relativ schwachen elektromagnetischen Emissionen im Vergleich zu halbgeschirmten und ungeschirmten Spulen. Das grundlegende Emissionsverhalten dieser drei Grundtypen ist in **Bild 4** gut zu erkennen.

Aber wie viele Elektrotechniker wissen, ist das Entwerfen einer neuen Schaltung stets ein Balanceakt. Bei Verstärkung einer wünschenswerten Eigenschaft kann es häufig auch zur Verstärkung unerwünschter Eigenschaften kommen, deren Maximalwerte letztendlich durch die Anforderungen des Gesamtprojekts beschränkt sind. Eine dieser Beschränkungen ist unausweichlich die Baugröße. Geschirmte Spulen zeichnen sich im Vergleich zu ungeschirmten Exemplaren mit denselben Abmessungen durch eine niedrigere Induktivität und magnetische Sättigung sowie höhere Fertigungskosten aus. Naheliegenderweise sind Entwickler mit weniger Erfahrung in diesem Fall versucht, eine ungeschirmte Spule auszuwählen, die kleiner und günstiger ist und höhere Sättigungsströme aufweist. Diese Auswahl verursacht am Ende jedoch eine Vielzahl von EMV-Problemen, die sich nach der Designphase nur noch schwer abfangen lassen.

Würth Elektronik ist einer von wenigen

Herstellern, die halbgeschirmte Spulen anbieten, mit denen der Spagat zwischen Platzbedarf, elektrischen Merkmalen und EMV gelingen kann. Diese eignen sich vor allem für Anwendungen, bei denen Bauteile in unmittelbarer räumlicher Nähe zu den Spulen nicht besonders strahlungsensibel sind.

Die ausgezeichneten Sättigungseigenschaften der halbgeschirmten Speicheringduktivität WE-LQS der Baugröße 8040 (744 040 841 00) sind in **Bild 5** dargestellt im Vergleich mit einer geschirmten Spule der WE-PD-Serie, Baugröße 7345 (744 777 10) und einer ungeschirmten Spule der WE-PD2-Serie, Baugröße 7850 (744 775 10).

### Auswirkung des Wicklungsanfangs

Ein für die EMV wesentlicher Aspekt, welcher häufig gern übersehen wird, ist die Orientierung des Wicklungsanfangs, welcher durch einen „Punkt“ auf der Spule markiert ist (**Bild 6**). Es ist wichtig, die mit dieser Markierung versehene Spulenseite möglichst nah am Schaltknoten anzuschließen, da an dieser Seite der höchste  $dU/dt$ -Wert auftritt und dadurch Störeinflüsse hier am stärksten wirken. Auf diese Weise wird der Wechselstromfluss vom Schaltknoten beim Schalten durch die äußeren Wicklungen abgeschirmt. Wird dagegen das unmarkierte Ende mit



Bild 6. Die Spulentypen WE-XHMI und WE-PD2 mit dem „Punkt“, der den Windungsanfang anzeigt.

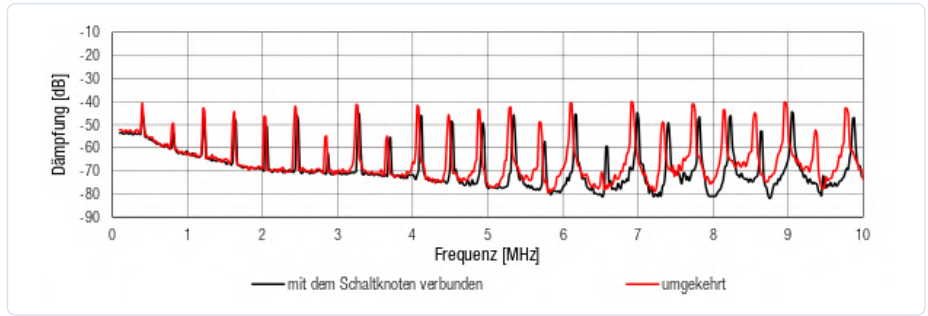


Bild 7. E-Feld des mit dem Schaltknoten verbundenen Windungsstarts und umgekehrt.

dem Schaltknoten verbunden, treten die AC-Flussspannungen an der äußeren Wicklung auf. Dies kann zu elektrischen oder kapazitiven Kopplungen inakzeptabler Stärke führen.

Magnetisch geschirmte Spulen schirmen die dominante Strahlung des H-Feldes wirksam ab, sind jedoch nicht unter allen Umständen in der Lage, die dominante E-Feldstrahlung zu schirmen. Die Wirksamkeit der E-Feldschirmung hängt von den Materialeigenschaften und der magnetischen Permeabilität ab: Je höher die Stärke und die magnetische Permeabilität des Kernmaterials sind, desto wirksamer ist die Schirmung des E-Feldes durch die Spule. Exemplarisch wurden die E-Feldemissionen einer geschirmten Speicherinduktivität von Würth Elektronik gemessen. Der Transistor des Schaltreglers schaltete dabei mit einer Frequenz von 400 kHz und erzeugte dabei die Grundresonanz und nachfolgende Oberwellen. Das Spektrum zeigt eindeutig, dass die E-Feldemissionen wesentlich niedriger sind, wenn das mit dem Punkt markierte Ende der Spule mit dem Schaltknoten verbunden ist (Bild 7). Es wird aufgrund dessen empfohlen, die Spule mit korrekter Ausrichtung zu verwenden. Dagegen sind die H-Feldemissionen quasi unbeeinflusst von der Ausrichtung der Induktivität (Bild 8).

Eine detaillierte Betrachtung der elektromagnetischen Störsignale durch den

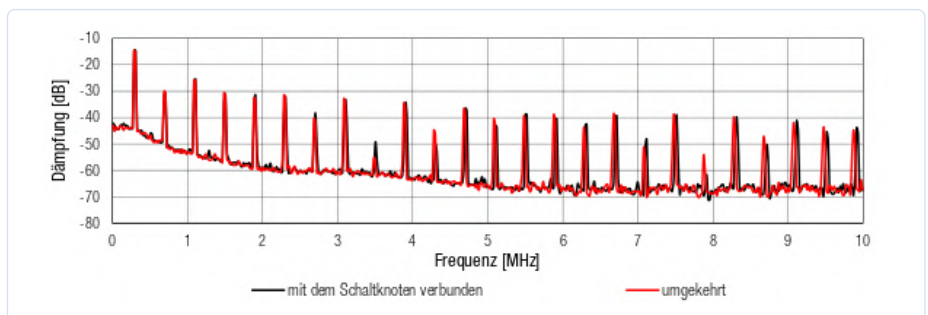


Bild 8. H-Feld des mit dem Schaltknoten verbundenen Windungsstarts und umgekehrt.

Einfluss der Schaltübergänge sowie zur Schirmungswirkung unterschiedlicher Materialien, im Nahfeld und im Fernfeld ist in [1] zu finden

220295-02

### Über den Autor

Ranjith Bramanpalli schloss 2008 sein Studium an der University of Massachusetts in Lowell mit zwei Master-Graden in Elektrotechnik und Informatik ab. Seither arbeitete er im Bereich Leistungselektronik, wobei sein Schwerpunkt auf Forschung, Entwicklung und Anwendung liegt. Zurzeit ist er als Product Application Engineer bei Würth Elektronik eiSos tätig.



### WEBLINK

[1] Das Verhalten elektromagnetischer Strahlung von Speicherinduktivitäten in Schaltreglern: [www.we-online.de/ANP047](http://www.we-online.de/ANP047)



Kostenloser Download für alle Elektor-Mitglieder: 60-Seiten-PDF-Spezial mit den Teilen 1...10 dieser Artikelreihe. Siehe [www.elektormagazine.de/news/GUI-PDF-Special](http://www.elektormagazine.de/news/GUI-PDF-Special)

Teil 05

# Grafische Benutzeroberflächen mit Python: Tic-Tac-Toe



Laura Sach

MAKER

Laura leitet das A-Level-Team bei der Raspberry Pi Foundation und erstellt Ressourcen für Studenten, die etwas über Informatik lernen wollen.

@CodeBoom



Martin O'Hanlon

MAKER

Martin arbeitet im Lernteam der Raspberry Pi Foundation, wo er Online-Kurse, Projekte und Lehrmaterial erstellt.

@martinohanlon

Einfaches Spiel selbst programmiert.

Nachdem Sie gelernt haben, wie man eine einfache grafische Benutzeroberfläche (im Folgenden wieder GUI genannt) erstellt, wollen wir diese nun mit Hilfe ausgeklügelter Programmzeilen für ein Tic-Tac-Toe-Spiel nutzen.

Erstellen Sie eine neue Datei mit dem folgenden Code

```
# Imports -----
from guizero import App

# Functions -----

# Variables -----

# App -----
app = App("Tic tac toe")

app.display()
```

## Das Spielfeld

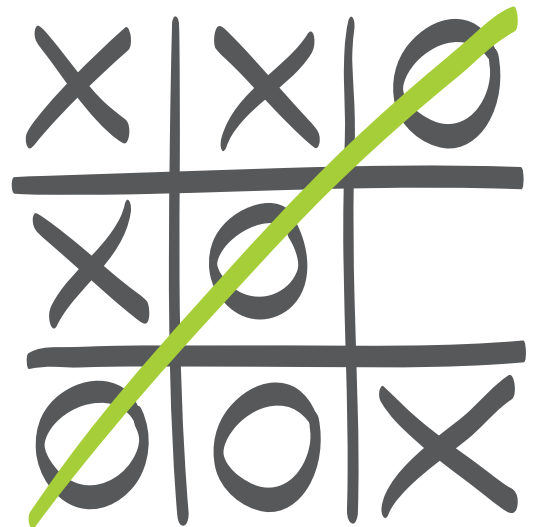
Beginnen wir damit, die Widgets zu erstellen, die das Spielfeld bilden werden. Ein traditionelles Tic-Tac-Toe-Spielfeld sieht wie in **Bild 1** dargestellt aus.

Jede einzelne Position eines Spielers wird durch eine Schaltfläche (Button) repräsentiert, so dass der Spieler, wenn er darauf klickt, anzeigen kann, wohin er ziehen möchte. Um die Schaltflächen in einem Raster anzuordnen, erstellen wir einen neuen Typ von Guizero-Widget namens **Box**. Eine Box ist ein Container-Widget, das verwendet wird, um andere Widgets darin unterzubringen und sie zu gruppieren. Fügen Sie es zu den Imports am Anfang Ihres Codes hinzu:

```
from guizero import App, Box
```

Stellen Sie die Box so ein, dass sie ein Grid-Layout hat, und fügen Sie sie zu Ihrer App hinzu - vor der Zeile `app.display()`, wie bei allen Widgets.

Bild 1



▲ Bild 1 Ein typisches Tic-Tac-Toe-Spiel

```
board = Box(app, layout="grid")
```

Wenn Sie Ihr Programm an dieser Stelle ausführen, werden Sie nichts auf dem Bildschirm sehen, da die Box selbst unsichtbar ist.

Lassen Sie uns nun die neun Schaltflächen erstellen, die in der Box enthalten sind. Dazu können Sie eine verschachtelte Schleife verwenden, um sie automatisch zu erzeugen und ihnen die betreffenden Koordinaten zuzuweisen. Fügen Sie zunächst `PushButton` zu Ihrer Liste der zu importierenden Widgets hinzu und fügen Sie dann diesen Code direkt nach dem Code für das gerade erstellte Board ein.

```
for x in range(3):
    for y in range(3):
        button = PushButton(
            board, text="", grid=[x, y],
            width=3
        )
```

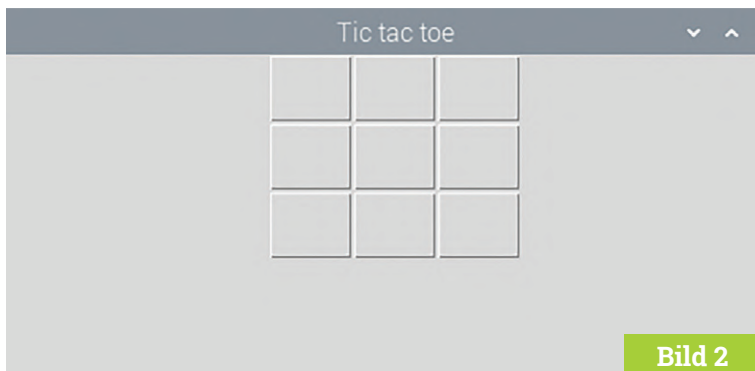


Bild 2

▲ Bild 2 Ein Raster mit neun Feldern zum Spielen von Tic-Tac-Toe.

## tictactoe1.py

> Sprache: Python 3

LADEN SIE DEN  
KOMPLETTEN CODE  
HERUNTER:



magpi.cc/guizero

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton
003.
004. # Functions -----
005.
006. # Variables -----
007.
008. # App -----
009. app = App("Tic tac toe")
010.
011. board = Box(app, layout="grid")
012. for x in range(3):
013.     for y in range(3):
014.         button = PushButton(
015.             board, text="", grid=[x, y], width=3)
016. app.display()
```

## tictactoe2.py

> Sprache: Python 3

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None], [None, None, None], [
007.         None, None, None]]
008.     for x in range(3):
009.         for y in range(3):
010.             button = PushButton(
011.                 board, text="", grid=[x, y], width=3)
012.             new_board[x][y] = button
013.     return new_board
014.
015. # Variables -----
016.
017. # App -----
018. app = App("Tic tac toe")
019.
020. board = Box(app, layout="grid")
021. board_squares = clear_board()
022. app.display()
```

Beachten Sie, dass es zwei Schleifenvariablen gibt:  $x$  von 0 bis 2 und  $y$  von 0 bis 2. Während der Iteration und der Erzeugung von Schaltflächen wird jede Schaltfläche zum Board, also dem zuvor erstellten Box-Container, hinzugefügt. Der Schaltfläche werden die Gitterkoordinaten  $x, y$  zugewiesen, was bedeutet, dass jede Schaltfläche eine bestimmte, geordnete Position auf dem Gitter einnimmt. Ihr Code sollte nun wie derjenige in der Datei `tictactoe1.py` aussehen. Das Ergebnis seiner Ausführung ist in Bild 2 dargestellt.

### Datenstruktur im Hintergrund

Mit Hilfe einer Schleife erzeugen Sie nun also automatisch neun Schaltflächen, und jede einzelne heißt `button`. Zu ihrer Unterscheidung benötigen Sie eine dahinter verborgene Datenstruktur, die durch eine zweidimensionale Liste repräsentiert wird.

Erstellen wir nun eine Funktion, die wir aufrufen können, um das Spielfeld zu löschen. Auf ihren Code kann nach einem Spiel immer wieder zugegriffen werden, um ein neues Spiel zu beginnen. Fügen Sie daher nun im Abschnitt *functions* eine neue Funktion namens `clear_board` hinzu.

```
def clear_board():
```

Die erste Aufgabe innerhalb dieser Funktion besteht darin, die Datenstruktur für das Spielfeld zu initialisieren. Gehen wir davon aus, dass Sie zu diesem Zeitpunkt noch keine Schaltflächen erstellt haben. So können Sie jede Position auf dem Spielfeld als `None` initialisieren. Das Element in der Liste existiert nun, hat aber noch keinen Wert. Fügen Sie den folgenden Code, eingerückt, in Ihre Funktion ein

```
new_board = [[None, None, None], [None,
None, None], [None, None, None]]
```

Verschieben Sie als nächstes den verschachtelten Schleifencode aus Ihrem App-Abschnitt in die Funktion `clear_board`. Stellen Sie sicher, dass die Einrückung korrekt ist. Fügen Sie innerhalb der inneren ( $y$ ) Schleife eine Codezeile hinzu, um eine Referenz auf jede Schaltfläche an ihrer Koordinatenposition ( $x, y$ ) innerhalb der zweidimensionalen Liste zu speichern, damit Sie später darauf verweisen können.

```
new_board[x][y] = button
```

Zum Schluss, nachdem die Schleifen beendet sind, geben Sie das soeben erstellte `new_board` zurück. Ihre Funktion sollte wie folgt aussehen:

```
def clear_board():
    new_board = [[None, None, None],
                 [None, None, None],
                 [None, None, None]]
```

## Reset Button

Am Anfang haben Sie eine Funktion namens `clear_board` geschrieben. Das mag Ihnen damals unnötig erschienen sein, aber sie wird wichtig, wenn das Spiel beendet ist. Da Tic-Tac-Toe ein recht kurzes Spiel ist, ist es sehr wahrscheinlich, dass jemand mehr als ein Spiel hintereinander spielen möchte. Trauen Sie es sich zu, Ihrem Spiel einen Reset-Button hinzufügen, der erst erscheint, wenn entweder jemand das Spiel gewonnen hat oder das Spiel unentschieden war? Die Schaltfläche sollte die Funktion `clear_board` aufrufen und die Variable `turn` sowie die Meldung, wer am Zug ist, zurücksetzen.

**Tipp 1:** Schauen Sie in der `guizero`-Dokumentation nach, wie Sie Widgets ein- und ausblenden können, so dass Ihre Schaltfläche nicht die ganze Zeit während des Spiels sichtbar ist.

**Tipp 2:** Erstellen Sie eine neue Funktion, die sich um alles kümmert, was notwendig ist, um das Spiel zurückzusetzen, und rufen Sie diese Funktion auf, wenn der Reset-Button gedrückt wird. Vergessen Sie nicht, dass Sie in Ihrer Funktion einige Variablen als global angeben müssen.

```
for x in range(3):
    for y in range(3):
        button = PushButton(
            board, text="", grid=[x,
            y], width=3
        )
        new_board[x][y] = button
    return new_board
```

Initialisieren Sie im Abschnitt `app` eine Liste namens `board_squares` und legen Sie fest, dass diese die neue Funktion aufruft, die Sie gerade erstellt haben.

```
board_squares = clear_board()
```

Dieser Variablen wird der Wert von `new_board` zugewiesen, was eine leere Oberfläche mit neun Schaltflächen ergeben sollte. Achten Sie darauf, dass Sie diese Variable erst nach dem Code zum Erzeugen der Box anlegen, da sonst versucht wird, Schaltflächen zu einem Container hinzuzufügen, der noch nicht existiert.

Ihr Code wird nun `tictactoe2.py` ähneln. Speichern Sie das Programm und führen Sie es aus. Sie sollten dasselbe Ergebnis sehen wie am Ende des letzten Schrittes, aber jetzt haben Sie eine versteckte, zweidimensionale Listendatenstruktur, mit der Sie auf die Schaltflächen zugreifen und sie beeinflussen können.

Mit einem `print`-Befehl können Sie die 2D-Liste `board_squares` anzeigen: `print(board_squares)`. Der Eintrag `[PushButton] object with text ""` wird dann neun Mal in der Shell erscheinen.

## tictactoe3.py

> Sprache: Python 3

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton, Text
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None], [None, None, None], [None,
None, None]]
007.     for x in range(3):
008.         for y in range(3):
009.             button = PushButton(board, text="", grid=[x, y],
width=3, command=choose_square, args=[x,y])
010.             new_board[x][y] = button
011.     return new_board
012.
013. def choose_square(x, y):
014.     board_squares[x][y].text = turn
015.     board_squares[x][y].disable()
016.
017. # Variables -----
018. turn = "X"
019.
020. # App -----
021. app = App("Tic tac toe")
022.
023. board = Box(app, layout="grid")
024. board_squares = clear_board()
025. message = Text(app, text="It is your turn, " + turn)
026.
027. app.display()
```

## Erwecken Sie die Schaltflächen zum Leben

Im Moment passiert noch nichts, wenn Sie auf die Tasten drücken. Erstellen wir daher eine Funktion, die an die Schaltfläche angehängt wird, so dass die Schaltfläche bei Aktivierung entweder X oder O anzeigt, je nachdem, welcher Spieler sie ausgewählt hat. Erstellen Sie zunächst eine Variable im Variablenbereich, um zu registrieren, wer am Zug ist. Wir werden mit X beginnen.

```
turn = "X"
```

Auf der grafischen Benutzeroberfläche muss angezeigt werden, wer an der Reihe ist (**Bild3**), damit die Spieler nicht verwirrt werden. Fügen Sie **Text** zu Ihrer Liste der zu importierenden Widgets hinzu:

```
from guizero import App, Box, PushButton,
Text
```

Fügen Sie dann ein neues Text-Widget im App-Bereich hinzu, um den Spielzug anzuzeigen.

```
message = Text(app, text="It is your turn,
" + turn)
```

Wechseln Sie in den Bereich *functions* und erstellen Sie eine neue Funktion namens `choose_square`.

## tictactoe4.py

> Sprache: Python 3

```

001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton, Text
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None], [None, None, None], [None,
None, None]]
007.     for x in range(3):
008.         for y in range(3):
009.             button = PushButton(board, text="", grid=[x, y],
width=3, command=choose_square, args=[x,y])
010.             new_board[x][y] = button
011.     return new_board
012.
013. def choose_square(x, y):
014.     board_squares[x][y].text = turn
015.     board_squares[x][y].disable()
016.     toggle_player()
017.
018. def toggle_player():
019.     global turn
020.     if turn == "X":
021.         turn = "O"
022.     else:
023.         turn = "X"
024.     message.value = "It is your turn, " + turn
025.
026. # Variables -----
027. turn = "X"
028.
029. # App -----
030. app = App("Tic tac toe")
031.
032. board = Box(app, layout="grid")
033. board_squares = clear_board()
034. message = Text(app, text="It is your turn, " + turn)
035.
036. app.display()

```

▼ Bild 3 Ein Spieler muss wissen, wann er an der Reihe ist.



Bild 3

```
def choose_square(x, y):
```

Diese Funktion benötigt zwei Argumente (*x* und *y*), damit Sie wissen, welches Quadrat auf dem Spielfeld angeklickt wurde. Fügen Sie den folgenden Code (ingerückt) innerhalb der Funktion ein, um den Text in der Schaltfläche, die angeklickt wurde, auf das Symbol des aktuellen Spielers zu setzen, und deaktivieren Sie dann die Schaltfläche, damit sie nicht erneut angeklickt werden kann.

```
board_squares[x][y].text = turn
board_squares[x][y].disable()
```

Verbinden Sie nun diese Funktion mit der Schaltfläche. Suchen Sie innerhalb Ihrer Funktion `clear_board` folgenden Code:

```
button = PushButton(board, text="",
grid=[x, y], width=3)
```

Ändern Sie sie so ab, dass sie wie die folgende Zeile aussieht:

```
button = PushButton(board, text="",
grid=[x, y], width=3, command=choose_square,
args=[x,y])
```

Sie haben hier zwei Dinge hinzugefügt: Erstens hängen Sie einen Befehl an, genau wie zuvor. Wenn die Schaltfläche gedrückt wird, wird die Funktion mit diesem Namen aufgerufen. Zweitens übergeben Sie dieser Funktion auch Argumente, nämlich die Koordinaten *x* und *y* der gedrückten Schaltfläche, damit Sie diese Schaltfläche in der Liste wiederfinden können. Ihr Code sollte nun wie das Programm in der Datei `tictactoe3.py` aussehen. Speichern Sie ihn und führen Sie ihn aus. Wenn Sie nun auf eine Schaltfläche klicken, wird sie zu einem X. Leider gibt in dieser Version des Spiels vorerst dieses Symbol!

### Spielerwechsel

Hier daher eine Funktion, die von X auf O und umgekehrt wechselt.

```
def toggle_player():
    global turn
    if turn == "X":
        turn = "O"
    else:
        turn = "X"
```

Fügen Sie den Code in die Funktion `global turn` ein. Dies ist notwendig, damit Sie die *globale* Version der Variable `turn` ändern dürfen, also die Variable, die Sie bereits angelegt haben. Anderenfalls erstellt Python eine lokale Variable namens `turn` und ändert diese stattdessen, aber diese Änderung wird nach



# tictactoe5.py

► Sprache: Python 3

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton, Text
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None], [None, None,
None], [None, None, None]]
007.     for x in range(3):
008.         for y in range(3):
009.             button = PushButton(board, text="",
grid=[x, y], width=3, command=choose_square,
args=[x,y])
010.             new_board[x][y] = button
011.     return new_board
012.
013. def choose_square(x, y):
014.     board_squares[x][y].text = turn
015.     board_squares[x][y].disable()
016.     toggle_player()
017.     check_win()
018.
019. def toggle_player():
020.     global turn
021.     if turn == "X":
022.         turn = "O"
023.     else:
024.         turn = "X"
025.     message.value = "It is your turn, " + turn
026.
027. def check_win():
028.     winner = None
029.
030.     # Vertical lines
031.     if (
032.         board_squares[0][0].text ==
board_squares[0][1].text == board_squares[0][2].text
033.         ) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
034.         winner = board_squares[0][0]
035.     elif (
036.         board_squares[1][0].text ==
board_squares[1][1].text == board_squares[1][2].text
037.         ) and board_squares[1][2].text in ["X", "O"]:
038.         winner = board_squares[1][0]
039.     elif (
040.         board_squares[2][0].text ==
board_squares[2][1].text == board_squares[2][2].text
041.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
042.         winner = board_squares[2][0]
043.
044.     # Horizontal lines
045.     elif (
046.         board_squares[0][0].text ==
board_squares[1][0].text == board_squares[2][0].text
047.         ) and board_squares[2][0].text in ["X", "O"]:
048.         winner = board_squares[0][0]
049.     elif (
050.         board_squares[0][1].text ==
board_squares[1][1].text == board_squares[2][1].text
051.         ) and board_squares[2][1].text in ["X", "O"]:
052.         winner = board_squares[0][1]
053.     elif (
054.         board_squares[0][2].text ==
board_squares[1][2].text == board_squares[2][2].text
055.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
056.         winner = board_squares[0][2]
057.
058.     # Diagonals
059.     elif (
060.         board_squares[0][0].text ==
board_squares[1][1].text == board_squares[2][2].text
061.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
062.         winner = board_squares[0][0]
063.     elif (
064.         board_squares[2][0].text ==
board_squares[1][1].text == board_squares[0][2].text
065.         ) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
066.         winner = board_squares[0][2]
067.
068.     if winner is not None:
069.         message.value = winner.text + " wins!"
070.
071. # Variables -----
072. turn = "X"
073.
074. # App -----
075. app = App("Tic tac toe")
076.
077. board = Box(app, layout="grid")
078. board_squares = clear_board()
079. message = Text(app, text="It is your turn, " + turn)
080.
081. app.display()
```

der Beendigung der Funktion nicht gespeichert.

Sie müssen auch sicherstellen, dass das Text-Widget den aktuellen Zug des Spielers korrekt anzeigt. Aktualisieren Sie nach der `if/else`-Anweisung in der Funktion `toggle_player` die Meldung wie folgt:

```
message.value = "It is your turn, " + turn
```

Gehen Sie zurück zu Ihrer Funktion `choose_square` und rufen Sie die Funktion `toggle_player` mit `toggle_player()` auf, sobald Sie den Text gesetzt und die Schaltfläche deaktiviert haben. Ihr Code sollte nun demjenigen in der Datei `tictactoe4.py` ähneln. Speichern und testen Sie das Programm erneut. Die angeklickten Quadrate werden nun abwechselnd entweder mit X oder O bezeichnet

werden.

## Haben wir einen Gewinner?

Zum Schluss müssen Sie eine Funktion schreiben, die prüft, ob es eine Reihe, Spalte oder Diagonale mit drei X oder O gibt, und wenn ja, den Gewinner des Spiels meldet.

Obwohl es wenig elegant erscheint, ist es der einfachste Weg zu prüfen, ob jemand gewonnen hat, wenn Sie die Prüfungen für jede vertikale, horizontale und diagonale Zeile einzeln codieren. Der folgende Code ist für eine vertikale, eine horizontale und eine diagonale Linie geeignet. Können Sie den Rest hinzufügen?

```
def check_win():
    winner = None
```

# Globale Variablen

Es ist normalerweise keine besonders gute Idee, globale Variablen zu verwenden, denn wenn Sie viele Funktionen in einem großen Programm haben, kann es extrem verwirrend werden, welcher Code wann den Wert einer Variablen ändert. In einem kleinen Programm wie diesem ist es jedoch nicht allzu schwierig, den Überblick zu behalten.

Denken Sie daran, dass es möglich ist, den Wert einer globalen Variablen aus einer Funktion heraus zu lesen und zu verwenden, ohne sie als global zu deklarieren. Um ihren Wert jedoch zu ändern, müssen Sie diese Variable explizit deklarieren. Die Funktionen in diesem Programm (und den meisten GUI-Programme in dieser Tutorial-Serie) verändern tatsächlich die Werte Ihrer Widgets als globale Variablen. Wenn zum Beispiel jemand das Spiel gewinnt, weisen sie `message.value` einen Wert zu, um anzuzeigen, wer gewonnen hat:

```
message.value = winner.text + " wins!"
```

In diesem Beispiel ist `message` eine globale Variable. Wieso können wir ihren Wert ändern, ohne sie als global zu deklarieren? Weil wir eine Eigenschaft des `message`-Widgets verwenden: `value`. Im Wesentlichen sagt dieser Code: "Hallo Python, kennst du das Widget namens `message`? Könntest du bitte seine Eigenschaft `value` ändern?" Python erlaubt die Änderung von Objekteigenschaften im globalen Bereich, aber es erlaubt Ihnen nicht, den Wert einer Variablen direkt zu ändern, ohne sie als global zu deklarieren.



Python 3 für wissenschaftliche und technische Anwendungen

Wenn Sie die Grundlagen von Python beherrschen und die Sprache tiefergehend erforschen wollen, ist dieses Buch genau das Richtige für Sie. Anhand von konkreten Beispielen aus verschiedenen Anwendungen veranschaulicht das Buch viele Aspekte der Programmierung (z.B. Algorithmen, Rekursion, Datenstrukturen) und hilft bei Problemlösungsstrategien.

[elektor.de/python-3-for-science-and-engineering-applications](http://elektor.de/python-3-for-science-and-engineering-applications)

```
# Vertical lines
if (
    board_squares[0][0].text == board_
squares[0][1].text == board_squares[0][2].text
) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
    winner = board_squares[0][0]

# Horizontal lines
elif (
    board_squares[0][0].text == board_
squares[1][0].text == board_squares[2][0].text
) and board_squares[2][0].text in ["X", "O"]:
    winner = board_squares[0][0]

# Diagonals
elif (
    board_squares[0][0].text == board_
squares[1][1].text == board_squares[2][2].text
) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
    winner = board_squares[0][0]
```

Beachten Sie, dass die Funktion damit beginnt, eine boolesche Variable namens `winner` zu erzeugen. Wenn zum Zeitpunkt der Ausführung der langen `if/elif`-Anweisung der Wert dieser Variablen `True` ist, wissen Sie, dass jemand das Spiel gewonnen hat. Setzen Sie, nach dem Hinzufügen der verbleibenden Überprüfungen der Gewinnzeile, am Ende der Funktion noch den erforderlichen Code ein, um die Displaymeldung zu ändern, wenn es einen Gewinner gegeben hat:

```
if winner is not None:
    message.value = winner.text + " wins!"
```

Sie müssen nun sicherstellen, dass diese Funktion jedes Mal aufgerufen wird, wenn ein X oder O gesetzt wird, was jedem Drücken einer Schaltfläche entspricht. Fügen Sie am Ende der Funktion `choose_square` einen Aufruf von `check_win` hinzu, nur für den Fall, dass das gewählte Quadrat das Gewinner-Quadrat war.

Ihr Programm sollte nun wie dasjenige in der Datei `tictactoe5.py` aussehen. Starten Sie es und testen Sie das Spiel. Wenn Sie die betreffenden Zeilen in der Funktion `check_win` richtig geschrieben haben, sollte das Spiel korrekt erkennen, wenn ein Spieler gewonnen hat.

## Der letzte Schliff

Im jetzigen Zustand lässt das Spiel Sie auch nach einem Sieg weiterspielen, bis alle Felder ausgewählt sind. Es wird Ihnen auch nicht mitgeteilt, ob das Spiel unentschieden endete. Sie könnten an diesem Punkt aufhören, aber wenn Sie das Spiel perfektionieren wollen, könnten Sie es mit ein paar weiteren kleinen Details noch ausgefeilter machen. Fügen wir zunächst weitere Programmzeilen hinzu, um zu erkennen, ob das Spiel unentschieden ist. Dies ist der Fall, wenn alle Quadrate entweder ein X oder ein O enthalten und niemand gewonnen hat. Erstellen Sie im Funktionsbereich eine neue Funktion namens `moves_taken`:

```
def moves_taken():
```

Sie werden diese Funktion verwenden, um die Anzahl der ausgeführten Züge zu zählen, also legen wir eine Variable an, um den Zähler zu halten, beginnend bei 0.

```
def moves_taken():
    moves = 0
```

Erinnern Sie sich daran, dass wir bei der Erstellung von `board_squares` eine verschachtelte Schleife verwendet haben, um alle Quadrate auf dem Raster zu erzeugen? Wir brauchen hier eine weitere verschachtelte Schleife, um jedes einzelne Feld zu überprüfen und festzustellen, ob es mit einem X oder O ausgefüllt wurde oder ob es leer ist. Fügen Sie diesen Code für eine geschachtelte Schleife in die Funktion `moves_taken` ein:

```
for row in board_squares:
    for col in row:
```

Innerhalb der Schleife müssen wir prüfen, ob das betreffende Feld mit einem X bzw. einem O ausgefüllt ist. Wenn es ausgefüllt ist (egal womit), fügen Sie der Variablen `moves` eine 1 hinzu, um festzuhalten, dass dieses Feld gezählt wurde.

