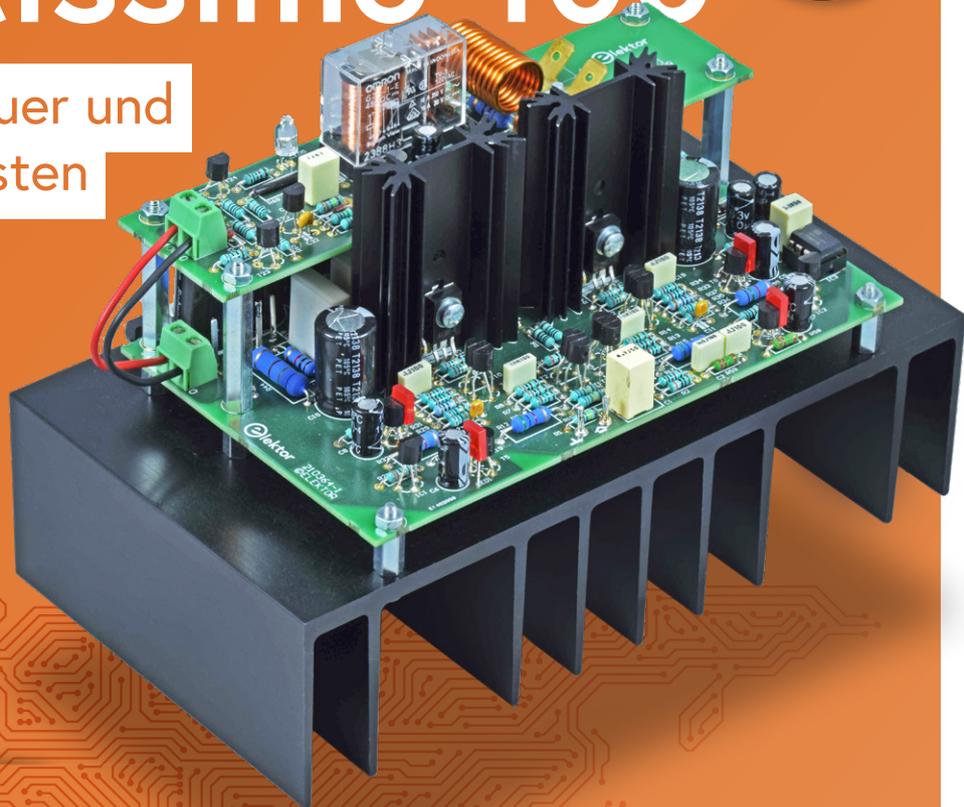


## High-End-Verstärker **Fortissimo-100**

Projekt für Selbstbauer und Audio-Enthusiasten



S. 6



Besuchen Sie uns

 **electronica**  
15. bis 18. November 2022  
Halle B4.440 Messe München



+ Sonderausgabe

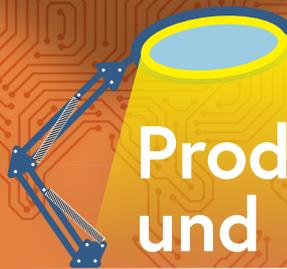
### WEEF 2022

Ethics in Action  
Einsichten zur Ethik im Business

S. 24

### Platinen entwerfen

Tipps aus der Praxis

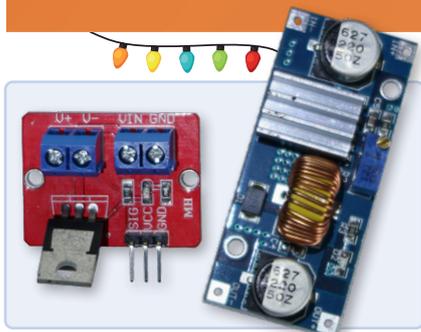


IM FOKUS

## Produktion und Bauteile

S. 56

### Hat Covid einen Innovationsschub in der Elektronik ausgelöst?



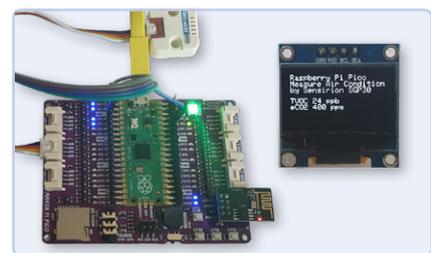
LED-Girlanden mit ESP32 und FreeRTOS  
Blinken und variable Helligkeit

S. 38



FM/DAB+ Radio  
Das Beste aus beiden Welten

S. 46



RP2040-basierte Luftgütemessung  
Daten visualisieren mit ThingSpeak

S. 120





# UNSER SORTIMENT VON TECHNIKERN FÜR TECHNIKER

The best part of your project: [www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)

## Nur das Beste für Sie – von über 1.500 Markenherstellern

Unsere Produktmanager sind seit vielen Jahren bei reichelt tätig und kennen die Anforderungen unserer Kunden. Sie stellen ein breites Spektrum an Qualitätsprodukten zusammen, optimal auf den Bedarf in Forschung & Entwicklung, Instandhaltung, IT-Infrastruktur und Kleinserienproduktion sowie auf Maker zugeschnitten.

## STRUCTURE ENERGY: ENERGIE EFFIZIENT STEuern

### WLAN 3-Phasen-Energiezähler und Schutzsteuerung

Überwachen Sie den Verbrauch von Haushaltsgeräten,  
Stromkreisen und Bürogeräten individuell



Bestell-Nr.:  
SHELLY 3EM

114,<sup>95</sup>

Shelly

### Solarpanel Jackery SolarSaga 100, faltbar, 100 W

Autarke Stromversorgung für unterwegs und zu Hause



Bestell-Nr.:  
JACKERY SOL 100

329,<sup>99</sup>

Jackery

SMART. OPTIMAL. PRAKTISCH.

## ENERGIE EFFIZIENT STEUERN

Jetzt entdecken ▶  
<https://rch.lt/energy>



NEU: KATALOG 01 | 2023

## ONLINE & GEDRUCKT

- mehr als 130.000 Artikel aus Elektronik & IT
- mehr als 10.000 Neuheiten
- über 2.000 Seiten

Jetzt anfordern ▶  
[www.reichelt.de/katalog](http://www.reichelt.de/katalog)



■ Top Preis-Leistungs-Verhältnis

■ über 130.000 ausgesuchte Produkte

■ zuverlässige Lieferung – aus Deutschland in alle Welt

[www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)

Bestellhotline: +49 (0)4422 955-333

 **reichelt**  
elektronik – The best part of your project

Es gelten die gesetzlichen Widerrufsregelungen. Alle angegebenen Preise in € inklusive der gesetzlichen MwSt., zzgl. Versandkosten für den gesamten Warenkorb. Es gelten ausschließlich unsere AGB (unter [www.reichelt.de/agb](http://www.reichelt.de/agb), im Katalog oder auf Anforderung). Abbildungen ähnlich. Druckfehler, Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten. reichelt elektronik GmbH & Co. KG, Elektronikring 1, 26452 Sande, Tel.: +49 (0)4422 955-333

TAGESPREISE! Preisstand: 18.10. 2022

#### 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

Margriet Debeij (Leitung)  
Mobil: +31 6 380 780 29  
E-Mail: [margriet.debeij@elektor.com](mailto:margriet.debeij@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



# High-End aus dem Elektor-Labor

Zum zweiten Mal in diesem Jahr halten Sie eine extra-starke Ausgabe mit 140 Seiten in Ihren Händen. Jumbo-Größe hat auch unser Titelprojekt: Der High-End-Verstärker *Fortissimo-100*, eine vollsymmetrische Audio-Endstufe mit 100/190 Watt. Mit seinen glänzenden Daten reiht sich der Verstärker in die Riege ähnlicher Elektor-Entwürfe ein, die wir in vielen Jahrzehnten veröffentlicht haben. Bei der Entwicklung hat sich Ton Giesberts aus unserem Labor vom *Medium Power Amp* inspirieren lassen, ein Design von 1990, das immer noch nachgebaut wird. Und ich bin mir jetzt schon sicher: Auch zum *Fortissimo* werden wir in 30 Jahren noch Fragen und Wünsche erhalten, zum Beispiel auf [elektor-labs.com](http://elektor-labs.com) ;-).

Mit der langen Stückliste passt der Verstärker zum Schwerpunktthema unseres Heftes - Produktion und Komponenten. Dass wir diesen Bereich der Elektronik traditionell im November abdecken, ist natürlich kein Zufall. Vom 15. bis zum 18. November findet die *electronica* in München statt, laut Eigenwerbung die „Weltleitmesse für Elektronik“. Sicher keine Übertreibung: In nicht weniger als 14 Messehallen werden Bauteile, Boards und Module präsentiert, dazu kommen Software-Tools und Werkzeuge für Entwicklung und Produktion. Einen Vorgeschmack erhalten Sie unserem Industry-Bereich ab Seite 56.

Im Herzen der *electronica* wird auch Elektor zu finden sein (Halle B4.440). Wie immer zeigen wir interessante Produkte und Bücher, dazu werden Elektor-Redakteure am Stand über die neuesten Trends berichten. Zusammen mit der Messe München veranstalten wir auch wieder den Fast Forward Award für Start-ups. In diesem Jahr haben wir aktiv die innovativsten Jung-Unternehmen für Sie ausgesucht. Das Teilnehmerfeld reicht vom vierbeinigen Roboter bis zur autonomen Rolle - mehr dazu finden Sie auf Seite 95!

Last not least möchte ich Sie auch zum „World Ethical Electronics Forum“ am ersten Messtag einladen (Halle B3). Zusammen mit der Zeitschrift *Elektronikpraxis* gibt Elektor der Ethik in der Elektronik nun schon zum zweiten Mal eine Bühne. Zwischen 10.00 Uhr und 16.00 Uhr werden namhafte Experten der Branche an der „Ethic TalkShow“ unserer Moderatoren Stuart Cording und Johann Wiesböck teilnehmen; Fragen und Kommentare sind willkommen! Ab Seite 106 möchten wir Sie schon einmal auf dieses immer wichtiger werdende Thema einstimmen.

Wir sehen uns in München!

## — Unser Team —



**Chefredakteur:** Jens Nickel (v.i.S.d.P.) ([redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de))  
**Redaktion:** Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Brian T. Williams  
**Elektor-Labor:** Mathias Claußen, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens  
**Grafik & Layout:** Harmen Heida, Giel Dols, Sylvia Sopamena, Patrick Wilders  
**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.“

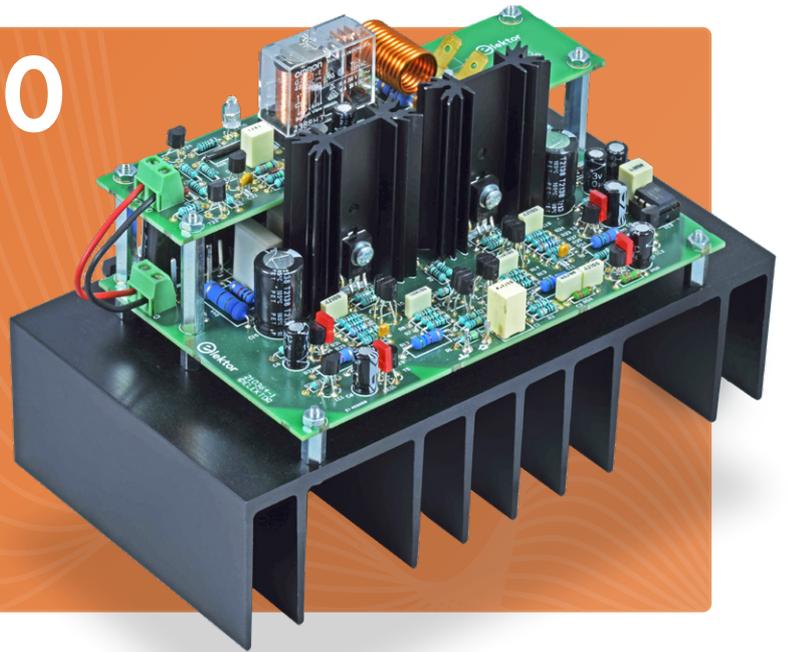


Elektor ist Mitglied von FIPP, einer Organisation, die „über fast 100 Jahre gewachsen ist und Medienbesitzer und Content-Ersteller aus der ganzen Welt umfasst“.

## Fortissimo-100

High-End-Verstärker

6



## Rubriken

- 3 Impressum**
- 21 FOKUS Von Entwicklern für Entwickler**  
Frequenzbestimmung unbekannter Schwingkreise und Quarze
- 43 Aller Anfang ...**  
Es geht weiter mit den Z-Dioden
- 52 Aus dem Leben gegriffen**  
Electronica obscura
- 92 Betreten verboten**  
Herr Karenovics entdeckt das Theremin
- 95 electronica fast forward 2022 - powered by Elektor**  
Line-up und Zeitplan
- 134 FOKUS Bemerkenswerte Bauteile**  
Polyfuses
- 138 Hexadoku**  
Sudoku für Elektroniker

- 114 Filter-Software**  
Design-Tools für analoge Filter
- 118 TV-B-Gone!**  
... oder zumindest: B-OFF
- 130 Kickstart zu Python 3**  
Beispiel-Kapitel: Digitale Bildverarbeitung und Wand-Bibliothek

## Industry electronica

- 56 FOKUS Hat Covid einen Innovationsschub im Ingenieurwesen ausgelöst?**  
Innovative Bauteile, Komponenten und Lösungen 2022
- 61 FOKUS Ersä i-CON TRACE**  
Die IoT-Lötstation für Praktiker
- 64 FOKUS Infografik**  
Fakten und Zahlen
- 66 Was wollen wir mit all dieser Rechenleistung machen?**
- 68 Ansteuerung des E-Paper-Displays von Ynvisible**
- 72 Immer innovativ mit InnoFaith**  
F&A mit Walter Arkesteijn
- 74 Industrielle Automatisierung**  
Einfache und skalierbare IoT-Nachrüstungen
- 78 Das Oszilloskop der nächsten Generation für schnellere Einblicke**  
Rohde & Schwarz präsentiert die R&S MXO 4 Serie
- 80 Linear-Steckverbinder mit niedrigem Profil lösen Aufgaben im Multi-Signal-Datenmanagement**

## Hintergrund

- 24 FOKUS Platinen entwerfen**
- 28 FOKUS Löten - na und?**  
Ein genauerer Blick auf die heutige Löttechnik
- 35 FOKUS Ideal Diode Controller**  
„Dioden“ mit geringer Verlustleistung
- 104 FOKUS Das interne Rauschen eines ICs abschätzen**  
Mit einer einfachen Methode



## Tipps aus der Praxis Platinen entwerfen

## FM/DAB+ Empfänger

Das Beste aus  
beiden Welten

46



- 82 **Smart - Innovativ - Kosteneffizient**  
GateMate-FPGAs entwickelt und hergestellt in Deutschland
- 84 **Vom Layout zum Prototypen an einem Tag**
- 86 **Tools für die kostengünstige Sensorentwicklung**

- 98 **Senderpeilung**  
Verlorene Funk-Wettersensoren wiederfinden
- 120 **RP2040-basierte Luftgütemessung**

## WEEF 2022

- 106 **Ethics in Action**  
Powered by WEEF
- 108 **Ohne Ethik kein nachhaltiges Geschäft**  
Ein Interview mit Professor Stefan Heinemann
- 112 **Der WEEF-Index 2023**

## Projekte

- 6 **High-End-Verstärker Fortissimo-100**  
Vollsymmetrische Audio-Endstufe mit 100/190 W
- 32 **Bluetooth-Garagentorsteuerung mit niedriger Latenz**  
Steuerung mit kurzen BLE-Nachrichten über ein Smartphone
- 38 **LED-Girlanden mit ESP32 und FreeRTOS**  
Blinken und variable Helligkeit
- 46 **FM/DAB+ Empfänger**  
Das Beste aus beiden Welten
- 54 **Software-Fehlern drahtlos auf der Spur**  
Zirkularer Puffer und Webserver auf dem ESP32
- 89 **Isolierter Analogausgang für Arduino Uno**

## Vorschau

### Elektor Januar/Februar 2023

Das nächste Heft ist wie immer randvoll gefüllt mit Schaltungsprojekten, Grundlagen sowie Tipps und Tricks für Elektroniker. Schwerpunkt der nächsten Ausgabe ist Audio- und Videoelektronik.

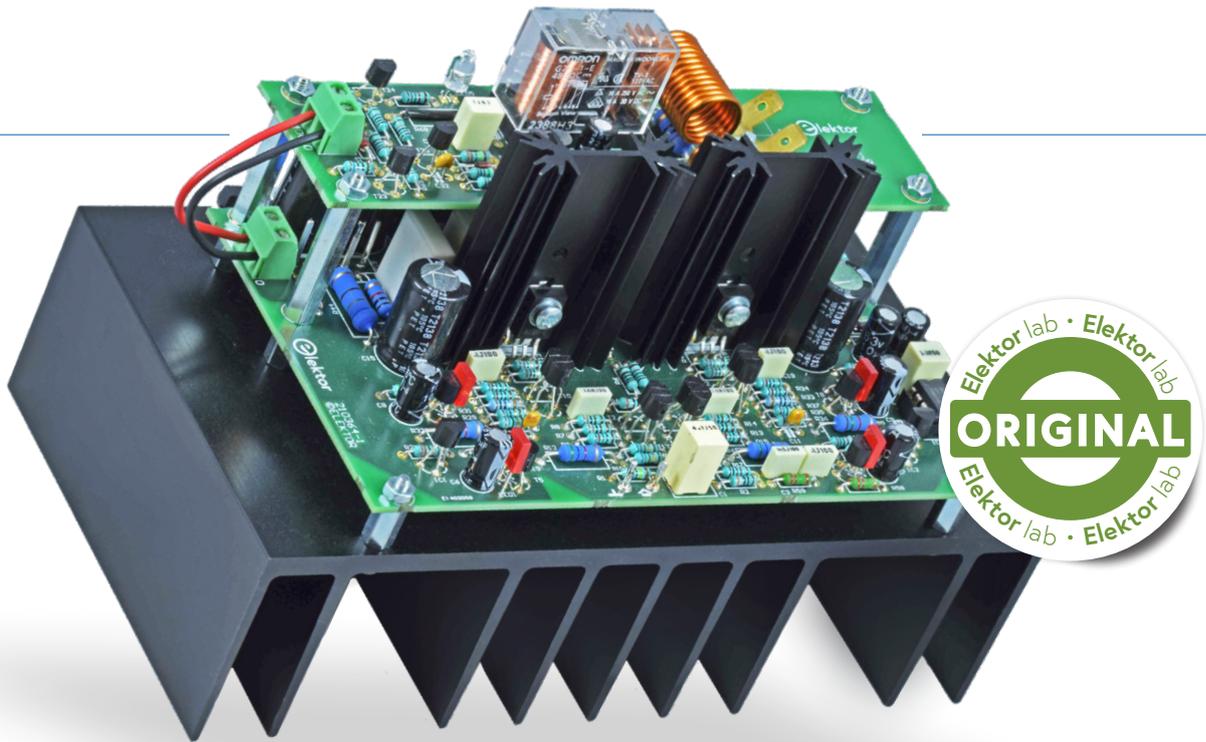
#### Aus dem Inhalt:

- > Video-Ausgabe mit Mikrocontrollern
- > ESP32-Kamera
- > 32-Ω-Kopfhörerverstärker
- > Workshop: ESP32-Framework für Audioentwicklung
- > Spacebee-Satelliten für IoT-Kommunikation
- > Röhrenverstärker
- > ChipTweaker für Arme
- > USB-Zufallszahlengenerator
- > ATX-Netzteil für Raspberry Pi

#### Und vieles mehr!

Elektor Januar/Februar 2023 erscheint am 5. Januar 2023.  
Änderungen vorbehalten.





# High-End-Verstärker Fortissimo-100

Vollsymmetrische Audio-Endstufe mit 100/190 W

Beim Entwickeln dieses High-End-Verstärkers ließ ich mich von einem über 30 Jahre alten, aber sehr guten Elektor-Konzept inspirieren: dem Medium Power Amp [1] vom Oktober 1990. Dieser Verstärker kann sich dank seines ausgetüftelten, vollsymmetrischen Konzepts auch heute noch sehen lassen und gehört nach wie vor in die Kategorie „High-End“. Die Frage ist, ob sich diese Schaltung wirklich noch weiter verbessern lässt. Meine Antwort ist der Fortissimo, also ein klares Ja!

## Grundsätzliches

**Bild 1** zeigt den Leistungsteil der alten (hellgelb) und der neuen (hellblau) Endstufe. Auch die neue Schaltung arbeitet im bewährten Klasse-AB-Modus, doch ist die Ansteuerung nun mit einer symmetrischen Bootstrap-Konfiguration realisiert. Die wichtigen Unterschiede sind rot gezeichnet. Rechts im Bild sorgen die Kondensatoren C15 zwischen der Verbindung R44/R45 und dem Ausgang sowie C16 zwischen der Verbindung R46/R47 und dem Ausgang dafür, dass der Spannungshub an den Basen von T17 und T18 deutlich höher ist. Der wichtigste Vorteil: Die Leistungsstufe um die Endtransistoren kann höher angesteuert werden und folglich ist die maximale Ausgangsspannung gut 2 V höher, ohne dass dafür höhere Versorgungsspannungen für die Spannungs-

verstärkerstufen verwendet werden müssen.

Interessanterweise fehlt die einstellbare Vorspannung (die auch für den Ruhestrom zuständig ist) in der neuen Schaltung. Stattdessen sind mit T19B bis T22B hier schlicht vier Dioden in Serie geschaltet, deren Spannungsabfall den vier BE-Strecken der Schaltung um T17...T22A entspricht. Die Bezeichnung der Dioden verrät es schon: Es handelt sich dabei um die in den vier Leistungstransistoren T19 bis T22 eingebauten zusätzlichen Dioden. Da diese Dioden thermisch sehr gut gekoppelt sind, ergibt sich ein recht stabiler Ruhestrom bei simpelster Beschaltung. Der thermischen Kopplung verdanken die komplementären Transistoren NJL3281D (NPN) und NJL1302D (PNP) [2] die Bezeichnung „ThermalTrak“ – eine feine Sache. Für optimale Leistung muss der Verstärker mit einer geregelten, symmetrischen Spannung von  $\pm 40$  V versorgt werden. An  $8 \Omega$  beträgt die maximale Leistung bei Verzerrungen von  $\leq 1\%$  nahezu 100 W und an  $4 \Omega$  fast das Doppelte (siehe **Kasten Technische Daten**).

Außerdem: Die Platine ist doppelseitig und durchkontaktiert, was den Aufbau des Verstärkers erleichtert. Die sechs Leistungstransistoren der Endstufe befinden sich zur Hälfte unter der Platine, welche mitsamt Schutzschaltung auf den Kühlkörper geschraubt wird, so dass ein

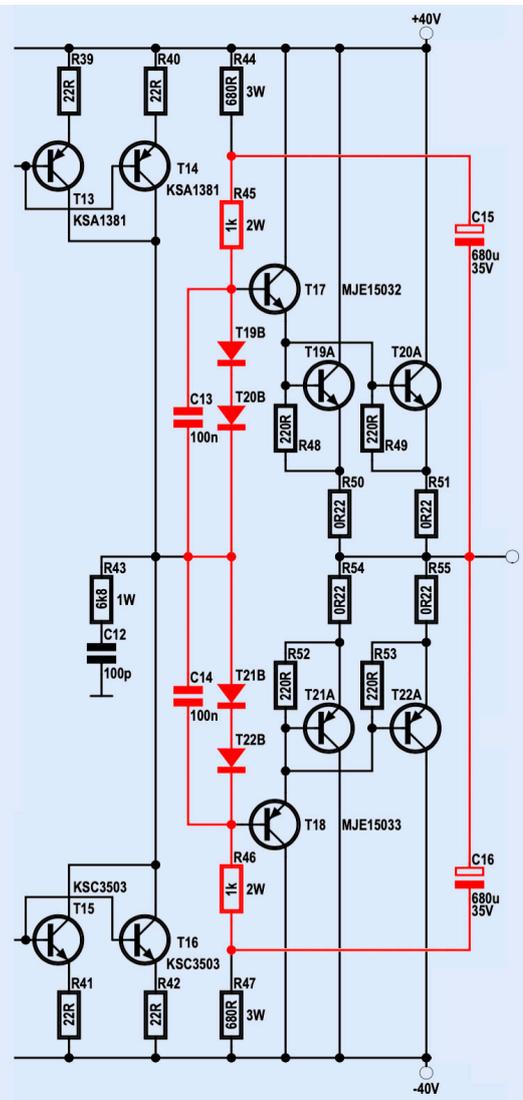
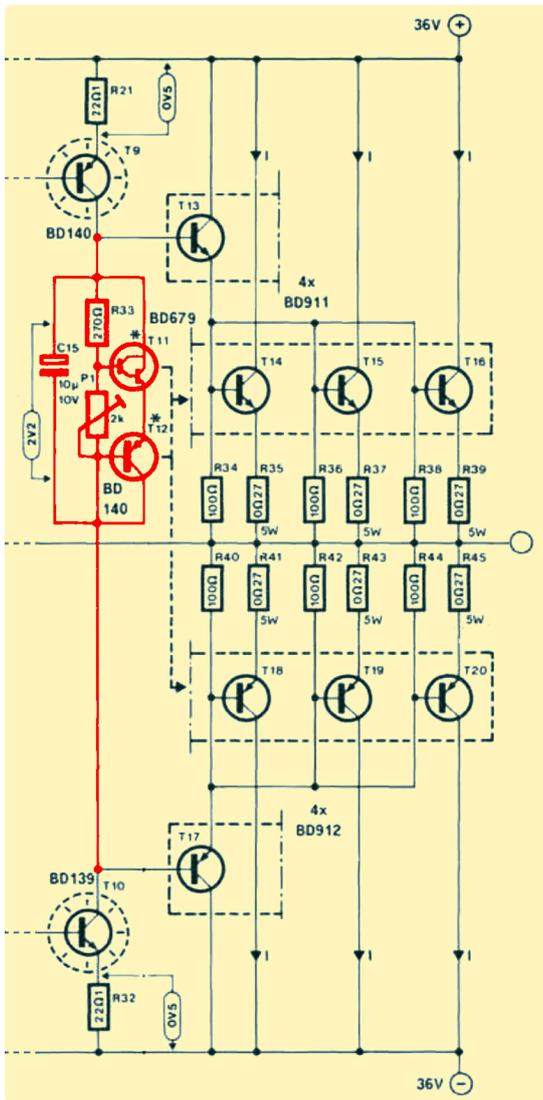


Bild 1. Unterschiede zwischen alt (links) und neu (rechts): Ruhestromeinstellung und symmetrisches Bootstrapping.

kompaktes Modul (siehe Bild 2) entsteht. Dafür braucht der Kühlkörper sechs 3-mm-Löcher für die Leistungstransistoren und weitere sechs 3-mm-Löcher für Abstandsbolzen. Bei Verwendung des Kühlkörpers SK53-100-SA von Fischer Elektronik muss man keine M3-Innengewinde schneiden, denn die erforderlichen zwölf Löcher passen genau zwischen die Kühlrippen. Es gibt sogar noch etwas Spielraum für Ungenauigkeiten. Die mechanischen Arbeiten sind wahrscheinlich das Aufwändigste beim Bau des Verstärkers. Dazu später mehr.

### Schaltungskonzept

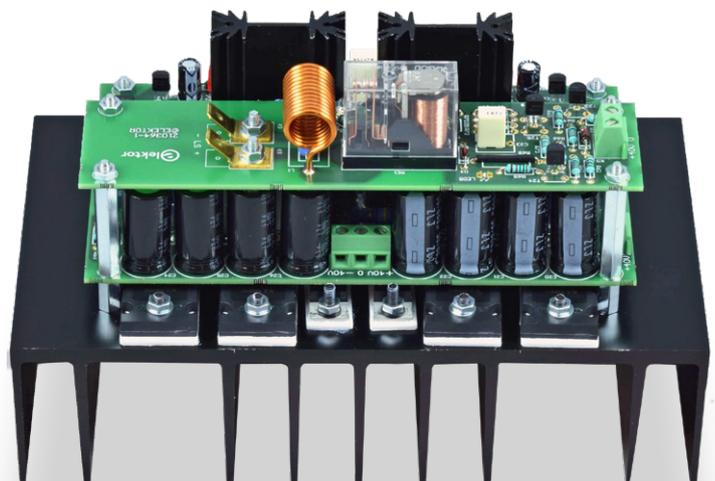
Die Schaltung des eigentlichen Verstärkers (Bild 3) gliedert sich in drei Bereiche: Auf die Eingangsstufe mit den symmetrischen Differenzverstärkern folgt die sogenannte Push-Pull- oder Gegentaktstufe zur Ansteuerung der Ausgangsstufe als letzter Bereich. Hinzu kommen die Funktionen der Schutzschaltung. Auf all diese Aspekte wird nachfolgend genauer eingegangen.

#### Differenzverstärker

Die Differenzverstärker um T1/T2, T3/T4, T9/T10 und T11/T12 sind mit den alten, aber guten BC546B/BC556B-Transistoren realisiert. Diese Typen haben eine höhere

Transitfrequenz als modernere Typen wie etwa das Paar KSC1845/KSA992. Ein Ersatz von BC546B und BC556B durch andere Typen kann problematisch werden, denn deren Eigenschaften beeinflussen nicht nur die Stabilität, sondern sie haben auch oft eine andere Pinbelegung. Es wären dann andere Netzwerke zur Frequenzkompensation und möglicherweise auch ein anderes Layout notwendig.

Bild 2. So sieht das fertig aufgebaute, kompakte Verstärkermodul aus.



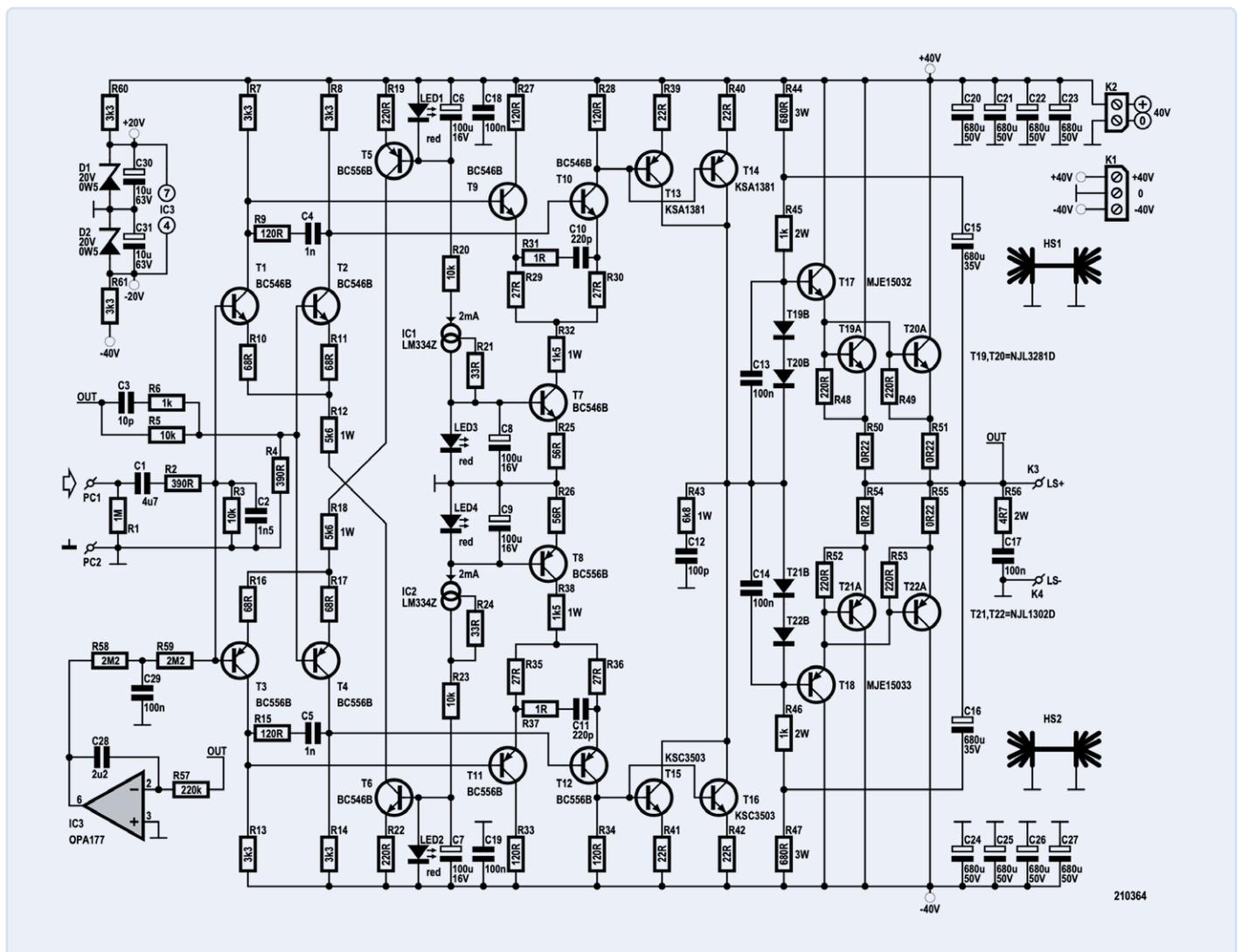
Die dicht an einem Transistor platzierten rechteckigen, roten LEDs liefern eine temperaturkompensierte Spannung für die Stromquellen der Differenzverstärker. Um die Verlustleistung der Stromquellentransistoren T5... T8 zu begrenzen, sind 1-W-Widerstände (R12, R18, R32 und R38) in ihre Kollektorleitung geschaltet. Die beiden integrierten Stromquellen IC1 und IC2 stellen den Strom durch die LEDs mit den Widerständen R21 und R24 auf stabile 2 mA ein. Die maximale Spannung der integrierten Stromquellen reicht zwar gerade für die hier vorkommenden 40 V, doch zur Sicherheit reduzieren die beiden in Serie geschalteten 10-k $\Omega$ -Widerstände R20 und R23 die anliegenden Spannungen auf weniger als die Hälfte. Die Verstärkung wird durch die Gegenkopplung mit R4 und R5 auf den Faktor 26,6 eingestellt. Durch den kleinen Spannungsabfall an R2 sinkt die effektive Gesamtverstärkung auf etwa 25,6. C2 schwächt zusammen mit R2 und R3 hochfrequente Signale ab, die der Verstärker nicht

verarbeiten kann. Die maximale Eingangsspannung für eine Ausgangsspannung ohne Clipping liegt bei knapp über 1 V. C3 und R6 in der Gegenkopplung sorgen für HF-Stabilität.