# 06-tictactoe.py

> Sprache: Python 3

```
001. # Imports -----
002. from guizero import App, Box, PushButton, Text
003.
004. # Functions -----
005. def clear_board():
006.     new_board = [[None, None, None],
007.                  [None, None, None], [None, None, None]]
008.     for x in range(3):
009.         for y in range(3):
010.             button = PushButton(board, text="",
011.                                 grid=[x, y], width=3, command=choose_square,
012.                                 args=[x,y])
013.             new_board[x][y] = button
014.     return new_board
015.
016. def choose_square(x, y):
017.     board_squares[x][y].text = turn
018.     board_squares[x][y].disable()
019.     toggle_player()
020.     check_win()
021.
022. def toggle_player():
023.     global turn
024.     if turn == "X":
025.         turn = "O"
026.     else:
027.         turn = "X"
028.     message.value = "It is your turn, " + turn
029.
030. def check_win():
031.     winner = None
032.
033.     # Vertical lines
034.     if (
035.         board_squares[0][0].text ==
036.         board_squares[0][1].text == board_squares[0][2].text
037.         ) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
038.         winner = board_squares[0][0]
039.     elif (
040.         board_squares[1][0].text ==
041.         board_squares[1][1].text == board_squares[1][2].text
042.         ) and board_squares[1][2].text in ["X", "O"]:
043.         winner = board_squares[1][0]
044.     elif (
045.         board_squares[2][0].text ==
046.         board_squares[2][1].text == board_squares[2][2].text
047.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
048.         winner = board_squares[2][0]
049.     elif (
050.         board_squares[0][2].text ==
051.         board_squares[1][2].text == board_squares[2][2].text
052.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
053.         winner = board_squares[0][2]
054.
055.     # Diagonals
056.     elif (
057.         board_squares[0][0].text ==
058.         board_squares[1][1].text == board_squares[2][2].text
059.         ) and board_squares[2][2].text in ["X", "O"]:
060.         winner = board_squares[0][0]
061.     elif (
062.         board_squares[2][0].text ==
063.         board_squares[1][1].text == board_squares[0][2].text
064.         ) and board_squares[0][2].text in ["X", "O"]:
065.         winner = board_squares[0][2]
066.
067.     if winner is not None:
068.         message.value = winner.text + " wins!"
069.     elif moves_taken() == 9:
070.         message.value = "It's a draw"
071.
072. def moves_taken():
073.     moves = 0
074.     for row in board_squares:
075.         for col in row:
076.             if col.text == "X" or col.text == "O":
077.                 moves = moves + 1
078.     return moves
079.
080. # Variables -----
081. turn = "X"
082.
083. # App -----
084. app = App("Tic tac toe")
085.
086. board = Box(app, layout="grid")
087. board_squares = clear_board()
088. message = Text(app, text="It is your turn, " + turn)
089.
090. app.display()
```

```
if col.text == "X" or col.text == "O":
    moves = moves + 1
```

Fügen Sie schließlich, sobald die Schleifen beendet sind, eine `return`-Anweisung hinzu, um die Anzahl der ausgeführten Züge zurückzugeben.

```
return moves
```

Rufen Sie nun diese Funktion innerhalb der Funktion `check_win` auf, um zu prüfen, ob ein Unentschieden vorliegt. Fügen Sie diesen Code nach dem Code ein,

der auf einen Gewinner prüft:

```
if winner is not None:
    message.value = winner.text + " wins!"
```

```
# Add this code
elif moves_taken() == 9:
    message.value = "It's a draw"
```

Ihr Code sollte nun demjenigen in der Datei **06-tictactoe.py** gleichen. Beim Ausführen prüft das Spiel nun, ob neun Züge gemacht wurden; wenn ja, ändert es die Meldung, um anzuzeigen, dass die Partie unentschieden war. [\[7\]](#)

# Reed-Relais

## Bemerkenswerte Bauteile

Von David Ashton (Australien)

Die Halbleiterindustrie hat zwar großartige Innovationen hervorgebracht, aber manchmal geht nichts über einen schlichten echten Schalter! Hier tauchen wir in die Welt der Reed-Relais ein, Bauteile, die in den Telefonzentralen vergangener Zeiten in großem Umfang eingesetzt wurden.

Reed-Relais sind vielseitige Bauteile, die für Anwendungen eingesetzt werden können, bei denen eine echte Isolation durch einen physischen Schalter erforderlich ist. Sie basieren auf einem Reed-Schalter, einem Bauelement, das aus zwei Schaltzungen aus einer magnetischen Legierung besteht, in der Regel 50:50 Nickel-Eisen. Die Kontaktzungen werden in einem Glasrohr (dem „Reed“) so befestigt, dass sie sich fast berühren, und ihre Enden sind mit einem Kontaktmaterial beschichtet. Wenn ein Magnetfeld in die Nähe des Reeds gebracht wird, werden die beiden Pole des magnetischen Materials magnetisiert, ihre Enden ziehen sich an, und, bingo, sie stellen einen Kontakt her. Und wenn das Magnetfeld entfernt wird, öffnen sie sich wieder (Bild 1).

Bei Reed-Relais muss kein Magnet in die Nähe des Schalters gebracht werden. Sie

erzeugen das Magnetfeld mit einer Spule selbst und schalten in der Regel schneller als mechanische Relais. Obwohl ihre Schaltvorgänge als prellfrei gelten, kann es unter bestimmten Bedingungen dennoch zu einem Prellen der Kontakte kommen, insbesondere wenn die Spule mit einer höheren Spannung als empfohlen betrieben wird.

Die Spule eines Reed-Relais besteht in der Regel aus einem feinen Draht, der um den Reed-Schalter gewickelt ist. Eine typische Reed-Spule benötigt etwa 50 Amperewindungen. Diese veraltete Maßeinheit für die magnetische Durchflutung bedeutet, dass

50 Drahtwindungen, durchflossen von 1 A, bewirken, dass der Magnetschalter schließt. Bei 5000 Windungen würden dafür also 10 mA ausreichen. Bei solchen Werten können Reed-Relais erstaunlich empfindlich konstruiert werden.

Die Spule und das Reed können auch hermetisch in einem Gehäuse versiegelt werden, was sie bemerkenswert widerstandsfähig macht. Einige Typen besitzen sogar eine Metallabschirmung im Inneren des Gehäuses, um sicherzustellen, dass externe Magnetfelder nicht zu einem unerwünschten Schaltvorgang führen. Hersteller verfügen über etliche Tricks,

### NO AXIAL FIELD

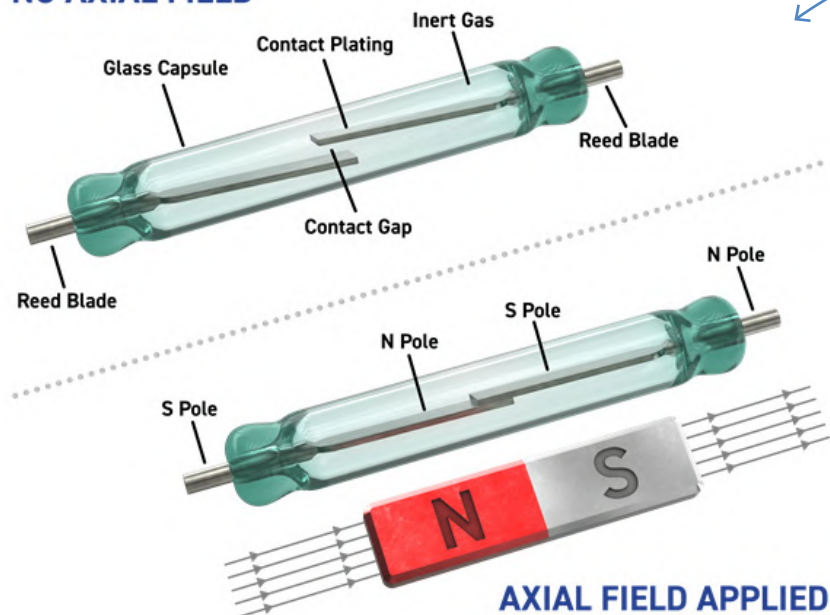


Bild 1. Das Herzstück eines Reed-Relais ist ein Reed-Schalter, der durch ein Magnetfeld betätigt wird. (Quelle: Pickering Electronics)

mit denen Reed-Relais als Öffner oder Umschalter gestaltet werden können [1].

**Bild 2** zeigt eine Vielzahl von Reed-Schaltern und Reed-Relais.

Reed-Schalter sind aufgrund ihrer einfachen Handhabung nach wie vor für eine Reihe von Anwendungen sehr beliebt. Bei Türschaltern für Alarmanlagen wird der Reed-Schalter am Türrahmen und der Magnet an der Tür befestigt. Wenn die Tür geschlossen ist, nähern sich der Magnet und der Schalter einander an, und der Reed-Schalter wird geschlossen. Wenn die Tür geöffnet wird, öffnet sich der Reed-Schalter, und die daraus resultierende Unterbrechung des Stromkreises löst den Alarm aus. Ich hatte auch einmal eine Autoalarmanlage, die zwei an der Windschutzscheibe befestigte Reeds verwendete. Über einen Magneten in einem Schlüsselanhänger konnte man einen einfachen Code eingeben, um die Alarmanlage abzuschalten. Für berührungslose Anwendungen wie diese sind Reed-Schalter sehr nützlich.

Reed-Schalter waren auch in vielen Elektor-Projekten zu finden. Ich erinnere mich an ein Projekt von vor vielen Jahren, bei dem der Betrieb der Glühbirnen im Auto überwacht wurde. Die Verkabelung für die jeweilige Lampe, zum Beispiel die der Bremsleuchten, wurde so modifiziert, dass der Strom durch einen ziemlich dicken Draht floss, der um einen Reed-Schalter gewickelt war und so ein selbstgebautes Reed-Relais bildete. Der Schalter selbst steuerte eine LED synchron zum Schalten der gewählten Glühbirne. Wenn eine Bremslichtbirne durchbrannte, floss nur die Hälfte des Stroms, was nicht ausreichte, um den Reed-Schalter zu betätigen. Dieses Projekt ist, wie alle anderen aus der

60-jährigen Geschichte von Elektor, auf der Elektor-Website [2] zu finden.

Heutzutage bekommen Reed-Relais in einigen Anwendungen Konkurrenz von Hall-Effekt-Sensoren, da diese physikalisch viel kleiner sind und Magnetfelder elektronisch statt mechanisch erfassen. In puncto Einfachheit und Isolierung jedoch sind Reed-Relais unschlagbar, weshalb sie nach wie vor weit verbreitet sind.

Wenn dies Ihre Neugierde geweckt hat, finden Sie bei Anbietern wie Pickering Electronics einige großartige Anleitungen [3] und andere Ressourcen [1], in denen Sie mehr erfahren können. ◀

220179-02

## WEBLINKS

- [1] „Reed RelayMate“, Pickering Electronics, April 2011: <https://bit.ly/3qhVRKS>
- [2] „Car lights failure indicator“, Elektor UK 3/1978: <https://bit.ly/3tisNoq>
- [3] „Reed Relay Basics“, Pickering Electronics: <https://bit.ly/37AU5hf>

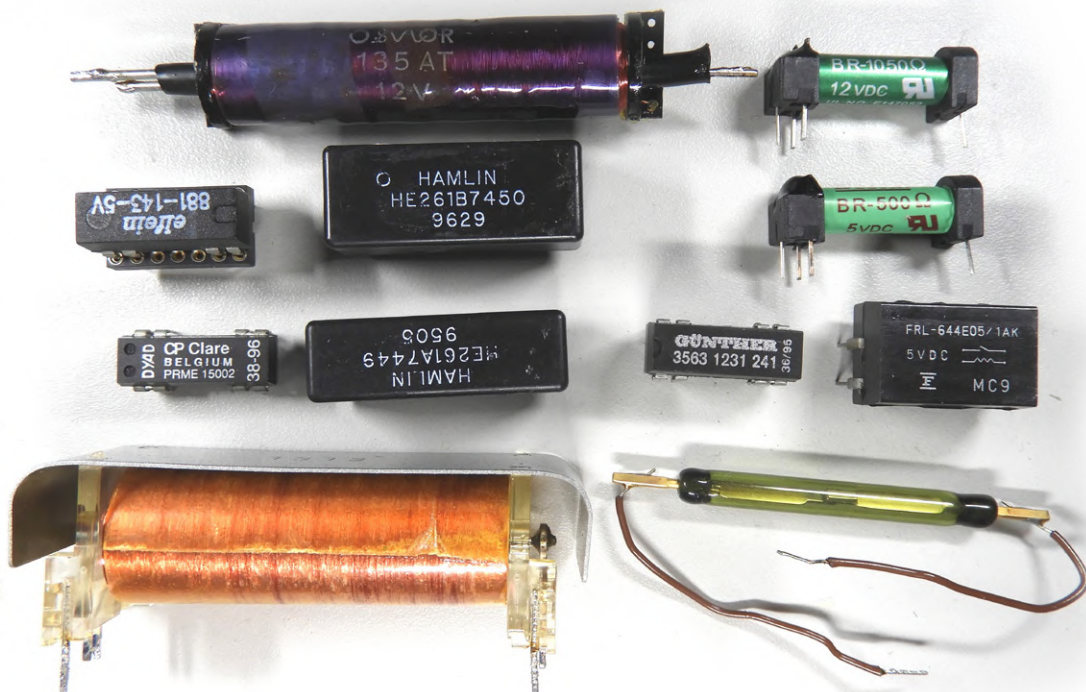


Bild 2. Eine Auswahl von Reed-Relais. Oben links ist ein Wechsler (zwei Kontakte am linken Ende), unten rechts ein bloßer Reed-Schalter zu sehen. Die übrigen zeigen, wie groß die Vielfalt an verfügbaren Größen und Gehäusen ist.

# Einfaches analoges ESR-Messgerät mit Drehspulinstrument- Genauigkeit



Von George Lydecker (USA)

Suchen Sie ein analoges ESR-Messgerät, um schlechte Kondensatoren zu finden und zu prüfen? Sie können Ihr eigenes bauen!

Ich war immer neidisch auf das analoge ESR-Messgerät meines Freundes, mit dem er verdächtige Kondensatoren finden und überprüfen konnte, während sie noch im Stromkreis waren. Sein Messgerät war leider nicht mehr erhältlich, so dass ich einige Nachforschungen anstellen musste, um zu verstehen, wie so etwas funktioniert, um meine eigene Version zu entwickeln.

## Zunächst einmal: Was ist ESR?

ESR steht für den äquivalenten Serienwiderstand eines Kondensators. Der ESR ist frequenz- und temperaturabhängig und ändert sich mit der Alterung der Bauteile. Bei „nassen“ Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren, die in (Schalt-) Netzteilen verwendet werden, ist es wichtig, dass sie einen niedrigen ESR-Wert aufweisen. Die typische Methode zur Messung des ESR besteht darin, den Kondensator mit einem bekannten Wechselstrom ( $I_{cap}$ ) bei einer Frequenz zu versorgen, bei der der kapazitive Blindwiderstand des Kondensators sehr niedrig ist, so dass der ESR dominiert. Durch Messung der resultierenden Wechselspannung ( $U_{cap}$ ) an den Anschlüssen des Kondensators kann der ESR mit dem Ohmschen Gesetz bestimmt werden:

$$ESR = U_{cap}/I_{cap}$$

Die meisten Entwürfe, die ich gefunden habe, funktionieren nach dem in **Bild 1** gezeigten Blockdiagramm. Es gibt einen Oszillator, der eine Wechselspannung liefert, die an den Kondensator DUT angelegt wird. Anschließend wird das AC-Signal in einen Impedanzwandler und einen Detektor geführt. Das detektierte Signal wird dann gleichgerichtet und gepuffert, so dass es das (Drehspul-) Messgerät ansteuern kann.

Da das ESR-Messgerät batteriebetrieben sein soll, liefert die Stromversorgung eine rauscharme und stabile symmetrische Spannung zur Versorgung der beiden Operationsverstärker und des Logikgatters im ESR-Messgerät. Der Oszillator arbeitet in den meisten Beispielen, die ich mir angesehen habe, mit einer Frequenz im Bereich 100...150 kHz. Der Treiber zur Verringerung der Impedanz des AC-Signals kann ein Transistorstromverstärker, ein Transformator oder parallel geschaltete Logikgatter sein. Der

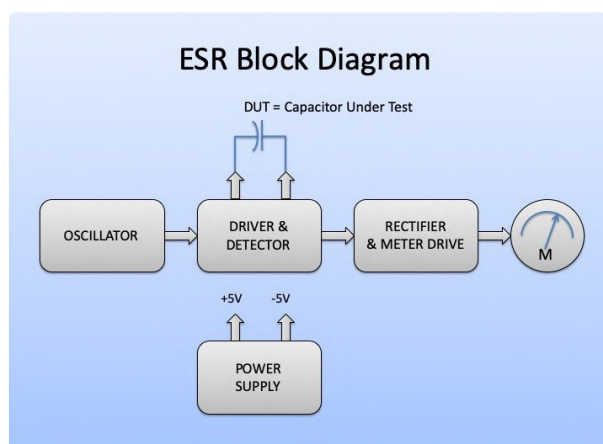


Bild 1. Blockschaltbild des ESR-Meters.

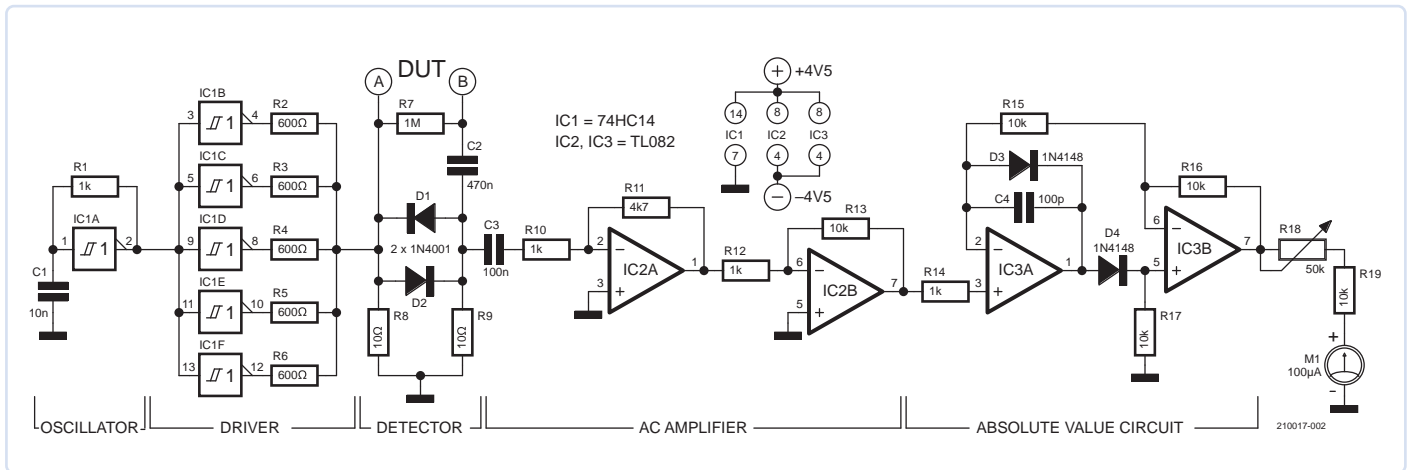


Bild 2. Die Schaltung des ESR-Meters besteht aus Teilen verschiedener im Internet gefundener DIY-Entwürfe.

Detektor bestand in der Regel aus zwei antiparallel geschalteten Dioden. Das erfasste AC-Signal wird dann gleichgerichtet, verstärkt und durch ein Gleichstrom-Messgerät angezeigt.

### Meine Schaltung

In der Schaltung, für die ich mich entschieden habe (Bild 2), kommen mehrere Elemente aus den DIY-Beispielen im Internet zum Einsatz. Für den Oszillator und den Impedanzwandler habe ich einen einzelnen 74HC14 verwendet, der sechs Inverter mit Hysteresis bereitstellt. Einer der Inverter fungiert als Relaxationsoszillator und die restlichen fünf Inverter als Impedanzwandler. Dieser Teil der Schaltung stammt von Lawrence P. Glaister VE7IT [1].

Der Detektorteil des ESR-Meters ist derselbe wie die Detektorschaltung in dem kommerziellen ESR-Meter von Creative Electronics, die leider nicht mehr hergestellt werden. Die Dioden D1 und D2 begrenzen den oberen und unteren Teil der 100-kHz-Wechselspannung auf je eine Siliziumdioden-Schwelspannung. Dadurch

können Kondensatoren in der Schaltung getestet werden, da alle anderen Silizium-Übergänge in der DUT-Schaltung durch das relativ niedrige AC-Signal nicht in Vorwärtsrichtung betrieben werden. Das AC-Signal mit dem niedrigem Pegel wird durch C3 vom Gleichspannungsanteil befreit und von zwei Operationsverstärkern verstärkt, wobei der erste Verstärker eine Spannungsverstärkung von 4,7 und der zweite Verstärker eine Verstärkung von 10 aufweist. Damit ergibt sich eine Gesamtverstärkung von 47 am Eingang der Absolutwertschaltung.

Die Absolutwertschaltung wurde aus dem Burr-Brown Application Bulletin „Precision Absolute Value Circuits“ [2] übernommen. Diese Absolutwertschaltung war völlig für das von mir gewählte 100-mA-Drehspulinstrument geeignet.

Dieses ESR-Messgerät wird von einer einzigen 9-Volt-Blockbatterie versorgt. Die für den Operationsverstärker benötigte symmetrische Betriebsspannung (Plus, Minus und Masse) wird von dem Opamp-Spannungsfollower mit Stromverstärkung in Bild 3 erzeugt.

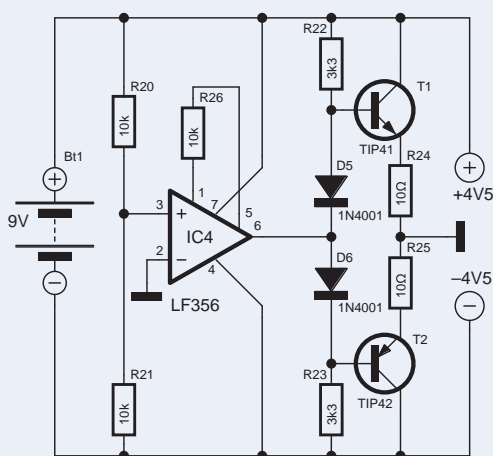


Bild 3. Diese Schaltung verwandelt eine 9-V-Batterie in eine symmetrische ±4,5-V-Versorgung.

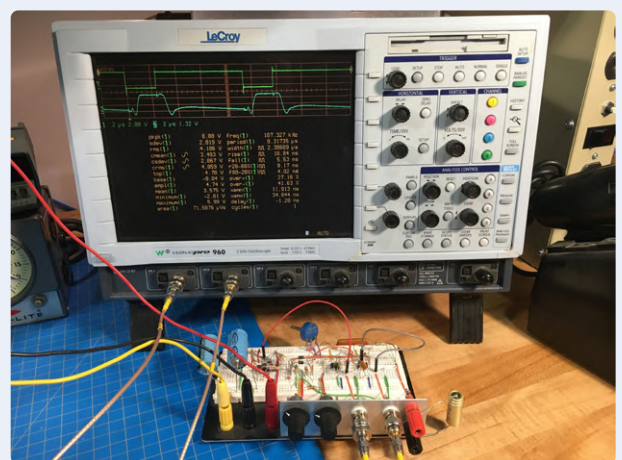


Bild 4. Das Oszilloskop zeigt die Ausgangssignale des Oszillators sowie des ESR-Meters beim Testen eines 50-μF-Elektrolytkondensators.

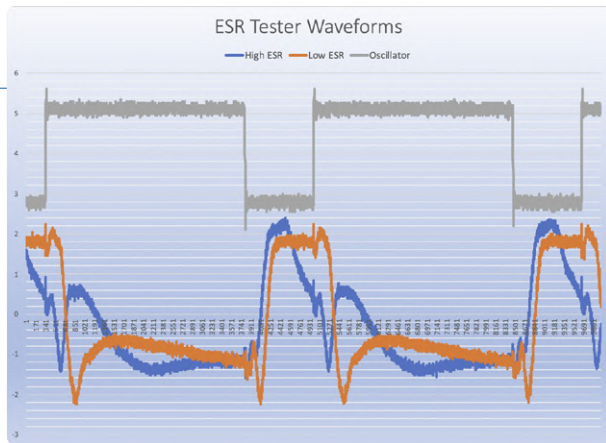


Bild 5. Diese Wellenformen im Oszillogramm zeigen den Unterschied zwischen einem Kondensator mit hohem ESR-Wert (blau) und einem Kondensator mit niedrigem ESR-Wert (orange).

## Test und Betrieb

Um die Schaltung zu testen, habe ich sie auf einem herkömmlichen Breadboard aufgebaut. Über zwei BNC-Buchsen an einem Blechwinkel konnte ich die verschiedenen Wellenformen bequem abgreifen. Zum Testen habe ich mir die Signale zunächst einfach mit einem Oszilloskop anstelle des 100- $\mu$ A-Meters angesehen (Bild 4 und Bild 5).

Die Schaltung wurde schließlich auf zwei Lochraster-Abschnitten aufgebaut (Bild 6). Die kleinere Platine links ist die Spannungsversorgungsschaltung, die größere Lochrasterplatine, die die Schaltung des ESR-Messgeräts trägt, ist mit Muttern an den Gewindebolzen des Drehspulinstruments befestigt.

Noch bevor ich das Messgerät in ein Gehäuse gepackt habe, konnte es sich bei der Fehlersuche in unserer Klimaanlage nützlich machen, um einen defekten Motorkondensator zu lokalisieren (Bild 7).

Das fertige ESR-Messgerät ist tragbar genug, um es auch fernab der Werkbank einsetzen zu können. Eine einfache Kalibrierung wurde mit einigen 2- $\Omega$ -Widerständen durchgeführt (Bild 8).

Das ESR-Messgerät wird wie ein Widerstandsmessgerät gehandhabt. Vor der Messung eines Kondensators werden die Leitungen kurzgeschlossen und das Poti auf den vollen Skalenwert (ESR Null) eingestellt. Wenn man ein Poti mit Schalter verwendet, kann man damit das Gerät auch ein- und ausschalten. ◀

210017-02

## Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Senden Sie eine E-Mail an den Autor unter [glydeck@aol.com](mailto:glydeck@aol.com) oder kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

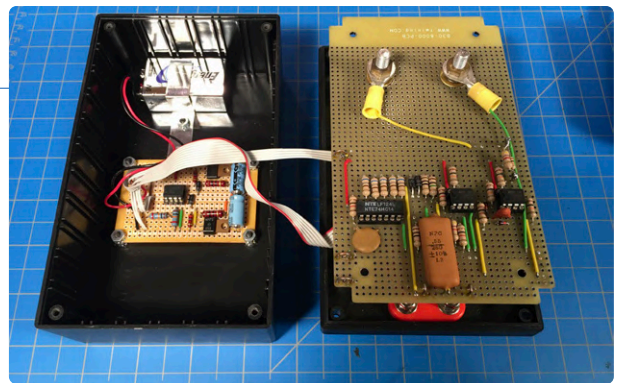


Bild 6. Die Schaltung ist so einfach, dass sie auf einer Lochraster-Platine aufgebaut werden kann.

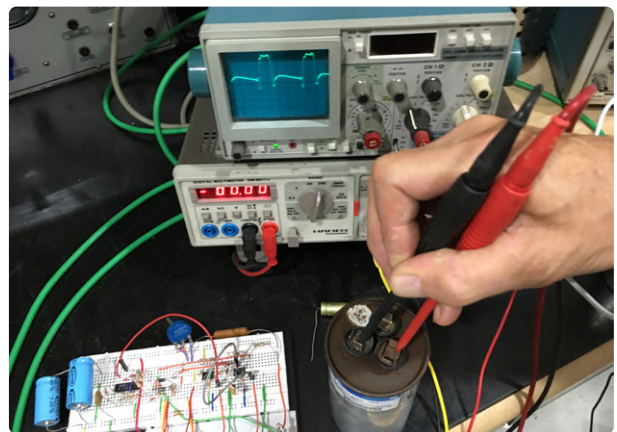


Bild 7. Auch als Prototyp auf dem Breadboard stellte die Schaltung ihr Können bei der Überprüfung eines dicken Motorkondensators einer Klimaanlage unter Beweis.



Bild 8. Die Kalibrierung des Messgeräts ist mit ein paar 2- $\Omega$ -Widerständen leicht zu bewerkstelligen.

## WEBLINKS

- [1] Schaltung von Lawrence P. Glaister (VE7IT): <http://ve7it.cowlug.org/esrmeter.html>
- [2] Application Note von Burr Brown: [http://glydeck.com/project/content/absolute\\_value\\_circuit.pdf](http://glydeck.com/project/content/absolute_value_circuit.pdf)



## PASSENDE PRODUKTE

- Elektor 2 MHz LCR-Meter Kit SKU 19883 [www.elektor.de/19883](http://www.elektor.de/19883)
- Peak Atlas ESR70 Plus - ESR-Tester SKU 17668 [www.elektor.de/17668](http://www.elektor.de/17668)



# Treten Sie jetzt der Elektor Community bei!

Jetzt Mitglied werden!



- ✓ Komplettes Webarchiv ab 1970
- ✓ 6x Elektor Doppelheft (Print)
- ✓ 9x Digital (PDF) inkl. Elektor Industry
- ✓ 10% Rabatt im Online-Shop und exklusive Angebote
- ✓ Elektor Jahrgangs-DVD
- ✓ Mit Tausenden von Mitgliedern des Online-Labors gemeinsam entwickeln mit Zugang zu über 1.000 Gerber-Dateien und direktem Kontakt zu unseren Experten!
- ✓ Veröffentlichen Sie Ihr eigenes Projekt oder verkaufen Sie direkt über unseren Shop!

## Auch erhältlich

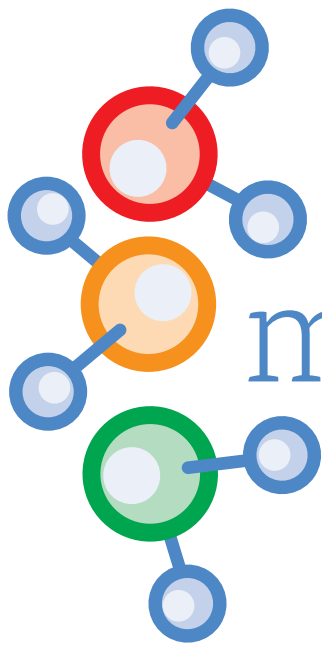
Die digitale  
Mitgliedschaft!



- ✓ Zugang zu unserem Webarchiv
- ✓ 10% Rabatt in unserem Online-Shop
- ✓ 6x Elektor Doppelheft (PDF)
- ✓ Exklusive Angebote
- ✓ Zugang zu über 1.000 Gerber-Dateien



[www.elektor.de/mitglied](http://www.elektor.de/mitglied)



# CO<sub>2</sub>-Ampel mit Sigfox-Interface

## Vom WLAN unabhängig!

Von Peter Groppe, Frank Schleking und Bernd vom Berg  
(Deutschland)

In Elektor haben wir schon einige CO<sub>2</sub>-Messgeräte vorgestellt. Fast alle hatten auch ein WLAN-Interface, so dass sich die Daten weltweit abrufen lassen. Diese CO<sub>2</sub>-Ampel wird dagegen über das Sigfox-Netzwerk mit dem Internet of Things verbunden. Sie funktioniert also auch da, wo kein Zugang zu einem WLAN-Netzwerk besteht.

Vielfältige Untersuchungen haben gezeigt, dass mit steigendem CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Umgebungsluft die Luftqualität sinkt und somit die Virenbelastung steigen kann. Regelmäßiges und intensives Lüften von Räumen ist somit unerlässlich! Grundlage dafür ist eine entsprechende permanente Kontrolle des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Raumluft, so dass bei Überschreitung bestimmter Grenzwerte Warn- und Alarmmeldungen ausgegeben werden können.

Das ist die Aufgabe der so genannten CO<sub>2</sub>-Ampeln, die optisch und akustisch anzeigen, wann ein Lüften erforderlich ist; sie visualisieren den CO<sub>2</sub>-Gehalt in Form der bekannten farbigen Ampelsignale grün, gelb und rot. Komfortable Ausführungen besitzen ein Display und meist noch ein WLAN-Inter-

face. In ein Netzwerk eingeloggt, lassen sich die Daten zu einer Cloudplattform überspielen und auf einer Webseite anzeigen, die überall auf der Welt abrufbar ist.

Die hier vorgestellte CO<sub>2</sub>-Ampel besitzt ebenfalls einen Zugang ins Internet. Allerdings kommt hier zur drahtlosen Übermittlung der Daten das Funknetzwerk Sigfox zum Einsatz. Sigfox eignet sich speziell für kleine Datenmengen, dafür ist die Reichweite der Funkverbindung erheblich größer als bei WLAN. Um zum Beispiel eine Stadt abzudecken, sind nur eine Handvoll Sigfox-Basisstationen erforderlich. Die Abdeckung ist in vielen Ländern der Welt bereits sehr gut. Somit ist die hier vorgestellte CO<sub>2</sub>-Ampel besonders für jene Orte geeignet, wo es kein WLAN-Netzwerk gibt oder kein Zugang besteht.

### Die Hardware

Der Aufbau der Hardware für die CO<sub>2</sub>-Ampel gestaltet sich sehr einfach, denn heutzutage sind in der Arduino-Welt eine Vielzahl von fertigen, sehr leistungsfähigen Mikrocontroller-Boards verfügbar, die als Herzstück der CO<sub>2</sub>-Ampel eingesetzt werden können. Wir haben uns hier für das MKR FOX1200-Board entschieden, das wir bereits in der Elektor-Artikelserie „Mit dem Fuchs ins IoT“ [5] genutzt haben.

Auf unsere hier vorgestellte Basisplatine lässt sich statt des MKR FOX1200 auch ein Arduino Uno aufstecken - falls man den Zugang zum Sigfox-Netzwerk nicht braucht und die Ampel nur lokal betreiben möchte. **Bild 1** zeigt die sehr übersichtliche Schaltung für die beiden Controllerboards, die entweder als IC3 (Arduino Uno R3) oder IC1 (MKR FOX1200) auf die Basisplatine gesteckt werden.

Das Mikrocontroller-Board erfasst in regelmäßigen (einstellbaren) Intervallen die Messwerte des CO<sub>2</sub>-Sensors SCD30 (CO<sub>2</sub>-Gehalt, Lufttemperatur und Luftfeuchte) und stellt diese Werte auf einem 1,3"-OLED-Display dar. Die farbenfrohe Ampel besteht aus einem Multicolor-NeoPixel-LED-Matrix-Display, das mit den entsprechenden Ampelfarben angesteuert wird.

Der CO<sub>2</sub>-Sensor SCD30 [1] wird über den I<sup>2</sup>C-Bus (SDA, SCL, +5V und GND) angesteuert und an die platzsparenden Doppelstock-Klemmen X1 angeschlossen. Bei Bedarf können für die beiden I<sup>2</sup>C-Anschlüsse noch Pull-Up-Widerstände á 4,7 kΩ hinzugefügt werden. Das OLED-Display [2] an den Doppelstockklemmen X2 wird ebenfalls über den I<sup>2</sup>C-Bus angesteuert.