Zwischen den Kollektoren der ersten Differenzverstärker um T1/T2 und T3/T4 befinden sind aus Stabilitätsgründen die RC-Glieder R9/C4 und R15/C5 zur Frequenzkompensation. Die folgenden Differenzverstärker um T9/T10 und T11/T12 sorgen für etwas zusätzliche Verstärkung. Ihre Hauptaufgabe ist die niederohmige Ansteuerung der folgenden Gegentakt-Verstärkerstufe um T13...T16. Die Netzwerke R31/C10 und R37/C11 dienen ebenfalls der Frequenzkompensation.

Damit die Kollektor-Emitter-Spannungen der beiden Transistoren im zweiten Differenzverstärker gleich sind, wurden die beiden Kollektorwiderstände R27 und R33 hinzugefügt. Die Spannungsdifferenz zwischen R27 und R28 beziehungsweise R33 und R34 sollte  $\leq 0,35$  V betra-

Bild 3. Die Schaltung des Fortissimo-Verstärkerteils ist vollsymmetrisch ausgeführt.



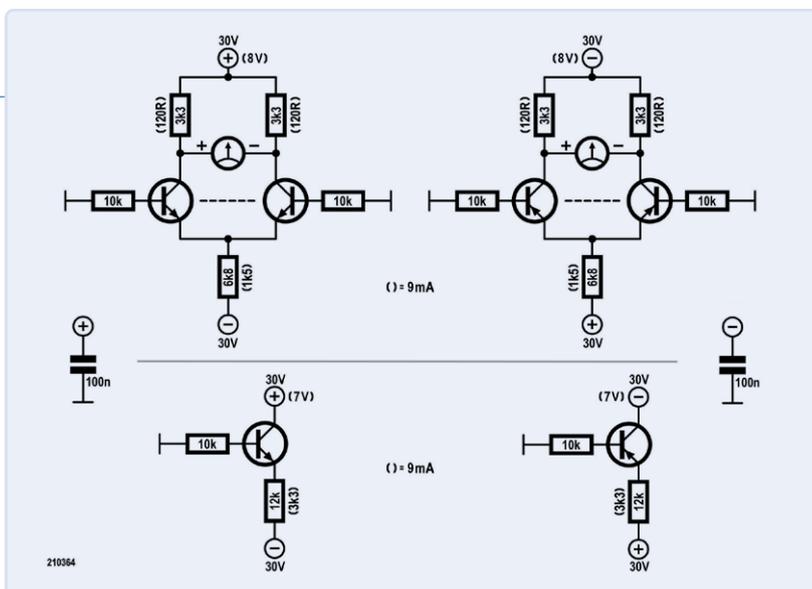
gen (besser  $\leq 0,1$  V), da sonst  $U_{BE}$  und  $h_{FE}$  der Transistoren des ersten Differenzverstärkers nicht gleich genug ausfallen. Trotz enger Positionierung sind die Transistorpaare nicht so gut thermisch gekoppelt wie bei einem Doppeltransistor (nicht im selben Gehäuse auf demselben Chip). Folglich wird man Abweichungen messen können. Diese Transistoren kann man leider nicht fertig „gepaart“ kaufen. Daher misst man zuerst deren Eigenschaften und wählt dann gut übereinstimmende Paare aus. Eine  $h_{FE}$ -Messung etwa mit einem Multimeter ist hier aber nicht ausreichend.  $U_{BE}$  sollte sich bei gleicher Kollektor-Emitter-Spannung und gleichem Kollektorstrom um nur  $\leq 1$  mV unterscheiden! Wenn die  $U_{BE}$  des NPN-sich von der des PNP-Paars unterscheidet, ist das kein Problem. Im **Kasten Transistorauswahl** am Ende des Artikels wird beschrieben, wie man die Paarung mit Hilfe der Testschaltung von **Bild 4** durchführt. Die Messungen hängen stark von der Umgebungstemperatur ab!

### Push-Pull-Stufe

T10 und T12 steuern eine Push-Pull-Stufe. Mit T13||T14 (PNP) und T15||T16 (NPN) sind jeweils zwei Treibertransistorpaare im TO-126- beziehungsweise SOT-32-Gehäuse parallelgeschaltet, um den Kollektorstrom pro Transistor auch bei maximaler Ansteuerung im linearen Bereich zu halten und durch den so verdoppelten Treiberstrom die Ansteuerung bezüglich der parasitären Kapazität der Ausgangsstufe zu verbessern. Zum Einsatz kommen hier die komplementären Typen KSC3503 und KSA1381 von Fairchild (jetzt ON Semiconductor). Sie eignen sich sehr gut für diesen Zweck, denn sie vertragen mit  $V_{CEO} = 300$  V nicht nur eine hohe Spannung, sondern beeindrucken mit einer sehr geringen Rückwirkungskapazität  $C_{re} = 1,8$  pF (NPN) beziehungsweise 2,3 pF (PNP) und mit einer linearen Verstärkung bei Kollektorströmen von bis zu 50 mA (maximal 100 mA).

Die Transistoren sind in den  $h_{FE}$ -Klassen C, D, E und F erhältlich. ON Semiconductor als aktueller Hersteller kann den NPN-Typ KSC3503 aber leider nur in D ( $h_{FE} = 60...120$ ) und den PNP-Typ KSA1381 nur in E ( $h_{FE} = 100...200$ ) liefern. Ideal wäre, wenn NPN- und PNP-Typ die gleiche Klasse hätten. Die Emitter-Widerstände R39/R40 und R41/R42 kompensieren daher einen großen Teil der unterschiedlichen Stromverstärkung. Der Strom jedes der vier Transistoren wird auf etwa 13 mA eingestellt. Dieser Wert passt zur Aufgabe, und zudem ist hier die Transitfrequenz am höchsten.

Ohne Signal beträgt die Verlustleistung pro Transistor etwa 510 mW. Zur Abfuhr der Wärme werden je zwei parallele Transistoren auf einen Kühlkörper geschraubt. Bei HS1 und HS2 handelt es sich um den Typ SK104 von Fischer Elektronik, der bereits Löcher für die Gehäuseformen TO-220, SOT-32 oder TO-3P aufweist. Das TO-126-Gehäuse passt ebenfalls. Der Wärmewiderstand



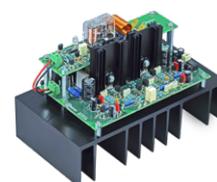
des 50,8 mm langen SK104 beträgt 9 K/W, weshalb seine Temperatur etwa 10 K über der Umgebungstemperatur liegen dürfte, wenn darauf zwei Transistoren montiert sind. Das Silizium der Transistoren wird aufgrund des Wärmewiderstands des Gehäuses von 17,8 K/W nochmal um 9 K wärmer. Obwohl die Kühlkörper auf Massepotential liegen, ist keine zusätzliche elektrische Isolierung der Transistoren erforderlich. Etwas Wärmeleitpaste genügt, denn sie haben ein Vollkunststoffgehäuse.

### Ausgangsstufe

Die Transistoren T17...T22A bilden die Ausgangsstufe. Es handelt sich um eine komplementäre Darlington-Konfiguration für Klasse-AB-Betrieb. Die meisten analogen Leistungsverstärker wie auch der erwähnte Medium Power Amp stellen den Ruhestrom der Leistungstransistoren durch einen auf demselben Kühlkörper montierten Transistor ein, der in einer Z-Dioden ähnlichen Schaltung ( $U_{BE}$ -Spannungsvervielfachung) temperaturstabilisierend wirkt.

Anders beim Fortissimo: Hier besitzt jeder der vier Leistungstransistoren T19...T22 eine galvanisch getrennte Diode im Gehäuse, die im Schaltplan als T19B...T22B auftauchen. Diese Dioden messen die Sperrschichttemperatur des Leistungstransistors recht direkt, weshalb sie sich besser eignen, den Ruhestrom der Leistungstransistoren einzustellen. Bei vier Leistungstransistoren stehen vier Dioden zur Verfügung, die schlicht in Reihe geschaltet werden können, um alle vier wirksamen Basis-Emitter-Spannungen der Leistungstransistoren T19A||T20A + T21A||T22A und deren Treiber T17 + T18 zu kompensieren. Zwar ist diese Methode besser, aber wegen der indirekten Messung von T17 und T18 nicht perfekt, was eine temperaturabhängige Drift des Ruhestroms nicht komplett verhindert. Immerhin verhindert diese Schaltung aber ein thermisches „Durchgehen“. Der Strom durch die vier Dioden wird durch die vier Leistungswiderstände R44...R47 auf etwa 23 mA eingestellt. Die Widerstände sind gleichzeitig Teil einer symmetrischen Bootstrap-Schaltung mit C15 und C16, durch die der Strom durch die Dioden fast unabhängig vom Spannungshub ist. Das Bootstrapping erlaubt zudem einen höheren Ausgangs-

▲  
Bild 4. Die Testschaltungen zum Vermessen der Kleinsignaltransistoren zwecks Ermittlung möglichst gleicher Paare können auf einem Steckbrett aufgebaut werden.



spannungshub. Bei vollem Hub werden der Spannungsabfall an den Widerständen R39...R42 sowie die Sättigungsspannungen von T13...T16 weitgehend durch die Spannungen an den Dioden T19B...T22B kompensiert. Wichtig: Der Ruhestrom der Leistungstransistoren hängt vom Strom durch die Widerstände R44...R47 ab. Daher muss die  $\pm 40$ -V-Stromversorgung geregelt sein und darf nicht allzu sehr abweichen. Ein Netzteil lediglich aus Transformator mit Brückengleichrichter und Sieb-Elkos ist für diesen Verstärker definitiv nicht zu empfehlen! Dann hätte der Ruhestrom nämlich eine kleine Welligkeit, die Versorgungsspannung würde sich mit der Last, der Ausgangsleistung und der Netzspannung ändern, was die Eigenschaften des Verstärkers verschlechtern würde. Heute gibt es aber hervorragende Schaltnetzteile wie zum Beispiel der Typ SMPS800RE, die speziell für Audio-Endstufen entwickelt wurden. Viele andere Netzteile sind für Klasse-D-Verstärker ausgelegt und haben eine Ausgangsspannung, die mit der Netzspannung schwankt. Diese sind nicht geeignet! Ein geeignetes Schaltnetzteil muss eine stabile symmetrische Ausgangsspannung von  $\pm 40$  V liefern, die bei den vorkommenden Spitzenströmen auch unter niederohmiger Last von beispielsweise  $4 \Omega$  nicht einbricht.

Die Spannung an R45 und R46 beträgt jeweils konstant 23,4 V und ist nahezu unabhängig vom Ausgangssignal. Die Verlustleistung liegt pro Widerstand etwa bei 550 mW. Die Gleichspannung an R44 und R47 beträgt etwa 15,9 V, doch wegen der Bootstrap-Kondensatoren C15 und C16 werden sie auch mit der Wechselspannung des Ausgangssignals beaufschlagt. Der Effektivwert einer Sinuswelle mit einem Gleichspannungsoffset errechnet sich nach:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{(U_{\text{DC}}^2 + U_{\text{ACpeak}}^2 / 2)}$$

Beträgt die Gleichspannung  $U_{\text{DC}} = 15,9$  V und die Spitzenspannung des Sinussignals  $U_{\text{ACpeak}} = 39$  V, so resultiert eine Verlustleistung von 1,5 W an  $680 \Omega$ . Bei völliger Übersteuerung des Verstärkers mit maximalem Clipping hat man es mit Rechteckwellen mit Spitzenspannungen zu tun, die fast der Versorgungsspannung entsprechen. Die Verlustleistung an R44 und R47 beträgt dann jeweils 2,6 W. Dies sollte zwar niemals passieren, doch um ein Durchbrennen der Widerstände zu verhindern, sind hierfür 3-W-Versionen vorgesehen. Für R45 und R46 reichen 2-W-Exemplare. Die Dimensionierung der Verlustleistung dieser Leistungswiderstände hängt auch von der Umgebungstemperatur ab.

### DC-Korrektur

Im Idealfall wäre  $h_{\text{FE}}$  bei beiden Eingangs-Transistorpaaren gleich, wodurch sich die Basisströme von T1 und T3 gegenseitig kompensieren würden. Doch selbst wenn  $h_{\text{FE}}$  der beiden Transistorpaare gleich ist, unterscheidet sich die an LED1 und LED2 abfallende Spannung minimal,



denn nicht nur Transistoren, sondern auch LEDs und Widerstände haben Toleranzen. Dies führt zu Abweichungen bei der Gleichspannungseinstellung, und selbst kleine Unterschiede werden verstärkt. Messungen ergaben, dass die Verstärkung eines BC556B größer ist als die eines BC546B - aber selbst das hängt noch vom Hersteller ab. Eine Differenz der Basisströme von NPN- und PNP-Transistoren erzeugt eine unterschiedliche Offset-Spannung an R3 und R4, da deren Werte mit  $10 \text{ k}\Omega$  und  $390 \Omega$  stark differieren. Der Spannungsabfall an R4 kann vernachlässigt werden. Der Offset wird nachfolgend verstärkt und muss daher kompensiert werden. Hierzu dient der Opamp IC3. Der gewählte Typ OPA177 selbst weist einen sehr geringen Eingangsoffset auf. Der Opamp misst in seiner Funktion als Integrator den Gleichspannungsanteil der Ausgangsspannung via R57. Die Ausgangsspannung des Verstärkers addiert einen gegengekoppelten, sehr kleinen Gleichstrom zu R3 über R58/R59/C29, was den Offset auf nahezu 0 V korrigiert. C29 filtert restliche Wechselspannungsanteile von IC3 aus. Auch der durch unterschiedliche Basis-Emitter-Spannungen der Eingangstransistoren verursachte Offset wird kompensiert. Wegen all der Toleranzen ist die Spannung an R3 höchstwahrscheinlich nicht exakt 0,0 V, selbst wenn die Ausgangsspannung nahe an 0 V liegt. In der Praxis wird es so einen kleinen Offset über R3 geben. Im Prototyp betrug die Offsetspannung an R3 etwa 0,7 mV.

Die symmetrische  $\pm 20$ -V-Stromversorgung für den Operationsverstärker wird über die Widerstände R60 und R61 und die Z-Dioden D1 und D2 von der  $\pm 40$ -V-Versorgung abgeleitet.

### Schutz

Für den Fall, dass am Ausgang doch eine nennenswerte Gleichspannung anliegt oder sonstige Störungen auftreten, ist es sinnvoll, den angeschlossenen Lautsprecher abzutrennen. **Bild 5** zeigt die Schutzschaltung. T26 und T27 sind Teil der DC-Erkennung. Nach einer Einschaltverzögerung aktivieren T24 und T25 über ein Relais den Lautsprecher. Eine größere positive Gleichspannung an R75 erzeugt einen Kollektorstrom in T26, der C33 entlädt: T25 schaltet das Relais ab. Eine entsprechend negative Gleichspannung an R75 erzeugt einen Emitterstrom in T27, der C33 entlädt: T25 schaltet das Relais ab. R75 und C34 bilden ein Tiefpassfilter, weshalb niedrige Audiofrequenzen selbst bei maximalem Ausgangspegel nicht als DC missinterpretiert werden.

Damit beim Ein- und Ausschalten des Verstärkers der Lautsprecher abgetrennt wird, schaltet T23 über T24 das Relais ab, wenn die Versorgungsspannung zu gering ist. R65 sorgt für eine kleine Hysterese: Bei  $\geq 36,7$  V wird ein- und bei  $\leq 36,5$  V ausgeschaltet. Diese Spannungen werden durch die Z-Diode D3 vorgegeben. Der Strom durch D3 wird bei 40 V mit R62 + R63 auf  $\approx 5$  mA einge-

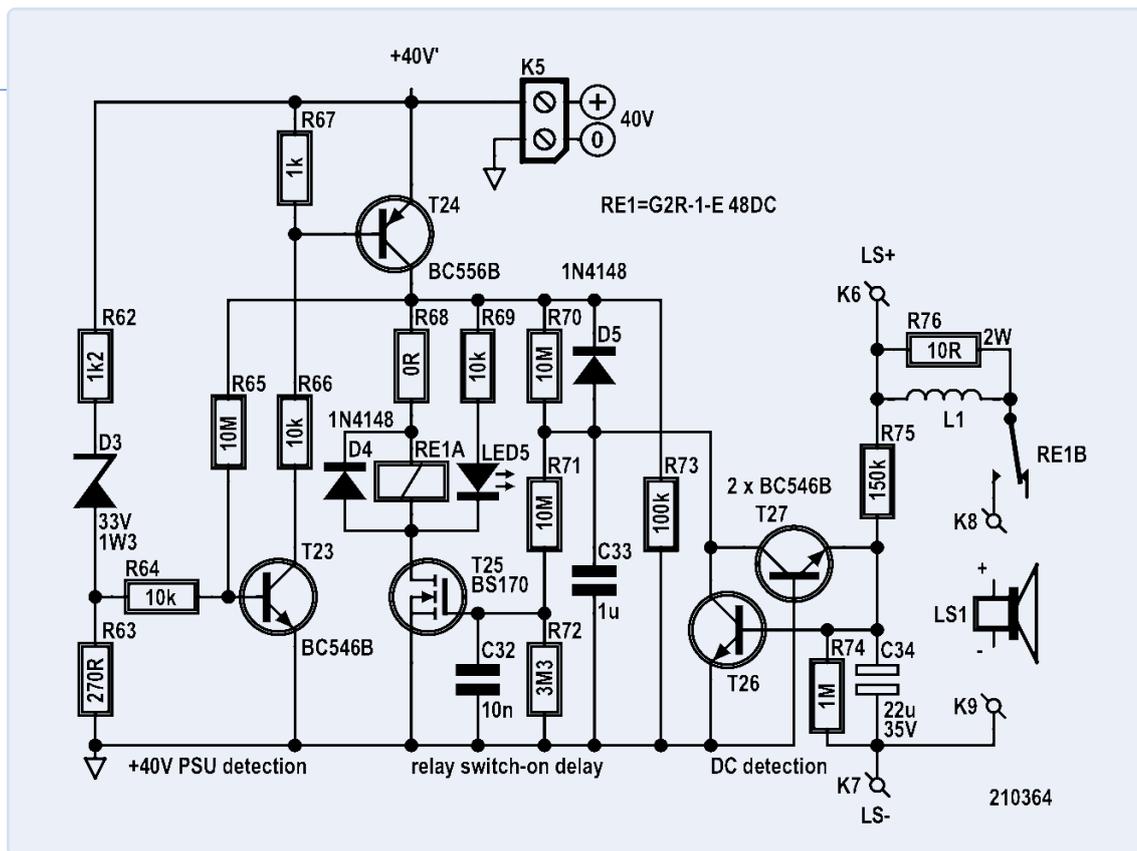


Bild 5. Die Schutzschaltung des Fortissimo verhindert Schäden am Lautsprecher durch Gleichspannungen und laute Einschaltgeräusche.

stellt. Die Spannung an R63 wird vom Schmitt-Trigger aus T23, T24 und R64...R67 ausgewertet. Die Hysterese verhindert, dass das Relais bei kleinen Störungen oder durch kleine Schwankungen der Versorgungsspannung bei hoher Ausgangsleistung klappert. MOSFET T25 bildet zusammen mit dem aus R70, R71, R72 und C33 bestehenden Zeitglied eine Einschaltverzögerung, die ein eventuelles Ploppen des Lautsprechers verhindert, da der Lautsprecher erst verbunden wird, wenn die Versorgungsspannung hoch genug ist und sich der Verstärker stabilisiert hat. R73 und D5 entladen C33 schnell, wenn T24 abschaltet. Dies gewährleistet beim nächsten Einschalten oder beim Wegfall einer Gleichspannung am Ausgang eine definierte Einschaltverzögerung des Relais. Die Widerstände am Gate von T25 sind so hochohmig, dass C33 einen relativ kleinen Wert für die ausreichend große Zeitkonstante haben kann. Deshalb kann man einen Kunststoffolytyp einsetzen, da Elkos im Allgemeinen hohe Leckströme haben und schneller altern. Mit 1 µF für C33 dauert die Verzögerung etwa 3,5 Sekunden. Das Relais G2R-1-E DC48 mit einer Betriebsspannung von 48 V verträgt an seinen Kontakten bis zu 16 A. Das Relais schaltet schon bei 70 % der Nennspulenspannung ein. 34 V genügen demnach, um das Relais zu aktivieren. Die vorhandenen 40 V reichen also auf jeden Fall aus. Laut Datenblatt kann es etwa 5 A bei 40 V Gleichspannung schalten. Wird ein anderes Relais mit niedrigerer Spulenspannung etwa von 24 V verwendet, muss der 0 Ω-Widerstand R68 (oder die Drahtbrücke) durch einen Widerstand mit passendem Wert ersetzt werden. Beispiel: Das 34-V-Relais G2R-1-E DC24 hat einen Spulenwiderstand von 1,1 kΩ. Der Widerstand errechnet sich wie folgt:

$$R68 = (40 \text{ V} - 24 \text{ V}) / 24 \text{ V} * 1,1 \text{ k}\Omega = 733 \Omega$$

Geeignet sind der nächstniedrigere und der nächsthöhere E12-Wert. Bei 680 Ω liegen 24,7 V an der Spule und bei 820 Ω etwa 23 V. Der Spannungsabfall über T23 und T24 kann hier vernachlässigt werden. Die Verlustleistung von R68 beträgt bei 680 Ω etwa 350 mW, weshalb die Platine die Bestückung eines 1-W-Widerstands erlaubt.

### Aufbau

Die Montage von Leistungstransistoren T17...T22 und Platine ist auf einfache Bauweise ausgerichtet. Die notwendigen mechanischen Arbeiten erschöpfen sich im Bohren von zwölf 3-mm-Löchern zur Montage von Transistoren und der Platinen (Bild 6) auf der Rückseite des Kühlkörpers. Zwischen den Lamellen des Kühlkörpers SK53-100-SA von Fischer Elektronik ist genug Platz für die Köpfe von 3-mm-Schrauben. Bei einem anderen Kühlkörper kann es erforderlich sein, 2,7-mm-Bohrungen anzubringen und mit M3-Innengewinden zu versehen. Die Platine wird mit sechs 10 mm langen Abstandsbolzen aus Metall mit M3-Gewinden auf dem Kühlkörper befestigt. Die Transistoren werden zwecks niedrigem Wärmewiderstand mit Keramik-Pads (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) isoliert. Erst in der letzten Bauphase kommt eine sehr dünne Schicht Wärmeleitpaste auf die Rückseite der Transistoren und die auf dem Kühlkörper aufliegenden Unterseiten der Pads. Die Wärmeleitpaste sollte nicht auf die Haut gelangen, denn viele Pasten sind giftig. Die Schutzschaltung von Bild 5 befinden sich auf einer zweiten kleineren Platine (oberer Teil von Bild 6), die mit sechs weiteren 30 mm langen Abstandsbolzen über der Verstärkerplatine befestigt wird. Die Loch-Pads K3 und K4 der Verstärkerplatine verbinden den Ausgang des Verstärkers über zwei dieser Abstandsbolzen mit den

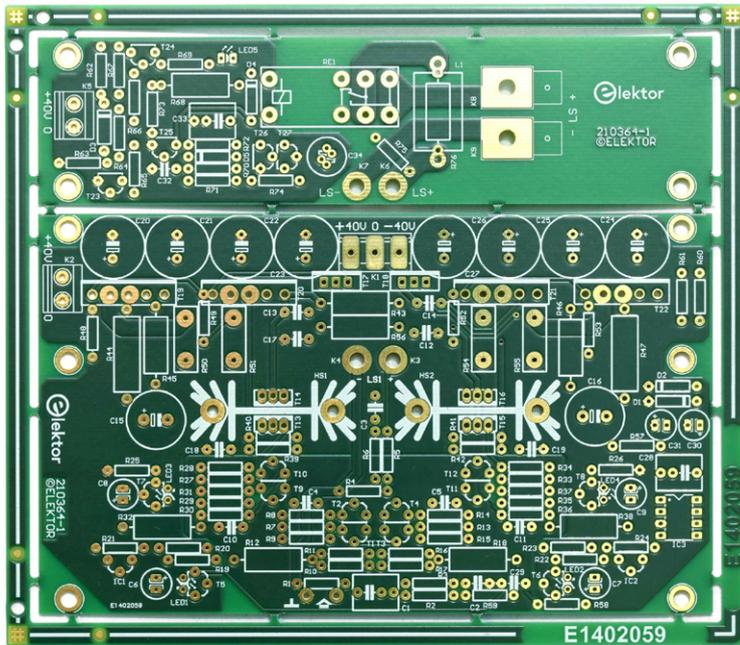


Bild 6. Die doppelseitige, durchkontaktierte Leiterplatte des Prototyps. Die Platinen-Layouts der beiden getrennten Platinen stehen zum Download zur Verfügung [3].

Pads K6 und K7 auf der Schutzplatte. Von dort führt die Verbindung von K7 direkt zu K9 beziehungsweise zur Ausgangsklemme -LS. K6 hingegen führt über L1 zu den Relaiskontakten und von dort zu K8 und zur Ausgangsklemme +LS. Für einen möglichst geringen Widerstand sind die Leiterbahnen hier beidseitig geführt. Die Flachstecker K8 und K9 sorgen für einen geringen Übergangswiderstand zum Lautsprecherkabel und unterstützen eine hohe reale Dämpfung.

Die Abstandsbolzen haben auf der einen Seite ein Innengewinde und auf der anderen Seite einen Gewindebolzen. Das Innengewinde zeigt auf den Kühlkörper und die Gewindebolzen werden durch die Löcher der Schutzplatte gesteckt. Zum Schluss sollten sich alle Schraubenköpfe auf der Rückseite des Kühlkörpers befinden. Schwarze Schrauben fallen auf der Rückseite des Kühlkörpers nicht so sehr auf (siehe Bild 7). Für die Platine wurden beim Prototyp sechs M3x12-Schrauben mit Kreuzschlitzkopf verwendet. Für die Treiber-Transistoren im TO-220-Gehäuse wären ebenfalls 12 mm lange Schrauben ausreichend, doch schwarze Schrauben waren aktuell lediglich im Inbus-Format M3x16 von Conrad Elektronik erhältlich, aber es gibt sicher noch andere Quellen.

### Kühlkörper

Zuerst wird die Platine wie in Bild 8 gezeigt auf den Kühlkörper gelegt und mit Klebestreifen fixiert. Die untere Platinenseite (wo sich C1 befindet) sollte 1 mm entfernt vom Rand des Kühlkörpers und horizontal mittig platziert sein. Das Foto zeigt die Platine vorübergehend mit Klebeband fixiert, damit sie als Schablone fungiert, mit der die sechs Positionen für die metallischen Abstandshalter markiert werden können.

Zur Markierung der jeweils drei Bohrungen links und rechts eignet sich ein 3,5-mm-Bohrer, den man von Hand mit etwas Druck *gegen den Uhrzeigersinn* in den sechs Löchern dreht. Dabei sollte man die Leiterplatte nicht beschädigen. Aber Achtung: K3 und K4 wird nicht markiert! Die Platine ist so ausgelegt, dass sich die Löcher mit ausreichendem Abstand zwischen den Kühlrippen befinden. Jetzt bohrt man die sechs Löcher mit einem 3,2-mm-Bohrer und schraubt die sechs 10-mm-Abstandsbolzen fest. Das Ganze sollte dann so aussehen wie in Bild 9. Passt dann die Platine leicht auf die sechs Gewindebolzen, ist alles gut. Wenn nicht, kann man ein oder mehrere Löcher ausfeilen, um die Position der Abstandshalter zu korrigieren.

Vor der Montage biegt man alle Drähte von T17..T22 eng senkrecht zur Vorderseite der Transistoren (siehe Bild 10). Damit beim Biegen nicht zu viel Kraft auf das Gehäuse der großen Leistungstransistoren T19...T22 ausgeübt wird, klemmt man die Drähte dicht am Gehäuse mit einem 2-mm-Bohrer zwischen die Kanten eines Schraubstocks.



Bild 7. Rückseite des großen Kühlkörpers. Die zwölf schwarzen Schraubenköpfe fallen kaum auf.

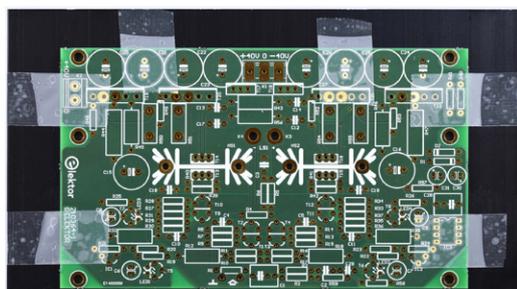


Bild 8. Die mit Klebestreifen fixierte Verstärkerplatine dient als Schablone zum Markieren der Bohrlöcher.



Bild 9. Der große Kühlkörper mit sechs 10-mm-Abstandsbolzen zur Befestigung der Verstärkerplatine.



Bild 10. So werden die Anschlussdrähte der Leistungstransistoren gebogen.

Mit einem passenden Metallblech kann man dann alle Drähte in Richtung Transistor-Vorderseite biegen. Die Stifte der kleineren T17 und T18 können mit einer Zange gebogen werden, wobei die Drähte 1 mm entfernt von der Stelle gebogen werden, wo sie in Richtung Gehäuse breiter werden.

Zur Markierung der Löcher für die sechs Transistoren legt man diese auf ihre Wärmeleit-Pads und fädelt die Anschlussdrähte in die Löcher der Platine. Die Platine muss dann auf die sechs Gewindebolzen gelegt werden. Nach etwas Korrektur der Positionen sollte das Ganze wie in **Bild 11** aussehen. Nun markiert man die sechs Bohrungen wie zuvor *gegen den Uhrzeigersinn* mit einem 3-mm-Bohrer von Hand. Beim Prototyp sind die vier Löcher für T19...T22 etwa 8,8 mm von der Kante des Kühlkörpers entfernt und die für T17 und T18 etwa 11,5 mm. Dies hängt natürlich davon ab, wo und wie genau die Drähte der Transistoren gebogen wurden und kann folglich bei Ihnen anders ausfallen. **Bild 12** zeigt die markierten Positionen für die sechs Transistorlöcher, und in **Bild 13** sind diese die Löcher fertig gebohrt zu sehen. Nun werden die Transistoren mit den Keramikpads mit Hilfe von Schrauben fixiert. Die Muttern sollten noch recht locker aufgedreht sein. Jetzt wird geprüft, ob die Transistordrähte gut in die Löcher der Platine gleiten und die Platine auf die sechs Gewindebolzen passt. Notfalls muss man die Drähte etwas nachbiegen.

### Platinenbestückung

Nach diesen Vorarbeiten können fast alle Bauteile bestückt werden. Die Reihenfolge richtet sich wie immer nach der Höhe der Bauteile. Angefangen wird also mit den kleinen Widerständen und den Dioden D1...D5 (siehe **Bild 14**). Dann bestückt man die Leistungswiderstände und die IC-Fassung für IC3. Als nächstes kommen die kleineren Kondensatoren sortiert nach Größe: C3, C10, C11, C32, C4, C5, C12, C2, C13, C14, C18, C19, C29, C17, C33 und C28 an die Reihe. Nach den größeren Kondensatoren C6...C9, C30, C31 und C34 bestückt man K5 und schließlich C1.

Die Platine der Schutzschaltung wird nun mit den Transistoren T23...T27, den beiden Flachsteckern K8 und K9 (befestigt mit M3x8-Schrauben plus Muttern mit U-Scheiben), der Spule L1 (13 Windungen mit 1,5 mm CuL, Innendurchmesser = 10 mm) und schließlich dem Relais RE1 bestückt. Als Wickeldorn für L1 eignet sich ein 10-mm-Bohrer sehr gut. Die Enden der Spule sollten lang genug sein, um sie über R76 platzieren zu können. Mit einem Teppichmesser oder einem Cutter (HF-Spezialisten besitzen für diesen Zweck eine spezielle Zange) kann man den Lack an den Enden abkratzen. **Bild 15** zeigt die fast fertig bestückte Platine. Falls gewünscht, wird LED5 später an der Vorderseite des Verstärkergehäuses montiert und mit einer dünnen Litze angeschlossen.



Bild 11. Markieren der Löcher für die Leistungstransistoren. Für höhere Genauigkeit werden den Transistoren die Keramik-Pads unterlegt.



Bild 12. Das sind die markierten Positionen der Bohrlöcher zur Befestigung der Leistungstransistoren..



Bild 13. Die fertigen Bohrungen zur Befestigung der Leistungstransistoren.

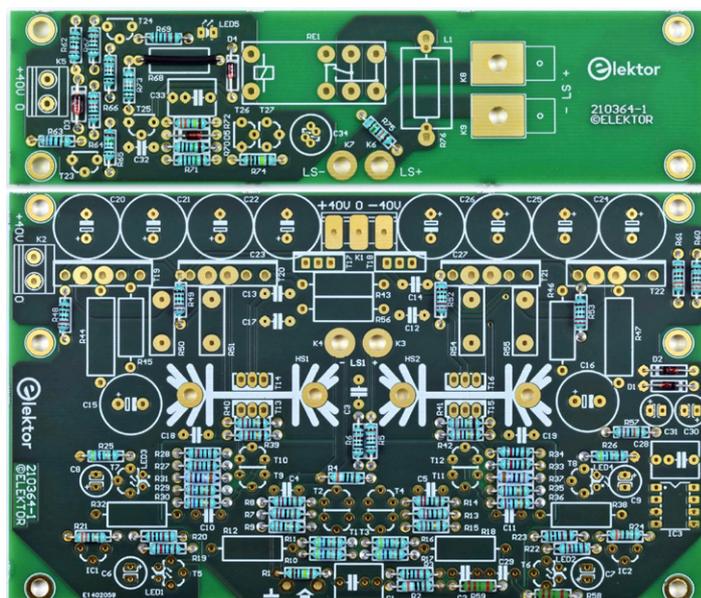


Bild 14. Zuerst werden die niedrigen Bauteile wie kleine Widerstände und Dioden bestückt.

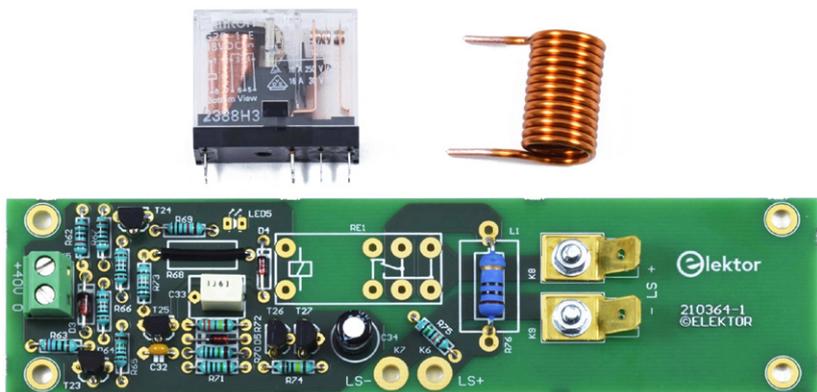


Bild 15. Die fast fertig bestückte Platine der Schutzschaltung. Nur das Relais und die selbstgewickelte Kupferspule müssen noch eingelötet werden.

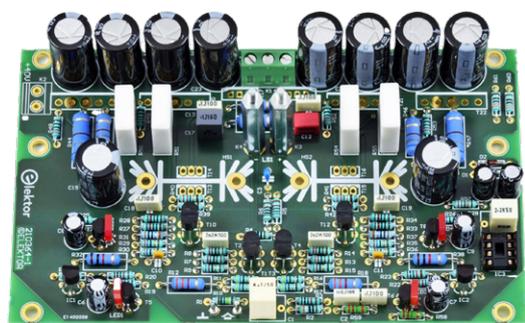
Nochmals zur Verstärkerplatine: Jetzt werden T5...T8 und LED1...LED4 bestückt. Der sichtbare Chip in der LEDs sollte sich auf halber Höhe des Gehäuses der benachbarten Transistoren befinden. Transistoren und LEDs werden nach - oder besser bei - dem Einlöten gegeneinander gebogen, um eine gute thermische Kopplung zu erreichen.

Nach der schon beschriebenen Paarung der Transistoren T1/T2, T3/T4, T9/T10 und T11/T12 auf identische  $U_{BE}$  und  $h_{FE}$  können diese bestückt werden. Schon beim Einlöten der Paare sollten die flachen Seiten für eine guten thermische Kopplung dicht und vollflächig aneinander liegen. Abschließend kommen K1, die Leistungswiderstände R50, R51, R54 und R55, dann die Kondensatoren C15 und C16 und zum Schluss die Kondensatoren C20...C27 auf die Platine.

Jetzt wird es wieder mechanisch: Die beiden Abstandsbolzen zur Verbindung des Ausgangs der beiden Platinen werden bei K3 und K4 mit einer M3x8-Schraube (von unten) auf der Oberseite der Verstärkerplatine fixiert.

**Bild 16** zeigt das Resultat.

Bild 16. In der Mitte der Verstärkerplatine sind nahe beieinander die beiden Abstandsbolzen zu sehen, die von K3 nach K6 und von K4 nach K7 führen.



### Transistormontage

Als nächster Schritt werden die Transistoren T13...T16 auf den beiden kleinen Kühlkörpern HS1 und HS2 montiert. Um die mechanische Belastung durch Temperaturschwankungen zu reduzieren, werden ihre Anschlussdrähte mit einer kleinen Biegung versehen. **Bild 17** zeigt eine Spezialzange mit gebogenen Transistoranschlüssen und **Bild 18** ein Transistorpaar, das mit etwas Wärmeleitpaste versehen auf einen Kühlkörper geschraubt wurde. Die Biegung muss nahe genug am Gehäuse sein, damit die Drähte des Transistors durch die Platine passen. Beim Schraubenkopf werden die Transistoren mit einer U-Scheibe geschützt. Die Muttern werden noch nicht fest angezogen. Der Schraubenkopf muss auf der Seite von T13 respektive T15 sein, sonst lässt er sich später nicht mehr mit einem Schraubendreher erreichen. Jetzt werden Kühlkörper samt Transistoren auf die Platine gesteckt und zuerst jeweils die beiden Metallstifte der Kühlkörper angelötet. Dann werden die M3-Muttern mit einer kleinen Flachzange von hinten (Richtung dicke Kondensatoren) gehalten und von vorne mit einem passenden Schraubendreher festgeschraubt. Zum Schluss werden die Anschlussdrähte der vier Transistoren verlötet. Die Platine sieht jetzt so aus wie auf **Bild 19**.

In **Bild 20** ist zu sehen, wie T17...T22 provisorisch mit Schrauben und Muttern am Kühlkörper befestigt sind, damit man sie in der richtigen Position einlöten kann. Auch die Platine wird hierzu auf den 10-mm-Abstandsbolzen mit Muttern (oder wie abgebildet mit den 30-mm-Abstandsbolzen) provisorisch auf dem Kühlkörper befestigt. Unter den Transistoren müssen sich natürlich schon die Keramikscheiben befinden, damit später alles passt. Bei T17 und T18 müssen schon die kleinen Isoliernippel auf die Schrauben gesteckt sein, damit deren Position genau stimmt.

Bild 17. Um Stress durch thermische Ausdehnung zu vermeiden, werden die Anschlussdrähte der Treibertransistoren leicht gebogen. Mit der abgebildeten Spezialzange geht das ganz leicht, aber eine Rundzange tut es auch.



Bild 18. Kleiner Kühlkörper mit zwei gegensätzlich positionierten Transistoren. U-Scheiben nicht vergessen.



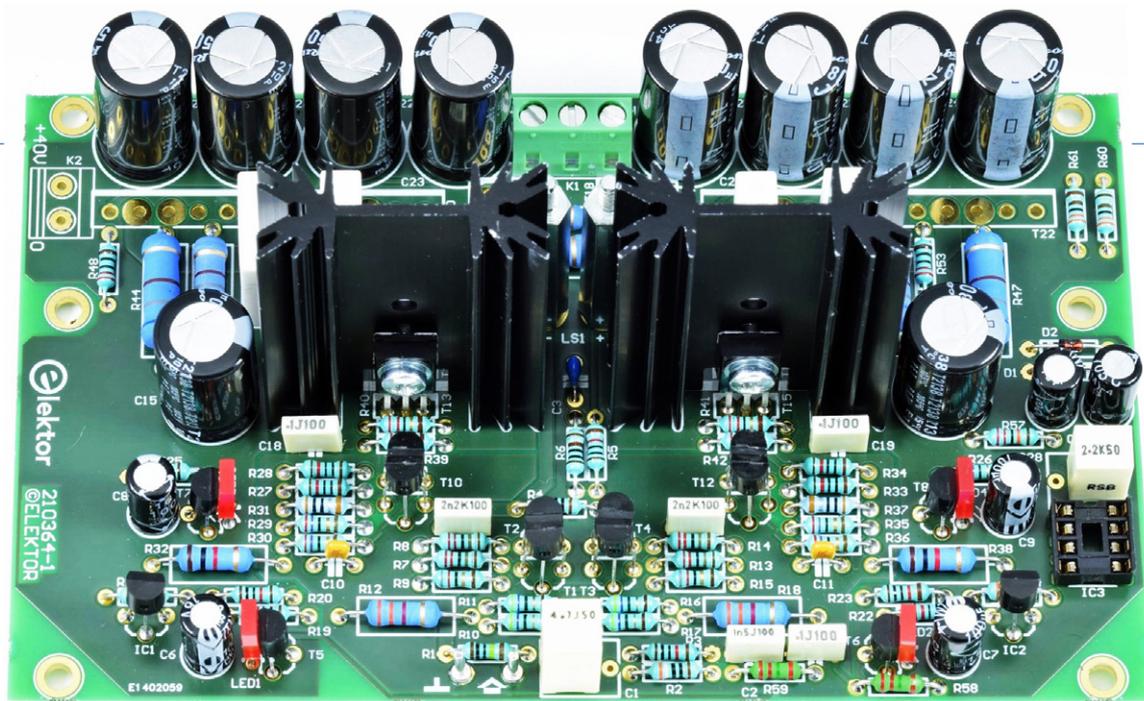


Bild 19. Die beiden Kühlkörper mit T13||T14 und T15||T16 sind auf der Verstärkerplatine eingelötet.

Jetzt sollten mindestens die beiden äußeren Anschlussdrähte jedes Transistors auf der Oberseite der Platine festgelötet werden. Dabei sollte man vorsichtig arbeiten, um keine benachbarten Kondensatoren zu verschmoren. Idealerweise verlötet man aber gleich alle Drähte von oben. Eine lange und dünne Lötspitze ist dabei hilfreich. Anschließend werden alle Schrauben der Transistoren und die Muttern zur Sicherung der Platine entfernt. Beim Abnehmen der Platine sollte man Vorsicht walten lassen, um keine Transistoranschlüsse zu verbiegen. Jetzt dreht man die Platine um und verlötet die Anschlussdrähte auch auf der Unterseite. Die zweipolige Schraubklemme K2 wurde bisher noch nicht bestückt, um einen besseren Zugang zu den Pins von T19 zu haben. Das sollte man nun nachholen. Jetzt wird eine sehr dünne Schicht Wärmeleitpaste auf die Rückseite der sechs Transistoren und der Seite jeder Keramikscheibe aufgetragen, die auf dem Kühlkörper zu liegen kommt. Dann wird der Kühlkörper aufrecht gekippt, sodass die Löcher für die Transistoren oben sind. Dann steckt man die sechs M3-Schrauben für die Transistoren von hinten halb in ihre Löcher. Auf diese Weise kann man nach und nach alle sechs Keramikscheiben (mit der eingeschmierten Seite Richtung Kühlkörper) aufbringen (siehe **Bild 21**).

Nun setzt man die Platine vorsichtig auf die Abstandsbolzen und achtet dabei darauf, dass die Schrauben auch durch die Löcher der Transistoren gehen. Dann werden die Platine mit den vier 30-mm-Abstandsbolzen (Richtung Transistoren) befestigt und die beiden restlichen Gewindebolzen mit M3-Muttern verschraubt. Auf der Oberseite der vier Leistungstransistoren T19...T22 kommen M3-U-Scheiben, um deren Gehäuse zu schützen. Bei T17 und T18 werden Isolierhülsen montiert. Zum Schluss werden alle Schrauben angezogen. **Bild 22** zeigt die fast fertige Endstufe.

### Zusammenbau

Die bereits fertiggestellte Schutzplatine kommt jetzt auf die sechs 30-mm-Abstandsbolzen und wird mit

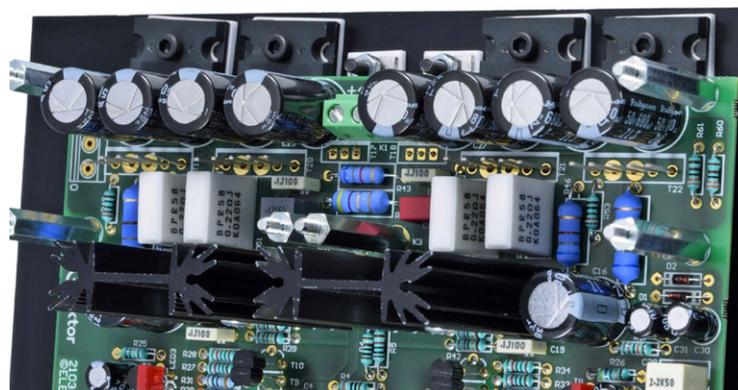
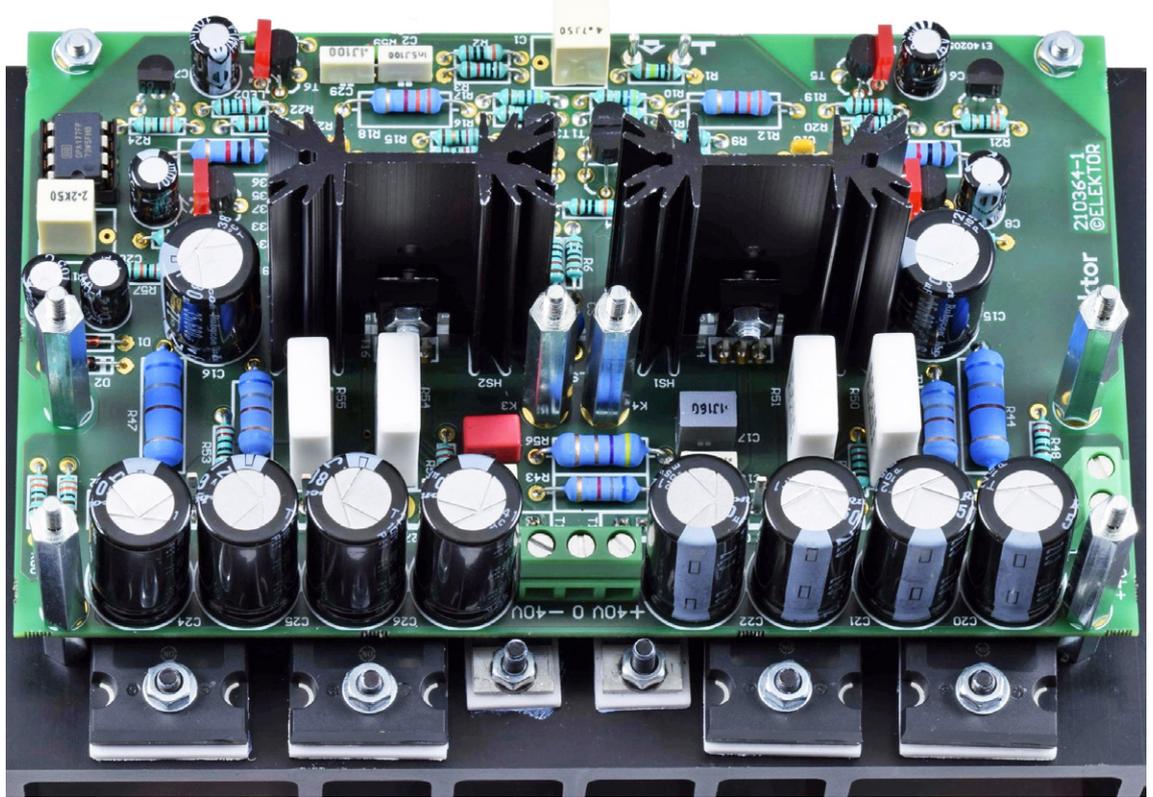


Bild 20. Die Transistoren T17...T22 werden provisorisch mit den Keramik-Pads auf den Kühlkörper geschraubt. Nach provisorischer Befestigung der Platine werden die Anschlussdrähte von T17...T22 oben angelötet.



Bild 21. Die Keramik-Pads werden auf einer Seite dünn mit Wärmeleitpaste bestrichen und auf die halb durchgesteckten Schrauben geschoben. Dazu wird der Kühlkörper aufgerichtet.

Bild 22. Jetzt kommt die Platine mit Leistungstransistoren auf den Kühlkörper und die Transistoren werden wie hier zu sehen festgeschraubt.



sechs M3-Muttern festgeschraubt. Bild 23 zeigt das praktisch fertige, aber noch nicht an die Stromversorgung angeschlossene Verstärkermodul von links und von rechts. LED5 der Schutzplatine ist in diesem Stadium noch nicht angeschlossen. Vergessen Sie nicht, K2 und K5 anzuschließen. Jetzt können die Messungen beginnen.

### Messungen

Nachfolgend sind einige relevante Diagramme auf der Basis der Messungen am Prototyp beschrieben:

### Frequenzgang

Bild 24 zeigt den sogenannten Frequenzgang, die Amplitude in Dezibel über der Frequenz. Die -3-dB-Bandbreite des Fortissimo ist mit 3,3 Hz bis 237 kHz größer als das, was der Generator unseres Audio Precision-Analysators liefern kann. Die engere -0,5-dB-Bandbreite reicht immer noch von 10,8 Hz bis 78 kHz.

### THD+N vs. Frequenz

Im Diagramm von Bild 25 sind Verzerrungen plus

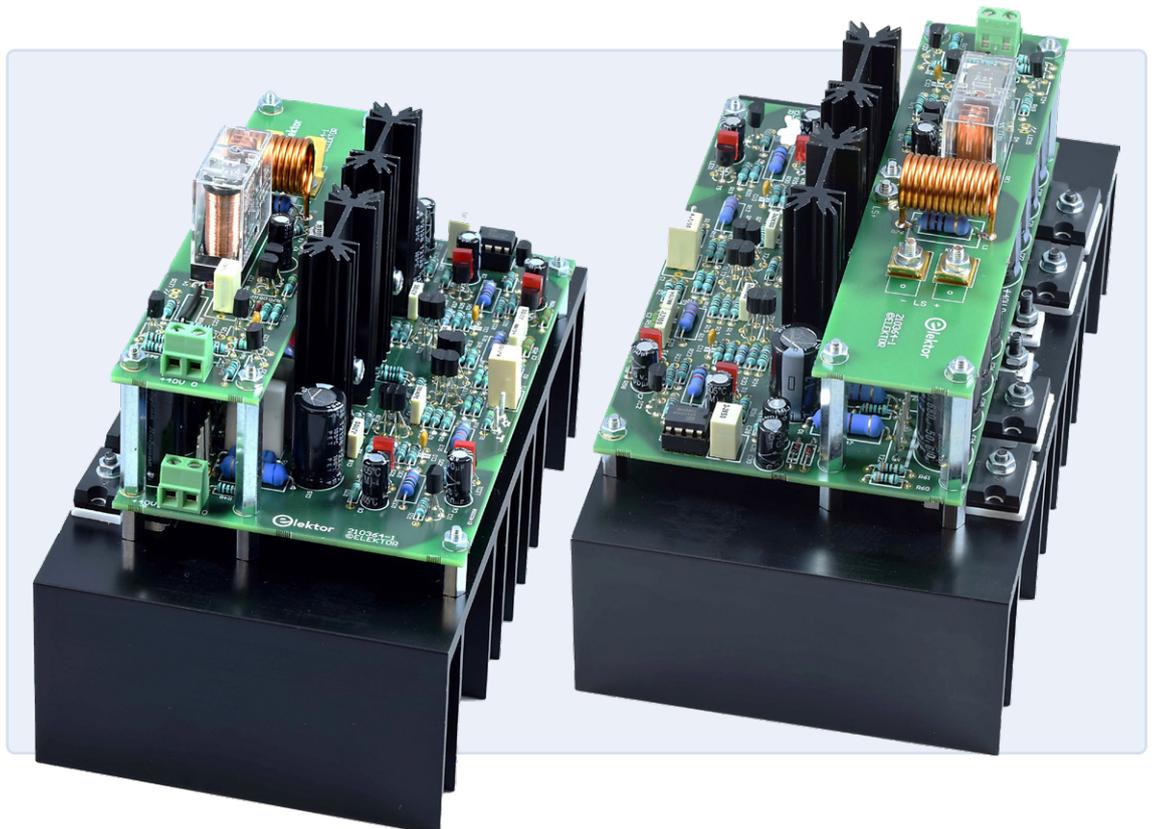


Bild 23. Nachdem die Schutzplatine oben drauf ist, ergibt sich ein kompaktes Modul, hier in der Sicht von beiden Seiten.

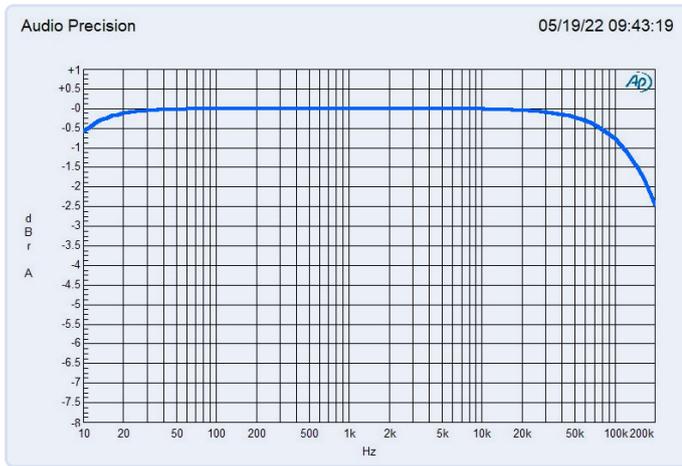


Bild 24. Der gemessene Frequenzgang: Die -0,5-dB-Bandbreite erstreckt sich von 10,8 Hz bis 78 kHz.

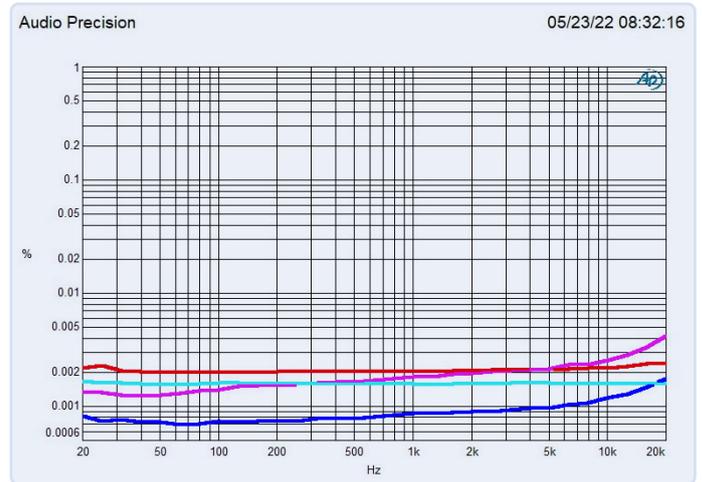


Bild 25. Verzerrungen über der Frequenz bei einer Last von 4 Ω und 8 Ω und verschiedenen Leistungen: cyan = 1 W an 8 Ω; rot = 1 W an 4 Ω; blau = 50 W an 8 Ω; magenta = 100 W an 4 Ω.

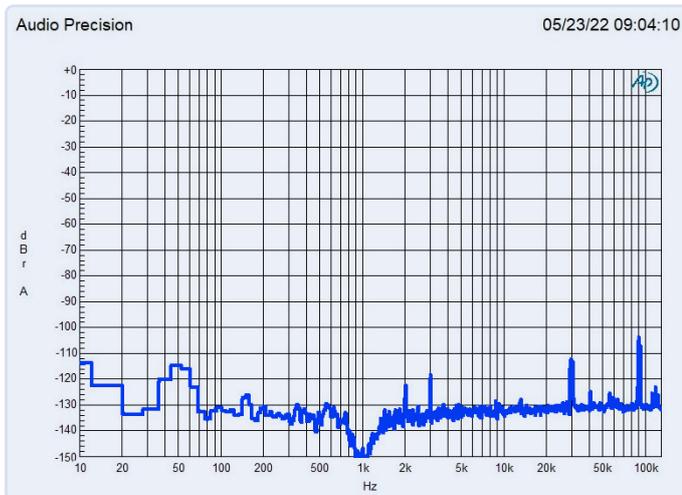


Bild 26. Das Oberwellenspektrum bei einer Ansteuerung mit einem 1-kHz-Sinussignal und einer Leistung von 1 W an 8 Ω. Die theoretisch hörbaren Peaks bei 2 kHz und 3 kHz sind extrem klein.

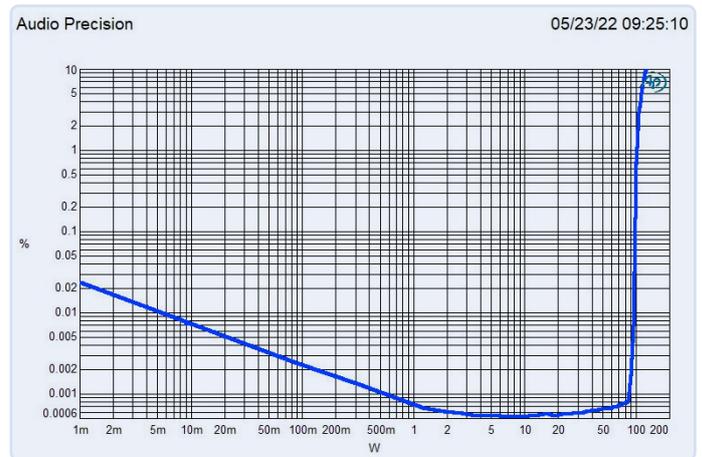


Bild 27. Verzerrungen plus Rauschen in Abhängigkeit vom Ausgangspegel bei Ansteuerung mit einem 1-kHz-Sinus und einer Last von 8 Ω bei einer Bandbreite von 22 kHz.

Rauschen über der Frequenz bei einer Last von 4 Ω und 8 Ω jeweils bei 1 W und 50 W Ausgangsleistung und einer Bandbreite von 80 kHz zu sehen. Die Kurve von 1 W an 8 Ω (cyan) wird hauptsächlich durch das Rauschen bestimmt. Bei 1 W an 4 Ω (rot) ist die Ausgangsspannung niedriger und das relative Rauschen höher. Zudem zeigt sich ein Einfluss von Oberwellen bei höheren Frequenzen. Die Kurve von 50 W an 8 Ω (blau) liegt unterhalb von 1 kHz mit  $\leq 0,000,8 \%$  extrem niedrig, Selbst bei 20 kHz steigt der Wert auf nur  $0,001,8 \%$ . Bei 4 Ω und gleicher Ausgangsspannung = 100 W (magenta) wird der Klirrfaktor zwar größer, ist jedoch mit  $0,002,3 \%$  bei 1 kHz und  $0,004,2 \%$  bei 20 kHz immer noch hervorragend.

### Spektrum

Bild 26 zeigt das Frequenzspektrum bei Ansteuerung mit einem 1-kHz-Sinus und einer Leistung von 1 W an 8 Ω. Man erkennt zwei Oberwellen im hörbaren Bereich bei 2 kHz und 3 kHz. Erstere hat einen Pegel von nur -122,6 dB und der zweite Peak erreicht -118,5 dB. Der resultierende Klirrfaktor beträgt also nur  $0,000,15 \%$ , was unglaublichen 1,5 ppm entspricht! Die Peaks bei 30 kHz

und 90 kHz stammen von der Restwelligkeit des verwendeten Labornetzteils, weshalb die Verzerrungen bei einer Bandbreite von 22 kHz geringer ausfallen als bei einer Bandbreite von 80 kHz. Bei höheren Ausgangspegeln gehen die Artefakte des Netzteils unter.

### THD-N vs. Leistung

In Bild 27 zeigen die Kurven Verzerrungen plus Rauschen in Abhängigkeit vom Ausgangspegel bei Ansteuerung mit einem 1-kHz-Sinus an einer Last von 8 Ω, gemessen bei einer Bandbreite von 22 kHz. Bei 10 W erreichen die Störsignale nur  $0,000,52 \%$ . Der Klirrpiegel steigt ab etwa 85 W ausgehend von  $0,000,8 \%$  steil an.

### Leistungsbandbreite

Bild 28 zeigt die maximale Ausgangsleistung über der Frequenz bei Verzerrungen von  $0,1 \%$ . Die blaue Kurve entspricht der 8-Ω-Last und die rote der 4-Ω-Last. An 8 Ω ergeben sich folgende Ausgangsleistungen: 20 Hz = 89,5 W, 1 kHz = 94 W und 20 kHz = 92,4 W. An 4 Ω ergeben sich: 20 Hz = 163 W, 1 kHz = 181 W und 20 kHz = 171 W. Die genauen Werte hängen von der Versorgungs-

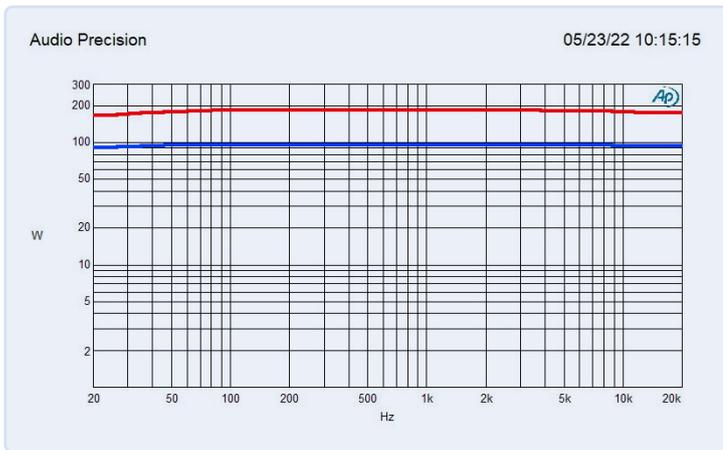


Bild 28. Die Leistung über der Frequenz bei einem Klirrfaktor von 0,1 %. Die blaue Kurve steht für 8  $\Omega$  und die rote für 4  $\Omega$ .

spannung ab. Jeder Spannungsabfall über die Kabel vom Netzteil zum Verstärker macht sich bemerkbar. Aus diesem Grund wurden im Testaufbau zwei 10.000- $\mu$ F-Elkos in der Nähe von der Klemme K1 platziert. Der Spitzenstrom einer Sinuswelle beträgt bei 181 W an 4  $\Omega$  immerhin 9,5 A! Für maximale Leistung an 4  $\Omega$  sollte das Netzteil also mindestens 10 A Gleichstrom liefern können.

### Fazit

Fortissimo demonstriert eindrücklich, dass die Zeit auch bei analogen Audioverstärkern nicht stehengeblieben ist. Mit optimierter Schaltung und zum Teil auch besseren Halbleitern lässt sich die Qualität gegenüber dem ursprünglichen Medium Power Amp mit vertretbarem Aufwand noch weiter steigern.

Der Nachbau dieses Verstärkers ist vielleicht nicht gerade für Anfänger geeignet, aber die einzelnen Schritte sind so präzise beschrieben, dass sie eigentlich jeder Elektroniker mit etwas Erfahrung funktionssicher nachvollziehen kann. Ein weiterer Vorteil: Einstellen gibt es nullkommanichts!

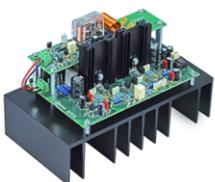
Falls man unsicher ist, kann man die erste Inbetriebnahme sicher gestalten, indem man in die beiden Versorgungsleitungen je eine 100-W-Glühlampe schaltet – wenn man noch welche auftreiben kann (Halogen-Exemplare gehen auch). Diese haben einen Kaltwiderstand von etwa 10  $\Omega$ . Wenn Sie deutlich warm werden oder im Dunklen leicht glimmen, stimmt etwas nicht. Vor dem Betrieb ohne diese Serienwiderstände kann man anhand der **Tabelle Gleichspannungen** überprüfen, ob man einen Fehler im eigenen Aufbau hat. Die Spannungen sollten grob innerhalb von  $\pm 20$  % gegenüber den am Prototyp gemessenen Werten liegen.

Wenn alles stimmt, wünsche ich Ihnen viel Spaß bei den ersten Hörtests. Sie werden begeistert sein!