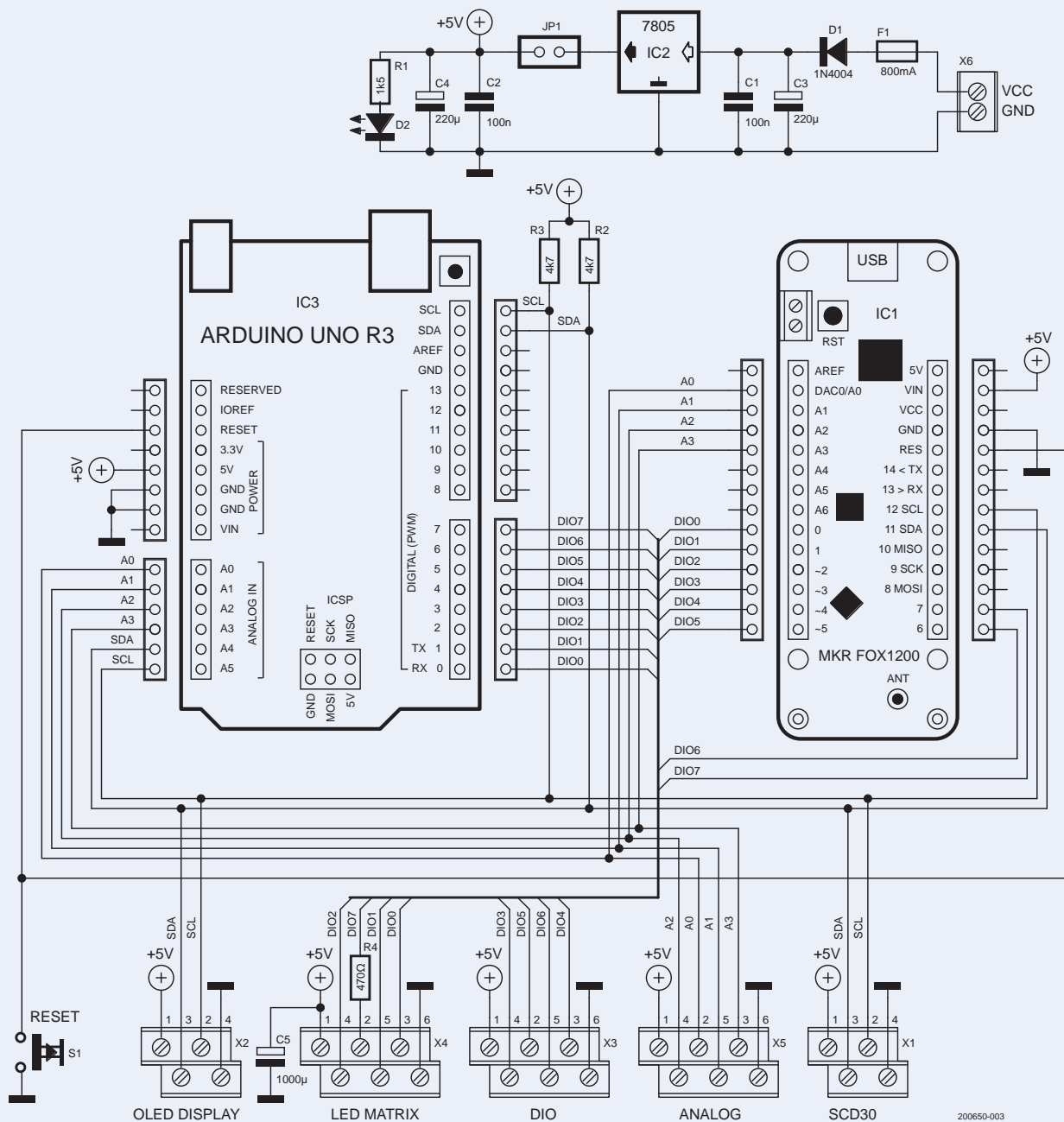


Bild 1. Die Schaltung der CO<sub>2</sub>-Ampel für das Arduino Uno- beziehungsweise das MKR FOX1200-Mikrocontroller-Board.

Zum Betrieb des NeoPixel-LED-Matrix-Displays [4] wird neben der Spannungsversorgung lediglich ein einziger digitaler Port-Pin benötigt. Wir verwenden hier den Port-Pin DIO7 und schließen das Display an die Doppelstockklemmen X4 an. Über diesen einzigen Port-Pin können NeoPixel-Displays mit unterschiedlichen LED-Anzahlen betrieben werden.

An den noch freien digitalen/analoge Anschlüssen von X3, X4 und X5 lassen sich zusätzliche Sensoren/Aktoren anschließen, um die CO<sub>2</sub>-Ampel mit weiteren Zusatzfunktionen zu ergänzen, zum Beispiel dem Einschalten von Klimageräten bei Überschreitung von Grenzwerten.

**Bild 2** zeigt die bestückte Platine, auf die entweder der MKR FOX1200 oder über Kopf der Arduino Uno aufgesteckt wird. **Hinweis: Je nach verwendetem Arduino-Board bitte nicht beide Steckplätze, sondern nur die zugehörigen Leisten bestücken.** Wenn beide Leisten für den MKR FOX1200 bestückt werden, passt das Arduino-Board nämlich nicht mehr auf die Platine, es sei denn, man verwendet „Verlängerungs-Leisten“, um das Board höher zu setzen. Das Platinenlayout, der Bestückungsplan, eine Stückliste sowie die eingesetzte Arduino-Firmware stehen auf der Elektor-Projektseite [3] zum Download bereit. Auf die vorgesehene Antennenfläche kann eine geeignete flache Sigfox-Antenne

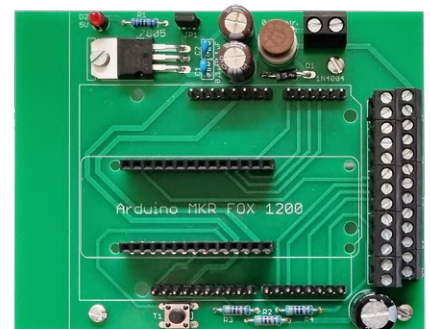


Bild 2. Bestückung der CO<sub>2</sub>-Ampel-Platine.

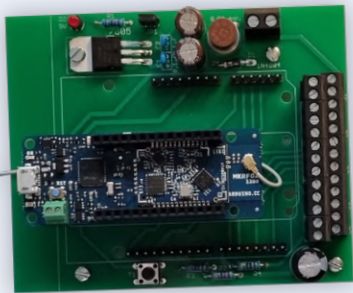


Bild 3a. Die Ampelplatine mit aufgestecktem MKR FOX1200.



Bild 3b. Der Arduino Uno ist „head over heels“ aufgesteckt.

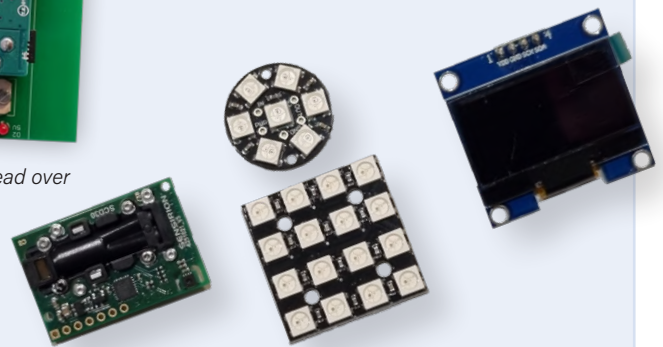


Bild 3c. Das Sensorboard und verschiedene Anzeigen.

mit doppelseitigem Klebeband fixiert werden. **Bild 3** zeigt die beiden aufgebauten Versionen.

### Stromversorgung

**Wichtiger Hinweis:** Bei NeoPixel-Elementen muss unbedingt auf eine ausreichende Stromversorgung geachtet werden! Wird ein einzelnes LED-Element (mit seinen drei farbigen Teil-LEDs) mit der Farbe *Hellstes Weiß* angesteuert, jede Teil-LED also mit der maximalen Intensität von 255, dann zieht jede Teil-LED 20 mA, das gesamte LED-Element also 60 mA. Und bei einer Matrix mit 16 LED-Elementen sind das schon  $16 \cdot 60 \text{ mA} = 960 \text{ mA}$ ! Damit ist jeder ungekühlte 5V-SMD-Spannungsregler auf jedem Arduino-Board völlig überfordert und schaltet bestenfalls ab. Im schlimmsten Fall wird er zerstört!

Normalerweise kommt man nicht an diese maximale Stromaufnahme eines LED-Elements heran, aber man sollte je nach dargestellter Gesamtfarbe trotzdem mit einer mittleren Stromaufnahme von 25...30 mA rechnen. So kommt man bei einer 4\*4-LED-Matrix immerhin auf 400...480 mA, was für einen On-Board-Arduino-Spannungsregler ebenfalls zu viel ist.

Daher sollte man beim Einsatz von NeoPixel-Displays unbedingt folgendes beachten:

- Einbau eines Puffer-Elkos direkt an den Spannungsversorgungsanschlüssen des NeoPixel-Displays, um Stromspitzen beim Umschalten zwischen verschiedenen Farben zu vermeiden (Elko von 470 µF bis 1.000 µF bei kleineren Displays, hier wurde C5 = 1.000 µF eingebaut).
- Einbau eines 470-Ω-Widerstandes in die Ansteuerleitung des Displays, um Störungen zu reduzieren (hier: R4).

- Auf jeden Fall: Versorgung des gesamten Systems über eine externe Spannungsstabilisierungsstufe mit einem hochwertigen Spannungsregler (eventuell sogar gekühlt) und mit entsprechenden Kondensatoren (hier: 7805-Stufe mit „Zubehör“ auf der Basisplatine und 9V/1A-Steckernetzteil). Gut hierfür eignen sich auch DC/DC-Schaltregler, da diese nahezu verlustfrei arbeiten, also nicht heiß werden (aber auch um ein Vielfaches teurer sind).
- Auf keinen Fall sollte der ungekühlte On-Board-SMD-Spannungsstabilisator der Arduino-Boards benutzt werden, da es insbesondere bei China-Klonen wegen Überhitzung oder aufgrund von Umschalt-Stromspitzen schnell zu Ausfällen kommen kann.
- Die NeoPixel-LED-Matrix-Anzeige sollte auch nur so groß wie unbedingt notwendig sein und auch nicht mit maximaler Helligkeit betrieben werden. Die Helligkeit des hier verwendeten runden 7-Element-NeoPixel-Displays wird von der Software im Bereich von nur 4...16/255 angesteuert.

Wird zu Test- oder zu anderen Einsatzzwecken das System ohne NeoPixel-Display betrieben und ist die Gesamtstromaufnahme nicht zu hoch, so kann die Versorgung aber gut über den SMD-Spannungsregler auf den Arduino-Boards erfolgen. In diesem Fall ist Jumper JP1 zu ziehen, damit der 7805 nicht rückwärts mit Spannung versorgt wird.

### Die benötigten Arduino-Bibliotheken

Die Software für die CO<sub>2</sub>-Ampel benötigt zum Betrieb der externen Komponenten

CO<sub>2</sub>-Sensor SCD30, 1,3"-OLED-Display und NeoPixel-LED-Matrix-Display einige zusätzliche Bibliotheken. Für den Einsatz des MKR FOX1200-Boards sind noch zwei weitere Bibliotheken notwendig, nämlich eine für den Sigfox-Betrieb und eine optionale für die On-Chip-RTC des SAMD21-Mikrocontrollers.

#### Die Bibliothek für den CO<sub>2</sub>-Sensor SCD30

Die Installation der SparkFun-Treiber-Bibliothek für den SCD30-Sensor erfolgt in der Arduino-IDE über *Werkzeuge* -> *Bibliotheken verwalten...*, danach muss man oben rechts nach *scd30* suchen. Daraufhin werden die zwei bekanntesten Bibliotheken für den SCD30 angezeigt, einmal die von Adafruit und einmal die von SparkFun. Wir setzen, wie **Bild 4** zeigt, hier die Bibliothek von SparkFun ein.

Nach der Installation wird die Bibliothek in der IDE über *Sketch* -> *Bibliothek einbinden* -> ... *SparkFun SCD30 Arduino Library* automatisch in unser Programm eingebunden. Eine genaue Beschreibung der Bibliothek erhält man, wenn man in **Bild 4** links unten auf *More info* klickt.

#### Die Bibliothek für das 1,3"-OLED-Display

Zum Betrieb des 1,3"-OLED-Displays mit 128\*64 Pixel kommt die äußerst leistungsfähige und umfangreiche Bibliothek *U8g2* von Oli Kraus zum Einsatz. Dieses gesamte Softwarepaket besteht mittlerweile aus vier einzelnen Bibliotheken:

- *U8g2*: Bibliothek für grafikfähige Displayanwendungen mit einer großen Anzahl von Graphikfunktionen und Darstellungszeichensätzen
- *U8x8*: Bibliothek für einfache, rein textbasierte Displayanwendungen mit einer reduzierten Anzahl von Zeichensätzen

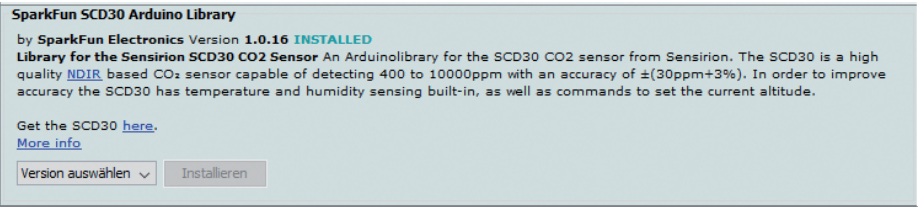


Bild 4. Die Auswahl der SCD30-Bibliothek von SparkFun.

- **MUIU8g2:** Spezielle Funktionen zur Realisierung von interaktiven, grafikfähigen, monochromen Benutzerschnittstellen (MUI = Monochrom User Interface)
- **U8log:** Funktionen zur Emulation eines Terminals, ähnlich dem Seriellen Monitor der Arduino-IDE

Die Installation der U8g2-Treiber-Bibliothek für das OLED-Display erfolgt ebenfalls in der Arduino-IDE über *Werkzeuge -> Bibliotheken verwalten...*; danach muss man oben rechts nach *u8g2* suchen (Bild 5).

Nach der Installation werden die drei Kernbibliotheken über *Sketch | Bibliothek einbinden | ... U8g2* in unser Programm automatisch eingebunden.

```
#include <MUIU8g2.h> // löschen
#include <U8g2lib.h> // löschen
#include <U8x8lib.h>
```

Von diesen Bibliotheken benötigen wir nur die textbasierte *U8x8lib*, so dass die *#include*-Zeilen der anderen beiden Bibliotheken gelöscht werden können.

Der Vorteil des U8g-Bibliothekspaketes besteht unter anderem darin, dass eine große Vielzahl unterschiedlichster Display-Typen unterstützt wird:

- LCD-, OLED-Graphik-fähige Displays
- Unterschiedliche Pixelauflösungen
- Ansteuerung über verschiedene Busse: I2C/SPI in Hard- oder Softwarerealisierung, Parallel-Busse gemäß 8080- und 6800-Spezifikation
- Unterschiedliche Treiber-Bausteine
- und vieles andere mehr

Das ist zwar sehr nützlich, aber man muss auch ganz genau aufpassen, dass man das richtige, in der eigenen Applikation eingesetzte Display auswählt. Dies ist tatsächlich eines der größten (Luxus-)Probleme beim Einsatz der U8g2-Bibliotheken. In Bild 6 sehen Sie einen Ausschnitt aus der Unzahl der möglichen unterstützten, aber im Bild auskommentierten Display-Typen.

Deshalb ist es sinnvoll, sich zunächst eines der fertigen Beispiele anzusehen, die mit der Bibliothek in der Arduino-IDE mitinstalliert wurden, zum Beispiel unter *Datei -> Beispiele -> U8g2 -> U8x8* der Sketch *HelloWorld*. Achten Sie unbedingt darauf, dass Sie die Beispiele zur U8x8-Bibliothek auswählen! In der langen Liste in diesem *HelloWorld*-

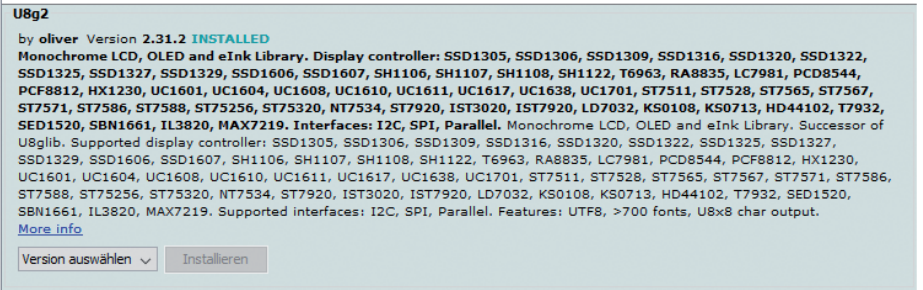


Bild 5. Die Auswahl der U8g2-Bibliothek zum Betrieb des 1,3"-OLED-Display.



Bild 6. Ein Ausschnitt aus der Vielzahl der von der U8x8-Bibliothek unterstützten Display-Typen.

Sketch beginnt die Detailsuche nach dem verwendeten (OLED-)Display. Man aktiviert es, indem man die Kommentar-Zeichen // entfernt. Wir kopieren nur die entsprechende (auskommentierte) Zeile 64 des passenden Display-Konstruktors in Zeile 119 [3] unseres CO<sub>2</sub>-Ampel-Sketches:

```
U8X8_SH1106_128X64_NONAME_HW_I2C
u8x8(/* reset=*/ U8X8_PIN_NONE);
```

Das bedeutet:

- Treiber-Bibliothek: **U8X8**
- Display-Controller: **SH1106**
- Pixel-Anzahl des Displays: **128\*64**
- Hersteller des Displays: **NONAME** (wir setzen „irgendeinen“ China-Klon ein)
- Anschluss via Hardware-I2C

- Name des angelegten Objektes für den weiteren Gebrauch im Programm: **u8x8**
- Ausdruck in Klammern: der Reset-Pin des Displays wird nicht verwendet

Eine genaue Beschreibung der Bibliothek erhält man, wenn man in Bild 5 links unten auf *More info* klickt.

### Die Bibliothek für das NeoPixel-LED-Display

Das von der Firma Adafruit entwickelte NeoPixel-LED-Konzept ermöglicht es, aus einzelnen RGB-LED-Elementen zusammengesetzte große, farbige LED-Streifen, Felder, Kreise und andere Formen aufzubauen. Alle LED-Elemente sind kaskadiert und werden über nur eine einzige digitale I/O-Leitung angesteuert. Der LED-Controller WS2812 ermöglicht es, die drei unterschiedlich farbigen Einzel-LEDs (rot,

grün, blau) mit programmierbarer 8-Bit-Intensität anzusteuern, so dass man fast beliebige Farbkombinationen erzeugen kann.

Der Vorteil bei der Softwareerstellung für NeoPixel-Anwendungen beliebiger Größe liegt darin, dass es zur Ansteuerung eine sehr komfortable Arduino-Bibliothek von Adafruit gibt. Diese Bibliothek ist ebenfalls schon im Arduino-Programmpaket enthalten und wird wie in **Bild 7** zu sehen über den bereits bekannten Bibliotheksverwalter installiert (suchen nach *neopixel*). Nach der Installation wird die Bibliothek über *Sketch* -> *Bibliothek einbinden* -> *Adafruit NeoPixel* in unser Programm automatisch eingebunden. Auch hier findet man eine genau Beschreibung der Bibliothek unter dem Link *More info*.

### Die Bibliothek für die RTC auf dem SAMD-Mikrocontroller

Der SAMD21-Mikrocontroller auf dem MKR FOX1200-Board besitzt eine On-Chip-RTC, die man für Uhrzeit- und Datumsanwendungen im gesamten System verwenden kann. Dies erfordert eine Pufferbatterie für das Board, damit man nach Abschalten der Betriebsspannung die RTC nicht immer neu stellen muss. Die Pufferbatterie haben wir bei der CO<sub>2</sub>-Ampel nicht vorgesehen, aber eine entsprechende kleine Schaltung kann sehr leicht an das MKR FOX1200-Board angeschlossen werden.

Sollten Sie diese RTC verwenden wollen, so gibt es natürlich auch hierzu eine komfortable Treiber-Bibliothek, die wie üblich über den Bibliotheksverwalter installiert wird (suchen nach *rtc*, **Bild 8**).

Die ausführliche Beschreibung zu dieser Bibliothek findet man wie gewohnt unter dem Punkt *More Info*. Das Einbinden der Bibliothek erfolgt unter *Sketch* -> *Bibliothek einbinden* -> *RTCZero*.

### Die Sigfox-Bibliothek für den MKR FOX1200

Kommen wir nun zur Anbindung der CO<sub>2</sub>-Ampel an das Internet of Things mit dem Mikrocontroller-Board MKR FOX1200 über das Funknetzwerk Sigfox. Da die Beschreibung des Sigfox-Betriebs viel zu umfangreich für diesen Artikel ist, verweisen wir auf die vierteilige Sigfox-Einführung in Elektor [5] sowie das Sigfox-Grundlagenbuch, das ebenfalls im Elektor-Verlag veröffentlicht wurde [6].

Lassen wir es hier dabei bewenden, dass über Sigfox die Messwerte der CO<sub>2</sub>-Am-

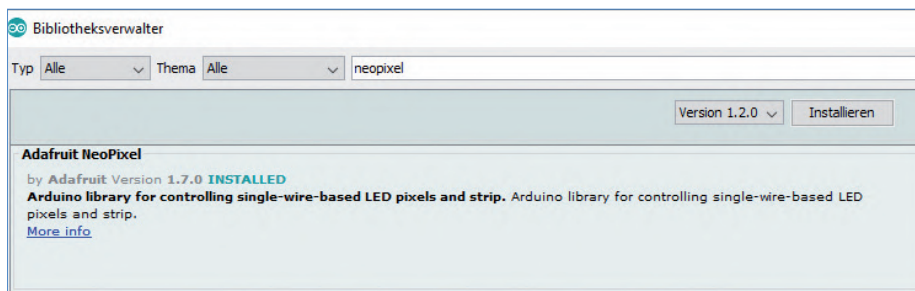


Bild 7. Die Auswahl der Adafruit NeoPixel-Bibliothek.

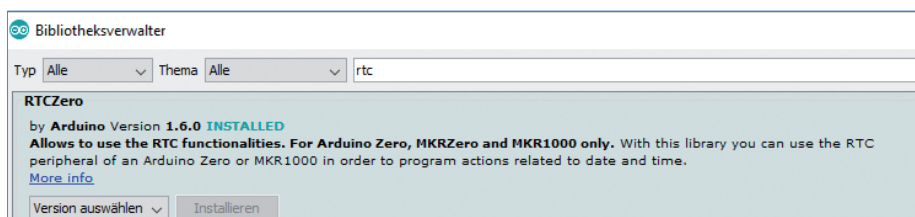


Bild 8. Auswahl der RTC-Bibliothek für SAMD21-Mikrocontroller.

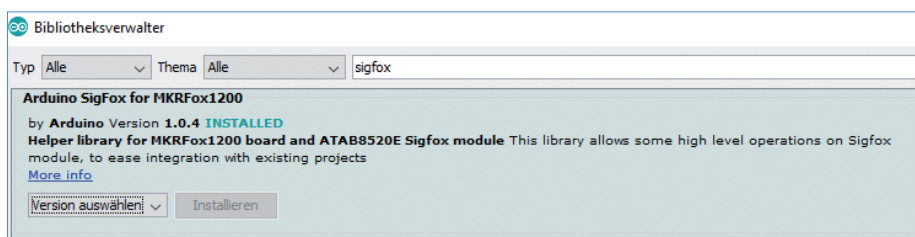


Bild 9. Die Auswahl der Sigfox-Bibliothek für das MKR FOX1200-Mikrocontroller-Board.

pel weltweit funkbasiert ins Internet eingespeist und überall mit PC, Laptop, Tablet oder Smartphone abgerufen und angezeigt werden können.

Auch hier unterstützt uns eine fertige, sehr gute Bibliothek im Arduino-Programmpaket mit den dazu notwendigen Sigfox-Funktionen. Die Bibliothek wird wie alle anderen zuvor über den Bibliotheksverwalter installiert (suchen nach *sigfox*, **Bild 9**) und mit *Sketch* -> *Bibliothek einbinden* -> *Arduino Sigfox for MKRFox1200* eingebunden. Die notwendigen Informationen zu den Sigfox-Funktionen erhält man wieder über *More Info*.

In **Listing 1** sind bedeutende Ausschnitte des kommentierten Arduino-Programms (für das MKR FOX1200-Board) zu sehen. Das vollständige Programm in deutscher und englischer Sprache [3] ist ausführlich dokumentiert und weist zu Testzwecken an vielen Stellen noch serielle Ausgaben (zum Beispiel für den Monitor in der Arduino-IDE) auf. Wenn alles wie gewünscht funktioniert,

können diese Zusätze auskommentiert oder gelöscht werden.

Im Programm selbst kann man die Zuordnung der Ampelfarben zu den jeweils gemessenen CO<sub>2</sub>-Gehalten individuell frei parametrieren. Wir haben festgelegt:

- > 0 ... 1000 ppm: sattes grün
- > 1001 ... 2000 ppm: gelb
- > 2001 ... 5000 ppm: orange
- > 5001 ... 12000 ppm: sattes rot.

### Der Betrieb über das Sigfox-Netzwerk

In [5] und [6] haben wir ausführlich dargestellt, wie die Parametrierung und der Betrieb des MKR FOX1200-Moduls im Sigfox-Netzwerk realisiert werden. Hier können wir uns auf eine kurze Beschreibung des Prinzips und der notwendigen Schritte beschränken. Beginnen wir mit einer Übersicht über das Sigfox-Netzwerk (**Bild 10**).

Die *Sigfox-Objects*, so wie unser CO<sub>2</sub>-Messgerät oder andere Sensorboards, senden



### Listing 1. Auszüge aus dem Arduino-Sketch.

```
void loop()
{
  unsigned char i;
  char text[15];

  // Endlos-Mess-Schleife
  while(1)
  {

    /* Der SCD30-Sensor misst automatisch im 2 Sekunden Takt.
       Wenn Daten verfügbar, dann lese diese aus und speichere sie in Variablen*/

    if (AirSensor.dataAvailable())      // Abfrage, ob neue Daten vorhanden sind
    {
      // Die 3 Messwerte einlesen
      co2 = AirSensor.getCO2();
      temperatur = AirSensor.getTemperature();
      luftfeuchte = AirSensor.getHumidity();

      // Messzähler erhöhen
      mess_zae = mess_zae + 1;

      // Ausgabe der Werte auf dem Seriellen Monitor
      Serial.print("Messung-Nr: "); Serial.print(mess_zae); Serial.print(" // ");

      // Ausgabe der Uhrzeit
      print2digits(rtc.getHours());
      Serial.print(":");
      print2digits(rtc.getMinutes());
      Serial.print(":");
      print2digits(rtc.getSeconds());
      Serial.println();

      // Ausgabe der Messwerte
      Serial.println("CO2:   " + String(co2) + " ppm");
      Serial.println("Temp:   " + String(temperatur-temp_cor) + " °C");
      Serial.println("Feuchte: " + String(luftfeuchte) + " %RH");
      Serial.println();

      // Auswertung des CO2-Wertes für die 'Ampel': NeoPixel-Display
      switch(co2)
      {
        case 0 ... 1000:  pixels.fill(gruen_satt,0,7);
                          pixels.show();
                          break;

        case 1001 ... 2000: pixels.fill(gelb_1,0,7);
                          pixels.show();
                          break;

        case 2001 ... 5000: pixels.fill(orange_1,0,7);
                          pixels.show();
                          break;

        case 5001 ... 12000: pixels.fill(rot_satt,0,7);
                          pixels.show();
                          break;
      }

      // Ausgabe der Messwerte auf das OLED-Display
      // Ausgabe: CO2-Wert
      u8x8.setCursor(6,2);
      sprintf(text,"%5d",co2); // sprintf funktioniert NUR mit int-Zahlen
      u8x8.print(text);

      // Phantom-Zeichen löschen
      u8x8.setCursor(11,2);
      u8x8.print(" ppm");
    }
  }
}
```

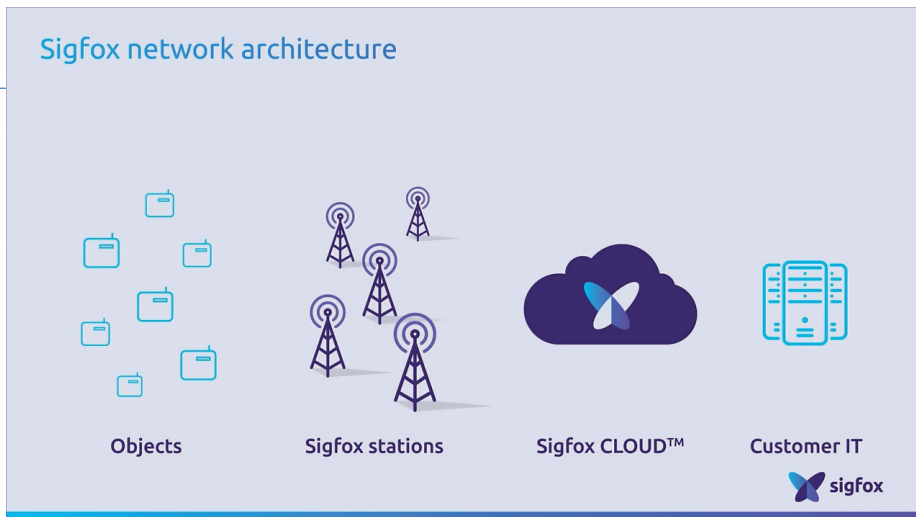


Bild 10. Grundlegende Struktur des Sigfox-Netzwerkes (Quelle: Sigfox).

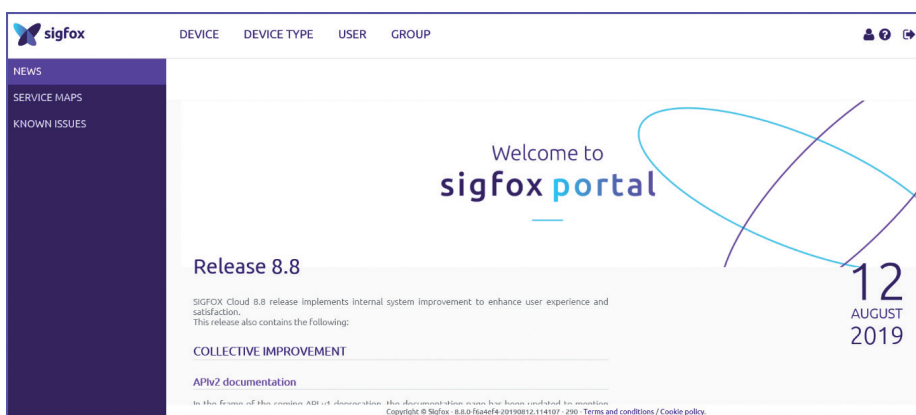


Bild 11. Das Sigfox-Portal (Sigfox-Backend).

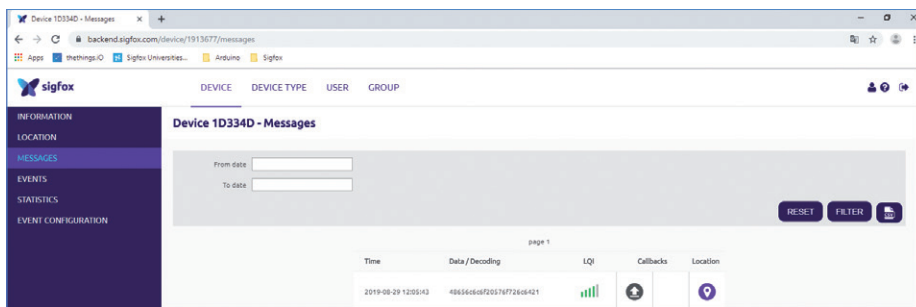


Bild 12. Das Message-Fenster des Geräts.

ihre Telegramme als Broadcast nach dem „Fire-and-forget-Prinzip“ über das lizenzfreie 868-MHz-ISM-Band aus. In jedem Telegramm befindet sich neben einer Identifizierung (Sender-ID) ein Nutzdatenfeld mit einer Größe von maximal 12 Byte, Payload genannt. Das bedeutet, dass der Anwender mit jeder Aussendung maximal 12 Byte Mess-, Zustands- oder andere Daten übermitteln kann. Da das Sigfox-Netzwerk im lizenzfreien ISM-Band arbeitet, sind aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen maximal nur 140 Aussendungen pro Sendestation pro Tag erlaubt. Unser MKR FOX1200-Board

darf also durchschnittlich alle elf Minuten ein Telegramm senden. Diese Aussendungen werden dann je nach Abdeckung von allen umliegenden Sigfox-Basisstationen (*Sigfox Stations*) empfangen. Diese Basisstationen übertragen alle empfangenen Daten via Internet oder GSM-Verbindung in die *Sigfox Cloud*, von der der Anwender seine Daten abholen und in seiner EDV (*Customer IT*) weiter auswerten kann. Die Konfigurationsoberfläche der Benutzeraccounts nennt sich *Sigfox Backend*. Hierin werden die *Sigfox-Objects* (Devices) registriert, Gruppen zugeordnet und die Daten-

weiterleitungen an die *Customer IT* (über sogenannte Callbacks) eingerichtet. Als Erstes müssen mit einem kleinen Arduino-Sketch [3] die Sigfox-Kenndaten *ID* und *PAC* aus dem Sigfox-Gerät ausgelesen werden. Diese beiden Parameter sind für die Anmeldung des Sigfox-Geräts in der Sigfox-Cloud unter [7] erforderlich.

Während des Betriebs hat man weltweiten Zugriff auf die Telegramme. Man meldet sich mit seiner E-Mail-Adresse und dem gewählten Passwort beim Sigfox-Backend [8] an und gelangt so zur Startseite des Sigfox-Portals (Sigfox-Backend) in **Bild 11**. Hier klickt man auf den Reiter *Device*, sodass eine Liste mit den aktiven Sigfox-Devices erscheint. Klickt man dann auf das *Id*-Feld eines Geräts, so gelangt man auf die Informationsseite zu diesem Device.

Hier klickt man jetzt auf der linken Seite auf *MESSAGES* und landet in dem Fenster, in dem alle Telegramme aufgeführt sind, die das Sigfox-Backend von diesem Gerät empfangen hat (**Bild 12**).

## Das Anlegen des Callbacks im Sigfox-Backend

Die Rohdaten sind freilich nicht besonders aussagekräftig. Sobald der MKR FOX1200 Daten an das Sigfox-Backend sendet, wollen wir diese deshalb automatisiert an das Dashboard-Programm *thinger.io* leiten. Hierzu bietet das Sigfox-Backend so genannte *Callbacks* an.