210364-02

### 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).



### Tabelle Gleichspannungen

R7	7,90 V
R8	7,85 V
R13	7,90 V
R14	7,96 V
R19	1,06 V
R22	1,05 V
R27	1,20 V
R28	0,90 V
R33	1,20 V
R34	0,95 V
R25	1,006 V
R26	1,007 V
R39	0,28 V
R40	0,28 V
R41	0,28 V
R42	0,28 V
R55	18,7 mV (kalt)
	28,3 mV (aufgewärmt ohne Aussteuerung)
LEDs	1,675 V (Durchschnitt)



### Ihr Fortissimo-100-Kit

Fortissimo-100 wurde von Elektor als Jumpstarter-Projekt gestartet. Weitere Details finden Sie auf dem Fortissimo-100-Poster in dieser Ausgabe und unter [www.elektor.de/20273](http://www.elektor.de/20273) !



### PASSENDE PRODUKTE

- > **Elektor Fortissimo-100 High-End-Verstärker-Kit**  
[www.elektor.de/20273](http://www.elektor.de/20273)
- > **OWON AG1022F 2-Kanal-Arbiträr-Funktionsgenerator mit Frequenzzähler (25 MHz) (SKU 18781)**  
[www.elektor.de/18781](http://www.elektor.de/18781)
- > **PeakTech 1404 2-Kanal-Oszilloskop (100 MHz) (SKU 20229)**  
[www.elektor.de/20229](http://www.elektor.de/20229)
- > **PeakTech 6227 DC-Schaltnetzgerät (0...60 V, 0...6 A) mit Farb-LCD & 2x USB (SKU 19323)**  
[www.elektor.de/19323](http://www.elektor.de/19323)

## Transistorauswahl

Zur Auswahl der Transistoren für die Differenzeingangsstufen können einfache Schaltungen nach Bild 4 auf einer Lochrasterplatine aufgebaut werden. Am besten ist es, zwei Transistoren dicht gegeneinander zu setzen (und sie mit einer Klemme/einem Kabelbinder gegeneinander zu pressen). Die Differenz zwischen den 3,3 k $\Omega$ -Widerständen sollte minimal ausfallen. Die 10-k $\Omega$ -Widerstände dienen als Shunt zur Messung der Basisströme. Zwar darf sich die hFE des NPN- und PNP-Paares leicht unterscheiden, aber Gleichheit wäre ideal.

Da die Transistoren preiswert sind, kauft man ein paar mehr als nötig und tauscht sie so lange aus, bis man den geringsten Offset zwischen den Kollektorwiderständen ermittelt hat. Diese Art der die Messung ist nur wenig temperaturabhängig. In den beiden oberen Messschaltungen ergibt sich mit dem 6,8-k $\Omega$ -Widerstand in der Emitterleitung ein Kollektorstrom von 2,16 mA pro Transistor. Will man exakt mit den 2,42 mA der Schaltung von Bild 3 messen, stellt man die Spannung der negativen Schiene einfach auf -33,4 V ein. Für die zweiten Differenzstufen müssen

einige Dinge angepasst werden. Der Strom muss auf etwa 9 mA pro Transistor erhöht werden. Hierzu dienen die Widerstandswerte und Spannungen in Klammern.

Eine einfachere Methode besteht darin, bei jedem Transistor einzeln UBE und hFE zu messen und die besten Übereinstimmungen mit der resultierenden Wertetabelle zu ermitteln. Die fehlende thermische Kopplung macht dieses Vorgehen aber deutlich temperaturabhängiger.

## TECHNISCHE DATEN

Die Messungen wurden an einem Labornetzteil mit  $\pm 40$  V durchgeführt. Die Versorgungsspannungen wurden durch zwei Elkos mit je 10.000  $\mu$ F ( $\geq 50$  V Spannungsfestigkeit) in der Nähe der Klemme K1 gepuffert.

### Eingangsempfindlichkeit:

1,076 V für 94 W an 8  $\Omega$  @ THD 0,1 %

### Eingangsimpedanz:

10 k $\Omega$

### Dauerleistung (1 kHz):

94 W an 8  $\Omega$  @ THD = 0,1 %  
98 W an 8  $\Omega$  @ THD = 1 %  
181 W an 4  $\Omega$  @ THD = 0,1 %  
188 W an 4  $\Omega$  @ THD = 1 %

### Lastimpedanz:

$\geq 3 \Omega$

### Bandbreite:

3,3 Hz...237 kHz; -3 dB @ 1 W an 8  $\Omega$   
10,8 Hz...78 kHz; -0,5 dB @ 50 W an 8  $\Omega$ ;  
Generator = 20  $\Omega$

### Bandbreite ohne Gegenkopplung:

$\approx 20$  kHz

### Leerlaufverstärkung:

$\approx 140.000$  an 8  $\Omega$

### Slew rate:

45 V/ $\mu$ s

### Anstiegszeit:

1,5  $\mu$ s

### Signal-Rausch-Verhältnis:

103 dB @ B = 22 Hz...22 kHz  
106 dBA @ 1 W an 8  $\Omega$

### THD+N:

0,0008 % @ 1 kHz; 1 W an 8  $\Omega$ ; B = 22 kHz  
0,0016 % @ 1 kHz; 1 W an 8  $\Omega$ ; B = 80 kHz  
0,0016 % @ 20 kHz; 1 W an 8  $\Omega$ ; B = 80 kHz  
0,0008 % @ 1 kHz; 50 W an 8  $\Omega$ ; B = 22 kHz  
0,0008 % @ 1 kHz; 50 W an 8  $\Omega$ ; B = 80 kHz  
0,0020 % @ 20 kHz; 50 W an 8  $\Omega$ ; B = 80 kHz  
0,0012 % @ 1 kHz; 1 W an 4  $\Omega$ ; B = 22 kHz  
0,0020 % @ 1 kHz; 1 W an 4  $\Omega$ ; B = 80 kHz  
0,0025 % @ 20 kHz; 1 W an 4  $\Omega$ ; B = 80 kHz  
0,0023 % @ 1 kHz; 100 W an 4  $\Omega$ ; B = 22 kHz  
0,0023 % @ 1 kHz; 100 W an 4  $\Omega$ ; B = 80 kHz  
0,0042 % @ 20 kHz; 100 W an 4  $\Omega$ ; B = 80 kHz

### Intermodulationsverzerrungen

(50 Hz : 7 kHz; 4 : 1):

0,0012 % @ 1 W an 8  $\Omega$   
0,0015 % @ 50 W an 8  $\Omega$

0,0024 % @ 1 W an 4  $\Omega$

0,0041 % @ 100 W an 4  $\Omega$

### Dynamische IM-Verzerrungen

(3,15-kHz-Rechteck + 15-kHz-Sinus):

0,0016 % @ 1 W an 8  $\Omega$

0,0010 % @ 50 W an 8  $\Omega$

0,0019 % @ 1 W an 4  $\Omega$

0,0021 % @ 100 W an 4  $\Omega$

### Dämpfungsfaktor (an K8/K9):

570 @ 1 kHz an 8  $\Omega$

315 @ 20 kHz an 8  $\Omega$

### Erkennung der Spannungsversorgung

(nur positive Schiene):

$\leq 36,5$  V = aus (leicht temperaturabhängig)

$\geq 36,7$  V = ein (geringfügig temperaturabhängig)

### Gleichspannungsschutz:

+0,54 V und -0,89 V

### Einschaltverzögerung (Relais):

3,5 s

## WEBLINKS

[1] „Medium Power Amp“, Elektor 10/1990: [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-199010/29400](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-199010/29400)

[2] Datenblatt NJL3281D und NJL1302D: [www.onsemi.com/pdf/datasheet/njl3281d-d.pdf](http://www.onsemi.com/pdf/datasheet/njl3281d-d.pdf)

[3] Download des Platinen-Layouts: [www.elektormagazine.com/labs/fortissimo-100](http://www.elektormagazine.com/labs/fortissimo-100)



## STÜCKLISTE

### Widerstände:

(Ohne Angabe: Metallfilm, 1 %, 0,6 W)

R1,R74 = 1 M  
 R2,R4 = 390 Ω  
 R3,R5,R20,R23,R64,R66,R69 = 10 k  
 R6,R67 = 1 k  
 R7,R8,R13,R14,R60,R61 = 3k3  
 R9,R15,R27,R28,R33,R34 = 120 Ω  
 R10,R11,R16,R17 = 68 Ω  
 R12,R18 = 5k6, 5 %, 1 W, Metallfilm oder Metalloxid, max. 5 x 12 mm  
 R19,R22,R48,R49,R52,R53 = 220 Ω  
 R21,R24 = 33 Ω  
 R25,R26 = 56 Ω  
 R29,R30,R35,R36 = 27 Ω  
 R31,R37 = 1 Ω  
 R32,R38 = 1k5, 5 %, 1 W, Metallfilm oder Metalloxid, max. 5 x 12 mm  
 R39,R40, R41, R42 = 22 Ω  
 R43 = 6k8, 5 %, 1 W, Metallfilm oder Metalloxid, max. 5 x 12 mm  
 R44,R47 = 680 Ω, 5 %, 3 W, Metallfilm oder Metalloxid, max. 5,5 x 16 mm  
 R45,R46 = 1 k, 5 %, 2 W, Metallfilm oder Metalloxid, max. 5 x 12 mm  
 R50,R51,R54,R55 = 0Ω22, 5 %, 5 W, Metallfilm, radial, RM 9 mm, max. 5 x 14 mm (BPR58CR22J, Koa)  
 R56 = 4Ω7, 5%, 2 W, Metallfilm oder Metalloxid, max. 5 x 12 mm  
 R57 = 220 k  
 R58,R59 = 2M2  
 R62 = 1k2  
 R63 = 270 Ω  
 R65,R70,R71 = 10 M  
 R68 = 0 Ω (Drahtbrücke)  
 R72 = 3M3  
 R73 = 100 k  
 R75 = 150 k  
 R76 = 10 Ω, 5 %, 2 W, Metallfilm oder Metalloxid, max. 5 x 12 mm

### Kondensatoren:

C1 = 4μ7, 5 %, 50 V, RM 5/7,5 mm, PET, max. 7,6 x 9,7 mm  
 C2 = 1n5, 5 %, 100 V, RM 5 mm, max. 2,5 x 7,2 mm  
 C3 = 10 p, ±0,5 p, 100 V, RM 5 mm, C0G/NP0 (FG28C0G2A100DNT00, TDK)  
 C4,C5 = 1 n, 5 %, 63 V, RM 5 mm, PET, max. 2,5 x 7,2 mm  
 C6...C9 = 100 μ, 20 %, 16 V, Ø 6,3 mm, vorzugsweise 105°C  
 C10,C11 = 220 p, 5 %, 100 V, RM 5 mm, C0G/NP0, max. 2,5 x 7,2 mm  
 C12 = 100 p, 5 %, 100 V, RM 5 mm, PP, max. 4,5 x 7,2 mm  
 C13,C14,C18,C19,C29 = 100 n, 5 %, 100 V, RM 5 mm, PET, max. 2,5 x 7,2 mm  
 C15,C16 = 680 μ, 20 %, 35 V, Ø 12,5 mm, RM 5 mm, 5.000 h @105 °C (35ZL680MEFC12,5X20, Rubycon)  
 C17 = 100 n, 5 %, 160 VDC, RM 5 mm, PP, max. 5 x 7,2 mm (R79GC3100Z340J, Kemet)  
 C20...C27 = 680 μ, 20 %, 50 V, Ø 13,5 mm, RM 5 mm, 10.000 h @105 °C (50ZLJ680M12.5X25, Rubycon)  
 C28 = 2μ2, 10 %, 50 V, RM 5/7,5 mm, PET, max. 7,6 x 9,7 mm  
 C30,C31 = 10 μ, 20 %, 63 V, Ø 6,3 mm, RM 2,5 mm, vorzugsweise 105°C  
 C32 = 10 n, 10 %, 50 V, RM 5 mm, X7R, max. 2,5 x 7,2 mm  
 C33 = 1 μ, 5 %, 63 V, RM 5/7,5 mm, PET, max. 7,6 x 9,7 mm  
 C34 = 22 μ, 20 %, 35 V, bipolar, Ø 8 mm, RM 2,5/3,5 mm

### Induktivität:

L1 = 1,5 mm Kupferlackdraht, ≈ 60 cm, 13 Windungen, Innen-Ø 10 mm

### Halbleiter:

D1,D2 = Z-Diode 20 V, 5 %, 0,4 W, DO-35 (BZX79-C20,113, Nexperia)  
 D3 = Z-Diode 33 V, 5 %, 1,3 W, DO-41 (BZV85-C33,113, Nexperia)  
 D4,D5 = 1N4148, DO-35  
 LED1...LED4 = LED, rot, 2 x 5 mm rechteckig (MCL453MD, Multicomp Pro)  
 LED5 = LED, grün, 5 mm  
 T1,T2,T6,T7,T9,T10,T23,T26,T27 = BC546B, TO-92  
 T3...T5,T8,T11,T12,T24 = BC556B, TO-92  
 T13,T14 = KSA1381, TO-126  
 T15,T16 = KSC3503, TO-126  
 T17 = MJE15032, TO-220  
 T18 = MJE15033, TO-220  
 T19,T20 = NJL3281D, TO-264, 5-pol.  
 T21,T22 = NJL1302D, TO-264, 5-pol.  
 T25 = BS170, TO-92  
 IC1,IC2 = LM334Z, TO-92  
 IC3 = OPA177FP, DIP-8

### Außerdem:

K1 = 1x3-polige Schraubklemme, RM 2/10" (1729131, MKDSDN 1,5/ 3-5,08, Phoenix Contact)  
 K2,K5 = 2-pol. Schraubklemme, RM 2/10" (1729128 oder MKDSDN 1,5/ 2-5,08, Phoenix Contact)  
 Eingang = 2 x Lötstifte 1,3 mm, (13.14.419, Ettinger)  
 6 Abstandsbolzen aus Metall, 10 mm, M3, männlich-weiblich  
 6 Abstandsbolzen aus Metall, 30 mm, M3, männlich-weiblich  
 K8,K9 = Flachstecker für Platine, Loch 3,3 mm, Lasche 6,3 5mm x 0,8 1mm (42822-2, Amp/TE Connectivity o.ä.)  
 RE1 = Relais 16 A / 250 VAC / 30 VDC (G2R-1-E 48DC, Omron)  
 4 x M3x8-Schraube (Abstandsbolzen an K3, K4 und Flachstecker an K8 und K9)  
 8 x M3x12 Schraube, schwarz (Abstandsbolzen Platine + T17/T18 an Kühlkörper, M312 PRSTM CB100- TR, Fastenings)  
 4 x M3x16-Schraube, schwarz (T19/T20/T21/T22 an Kühlkörper, 839672, Toolcraft)  
 18 x M3-Mutter  
 8 x M3-Unterlegscheibe, glatt, Stahl  
 HS1, HS2 = Kühlkörper, 9 K/W, Länge 50,8 mm (SK 104 50,8 ST, Fischer Elektronik)  
 Kühlkörper, 0,6 K/W, 100 x 180 x 48 mm (SK53-100-SA, Fischer Elektronik)  
 4 x Keramisches Wärmeleitpad für T19...T22, 23 x 20 x 2 mm (SL-012-AL20, Silfox)  
 2 x Keramisches Wärmeleitpad für T17/T18, 18 x 12 x 1,5 mm (SL-019-AL15, Silfox)  
 2 x Isolierbuchse für T17/T18, TO-220 (IB 6, Fischer Elektronik)  
 IC-Fassung DIP-8 für IC3  
 Platine 210364-1 v1.1

## Frequenzbestimmung unbekannter Schwingkreise und Quarze

Von Lyle Russell Williams (USA)

Ein Schwingkreis ist meist die Parallelschaltung einer Spule und eines Kondensators, die bei einer bestimmten Grundfrequenz in Resonanz ist. Ein Quarz simuliert den Schwingkreis und hat einen sehr hohen Q-Wert (Güte). Schwingkreise und Quarze sind maßgebliche Bestandteile von Empfängern und anderen HF-Schaltungen. In diesem Artikel geht es um den Bau eines Oszillators, in den ein unbekannter Schwingkreis oder Quarz eingesetzt wird, um seine Resonanzfrequenz zu bestimmen.

Für das kleine Testgerät wird ein Oszilloskop verwendet, um die Resonanzfrequenz abzulesen. Wenn das Oszilloskop nicht schon über einen eingebauten Zähler verfügt, kann ein preiswerter eigenständiger Frequenzzähler parallel zum Oszillator angeschlossen werden. Ich verwende ein digitales Zweistrahl-Oszilloskop für 250 € mit einer Bandbreite von 50 MHz. Eigenständige Frequenzzähler sind viel billiger, einige Bausätze sind für unter 10 € erhältlich.

### Ein geeigneter Oszillator

Der für unsere Zwecke benötigte Oszillator muss über einen weiten Frequenzbereich arbeiten und frei von Störsignalen sein. Für dieses und andere Projekte habe ich den Einsatz eines NAND-Gatter (**Bild 1**) und eines Inverters (**Bild 2**) untersucht. Meine damit aufgebauten Oszillatoren litten jedoch unter folgenden Problemen: mehrere Spitzen vor der eigentlichen Hauptfrequenz, Frequenzjitter, Rauschen, enger Frequenzbereich, Oszillation nur mit Quarzen und Schwingen auf der falschen Frequenz. Diese Probleme machten mit Digital-ICs aufgebaute Oszillatoren für meine Zwecke ungeeignet.

### Der Dual-Gate-Oszillator

Vor einigen Jahren habe ich die Schaltung in **Bild 3** aufgebaut. Es hat sich herausgestellt, dass diese Schaltung für den vorgesehenen Zweck sehr gut funktioniert. Sie erzeugt sehr wenig Rauschen und besitzt einen weiten Frequenzbereich von 839 kHz bis 38 MHz, wahrscheinlich sogar höher, aber ich habe nicht versucht, in den VHF-Bereich einzudringen.

Es handelt sich um eine einfache Schaltung, die leicht zu bauen ist (**Bild 4**). Mit einem Potentiometer kann die Vorspannung für eine optimale Schwingung eingestellt werden. Die Platine ist mit kurzen Drähten versehen, die mit kleinen Krokodilklemmen abgeschlossen sind, um sie mit dem Schwingkreis oder dem zu testenden Quarz zu verbinden.

Für den Dual-Gate-MOSFET T1 können diverse Typen verwendet werden: 40673, NTE222, 3N200, 3N202, 3N211 und andere. Überprüfen Sie aber stets das Datenblatt des von Ihnen gewählten MOSFETs auf die Reihenfolge der Anschlüsse. Ein Entwurf für eine Platine und eine Stückliste kann von [1] heruntergeladen werden. Diese Schaltung wird im Folgenden als „Dual-Gate-Schaltung“ bezeichnet.

### Die JFET-Schaltung

Also, Problem gelöst? Nun, nicht ganz. Alle oben aufgeführten Dual-Gate-Transistoren sind schwer zu beschaffen, und wenn man sie findet, sind sie teuer. Daher beschloss ich, eine Schaltung ohne Dual-Gate-MOSFETs zu entwerfen. Diese neue Schaltung verwendet, wie in **Bild 5** dargestellt, zwei in Reihe geschaltete JFETs anstelle des MOSFETs. Die Induktivität kann von Hand auf einen Ferrit-Ringkern gewickelt werden, siehe [1]. Wie bei der Dual-Gate-Schaltung ist eine Vorspannungsvorgesehen, und der Anschluss an den unbekanntem Schwingkreis erfolgt mit kurzen Drähten und kleinen Krokodilklemmen. Die Schaltung arbeitet mit der gleichen niedrigen Frequenz von 839 kHz, aber die Leistung bei dieser Frequenz ist viel höher. Die obere Frequenzgrenze liegt wie bei der Dual-Gate-Schaltung bei über 38 MHz. **Bild 6** zeigt die fertige Schaltung, die im Folgenden als „JFET-Schaltung“ bezeichnet wird.

Die Funktionsweise dieser beiden Schaltungen ist einfach. Schließen Sie die kleinen Krokodilklemmen an den unbekanntem Schwingkreis oder den Quarz an. Verbinden Sie den Tastkopf eines Oszilloskops mit den Anschlüssen auf der Platine. Schalten Sie den Schalter S1 ein und drehen Sie am Vorspannungspoti R1, bis die Oszillation maximal ist. Lesen Sie die Frequenz auf dem Oszilloskop ab.

### Schwingkreise niedriger Güte

Die Dual-Gate-Schaltung und die JFET-Schaltung funktionieren gut mit unbekanntem Schwingkreisen, deren Güte „angemessen“ hoch ist. Aber was ist, wenn die Güte nur gering ist? **Bild 7** zeigt, wie man unbekanntem Schwingkreise (keine Quarze) mit niedrigem Q messen kann, zum Beispiel eine Schleifenantenne. Diese Methode kann auch zur Messung von Schwingkreisen mit Resonanzfrequenzen unter 839 kHz verwendet werden.

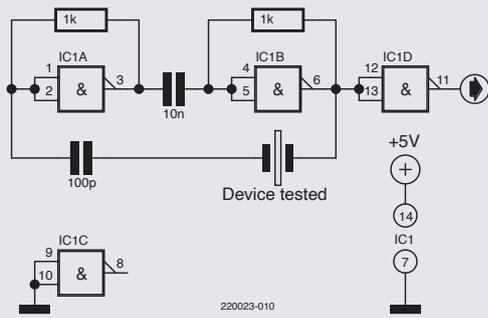


Bild 1. Ein NAND-Gate-Oszillator, aufgebaut mit einem 74LS00.

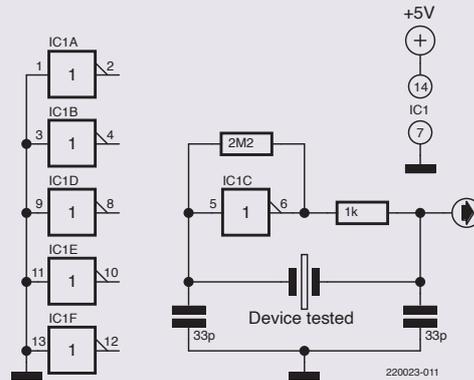


Bild 2. Ein Inverter-Oszillator, der mit einem 74HC04 aufgebaut ist.

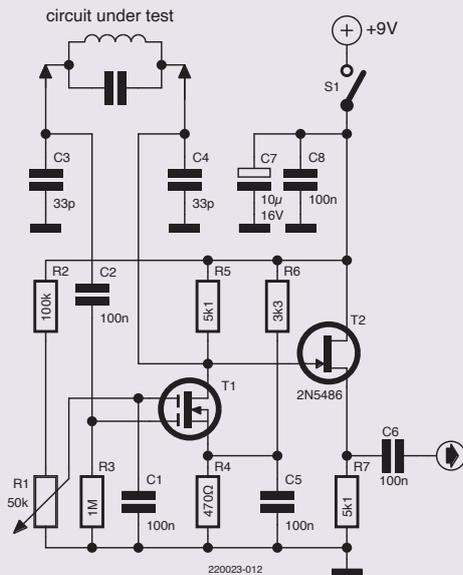


Bild 3. Dieser Oszillator mit Dual-Gate-MOSFET besitzt einen Frequenzbereich von 839 kHz bis 38 MHz.

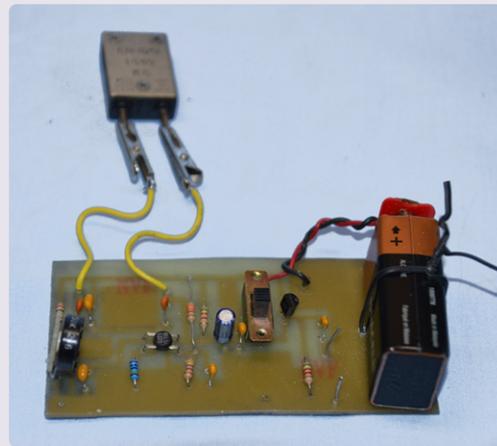


Bild 4. Der auf einer Platine aufgebaute Dual-Gate-Oszillator [1].

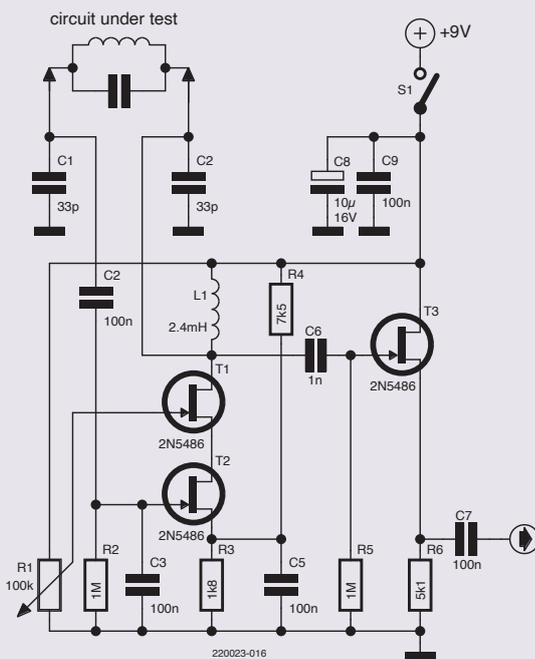


Bild 5. Der JFET-Oszillator benötigt keine schwer zu beschaffenden Dual-Gate-Transistoren.

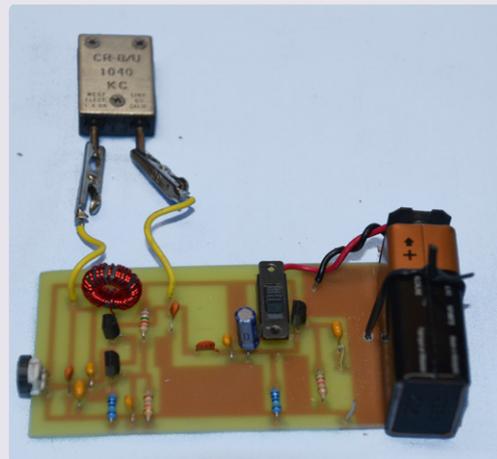


Bild 6. Der JFET-Oszillator in Verbindung mit einem unbekanntem Schwingkreis.

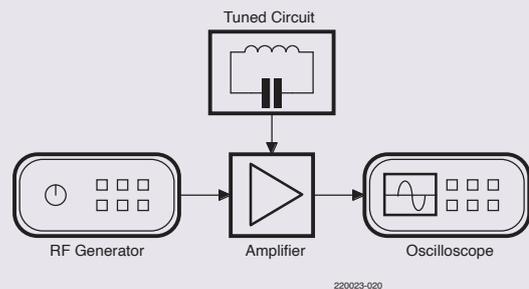


Bild 7. Überblick über den Aufbau des Low-Q-Frequenzmessers.

# Von Entwicklern für Entwickler

Tipps & Tricks, Best Practices und andere nützliche Infos

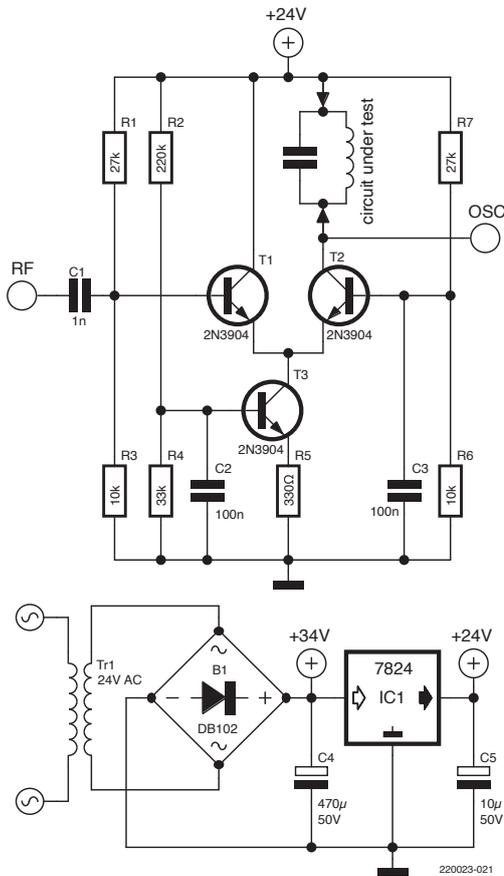


Bild 8. Die Low-Q-Verstärkerschaltung sieht aus wie ein Modulator.

Der unbekannte Schwingkreis wird in einen Verstärker eingesetzt: Am Eingang des Verstärkers wird ein HF-Generator angeschlossen, am Ausgang der Oszilloskop-Tastkopf an einer Seite des Schwingkreises. Der Generator wird so eingestellt, dass der Betrag des Signals am Schwingkreis maximal ist. Die Frequenz wird auf dem Oszilloskop abgelesen. Mit einem Zweistrahl-Oszilloskop können sowohl der Eingang als auch der Ausgang des Verstärkers gleichzeitig angezeigt werden. Wenn die beiden Signale in Phase sind, ist die Amplitude des Ausgangs maximal. Wenn das Oszilloskop nicht über eine Zählerfunktion verfügt, kann wie bei den obigen Schaltungen ein eigenständiger Zähler parallel zum Oszilloskop-Tastkopf angeschlossen werden. Dies wird dann als „Low-Q-Schaltung“ bezeichnet.

## Der Low-Q-Verstärker

Das Schaltbild für den Low-Q-Verstärker ist in Bild 8 dargestellt. Man beachte die Ähnlichkeit dieser Schaltung mit einem Modulator. Sie wurde ursprünglich auch für diesen Zweck entwickelt, aber es hat sich herausgestellt, dass

sie auch als Low-Q-Verstärker gut funktioniert. Alle Teile sind leicht zu beschaffen. Die Schaltung wird über ein minimales Netzteil versorgt, so dass keine Batterien benötigt werden. Der Ausgangstransistor wird über den Schwingkreis mit Gleichstrom versorgt, was erfordert, dass der Schwingkreis, genauer gesagt, die Induktivität, einen relativ geringen Gleichstromwiderstand aufweisen muss. Aus diesem Grund können auch keine Quarze vermessen werden, da diese keinen Gleichstrom durchlassen. Schlimmer noch, der Anschluss eines Quarzes an diesen Verstärker würde den Quarz wahrscheinlich beschädigen. Wie bei den Dual-Gate- und JFET-Schaltungen werden isolierte Drähte mit kleinen Krokodilklemmen zum Anschluss des Schwingkreises verwendet. Ich habe festgestellt, dass es praktisch ist, die Drähte etwa einen Meter lang zu machen (Bild 9).

Bild 10 zeigt einen Aufbau zur Messung der Frequenz der Schleifenantenne eines wahrhaft antiken Radios. Die Schleife wird durch Anheften von zwei Drahtwindungen an die Rückseite der Holzkonsole gebildet.

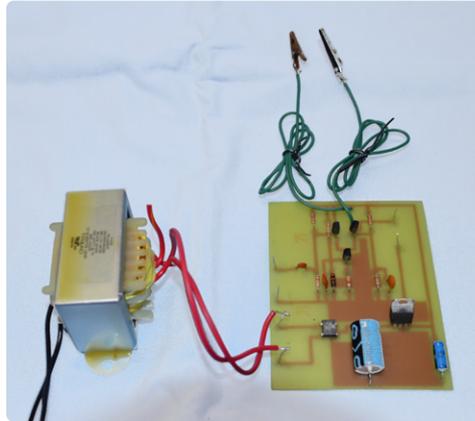


Bild 9. Die Messleitungen des Low-Q-Verstärkers sind etwa einen Meter lang.



Bild 10. Der Low-Q-Verstärker wird zur Messung der Frequenz einer Schleifenantenne eines antiken Konsolenradios verwendet.



## PASSENDE PRODUKTE

- > OWON SDS1102 2-Kanal-Oszilloskop (100 MHz) (SKU 18782) [www.elektor.de/18782](http://www.elektor.de/18782)
- > Joy-IT LCR-T7 Multifunktions-Bauteiltester (SKU 19709) [www.elektor.de/19709](http://www.elektor.de/19709)

Durch Hinzufügen eines Parallelkondensators kann die Schleife auf eine Resonanzfrequenz innerhalb des AM-Rundfunkbandes abgestimmt werden. Ich habe die Schleife auf die Frequenz eines Musiksenders mit geringer Leistung abgestimmt. Platinenlayouts und Stücklisten für die Dual-Gate- und JFET-Oszillatoren sowie den Low-Q-Verstärker können von [1] heruntergeladen werden. ◀

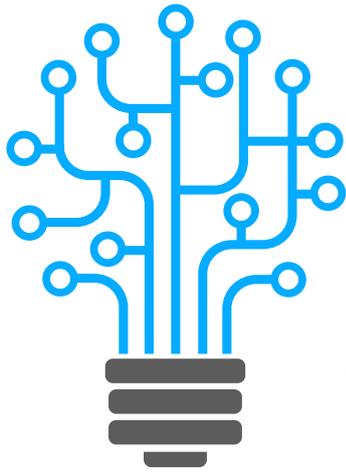
220023-02

## Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter [lyle0009@gmail.com](mailto:lyle0009@gmail.com) oder kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

## WEBLINK

[1] Downloads für diesen Artikel: [www.elektormagazine.de/220023-02](http://www.elektormagazine.de/220023-02)



# Platinen entwerfen

Von Burkhard Kainka (Deutschland)

Fast jedes Elektronik-Projekt gelangt erst dann zur Vollendung, wenn es eine Platine bekommt. Erst dann ist es nachbausicher und kann in Serie produziert werden. Der Weg zur eigenen Platine ist allerdings oft steinig und nicht ohne Tücken.