Ein solcher Callback ist nun nichts anderes als eine automatische Weiterleitung zum gewünschten Empfänger, der immer unmittelbar dann ausgeführt wird, wenn das Sigfox-Backend Daten von einem Sigfox-Gerät, also zum Beispiel von unserem MKR FOX1200 empfangen hat.

Das Anlegen und Konfigurieren eines Callbacks wurde im dritten Teil der Artikelserie [5] ausführlich behandelt, so dass wir uns an dieser Stelle kurz und bündig halten können. Zum Anlegen eines Callbacks klickt man auf der Hauptseite des Sigfox-Backends auf den Reiter *Device Type* und in der dann erscheinenden Liste (mit nur einem Eintrag) auf den Namen des Device-Typs, in unserem Fall *Arduino\_DevKit\_1* (**Bild 13**). In der Übersichtsseite zum *Device Type* klickt man in der Liste auf der linken Seite auf *Callbacks* (**Bild 14**) und in diesem Fenster rechts oben auf den kleinen Button *New*. Es erscheint eine





```
// Ausgabe des Temperatur-Wertes = float-Zahl
oled_float(6,4,temperatur-temp_cor,1);

// Ausgabe des Feuchte-Wertes = float-Zahl
oled_float(6,6,luftfeuchte,1);

// Wartezeiten für Messwerterfassung und Aussendung des Sigfox-Telegramms
delay(w_zeit * 60000);           // (w_zeit * 1 Minute) warten zwischen den einzelnen Messungen
min_zae = min_zae + w_zeit;     // Minuten zählen bis zur nächsten Sigfox-Aussendung
if (min_zae == SF_zyk)         // Nun: Sigfox-Telegramm senden
{
    SF_send_data();
    min_zae = 0;                // Zähler zurück setzen
} } } }

/**/ Daten via Sigfox aussenden ***/

void SF_send_data(void)
{
    Serial.print(„Sigfox - Start ... \n“);

    // Messwerte in die Datenstruktur-Variablen schreiben
    SF_Ampel.CO2    = co2;
    SF_Ampel.Temp  = temperatur;
    SF_Ampel.Feucht = luftfeuchte;

    // Bei Bedarf: Kontrollausgaben
    /* Serial.println();
    Serial.print(„CO2:    „); Serial.println(SF_Ampel.CO2);
    Serial.print(„Temp:   „); Serial.println(SF_Ampel.Temp);
    Serial.print(„Feucht: „); Serial.println(SF_Ampel.Feucht);
    Serial.println();
    */

    // Sigfox-Modem aktivieren und Fehler abfragen
    if (!SigFox.begin())      // Initialisierung des Modems
    {
        Serial.println(„Sigfox-Modem nicht gefunden! - Weiter mit RESET!“);
        while (1); // Endlosschleife
    }
    else
    {
        Serial.println(„Sigfox-Modem Initialisierung OK !“);
    }

    // Debug-LED aktivieren und Energiesprmodi deaktivieren
    SigFox.debug();

    // Löscht alle anstehende Interrupts
    SigFox.status();

    // Payload via Sigfox aussenden
    SigFox.beginPacket();     // Vorbereitung, ein Packet zu senden

    // Strukturvariable an das Sigfox-Backend senden
    SigFox.write((char*)&SF_Ampel, sizeof(SF_Ampel));

    // Fehlerprüfung: Wenn endPacket() eine '1' zurück liefert: Fehler
    SF_error = SigFox.endPacket();
    if(SF_error > 0)
    {
        Serial.println(„Sigfox-Fehler !!“);
    }

    // Sigfox beenden
    SigFox.end();

    Serial.println(„Sigfox - Ende .... !\n“);
}
}
```

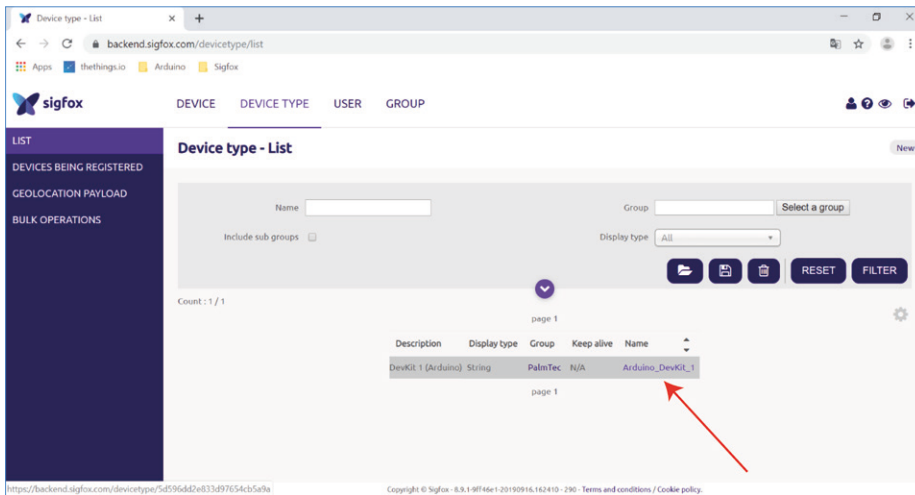


Bild 13. Die Auswahl des gewünschten Device Type.

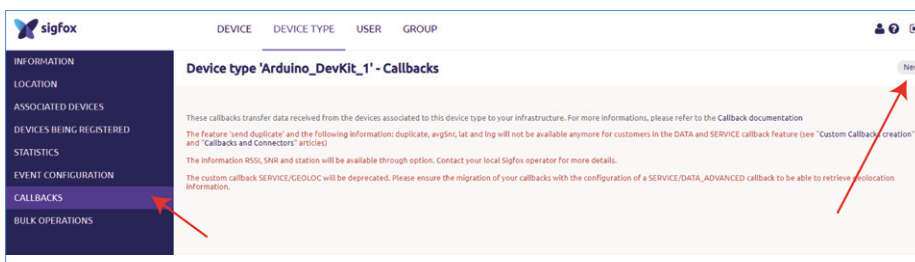


Bild 14. Das Callback-Fenster.

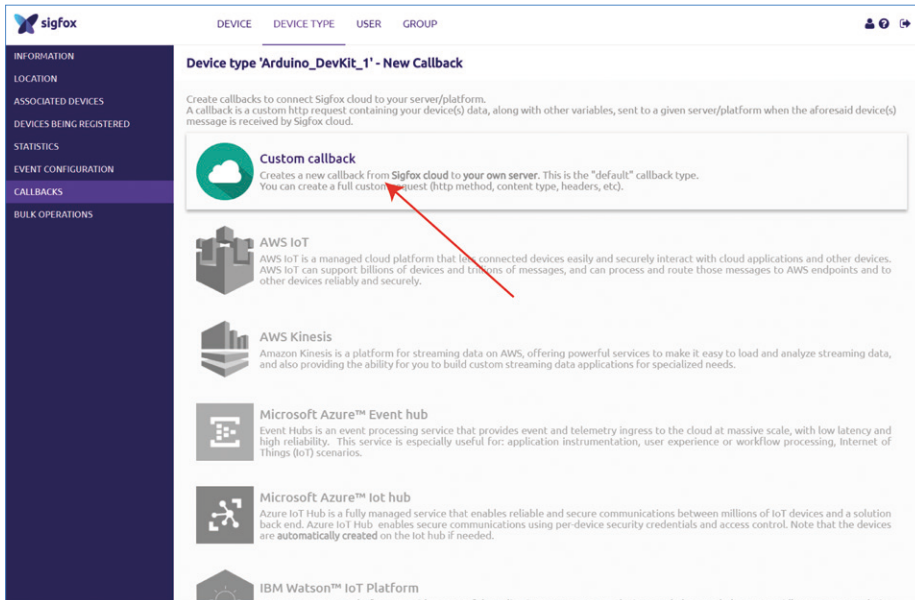


Bild 15. Die große Auswahl möglicher Callback-Arten.

Liste mit allen möglichen Arten von Callbacks für die am weitesten verbreiteten Arten von Dashboard-/Cloud-Programmen (Bild 15). Hier wählt man dann *Custom Callback*. Im nun erscheinenden Fenster (Bild 16) wird der Callback für das Senden der Daten vom Sigfox-Backend zu *thinger.io* passend

konfiguriert. Mit diesem Callback sendet das Sigfox-Backend immer und unmittelbar sofort nach dem Empfang eines Telegramms von der CO<sub>2</sub>-Ampel die Variablen *Device-ID*, *TeLegr-Nr*, *CO<sub>2</sub>*, *Temp* und *Feucht* mit ihren Werten an das Dashboard-Programm.

## Die Dashboard-Plattform *thinger.io*

Bei *thinger.io* handelt es sich um eine Open-Source-IoT-Visualisierungsplattform, mit der man schnell und einfach übersichtliche und anschauliche Visualisierungen von Daten erstellen kann. Sie ist für kleinere Projekte sogar kostenfrei nutzbar. Die Visualisierung der Werte erfolgt auf sogenannten *Dashboards*, die auch öffentlich für Webbrowser verfügbar gemacht werden können. Für die Entwicklung eines individuellen Dashboards sind nur wenige einfache Schritte notwendig:

- Anlegen eines kostenfreien Benutzerkontos (*Account*) bei *thinger.io*.
- Erstellen eines Datencontainers (*Data Bucket*) bei *thinger.io* zur Aufnahme der von der Sigfox-Cloud gesendeten Messwerte.
- Festlegung des Zugriffspunktes (*Token*) für die Sigfox-Cloud und Erstellung einer Empfangsauthentifizierung (*Access Token*) bei *thinger.io*, mit der die Sigfox-Cloud die Genehmigung zur Übertragung von Daten an *thinger.io* erhält.
- Konfigurierung eines Callbacks in der Sigfox-Cloud zur Übertragung der Daten von der Sigfox-Cloud an den *Data Bucket* in *thinger.io* via Internet.
- Entwurf eines „schönen“ Dashboards auf der *thinger.io*-Seite zur Visualisierung der Daten.

Auch hier verweisen wir für eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Schritte auf [5] [6]. Nach der Erstellung eines kostenfreien Accounts bei *thinger.io* [9] loggt man sich ein und gelangt zum Hauptbildschirm, der Ausgangspunkt für alle weiteren Aktionen ist (Bild 17).

Um ein Dashboard anzulegen, klickt man nun links auf den Punkt *Dashboards* und im dann erscheinenden Fenster auf den Button *Add Dashboard*. Zum individuellen Entwurf eines Dashboards stehen eine Vielzahl frei parametrierbarer Widgets (Komponenten einer Benutzeroberfläche) zur Verfügung, zum Beispiel Zeit-Verlaufs-Diagramme, Donut-Diagramme, Balkenanzeigen, Analoganzeigen, Google Maps für Positionsdaten, Bilder, Textanzeigen, LEDs und eine Uhr. Wie ein mit *thinger.io* gestaltetes Dashboard für unsere CO<sub>2</sub>-Ampel aussehen könnte, zeigt Bild 18. Die Messwerte werden in Form von

Zeitverlaufsdiagrammen und als Zahlenwertanzeigen dargestellt. Zusätzlich können noch die Uhrzeit, die Telegrammnummer und weitere Erläuterungstexte dargestellt werden. Eine weltweite Veröffentlichung des Dashboards ist mit einigen Mausklicks möglich, so dass jedermann, der den Link bekommt, lesend auf dieses Dashboard zugreifen und sich die aktuellen Werte ansehen kann. ◀

200650-02

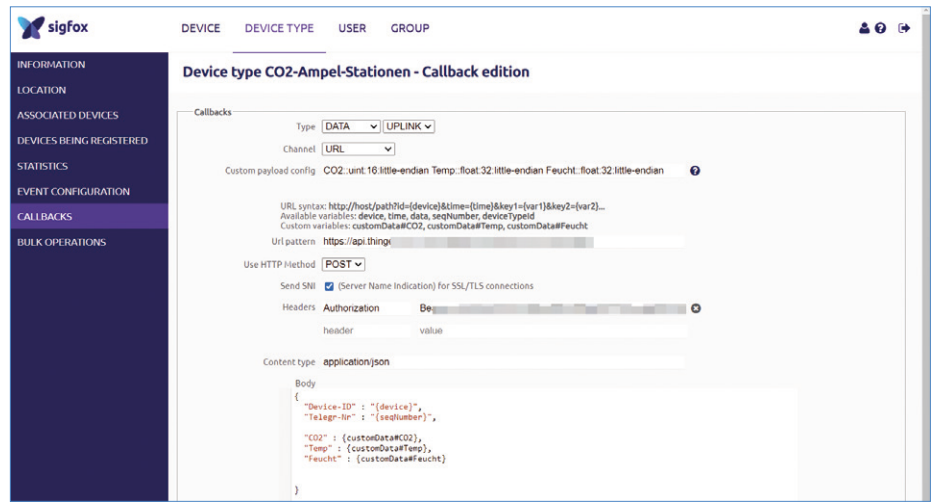


Bild 16. Entsprechende Konfiguration des Callbacks.

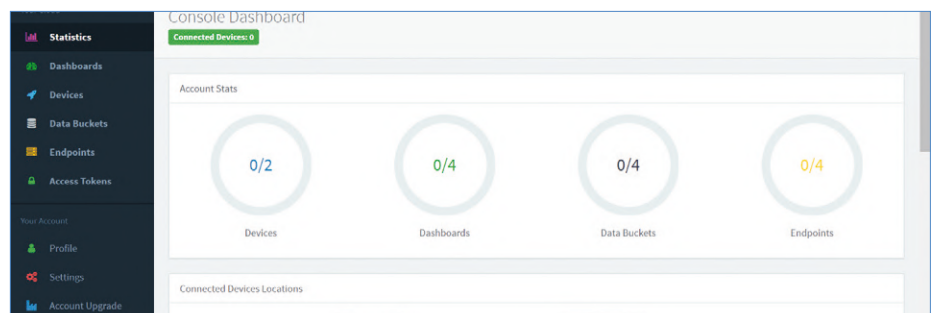


Bild 17. Der Hauptbildschirm des Accounts (Statistics).



## PASSENDE PRODUKTE

- Arduino MKR FOX 1200 (SKU 19096) [www.elektor.de/19096](http://www.elektor.de/19096)
- Arduino Uno Rev3 (SKU 15877) [www.elektor.de/15877](http://www.elektor.de/15877)
- Seeed Studio Grove SCD30 CO2, Temperatur- und Feuchtesensor für Arduino (SKU 20012) [www.elektor.de/20012](http://www.elektor.de/20012)
- Bernd vom Berg, Frank Schleking: Das Sigfox-Praxisbuch (SKU 19543) [www.elektor.de/19543](http://www.elektor.de/19543)

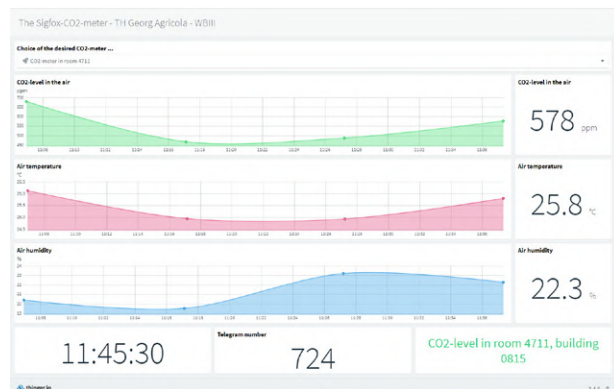
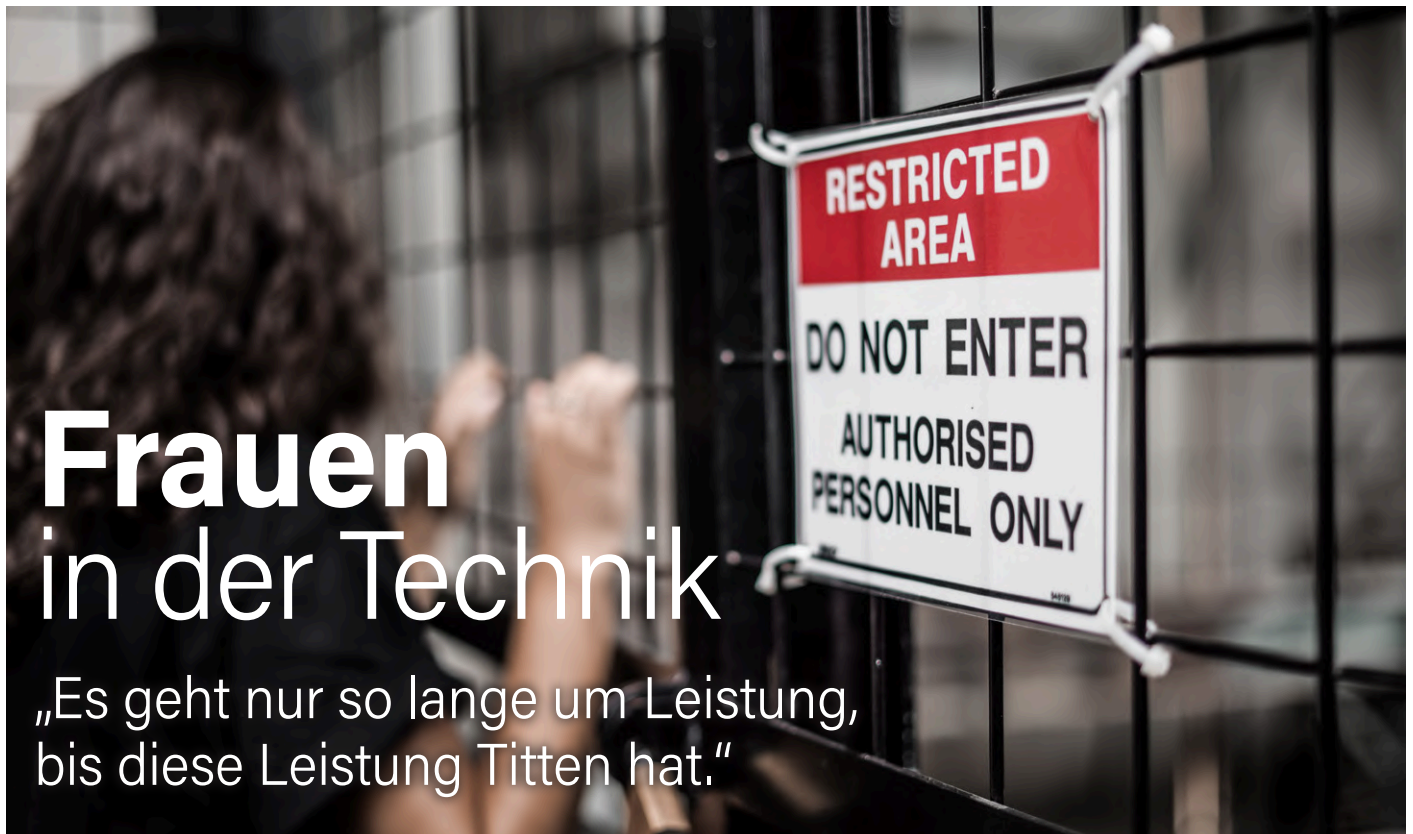


Bild 18. Das Dashboard für die CO<sub>2</sub>-Ampel.

## WEBLINKS

- [1] CO<sub>2</sub>-Sensor SCD30: <https://bit.ly/34XbL5o>
- [2] 1,3"-OLED-Display: <https://bit.ly/3fEP7AX>
- [3] Elektor-Projektseite: [www.elektormagazine.de/200650-02](http://www.elektormagazine.de/200650-02)
- [4] Informationen zu NeoPixel-LED-Displays: <https://bit.ly/3qf1Y2k>
- [5] Frank Schleking, Bernd vom Berg, „Mit dem Fuchs in IoT (1)“, ElektorMag 11-12/2019 (Teil 2 bis 4 in den folgenden Ausgaben): [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-113/56794](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-113/56794)
- [6] Bernd vom Berg, Frank Schleking, „Das Sigfox-Praxisbuch – Step by Step ins Internet of Things“, Elektor Verlag GmbH, 2020: [www.elektor.de/19543](http://www.elektor.de/19543)
- [7] Konto bei Sigfox anlegen: <https://buy.sigfox.com/activate/devkit/DE>
- [8] Login ins Sigfox-Backend: <https://backend.sigfox.com/auth/login>
- [9] IoT-Visualisierungsplattform thinger.io: [www.thinger.io](http://www.thinger.io)



# Frauen in der Technik

„Es geht nur so lange um Leistung,  
bis diese Leistung Titten hat.“

Von Priscilla Haring-Kuipers (Niederlande)

Wenn Sie sich fragen, warum es noch einen weiteren Artikel zu Frauen in der Technik braucht, dann deshalb, weil Sie, lieber Leser, höchstwahrscheinlich männlich sind.

## Vorurteile in Hülle und Fülle

Gesellschaftliche Erwartungen, die auf geschlechtsspezifischen Rollen beruhen, beginnen schon früh. Kleidung für Kleinkinder gibt es hauptsächlich in Rosa für Mädchen und mit Astronauten für Jungen. In Mädchenbüchern stehen etwa langhaarige Prinzessinnen im Mittelpunkt, die in einem Turm auf ihre Rettung warten, während die Hauptfiguren in Büchern für Jungen eher Schokoladentechniker sind, die in Aufzügen davonfliegen. Tausende solcher Kleinigkeiten werden zu systemischen Barrieren aufgebaut, die die Wahrscheinlichkeit verringern, dass ein beliebiger Mensch, der zufällig als Frau geboren wurde, (Elektronik-) Ingenieurin wird. Seit Jahren wird in der Bildungspolitik versucht, die geringe Zahl von Mädchen, die sich in der weiterführenden Ausbildung für mathematische, ingenieurwissenschaftliche, naturwissenschaftliche und technische, also MINT-Fächer entscheiden, zu erhöhen. Mit solchen Maßnahmen zur Förderung von Mädchen in MINT-Fächern wird versucht, gegen Vorurteile anzukämpfen, die sich in unserer Kultur fest etabliert haben. Mein Mathelehrer am Gymnasium sagte der Klasse schlicht, dass er seine Zeit nicht damit verbringen würde, meine Fragen zu beantworten, da „Mädchen es sowieso nicht verstehen“. Ich habe Mathe abgewählt. Zwanzig Jahre später führe ich statistische Datenanalysen durch, um Wirkungsforschung zu begründen, aber der Weg dorthin war kein gerader.

Die Gleichberechtigung der Geschlechter schreitet nur langsam voran; sowohl in den USA als auch in Großbritannien liegt der Anteil der Ingenieurinnen nur bei etwa 13 % [1]. Sollten Sie - wider Erwarten - als Ingenieurin arbeiten, sind Sie höchstwahrscheinlich im Vergleich zu Ihren männlichen Kollegen unterbezahlt, unterbewertet und unausgelastet, Leistung hin oder her. Ihr Arbeitsumfeld kann von unweiblich bis unsicher reichen, und dennoch wird man Ihnen wahrscheinlich sagen, dass Sie sich „einfügen“ sollen oder „wie eine Königin denken“, die über den Dingen steht. Damit wird von einer bereits benachteiligten Person verlangt, reale Probleme zu überwinden, die sie weder verursacht hat noch kontrollieren kann, indem sie ihre Einstellung verbessert. Es ist nicht verwunderlich, dass viele Frauen den Bereich der Ingenieurwissenschaften verlassen.

## Frauenquote

Deshalb brauchen wir eine Quotenregelung für die Einstellung von fähigen Ingenieurinnen. Wir hatten nicht alle einen gleichberechtigten Start in die MINT-Fächer, und wir werden im Ingenieurwesen nicht allein nach unseren Leistungen beurteilt. Ja, es gibt biologische Unterschiede zwischen Männern und Frauen, aber diese bewirken nicht, dass Männer mathematisch begabt sind oder Frauen eine Vorliebe für das Backen haben. Neurologisch gesehen gibt es keinen Grund für die geringe Anzahl von Frauen in

## Weibliche Fabrik

Es gibt viele Frauen, die an der Herstellung von Elektronik beteiligt sind, aber nicht als Ingenieurinnen. Sie sind die Arbeitskräfte in der Fabrikhalle. In den Montagebetrieben, mit denen wir in Shenzhen und in den Niederlanden zusammenarbeiten, sind die Hände an unseren Platinen überwiegend weiblich. Etwa 70 % der Mitarbeiter, die die Platinen von Maschine zu Maschine tragen, bedrahtete Bauteile verlöten, Sichtkontrollen und Funktionstests durchführen, sind Frauen. Es sind in China meist junge Frauen und wahrscheinlich Wanderarbeiterinnen und in den Niederlanden meist Frauen mittleren Alters. In einem sehr praktischen Sinne stellen Frauen unsere Elektronik her.

Foto: Österreichische Nationalbibliothek auf Unsplash



der Technik. Die Vorurteile, die diese Situation verursachen, sind erlernt, und das bedeutet, dass wir sie wieder verlernen können. Das Gleiche gilt für jede andere in der Technik unterrepräsentierte Gruppe von Menschen.

Ein sehr wichtiger Teil der Ausbildung einer Weltanschauung ist die „Normalisierung“. Das bedeutet, dass man alles, was man erfährt, für normal hält. Aus diesem Grund sind Repräsentation und Rollenbilder so wichtig. Versuchen Sie also, sich selbst eine Frauenquote zu geben, wann auch immer Sie sich in Ihrem speziellen Bereich der Technik betätigen. Bemühen Sie sich darum, vielleicht ein Drittel Ihres „Inputs“ von weiblichen Ingenieuren zu erhalten. Für diesen Artikel erhalten Sie allerdings nur die Hälfte der Punkte, da ich zwar eine „Frau in der Technik“, aber keine Ingenieurin bin. Versuchen Sie, Ihren Social-Media-Account mit mehr Frauen aufzufüllen. Und wenn Sie interessante weibliche Stimmen finden, teilen Sie diese. Um Sie auf Ihrem Weg zur Normalisierung von Frauen in der Technik zu unterstützen, möchte ich Ihnen drei meiner Lieblingsfrauen vorstellen:

► **Jeri Ellsworth:** Vielseitige Erfinderin, erstaunliche Programmiererin und Elektroingenieurin. Leitete das Forschungs- und Entwicklungsteam bei Valve und war kürzlich mit der Entwicklung von *Tilt Five* beschäftigt. Dabei handelt es sich um ein AR-Brettspielsystem, bei dem die Spieler eine Brille mit winzigen Projektoren tragen, die Hologramme auf einer reflektierenden Spielfläche erscheinen lassen. Nach vier Jahren ist das System jetzt in Produktion und steht kurz vor dem Durchbruch auf dem Gaming-Markt.  
[www.jeriellsworth.com](http://www.jeriellsworth.com)

► **Naomi Wu (Sexy Cyborg):** Eine Technikkritikerin und Makerin für alles in Shenzhen. Sie gibt Ihnen einen offenen Einblick in die Geburtsstätte der meisten Elektronik. Sie arbeitete bei Creality am Printmill Belt 3D-Drucker und entwarf den Blinkini. Sie hat einmal ein Unternehmen dazu gebracht, die Lizenzierung seines Programms aufrechtzuerhalten, indem sie einfach in dessen Büros eindrang, wies auf die Unsicherheit technischer Gesichtsmasken hin und vertritt

ihre Meinung so laut, dass die Leute auch in der hintersten Reihe sie hören können. Der Spruch im Untertitel ist von ihr.  
[www.youtube.com/c/SexyCyborg](https://www.youtube.com/c/SexyCyborg)

► **Flavia Ferreira (Young Padawan):** In unserem Haus gibt es eine Gruppe von Frauen, die als „Lötdamen“ bekannt sind und die in der Welt der Audio-Hardware die fantastischsten Montagearbeiten und Reparaturen durchführen. Flavia ist eine von ihnen. Wenn Ihre Schaltungen gebaut werden, die Klang erzeugen, dann sind es Flavias Hände, die Sie daran arbeiten lassen möchten. Sie postet auch Löt-Tipps, Interviews bei *Let's Talk Nerd* und macht Musik. Die Kraft dieser Person ist definitiv stark!  
[www.instagram.com/imyounpadawan](https://www.instagram.com/imyounpadawan)

Kennen Sie auch tolle „Women in Tech“? Bitte teilen Sie uns mit, welchen wir folgen sollen! ◀

220200-02

## WORLD ETHICAL ELECTRONICS FORUM™

### World Ethical Electronics Forum 2022

Im November 2021 startete Elektor das World Ethical Electronics Forum (WEEF) in München. Die Veranstaltung inspirierte globale Innovatoren der Elektronikbranche mit einer offenen Diskussion über Ethik und nachhaltige Entwicklungsziele (SDGs). Neben Elektor-Ingenieuren und -Redakteuren gehörten Dr. Stefan Heinemann (Professor für Wirtschaftsethik an der FOM Hochschule), Dr. Paula Palade (PhD, Jaguar Land Rover), Margot Cooijmans (Direktorin, Philips Foundation) und mehrere andere Vordenker zu den Rednern und Diskussionsteilnehmern, darunter auch Priscilla Haring-Kuipers. Besuchen Sie die WEEF-Webseite (<https://www.elektormagazine.com/weef>), um sich über die Pläne von Elektor für das WEEF 2022, das im November dieses Jahres stattfinden wird, zu informieren.

## WEBLINK

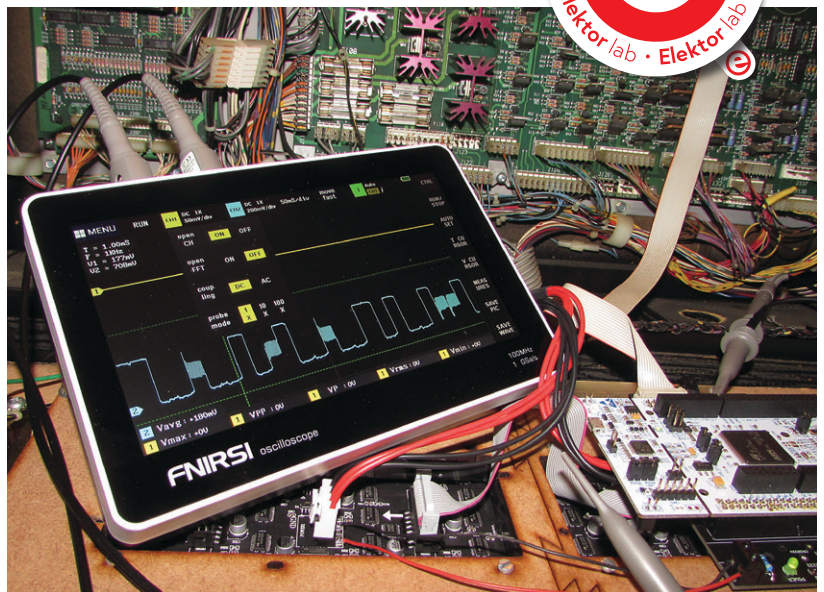
[1] Wikipedia, „Women in Engineering“: [https://en.wikipedia.org/wiki/Women\\_in\\_engineering](https://en.wikipedia.org/wiki/Women_in_engineering)

# Low-Budget Tablet-Oszilloskop ADS1013D

## Gutes Preis-/Leistungsverhältnis?

Von Luc Lemmens (Elektor)

Die Zeiten, in denen ein 100-MHz-Oszilloskop ein Vermögen kostete, sind längst vorbei. Aber für nur 150 €? Ist das nicht zu billig, um wahr zu sein? Die meisten Anbieter bewerben das ADS1013D als „Tablet-Oszilloskop, 2 Kanäle, 100 MHz Bandbreite und 1 Gigasamples/Sekunde“. Schauen wir mal, ob man wirklich das bekommt, was die Werbung verspricht!



Wenn man es wie ich gewohnt ist, mit teureren Oszilloskopen von renommierten Herstellern zu arbeiten, ist es sehr schwierig, sich einem Gerät aus dem unteren Marktsegment ohne Vorurteile zu nähern. Das Gerät, das ich hier bespreche, sieht zwar gut aus, aber fühlt sich, bei allem Respekt, billig an. Man weiß fast schon im Voraus, dass es von den Spezifikationen her nicht mit Geräten mithalten kann, die ein Vielfaches des ADS1013D kosten. Wenn Sie sehr genaue Messungen durchführen wollen, sollten Sie lieber sparen und sich ein wirklich gutes Oszilloskop zulegen. Aber wie bei so vielen Geräten und Werkzeugen muss nicht alles vom Feinsten sein, um trotzdem nützlich zu sein. Seien wir mal ehrlich: Wie oft brauchen wir wirklich ein hochpräzises Oszilloskop? Natürlich hängt das stark von der Art der

Arbeit ab, die man verrichtet. Beim Testen von Prototypen und bei der Reparatur elektronischer Geräte beispielsweise sind Genauigkeit und Präzision eigentlich nicht so wichtig: Ein kurzer Blick darauf, ob das zu prüfende Signal ungefähr den richtigen Pegel oder die richtige Wellenform hat, genügt. Wenn es das ist, was Sie brauchen, kann dieses preisgünstige Gerät gut genug für Ihre Messungen sein. Warum also mehr Geld ausgeben als nötig? Der ursprüngliche Plan für diesen Test war, ein ADS1013D

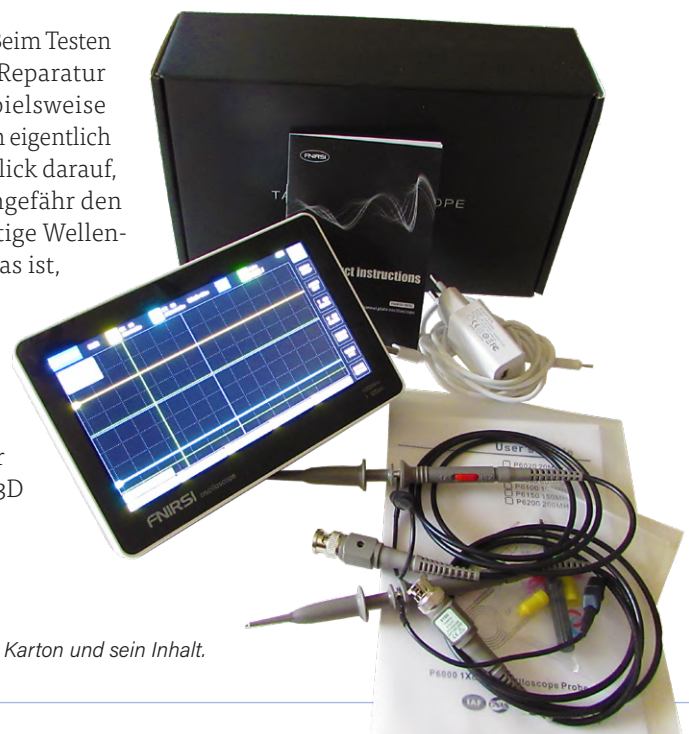


Bild 1. Der Karton und sein Inhalt.