Je nach Blickwinkel, Arbeitsstil und Vorerfahrungen könnte man meinen, die Platine steht am Anfang einer Entwicklung. Man hat also eine Idee, zeichnet ein Schaltbild und die Platine, bestellt dann diese (oder ätzt sie selbst) und baut dann erst alles auf. So kann es allerdings leicht passieren, dass zwar die Platine selbst perfekt wird, ein Fehler auf ganz anderer Ebene allerdings übersehen wurde. Also kommt der zweite Versuch, und vielleicht noch ein dritter und vierter. Aber jedes Mal hat man Wartezeiten und zusätzliche Kosten. Um das zu vermeiden, zögere ich die ersten Platine meist möglichst lange hinaus.

## Ein Vor-Muster muss her!

Die Schaltung selbst muss irgendwie überprüft und getestet werden. Ganz egal, wie schrecklich der erste Probeaufbau aussieht, er liefert erste Erkenntnisse, ob alles wie geplant funktionieren kann. Oft eignen sich gesteckte Aufbauten auf einem Breadboard dafür. Oder man lötet alles auf eine Punktrasterplatine. Aber manchmal bevorzuge ich den Igel-Aufbau auf einem Blechdeckel (**Bild 1**). Da hat man schon mal eine ordentliche Massefläche, und die gelöteten Verbindungen funktionieren

ohne Kontaktprobleme. Die Dimensionierung der Bauteile lässt sich problemlos ändern, bis alles bestens funktioniert. Und wenn die Schaltung irgendwie instabil arbeitet, kann man mal eben testen, ob vielleicht ein weiterer Abblockkondensator die Sache verbessert. Wenn es sich um ein Projekt mit einem Mikrocontroller handelt, hat man meist schon ein Entwicklungsboard. Dann wird man nur die externen Bauteile provisorisch anschließen, um die Gesamtfunktion zu testen und die Firmware zu entwickeln. Oft erkennt man dabei schnell, ob es besondere Anforderungen an die Störsicherheit gibt. EMV-Probleme verraten sich durch Störungen im Radio, oder man sieht vielleicht schon, dass die Anwendung sauer auf Störimpulse reagiert. Dann ist man schon vorgewarnt und achtet beim Zeichnen der Platine besonders auf die Störsicherheit.

In vielen Fällen habe ich dann noch ein möglichst gleichwertiges Muster auf einer Lochrasterplatine gebaut. Damit ergibt sich die nötige Platinengröße und eine mögliche Platzierung der Bauteile und Bedienelemente sowie der Steckverbindungen. So wird daraus ein handlicher Prototyp (**Bild 2**). Ein

Auftraggeber könnte nun erste Tests durchführen und Änderungen vorschlagen, die dann ohne Zeitverzögerung ausprobiert werden können. Erst wenn die Schaltung wirklich steht, beginnt die Arbeit an der Platine. Bis hierhin wurden wahrscheinlich noch bedrahtete Bauteile benutzt, die endgültige Platine wird dann oft SMD-bestückt. Und wahrscheinlich war der Aufbau auf der Lochrasterplatine noch nicht EMV-optimiert, weil eine Massefläche fehlte. Aber man weiß nun, was es noch zu verbessern gilt.

## Bauteile und Schaltplan

Wahrscheinlich hat man nun schon Schaltpläne in Form von Skizzen. Aber jedes Platinenprogramm erfordert zuerst die Eingabe des Schaltplans. Und dabei muss jedes Bauteil ganz genau festgelegt werden. „Widerstand 10 k $\Omega$ “ reicht nicht, sondern man muss die Bauform mit angeben, also zum Beispiel einen SMD-Widerstand der Größe 0805. Oft ist die Wahl der richtigen Bauteile sehr zeitaufwendig, weil es eine so große Zahl ähnlicher Bauteile gibt. Das gilt vor allem für Steckverbinder, Schalter, Potis und dergleichen. Man muss ja auch noch darauf achten, dass

das ausgewählte Bauteil tatsächlich erhältlich ist. Und man muss sicher sein, dass der Footprint stimmt. Wenn am Ende eine wunderschöne Platine auf dem Tisch liegt, aber die USB-Buchse passt nicht in die Löcher, ist der Frust groß. Man muss also bei der Auswahl der Bauteile sehr sorgfältig vorgehen.

Ein Tipp zu den Größen der SMD-Widerstände und -Kondensatoren: Auf dem Bildschirm sieht alles so schön groß aus, dass man sich leicht verschätzen kann. Wenn es dann ans Löten geht, kann es sich herausstellen, dass die kleinsten Bauteile zumindest beim Handlöten problematisch sind. Man sollte sich ein paar der Teile auf den Tisch legen, um einen realistischen Eindruck zu behalten. Die Größe 0805 finde ich persönlich noch gut lötbar. Aber ich erinnere mich an ein Projekt, das ganz mutig mit Bauteilen der Größe 0402 geplant wurde, um Platz zu sparen. Was das für den Prototyp-Aufbau bedeutet, wurde erst beim Löten klar. Mit dem LötKolben wird es extrem schwierig. Etwas anders liegt der Fall, wenn auch schon der Aufbau der Prototypen in Auftrag gegeben wird.

Sind alle Bauteile ausgesucht, kann der Schaltplan mit allen Verbindungen fertig gezeichnet werden. Wenn übrigens später beim Zeichnen der Platine noch ein Fehler auftaucht, muss man immer noch einmal zurück zum Schaltplan und Änderungen zuerst hier eintragen. Denn die Software achtet immer auf die Übereinstimmung zwischen Schaltplan und Platine.

### Platine zeichnen

Nun zur Platine: Zuerst legt man die äußeren Maße fest, und ob es sich um eine doppel-seitige Platine handelt. Zusätzlich kann man nun noch abgerundete Ecken und besondere Formen festlegen. Die äußeren Umrisse lassen sich auch später noch verändern, aber es ist einfacher, wenn die Maße von vornherein stimmen.

Doppelseitige Platinen sind meist der Standard. Eine einseitige Platine bringt kaum noch Kostenvorteile, kann aber die Arbeit vereinfachen, wenn man sie selbst ätzen will. In den meisten Fällen bestelle ich beim ersten Versuch fünf oder zehn Muster von einem Dienstleister und spare mir diesen Teil der Arbeit. Manche Firmen bieten auch die Bestückung der Prototypen an. Aber dann sollte man vorab klären, welche Bauteile dort vorrätig sind und dies schon beim Erstellen des Schaltplans berücksichtigen.

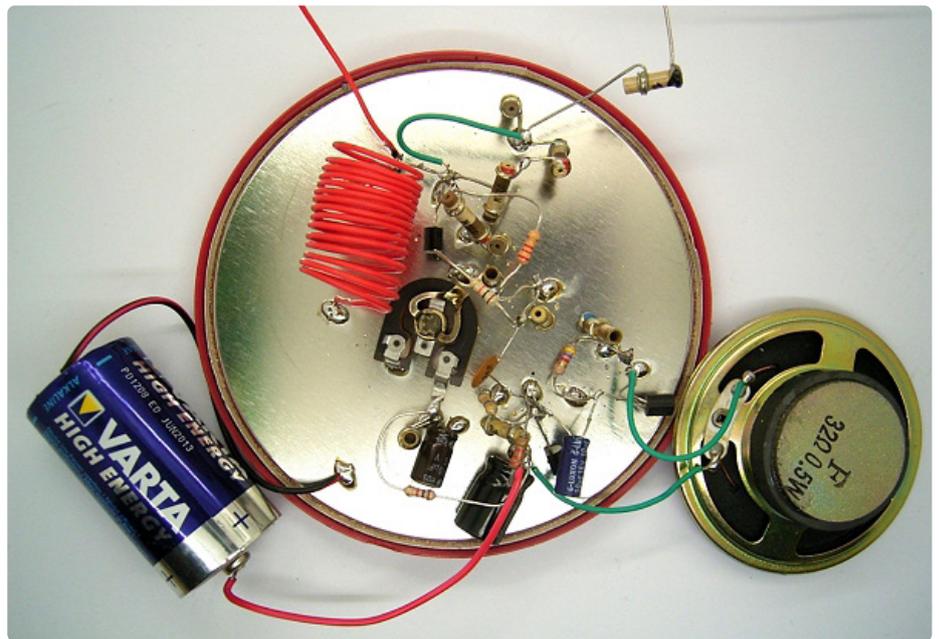


Bild 1. Testaufbau auf einem Blechdeckel.

Im nächsten Schritt werden alle Bauteile aus dem Schaltplan importiert und meist zunächst neben der Platine abgelegt. Man zieht sie dann nacheinander auf die Platine und sucht den passenden Ort, bei dem sich möglichst kurze und einfache Leitungsführungen ergeben. Hier ist es von Vorteil, wenn man vorab schon einmal alles auf eine Lochrasterplatine gebaut hat. Man hat dann schon eine Vorstellung davon, mit welcher Aufteilung sich Leitungskreuzungen und Durchkontaktierungen zur anderen Seite vermeiden lassen.

Wenn alle Bauteile platziert sind, kann man den Autorouter starten. Die Software versucht dann, alle Bauteile wie im Schaltplan zu verbinden. Allerdings kann es dann leicht passieren, dass die Leitungsführung unter anderen Gesichtspunkten suboptimal ist. Es könnten zu lange und verworrene Masseleitungen entstehen, oder der „kürzeste“ Weg zwischen VCC und GND über einen Bypass-Kondensator wird zu lang und bildet eine wirksame Schleifenantenne. EMV-Probleme sind dann vorprogrammiert.

Man sollte zumindest die Masse- und Versorgungsleitungen vorab selbst verlegen und dann erst den Autorouter starten. Ich gehe noch einen Schritt weiter und route lieber alle Leitungen von Hand. Vor allem sehr einfache Schaltungen haben meist einen klaren Aufbau (Bild 3) und lassen sich gut umsetzen.

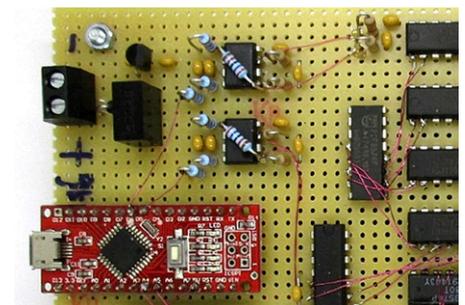


Bild 2. Testaufbau auf der Lochrasterplatine.

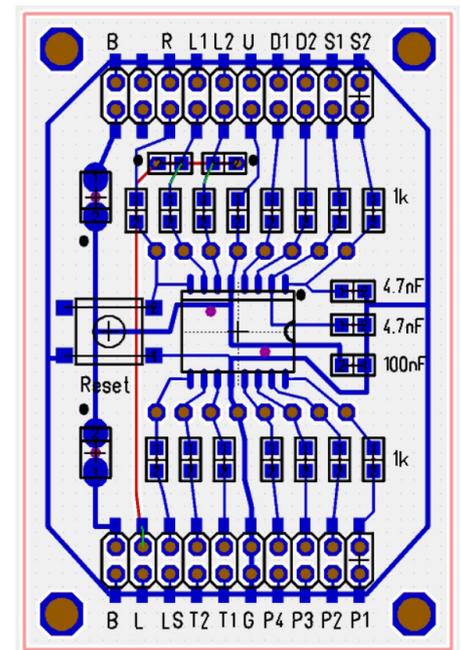


Bild 3. Platine mit umlaufender GND-Leitung.



Bild 4. Das SDR-Shield.

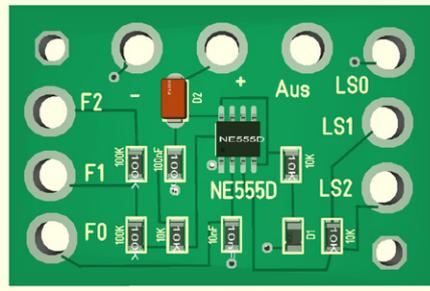


Bild 5. Runde 4-mm-Kontakte.

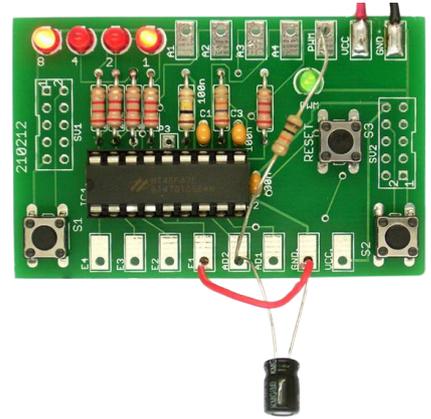


Bild 6. Experimentelle Anschluss-Pads.

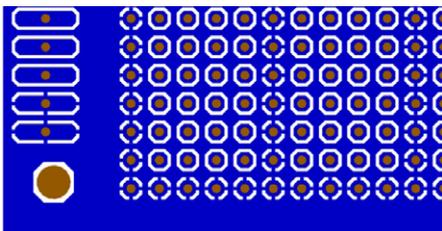


Bild 7. Rasterplatine mit Massefläche.

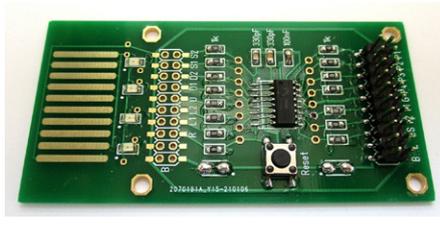


Bild 8. Ein Footprint-Fehler...

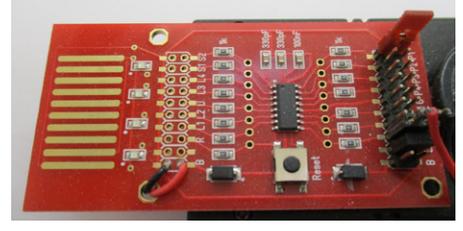


Bild 9. ... wurde korrigiert.

## Masseflächen

Eine große Hilfe sind durchgehende Masseflächen. Man erzeugt zum Beispiel als Erstes auf der Unterseite der Platine eine durchgehende Kupferfläche, die an GND gelegt wird. Alle Signalleitungen bleiben so weit wie möglich auf der Oberseite. Da, wo es sich wegen nötiger Leitungskreuzungen nicht vermeiden lässt, führt man eine Leitung mit einer Durchkontaktierung nach unten und an anderer Stelle wieder nach oben. Sinnvoll ist es, ein System festzulegen. Man kann vielleicht die Versorgungsleitungen horizontal laufen lassen und die Signalleitungen nach Möglichkeit vertikal. Jede Unterbrechung der Massefläche sollte so kurz wie möglich sein, damit es nur zu geringen Spannungsabfällen auf der Massefläche kommt. Letztlich hilft die Kupferfläche dabei, möglichst kurze Leitungen zu erreichen. Denn wo immer ein Bauteil an GND liegen soll, reicht eine Durchkontaktierung nach unten.

Masseflächen wirken Wunder, das zeigt beispielsweise das Elektor-SDR-Shield (Bild 4). Weil es sich um einen empfindlichen Kurzwellenempfänger handelt, müssen Störungen aller Art vermieden werden. Das Shield wird direkt auf einen Arduino Uno gesteckt. Zuerst hatte ich Sorgen: Kann das gut gehen, ein Empfänger so nah an einem Mikrocontroller? Aber es hat funktioniert,

der störungsfreie Empfang ist gesichert. Die Massefläche auf der Unterseite wirkt als Abschirmung. Und auch Störfelder von oben wirken sich weniger aus, weil die meisten Feldlinien direkt auf der Masse enden und nur wenige auf den dünnen Leiterbahnen.

## Anschlüsse

Die meisten Platinen brauchen irgendeine Verbindung zur Außenwelt. Oft kommen Pfostenstecker oder -buchsen am Rand der Platine zum Einsatz wie beim Arduino, oder auch andere genormte Stecksysteme. Wenn es um experimentelle Projekte oder Platinen für die Ausbildung geht, setzt man oft auf größere Anschlüsse. Runde, durchkontaktierte 4-mm-Löcher passen zu Bananensteckern, aber auch zu Krokodilkabeln (Bild 5). Ich verwende auch gern beidseitige, rechteckige Anschlussflächen mit durchkontaktiertem Loch im Abstand 5,08 mm. Diese Anschlusspunkte verursachen keine zusätzlichen Kosten und sind sehr flexibel einsetzbar. Hier kann man Drähte anlöten, Krokodilkabel verwenden oder auch Schraubklemmen einsetzen. Und für sehr einfache Versuche lassen sich auch Bauteile direkt in die Kontaktlöcher stecken (Bild 6).

Es gibt auch Platinen, die nur aus Anschlusspunkten bestehen. Dann braucht man keinen Schaltplan und kann gleich mit der Platine

loslegen. Für eine HF-taugliche Lochrasterplatine habe ich beidseitig eine durchgehende Massefläche erzeugt. Die meisten Kontaktpunkte liegen auf isolierten Inseln. Aber die Punkte am Rand des Feldes und mehrere durchgehende Reihen sind mit der Masse verbunden (Bild 7). So ist überall auf kurzem Wege die Masse erreichbar. Und man hat eine relativ gut abschirmende Fläche.

## Überprüfung des Platinen-Layouts

Die üblichen Platinenprogramme enthalten automatisierte Prüfungen, mit denen man Unterbrechungen, Kurzschlüsse und zu eng verlegte Leitungen finden kann. Aber es gibt auch Fehler auf ganz anderer Ebene, die man nur selbst findet. Das Ziel ist, dass schon die erste bestellte Platine fehlerfrei ist. Das gelingt allerdings nicht immer. Im langjährigen Durchschnitt hatte jede zweite Platine von mir doch noch einen Fehler. Oft war die berüchtigte letzte Änderung die Ursache, weil dabei ein neuer Fehler entstand. Manchmal war aber auch von Anfang an ein Irrtum im Projekt. Um eine Platine zu bestellen, muss man sie in Gerber-Dateien umsetzen. Das Platinenprogramm erzeugt dazu einzelne Dateien für die verschiedenen Ebenen der Platine und für die Bohrlöcher. Im Netz findet man verschiedene Gerber-Viewer, mit denen man

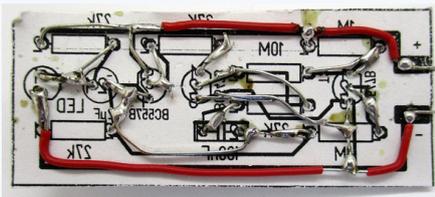
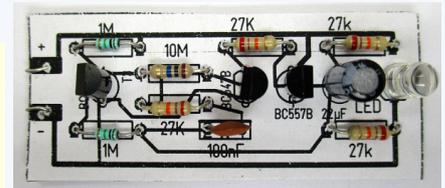
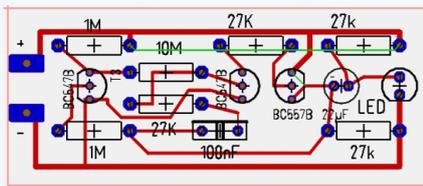


Bild 10. Entwurf, Testaufbau und fertige Platine.

sich das Ergebnis ansehen kann. Man schaltet dann eine Ebene nach der anderen ein und hat damit einen ganz anderen Blick. Das ist eine weitere wichtige Stufe der Überprüfung, die schon manchen übersehenen Fehler entlarvt hat. Aber auch dann bleibt noch ein Rest Unsicherheit, ob am Ende alles richtig funktionieren wird.

Eine weitere Methode zur Überprüfung einer Platine ist es, sie auf Papier auszudrucken und die Bauteile einmal passend draufzulegen. Bei einem Projekt habe ich einmal gedacht, ich könnte darauf verzichten, weil die Platine so schön einfach und klar strukturiert war. Als sie dann aber fertig auf dem Tisch lag und der Lötcolben schon heiß war, fiel es mir wie Schuppen von den Augen: Falscher Footprint für den Mikrocontroller im SO-Gehäuse! Da gibt es nämlich schmale und breite Bauformen. In diesem Fall habe ich den Prototyp doch noch bestückt und musste dazu alle Beinchen des Controllers an einer Seite mit Drähtchen verlängern (Bild 8). Da kann man sich richtig ärgern. Ich tröste mich dann meist damit, dass ich nach weiteren Verbesserungen suche. In diesem Fall konnten einige Beschriftungen optimiert werden, sodass die neue Runde sich doch noch gelohnt hat (Bild 9). Wenn es um sehr einfache Platinen mit bedrahteten Bauteilen etwa für Ausbildungsprojekte geht, kann man noch einen

Schritt weiter gehen und die Platine vorab aufbauen. Man klebt die ausgedruckte Platine dazu auf ein Stück Karton und sticht Löcher in die vorgesehenen Stellen. Dann werden die Bauteile wie in eine Platine gesteckt und unten verlötet. Die Leiterbahnen müssen dazu teilweise durch zusätzliche Drahtstücke nachgebildet werden. So hat man eine gute Chance, mögliche Fehler zu entdecken. Und es existiert schon ein brauchbarer Prototyp, mit dem man die Wartezeit bis zum Eintreffen der Platine überbrücken kann (Bild 10). Viele dieser Strategien zur Entwicklung einfacher Platinen passen gut zu kleinen, überschaubaren, experimentellen Projekten, aber natürlich weniger gut zu großen Designs. Der Chef einer großen Firma hätte vielleicht weniger Verständnis für meine Karton-Platinen. Was soll der Quatsch, das ist doch Zeitverschwendung, ein guter Ingenieur macht gleich alles richtig. Ja, das stimmt zwar im Prinzip. Aber trotzdem passieren Fehler, und meist sind mehrere Entwürfe nötig, wobei jedes Mal Kosten und Wartezeiten dazu kommen. Für mich hat es sich bewährt, mehr Arbeit in die Vorversuche und Tests zu stecken und dafür weniger Platinen zu bestellen. ◀

220226-02

### 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).

### Über den Autor

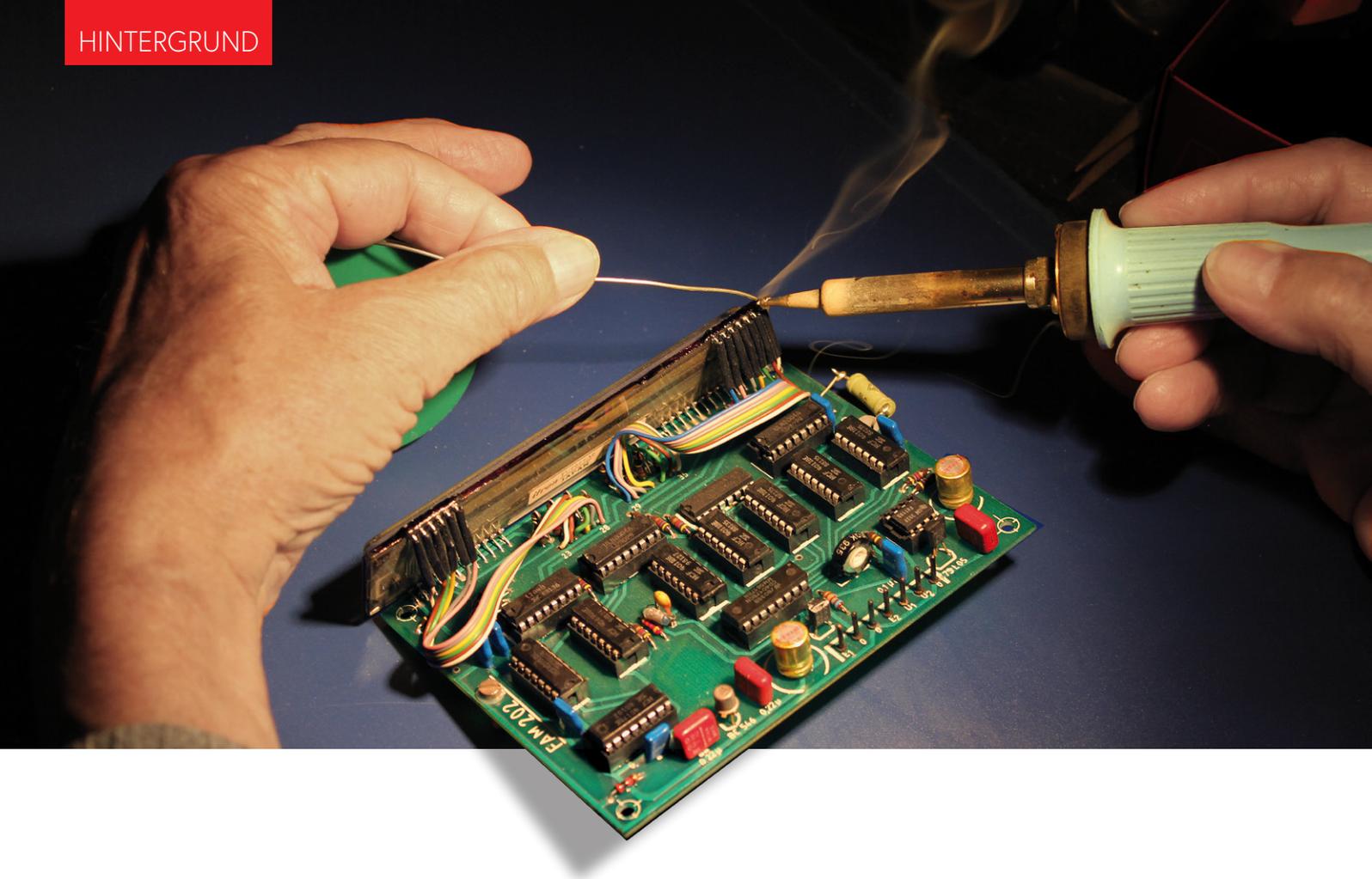


Burkhard Kainka war viele Jahre als Physiklehrer tätig, bevor er sich 1996 als Entwickler und Autor im Bereich Elektronik und Mikrocontroller selbstständig machte. Er betreibt die Internetseiten [www.elektronik-labor.de](http://www.elektronik-labor.de) und [www.b-kainka.de](http://www.b-kainka.de), auf der kleinere und größere Projekte sowie Grundlagen der Elektronik zu finden sind. Burkhard ist leidenschaftlicher Funkamateur mit dem Rufzeichen DK7JD.



### Passendes Produkt

> **Elektor SDR Shield 2.0, unbestückte Platine (SKU 18560)**  
[www.elektor.de/18560](http://www.elektor.de/18560)



# Löten ...na und?

Ein etwas genauerer Blick auf die heutige Löttechnik

Von Peter Beil (Deutschland)

Kaum einer ist sich dessen bewusst: Löten im Elektronikbereich ist ein hochkomplexer Vorgang, denn dabei finden auf kleinstem Raum komplizierte thermische und chemische Prozesse statt. Doch es gibt keinen Grund, davor zurückzuschrecken, wenn man einige Grundregeln beachtet.

Durch Löten soll nicht nur ein guter Kontakt ohne Übergangswiderstand hergestellt werden, die Lötstelle muss auch mechanisch widerstandsfähig sein und soll nicht oxidieren. Auch dürfen keine chemischen Reste wie Flussmittel übrig bleiben, da diese naheliegende Metalle (und auch Kunststoffe) angreifen können. Die Lötmittel werden üblicherweise in drei Kategorien aufgeteilt: die Consumer-Version, die Industrierausführung und die Highend-Lötung, wobei letztere zum Beispiel im Automotive-Bereich oder in potentiell lebensbedrohenden Umgebungen zur Anwendung

kommt. Als Maker, die wir sind, wollen wir uns hier aber mit der Handlötung im Selbstbau- und Entwicklerbereich beschäftigen.

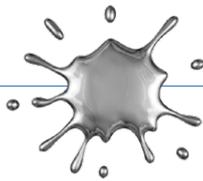
## Das gute alte Blei-Lot

Lange Jahre war bleihaltiges Lot Standard, es floss und benetzte gut und hatte einen relativ niedrigen Schmelzpunkt von circa 183 °C, was nach der Faustformel

*Verflüssigungspunkt der Legierung + 120 °C = Arbeitstemperatur an der Lötspitze*

einer einzustellenden Löttemperatur von etwa 300 °C entsprach. Das im Lötendraht enthaltene Flussmittel diente dabei der Auflösung von Oxiden an der Lötstelle. Das Zinn aus dem Lot löste das Kupfer an (oder andere Metallisierungen) und es entstand eine sogenannte intermetallische Diffusionszone, in der beide Metalle legierten. Damit erhielt man (meist) eine gut ausgebildete Lötstelle, belastbar und langlebig.

An dieser Stelle muss man leider auf die so genannte kalte Lötstelle hinweisen (**Bild 1**). Sie entsteht durch vorhandene hochgradige Metalloxydationen an den Bauteilen, durch Schmutz, falsche Temperatur oder zu frühes Erkalten während des Schmelzvorgangs. Dies führt zu unerwünschten Übergangswiderständen bis zum Ablösen des Bauteils. Die Aufnahmen des Elektronenmikro-



skops in **Bild 2** zeigen, wie mangelhaft die Eigenschaften einer kalten gegenüber einer „guten“ Lötstelle sind.

In den Zeiten bleihaltigen Lots erkannte man solche kalten Lötstellen sofort an der matten Lötstruktur, eine „gute“ Lötstelle dagegen glänzte. Dies ist bei den bleifreien Lötten leider nicht mehr so. Mit den neuen Legierungen haben Lötstellen, ob kalt oder nicht, je nach Zusammensetzung, meist ein mattes Aussehen (**Bild 3**).

### Bleifrei ins neue Jahrtausend

Durch die Einführung des bleifreien Lots im Jahr 2006 ist die Sache mit dem Handlöten etwas schwieriger geworden. Diese neuen Lote bezeichnet man als RoHS-konform (*Restriction of Certain Hazardous Substances, also Richtlinie zur Beschränkung gefährlicher Stoffe*) [1]. Lote dürfen nicht mehr als 0,1 % Bleianteil enthalten. Das soll uns in erster Linie vor dem Einatmen der giftigen Dämpfe bewahren. Allerdings war die Gefährdung dabei relativ gering, denn es gab schon lange entsprechende Absauganlagen, sie mussten nur genutzt werden.

Lange war man sich nicht über die Gefahren im Umgang mit Blei bewusst. Ein Beispiel aus vergangenen Zeiten: Ein professioneller Schriftsetzer hatte wegen der Bleilettern innerhalb weniger Jahre all seine Zähne verloren.

### Es wird heißer an der Lötspitze

Jeder, der zum ersten Mal mit der bleifreien Technik arbeitet, bemerkt sehr schnell, dass das „neue“ Lötzinn deutlich mehr Temperatur benötigt und ein anderes Fließverhalten zeigt. Da das viele Bauteile übel nehmen, hat man versucht, mit neuartigen Flussmitteln und kürzeren Lötzeiten gegenzusteuern, was den Lötendraht allerdings verteuerte (siehe unten).

Man sollte also vorsichtig mit „besonders preiswertem“, oft im fernen Asien gefälschten bleifreiem Lötendraht sein. Denn mit zu hoher Temperatur hat man nicht nur schnell ein sensibles Bauteil zerstört, sondern auch ganz schnell mal ein Lötauge von der Platine gelöst.

Den heimischen Entwicklern und Makern ist bis zur Stunde noch erlaubt, bleihaltiges Lötzinn zu verwenden, solange sie das Produkt „nicht in den Verkehr bringen“. Das heißt, dass man das im heimischen Labor erzeugte „Werk“ nicht in größeren Stückzahlen gegen Geld verkaufen darf. **Bild 4** beweist, dass „bei Makers“ neben RoHS-konformen Lot auch heute noch bleihaltiger Lötendraht zum Einsatz kommt.

### Was ist drin im Lötendraht?

Die inzwischen gebräuchlichen bleifreien Legierungen haben in der Regel einen wesentlich höheren Zinnanteil. Lag er bisher bei etwa 63 %, sind es nun, je nach Hersteller, rund 95 %. Damit steigt der Schmelzpunkt der Legierung auf 217 °C bis 227 °C. Bisher war das Zinn der Bestandteil im Lot, welcher die intermetallische Zone bildete und die lötbaren Metalloberflächen „anlösen“ konnte.

Blei war immer nur der inaktive Bestandteil der Legierung, auch mit dem Vorteil, den Lötendraht billiger zu machen und den Schmelz-

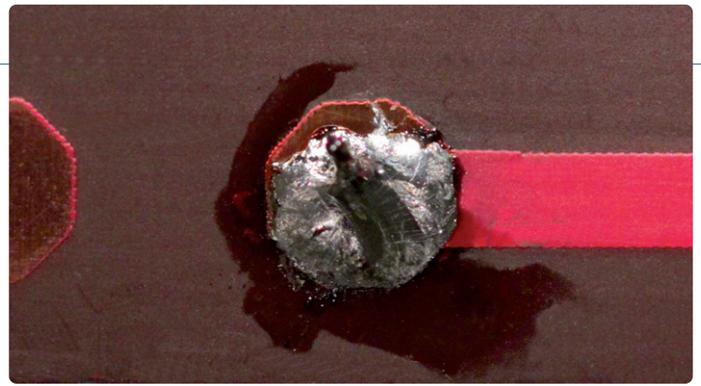


Bild 1. Leider eine kalte Lötstelle.