### Spezifikationen

- › Analoge Bandbreite: 100 MHz
- › Anzahl der Kanäle: 2
- › Maximale Abtastrate in Echtzeit: 1 GSamples/s
- › Vertikale Empfindlichkeit: 50 mV/Div bis 500 V/Div
- › Horizontaler Zeitbasisbereich: 50 s/div bis 10 ns/div
- › Maximale Prüfspannung: 40 V (1x-Tastkopf), 400 V (10x-Tastkopf)
- › Speichertiefe: 240 Kbit
- › Eingangswiderstand: 1 M $\Omega$
- › ADC-Auflösung: 8 Bit
- › Kopplungsmodus: AC/DC
- › Triggermodi: Single, Normal, Auto
- › Triggerflanke: steigende/fallende Flanke
- › Externe Triggerspannung: 0...40 V
- › Anzeige: 7" TFT mit 800x480 Pixel
- › Bedienung: kapazitiver Touchscreen und Gestensteuerung
- › Erweiterungsanschlüsse: Bildexport über USB
- › Stromversorgung: 1 Lithium-Akku, 6000 mAh
- › Artikelgröße: 184 mm x 124 mm x 50 mm
- › Gewicht mit Verpackung: 700 g

des Anbieters *Daniu* zu testen, aber als ich auf der Suche nach einem Gerät war, das ich kurzfristig zu einem akzeptablen Preis bekommen konnte, stieß ich auf den Anbieter *FNIRSI*, der genau das gleiche Oszilloskop mit sogar der gleichen Typennummer verkauft. Offenbar wird es auch von *KKmoon* und *Yeapook* angeboten und es würde mich nicht wundern, wenn es auch unter weiteren Markennamen erhältlich ist. Zu diesem typisch chinesischen Geschäftsgebaren – das Produkt eines unbekanntem Herstellers wird unter einer Vielzahl von Markennamen auf den Markt gebracht – kommt, dass es das ADS1013D auch in vielen Online-Shops zu kaufen gibt. Bei Preisen von unter hundert bis über 300 € lohnt es sich sicherlich, vor dem Kauf gut zu suchen. Die meisten Verkäufer bewerben das ADS1013D als „Tablet oscilloscope, 2-channels, 100 MHz bandwidth and 1 Giga-samples/second“. Können wir diesen Versprechungen trauen?

### Was ist im Karton?

Mein ADS1013D von *FNIRSI* ist in einem stabilen Karton mit schützendem Schaumstoff verpackt und enthält das Oszilloskop, ein 2-A-USB-Ladegerät mit einem 1,5 m langen USB-C-Kabel, zwei 100-MHz-Tastköpfe und ein kleines Handbuch (**Bild 1**), Sie wissen schon, dass Heftchen, in das Sie sowieso keinen Blick werfen werden. Dabei machen Sie nichts falsch, denn das Kleingedruckte mit den vagen Abbildungen und dem sehr gedrängten Layout ist der Beachtung nicht wert. Ich würde statt dessen die farbenprächtige Online-Dokumentation verwenden [1].

Das Oszilloskop wird mit einem gewöhnlichen kleinen 5-V-USB-Steckernetzteil geladen, schnelles USB-Typ-C-Laden ist bei diesem Gerät nicht möglich. Mit einem voll aufgeladenen Akku arbeitet das Oszilloskop etwa vier Stunden lang, gar nicht so schlecht!

In der Schachtel befinden sich auch zwei umschaltbare 100-MHz-Tastköpfe namens P6100 (1:1/1:10), keine hochwertigen Ausführungen, aber sie erfüllen ihren

Zweck. Die Haken der Tastköpfe hätten allerdings etwas kleiner ausfallen dürfen. Und dann, natürlich, das Wichtigste, das Oszilloskop.

### Das Oszilloskop ADS1013D

Wie ich bereits sagte, sollten Sie kein Oszilloskop in dieser Preisklasse kaufen, wenn Sie hochpräzise Messgeräte durchführen wollen, und ich möchte die angegebenen Spezifikationen dieses Oszilloskops nicht einmal testen oder überprüfen (siehe **Textkasten** oben). Andere Testberichte im Internet (zum Beispiel [2]) zeigen aber, dass die Angaben – milde ausgedrückt – sehr optimistisch sind, und weisen etwa darauf hin, dass die 8-Bit-A/D-Wandler AD9288 am Eingang jedes Kanals keineswegs schnell genug für eine Echtzeitabtastung mit 1 GS/s sind. Wichtiger noch: Die für beide Eingänge angegebene Bandbreite von 100 MHz ist ebenfalls unrealistisch, die tatsächliche Bandbreite dürfte bei etwa 20 MHz liegen [2]. Eine maximale Empfindlichkeit von 50 mV/Div für die Eingänge ist ein wenig enttäuschend, und eine maximale Zeitbasiseinstellung von 50 s/Div wird kaum jemals von praktischem Nutzen sein.

Aber anstatt sich darüber zu beschweren, was dieses Oszilloskop nicht kann, sollten wir uns einmal ansehen, was es zu bieten hat. Zunächst einmal einen 7-Zoll-Touchscreen, ein helles Farb-LCD mit 800 x 480 Pixel mit einem guten Betrachtungswinkel, da gibt es nichts zu meckern.

Dank dieses Touchscreens werden keine Knöpfe, Tasten oder Schalter benötigt, um das Gerät zu bedienen, mit Ausnahme des guten alten ON/OFF-Schalters. Das Gute an diesem Schalter ist, dass über ihn das Oszilloskop mit Strom versorgt wird, ohne dass ein automatischer Abschalttimer das Gerät während der Messungen ausschalten würde. Das Schlechte ist, dass wenn Sie vergessen, es ohne angeschlossenes Ladegerät auszuschalten, die Batterie wahrscheinlich leer ist, wenn Sie es das nächste Mal benutzen wollen.

Der Netzschalter befindet sich an der Oberseite des Oszilloskops (**Bild 2**), ebenso wie die beiden BNC-Anschlüsse für die Tastköpfe, ein 1-kHz-Rechteck-Ausgang für die Kalibrierung der Tastköpfe, eine rote Stromanzeige-LED sowie eine grüne LED, die anzeigt, dass der Akku vollständig geladen ist, und schließlich die USB-C-Buchse zum Anschluss des Ladegeräts oder des Datenverbindungskabels zum Computer. An der Rückseite des Gehäuses befindet sich ein klappbarer Kippständer.

### Arbeiten mit dem ADS1013D

Eine sehr gute Sache an diesem Oszilloskop ist, dass es sehr einfach zu bedienen ist. Oben und an der rechten Seite des Bildschirms befinden sich (Menü-)Tasten, die Sie antippen können, um Menüs zu öffnen, Funktionen auszulösen oder Einstellungen umzuschalten. Wenn Sie zum Beispiel auf die gelbe *CH1*-Taste tippen, öffnet sich das Menü für die Einstel-



Bild 2. Netzschalter, zwei Eingangsbuchsen, ein Prüfausgang, USB-C-Buchse und LEDs.

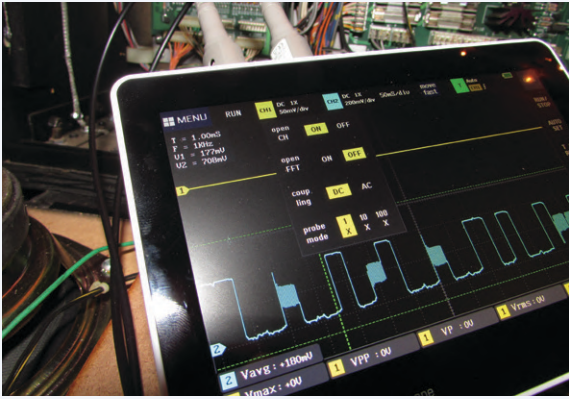


Bild 3. Menü für die Einstellungen von Eingangskanal 1.

lungen von Kanal 1 (Bild 3), und mit der CTRL-Taste in der rechten oberen Ecke können Sie die Eingangsabschwächer der beiden Kanäle einstellen (Bild 4). Es gibt keine verschachtelten Menüs, so dass die Bedienung des Oszilloskops auch bei nur gelegentlicher Nutzung schnell zu erfassen ist. Halt, das stimmt nicht ganz: Die System settings im Hauptmenü (so nenne ich das Menü oben links) haben zwar ein Untermenü, aber dieses enthält keine Optionen und Funktionen für den normalen Oszilloskopbetrieb. Dummerweise hatte ich zunächst Schwierigkeiten, herauszufinden, wie man die Zeitbasis manuell einstellt, dann aber entdeckte ich, dass dies durch Tippen auf die linke (erhöhen) oder die rechte (verringern) Seite der Wellenform-Anzeige ist. Meiner Meinung nach ist das nicht der einfachste Weg, aber es funktioniert gut, wenn man weiß, wie es geht. Die meisten Bedienelemente sind selbsterklärend und besitzen die gleichen Namen und Funktionen wie bei anderen Oszillos-

kopen. Es gibt jedoch zwei Schaltflächen in der unteren rechten Ecke des LC-Displays, die zunächst nicht klar waren: Save Pic und Save Wave. Die erste Schaltfläche speichert einen Snapshot des gesamten Bildschirminhalts, die zweite speichert nur die Wellenform. Im Gegensatz zu einem statischen Bild kann eine Wellenform wie ein normales Eingangssignal behandelt werden, das bedeutet, dass die Zeitbasis nach dem Speichern noch angepasst, die Abschwächungseinstellungen geändert, Messungen durchgeführt werden können und so weiter. Sowohl Bilder als auch Wellenformen können auf dem Display abgerufen werden, indem man die entsprechenden Punkte im Hauptmenü in der oberen linken Ecke antippt. Es gibt einige Elemente, die durch Wischen über den Bildschirm gesteuert werden, wie die vertikale Position der Wellenformen, die Triggerposition und den Messcursor. Allerdings ist es manchmal unklar, was genau sich bewegt, wenn Sie über den



Bild 4. Einstellungen der Abschwächung.

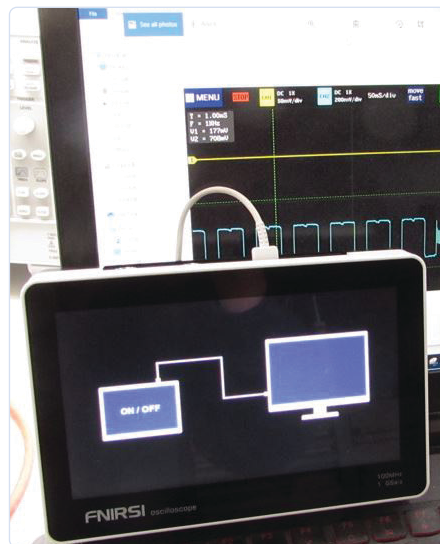


Bild 5. Das ADS1013D über USB am Computer angeschlossen.

Bildschirm Wischen. Am oberen Rand des Bildschirms befindet sich eine Toggle-Taste mit der Bezeichnung „move slow/move fast“, mit der die Empfindlichkeit des Wischens gesteuert wird. Die letztere Einstellung ermöglicht eine präzisere Einstellung von Wellenformen und Cursors. Es ist aber nicht möglich, mit zwei Fingern auf dem Touchscreen zu zoomen, wie es bei anderen Touchscreen-Geräten wie einem Tablet oder Smartphone der Fall ist.

Der ADS1013D kann auf beiden Kanälen Fast-Fourier-Transformationen durchführen, aber – wie bei den meisten anderen erschwinglichen digitalen Oszilloskopen – sind die resultierenden Frequenzspektren nicht sehr nützlich. Es kann Lissajous-Figuren anzeigen, wenn der XY-Anzeigemodus eingestellt ist, aber das war es dann auch schon. Es gibt keine mathematischen Funktionen, die mit den Eingangswellenformen durchgeführt werden können, nicht einmal einfache Operationen wie Summen- und/oder Differenzbildung der beiden Eingangssignale.

### Anschluss an einen Computer

Neben dem Aufladen des internen Akkus kann man mit dem USB-C-Kabel auch einen Computer anschließen. Wenn im Hauptmenü die Option USB Connection ausgewählt wird, erscheint das in Bild 5 gezeigte Bild auf dem Display und der ADS1013D wird als USB-Laufwerk auf Ihrem Computer angezeigt. Sie können dann von Ihrem Computer aus auf die im Oszilloskop gespeicherten Bilder zugreifen. Die Schnittstelle dient allerdings nur zur Übertragung von Bildern; im Gegensatz zu vielen anderen digitalen Oszilloskopen kann dieses Gerät nicht über USB gesteuert werden.

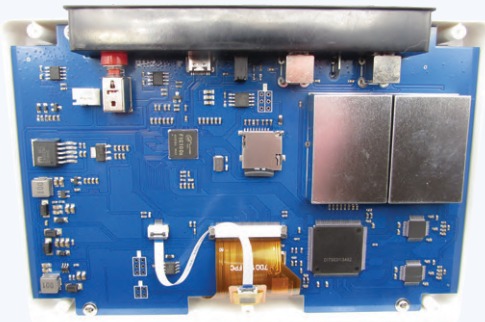
### Kaufen oder nicht kaufen?

Es hängt ganz davon ab, was Sie wollen und was Sie von einem (einfachen) Oszilloskop erwarten. Wenn Sie es für genaue Messungen brauchen, sollten Sie weder dieses Gerät noch ein anderes Oszilloskop dieser Preisklasse kaufen. Aber in vielen Fällen, wenn nur die üblichen Funktionstests bei niedrigeren Frequenzen durchgeführt werden und exakte, genaue Messungen von untergeordneter Bedeutung sind, brauchen Sie keine teuren Geräte zu kaufen und erhalten mit diesem ADS1013D ein Oszilloskop mit einem guten Preis-Leistungs-Verhältnis! ◀

200640-21



## Im Inneren des ADS1013D



Da man nur fünf Kreuzschlitzschrauben ausdrehen muss, um das Gehäuse des ADS1013D zu öffnen, konnte ich der Versuchung nicht widerstehen, einen Blick ins Innere des Oszilloskops zu werfen. Offenbar gab es ein früheres Modell dieses Oszilloskops, das keine Abschirmung um die Eingangsstufen herum besaß, und das wurde bei der mir vorliegen-

den Version verbessert. Soweit ich anhand von Fotos, die ich vom älteren Modell gesehen hatte, erkennen konnte, ist das Layout der Platine weitgehend unverändert. Ich kann nicht sagen, ob die ADCs an den Eingängen noch die gleichen sind, denn die Typennummern sind von den ICs entfernt worden.

## Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schreiben Sie dem Autor eine E-Mail an [luc.lemmens@elektor.com](mailto:luc.lemmens@elektor.com).

## Tablet- oder Tischoszilloskop?

Ich hatte bereits erwähnt, dass das Gerät als Tablet-Oszilloskop bezeichnet wird. Ich denke, wir alle wissen, was ein „Tablet“ ist, oder wir alle haben eine Vorstellung davon, wie es aussehen sollte. Wenn das Gerät nur ein „rechteckiges Gerät mit Touchscreen-Bedienung“ wäre, dann wäre es auch wirklich ein echtes Tablet-Oszilloskop. Auf der Kartonverpackung wird es aber als Tischoszilloskop bezeichnet, und meiner Meinung nach ist dies die passendere Bezeichnung, aber ich nehme an, dass es sich entweder um einen Tippfehler oder eine schlechte Übersetzung handelt. Für mich klingt „Tablet“ nach einer Art portablen Gerät, das zum Beispiel von Servicetechnikern „im Feld“ oder in der Werkstatt eingesetzt werden kann. Das Oszilloskop ADS1013D ist zwar relativ klein, wiegt nur etwa 700 g, hat einen wiederaufladbaren internen Akku und ist in dieser Hinsicht wirklich ein portables Gerät, aber ich würde nicht empfehlen, es zu viel mit sich herumzutragen. Auch wenn das Kunststoffgehäuse robust aussieht und sich auch so anfühlt, glaube ich nicht, dass das Display oder das Gerät selbst einen Sturz überleben würde, und es wird auch keine Tasche mitgeliefert, die es beim Transport schützt. Deshalb würde ich es auf dem Labortisch liegen lassen und es nicht wie ein richtiges Tablet-Oszilloskop benutzen.



## PASSENDE PRODUKTE

- > **OWON SDS1102 2-Kanal-Digital-Oszilloskop (100 MHz) SKU 18782**  
[www.elektor.de/18782](http://www.elektor.de/18782)
- > **Micsig STO1152C Plus 2-Kanal-Oszilloskop (150 MHz) SKU 19372**  
[www.elektor.de/19372](http://www.elektor.de/19372)

## WEBLINKS

- [1] FNIRSI Online-Dokumentation: [www.fnirsi.cn/productinfo/556152.html](http://www.fnirsi.cn/productinfo/556152.html)
- [2] Tablet-Oszilloskop ADS1013D getestet: <https://bit.ly/3Doz6Kv>



**LPN liefert Leiterplatten** aus Deutschland, vom Weltmarkt, aus NATO-Partnerländern oder mit anderen Restriktionen.

**LPN** ist nach ISO 9001:2015 Zertifiziert und das Personal beim FraunhoferInstitut geschult.

**LPN** liefert jedes Basismaterial und jede in Deutschland oder am Weltmarkt verfügbare Technik.

- Multilayer bis 56 Lagen.
- Starrflex, Flex, Semiflex.
- Aluminium, auch Bergquist, Kupferkern, Messingkern, Stahlkern.
- Teflon, auch Rogers.
- Montagehilfen Kaptonband, Abziehlack und Weiteres.

## LPN Qualitätsprüfungen

- 100% Kontrolle
- Kupferstärkenmessung mit Magnetfeld Messgeräten.
- Nachmessen gedruckter Induktivitäten.
- Schlifffilmbildauswertung.
- Lot-Benetzungs-Test.
- Delaminations-Test.
- alle Fertigungsstätten halten ISO 14001 ein.

## LPN Dienstleistungen

- Datenaufbereitung incl. Nutzenaufbau,
- Machbarkeitsprüfung,
- EMPB.
- geklebte Vorlagen digitalisieren.
- Filme digitalisieren.
- Leiterplatten klonen.
- Leiterplatten nachlayouten.
- Terminaufträge.
- Abruflager für Jahreslose.

Profitieren Sie von den LPN Qualitätsstandards und den weltweiten Kontakten.

## LPN Leiterplatten Nord GmbH

Hermann-Bössow-Straße 13-15  
23843 Bad Oldesloe  
[leiterplatten-nord.de](http://leiterplatten-nord.de)

## Anfragen/Bestellungen:

[lpn@lp-nord.de](mailto:lpn@lp-nord.de)  
Telefon 04531 1708 0

# Aufgeschraubt und reingeschaut: Wireless Smart Plugs

## Smarte Funksteckdosen mit ESP8266 & Co.

Von Mathias Claußen (Elektor)

Für weniger als 15 € kann man heute sogenannte „Smart Plugs“ beziehungsweise WLAN-Steckdosen kaufen. Lampen und andere Verbraucher lassen sich so aus der Ferne steuern (und sogar der Verbrauch erfassen).

Für Elektroniker ergeben sich Fragen: „Welche Elektronik steckt in diesen intelligenten Steckdosen? Kann man sie auch mit eigener Firmware betreiben, um zum Beispiel dem Cloud-Zwang der Hersteller zu entkommen?“ Eine gute Gelegenheit, um mit Hilfe von Schraubendreher, Säge, Kamera und Lupe das Innenleben der Steckdosen zu inspizieren.



**Achtung Netzspannung!** Die hier behandelte Elektronik arbeitet mit Netzspannung. Unsachgemäßes Arbeiten kann zu Stromschlägen führen oder gar lebensgefährlich sein.



Bild 1. Gosund SP211. Quelle: <https://bit.ly/3wAWu6g>.



Bild 2. Amazon Smart Plug. Quelle: <https://bit.ly/3wCtife>.



Bild 3. Shelly Smart Plug S. Quelle: <https://bit.ly/3D9TtQ>.

Per Funk beziehungsweise WLAN gesteuerte intelligente Steckdosen gibt es zuhauf im Internet und von großen Online-Versandhäusern. Bezüglich ihrer Funktionen und der Netzanbindung (meist WLAN) unterscheiden sich die diversen Modelle oft nur durch ihre Software und den gekoppelten Cloud-Dienst. Auch preislich tun sie sich nicht viel. Umso spannender ist die Frage, auf welcher Hardware sie aufbauen.

Googelt man nach „Smart Plug“, wird man von den vielen Formen und Farben dieser Steckdosen (Beispiele in den **Bildern 1...3**) fast erschlagen.

Da von außen nicht ersichtlich ist, was da an Elektronik verbaut wurde, habe ich drei unterschiedliche Fabrikate auseinandergenommen und näher beleuchtet. Mich interessierten

folgende Fragen: Welche Bauteile wurden verwendet? Wie sind diese beschaltet? Kann Leistung und Netzspannung gemessen werden, und wenn ja, wie? Gibt es einen Schutz gegen Überlastung?

Am interessantesten ist aber wohl die Frage, ob und welche Exemplare mit einer freien Firmware versehen werden könnten, falls man die Firmware des Herstellers nicht gut findet. Zur Beantwortung dieser Fragen habe ich die Schaltungen von drei Exemplaren herausgezeichnet und die verwendeten Bauteile soweit möglich identifiziert. Dabei wurde nicht nur klar, welche Mikrocontroller verbaut wurden, sondern auch, welche „Schaltungsoptimierungen“ zwecks Kosteneinsparung vorgenommen wurden.

### Die Smart-Plugs

Wie schon erwähnt, habe ich drei Steckdosen unterschiedlicher Hersteller zerlegt. **Bild 4** zeigt das Modell EU6S von Aoyococr, **Bild 5** den Typ Tapo P100 von TP-Link und **Bild 6** mit dem S26R2 ein Produkt von Sonoff. Außerdem hatte ich zuvor schon die Steckdose TRÅDFRI von Ikea (**Bild 7** und **Bild 8**) geplündert, denn sie diente mir als Teilespender für ein anderes Projekt.

**Tabelle 1** enthält die technischen Daten der drei näher untersuchten Steckdosen. Bei den Modellen EU6S und Tapo P100 wurde von den Herstellern ein maximaler Ausgangsstrom von 10 A (2,3 kW bei 230 V $\approx$ ) angegeben. Sonoff reizt mit dem Typ S26R2 das Mögliche aus und bietet bis zu 16 A (3,6 kW bei 230 V $\approx$ ), was zum Schalten großer Lasten wie Wasser-



Bild 4. Aoyocr EU6S.



Bild 5. TP-Link Tapo P100.



Bild 6: Sonoff S26R2.



Bild 7. Ikea TRÅDFRI.



Bild 8. Ikea TRÅDFRI geöffnet.

kocher oder Elektroheizungen prädestiniert. Lediglich die Typen EU6S und S26R2 konnte ich zerstörungsfrei öffnen (und wieder zusammenbauen). Leider hat TP-Link beim Tapo P100 das Gehäuse geklammert – ein Öffnen ist zwar möglich, hinterlässt aber Spuren. Die Steckdose TRÅDFRI von Ikea war übrigens ein Fall für die Bügelsäge, was ein anschließendes Zusammenfügen zuverlässig verhinderte.

### Aoyocr EU6S

Das Gehäuse des EU6S wird von vier Schrauben zusammengehalten (Bild 9), was zerstörungsfreies Öffnen erlaubt. Wer die Platine herausholen möchte, benötigt aber geeignetes Werkzeug wie etwa das iFixit-Kit aus dem Elektor-Shop [1], da die Platine mit den Steckdosenkontakten verschraubt ist – also nur ein kleines Hindernis. Bild 10 zeigt die zwei Gewinde in den Stiften, mit denen die Platine (Bild 11) verschraubt ist. Bild 12 zeigt

die Bestückungsseite der Platine, auf der sich alle Bauteile außer den Netzkontakten befinden. Das macht das Reengineering einfacher. Am Anfang habe ich versucht, die einzelnen Sektionen anhand von Funktionsgruppen einzuordnen, was sich bei dieser einfachen Schaltung als nicht sonderlich kompliziert herausgestellt hat. Bild 13 zeigt eine erste grobe Aufteilung in Netzteil (gelb), WLAN/MCU-Modul (orange) und Relais samt Beschaltung (magenta). Auffällig sind auch der Shunt R7 und IC U3 (Bild 14).

Dieser Smart Plug kann also dank U3 die Leistungsaufnahme von Verbrauchern messen. Was fehlt, ist ein Trafo, wie man ihn bei einem isolierenden Schaltnetzteil erwarten würde. Daher erst einmal ein Blick auf die Spannungsversorgung.

### Netzteil

Oben in Bild 15 sieht man die Schaltung des Netzteils rund um das IC U1 (HP-01 AL93PH1, Bild 16). Eine Internet-Recherche brachte leider kein Datenblatt zutage, weshalb ich

Tabelle 1. Technische Daten der drei Smart Plugs

Name	Max. Last	WLAN	BLE	MCU/SoC
Aoyocr EU6S	2,3 kW (10 A @ 230 V $\approx$ )	2,4 GHz	Nein	ESP8266
TP-Link Tapo P100	2,3 kW (10 A @ 230 V $\approx$ )	2,4 GHz	Ja*	RTL8720CF
Sonoff S26R2	3,6 kW (16 A @ 230 V $\approx$ )	2,4 GHz	Nein	ESP8285

\*Nur für WLAN-Einstellungen verwendet



Bild 9. Vier Schrauben halten das EU6S-Gehäuse zusammen.

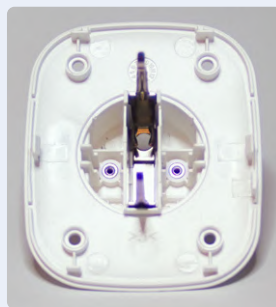


Bild 10. Schwer zu erreichende Stellen zur Befestigung der EU6S-Platine.

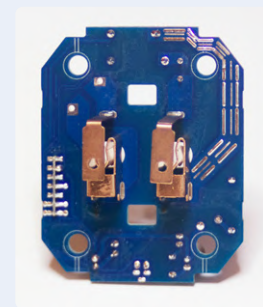


Bild 11. Unterseite der EU6S-Platine mit Befestigung.

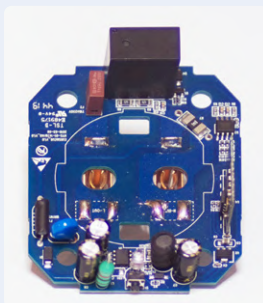


Bild 12. Oberseite der EU6S-Platine.

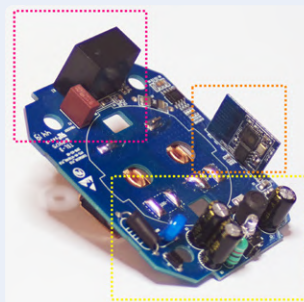


Bild 13. Bereiche mit unterschiedlichen Aufgaben der EU6S-Platine.

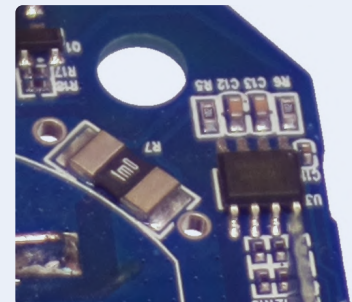


Bild 14. U3 samt Shunt-Widerstand in groß.

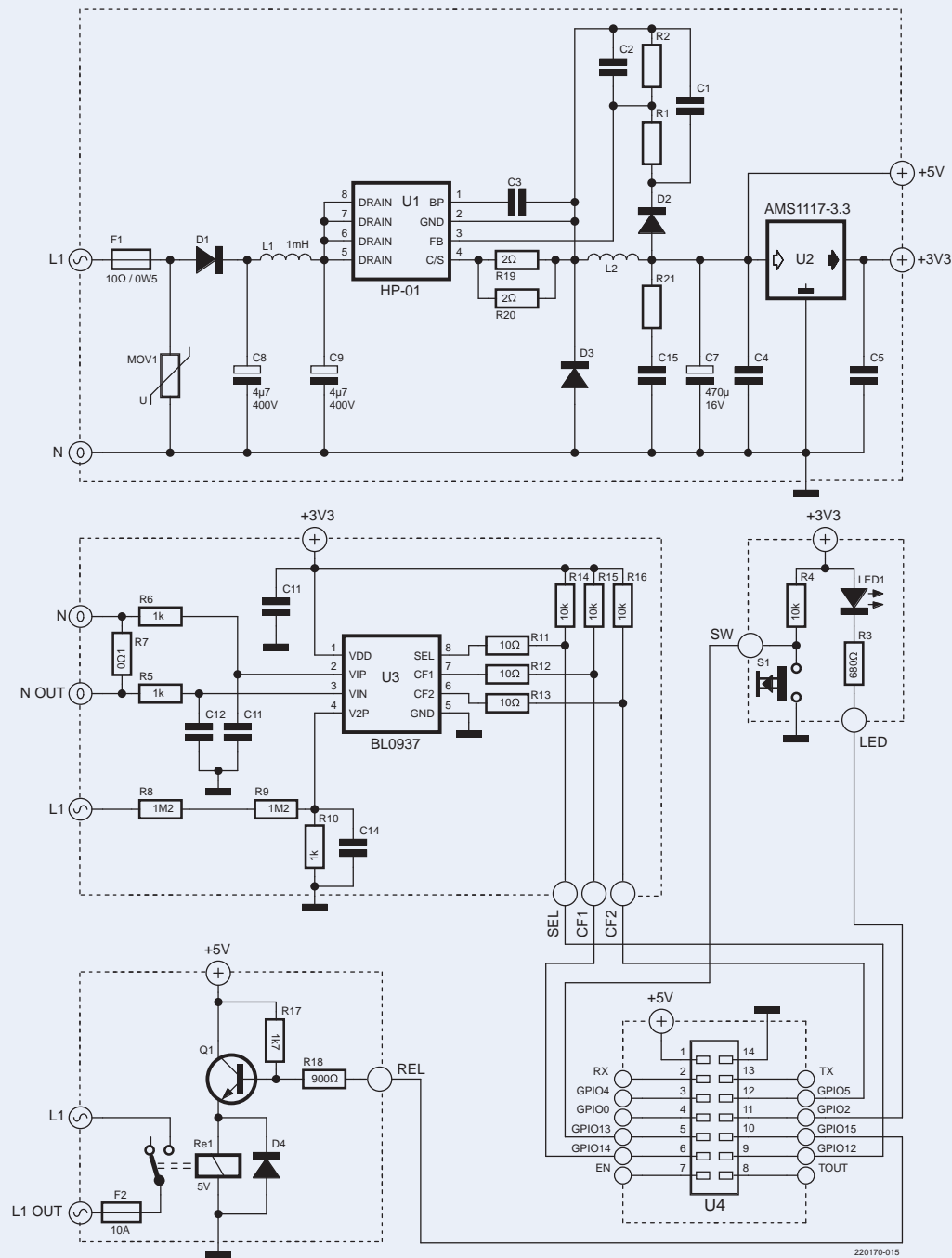


Bild 15. Schaltung des Smart Plugs EU6S.

Pin-Belegung und Funktion aus der Beschaltung abgeleitet habe. Links liegt Netzspannung an. Zunächst kommt mit F1 ein als Sicherung missbrauchter 10-Ω-Widerstand mit einer Belastbarkeit von 0,5 W (Bild 17). Der Varistor MOV1 dient als Überspannungsschutz. Die Diode D1 arbeitet hier als kostengünstiger Einweg-Gleichrichter. C8, C9 und L1 glätten die resultierende Gleichspannung und fungieren dabei als Pi-Filter. Die gefilterte Gleichspannung liegt

an den Pins 5...8 von U1 an. Die beiden parallelen Shunts R19 und R20 sowie vor allem D3 und Speicherinduktivität L2 sowie das Rückkopplungsnetzwerk aus D2, C1, C2, R1 und R2 machen es hochwahrscheinlich, dass es sich bei U1 um einen Abwärts-Schaltregler handelt, der aus den 325 V an C9 handelsübliche 5 V Gleichspannung macht. Dass am Siebelko C7 tatsächlich 5 V anliegen, ergibt sich daraus, dass damit das 5-V-Relais K1 auf der Platine versorgt wird.

Das IC U2, ein AMS1117-3.3, ist ein normaler analoger Low-Drop-Längsregler, der aus den 5 V saubere 3,3 V macht. Das ist nötig, denn viele moderne Mikrocontroller und WLAN-Hardware kommen mit 5 V nicht klar. Wenn man eine LED-Lampe mit E14- oder E27-Sockel zerlegt, hat man eine gute Chance, auf eine ähnliche Konstruktion zu stoßen. Selbst wenn sich für U1 kein Datenblatt finden lässt, ergeben sich durch typische Schaltungen in LED-Lampen eindeutige Hinweise. Die

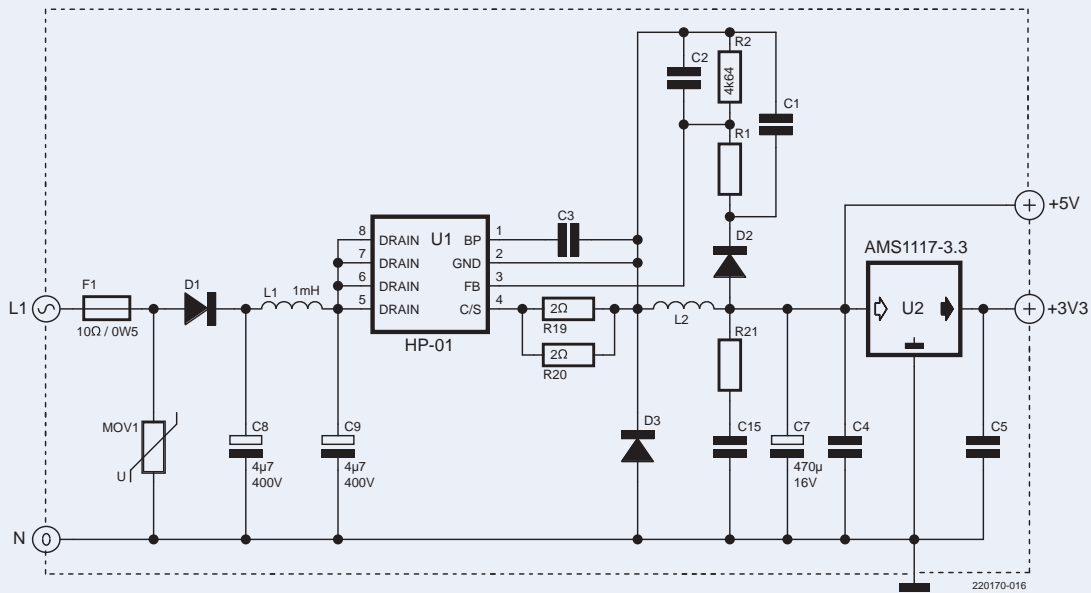


Bild 16. Der Aufdruck HP-01 AL93PH.1 auf U1 ist dank Falschfarben besser sichtbar.

Schaltungen in den Datenblättern der hier häufig vorkommenden und U1 ähnelnden ICs MPS MP4050A [2] (Bild 18) oder Power Integration LNK302 [3] (Bild 19) und die Hinweise in deren Datenblättern zeigen eine aufschlussreiche Pin-Belegung und Beschaltung. Bild 20 zeigt die Blockschaltung des internen Aufbaus des MPS MP4050A. GND

ist hier zwar die Referenz für das Steuersignal und den Gate-Treiber, jedoch nicht der Bezugspunkt der Ausgangsspannung. Bei U1 wird dies wohl ähnlich gelöst sein. Die Beschaltung der Applikation des MPS MP4050A weist Ähnlichkeit zu U1 in der Schaltung von UE6S auf.

Da die Platine sowie alle Taster und LEDs durch ein Plastikgehäuse schutzisoliert sind, besteht keine Gefahr, dass man normalerweise spannungsführende Teile versehentlich berühren kann. Solche nichtisolierten DC/DC-Abwärtswandler bieten eine preiswerte Möglichkeit der Spannungsversorgung (nicht nur) bei Smart-Plugs. Die verwendeten Schaltregler-ICs besitzen zudem oft einen sogenannten Weitbereichseingang und arbeiten häufig mit Wechselspannungen von 80...250 V (mit 50 Hz und 60 Hz).

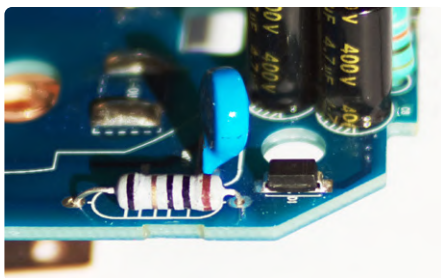


Bild 17. 10-Ω-Widerstand als F1.

**Achtung!** Da es sich um ein nichtisoliertes Netzteil ohne galvanische Trennung handelt, kann die Masse der Platine je nach Polung der Steckdose das Potential des Außenleiters L haben. Das Berühren der Schaltungsmasse und so gut wie aller Bauteile und Platinen-Pads ist daher lebensgefährlich!

### Leistungsmessung

Wie schon erwähnt, wird die Steckdose auch Strom und damit Leistung sowie wohl auch die Netzspannung erfassen können. Hierfür ist der linke mittlere Schaltungsteil von Bild 15 zuständig, der rund um U3 aufgebaut ist. Bild 21 zeigt ein Foto des Aufdrucks von IC U3. Zu erkennen ist „HJL-01“ nebst weiteren Ziffern und

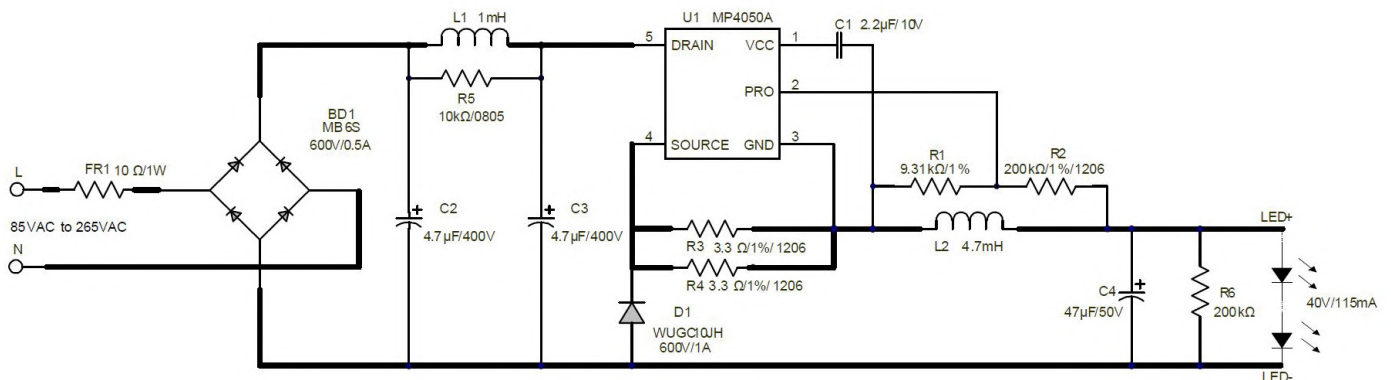


Bild 18. Beispielschaltung des MPS MP4050A. Quelle: [2].

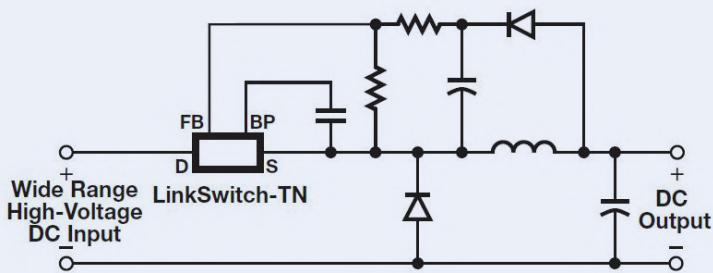


Bild 19. Basisschaltung des Power Integration LNK302. Quelle: [3].

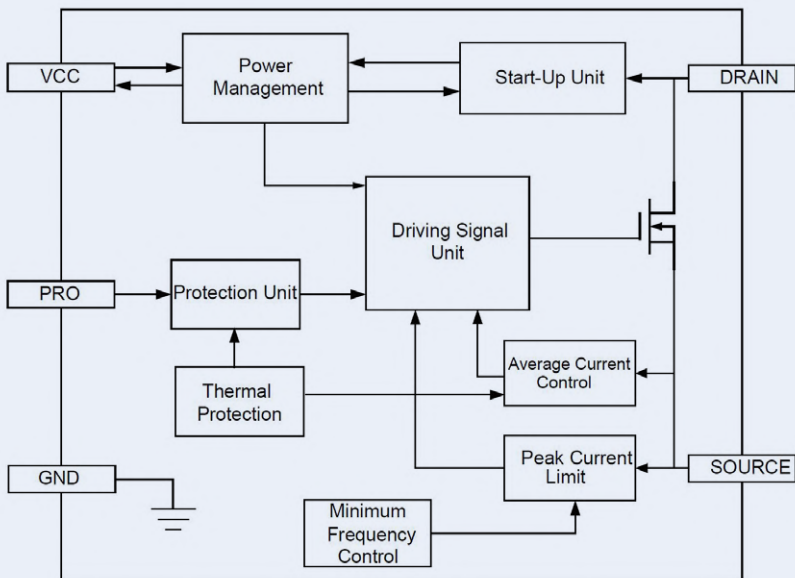


Bild 20. Interne Blockschaltung des MPS MP4050A. Quelle: [2].

Buchstaben. Auch hier war die Suche nach einem Datenblatt erfolglos, führte allerdings zu pinkompatiblen, ähnlichen ICs wie dem BL0937 oder dem HLW8012. Da U3 mit 3,3 V versorgt wird, ähnelt es wohl eher dem IC BL0937, denn der Typ HLW8012 benötigt 5 V. Doch was ist die Aufgabe von U3?

Es handelt sich hier um ein Smart-Meter-IC für Steckdosen und andere smarte Applikationen, das in einphasigen Netzen eine Leistungsmessung durchführen kann. Pin-Belegung und Blockschaltung des BL0937 sind in **Bild 22** zu sehen. Am Pin CF wird ein Signal mit der Information über die aktuell gemessene Leistung ausgegeben. Hierzu werden Impulse fester Breite (38  $\mu$ s) mit einer zur Leistung proportionalen Frequenz generiert. An CF1 steht entweder ein zum Effektivwert des Stroms (Pin SEL auf „low“) oder der Spannung (Pin SEL auf „high“) proportionales Signal mit gleicher Logik wie bei Pin CF an. Beim Vergleich der Beschaltung von U3 in Bild 15 mit der Referenzschaltung des BL0937 fällt auf, dass die Widerstandswerte des Spannungsteilers zur Spannungsmessung nicht denen des Datenblatts [4] entsprechen. Bei U3 wird ein Teilverhältnis von 2.400:1 statt 1.980:1 wie beim BL0937 verwendet, was für alternative Software relevant sein dürfte. Der Strom wird als Spannungsabfall über den 1-m $\Omega$ -Shunt R7 gemessen, der im Pfad des Neutralleiters (N) platziert ist. Die Spannung an R7 ist über R6 und R5 mit Pin 2 und Pin 3 von U3 verbunden. Zusammen mit C11 und C12 ergeben sich Tiefpässe zur Filterung der Signale. Die Pins SEL, CF1 und CF haben 10-k $\Omega$ -Pullup-Widerstände und geben ihre Signale über 10- $\Omega$ -Widerstände an Eingänge der MCU. U3 braucht also nur wenige externe Bauteile und ist damit sehr genügsam. Der Typ HJL-01 ist vermutlich preiswerter als ein BL0937, der schon unter 60  $\text{€}$  zu haben ist. Der Typ HLW8012 als Alternative würde über 30 % teurer sein.

### Relais, LED und Taster

Eingesteckte Verbraucher werden durch das Relais K1 geschaltet. Es handelt sich um den Typ NHLC 932-5VCD-SL-AH mit einer maximalen Belastbarkeit von 10 A bei 250 V $\approx$ . Relais mit solchen Daten kosten etwa 50  $\text{€}$ . Die Ansteuerung ist links unten in der Schaltung von Bild 15 zu sehen. Wie schon erwähnt, handelt es sich bei K1 um

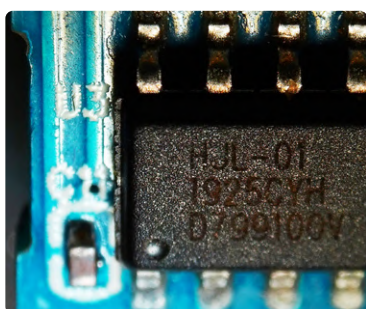


Bild 21. Das IC HJL-01 in der EU6S.

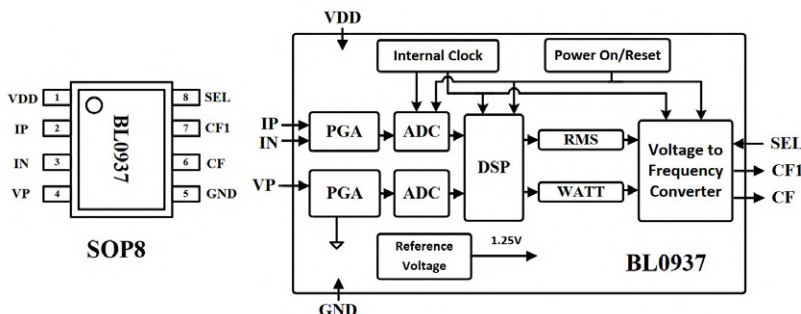


Bild 22. Pin-Belegung und Blockschaltung des BL0937. Quelle: [4].

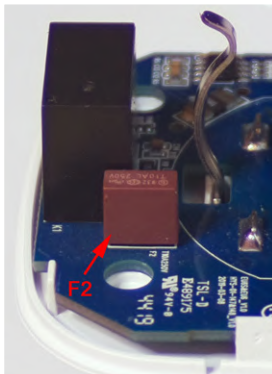


Bild 23. Träge 10-A-Sicherung F2 in der Aoyococr EU6S.



Bild 26. Kompakte Steckdose TP-Link Tapo P100.

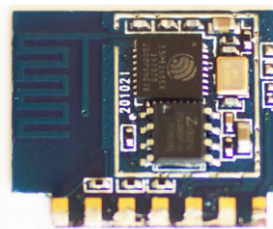


Bild 24. ESP8266-Modul.

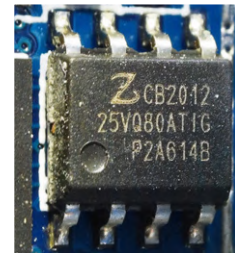


Bild 25. 8-Mbit-Flash-Chip ZB25VQ80AITG.



Bild 27. Eingelötete Stifte in der Mitte.

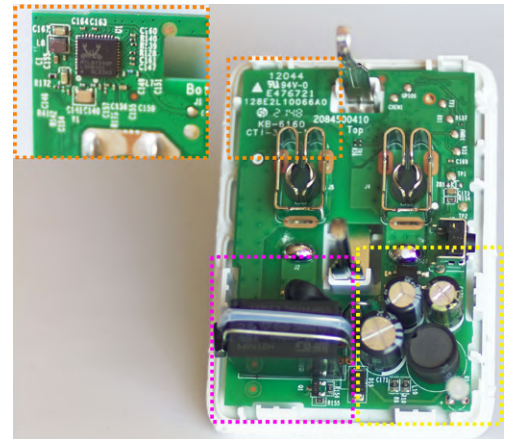


Bild 28. Die drei Sektionen der Platine.

ein Relais mit 5-V-Spule, die über Q1 aktiviert wird. Auf diese Weise kann das Relais mit 3,3 V angesteuert und dennoch an 5 V betrieben werden. Außerdem können dank Q1 die nötigen 0,4 W Spulenleistung via MCU-Pin geschaltet werden. D4 dient als Freilaufdiode. Die träge Mini-Sicherung F2 (Bild 23) löst bei >10 A aus und schützt so Relais und Platine vor Beschädigung durch zu hohe Ströme. Falls man doch einmal einen zu starken Verbraucher angesteckt hat und die Sicherung auslöst: F2 lässt sich relativ einfach austauschen und die defekte Steckdose so preiswert reparieren.

Die Beschaltung von LED1 mit einem 680-Ω-Vorwiderstand ist simpel (Bild 15 unten Mitte). Der sich ergebende niedrige Strom kann direkt vom MCU-Pin LED aufgebracht werden. Auch die Beschaltung des Tasters mit dem 10-kΩ-Pullup-Widerstand R4 ist einfach.

### Wireless MCU

Die verbaute MCU ist ein ESP8266, welche von Haus aus schon über WLAN nach IEEE 802.11 b/g/n verfügt. Sie steckt mitsamt der HF-Elektronik und mehr auf einer eigenen kleinen Platine (Bild 24), die hochkant auf

dem „Mainboard“ befestigt ist. Außer *Reset* ist kein anderer Testpunkt auf dem Modul beschriftet. Neben der MCU sitzt der Chip ZB25VQ80AITG (Bild 25), ein Flash-Speicher mit 8 Mbit Kapazität. Da ich wissen wollte, wie die anderen Bauteile mit dem ESP8266 verbunden sind, habe ich das Modul ausgelötet. Auf diese Weise konnte ich die Belegung der Pins der Modulplatine ermitteln und ihnen leicht Funktionen zuordnen. Diese Infos wanderten dann in die Schaltung von Bild 15. MCUs wie der ESP8266 kann man gut mit eigener Firmware versehen. So ist es zum Beispiel möglich, die MCU mit ESPHome [5] oder Tasmota [6] zu betreiben. Neben dem reinen Schalten via Relais ist es damit auch möglich, den Energieverbrauch der angeschlossenen Geräte zu ermitteln und abzurufen. Dazu sollten aber auch die Messungen von U3 kalibriert werden, damit man sich auf die erhobenen Daten auch verlassen kann.

Für die Übertragung von ESPHome oder Tasmota in den Flash-Speicher der MCUs muss man leider die Platine aus dem Gehäuse holen, da alle Kontakte für das Programmier-Interface auf der Unterseite der Platine zu finden

sind. Die Schrauben sind nicht ganz so einfach erreichbar - insbesondere ist der Zusammenbau schwieriger als das Zerlegen. Aber immerhin kann man das Gehäuse zerstörungsfrei öffnen, was nicht selbstverständlich ist.

### TP-Link Tapo P100

Die Steckdose Tapo P100 (Bild 26) von TP-Link ist im Vergleich zum Produkt von Aoyococr deutlich kompakter. Von außen sind keine Schrauben erkennbar, denn das Modell Tapo P100 hat ein Gehäuse, dessen Teile mit Klammern beziehungsweise Rastnasen zusammengehalten werden. Das Öffnen hinterlässt leicht Spuren, selbst wenn man dabei vorsichtig ist. Mit passendem Werkzeug gelangt man aber recht fix ans Innenleben. Leider lässt sich die Platine nicht so einfach aus dem Gehäuse holen, da sie mit den Kontakten der Steckstifte verlötet ist (siehe Bild 27). Für einen Blick auf die Unterseite der Platine habe ich sie ausgelötet.

Die Platine lässt sich grob in die drei funktionellen Bereiche Netzteil, Relais und MCU einteilen, die in Bild 28 markiert sind. Ein Mess-IC ist in dieser Schaltung (Bild 29) nicht vorhanden.

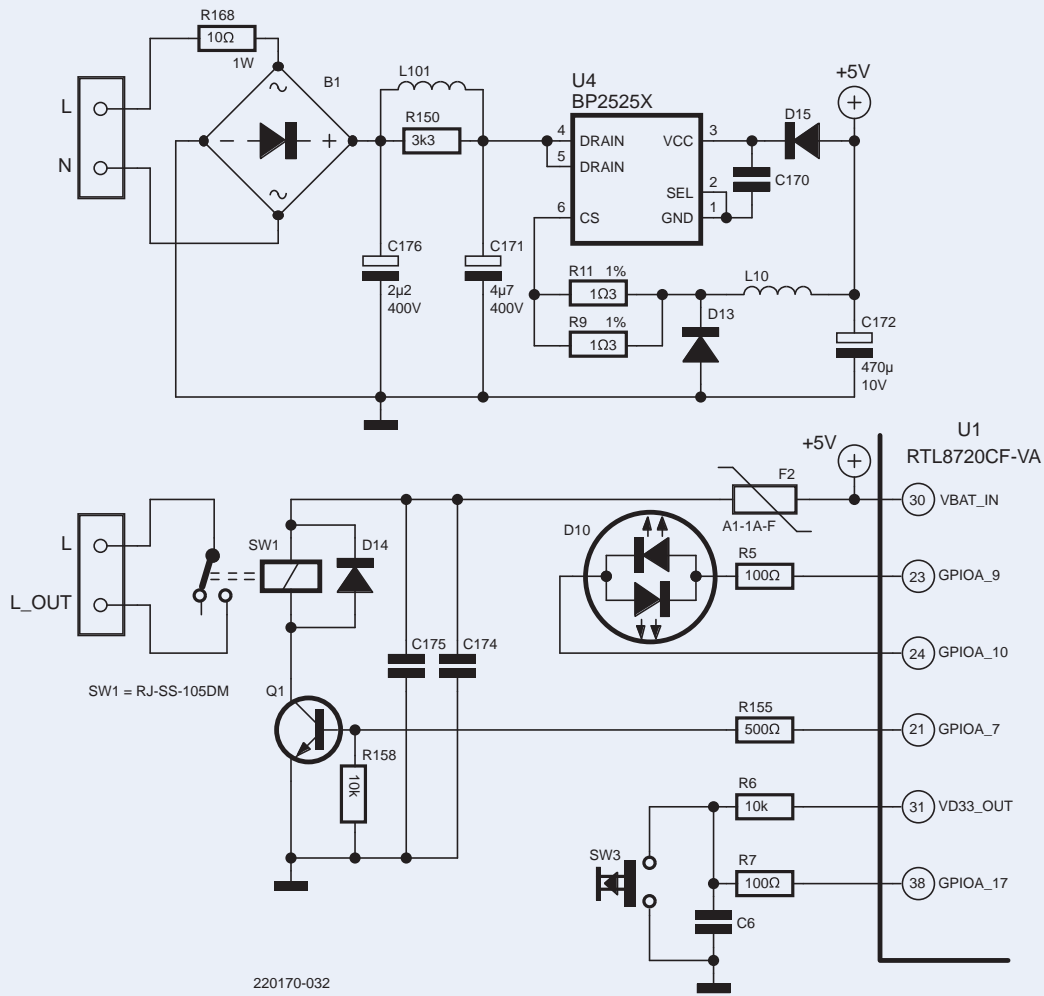


Bild 29. Schaltung der Tapo P100.



Bild 30. BP2525 auf der Unterseite der Platine.

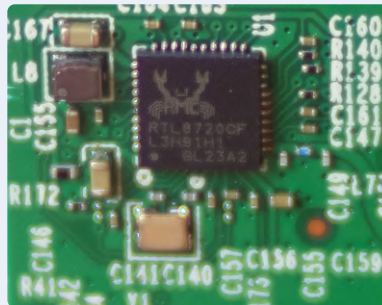


Bild 31. Realtek RTL8720CF.



Bild 32. Thermosicherung und Relais eng umschlungen.

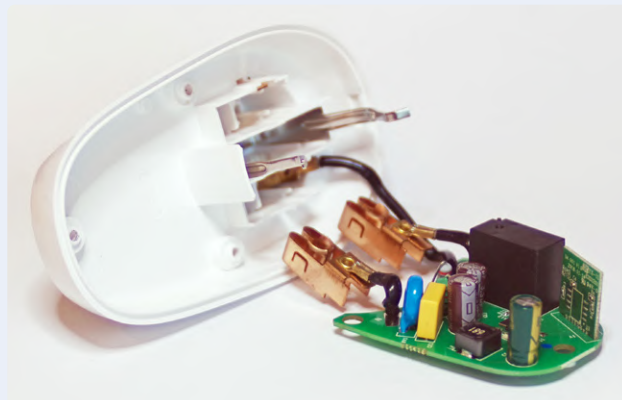


Bild 33. Sonoff S26R2 zerlegt.



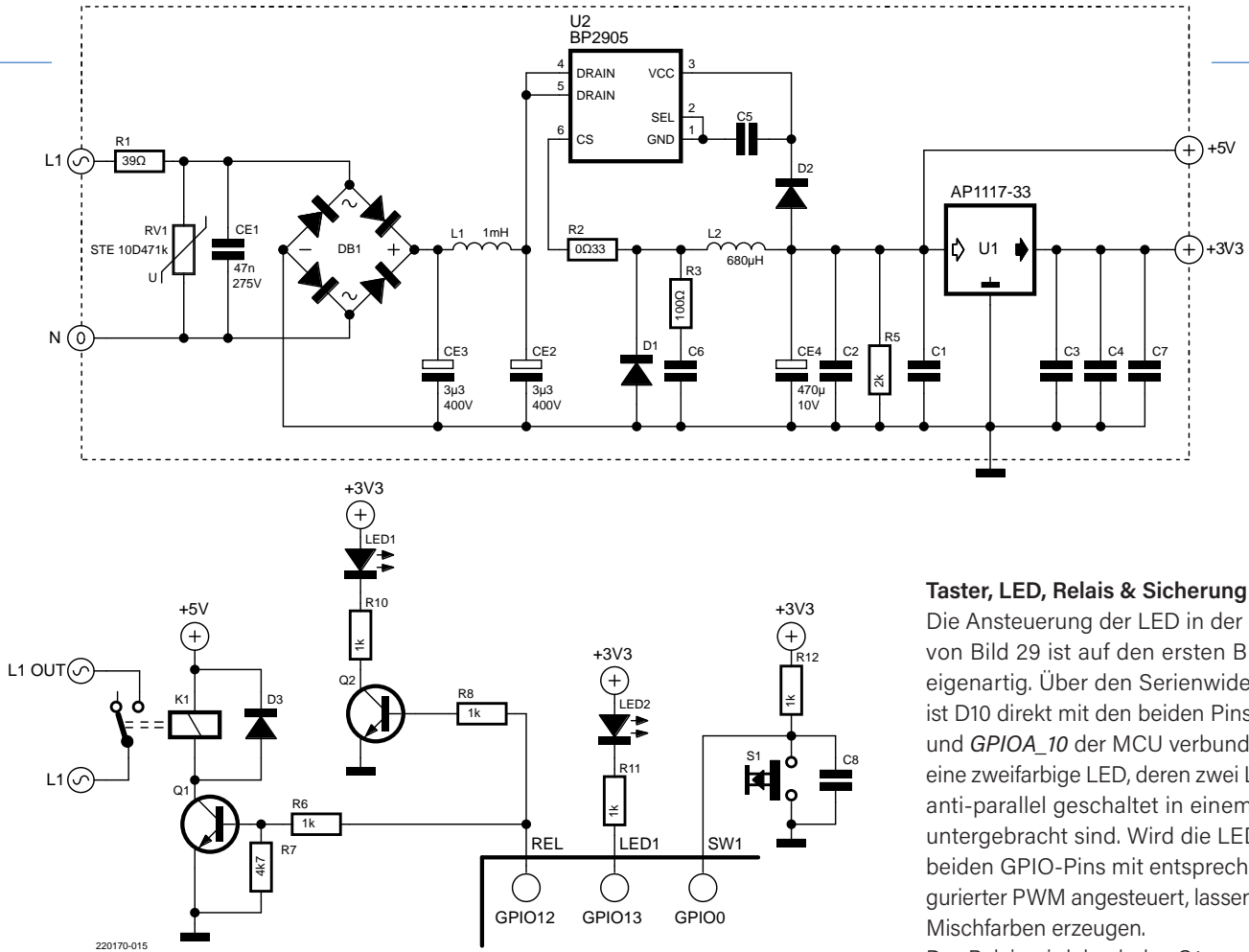
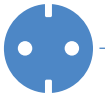


Bild 34. Schaltung des S26R2.

### Netzteil

Die Schaltung des Netzteils war einfach zu rekonstruieren, denn die Beschriftung des ICs war lesbar und es haben sich Datenblätter finden lassen. Meine Erfahrung mit dem EU6S war hilfreich: Auch hier ist ein 10- $\Omega$ -Widerstand (R168) – diesmal mit 2-W-Belastbarkeit – als Sicherung und Strombegrenzung verbaut.

Zentrales Bauteil ist mit U4 das Schaltregler-IC BP2525 [7] (Bild 30). Auch hier wurde ein nicht isolierterer Abwärtswandler realisiert, der aus bis zu 500 VDC auswählbar entweder 5 V oder 3,3 V generiert. Die Netzspannung wird per Brückengleichrichter vollweg-gleichgerichtet und dann mit einem Pi-Filter aus C176, L101 und C171 geglättet.

U4 stellt (je nach Version) bis zu 500 mA bei 5 V Ausgangsspannung bereit. Durch das Datenblatt ist die Beschaltung sehr einfach nachzuvollziehen, und die Bauteile sind leicht zu identifizieren. Es besteht kein großer Unterschied zum Netzteil des EU6S. Es ist allerdings kein 3,3-V-Spannungsregler vorhanden,

und warum das so ist, wird nachfolgend durch die verwendete MCU deutlich.

### RTL8720CF mit WLAN und BLE

Hier wurde das Naheliegende nicht gemacht und kein ESP8266 verbaut. Stattdessen kommt die MCU RTL8720CF von Realtek (Bild 31) zum Einsatz. Das Datenblatt [8] zeigt, warum hier eine Versorgung mit 5 V ausreicht: Ein RTL8720CF hat einen integrierten 3,3-V-Regler. Die maximale Belastbarkeit an 3,3 V beträgt 450 mA.

WLAN wird im 2,4-GHz-Band unterstützt und Bluetooth Low Energy 4.2 ist ebenfalls vorhanden. Die MCU basiert auf einem ARM-Core des Typs Cortex-M33 (von Realtek KM4 genannt), der mit bis zu 100 MHz getaktet werden kann. Weiter verfügt die MCU über 2 MB integrierten Flash-Speicher und 256 KB RAM. Dieser Chip ist also ziemlich interessant. Noch interessanter ist sein großer Bruder RTL8720DN [9], der neben dem üblichen 2,4-GHz-Band auch WLAN im 5-GHz-Band bietet.

### Taster, LED, Relais & Sicherung

Die Ansteuerung der LED in der Schaltung von Bild 29 ist auf den ersten Blick etwas eigenartig. Über den Serienwiderstand R5 ist D10 direkt mit den beiden Pins *GPIOA\_9* und *GPIOA\_10* der MCU verbunden. D10 ist eine zweifarbige LED, deren zwei LED-Chips anti-parallel geschaltet in einem Gehäuse untergebracht sind. Wird die LED über die beiden GPIO-Pins mit entsprechend konfigurierter PWM angesteuert, lassen sich auch Mischfarben erzeugen.

Das Relais wird durch den Q1 geschaltet. D14 dient als Freilaufdiode. *GPIOA\_7* steuert die Basis von Q1 über R155. Damit der Transistor sperrt, während beim Start die Firmware geladen wird, ist mit R158 ein Pull-Down-Widerstand vorgesehen. F2 ist hier eine Besonderheit (Bild 32). Diese nichtrückstellbare Thermosicherung (AUPO A1-1A-F [10]) löst bei Übertemperatur durch Überlastung des Relais aus. Damit würde die Spule nicht mehr versorgt, der Laststrom nicht mehr fließen und das Relais abfallen und abkühlen – und zwar für immer. Wegen des schwerer zu öffnenden Gehäuses dürften wohl die meisten „defekten“ P100 im Elektroschrott landen.

Der verbaute Taster hat eine klassische Beschaltung mit 10-k $\Omega$ -Pullup-Widerstand nach 3,3 V, Entprellkondensator und 100- $\Omega$ -Widerstand Richtung *GPIOA\_17*. Insgesamt gab es also keine großen Überraschungen.

### Sonoff S26R2TPF

Langsam reifte in mir die Erkenntnis: Kennt man eine, so kennt man sie alle. Das Modell S26R2TPF von Sonoff (Bild 33) kann bis zu 16 A bei 250 V $\approx$  schalten. Bild 34 zeigt den Schaltplan.

### Das Netzteil

Tatsächlich stieß ich nicht auf Überraschungen. Das Netzteil ist um U2 aufgebaut, ein

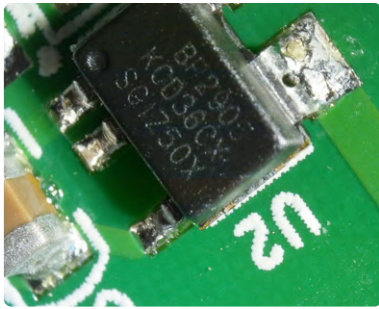


Bild 35. Das IC BP2905 ist wohl mit dem IC BP2525 vergleichbar.

Schaltregler-IC mit dem Aufdruck BP2905 (Bild 35). Leider konnte ich hierzu kein Datenblatt finden. Allerdings kann man durch Gehäuse, Pins und Beschriftung schließen, dass es sich mit höchster Wahrscheinlichkeit um einen pinkompatiblen Verwandten des ICs BP2525 handelt.

Wiederum fungiert mit R1 ein Widerstand als Sicherung. Auf den Brückengleichrichter DB1 folgt wieder ein Pi-Filter aus CE2, L1 und CE3. Der BP2905 sorgt für stabile 5 V am Siebelko CE4. Wie beim EU6S wird für 3,3 V mit U1 ein analoger Spannungsregler eingesetzt.

#### Taster, Relais und LED

Die Beschriftung des Tasters S1 ist einfacher und kommt mit lediglich einem 1-k $\Omega$ -Pullup-Widerstand plus Kondensator zur Entprellung aus. Er ist ohne Vorwiderstand an den Eingang SW1 der MCU angeschlossen. Auch LED2 ist mit ihrem Vorwiderstand spartanisch beschaltet. Die Anode liegt direkt an 3,3 V und die Kathode über R11 an einem GPIO-Pin der MCU.

Geradezu üppig wird es bei LED1. Statt der simplen Ansteuerung über einen Vorwiderstand direkt von einem GPIO-Pin wird ihr wie beim Relais mit Q2 ein eigener Schalttransistor gegönnt. LED1 und Relais werden dann vom gleichen GPIO-Pin der MCU gesteuert. Beim Relais selbst ist alles wie zuvor: Seine Spule wird von 5 V versorgt, mit D3 findet sich auch hier wieder eine Freilaufdiode, und Q1 schaltet den Spulenstrom. Wie bei den anderen beiden Steckdosen verhindert ein Widerstand zwischen Basis und Emitter des Schalttransistors, dass das Relais während des Bootens ungewollt die Last einschaltet.

#### Wireless MCU

Mit dem ESP8285 (Bild 36) auf einer eigenen Platine verrichtet hier wieder eine Standardlösung ihren Dienst. Diese ESP8266-Vari-

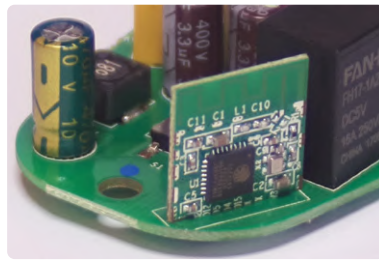


Bild 36. Das ESP8285-Modul des S26R2.

ante erlaubt dank integriertem Flash-Speicher kompakte Platinen und den Verzicht auf ein externes Flash-IC. Die Pin-Belegung kann dem Schaltplan in Bild 34 entnommen werden.

#### Wolkige Software und Alternativen

Die Cloud-Anbindung ist einer der Aspekte, über die sich die meisten Anwender bisher kaum Gedanken machen. Die Software des Herstellers verbindet sich in der Regel mit dem heimischen WLAN und muss per App konfiguriert werden, so dass man die Steckdose mit dem Smartphone, Amazons Alexa, Googles Home oder Apples Homekit verwenden kann. Viele smarte Steckdosen nutzen dazu den Cloud-Dienst eines Anbieters, der seine Server irgendwo hostet und letztlich auch Zugriff auf das smarte Device hat. Diese Konfiguration erlaubt dann das Schalten von Lasten über das Internet auch aus der Ferne. So eine Cloud-Anbindung ist aber leider nicht ganz unproblematisch, denn niemand garantiert, dass der Cloud-Anbieter nicht eines Tages schlicht seinen Service einstellt [11].

Wie schon erwähnt, gibt es für die auf dem ESP8266 basierenden Smart-Plugs durch die quelloffene Firmware TASMOTA [6] oder ESPHome [5] geeignete Alternativen. Dieser Ersatz der originalen Firmware erlaubt es dann per MQTT, WebUI, Alexa oder anderen Protokollen, das Gerät aus dem eigenen LAN zu steuern.