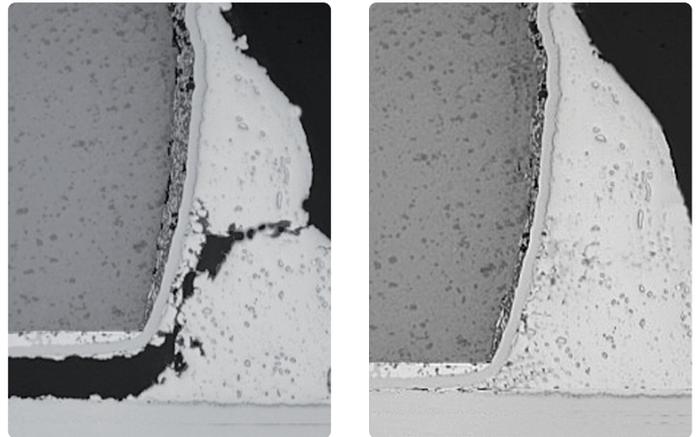


Bild 2. Links eine kalte Lötstelle unter dem Elektronenmikroskop, rechts sorgt eine intakte Lötstelle für den richtigen Kontakt (Quelle: Infineon AG).



Bild 3. Eine andere Optik: bleifreie Lötstelle (links) und Lötstelle mit bleihaltigem Lot (rechts).



Bild 4. Bleihaltiger und bleifreier Lötendraht.

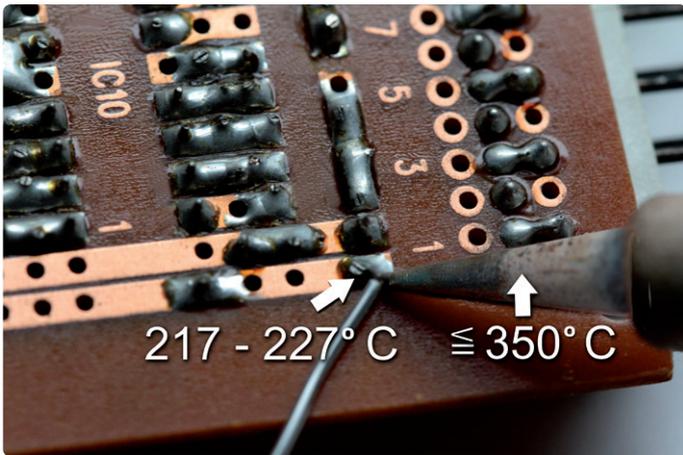


Bild 5. Manche mögen's heiß: Temperaturverhältnisse am LötKolben beim bleifreiem Löten.

punkt des Zinnes von 232 °C auf 183 °C zu senken. Mehr Zinn im Lot in Kombination mit höherer Löttemperatur bedeutet jetzt aber, dass man auf seine Werkzeuge und Bauteilmetalisierungen etwas mehr aufpassen muss. Das Lot löst Kupferoberflächen nicht nur schneller an, sondern auch schneller auf.

### Warum ist „bleifrei“ teurer?

Will man bei bleifreien Standardlegierungen die oben angesprochene Temperatur von 217 °C als eine der geringstmöglichen Schmelztemperaturen erreichen, enthält die übliche Zusammensetzung neben den 95,5 % Zinn auch 0,7 % Kupfer und auch noch etwa 3,8 % Silber. Der Vorteil ist der relativ niedrige Schmelzpunkt, der damit erreicht wird, der Nachteil ist der Silberanteil von knapp 4 % im Lot, der den Preis des Löt drahtes durchaus verdoppeln kann. Grundsätzlich kann man diese silberhaltige Legierung etwas preisgünstiger gestalten, indem der Silberanteil auf 3 % reduziert wird. Dann hat die Legierung einen Schmelzbereich von 217...223 °C, was sowohl bei der Verarbeitung als auch bei der Lebenserwartung einer Lötstelle nicht wirklich auffällt.

Preislich günstigste Legierungen bestehen zum Beispiel aus 99,3 % Zinn und 0,7 % Kupfer, was einen definierten Schmelzpunkt von 227 °C ergibt. Dabei muss aber gegenüber einer silberhaltigen Legierung nicht zwingend die Temperatur an der Lötspitze um 10 °C erhöht werden (**Bild 5**).

### Temperatur-Grenzwerte sollten eingehalten werden

Rein rechnerisch müsste in diesem Fall eine LötKolbentemperatur von 350 °C eingestellt werden. Benötigt man 10...20 °C mehr, um eine bestimmte Wärmemenge in kurzer Zeit einzutragen, kann das durchaus so geschehen. Aber Temperaturen oberhalb von 380 °C schaden in der Regel den Platinen und den Bauteilen mehr, als dass sie beim Löten helfen. Auch verbrennt das Flussmittel im Draht wesentlich schneller, das seine Aufgabe bei einer



Bild 6. Verschiedene Lötspitzen.

bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Zeit erfüllen kann. Jede Temperaturerhöhung um 10 °C halbiert die aktive Dauer des Flussmittels; die Zeit, die es zur Entfernung der Oxide benötigt, wird kürzer – und irgendwann ist sie zu kurz.

Die genannten Legierungen unterscheiden sich natürlich von Hersteller zu Hersteller und können durchaus noch andere Komponenten enthalten. Aus patentrechtlichen Gründen hält man sich bei den Herstellern da eher bedeckt.

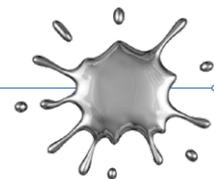
Beim Weichlöten geht es immer um den Eintrag einer notwendigen Energiemenge und das Erreichen bestimmter Mindesttemperaturen. Das Lot muss flüssig sein und eine bestimmte Temperatur oberhalb des Verflüssigungspunktes haben. Dies ermöglicht das Anlösen der Metalisierungen, um so eine belastbare Lötstelle zu bilden. Die zuvor genannten bleifreien Legierungen sind allesamt ausreichend langzeitbeständig. Ganz grob gesagt sind die silberhaltigen Lote für Anwendungen mit höheren Temperaturwechseln besser geeignet, die meist mit dauernder mechanischer Belastung oder Vibration einhergehen. Hier sei nochmals der vorher genannte High-Tech Einsatz in der Autoelektronik oder Medizintechnik erwähnt.

### Lötzinn soll gut fließen

Ein Löt draht besteht aber nicht nur aus einer Legierung, sondern auch aus dem schon erwähnten Flussmittel. Ganz früher gab es keine Löt drahte mit integriertem Flussmittel. Man behalf sich mit Löt pasten oder mischte sich selbst ein Mittelchen. Ein altes Rezept war Tri (Trichlorethylen), gemischt mit Kolophonium-Harz, mit der schönen Bezeichnung Löthonig.

Die Aufgabe eines Flussmittels ist es, die Oxide auf den beteiligten Komponenten zu entfernen: am Bauteil, der Leiterplatte und natürlich auch aus dem flüssigem Lot. Das soll so lange wie möglich geschehen, um ein möglichst langes Prozessfenster beim Löten zu erreichen.

Man unterscheidet halogenhaltige und halogenfreie Flussmittel.



Beide entfernen die Oxide mit Hilfe einer Säure-Metalloxid-Reaktion. In den bleifreien Loten müssen sie diese Reaktion bei höheren Temperaturen durchführen und sie muss bei höherer Löttemperatur länger aktiv sein. Das Flussmittel muss in ausreichender Menge vor dem Lot fließen können, die Oxide entfernen, die entstandenen Salze vor dem Lot abtransportieren und dem flüssigen Lot eine schön saubere, reine Metalloberfläche hinterlassen. Andererseits darf auch nicht zu viel Flussmittel vorhanden sein, damit überschüssige Reste nicht nachträglich entfernt werden müssen. Erkaltes Flussmittel ist nicht nur unschön, es behält trotz gegenteiliger Meinung meist seine chemische Wirkung und damit sollte man auf alle Fälle vorsichtig sein.

### „Bleifrei“ erfordert etwas mehr Energie

Für eine bleifreie Lötstelle braucht man im Vergleich zur bleihaltigen mehr Energie. Da die benötigte Energiemenge höher ist, sollte man die Wärmeübertragung auf die Lötstelle als wichtigen Aspekt beim Löten betrachten. Zu jeder Lötaufgabe gehört eine Lötspitze mit der passenden Wärme-Übergangsfläche, damit man den höheren Energiebedarf für das Aufschmelzen des bleifreien Lotes nicht vollständig durch eine Erhöhung der Arbeitstemperatur kompensieren muss.

Die Wahl der richtigen Lötspitze (**Bild 6**) ist also ein wichtiger Faktor, genau wie deren laufende Reinigung, denn auch sie oxidiert und verzündert bei hoher Wärmebelastung. Ferner neigen Lötspitzen nach längerem Gebrauch zur Aushöhlung an der Kontaktfläche. Dies bedeutet einen signifikanten Verlust bei der Wärmeübertragung.

Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Verwendung bleifreier Legierungen eine Temperaturerhöhung von zum Beispiel 360 °C auf 410 °C den Lötspitzenverschleiß nahezu exponentiell erhöht, die Lebensdauer der Lötspitze also wesentlich verkürzt. Man sollte deshalb für die Lötstelle generell eine geringfügig längere Lötbeziehungsweise Kontaktzeit berücksichtigen, um die Arbeitstemperatur nicht unnötig erhöhen zu müssen. Eine Lötstation mit 80 W oder höher wäre das richtige Arbeitsgerät.

### Fazit

Bleifreies Löten ist nicht komplizierter, es ist nur anders. Man muss sich erst einmal mit dem veränderten Ausbreitungs- und Benetzungsverhalten des bleifreien Lotes vertraut machen. Dazu kommt eine minimal längere Lötzeit, um die Löttemperatur nicht unnötig erhöhen zu müssen. Eigentlich hat sich nicht viel verändert. Am besten testet man verschiedene Lötdrähte, um seinen persönlichen Favoriten zu finden. Generell sollte man Lote mit höherem Silberanteil bevorzugen (auch wenn es teurer ist).

Bleidämpfe bleiben uns ja nun erspart, aber der eigentliche „Qualm“ kommt von den Flussmitteln - und da wissen wir nicht so recht, was alles drin ist. Eine - wenn auch nur kleine - Lötdampfabsaugung ist deshalb auch heute noch eine gute Investition! ◀

210653-02

### Zum Nachlesen

Die bekannten Hersteller von Lötprodukten bieten eine erstaunliche Menge von allgemeinen Infomaterial zu den Themen bleihaltige und bleifreie Lötdrähte, Flussmittelarten, Lötspitzen, Anleitungen und Praxistipps und vieles andere mehr zum kostenlosen Download.

[www.felder.de/downloads/allgemeine-informationen.html](http://www.felder.de/downloads/allgemeine-informationen.html)  
[www.stannol.de/downloads/fachbeitraege.html](http://www.stannol.de/downloads/fachbeitraege.html)  
[www.almit.de/index.php#Goodtoknow](http://www.almit.de/index.php#Goodtoknow)  
[www.almit.de/Kompendium-expertenberichte](http://www.almit.de/Kompendium-expertenberichte)

### Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Dann wenden Sie sich bitte per E-Mail an die Elektor-Redaktion unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



### PASSENDE PRODUKTE

- ▶ **Voltera Lötdraht (Sn42 Bi57 Ag1) (SKU 19882)**  
[www.elektor.de/19882](http://www.elektor.de/19882)
- ▶ **Velleman Lötdraht (Sn60 Pb40) (SKU 19860)**  
[www.elektor.de/19860](http://www.elektor.de/19860)
- ▶ **Lötstationen im Elektor-Store**  
[www.elektor.de/catalogsearch/result/?q=I%C3%B6station](http://www.elektor.de/catalogsearch/result/?q=I%C3%B6station)

### WEBLINK

[1] RoHS-Richtlinie: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002L0095&from=DE>

# Bluetooth-Garagentorsteuerung mit niedriger Latenz

## Steuerung mit kurzen BLE-Nachrichten über ein Smartphone

Von Stephan Lück (Deutschland)

Ich möchte oft mein Garagentor öffnen, aber ich habe selten den 433-MHz-Fernbedienungssender in meiner Tasche. Deshalb habe ich einen kleinen Bluetooth-Low-Energy-Empfänger (BLE) gebaut, der über eine Android-App auf meinem Smartphone gesteuert werden kann.

Eine Besonderheit bei diesem Projekt ist, dass BLE-Protokolladateneinheiten (PDUs) verwendet werden, wodurch Verzögerungen beim Verbindungsaufbau vermieden werden. Das System reagiert damit genauso schnell auf einen Fernsteuerungsbefehl wie eine klassische Hardware-Kombination aus Garagentor-Sender und -Empfänger. Die Kommunikation erfolgt nur in eine Richtung, vom Smartphone zum Empfänger, und ist durch HMAC [1] gesichert. Die Idee war es, Hardware und Software so einfach wie möglich zu halten. Ich teile dieses Projekt mit Ihnen in der Hoffnung, dass Sie es nützlich finden oder es als Grund-

lage für ähnliche Projekte verwenden können. Der Quellcode ist auf GitHub [2] verfügbar.

### Das Protokoll

Zur Übertragung eines Befehls werden BLE-Advertising-PDUs verwendet, die in der Bluetooth-Spezifikation [3] (Band 6, Teil B, Abschnitt 2.3) beschrieben sind. Aus Kompatibilitätsgründen werden die kurzen (Legacy-) Advertising-PDUs verwendet, die ein *AdvData*-Feld von maximal 31 Byte enthalten. Das *AdvData*-Feld enthält eine Folge von Advertising-Data-Elementen (AD) [4] (vergleiche Band 3, Teil C, Abschnitt 11 der Bluetooth-

Spezifikation). Ein mögliches AD-Element ist das *Service-Data*-Element (vergleiche Bluetooth Core Specification Supplement, Teil A, Abschnitt 1). Das *Service-Data*-Element enthält eine *Service-UUID*, gefolgt von einer beliebigen Anzahl von Bytes.

Diese Struktur des *Service-Data*-AD-Elements wird zur Übertragung eines Fernsteuerungsbefehls verwendet. Der *Service Universal Unique Identifier* (UUID) mit 128 Bit entspricht einer eindeutigen Sender-ID. Mit anderen Worten: Jeder Sender definiert einen bestimmten BLE-Service. Die an die UUID angehängten Daten sind wie folgt strukturiert. **Bild 1** zeigt eine vereinfachte Darstellung.

```
typedef struct {
    uint8_t cmd; /* command (currently always 0) */
    uint8_t seq_no[3]; /* sequence number (big endian) */
    uint8_t digest[4]; /* first four octets of HMAC-SHA256 */
} gd_message_t;
```

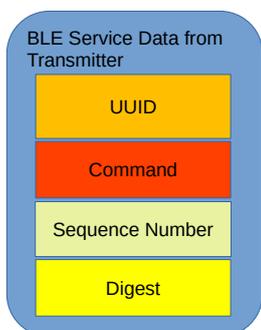


Bild 1. Vereinfachte Datenstruktur.

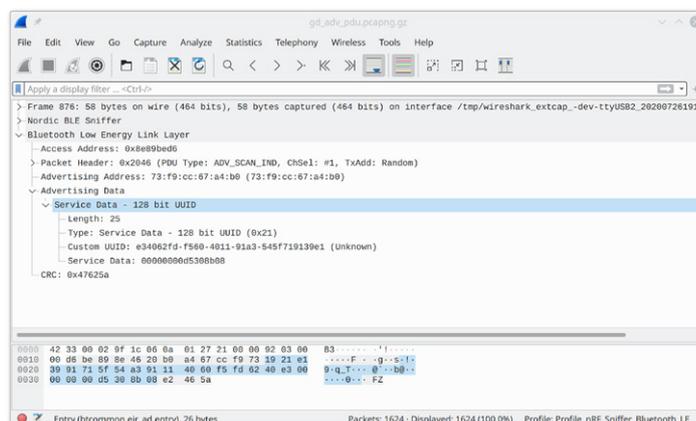


Bild 2. Von Wireshark aufgezeichnete PDU.

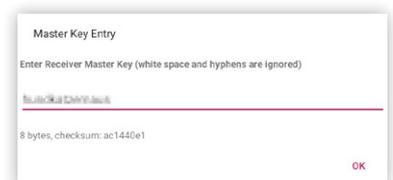


Bild 3. App-Start und Schlüsselgenerierung.



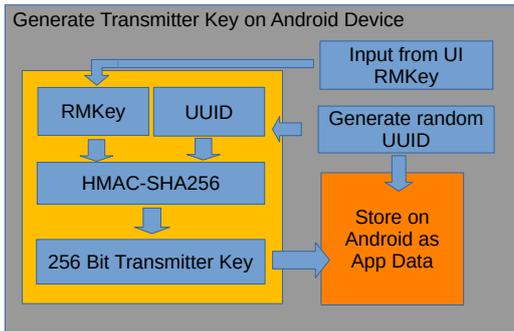


Bild 4. Flussdiagramm für die Berechnung des Transmitter-Schlüssels.

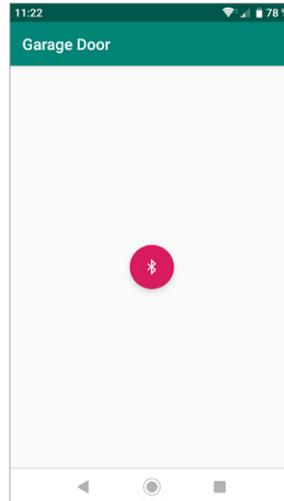


Bild 5. Die App ist bereit für den Einsatz.

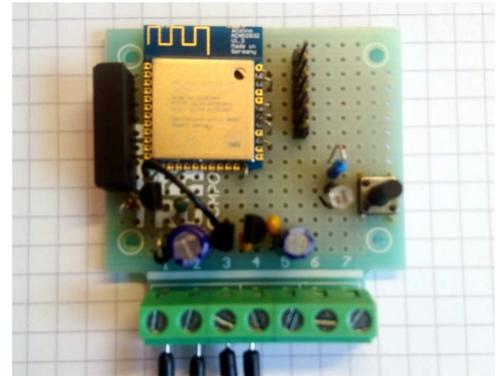


Bild 6. Der fertige Prototyp ist einsatzbereit.

**Digest** authentifiziert die Nachricht. Die Sequenznummer ermöglicht es, doppelte PDUs zu erkennen und verhindert Replay-Angriffe. Da BLE-Advertising-PDUs nicht verschlüsselt sind, ist es möglich, dass auch andere Empfänger sowohl die UUID als auch die zusätzlichen Daten erhalten.

Der Digest-Wert wird auf der Grundlage eines Senderschlüssels berechnet. Der Senderschlüssel wird wiederum von einem im Empfänger gespeicherten Empfänger-Masterschlüssel (RMkey) abgeleitet, der auf der Sender-UUID basiert.

`transmitter_key = HMAC-SHA256(RMkey, transmitter_UUID)`

Ein Beispiel für eine Advertising-PDU ist in dem Wireshark-Screenshot zu sehen (Bild 2).

### Der Sender

Der Sender ist eine einfache Android-App, die API-Level 21 benötigt (entspricht Android 5 „Lollipop“). Beim ersten Start berechnet die App eine zufällige UUID und zeigt einen Einstellungsdialog an, um den RMkey als base32-kodierten String einzugeben (Bild 3). Der Setup-Dialog zeigt die Länge des Schlüssels und eine CRC32-Prüfsumme an, um dem Benutzer zu helfen, Tippfehler bei der Eingabe des Schlüssels zu vermeiden. Die App berechnet den Senderschlüssel aus der UUID und dem RMkey und verwirft dann den RMkey. Das Tupel (UUID, Senderschlüssel), das einer Senderidentität entspricht, wird dann dauerhaft gespeichert. Die Senderidentität geht erst verloren, wenn die App deinstalliert wird oder die Anwendungsdaten manuell gelöscht werden. Ein Prinzip zur Berechnung ist in Bild 4 dargestellt.

Nach der Einrichtung zeigt die App eine rote Schaltfläche an (siehe Bild 5). Beim Anklicken des Buttons wird eine BLE-Advertising-Prozedur konfiguriert, die die oben beschriebene Service-Data-AD-Struktur in einem Intervall von ein paar Sekunden wiederholt sendet.

### Der Empfänger

Der Empfänger wurde auf einem Prototyping-Board um das BLE-Modul ACN52832 von aconno [5] herum aufgebaut (Bild 6). Das Modul enthält einen NRF52382-Mikro-

controller von Nordic Semiconductor, einen Taster, eine LED und ein Relais, über das der Garagentorantrieb geschaltet wird. Der Empfänger benötigt eine Spannungsversorgung von 9...24 V<sub>DC</sub>. Wenn möglich, wird die Versorgungsspannung dem Garagentorantrieb entnommen, andernfalls verwendet man ein einfaches Steckernetzteil zur Versorgung. Den vollständigen Schaltplan finden Sie in Bild 7. Beim Erstellen der Software für den Mikrocontroller erzeugt ein Python-Skript die Datei `rxm_key.bin`, die den 20 Byte langen RMkey

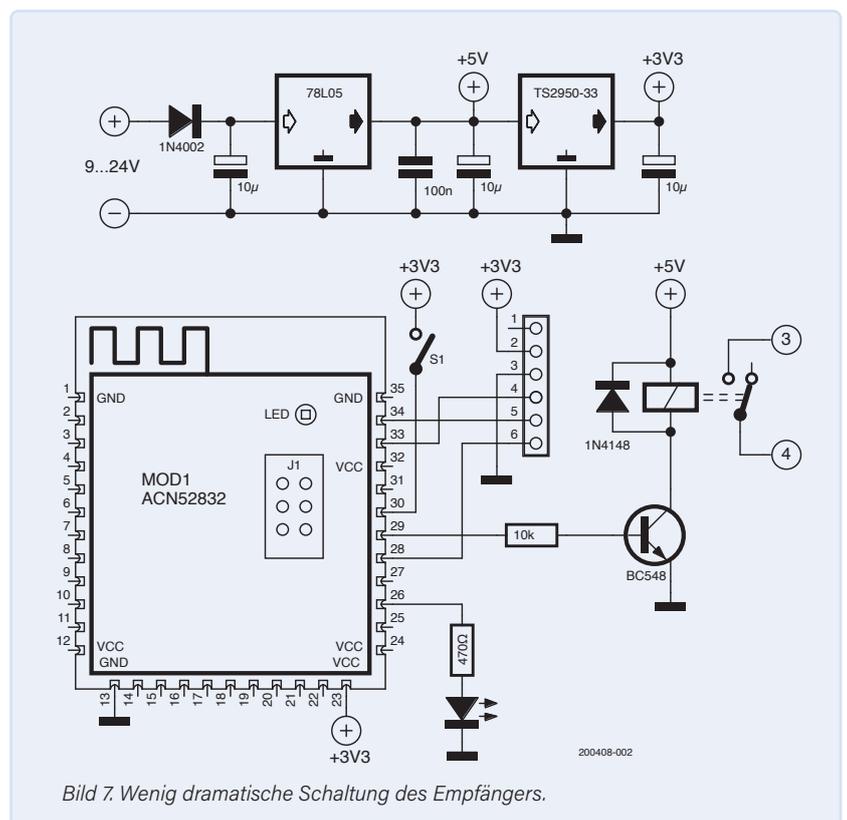


Bild 7. Wenig dramatische Schaltung des Empfängers.

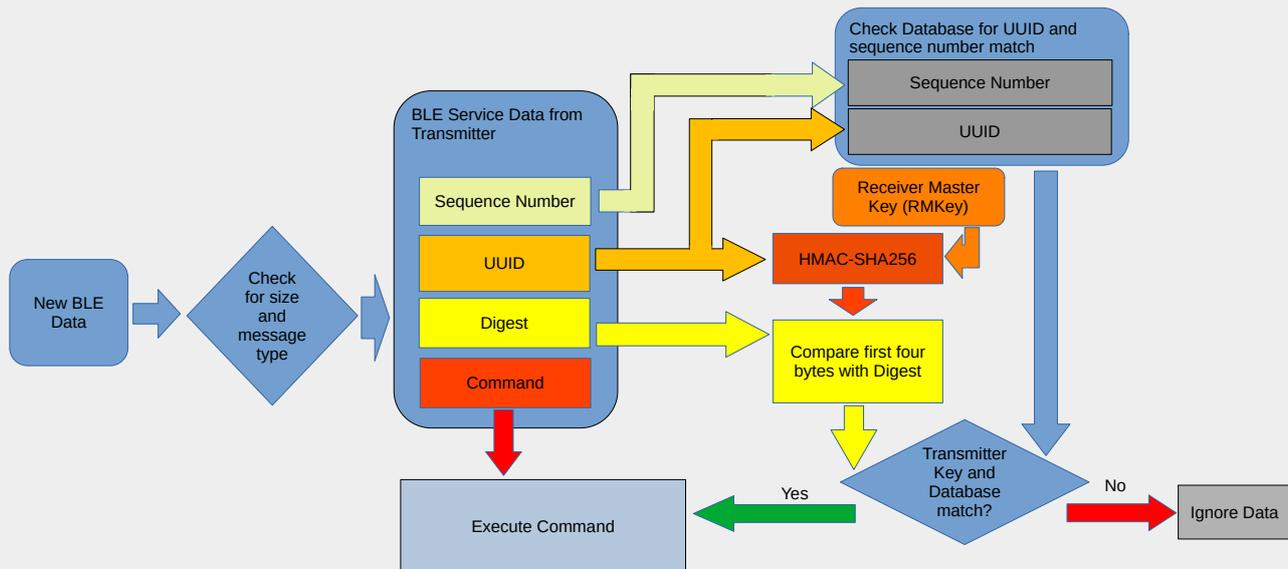


Bild 8. Flussdiagramm für den Empfang von BLE-Daten.

enthält. Außerdem wird der Schlüssel in lesbare Textform erzeugt und in `_build/rxm_key.txt` gespeichert. Letzterer enthält die Informationen, die beim ersten Start in die Sender-App eingegeben werden müssen.

Der Empfänger unterhält eine Datenbank mit Sender-UUIDs und Sequenznummern. Um einen neuen Sender hinzuzufügen, muss die Taste gedrückt werden und dann der hinzuzufügende Sender aktiviert werden. Wenn die Taste aber länger als fünf Sekunden gedrückt wird, wird die Datenbank gelöscht und der Empfänger reagiert auf keinen Sender mehr. Wenn der Empfänger eine Advertising-PDU mit der oben beschriebenen *Service-Data-AD*-Struktur erhält, prüft er den Digest-Wert, ob er die UUID des Senders kennt und ob die Sequenznummer korrekt ist (Bild 8). Wenn alle Prüfungen erfolgreich sind, wird das Relais für eine Sekunde aktiviert. ◀

200408-02

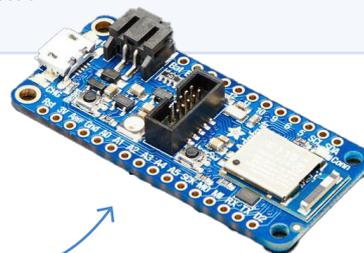
### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Kontaktieren Sie den Autor über GitHub [2] oder wenden Sie sich an Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



### PASSENDE PRODUKTE

- > Adafruit CLUE - nRF52840 Express mit Bluetooth LE (SKU 19512) [www.elektor.de/19512](http://www.elektor.de/19512)
- > Dogan Ibrahim, *Android App Development for Electronics Designers* (SKU 18687) [www.elektor.de/18687](http://www.elektor.de/18687)
- > makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle im Gehäuse (SKU 19252) [www.elektor.de/19252](http://www.elektor.de/19252)
- > Adafruit Feather nRF52840 Express (SKU 20114) [www.elektor.de/20114](http://www.elektor.de/20114)



### WEBLINKS

- [1] HMAC (Wikipedia): <https://de.wikipedia.org/wiki/HMAC>
- [2] GitHub-Repository: <https://github.com/kiffie/ble-garage-door>
- [3] Bluetooth SIG: <https://www.bluetooth.com/>
- [4] Bluetooth Advertising Data Basics, Silicon Labs: <https://bit.ly/silabs-bluetooth-ad>
- [5] ACN52832 von aconno: <https://aconno.de/products/acn52832/>

# Ideal Diode Controller

„Dioden“ mit geringer Verlustleistung

Von Rainer Schuster (Deutschland)

Verluste von Dioden zu minimieren ist immer dort von großer Bedeutung, wo hohe Ströme bei relativ niedrigen Spannungen fließen. Das ist zum Beispiel bei der Parallelschaltung von Solarmodulen oder Lithium-Ionen-Akkus der Fall. Um solche Verluste zu minimieren, wurden sogenannte „Ideal Diode Controller“ entwickelt.

Ein typische Anwendung von Dioden sieht man in **Bild 1**. Die Dioden sind erforderlich, um einen Stromfluss von einer Batterie oder einem Solarmodul in eine andere Batterie oder ein anderes Solarmodul zu verhindern. Betrachtet man aber die Verluste von Siliziumdioden, hier am Beispiel einer 1N5404, sagt das Datenblatt, dass die Durchlassspannung bei 3 A bereits 1 V beträgt (**Bild 2**). Bei 3 A ergibt sich so eine Verlustleistung von 3 W!

Ein bisschen besser sieht es aus, wenn man eine Schottky-Diode verwendet, zum Beispiel eine 1N5822, die auch 3 A verträgt. Der Spannungsabfall über der Diode beträgt bei diesem Strom nur noch 0,45 V, was, wie **Bild 3** zeigt, einer Verlustleistung von 1,35 W entspricht.

Will man aber Dioden für höhere Ströme verwenden, zum Beispiel 100 A und mehr (was bei der Parallelschaltung von Li-Ion-Akkus durchaus realistisch ist), dann steigt auch bei Verwendung von Schottky-Dioden die Verlustleistung auf nicht akzeptable 50 W und mehr.

## Die Ideale Diode

Um diese Verlustleistung zu minimieren, hat die Firma Linear Technology sogenannte „Ideal Diode Controller“ wie den LTC4357 entwickelt. Dieser Controller besitzt einen Eingang (Anode), einen Ausgang (Kathode) und einen Ground-Anschluss. Zusammen mit einem NMOS-FET

verhält sich die Schaltung in **Bild 4** wie eine „ideale“ Diode, wobei die maximale Spannung für den LTC4357 80 V beträgt. Natürlich muss die maximal erlaubte Drain-Source-Spannung des MOSFETs der vorhandenen Spannung zwischen Ein- und Ausgang entsprechen. Der maximale Diodenstrom hängt nur vom maximal erlaubten Drainstrom des MOSFETs ab. Die Verlustleistung wird lediglich vom Drain-Source-Widerstand des MOSFETs bestimmt.

In der typischen Applikation in Bild 4 arbeitet der LTC4357 im Prinzip wie ein Komparator: Ist die Eingangsspannung größer als die Ausgangsspannung, wird Q1 leitend, ansonsten sperrt Q1 und verhindert einen Stromfluss von der Kathode (Drain) zur Anode (Source).

Man sieht zwar und wundert sich vielleicht, dass der Versorgungsspannungsanschluss VDD des LTC4357 mit dem Ausgang (Kathode) verbunden ist, die Schaltung funktioniert aber trotzdem, da der LTC4357 beim Einschalten seine Versorgungsspannung über die Body-Diode von Q1 erhält (falls an der Kathode keine Spannung einer anderen Quelle anliegt). Als zusätzliches Feature wird Q1 im Falle eines Kurzschlusses zwischen Kathode und GND ebenfalls abgeschaltet. In der oben gezeigten Applikation wird als MOSFET ein IRF2805 verwendet. Laut Datenblatt beträgt der Drain-Source-Widerstand nur

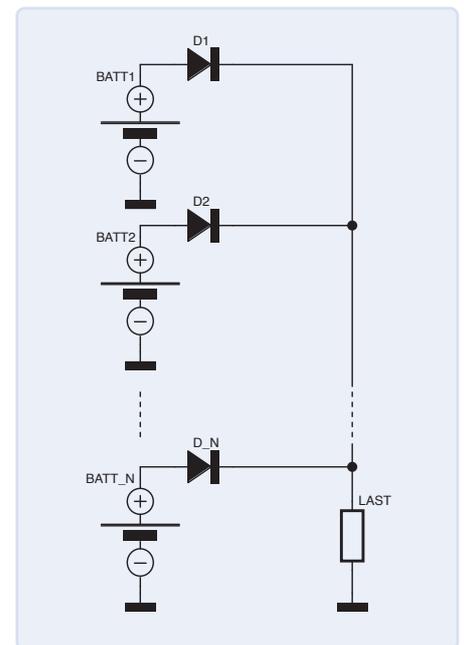


Bild 1. Bei der Parallelschaltung von Solarpanels oder Akkus kommt es auf niedrige Verlustleistung an.

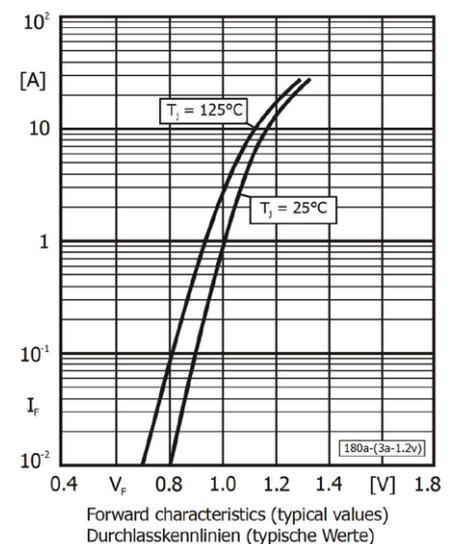


Bild 2. Durchlasscharakteristik der 1N5404 (Quelle: Datenblatt Diotec Semiconductor AG).



nicht hinwegwünschen lassen (Bild 7). Jedoch stellen die Controller mit ihren MOSFETs die beste aller Möglichkeiten dar, die Verlustleistung über einer Diode zu reduzieren.