Doch wie bekommt man alternative Firmware auf die Geräte? Eine recht hilfreiche Webseite zu dieser Thematik ist Tuya Convert [12]. Etliche dieser Steckdosen können sogar ohne Aufschrauben mit alternativer Firmware versorgt werden. Sollte Ihr Modell ein Öffnen erfordern: Die meisten ESP8266 kann man mit dem Tasmotizer [13] neu flashen. Je nach

Modell sind entsprechende Einstellungen vorzunehmen.

Wer ESPHome verwenden möchte, kann dies bei einigen Steckdosen auch ohne Aufschrauben, gewissermaßen OTA (Over The Air) per WLAN erledigen [14]. Bei einigen Modellen jedoch wird man leider um das Aufschrauben und Lötten nicht herumkommen.



**Zweite Warnung: Wie dieser Artikel zeigt, haben alle besprochenen Steckdosen nichtisolierende Netzteile, weshalb sich die komplette Elektronik auf dem Potential des Außenleiters L befinden kann. Das Berühren von Bauteilen im Betrieb ist definitiv lebensgefährlich. Man kann es nicht oft genug sagen: Niemals unter Spannung an Schaltungen arbeiten und immer die geltenden Sicherheitsregeln einhalten. Außerdem: Die netzseitigen Siebelkos des Netzteils stehen auch nach dem Abschalten noch eine Zeit lang unter Spannungen von mehreren hundert Volt. Vor dem Arbeiten an diesen Platinen sollte man sie daher sicherheitshalber entladen.**

#### ESP8266, ESP8285, RTL8720 et cetera

Wer sich nun auf die Suche nach einer schlaun Steckdose macht, die sich mit ESPHome oder Tasmota zum Smart-Meter verwandeln lässt, der sollte beim Einkaufen aufpassen. ESPHome und Tasmota unterstützen nur Chips der ESP-Familie. Auch wenn es für den RTL8720CF ausreichend Dokumentation gibt, bedeutet das nicht, dass man mit einer Unterstützung durch alternative Firmware rechnen kann.

Neben den aufgeführten MCUs können natürlich noch andere Typen in Smart-Plugs verbaut sein. Geeignete Kandidaten sind beispielsweise RTL8710 von Realtek, BK7231T von Beken oder XR809 von XradioTech. Vor dem Kauf ist also eine Recherche Bedingung. Wenn Sie Glück haben, hat ein anderer Entwickler das Sie interessierende Produkt schon einmal aufgeschraubt und analysiert. Wichtig ist noch ein weiterer Aspekt: Manche Hersteller neigen dazu, die Hardware innerhalb der gleichen Produkt-



palette zu optimieren und dabei eventuell andere MCUs zu verbauen oder mit anderen Maßnahmen das Modifizieren zu erschweren.

### Fazit: Alles gleich, aber anders

Wie gezeigt wurde, sind die drei vorgestellten Steckdosen sehr ähnlich aufgebaut. Ein nichtisoliertes Netzteil versorgt eine WLAN-MCU, die ein Relais steuert. Bei Aspekten wie Schutzmaßnahmen, der konkreten LED-Ansteuerung oder der Bestückung mit einem Smart-Meter-IC gibt es Unterschiede. Auch wenn TRÅDFRI von Ikea hier nur einen Gastauftritt hatte, kann ich doch verraten, dass auch diese Steckdose nicht mit Überraschungen aufwartet.

Lehrreich war für mich das Zerlegen auf jeden Fall. Dank der gewonnenen Erfahrung kann ich jetzt bei anderen Produkten schneller erkennen, was der Hersteller konkret verbaut hat, oder aber die Schaltungen als Inspiration für eigene Projekte nutzen.

Falls Sie auch schon Erfahrungen mit smarten Steckdosen gemacht haben – egal ob gute oder schlechte: Lassen Sie uns durch einen Kommentar an Ihrem Wissen teilhaben. Auch ungewöhnliche Entdeckungen und Einblicke in die Elektronik anderer Smart-Plugs sind herzlich willkommen. ◀

220170-03

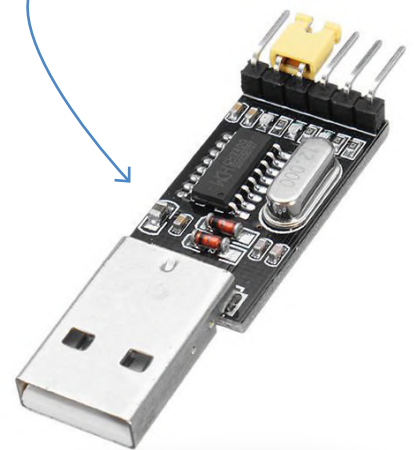


### PASSENDE PRODUKTE

- Koen Vervloesem, Getting Started with ESPHome SKU 19738 [www.elektor.de/19738](http://www.elektor.de/19738)
- CH340 USB/TTL Konverter-Modul CH340G (3,3 V / 5,5 V) SKU 19151 [www.elektor.de/19151](http://www.elektor.de/19151)
- OWON OW18B Digital-Multimeter mit Bluetooth SKU 18777 [www.elektor.de/18777](http://www.elektor.de/18777)

### Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter [mathias.claussen@elektor.com](mailto:mathias.claussen@elektor.com) oder kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



### WEBLINKS

- [1] iFixit Pro Tech Bit Set: [www.elektor.de/ifixit-pro-tech-toolkit](http://www.elektor.de/ifixit-pro-tech-toolkit)
- [2] MP4050A: [www.monolithicpower.com/en/mp4050a.html](http://www.monolithicpower.com/en/mp4050a.html)
- [3] Power Integrations LNK302: [www.power.com/products/linkswitch/linkswitch-tn/lnk302dg](http://www.power.com/products/linkswitch/linkswitch-tn/lnk302dg)
- [4] BL0937: <https://bit.ly/37KY7Uo>
- [5] ESPHome: <https://esphome.io/>
- [6] Tasmota: <https://tasmota.github.io/docs/>
- [7] MP2565: [www.monolithicpower.com/en/mp2565.html](http://www.monolithicpower.com/en/mp2565.html)
- [8] RTL8720CF: <https://bit.ly/3DbrJ8Z>
- [9] RTL872xD: <https://bit.ly/3JESUf2>
- [10] AUPO A1-1A-F: [www.tme.eu/en/details/a1-1a-f/thermal-fuses/aupo/](http://www.tme.eu/en/details/a1-1a-f/thermal-fuses/aupo/)
- [11] Nick Statt, „Nest is permanently disabling the Revolv smart home hub“, The Verge: <https://bit.ly/3ICGi6O>
- [12] Tuya Convert: <https://tasmota.github.io/docs/Tuya-Convert>
- [13] Tasmotizer: <https://github.com/tasmota/tasmotizer>
- [14] ESPHome OTA Installation: <https://bit.ly/3Jllps9>

# Hautwiderstand und Hautkapazität

## Kleine Experimente mit der menschlichen Hülle

Von Burkhard Kainka (Deutschland)

Was haben Speicherkondensatoren mit Drähten in Wasser und Fingern auf Metalloberflächen zu tun? Eine ganze Menge, wie der Autor mit eigenen Experimenten und Messungen herausfand. Die Hautimpedanz kann man für interessante Anwendungen nutzen.

Drähte in Wasser und Finger auf Metalloberflächen - vor vielen Jahren bin ich schon einmal auf seltsame Effekte in diesem Umfeld gestoßen. Damals wollte ich Holzfeuchtigkeiten über eingesetzte Edelstahlschrauben messen. Die Kontakte änderten aber schnell ihre Eigenschaften, so dass weniger Strom floss. Die beiden Kontakte ließen sich sogar noch aufladen, und ich konnte nach einigen Sekunden noch eine Spannung nachweisen. Für mich habe ich das dann eine „Holzbatterie“ genannt. Später erst habe ich verstanden, dass es mit einer Wassermolekül-Doppelschicht zu tun hat, die einen Doppelschichtkondensator bildet. Aber nun erst habe ich die Sache mit weiteren Messungen geklärt.

### Messung der Hautimpedanz

Ausgangspunkt der Messungen war die Entwicklung eines Leitfähigkeitsmessers für die menschliche Haut (**Bild 1**) mit einem Mikrocontroller, der letztlich zu einem Lügendetektor werden sollte. Dort hatte ich

mit Wechselspannung gemessen, genauer gesagt mit einem kurzen positiven Impuls und einem nachfolgenden gleich kurzen negativen Impuls. Das Ergebnis waren erstaunlich gute Leitfähigkeiten. Ein normales Multimeter zeigt einen Widerstand um  $1\text{ M}\Omega$  zwischen beiden Kontaktelektroden. Aber der Mikrocontroller kommt auf rund  $10\text{ k}\Omega$ .

Wenn man im Internet nach diesem Thema sucht, findet man sehr schnell, dass die Hautimpedanz frequenzabhängig ist. Je höher die Frequenz, desto größer wird die Leitfähigkeit. Außerdem sinkt der Widerstand mit steigender Spannung. Solche Untersuchungen wurden aus unterschiedlichen Motivationen durchgeführt. Einmal ging es um die Gefahren des elektrischen Stroms. Es wurde untersucht, welcher Strom unter welchen Bedingungen durch den Körper fließen kann. Dabei kommt heraus, dass der innere Widerstand von Hand zu Hand nur wenige Kiloohm beträgt, und dass der Hautwiderstand entscheidend ist. Bei großen

Wechselspannungen wird der Übergangswiderstand sehr klein, sodass der innere Widerstand entscheidend wird. Stromschläge sind deshalb gefährlicher, als es das Ohmmeter vermuten lässt.

Die andere Zielrichtung solcher Untersuchungen liegt im medizinischen Umfeld. Man will

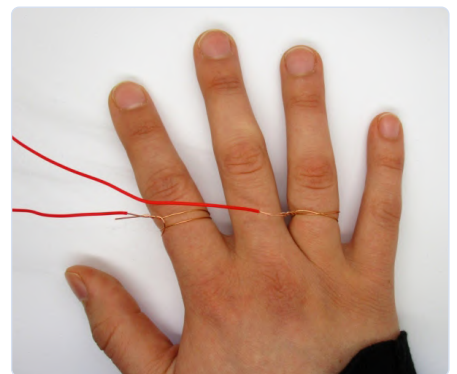


Bild 1. Auswertung der Hautimpedanz.

wissen, wie EKG-Elektroden arbeiten oder welche Schlüsse man aus dem Körperwiderstand ziehen kann. Dabei kommt heraus, dass der Übergangswiderstand während der Untersuchung sich mit der Zeit ändern kann und dass er sich mit einer Salzlösung beeinflussen lässt. Der Eindruck bleibt, dass die Haut ein sehr komplexes Bauteil ist.

### Ein Haut-Ersatzschaltbild

Was den Elektroniker aber eigentlich interessiert, ist ein für kleine Signale brauchbares Ersatzschaltbild. Bisher ist man meist von einem Widerstand in der Größenordnung 100 k $\Omega$  bis 1 M $\Omega$  ausgegangen, was aber offensichtlich nur für den Gleichstromfall bei kleinen Spannungen bis etwa 9 V stimmt. Bei Wechselspannung verhält sich die Haut anders. Also habe ich meinen Sinusgenerator eingeschaltet und einen Spannungsteiler aus zwei Fingern und einem Festwiderstand mit 10 k $\Omega$  gebaut.

Bei der Messung mit kleinen Spannungen um 1 V (**Bild 2**) kam heraus, dass der Stromverlauf dem unverzerrten Sinus folgt (**Bild 3**). Die starke Frequenzabhängigkeit konnte bestätigt werden. Zwischen 1 kHz und 10 kHz sank die Impedanz etwa um den Faktor 10. Die Hand mit den beiden Drahtelektroden verhielt sich also ähnlich wie ein Kondensator. Vergleiche mit verschiedenen Kondensatoren aus der Bastelkiste zeigten, dass ein Kondensator mit 3,3 nF sich sehr ähnlich verhielt.

Die ganze Messung lässt sich vereinfachen, wenn man mit einem Rechtecksignal misst (**Bild 4**). Dazu habe ich das Testsignal mit 0,2 V und 1 kHz vom Oszilloskop verwendet; das ist aber keine Wechselspannung, sondern eine pulsierende Gleichspannung. Die Ausgangsspannung ist 0,5 ms lang Null und dann 0,5 ms lang 0,2 V. Man kann das Signal als Gleichspannung von 0,1 V betrachten, die mit einer Rechteck-Wechselspannung von 0,1 V überlagert ist.

Das Ergebnis sind die typischen Impulse eines RC-Hochpassfilters (**Bild 5**). Weil das Messsignal auch einen Gleichspannungsanteil hat, kann man erkennen, dass die Gleichstrom-Leitfähigkeit zu vernachlässigen ist, denn sonst wäre das Ausgangssignal deutlich in den Plusbereich verschoben.

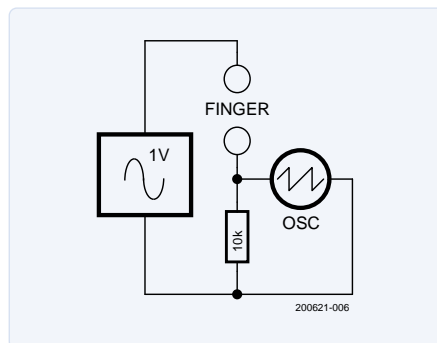


Bild 2. Messung mit Wechselspannungen.

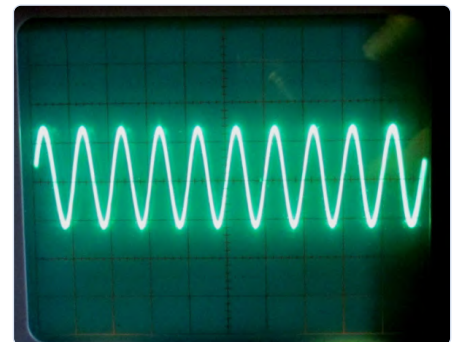


Bild 3. Der Spannungsabfall am Widerstand.

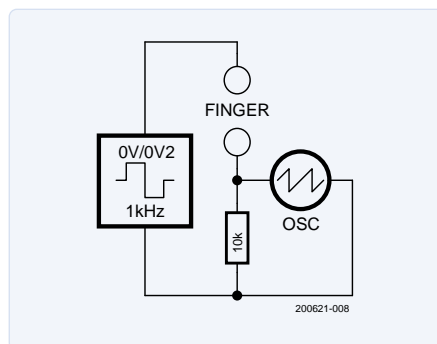


Bild 4. Messung mit Rechtecksignalen.

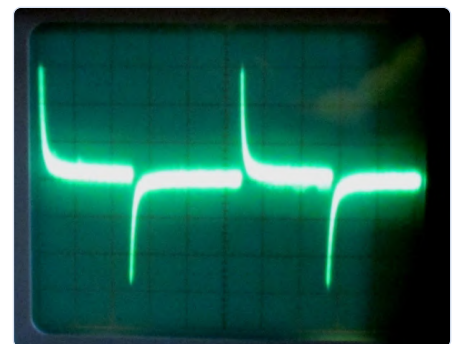


Bild 5. Signalverlauf wie bei einem Hochpassfilter.

Damit ist also bestätigt: Die Haut verhält sich mit zwei Drahtelektroden wie ein Kondensator von wenigen Nanofarad. Parallel liegt ein hochohmiger ohmscher Widerstand von rund 1 M $\Omega$ .

### Eine Erklärung

Die große Kapazität von einigen Nanofarad bei der sehr kleinen Kontaktfläche der Drähte hat mich zu der Vermutung gebracht, dass hier tatsächlich ein Doppelschicht-Kondensator gebildet wird. Die Hautfeuchtigkeit bringt einen Wasserfilm auf die Metallfläche. An der Übergangsstelle bildet sich dann die Doppelschicht aus polarisierten Wassermolekülen. Das wäre also genau das Prinzip eines Superkondensators, bei dem man durch eine Graphit-Beschichtung für eine besonders große Übergangsstelle sorgt. Ein solcher Kondensator kann auch mit zwei Kupfer-



Bild 6. Experimenteller Aufbau eines Doppelschichtkondensators.

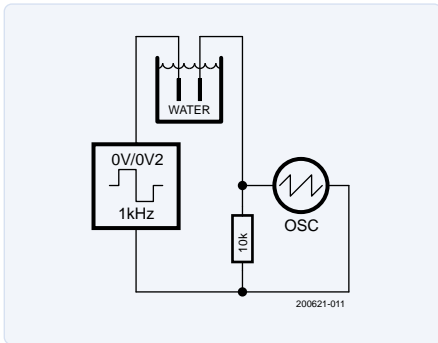


Bild 7. Der Wasserkondensator an einer Rechteckspannung.

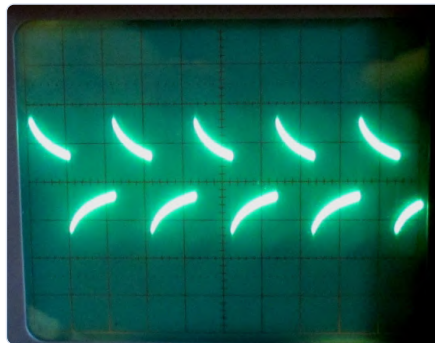


Bild 8. Ausgangssignal des Wasser-RC-Glieds.

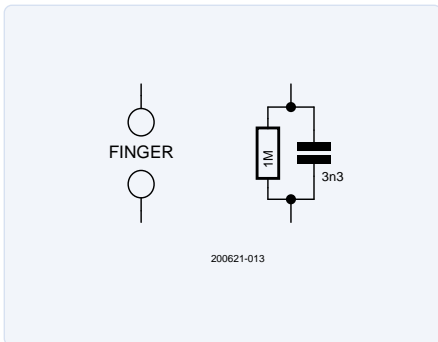


Bild 9. Das vereinfachte Ersatzschaltbild.

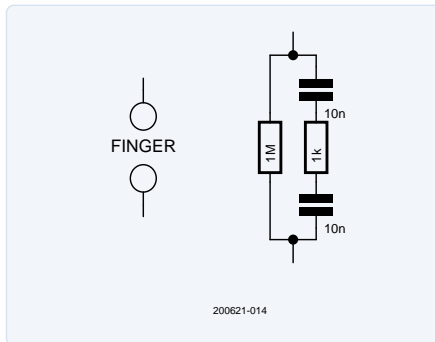


Bild 10. Das erweiterte Ersatzschaltbild.

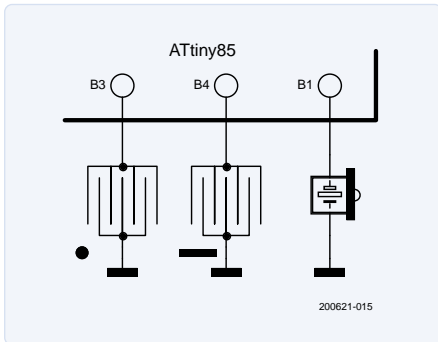


Bild 11. Automatische Morsetaste mit Berührungssensoren.



Bild 12. Die Berührungskontakte.



Bild 13. Signale am Port B3.

schon bei der sehr kleinen Fläche bei nur rund 1 mm tief eingetauchten Elektroden. Falls man also einmal größere Kapazitäten benötigt, ist das kein Problem.

Hiermit steht das Ergebnis fest. Die Impedanz von zwei Fingern mit Drahtkontakten entspricht der Ersatzschaltung in **Bild 9**.

Das genaue Ergebnis kann allerdings von Person zu Person stark abweichen und hängt natürlich sehr stark von der Berührungsfläche, von der momentanen Hautfeuchtigkeit und vom Anpressdruck ab.

Wenn man diesen Kondensator genauer betrachtet, handelt es sich eigentlich um zwei Kondensatoren. Das eigentliche Dielektrikum sind die dünnen Wasserschichten zwischen der Haut und den Metallelektroden. Und dann gibt es natürlich auch noch einen inneren Widerstand des Körpers, zum Beispiel von einem Finger zum anderen. Alles zusammen führt zu einem erweiterten Ersatzschaltbild (**Bild 10**). Der innere Widerstand ist schwer zu bestimmen und wurde hier einfach mal mit 1 k $\Omega$  angenommen.

Wenn man die Frequenz immer weiter erhöht, sinkt die Impedanz des Hautkondensators immer weiter ab. Dann wird der innere Widerstand entscheidender. Schmerzhaft Erfahrungen dazu kenne ich aus dem Amateurfunk. Wenn man versehentlich den Ausgang eines Kurzwellensenders berührt, bekommt man keinen elektrischen Schlag, sondern man verbrennt sich die Finger. Aber das Ergebnis ist ganz anders als bei einer Berührung des heißen Lötkolbens. Es entsteht keine Brandblase wie am Lötkolben, und es fühlt sich völlig anders an. Die Wärme entsteht nämlich deutlich unterhalb der Hornhaut im tieferen Hautgewebe mit höherer Leitfähigkeit, und zwar dort, wo die Stromdichte am größten ist.

### Anwendung: Berührungssensoren

Eine mögliche Anwendung der Finger-Kapazität ist eine automatische Morsetaste mit Berührungssensoren. Verwendet wird ein Mikrocontroller ATtiny85 (**Bild 11**) zusammen mit zwei Touch-Sensoren aus einem UKW-Radio (**Bild 12**). In dem Radio wurden die Sensorströme mit Transistoren verstärkt, es wurde also auf den Hautwiderstand gesetzt. Dabei zeigte sich der Nachteil, dass es ab einer gewissen Verschmutzung zu Fehlfunktionen kommen konnte.

Wesentlich zuverlässiger ist eine Auswerte-



### Listing 1. Morsetaste

'ELbug mit Berührungssensoren

```
$regfile = "attiny85.dat"  
$crystal = 8000000  
$hwstack = 8  
$swstack = 4  
$framesize = 4  
dim n as byte
```

```
ddrB = &B00011010  
Portb = 0
```

```
Do  
  DDRB.3 = 0      ' B3 hochohmig  
  Portb.3 = 1     ' Pullup  
  waitus 10  
  if PINB.3 = 0 then ' nach 10 µs noch low?  
    portb.3 = 0  
    ddrb.3 = 1  
    for n = 1 to 50 ' Punkt ausgeben  
      PortB.1 = 1  
      waitms 1  
      portb.1 = 0
```

```
      waitms 1  
    next n  
    waitms 100  
  end if  
  portb.3=0      ' B3 entladen  
  ddrb.3 = 1  
  
  DDRB.4 = 0     ' B4 hochohmig  
  Portb.4 = 1    ' Pullup  
  waitus 10  
  if PINB.4 = 0 then ' nach 10 µs noch low?  
    portb.4 = 0  
    ddrb.4 = 1  
    for n = 1 to 150 ' Strich ausgeben  
      PortB.1 = 1  
      waitms 1  
      portb.1 = 0  
      waitms 1  
    next n  
    waitms 100  
  end if  
  portb.4=0     ' B4 entladen  
  ddrb.4 = 1  
  waitus 10  
Loop  
End
```

methode, bei der ein Mikrocontroller die Ladezeit des durch den Finger gebildeten Kondensators beobachtet (**Listing 1**). Ein Port (B3, B4) wird dazu zunächst als Ausgang low geschaltet und damit entladen. Dann wird der Port in den hochohmigen Zustand versetzt und zusätzlich der interne Pullup mit ungefähr 50 kΩ eingeschaltet. Nun beginnt die Aufladung des Sensorkondensators. Entscheidend ist, wann die Spannung am Port die Schwellenschwelle von rund  $\frac{1}{2} V_{CC}$  überschreitet. Für die gegebene Aufgabe reicht es, 10 µs zu warten und dann den Portzustand zu lesen. Wenn dann noch ein Low-Zustand erkannt wird, gilt die Taste als gedrückt. In dem Fall wird ein Rechtecksignal als Mithörton für den Piezolautsprecher an B0 erzeugt. **Bild 13** zeigt eine Situation bei zu schwacher Berührung. Die Impulse steigen in 10 µs noch bis auf 4 V, sodass die Taste als nicht gedrückt gilt. In der kommenden Elektor-Ausgabe, den „Summer Circuits“, zeige ich zwei weitere Anwendungsschaltungen: den Finger-Kondensator und die Zweifinger-Orgel. Bis dahin viel Spaß bei eigenen Experimenten! ◀

200621-02

### Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter [b.kainka@t-online.de](mailto:b.kainka@t-online.de) oder kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



### PASSENDES PRODUKT

➤ **B. Kainka, Elektronik-Grundlagen und Einsteiger-Projekte, Elektor 2020**  
**SKU 19036, E-Buch**  
[www.elektor.de/19036](http://www.elektor.de/19036)



## Aus dem Leben gegriffen

Der Prophet gilt nichts im Vaterland

Von Ilse Joostens (Belgien)

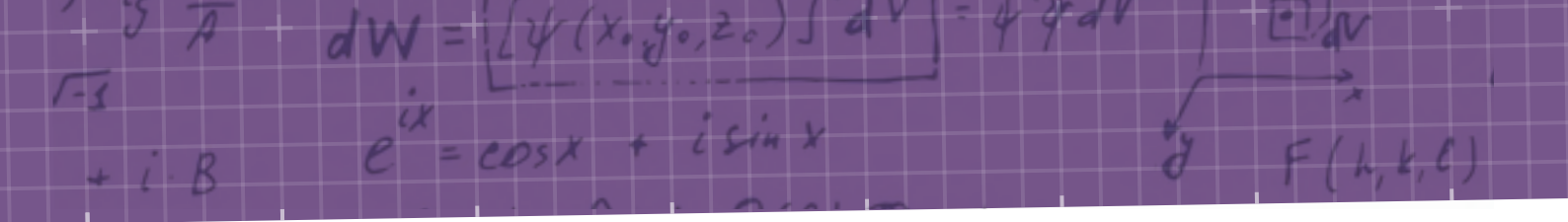
Als ich ein Teenager war, bestand meine Hauptbeschäftigung in der Hobbyelektronik darin, Audioverstärker, Audiogeräte und den dazugehörigen Discokram nachzubauen, gelegentlich auch mit der obligatorischen DIY-Laborstromversorgung und selbstgebauten Messgeräten. Viele Jahre später, als ich den Schritt in die Selbstständigkeit wagte, beschloss ich, den üblichen Weg zu verlassen und mich mehr auf Nischenprodukte mit Vintage-Bauteilen wie Nixie-Röhrenuhren zu konzentrieren, die sich immer noch großer Beliebtheit erfreuen. Damals war die Produktpalette noch recht begrenzt, es gab nur wenige ausländische Fachhändler, und ich hatte mich entschlossen, zu versuchen, den gesamten belgischen Markt zu beherrschen. Leider musste ich wenig später feststellen, dass es in Belgien anscheinend überhaupt keinen Markt für diese Art von eher technisch orientierten Produkten gab. Und ehe wir uns versahen, waren wir zu einem winzigen multinationalen Unternehmen geworden.

### Mit dem Hut in der Hand kommt man durch das ganze Ausland

Ich habe die Comics von Piet Pienter und Bert Bibber geliebt. Die Tatsache, dass die Technik in dieser Serie von Jozef Van Hove alias Pom, der im wirklichen Leben während des Zweiten Weltkriegs Diplomingenieur bei Blaupunkt in Deutschland war, eine wichtige Rolle spielt, hat offensichtlich dazu beigetragen. Wenn ich mich recht erinnere, hat eine der Charaktere einmal gesagt: „Mit einem Koffer voll Gold in der Hand kommt man durchs ganze Ausland.“ Nichts ist weniger wahr, denn vor allem mit etwas elementarer Höflichkeit, einer geschäftsmäßigen

Einstellung und Ehrlichkeit kann man in einem fremden Land punkten. Etwa im Jahr 2012 hatten wir eine ganze Reihe von Produkten mit Vintage-Technologie etabliert, waren aber auch unter den ersten, die Gehäuse und Erweiterungsplatinen für den Raspberry Pi anboten. Unsere Website war sowohl auf Niederländisch als auch auf Englisch verfügbar und der Verkauf erfolgte über unseren eigenen Webshop und eBay. Aber Bestellungen aus Belgien kamen einfach nicht... Es war ziemlich viel Arbeit, die Website in zwei Sprachen auf dem neuesten Stand zu halten, und nach einer Weile beschlossen wir, die niederländische Website kurzerhand einzustellen.





Seitdem haben wir unzählige ausländische Kunden bedient. Unsere Produkte wurden in mehr als 25 Ländern verkauft, darunter auch so weit entfernte Länder wie Australien, Hongkong und Japan. Im Laufe der Jahre haben wir viele gute Freunde und Partnerschaften gewonnen. In Belgien war das leider anders, und insgesamt haben wir vielleicht 20 Mal an Kunden in Belgien verkauft, und zwar meist an Bekannte und Verwandte. Und was noch schlimmer ist: Eine Zusammenarbeit mit Menschen in Belgien scheint überhaupt nicht möglich zu sein. Wir haben uns den Kopf über dieses Phänomen zerbrochen, aber

leider gibt es keine offensichtliche Erklärung dafür. Liegt es daran, dass Belgien im Vergleich zu seinen Nachbarländern in vielen Bereichen hinterherhinkt? Glauben die Belgier, dass ihre eigenen Produkte schlechter oder teurer sind als die aus dem Ausland? Angst vor dem Unbekannten? Sind sie neidisch? Oder ist es eine Art Technophobie? Wer weiß das schon? Offenbar sind wir nicht die Einzigen, denn ein bekannter belgischer Chocolatier und Hoflieferant hat dieses Phänomen einmal in einem Artikel in meiner Lieblings-Wirtschaftszeitung „De Tijd“ erwähnt. Tatsache ist aber, dass unsere Produkte, seit wir mit Elektor zusammenarbeiten, plötzlich ihren Weg aus den Niederlanden nach Belgien gefunden haben.

Die etwas überraschte Reaktion eines unserer wenigen belgischen Kunden war ebenfalls typisch. Er fand es fantastisch, aber auch schwer zu begreifen, dass jemand hier, ausgerechnet in Belgien, Erweiterungsplatinen und Gehäuse für den Raspberry Pi entwickelt. Er hatte das überhaupt nicht erwartet, wünschte uns viel Glück und meinte, wenn wir unser Geschäft wirklich vorantreiben wollten, sollten wir besser ins Ausland gehen.

### Der Südpoleffekt

Jeder Kunde ist wertvoll, und im Prinzip sollte es keinen großen Unterschied machen, ob er sich in Timbuktu oder gleich um die Ecke befindet. In der Praxis ist das nicht ganz so egal, vor allem was die Versanddienste angeht, und auch mit dem Zoll und den Steuerbehörden hat man manchmal Schwierigkeiten. Sobald eine Landesgrenze überschrit-



Photo: Jeremy Walter / Shutterstock.

ten wird, schießen die Versandgebühren in die Höhe. Die absolute Entfernung ist weniger wichtig, und ein kleines Paket ein paar Dutzend Kilometer weiter in ein Nachbarland zu versenden kostet fast so viel wie der Versand in die Vereinigten Staaten. Die Kunden bevorzugen möglichst niedrige Versandkosten, und dank des Wettbewerbs bleibt uns oft nichts anderes übrig, als einen Teil der Versandkosten selbst zu tragen, was die Gewinnspannen stark unter Druck setzt. Beim Versand ins außereuropäische Ausland kommen noch Zollformalitäten wie das berüchtigte CN23-Formular und die sogenannte

„Commercial Invoice“ hinzu. Abgesehen davon, dass mir die Liste der TARIC-Codes manchmal Kopfzerbrechen bereitet, ist das nicht mal sehr kompliziert, aber es bedeutet eine Menge zusätzlichen Verwaltungsaufwand und Zeit, die ich besser hätte verwenden können. Hinzu kommt, dass die Steuerbehörden Auslandsgespräche außerhalb der Bürozeiten ablehnen, da sie diese nicht als Geschäftsgespräche betrachten. Mein Gott, haben die noch nie etwas von der Existenz von Zeitzonen gehört?

Wenn Sie mit Ihren Aktivitäten ohne allzu große Schwierigkeiten Geld verdienen wollen, ist ein kleiner lokaler Markt eine gute Sache. In der Antarktis gibt es, genau wie in Belgien, keinen lokalen Markt, und Sie müssen alles aus dem Ausland kaufen und dorthin verkaufen. Das nennt man den Südpol-Effekt. Vergessen Sie den Nordpol, der schmilzt schon seit einiger Zeit dahin, und Sie werden dort sowieso nicht überleben. Ganz so schlimm ist es hier noch nicht. ◀

220198-02

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Anregungen zu diesem Artikel? Senden Sie eine E-Mail an die Elektor-Redaktion über [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

# Messgerät Pokit – die eierlegende Wollmilchsau?

## Klein und mit vielen Messmöglichkeiten



Von **Dr. Thomas Scherer**

Ein winziges Messgerät, das quasi alles kann? Das Pokit Meter verspricht, ein Multimeter, Oszilloskop, Spektrum-Analyser und Datenlogger zu sein. Ein per Bluetooth gekoppeltes Smartphone dient als Display. Was kann das Gerät wirklich und wie gut?

Mir hat es vor allem die Funktion als Messdatenlogger angetan, denn das ist, was in meiner Messgeräte-Sammlung noch fehlt – und was ich schon mehrfach hätte gebrauchen können. Also wollte ich dieses Teil gerne testen. Kaum hatte ich diesen Wunsch geäußert, stand auch schon der Mini-Karton in Form eines kleinen Papp-Würfels (**Bild 1**) auf meinem Tisch. Viel mehr, als hier zu sehen ist, steckt nicht in der Schachtel. Schaut man sich die Verpackung genauer an (**Bild 2**), ist man schon informiert darüber, mit was man es zu tun bekommt. Rechts in Bild 2c sieht man die komplette gelieferte Hardware. Dort ist der schon in Bild 1 sichtbare, knapp 18 mm hohe Puck mit

48 mm Durchmesser zu sehen. Links und rechts befinden sich zwei Klemmen und rechts oben eine winzige Merkwürdigkeit: die Ersatzsicherung (**Bild 3**). Dieses kleine SMD-Bauelement auf einer Mikroplatine sollte man ganz schnell mit Tesa irgendwo fixieren, bevor es weg ist. Ich habe die Sicherung sicherheitshalber auf die Bedienungsanleitung geklebt.

*Bild 1. Durchs Klarsichtfenster sieht man das eigentliche Messgerät.*





Bild 2. Auf einer Seite steht, dass man damit messen könne, und zwar alles und überall (a). Eine andere Seite strotzt vor Funktionen (b). Die geöffnete Verpackung (c) zeigt den Lieferumfang.