Für den LT4357 und auch für den LT4320 findet man unter [1] entsprechende Schaltpläne zur Simulation mit LTSpice. Unter [2] ist ein Video zu diesem Thema zu sehen. ◀

200568-02

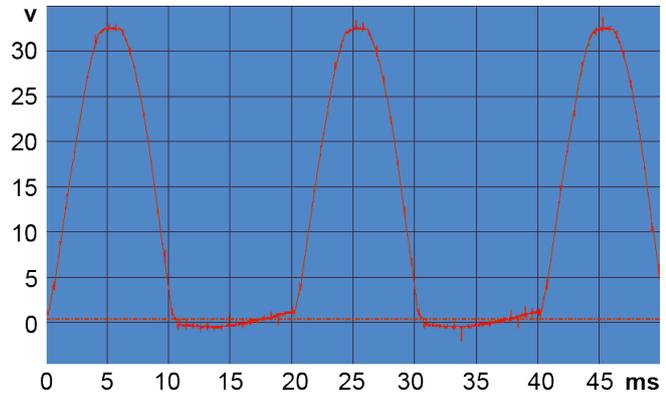


Bild 7. Spannungsverlauf hinter der Diode.

### Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zum Ideal Diode Controller? Dann kontaktieren Sie die Elektor-Redaktion unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



### PASSENDE PRODUKTE

- > **Herbert Bernstein, Grundlagen der Elektrotechnik, (Buch, SKU 19802)**  
[www.elektor.de/19802](http://www.elektor.de/19802)
- > **Herbert Bernstein, Grundlagen der Elektrotechnik, (PDF, SKU 19803)**  
[www.elektor.de/19803](http://www.elektor.de/19803)

### WEBLINKS

[1] Elektor Labs-Seite zu diesem Projekt: <https://bit.ly/3PDZVz5>

[2] R. Schuster, „Ideal Diode Controller“, YouTube, November 2020: <https://www.youtube.com/watch?v=nd1zTrDmi0w>

Anzeige

# 40 JAHRE

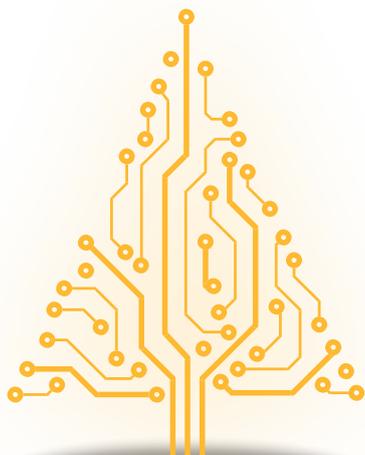
Zuverlässig und präzise

## ELEKTRISIERENDE KOMPETENZ - MESS-, LADE- UND NETZTECHNIK

# VOLTCRAFT



[conrad.de/voltcraft](http://conrad.de/voltcraft)



# LED-Girlanden mit ESP32 und FreeRTOS

## Blinken und variable Helligkeit

Von Serge Sussel (Frankreich)

An Feiertagen und auf Partys können 24-VDC-LED-Ketten, die blinken und in ihrer Helligkeit variieren, eine wahre Augenweide sein. Sie brauchen nur einen ESP32, um ein ganzes System mit 13 verschiedenen Parametern zu steuern. Mit FreeRTOS können mehrere Programm-Tasks gleichzeitig laufen.

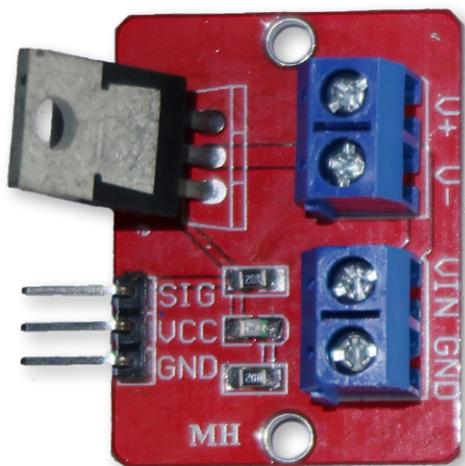


Bild 1. Ein FET-Modul.

Für die Feierlichkeiten zum Jahresende wollte ich den Weihnachtsbaum schmücken und beleuchten. Ich hatte noch eine sehr alte Lichterkette mit in Reihe geschalteten Glühbirnen, die jeweils in kleine farbige Plastiklaternen eingekapselt waren. Die Lichterkette war ziemlich kurz, was die Animationsmöglichkeiten für den Baum doch arg begrenzte. Um diese Lichterkette zum Leben zu erwecken, wurde ein primitiver Thermoschalter zwischen Steckdose und Lichterkette geschaltet.

Doch so richtig befriedigend war das nicht. Also suchte ich im Internet nach einer kommerziellen Website für LED-Girlanden, die weniger Strom verbrauchen und nicht so heiß werden, und wurde bei Lumitronix fündig. Dort bestellte ich zwei viel längere farbige LED-Lichterketten mit den passenden Transformatoren. Es handelt sich um ein 24-V-System mit einem Gleichrichter, der mehrere LED-Ketten versorgen kann. Allein, die farbigen Lichterketten leuchten die ganze Zeit ohne jegliche Animation, was ein bisschen traurig für eine Weihnachtsbaumbeleuchtung ist.

Ich habe auch meine alte Girlande auf den neuesten technischen Stand gebracht, indem ich die Glühbirnen entfernt und durch farbige LEDs in der gleichen Farbe wie jede Plastiklaterne ersetzt habe. Außerdem habe ich die Drähte zwischen den einzelnen Lampen verlängert und für 24 V angepasst, wobei die LEDs einen in Reihe geschalteten Strombegrenzungswiderstand im Anschluss haben. Auf diese Weise erhielt ich drei Lichterketten.

Um das Ganze zu animieren, dachte ich daran, einen Mikrocontroller zu programmieren und mit einer MOSFET-Schnittstelle die Stränge so zu steuern, dass sie blinken und/oder die Helligkeit der LEDs variieren. Außerdem habe ich mich durch die Lektüre von Büchern über C/C++ und Arduino weitergebildet, um mich zu schulen und Neues zu lernen. Zu Beginn dieses Projekts habe ich mich gefragt, wie man mehrere PWM-Ausgänge gleichzeitig, aber asynchron verwenden kann, um für jeden String eine andere Animation zu erhalten. Ich dachte daran, dafür einen Zustandsautomaten (finite state machine) zu entwickeln, aber das fand ich dann doch ein bisschen zu kompliziert.

Also begann ich das Projekt mit einem Arduino Nano und einer einfachen Programmierung, die einen einzelnen PWM-Ausgang mit der

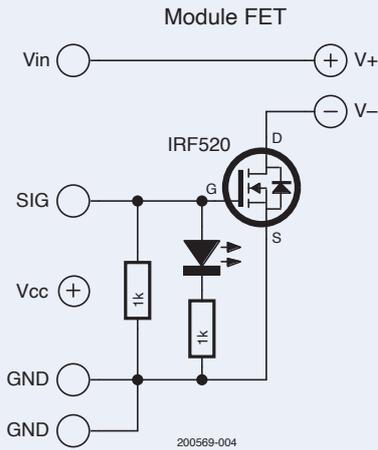


Bild 2. Schaltplan des FET-Moduls.

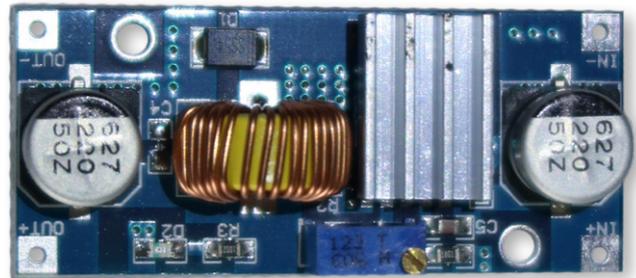


Bild 3. DC/DC-Wandler zur Erzeugung einer Ausgangsspannung von 5 V.

MOSFET-Schnittstelle ansteuerte. Dann duplizierte ich das Ganze, so dass ich zwei Girlanden steuern konnte.

Da ich aber drei Girlanden hatte, wurde die dritte Girlande gleich wie eine der beiden anderen animiert. Während ich das Projekt testete, habe ich auch die Animationseinstellungen des Programms mehrmals verbessert, um die visuelle Ästhetik zu optimieren.

### Das ESP32-Projekt

Als ich die Elektor-Artikel von Warren Gay [1] über FreeRTOS entdeckte und dann auch sein Buch zu diesem Thema (siehe **Passende Produkte**) erwarb, versuchte ich, FreeRTOS an den Arduino Nano anzupassen. Aber ich stieß schnell an seine Grenzen, denn auch nach mehreren Versuchen konnte ich nicht mehr als einen RTOS-Task gleichzeitig auf dem Nano laufen lassen.

Also wandte ich mich der ESP32-Plattform zu, um mein Projekt auf diese Plattform zu portieren und FreeRTOS und unabhängige asynchrone Tasks zu implementieren. Ich begann damit, einen Task zu schreiben, und entdeckte die Unterschiede zwischen diesem Mikrocontroller (ESP32) und dem Arduino Nano in der C/C++-Programmierung. Nach mehreren Programmier- und Testdurchläufen fand ich keine Kompilierungsfehler mehr, und der Task funktionierte. Mit meinem Oszilloskop am PWM-Ausgangspin konnte ich die Signale sehen, genau wie ich sie wollte. Und mit FreeRTOS kann jeder Task unabhängig von den anderen laufen (wenn man keinen Wait-and-Synchronize-Mechanismus verwendet). Das ist genau das, was ich machen wollte! So kann jede LED-Kette ihre Animation nach dem Zufallsprinzip erhalten. Zwei identische Animationen sind sehr selten, und selbst wenn sie auftreten, beginnen sie aufgrund von Zeitverzögerungen in früheren Animationen sicher nicht zur gleichen Zeit.

Ich konnte die Leistung des ESP32 messen und schaffte es nach mehreren Versuchen und Tests, zwei, dann drei, dann vier Tasks zu erstellen, die gleichzeitig liefen. Ich habe also FreeRTOS auf dem ESP32 verwendet, um vier Ausgänge über vier Tasks zu steuern. Der ESP32 ist jedoch in der Lage, mit seinen 16 PWM-Kanälen viel mehr LED-Ketten zu steuern.

Ich verwende die PWM-Ausgänge, um - neben anderen Animations-

einstellungen - die Helligkeit der LED-Strings stufenweise zu variieren und sie ein- und auszuschalten. Ich habe mein Projekt auf einer Lochrasterplatine aufgebaut und alles in eine Plastikbox gepackt. Ich habe dieses Projekt auf [elektormagazine.de/labs](http://elektormagazine.de/labs) veröffentlicht.

### Erforderliche Komponenten

Um die Bauteile für mein Projekt zu beschaffen, habe ich den fernöstlichen Teil des Internets konsultiert und kleine Module mit eingebauten MOSFETs, Widerständen und LEDs gefunden. Da die Lieferzeiten jedoch eher nach Wochen denn nach Tagen bemessen waren, habe ich das Modul erst einmal nachgebaut (**Bild 1**, Schaltplan in **Bild 2**). Ebenso fand ich ein vollständig montiertes und einstellbares Stromversorgungsmodul, das 24 V Gleichspannung am Eingang akzeptiert und nach Einstellung des Mehrgangpotentiometers die geeignete Ausgangsspannung von +5 V für den Mikrocontroller liefert (**Bild 3**). In einem Elektor-Artikel fand ich auch einen interessanten Ansatz zur

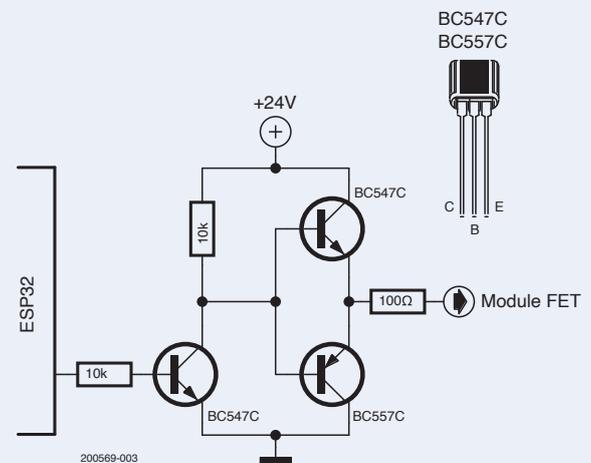


Bild 4. Treiber für MOSFET-Modul am ESP32.



### Listing 1: 13 Parametersätze für die Animationen.

```

#define MAXPROGR 13 // Max value of LED
                    // programs (0 to MAXPROGR -1)

// struct for LED programs
struct pled_t /* structure def */
{
    int ledvar; /* 0: flashing ; 1: light
                varying */

    int ledon; /* time ON */
    int ledoff; /* time OFF */
    int ledvaloff; /* value for OFF status */
    int ledxtime; /* repeat this program x times */
};
pled_t pled [MAXPROGR]; /* reserve memory for the
                        parameters for the LED programs */

...

// init for the LED programs' parameters

pled[0].ledvar = 0;
pled[0].ledon = 750;
pled[0].ledoff = 900;
pled[0].ledvaloff = 18;
pled[0].ledxtime = 7;

pled[1].ledvar = 0;
pled[1].ledon = 1100;
pled[1].ledoff = 800;
pled[1].ledvaloff = 18;
pled[1].ledxtime = 8;

...

pled[5].ledvar = 1;
pled[5].ledon = 1024;
pled[5].ledoff = 1024;
pled[5].ledvaloff = 0;
pled[5].ledxtime = 6;

pled[6].ledvar = 1;
pled[6].ledon = 1280;
pled[6].ledoff = 1280;
pled[6].ledvaloff = 0;
pled[6].ledxtime = 5;

...

pled[12].ledvar = 1;
pled[12].ledon = 1024;
pled[12].ledoff = 512;
pled[12].ledvaloff = 0;
pled[12].ledxtime = 8;

```



### Listing 2: Variabler Modus zum Ein- und Ausblenden.

```

// values for each step in variable program for
// LED,
// 32 steps for OFF to ON and same for ON to OFF,
// half sine values
const int varval[] = { 0, 10, 25, 35, 45, 60,
75, 90, 100, 112, 122, 134, 145, 155, 165, 175,
184, 192, 200, 208, 215, 220, 226, 232, 236, 239,
241, 244, 247, 250, 253, 255 };

```



### Listing 3: Definitionen für die Hardware.

```

// Defining User Types
// 4 garlands for this project
#define GUIRL_A 16 // GPIO for garland A
                    // digital PWM - Task1Led
#define GUIRL_B 17 // GPIO for garland B
                    // digital PWM - Task2Led
#define GUIRL_C 18 // GPIO for garland C
                    // digital PWM - Task3Led
#define GUIRL_D 19 // GPIO for garland D
                    // digital PWM - Task4Led

...

// Setting PWM ESP32 properties
const int freqpwm = 5000; // Freq Hz
const int resolution = 8; // 8 bits
const int ledChannelA = 0; // Channels for
                            // each garland
const int ledChannelB = 1; //
const int ledChannelC = 2; //
const int ledChannelD = 3; //

```



### Listing 4: Der Selbstmörder-Task löscht sich selbst.

```

void loop()
{
    // Delete self, unused
    vTaskDelete(nullptr);
} // end loop

```



Ansteuerung des MOSFET-Moduls, der auf drei Transistoren - zwei BC547 und einem BC557 - und ihren jeweiligen Widerständen basiert (siehe **Bild 4**), um die Übergänge am MOSFET-Gate zu verbessern. Allerdings wird dadurch das Signal invertiert, was bei der Programmierung berücksichtigt werden muss. Wieder eine weitere Bestellung, deren Eintreffen geduldig abgewartet werden musste!

Als ich endlich alle Bauteile in der Hand hatte, konnte ich sie zusammenbauen und abschließende Tests durchführen. Glücklicherweise wurden die MOSFET-Module als 5er-Satz geliefert, denn von einem Modul fiel mir der bloße MOSFET-Körper ohne Anschlussdrähte aus der Verpackung. Er muss wohl mehrmals verbogen worden sein, wodurch seine Stifte geschwächt wurden und schließlich brachen.

Ich habe am Ausgang des ESP32 für jede Lichterkette ein Schnittstellenmodul mit seinen BC547- und BC557-Transistoren angebracht. Dieses treibt ein MOSFET-Modul, das wiederum eine oder mehrere LED-Lichterketten ansteuern kann (siehe **Bild 5**). Ich habe alles in ein Plastikgehäuse eingeschlossen und Anschlüsse für den Gleichstromeingang und die Ausgänge für die Lichterketten angebracht.

### Der ESP32-Animationscode

Ich habe die Arduino-IDE verwendet, um das Programm [2] zu entwickeln, zu kompilieren und auf den Mikrocontroller zu laden. Kommen wir jetzt aber endlich zum Kern des Projekts, nämlich zur LED-Animation! Ich habe eine Tabelle mit einer Reihe von Parametern in einer Struktur (`struct`) definiert, die die Animationen beschreibt. Es gibt 13 Einträge in dieser Tabelle (siehe **Listing 1** für die verwendete `struct` und die initialisierten Werte). Diese Tabelle kann jedoch mit weiteren Einträgen erweitert werden.

Ich habe zwei Arten von Animationen definiert. Der eine Typ ist eine ON/OFF-Animation mit einer zusätzlichen Option für ein „Nachbrennen“ im OFF-Modus. Jeder Ausgang hat eine ON-Zeit, eine OFF-Zeit und die Anzahl der Iterationen, die für jeden Ein- und Ausschaltzyklus durchgeführt werden. Die zweite Art der Animation ist der variable Modus. Hierfür habe ich eine Tabelle mit 32 Elementen erstellt. Dabei handelt es sich um sinusförmige Werte, mit denen die LEDs schrittweise ein- und ausgeblendet werden (siehe **Listing 2**). Die Dauer des Zyklus wird durch die ON- und OFF-Zeiten in der Parametertabelle gesteuert.

Am Ende dieser Iterationen lädt das Programm einen weiteren Parametersatz aus der Tabelle, der mit einer Zufallszahl für einen Parameter-Array „gezogen“ wird. Ist die gezogene Zahl die gleiche wie die vorhergehende, wiederholt das Programm die Ziehung, um nicht zweimal hintereinander die gleiche Animation für dieselbe Girlande zu erhalten.

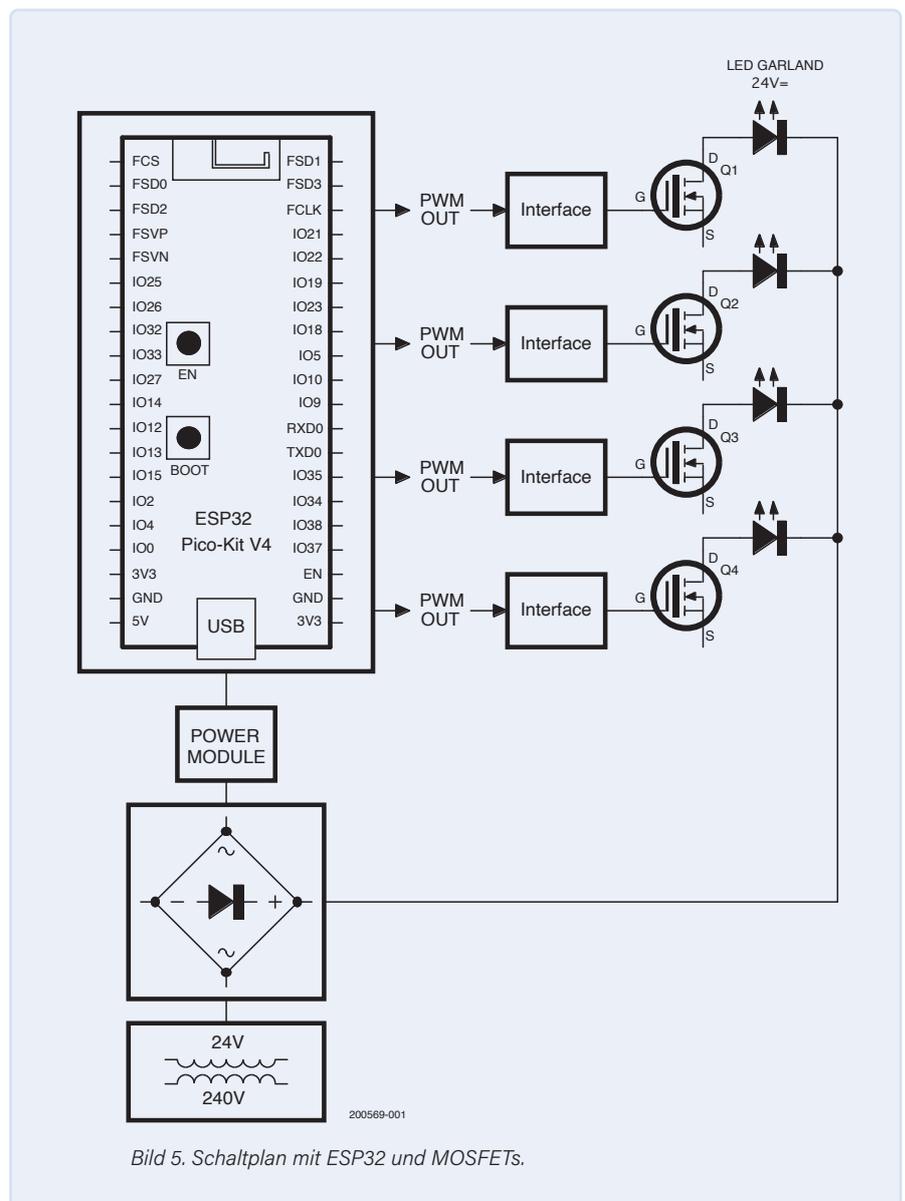


Bild 5. Schaltplan mit ESP32 und MOSFETs.

### Codeabschnitte in Kürze

Zu Beginn des Programms definiere ich die verwendeten PWM-Ausgänge und die Konstanten für den ESP32 (**Listing 3**). Dann kommen die Funktion, die eine Pseudo-Zufallszahl erzeugt (Zeilen 61...67 im Code [2]), und der Code für die RTOS-Task (Zeilen 72...145), der unbegrenzt ausgeführt werden soll. Dieser Task ist wiederverwendbar, da er mit einem übergebenen Parameter (PWM-Pin-Nummer) definiert ist. Danach folgt die Funktion `setup()`, die zunächst alle Werte der oben erwähnten Tabelle der Animationsparameter zuweist. Der darauf folgende Abschnitt behandelt die PWM-Ausgangsparameter (Zeilen 231...245) und die Erstellung der FreeRTOS-Tasks mit ihren Parametern, um sie zu aktivieren (Zeilen 251...315). Im ESP32 wird der Scheduler von selbst gestartet und beginnt mit den Tasks, sobald diese deklariert sind. In der `loop()`-Funktion, die selbst ein Task ist, lassen wir ihn sich selbst löschen, da er keinen Code ausführt - ein Task kann sich selbst

löschen und Ressourcen freigeben. Diese Zeilen sind in **Listing 4** zu sehen. Und die Lichterketten werden lebendig! (**Bild 6**)

### Weiter entwickeln

Mit seinen mehreren PWM-Ausgängen kann der ESP32 weitere Lichterketten steuern. Man könnte alle PWM-Ausgänge zur Steuerung von Girlanden zu verwenden, um einen Garten oder eine Hausfassade zu beleben. Eine andere Möglichkeit wäre, das auf der Plattform verfügbare WLAN zu nutzen, um den ESP32 von einem Mobiltelefon aus über eine kleine Schnittstelle zu steuern. Möchten Sie so etwas entwickeln? Immer zu, Vorschläge sind willkommen!

Alle Materialien für dieses Projekt finden Sie auf der **Elektor-Labs-Seite [2]** für dieses Projekt zum Download bereitgestellt. ◀

200569-02

### Über den Autor

Serge Sussel entdeckte die Elektronik Mitte der 1960er Jahre durch den Kauf von Elektronikzeitschriften wie Elektor, Radio Plans, Haut-Parleur und Audiophile. Sein Studium ermöglichte es ihm dann, unter anderem sein IT-Fachwissen auszubauen. Er arbeitete bei der französischen Zentralbank (NZB) an großen Systemen auf Betriebssystemebene und des Datenbank-Subsystems, wobei er auch einen Präprozessor zur Kompilierung der Sicherheitselemente von Transaktionen entwickelte. In seiner Freizeit hat er sich von Anfang an für analoge Elektronik interessiert. Er baute unter anderem Messgeräte mit Heathkit-Bausätzen, HiFi-Vorverstärker und -Endstufen sowie eine Orgel mit drei Tasten, die in den frühen 1980er Jahren als Bausatz geliefert wurde. Heute, im Ruhestand, beschäftigt er sich immer noch mit analogen Geräten, aber auch mit Mikrocontroller-Plattformen, und er restauriert stark beschädigte Geräte und solche, die von Leuten weggeworfen wurden, die nicht wussten, dass sie mit ein paar ausgetauschten Bauteilen noch einige Jahre prima funktionieren können.

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

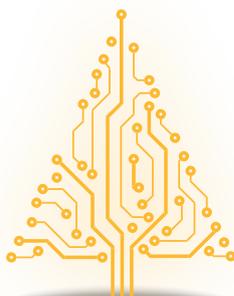


Bild 6. Die Lichterkette im Baum funktioniert.



### PASSENDE PRODUKTE

- > Joy-IT NodeMCU ESP32 Entwicklungsboard (SKU 19973)  
[www.elektor.de/19973](http://www.elektor.de/19973)
- >
- > Warren Gay, FreeRTOS for ESP32-Arduino (Elektor 2020, SKU 19341)  
[www.elektor.de/19341](http://www.elektor.de/19341)

### WEBLINKS

[1] Elektor-Artikel von Warren Gay: [www.elektormagazine.com/warregay](http://www.elektormagazine.com/warregay)

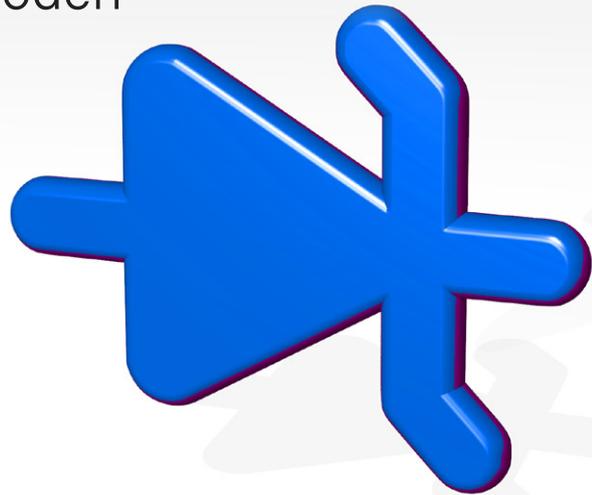
[2] Projektquellen und Materialien für dieses Projekt auf Elektor Labs: [www.elektormagazine.de/freertos-led](http://www.elektormagazine.de/freertos-led)

# Aller Anfang ...

... muss nicht schwer sein:  
Es geht weiter mit den Z-Dioden

Von Eric Bogers (Elektor)

In der letzten Folge haben wir einen kurzen Blick auf die Z-Diode geworfen, ein sehr häufig verwendetes Bauteil, das wir nun genauer betrachten wollen.



Nur zur Auffrischung des Gedächtnisses: Eine Z-Diode wird in Sperrrichtung verwendet und - im Gegensatz zu einer gewöhnlichen Diode - wird sie nicht zerstört, wenn sie in Sperrrichtung zu leiten beginnt. Das macht die Z-Diode zu einem idealen Bauelement für die Spannungsregelung beziehungsweise Spannungsbegrenzung. Abgesehen von sehr speziellen Anwendungen muss eine Z-Diode mit einem Widerstand in Reihe geschaltet werden, um den Strom durch das Bauelement auf einen sicheren Wert zu begrenzen. Dies ist in **Bild 1** dargestellt. Das Schaltsymbol einer Z-Diode unterscheidet sich von dem einer gewöhnlichen Diode durch die zusätzlichen abgewinkelten „Striche“ am Kathodenanschluss.

**Bild 2** zeigt die typische Strom/Spannungskennlinie einer Z-Diode, in diesem Fall des Typs ZDP12. Wie Sie vielleicht schon an der „12“ in der Teilenummer erkannt haben, handelt es sich um eine Diode mit einer Durchbruchspannung (Z-Spannung) von 12 V. Das Diagramm zeigt, dass dieses Bauelement bei einer Spannung von etwas unter 12 V (11,87 V, um genau zu sein) zu leiten beginnt. Diese Spannung steigt dann geringfügig an, wenn der Strom weiter erhöht wird.

Das Besondere daran ist, dass die Spannung an dieser Diode auf einem einigermaßen konstanten Wert von 12 V bleibt, wodurch sich dieses Bauteil hervorragend für die Spannungsregelung eignet.

Die maximal zulässige Verlustleistung für Z-Dioden der ZPD-Serie beträgt 500 mW. Da die Spannung mit dem durch die Diode fließenden Strom ein wenig ansteigt, sollten Sie eigentlich eine Gleichung zweiter Ordnung verwenden, um den maximal zulässigen Strom zu berechnen. Als Faustregel können Sie jedoch getrost mit etwa 90 % der Nennleistung beginnen:

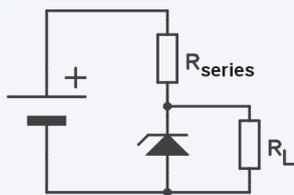


Bild 1: Grundschialtung mit einer Z-Diode.

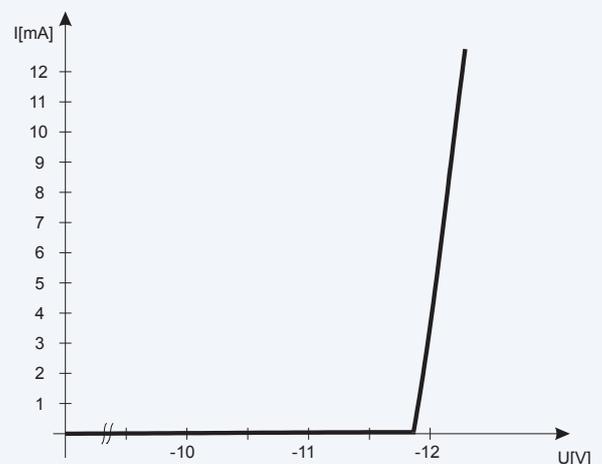


Bild 2: Kennlinie einer Zenerdiode.

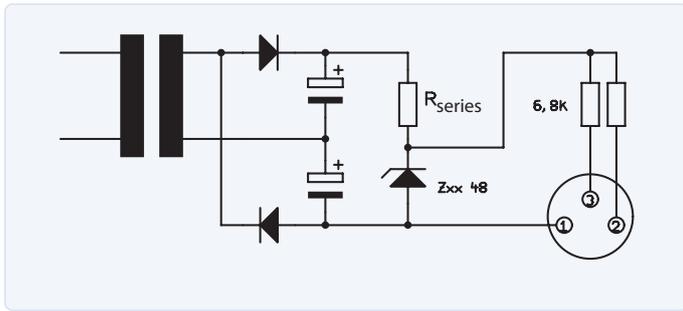


Bild 3. Geregelte Mikrofon-Phantomspeisung.

$$I_{max} = \frac{0.9 \cdot P_{loss}}{U} = \frac{0.9 \cdot 0.5 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 37.5 \text{ mA}$$

Die in Bild 1 dargestellte Schaltung ist nur für relativ kleine Ströme geeignet. Größere Ströme würden einen Vorwiderstand mit einem entsprechend kleineren Wert erfordern, was wiederum zu einem (zu) hohen Strom durch die Diode und damit zu einer übermäßigen Verlustleistung führen würde. Aus diesem Grund werden Z-Dioden fast immer in Kombination mit Transistoren oder Operationsverstärkern verwendet.

Um dieses Bauelement besser zu verstehen, wollen wir alle Berechnungen für eine Schaltung ähnlich der in Bild 1 durchführen, nämlich in einer Mikrofon-Phantomspeisung [1].

Eine Phantomspeisung heißt so, weil die Versorgungsspannung des Mikrofons zusammen mit dem Audiosignal über das Mikrofonkabel zugeführt wird! Insbesondere ein Kondensatormikrofon kann ohne Phantomspeisung für seinen eingebauten Verstärker nicht funktionieren. Das Prinzip der „Phantomspeisung“ wird aber auch in anderen Anwendungen genutzt.

Wie in **Bild 3** dargestellt, liefert die Phantomspeisung 48 V, die über zwei Widerstände von je 6,8 kΩ mit den beiden Signalleitern des Mikrofonkabels (XLR-Stecker: Pin 2 und Pin 3) verbunden sind. Die Masse-Rückleitung ist natürlich mit der Abschirmung (Geflecht) des Mikrofonkabels (XLR-Stecker: Pin 1) verbunden.