### Inbetriebnahme

**Bild 4** zeigt den kompletten Inhalt der Verpackung: Neben dem schon Erwähnten ist links oben eine praktische kleine Transport-Box mit leichtem Gelbstich zu sehen, in die man Pokit samt Klemmen verstaut, wenn man unterwegs ist oder es gerade nicht braucht. Den 8 x 22 cm großen Fetzen Papier links oben „Bedienungsanleitung“ zu nennen, wäre massiv übertrieben. Er enthält außer den technischen Daten lediglich den Hinweis, dass man eine App plus Smartphone unter iOS oder Android braucht, dass man eine Batterie in Form einer CR2032-Knopfzelle einlegen soll und dass sich der Ort für die Sicherung unterhalb dieser Batterie befindet. Weder Link

noch QR-Code – schade! Aber auch verständlich. Denn die App „pokitMeter“ findet man auch ohne die Hilfe von Sherlock Holmes im jeweiligen App-Store. Auf der Homepage [1] des Herstellers *Pokit Innovations* ist auch so gut wie keine weiterführende Info zu finden, auch wenn dort auf ein Forum verlinkt wird. Immerhin weiß ich jetzt, dass dieses Messgerät das Resultat einer erfolgreichen Crowdfunding-Kampagne ist, dass ich die schwarze aus einer Reihe von vier Farbversionen habe und dass es demnächst eine Pro-Variante geben soll. Wenn Sie sich jetzt fragen, wie man die beiden Klemmen an den Puck bekommt: Der rote und der schwarze Rand links und rechts lassen sich

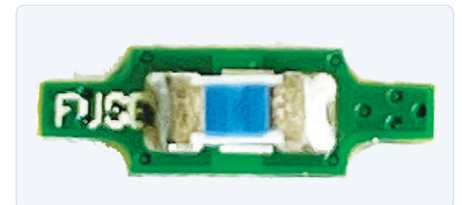


Bild 3. Nicht verlieren: Ersatz-SMD-Sicherung auf Miniplatine.

abklappen. Zieht man an diesen Teilen, rollen wie bei einem Staubsauger die Messschnüre aus. Das ist sehr praktisch, denn ein Druck auf einen unten eingelassenen Knopf zieht die



Bild 4. Der komplette Inhalt aus der Verpackung genommen.

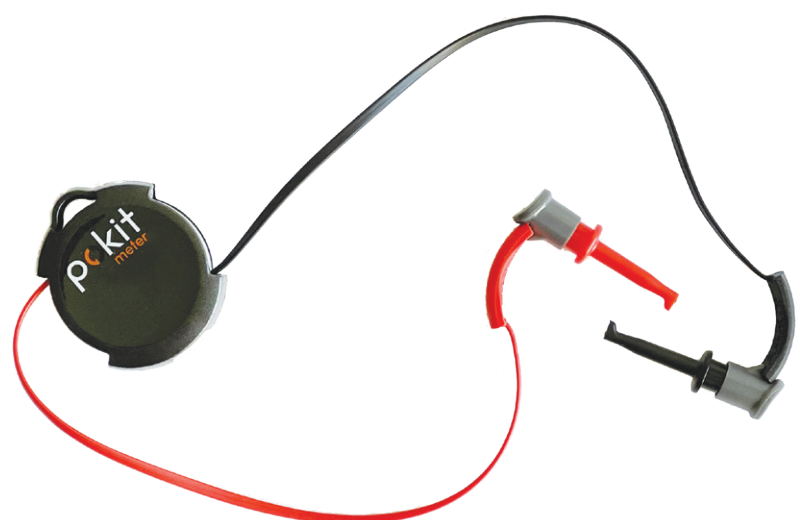
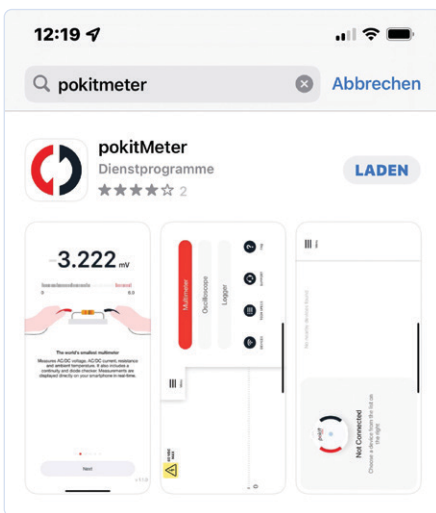


Bild 5. Sind die beiden Klemmen angesteckt, ist Pokit messbereit.



Bild 6. Entfernt man die Knopfzelle, kommt darunter ein isolierendes grünes Papier (a) zutage. Nach seiner Entfernung kommt die Batterie wieder an ihren Platz (b).



Schnüre per Federkraft wieder ein. Die beiden Plastikleile an den Schnüren sind mit einem spitzen Pin versehen, den man in die jeweilige Klemme steckt. Fertig und anwendungsbereit sieht das Ganze dann so aus wie in **Bild 5**. Mit den Klemmen ergibt sich eine brauchbare Spannweite von etwa 56 cm. Insgesamt macht diese Konstruktion einen sehr durchdachten Eindruck. Vor der Inbetriebnahme muss laut „Handbuch“ angeblich die Batterie eingelegt werden.

Bild 7. Die App pokitMeter, gefunden im Apple-App-Store. Hier haben die Messwerte noch drei Nachkommastellen...

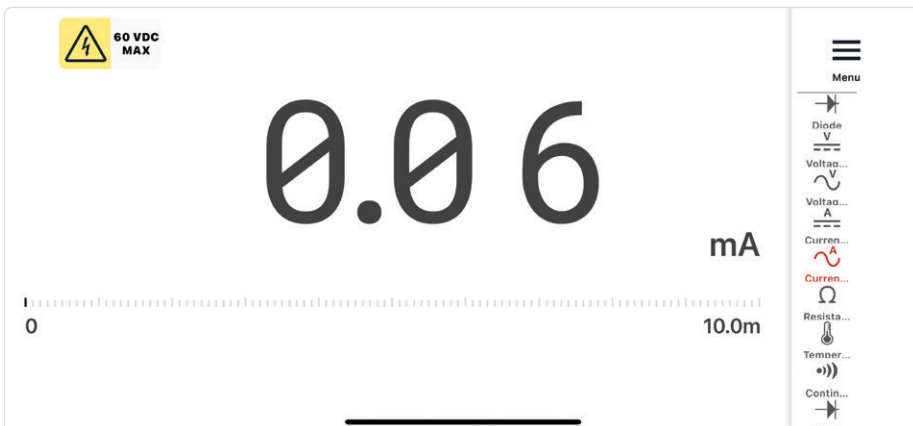


Bild 8. In der Firmwareversion 1.2 geht die Anzeige bei Wechselstrom nicht auf null. Links oben die Warnung vor höheren Spannungen als 60 V. Darstellungsfehler: Rechts sieht man, dass die Messmodi unten angeschnitten sind.

„Leider keine passende Knopfzelle dabei!“ war mein erster Gedanke. Doch der täuschte, denn jemand in der Produktion hatte die Batterie schon eingelegt, wie nach dem Öffnen des Batteriefachs klar war. Hätte ich jetzt frohlockt und laut Anleitung die App runtergeladen und ein Pairing via Bluetooth versucht, hätte ich wohl geflucht. Doch aufgrund der Diskrepanz von Anleitung und Realität war ich misstrauisch geworden und suchte nach einem Stückchen isolierender Plastikfolie, das verhindert, dass die Batterie schon auf dem Transportweg oder im Lager leergezogen wird. Zunächst war nichts Derartiges zu sehen, doch nach Entfernung der Knopfzelle wurde ein rundes Stück gewachstes Papier in grüner Farbe sichtbar (**Bild 6**), das diese Funktion übernimmt. Also Papier entfernt, App gesucht und geladen (**Bild 7**) – achten Sie auf die im Screenshot zu sehende Demo-Messung mit „3.222 mV“. Das sind doch eindeutig drei Nachkommastellen, oder etwa nicht? Vorab sei verraten: Das macht die App nicht – sie begnügt sich mit zwei Nachkommastellen. Diese Inkonsistenzen gaben wieder Wasser auf die Mühle meines Skeptiker-Mantras „Trau keinem Handbuch, weder gedruckt noch online!“ Ab jetzt gab es aber keine großen Überraschungen mehr. Die App führt logisch und schnell zum Pairing und schon kann man Pokit mit der App bedienen. Es mag zwar sinnvoll sein, aber mich hat es trotzdem enttäuscht: Die Darstellung bleibt konsequent im Querformat, egal wie man das Handy dreht. Zumindest für die Option Multimeter fände ich das Hochformat praktischer, denn so könnte man das Handy schön bequem in einer Hand halten.

### Auffallendes

Beim ersten Ausprobieren fiel auf, dass sich im Betrieb als Multimeter in manchen Messbereichen weder bei offenen noch bei kurzgeschlossenen Klemmen eine eindeutige Null ergibt. **Bild 8** zeigt den Bildschirm für die Messung von Wechselstrom mit der Anzeige von 60 µA bei offenen Klemmen. „Da muss also der Nullabgleich beim Umschalten der Messverfahren etwas buggy sein“, dachte ich mir. Dennoch maß das Gerät richtig. Zu den Messeigenschaften: Pokit kann den „echten Effektivwert“ von Wechselspannungen und Wechselströme erfassen. Sehr löblich. Und nach Vergleichsmessungen mit kalibrierten

Multimetern kann ich sagen: Das stimmt! Ein bisschen Rumspielen ergab, dass beim Umschalten von „Durchgangsprüfung“ auf einen anderen Modus oft der Piepston (bei Kurschluss der Klemmen) nicht abgeschaltet wurde. Man musste dazu diesen anderen Modus ein zweites Mal anwählen, dann war Ruhe und alles in bester Ordnung. Kein schwerwiegender Bug also, nur eine lästige Nachlässigkeit irgendwo im Code.

Im Multimeter-Modus ist Autoranging als Standard eingestellt. Man kann aber den Messbereich auch manuell wählen. Im Betrieb als Oszilloskop ergaben sich gelegentlich Redraw-Fehler des GUI. **Bild 9** zeigt, dass man die ausgewählte Zeitbasis manchmal kaum lesen kann. Als Oszilloskop wird entgegen üblichen Bräuchen nicht kontinuierlich gemessen und der volle Bildschirm überschrieben (oder horizontal gescrollt), sondern man muss jede Messung einzeln durch Tippen auf den weißen Kreis auf rotem Grund rechts starten – dann wird exakt ein Bildschirm gemessen und dargestellt. Als Option wäre das ja okay, aber das Fehlen von kontinuierlichen Messungen empfinde ich schon als (vermeidbares) Manko, das mit etwas Code behoben werden könnte. Auf der Messkurve kann man übrigens durch Antippen einen Cursor setzen (**Bild 10**) und sich die gemessene Amplitude anzeigen lassen – interessanterweise nun doch mit drei Nachkommastellen. Auch ein zweiter Cursor ist möglich. Beide sollen sich mit dem Finger auf der Kurve horizontal verschieben lassen, was aber zunächst nicht klappte. Wieder ein Bug? An dieser Stelle poppte eine Update-Anfrage auf. Nachschauen ergab, dass ich die Hardware-Version 1.6 mit Firmware-Version 1.2 hatte. Angeboten wurde Firmware 1.5. Nach dem Update verschwand bei mir der Redraw-Bug und der Cursor ließ sich jetzt wie vorgesehen verschieben. „Sie pflegen die Software also tatsächlich!“ war mein anerkennender Gedanke dazu. Tatsächlich ist noch etwas weitere Pflege nötig, denn das hängende Piepen beim Umschalten von Durchgang auf einen anderen Messparameter war immer noch da, wenn auch subjektiv nicht mehr so häufig.

### Genauigkeiten und Inkonsistenzen

Angeblich soll Pokit Spannungen und Ströme mit einer Genauigkeit von 1% messen – egal

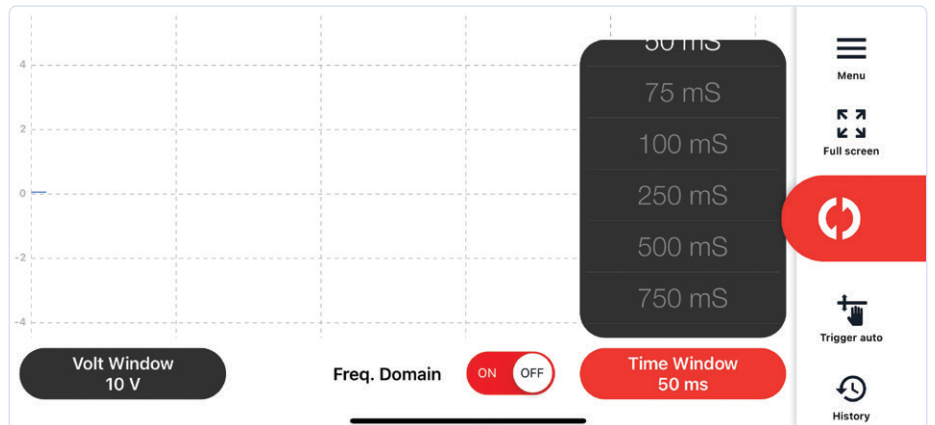


Bild 9. Auch bei der Auswahl der Zeitbasis im Oszilloskop-Modus kommt es gelegentlich zu Darstellungsfehlern.



Bild 10. Der Cursor kann erst ab FW 1.5 gut verschoben werden.

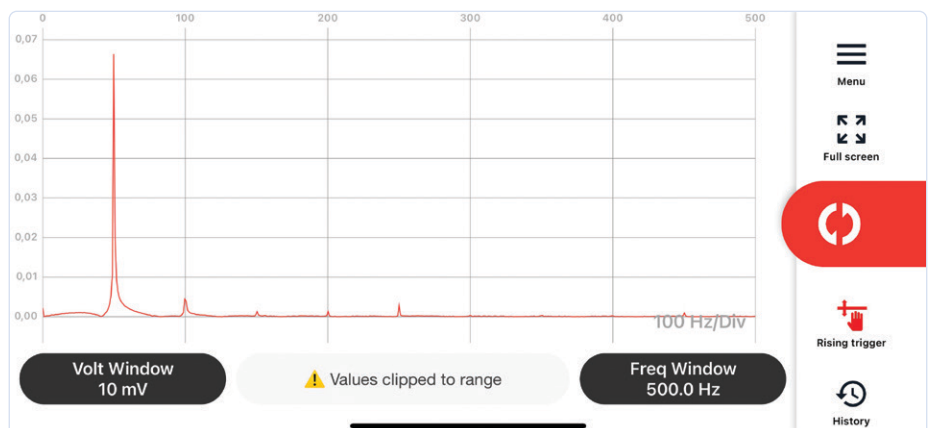


Bild 11. Spektrum des Netzbrumms an meinem Zeigefinger: Die Oberwellen bei den ganzzahligen Vielfachen von 50 Hz sind gut zu sehen. Wo da etwas geclippt hätte, erschließt sich nicht.

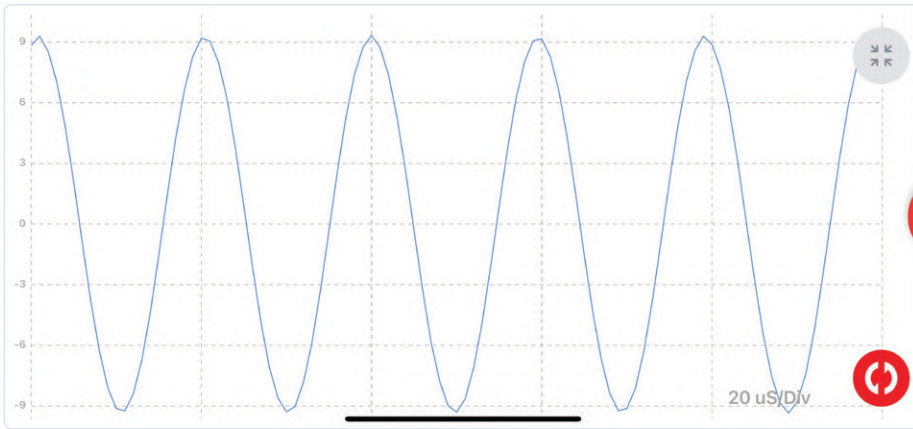


Bild 12. Ein 50-kHz-Sinus kann gerade noch akzeptabel mit einer Samplerate von 1 MS/s dargestellt werden. Hier eine Vollbildschirmdarstellung ohne Bedienelemente.

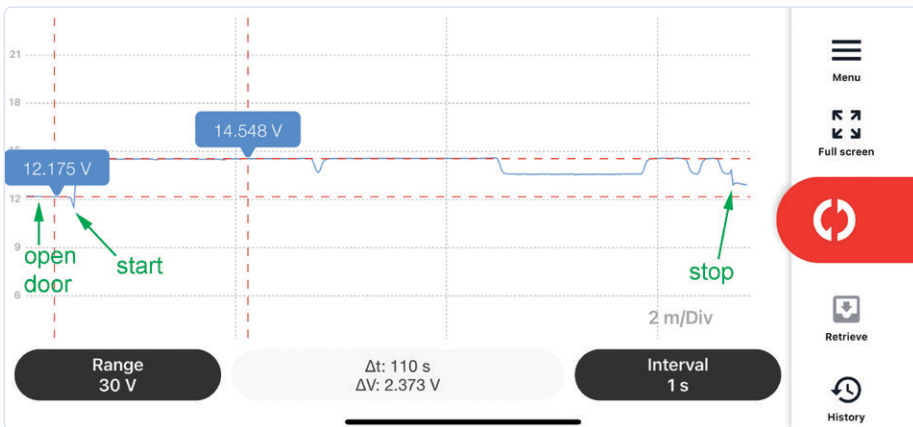


Bild 13. Plot des Datenloggers: Sieben Minuten im Leben meines Autoakkus im 1-s-Takt.

ob Gleich- oder Wechselwerte. Das kann ich durch Vergleichsmessungen bestätigen: Bei 1 V= und 5 V= betrug der Fehler jeweils  $\leq 0,2\%$  und bei 12 V= lag er sogar unter 0,1%. Die Ströme blieben ebenfalls etwa bei 0,2% Fehler. Bei den Wechselspannungen habe ich die Frequenzempfindlichkeit gemessen: Im Bereich bis 500 Hz lag der Fehler unter 1%. Bei 5 kHz hingegen stieg er auf gut 5% an. Messungen im oberen Bereich des Audiofrequenzbandes kann man also nicht wirklich trauen, doch das ist kein spezielles Manko von Pokit. Besseres kann man lediglich von professionellem Messequipment jenseits der 1-k€-Grenze erwarten. Alles in allem bin ich also mit der Messgenauigkeit sehr zufrieden.

Dass zu einem „richtigen Oszilloskop“ etliche Features fehlen, die sich per Software realisieren ließen – geschenkt. Mehr kann man von einem Gerät dieser Preisklasse nicht wirklich erwarten. Auch die Funktion als Spektrum-Analyser (Bild 11) ist eher rudimentär und eine Zugabe.

Nun zu der mir besonders wichtigen Funktion: Dem Logging von Messwerten über eine längere Zeitspanne. Schaut man auf die technischen Daten der Hardware, ist man vielleicht etwas enttäuscht: Nur 8.000 Messpunkte können aufgezeichnet werden. Das klingt nach nicht viel. Aber die einstellbaren Intervalle sind: 1/2/3/4/5/10/30 s und 1/5/10 m sowie 1 h. Das ergibt rechnerisch

eine maximale Zeitspanne von 8.000 s = 2:13:20 h:m:s bis 8.000 h = knapp über 333 d, also etwa 11 Monate. Pokit interessiert Mathe nicht. Es werden bei einem 1-s-Intervall kürzere 103 min (= 6.180 s) und bei einem 1-h-Intervall nur 8 Monate ( $\approx 5,850$  h) angezeigt. Bei den technischen Angaben auf der Webseite findet man dann „up to 6 months“. Nicht dass mir das nicht ausreichen würde. Zwar ist mehr immer besser, aber in meinen Fällen komme ich wirklich gut mit dem Gebotenen klar. Trotzdem ärgern die Inkonsistenzen, denn sie implizieren eine heiße Nadel und vielleicht auch jugendliche Hudelei bei der Dokumentation.

Und das war noch nicht alles: Wo die Webseite der Elektor-Shops [2] die Auflösung des integrierten A/D-Wandlers korrekt mit 12 bit angibt, gaukelt die in der App integrierte Seite mit den „TECH SPECS“ glatt 14 bit vor – was es garantiert nicht sind. Diese Seite birgt noch mehr Lustiges, denn dort wird das maximale Sample-Intervall für den Datenlogger mit „1 s - 1 day“ und die maximale Logzeit mit „1 year (at 6 hours/sample)“ angegeben – was alles nicht stimmt. Und überhaupt: Wie soll man bei einer Batteriebensdauer von etwa 6 Monaten länger als die auf der Webseite angegebenen 6 Monate aufzeichnen können?

Der Screenshot in Bild 12 zeigt ein Oszillogramm eines 50-kHz-Sinussignals bei maximaler zeitlicher Dehnung; man sieht, dass immerhin die angegebene Samplerate von 1 MS/s stimmt. Das heißt also, dass die Oszilloskopfunktion ausreichend ist, um Audiosignale darzustellen. Als „richtiges Oszilloskop“ müsste es zwar mindestens zehn Mal schneller sein und etliche Triggerfähigkeiten zusätzlich aufweisen; doch mit dem Pokit hat man immerhin ein Mini-Oszilloskop in der Tasche und kann so fernab aller Stromnetze Änderungen von Spannungen oder Strömen im Sub-HF-Bereich betrachten. Dafür ist es nützlich.

Testweise habe ich die 12-V-Bordspannung meines Prius direkt am Akku im 1-s-Takt geloggt, weil ich Toyota verdächtige, das nicht so ganz genau zu nehmen. Vorab zeigte sich noch ein Bug: Beim ersten Loggen werden falsche Werte (bei mir 7,5 V Akkuspannung) angezeigt. Abhilfe: Abbrechen und die Aufzeichnung nochmal starten. Beim zweiten Anlauf gibt es keine Probleme. Während des Loggens werden die einlaufenden Daten


übrigens noch nicht angezeigt, sondern erst, wenn man die Aufzeichnung stoppt. Das könnte man besser machen.

**Bild 13** zeigt, was sich bei der siebenminütigen Fahrt auf der Landstraße tat. Die Spannung schwankt zwischen 11,7 V und 14,55 V. Beim Anschließen von Pokit betrug die Bordspannung genau 12,23 V. Am Anfang sieht man einen schwachen Einbruch auf 12,175 V beim Einsteigen ins Auto, denn da zieht die hydraulische Pumpe zum Aufbau des Bremsdrucks beim Öffnen der Fahrertür für einige Sekunden bis zu 15 A. Beim Start geht die Spannung durch die Aktivierung der kompletten Elektronik kurz unter 12 V und dann wird der Akku geladen. Wenn der Akku voll ist, wird die Ladung beendet und die Akkuspannung sinkt auf etwa 13,4 V. Auch wenn die Ladeschlussspannung für meinen Geschmack etwas hoch ausfällt – die Kurve von Bild 13 ist ganz schön aufschlussreich. Für solche Einblicke ist der Logger also sehr gut geeignet und bei weitem genau genug.

## Fazit

Mit ein paar Einschränkungen beim GUI finde ich das Pokit Meter durchaus brauchbar und sein Geld – knapp unter 100 € - vollkommen wert. Die kleinen Inkonsistenzen nerven zwar, aber man kann damit leben. Das GUI ist auch in Version 1.5 immer noch suboptimal, aber da wohl noch mehr Updates kommen werden, kann man wohl berechtigt auf stetige Verbesserung hoffen. Was ich nicht verstehen kann, ist der Bug mit dem Piepston – der hätte echt auffallen müssen. Zumindest in der App für die iDevices von Apple steckt er nach wie vor drin. Und warum kann man im Oszilloskop die Zeitbasis nicht bis aufs Minimum von 20  $\mu$ s/division einstellen? Schluss ist da bei 1 ms pro Screen = 200  $\mu$ s/division. Die 20  $\mu$ s pro horizontalem Teilstrich erreicht man nur durch Zoomen mit der Zweifingergeste. Die Hardware kann es, doch die Software ist etwas hinterher beziehungsweise umständlicher als nötig.

Insgesamt finde ich die Hardware gut, vor allem unterwegs bin ich für meine Zwecke gut bedient. Wie ich schon vermutete, gefällt mir der Betrieb als Datalogger am besten. Etwas mehr Speicherplatz wäre nicht schlecht, das Ganze geht aber für mich so in Ordnung. Höhere Sampleraten brauche ich nicht unbedingt, da diese vermutlich schwer auf den Stromverbrauch gehen würden. Pokit Innovations hat in meinen Augen bei der Hardware vieles richtig gemacht, aber bei der Qualität des GUI hapert es noch und man kann nur auf Besserung hoffen. Dafür ist die Bedienung wirklich intuitiv und ein Elektroniker braucht dafür kein Handbuch – das es in der Form gar nicht gibt, denn der Zettel schweigt sich bezüglich Bedienung aus. Bin ich auf die Pro-Version gespannt? Überraschenderweise gar nicht so sehr, denn mir gefällt die Form, die Aufgeräumtheit und die Kleinheit des Pokit Meters sehr gut. Ein Gehäuse im deutlich größeren Pen-Stil würde mich nicht wirklich reizen. Aber die Geschmäcker sind da wohl verschieden. Pokit Meter ist sicherlich keine Wollmilchsau mit integrierter Eiproduktion, aber zum

Wollmilchferkel reicht es ganz sicher. Es ergänzt meinen über die Jahrzehnte gewachsenen Messgerätepark prima. Für Studenten und Anfänger ist es sogar so umfassend, dass sie zunächst kein anderes Messgerät brauchen werden, denn mit diesem kleinen Ding kann man wirklich viel anfangen. 

210615-02

## Sie haben Fragen oder Kommentare?

Bei technischen Fragen können Sie sich gern an die Elektor-Redaktion wenden unter der E-Mail-Adresse [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



## PASSENDES PRODUKT

- **Pokit Meter – Portables Multimeter, Oszilloskop und Logger (SKU 19854)**  
[www.elektor.de/19854](http://www.elektor.de/19854)



## WEBLINKS

[1] Webseite von Pokit Innovations: [www.pokitinnovations.com](http://www.pokitinnovations.com)

[2] Pokit Meter im Elektor-Shop: [www.elektor.de/pokit-meter-portable-multimeter-oscilloscope-and-logger](http://www.elektor.de/pokit-meter-portable-multimeter-oscilloscope-and-logger)

# Der Elektor Store

## Nie teuer, immer überraschend!

Der Elektor Store hat sich vom Community-Store für Elektor-eigene Produkte wie Bücher, Zeitschriften, Bausätze und Module zu einem umfassenden Webshop entwickelt, der einen großen Wert auf überraschende Elektronik legt. Wir bieten die Produkte an, von denen wir selbst

begeistert sind oder die wir einfach ausprobieren wollen. Wenn Sie einen Produktvorschlag haben, sind wir hier erreichbar ([sale@elektor.com](mailto:sale@elektor.com)).  
Unsere Bedingungen:  
**Nie teuer, immer überraschend!**

### Miniware DS213 4-ch Mini Oszilloskop (15 MHz)

Preis: 249,00 €

**Mitgliederpreis: 224,10 €**

 [www.elektor.de/20206](http://www.elektor.de/20206)



### PiKVM v3 KVM over IP für Raspberry Pi 4 (vormontiert)

Preis: 319,00 €

**Mitgliederpreis: 287,10 €**

 [www.elektor.de/20199](http://www.elektor.de/20199)





Waveshare PicoGo Mobiler Roboter  
für Raspberry Pi Pico



Preis: 67,95 €

**Mitgliederpreis: 61,16 €**

[www.elektor.de/20196](http://www.elektor.de/20196)

Ersa i-CON NANO  
Lötstation (80 W)

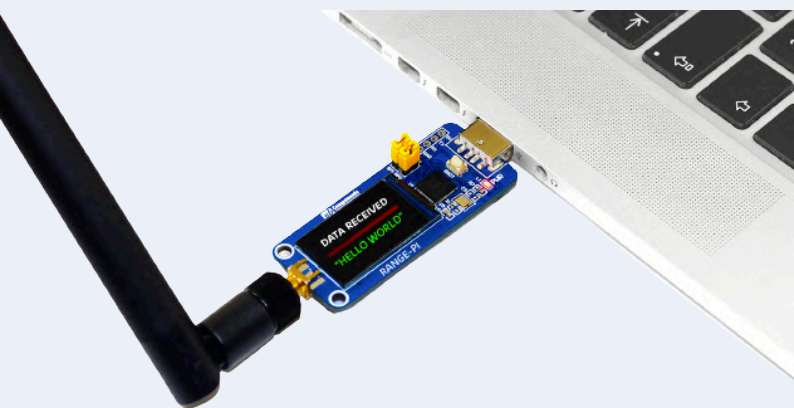


Preis: 329,00 €

**Mitgliederpreis: 296,10 €**

[www.elektor.de/20187](http://www.elektor.de/20187)

RangePi – LoRa USB-Dongle  
basierend auf RP2040 (EU868)



Preis: 54,95 €

**Mitgliederpreis: 49,46 €**

[www.elektor.de/20156](http://www.elektor.de/20156)

Andonstar AD203  
Handheld  
Digital-Mikroskop  
mit 4" LCD-  
Bildschirm



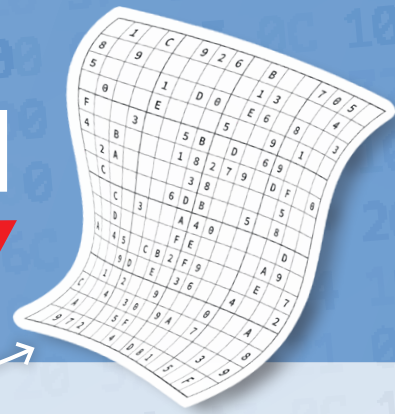
Preis: 69,95 €

**Mitgliederpreis: 62,96 €**

[www.elektor.de/20146](http://www.elektor.de/20146)

# Hexadoku

Sudoku für Elektroniker



Wie in jeder Ausgabe finden Sie auch in diesem Heft unser ganz spezielles Sudoku. PC, Oszilloskop und Lötkolben können sich erholen, während Ihre kleinen grauen Zellen auf Hochtouren arbeiten. Wenn Sie alle Hex-Ziffern in den grauen Kästchen herausgefunden haben, sollten Sie uns diese gleich zumailen – denn hier warten fünf Elektor-Gutscheine!

Die Regeln dieses Rätsels sind ganz einfach zu verstehen: Bei einem Hexadoku werden die Hexadezimalzahlen 0 bis F verwendet, was für Elektroniker und Programmierer ja durchaus passend ist. Füllen Sie das Diagramm mit seinen 16 x 16 Kästchen so aus, dass alle Hexadezimalzahlen von 0 bis F (also 0 bis 9 und A bis F) in jeder Reihe, jeder Spalte und in jedem Fach mit 4 x 4 Kästchen (markiert durch die dickeren schwarzen Linien) **genau einmal** vorkommen. Einige Zahlen sind bereits eingetragen, was die Ausgangssituation des Rätsels bestimmt. Wer das Rätsel löst – sprich die Zahlen in den grauen Kästchen herausfindet – kann einen von fünf Gutscheinen im Wert von 50 Euro gewinnen!



## EINSENDEN

Schicken Sie die Lösung (die Zahlen in den grauen Kästchen) per E-Mail, Fax oder Post an:

**Elektor Redaktion**  
Kackertstr. 10  
52072 Aachen

Fax: 0241 / 955 09-013

E-Mail: [hexadoku@elektor.de](mailto:hexadoku@elektor.de)

Als Betreff bitte nur die Ziffern der Lösung angeben!

Einsendeschluss ist der  
15. August 2022.

## DIE GEWINNER DES HEXADOKUS AUS DER AUSGABE MAI/JUNI STEHEN FEST!

Die richtige Lösung ist: **oFC3D**

Aus allen Einsendungen mit der richtigen Lösung haben wir die fünf Gewinner eines Elektor-Wertgutscheins über je 50 € gezogen.

Die Namen der Gewinner werden unter [www.elektormagazine.de/hexadoku](http://www.elektormagazine.de/hexadoku) bekannt gegeben.

Herzlichen Glückwunsch!

	6			C			E	9	3	0	5				4
8	B								A		5	6		0	E
E	5					D	8					7			A
F						A	0			8				2	
		E					3		4	F		8	B		0
				6			E								3
		5	0	B	C		F			7		9			
		4	8	0		2		C	D		F	7	A		
	4	2	3		B		9		F		6	E	A		
				C		8			0	A	B	3	2		
B							A					4			
D		1	E		3	C		7						4	
	9				2			F	E						6
2			A					3	5					7	9
3	F		1	9		7								E	C
4			6	A	F		C	8			7				B

C	D	7	9	1	6	3	A	5	F	4	E	B	2	8	0
4	6	A	B	D	5	E	7	0	8	3	2	1	C	F	9
2	5	8	0	F	4	9	C	7	6	B	1	A	D	E	3
E	F	1	3	8	0	2	B	A	9	C	D	7	4	5	6
D	E	B	5	2	7	F	6	4	1	0	8	9	A	3	C
8	0	3	A	E	9	1	5	6	2	F	C	D	B	4	7
1	2	C	4	A	8	B	0	D	3	7	9	F	5	6	E
F	7	9	6	3	C	4	D	B	A	E	5	8	0	1	2
3	1	D	E	4	A	7	2	8	5	9	B	0	6	C	F
0	4	F	C	5	D	6	8	2	7	A	3	E	1	9	B
A	B	2	8	9	E	0	1	C	D	6	F	5	3	7	4
5	9	6	7	B	F	C	3	E	0	1	4	2	8	D	A
6	8	E	2	0	1	A	4	F	C	D	7	3	9	B	5
7	A	0	F	C	3	D	9	1	B	5	6	4	E	2	8
9	C	5	D	7	B	8	E	3	4	2	A	6	F	0	1
B	3	4	1	6	2	5	F	9	E	8	0	C	7	A	D

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Mitarbeiter der in der Unternehmensgruppe Elektor International Media B.V. zusammengeschlossenen Verlage und deren Angehörige sind von der Teilnahme ausgeschlossen.

15.–18. November 2022

# Driving sustainable progress.

Die Zukunft schon heute erleben.  
Auf der electronica 2022.

**Save the date!**



# electronica fast forward is back!



New Logo, New Concept

Do you want to see the best of  
the best start-ups and scale-ups  
within the electronics scene?

Visit us at booth  
B4.440 to get to  
know them.