Wir möchten diesen Stromversorgungskreis so dimensionieren, dass er in jedem erdenklichen Szenario stabil ist. Der kleinstmögliche Lastwiderstand ist 0 Ω, weil die Schaltung dann nur durch die Parallelschaltung der beiden 6,8-kΩ-Widerstände belastet wird - diese Last macht also insgesamt 3,4 kΩ aus.

Der maximale Laststrom beläuft sich auf:

$$I_L = \frac{U}{R_L} = \frac{48 \text{ V}}{3.4 \text{ k}\Omega} = 14.1 \text{ mA}$$

Unter der Annahme, dass ein Transformator mit nominellen 24 V Sekundärspannung verwendet wird, beträgt die maximale Spannung am Elko dann:

$$U_{top} = 48 \text{ V} \cdot \sqrt{2} - 1.4 \text{ V} = 66.5 \text{ V}$$



Bild 4. Der Diac.

Während einer halben Periode darf die Spannung auf etwa die Hälfte der Differenz zwischen der unbelasteten Spannung und der Nennspannung der Phantomspeisung absinken:

$$\Delta U = \frac{66.5 \text{ V} - 48 \text{ V}}{2} = 9.3 \text{ V}$$

Der Mindestwert des Filterkondensators ist somit:

$$C = \frac{I}{f \cdot \Delta U} = \frac{14.1 \text{ mA}}{50 \text{ Hz} \cdot 9.3 \text{ V}} = 30.3 \mu\text{F}$$

Da ein Wert von 33 μF heutzutage schwer zu bekommen ist, sollte man stattdessen einen 47-μF-Kondensator wählen. Mit diesem Wert können wir dann die tatsächliche Spannungsdifferenz berechnen:

$$\Delta U = \frac{I}{f \cdot C} = \frac{14.1 \text{ mA}}{50 \text{ Hz} \cdot 47 \mu\text{F}} = 6 \text{ V}$$

Die niedrigste Spannung über dem Kondensator beträgt demnach 60,5 V. Der Spannungsabfall über dem Vorwiderstand ( $R_{series}$ ) beträgt dann 12,5 V. Der Strom durch den Vorwiderstand ist mindestens so groß wie der Strom durch die Last (durch die Z-Diode fließt dann kein Strom). Der Vorwiderstand wird dann:

$$R_{series} = \frac{12.5 \text{ V}}{14.1 \text{ mA}} = 886.5 \Omega$$

Wir haben natürlich den Standardwert von 820 Ω gewählt. Der größte Strom durch die Diode fließt, wenn die Schaltung nicht belastet ist. Die Spannung über dem Filterkondensator liegt im Bereich von 60,5 V bis 66,5 V und beträgt somit im Mittel 63,5 V. Im unbelasteten Zustand beträgt der durchschnittliche Strom durch den Widerstand sowie die Z-Diode:

$$I = \frac{63.5 \text{ V} - 48 \text{ V}}{820 \Omega} = 18.9 \text{ mA}$$

Und daraus folgt die Verlustleistung:

$$P = U \cdot I = 48 \text{ V} \cdot 18.9 \text{ mA} = 907.2 \text{ mW}$$

## Zwei Z-Dioden = ein Diac

Die mehr oder weniger konstante Z-Spannung tritt an einer Z-Diode nur in Sperrrichtung auf. Wenn eine Z-Diode in Durchlassrichtung verwendet wird, ist ihr Spannungsabfall gleich dem einer normalen Diode. Daher ist eine Z-Diode für Wechselstromanwendungen weniger geeignet.

In diesem Fall kann man sich damit behelfen, dass man zwei Z-D in Anti-Reihe schaltet, das heißt, zwei Bauteile in Reihe, aber in entgegengesetzter Richtung, wie in **Bild 4** dargestellt.

In Ihrem bevorzugten Elektronikversandhandel (leider gibt es den „Elektronikladen um die Ecke“ kaum mehr) können Sie ein Bauteil mit dem einfachen, aber exotischen Namen „Diac“ kaufen, das zwei auf diese Weise verbundene Z-Dioden enthält. Die Nennspannung eines Diacs liegt typischerweise bei etwa 33 V, und ihre Verwendung ist meist auf herkömmliche Dimmer beschränkt. Wir werden das nächste Mal darüber berichten! ◀

220384-02

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 Elektor-Redaktion unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

## WEBLINK

[1] Phantomspeisung: <https://de.wikipedia.org/wiki/Phantomspeisung>



## PASSENDE PRODUKTE

- ▶ **B. Kainka, Elektronik-Grundlagen und Einsteiger-Projekte (Elektor 2019) Buch (SKU 19035):**  
[www.elektor.com/19212](http://www.elektor.com/19212)
- ▶ **B. Kainka, Elektronik-Grundlagen und Einsteiger-Projekte E-Buch (PDF) (SKU 19036):**  
[www.elektor.com/19036](http://www.elektor.com/19036)

Anzeige



**WÜRTH  
ELEKTRONIK**  
MORE THAN  
YOU EXPECT

**WE meet @ electronica**

Halle A5, Stand 406

### Störungsfreie E-Mobilität

E-Mobilität ist keine Frage der Zukunft mehr und die Zahl der E-Fahrzeuge nimmt von Tag zu Tag zu. Der Umgang mit EMV-Störungen wird immer wichtiger, wenn es um die Entwicklung neuer elektronischer Geräte und Systeme geht. Würth Elektronik bietet ein umfassendes Sortiment von EMV-Komponenten an, die die bestmögliche Entstörung für alle Arten von E-Mobility-Anwendungen unterstützen. Mit einem hervorragenden Design-In Support, Katalogprodukten ab Lager und kostenlosen Mustern, kann die Markteinführung deutlich beschleunigt werden. Neben Ferriten für den Einsatz an Kabeln oder Kabelbäumen bietet Würth Elektronik außerdem ein großes Portfolio an Leiterplatten-Ferriten, stromkompensierten Drosseln sowie Produkte zur EMV-Abschirmung.

[www.we-online.com/emobility](http://www.we-online.com/emobility)

- Großes Portfolio an EMV Bauteilen
- Design-In Unterstützung
- Kostenlose Muster
- Kleinmengenservice
- Laborsortimente mit kostenloser Wiederbefüllung

# UKW/DAB+- Empfänger

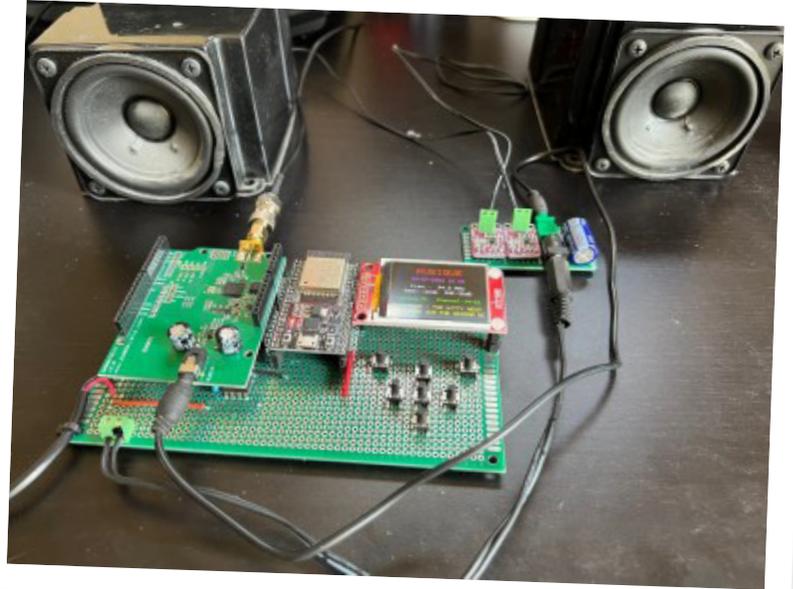
Das Beste aus beiden Welten

Von Yves Bourdon (Frankreich)

Wenn man sich in den 1960er und 1970er Jahren mit Elektronik beschäftigte, gab es meiner Meinung nach zwei Geräte, die man unbedingt selbst bauen wollte: einen Radioempfänger und eine Digitaluhr. Das gilt auch heute noch für viele Elektronikbegeisterte - nur muss jetzt auch das Radio digital sein. In diesem Artikel zeigen wir, wie man ein digitales Radio mit einem ESP32-Modul und einem Arduino-Shield auf der Basis des Si4684-Digitalempfänger-Chips von Skyworks baut.

Ich war nicht einmal zehn Jahre alt, als ich mein erstes Radio baute. Im Wartezimmer unseres Arztes stieß ich auf eine Zeitschrift namens *Le Haut-Parleur* (was so viel heißt wie „Der Lautsprecher“, Elektor gab es noch nicht), die sich hauptsächlich mit Röhren-HiFi beschäftigte. Ein Artikel, in dem es um Dioden, Transistoren und Langwellenempfänger ging, hatte jedoch meine Aufmerksamkeit erregt. Ich nahm die Zeitschrift mit nach Hause, ohne um Erlaubnis zu fragen. Mit anderen Worten, ich habe sie gemopst, und bitte, lieber Herr Doktor, nehmen Sie meine aufrichtige Entschuldigung an!

Es dauerte dann fast ein Jahr, bis ich mein erstes Radio fertig gebaut hatte und eines Morgens endlich zum ersten Mal „Nights in White Satin“ von den Moody Blues hören konnte. Mein Radio bestand aus einer Detektordiode, einer riesigen Antenne (natürlich überhaupt nicht abgestimmt), einem NF-Verstärker (OC71-Transistor) und einer kleinen, zusammengeschusterten Lautsprecherbox. Die Abstimmung wurde mit einem Drehkondensator vorgenommen. Es war das erste einer langen Reihe von immer komplexeren Radios, die ich



in meinem Leben bauen sollte, und das letzte war ein UKW-Empfänger mit einem volltransistorisierten Stereodecoder.

Im Jahr 2010 veröffentlichte Elektor einen Artikel über den Bau eines vollen digitalen UKW-Radioempfängers auf der Grundlage eines Si4735-Prozessors von Silicon Labs [1]. Natürlich habe ich dieses Radio gebaut, sogar in mehr als fünf verschiedenen Versionen. Als der DAB+-Empfang in meiner Region (Aix-en-Provence, Frankreich) endlich verfügbar wurde, machte ich mich auf die Suche nach einem Nachfolger für den Si4735 und entschied mich für den Si4684 (inzwischen ist Silicon Labs zu Skyworks geworden). Damit konnte ich mir einen UKW/DAB+ Empfänger bauen.

## Der DAB+-Standard

Beim DAB+-Standard für Digital Audio Broadcasting haben wir es mit digitalem terrestrischen Radio zu tun. Er ist das Äquivalent von DVB-T für das Radio. Er wandelt das gute alte analoge Radio im UKW-Band in ein digitales Signal um.

DAB+ belegt das VHF-Band III zwischen 174 MHz und 240 MHz, das früher vom analogen Fernsehen genutzt wurde. Die wichtigsten Vorteile von DAB+ sind:

- Kostenloser öffentlicher Dienst (kein Abonnement erforderlich)
- Kein Hintergrundrauschen („hiss“) aufgrund von schlechtem Empfang oder Störungen. Der DAB+-Standard verwendet den AAC+-Codec (MPEG-4 Teil 3).
- Die Audioqualität mit einer höheren Bandbreite als bei UKW ist ausgezeichnet (ich empfangen die meisten Sender mit einer Bitrate von 88 kbps).
- Automatische Vorauswahl der Sender wie bei DVB-T. In jeder Stadt gibt es sechs bis sieben Multiplexe mit je etwa fünfzehn Sendern. In Aix-en-Provence empfangen ich 83 DAB+-Sender!
- Anzeige von Informationen zum laufenden Programm (Titel des Programms, Lauftext, Albumcover, Wetterkarte und so weiter, abhängig von den Möglichkeiten des Empfängers).

Nachteile gibt es auch: Der Empfang innerhalb von Gebäuden ist schwach und eine gute Antenne deshalb erforderlich. Ich verwende eine vertikal polarisierte  $\lambda/4$ -Antenne (34,5 cm/13,6“), die ich in der Nähe eines Fensters installiert habe.

## Der Prozessor Si4684

Ursprünglich wollte ich eine eigene Platine für den Si4684-Chip entwerfen. Als ich jedoch das Datenblatt genau studierte, stellte ich fest, dass es ein Problem mit den Rechten am geistigen Eigentum (IP) gibt, das die Firmware des Bausteins betrifft, die normalerweise in einem externen seriellen EEPROM gespeichert ist. Diese Firmware kann nur nach Unterzeichnung einer Vereinbarung mit dem Hersteller des Chips, Skyworks, natürlich nach Zahlung einer Gebühr verwendet werden.

Daher ist es für eine Privatperson wie mich nahezu unmöglich, die Firmware auf legalem Wege zu erhalten. Und obwohl man im Internet Raubkopien finden kann, wollte ich mich nicht darauf einlassen (wahrscheinlich aufgrund meiner Vergangenheit als Entwicklungsingenieur, der den Begriff des geistigen Eigentums immer verteidigt hat). Daher suchte ich nach einer kommerziell erhältlichen legalen Lösung eines von Skyworks zugelassenen Herstellers.

So fand ich das DAB-Shield, das von der englischen Firma AVIT Research verkauft wird. Der Geschäftsführer der Firma, Adrian, erlaubte mir, seine ausgezeichnete DABShield-Bibliothek in meinem Projekt zu verwenden. Ich möchte mich hiermit bei ihm für seine Unterstützung bei diesem Projekt bedanken!

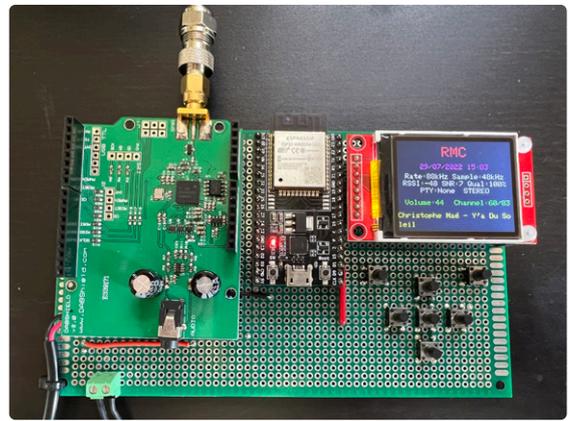


Bild 1. Mein Prototyp, basierend auf einem ESP32-DevKitC-Modul, passt in ein transparentes Gehäuse (Hammond 1591C).

## UKW/DAB+-Empfänger mit EEPROM-Problemen

Für meinen Prototyp habe ich ein ESP32-DevKitC von Espressif verwendet (Bild 1). Wenn Sie sich den Schaltplan in Bild 2 ansehen, werden Sie entdecken, dass ich fast alle verfügbaren I/O-Pins belegt habe. Das ESP32-Modul wurde auch wegen seiner starken Rechenleistung und insbesondere wegen seines verfügbaren Speichers (512 KB RAM und 4 MB Flash-Speicher) ausgewählt. Trotz dieses großen Speichers habe ich ein externes EEPROM hinzugefügt. Der Grund dafür ist die EEPROM-Bibliothek des ESP32,

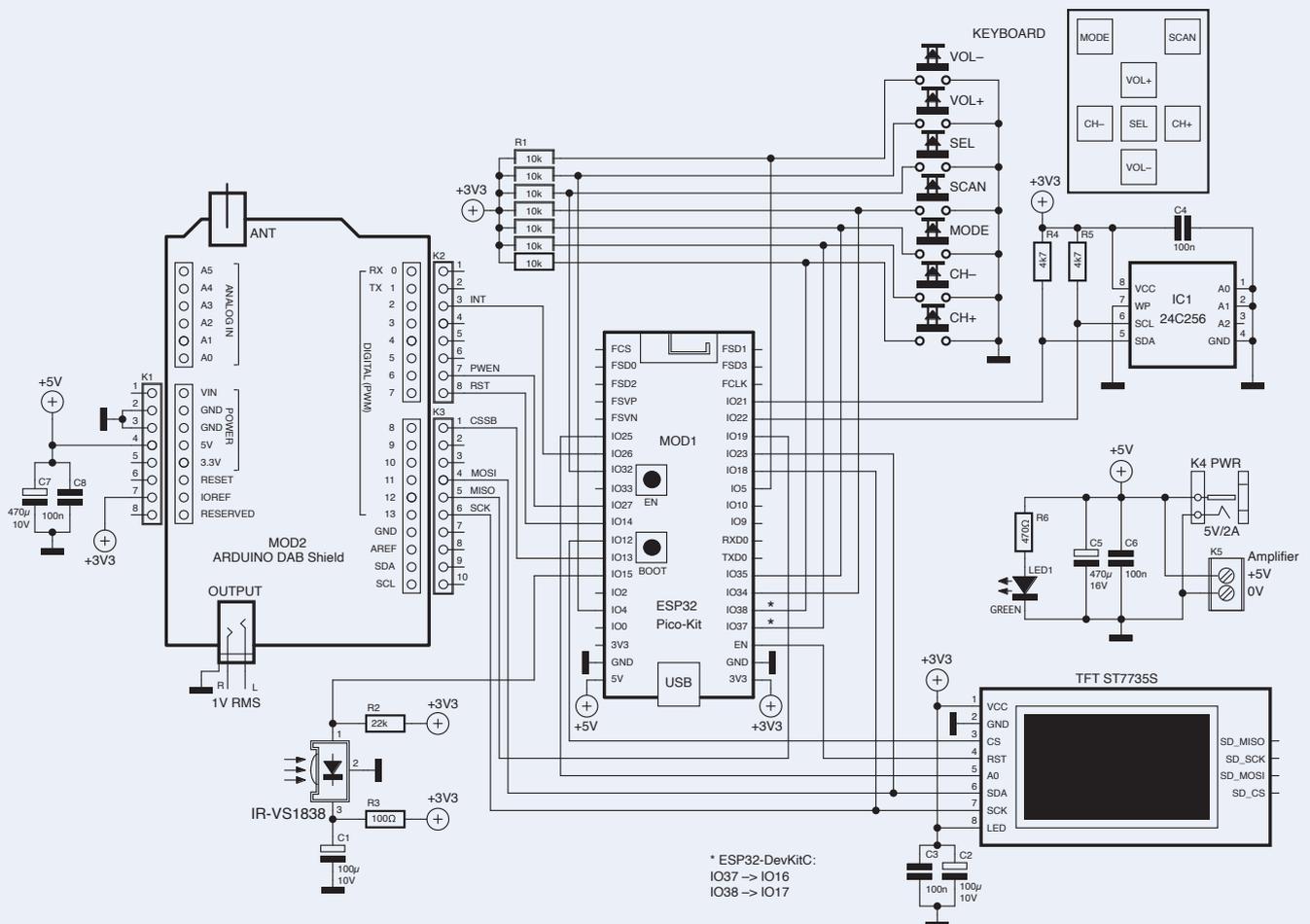


Bild 2. Schaltung des FM/DAB+-Empfängers.

die ich zu Beginn des Projekts verwendet habe, um UKW- und DAB+-Sender zu speichern. Da der ESP32 kein echtes EEPROM hat, nutzt diese Bibliothek einen Teil des Flash-Speichers, um ein EEPROM zu emulieren. Leider ist die Bibliothek in der Auslaufphase und funktioniert nur korrekt, wenn die Speichergröße 512 Bytes nicht überschreitet. Ich habe es mit einer maximalen Größe von 4 KB versucht, wie es in einigen Foren vorgeschlagen wird, aber das führt unweigerlich zu einem Programmabsturz, da die im EEPROM gespeicherten Daten auf eher zufällige Weise verändert werden. Es ist besser, stattdessen die Bibliothek *Preference* zu verwenden. Als ich jedoch auf die Probleme mit der EEPROM-Bibliothek aufmerksam wurde, war der größte Teil meines Programms bereits geschrieben und ich wollte nicht noch einmal mit der Bibliothek *Preference* anfangen. Also beschloss ich, ein externes 32-KB-EEPROM (24C256) hinzuzufügen, das von der Bibliothek *SparkFun\_External\_EEPROM* verwaltet wird. Dieser Chip (der etwa 50 Cent kostet) nutzt den I<sup>2</sup>C-Bus des ESP32 (SDA an IO21 und SCL an IO22). Wenn man seine Pins A0 und A1 mit 0 V verbindet, ist die I<sup>2</sup>C-Adresse des Bausteins auf 0xCo festgelegt. Pin A2 kann unbeschaltet bleiben. Ich hatte geplant, maximal 250 UKW- und 250 DAB+-Sender zu speichern. Für jeden Sender wird der Name des Senders (maximal acht Zeichen für UKW und 16 für DAB+) sowie die UKW-Frequenz, der DAB+-Multiplex und die Sendernummer gespeichert. Außerdem werden 10 Bytes benötigt, um den zuletzt gehörten Sender zu speichern: Lautstärke, Modus (UKW oder DAB+), UKW-Frequenz, DAB+-Multiplex und Kanal. Es ist also eine Mindestspeicherkapazität von 10 + 13 × 250 (UKW) + 20 × 250 (DAB+) erforderlich, summa summarum 8260 Byte oder 66.080 Bit. Ein 16-KB-EEPROM des Typs 24C128 wäre also ebenfalls ausreichend gewesen.

## Display und Tastatur

Als Display für den Empfänger habe ich ein kleines TFT-Farbdisplay mit 160 × 128 Pixel auf Basis des ST7735S mit SPI-Bus verwendet. Die ausgezeichneten Bibliotheken *Adafruit\_ST7735* und *Adafruit\_GFX* erlauben es, dieses Display einfach zu verwalten. Das Display nutzt vier Pins des ESP32: MOSI (IO23) und SCK (IO18) des SPI-Ports, CS (IO12) und A0 (IO25). Der Adafruit-Treiber kann auch das RST-Signal ansteuern, aber um einen Port zu sparen, habe ich in der *ScreenConnections*-Deklaration der Software *TFT\_RST* auf -1 gesetzt und den Pin direkt mit dem Reset-Pin (EN) des ESP32 verbunden. Beachten Sie, dass die SDA- und SCL-Markierung auf dem Display (und in Bild 2 dargestellt) etwas verwirrend ist, da es in der Tat der SPI-Bus (ohne MISO) ist, der den Bildschirm ansteuert. Die Stromversorgung des Displays ist durch C2 und C3 entkoppelt und die Hintergrundbeleuchtung ist immer eingeschaltet (LED-Pin an +3,3 V angeschlossen). Sieben Tasten steuern mein Radio: Lautstärke auf/ab (VOL+/VOL-), Kanal auf/ab (CH+/CH-), Auswahl (SEL), Modus und Scan. Die Tasten sind über 10-kΩ-Pull-up-Widerstände an die +3,3-V-Versorgungsschiene angeschlossen.

## DevKitC oder Pico-Kit?

Der Schaltplan zeigt ein das klitzekleine ESP32-Pico-Kit Modul, aber ein ESP32-DevKitC kann auch genutzt werden, wie ich es bei meinem Prototyp getan habe. Allerdings bietet das ESP32-DevKitC keine Anschlüsse für IO37 und IO38. Stattdessen müssen IO16 und IO17 verwendet werden, die wiederum auf dem ESP32-Pico-Kit

nicht verfügbar sind. Es ist daher notwendig, das richtige Modul in der Software auszuwählen, bevor man sie kompiliert (Zeile 76 und Zeile 77, als ich diesen Text geschrieben habe). Für das DevKitC lautet die Definition:

```
///#define ESP32_PICO
#define ESP32_DEVKIT
```

Und für das Pico-Kit diese:

```
#define ESP32_PICO
///#define ESP32_DEVKIT
```

## Fernsteuerung

Die Schaltung besitzt einen IR-Empfänger des Typs VS1838 und lässt sich von einer Infrarot-Fernbedienung bedienen. Die Stromversorgung für den IR-Empfänger wird durch das Netzwerk R3/C1 gefiltert, um beschädigte Frames an seinem Ausgang zu vermeiden. Der Ausgang ist mit IO15 verbunden und mit einem 22-kΩ-Pull-up-Widerstand auf +3,3 V gelegt. Die Softwareunterstützung für die Fernbedienung war zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Artikels noch nicht fertig, aber mit etwas Glück wird sie es sein, wenn Sie diesen Artikel lesen. Wenn nicht, sollten Sie die Labs-Webseite dieses Projekts konsultieren, von der Sie immer die aktuelle Firmware herunterladen können.

## Das DAB-Shield

Der Arduino Mo war früher der ideale Begleiter für das DAB-Shield, aber er wird nicht mehr hergestellt. Dies ist der Grund, warum in diesem Projekt stattdessen ein ESP32-Modul verwendet wird, der das DAB-Shield genauso leicht steuern kann, da nur sieben Signale benötigt werden.

Obwohl das DAB-Shield eine 5-V-Stromversorgung benötigt, sind seine I/O-Leitungen mit 3,3-V-Pegeln kompatibel, wie sie das ESP32-Modul verwendet. So können die beiden Platinen ohne Pegelumsetzer verbunden werden. Der IOREF-Pin des Shields muss dabei mit 3,3 V verbunden werden, um diese Kompatibilität zu gewährleisten.

Das DAB-Shield kommuniziert mit dem ESP32 über den SPI-Bus (MOSI, MISO und SCK). Die *DABShield*-Bibliothek erlaubt nur die Änderung der Pin-Nummer des CSSB-Signals (ich habe IO13 verwendet). Die Signale INT, PWEN, RST müssen an die Ports IO26, IO27 beziehungsweise IO14 angeschlossen werden.

## Spannungsversorgung

Die +5-V-Spannungsversorgung für den UKW/DAB+-Empfänger wird an die Klemme K4 angeschlossen. Es gibt keinen Verpolungsschutz (Sie können natürlich einen hinzufügen), seien Sie also vorsichtig. C5 und C6 sorgen für eine gewisse Rauschfilterung, und die grüne LED1 dient als Betriebsanzeige.

Der zweipolige Schraubklemmenblock K5 ist für die Stromversorgung einer optionalen Verstärkerplatine vorgesehen. Wenn kein externer Verstärker angeschlossen ist, ist eine Stromversorgung mit 5 V/500 mA ausreichend, da wir das stromhungrige WLAN des ESP32 nicht nutzen. Wenn Sie jedoch den optionalen Verstärker anschließen, benötigen Sie eine Stromversorgung von mindestens 5 V/2 A.

## Optionale Verstärkerplatine

Positiv überrascht von der Klangqualität der Nintendo-Wii-Spielkonsole, recherchierte ich ein wenig und erfuhr, dass sie einen 3  $W_{\text{eff}}$ -Klasse-D-Verstärker mit der Bezeichnung PAM8302 verwendet. Dieser Verstärker ist im Internet leicht zu finden und bereits auf einer kleinen Breakout-Platine montiert. Also habe ich zwei dieser Module an den UKW/DAB+-Empfänger angeschlossen (siehe **Bild 3** und **Bild 4**). Die Klangqualität ist erstaunlich (mit guten Lautsprechern natürlich)! Der Audioausgang des DAB-Shields wird über ein kurzes Kabel mit einer 3,5-mm-Stereo-Klinkenbuchse an beiden Enden mit dem Verstärker verbunden. Mit den Tasten VOL+ und VOL- wird die Lautstärke eingestellt.

## Die Software-Entwicklungsumgebung

Um die Software des UKW/DAB+-Empfängers zu entwickeln, habe ich die Arduino-IDE verwendet. Wenn noch nicht geschehen, richten Sie die IDE für die Verwendung mit ESP32-Modulen ein und wählen folgende Parameter aus:

- ESP32 Dev Module
- 240 MHz CPU-Frequenz
- Partitionsschema: standardmäßig 4 MB mit SPIFFS

Sie müssen ein paar externe Bibliotheken installieren; ich habe im Kommentar des Quellcodes angegeben, wo Sie diese bekommen können:

- DABShield
- Adafruit\_GFX
- Adafruit\_ST7735
- SparkFun\_External\_EEPROM

Nach der Auswahl des richtigen seriellen Ports sollte das Kompilieren und Hochladen der Firmware auf das ESP32-Modul problemlos funktionieren.

## Die Software

Bevor ich tiefer in die Materie einsteige, möchte ich sagen, dass das Schreiben von Software nicht zu meinen überragenden Fähigkeiten gehört; ich bin das, was man einen Hardware-Ingenieur nennt. Daher danke ich im Voraus allen, die sich für mein Projekt interessieren und bereit sind, meine Arbeit zu erweitern oder das zu verbessern, was ich hätte besser machen können. Davon abgesehen ist mein Programm (v1.63 zum Zeitpunkt des Schreibens dieser Zeilen [2]) sehr zuverlässig und zeigt keine Fehlfunktionen. Die Software ist recht ausführlich dokumentiert, und nach der Lektüre des folgenden Textes sollte sie recht einfach zu verstehen sein. Es ist lehrreich, die Ausgabe der seriellen Schnittstelle des ESP32 zu überwachen, da eine Menge Debug-Informationen gesendet werden. Beim Einschalten zeigt das Display den Verbindungsstatus der Si4684-Komponenten und des seriellen EEPROMs an (**Bild 5**). Wenn es ein Problem gibt, wird eine Fehlermeldung angezeigt, und das Programm stoppt.

## Formatieren des EEPROMs

Wenn das Programm zum ersten Mal gestartet wird, muss das EEPROM formatiert werden. Drücken Sie dazu beim Einschalten

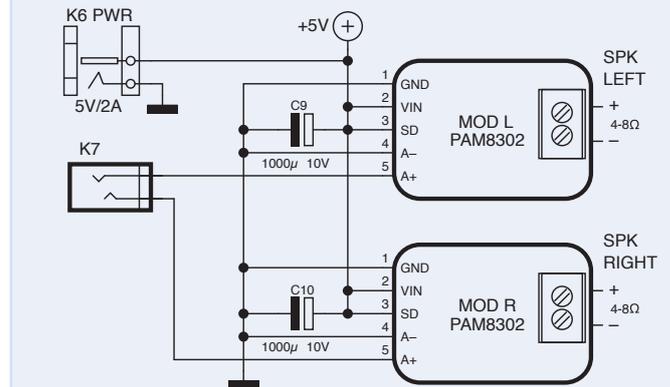


Bild 3. Schaltung der optionalen Verstärkerplatine.

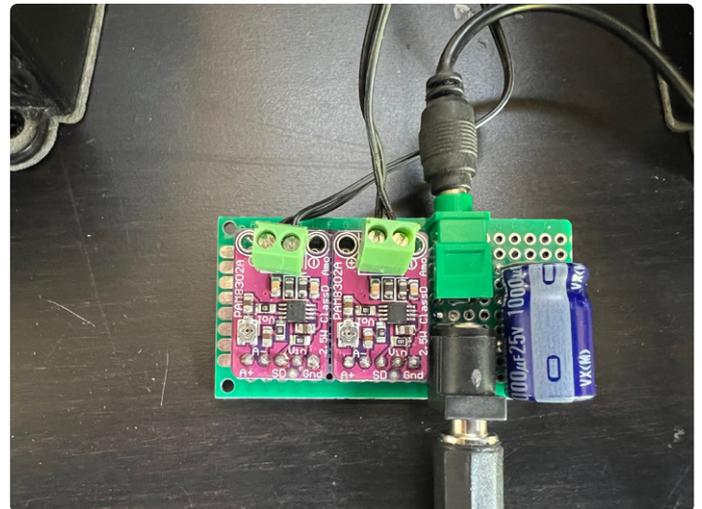


Bild 4. Bestückung der optionalen Verstärkerplatine auf dem Prototyping Board.



Bild 5. Die Softwareversion und der Verbindungsstatus der Hardware werden im Display angezeigt.



Bild 6. Hier sehen wir, dass der Multiplex MARSEILLE 8A gefunden wurde und dass er 13 Stationen enthält. HELLO PROVENCE ist der erste.

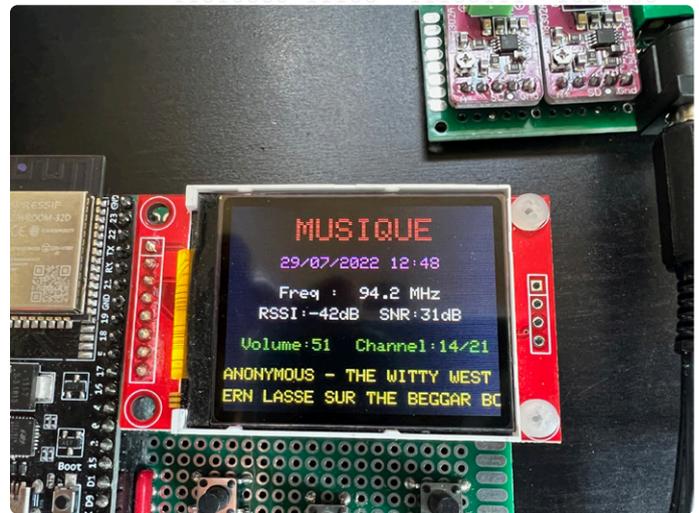


Bild 7. Auf dem kleinen Farbdisplay wird eine ganze Menge an Informationen angezeigt.

des Empfängers die SEL-Taste. Wenn das Display „Init EEPROM ...“ anzeigt, können Sie die SEL-Taste loslassen. Die Initialisierung dauert etwa fünfzehn Sekunden.

## Die Benutzeroberfläche

Ich wollte eine reaktive und angenehm zu bedienende Benutzeroberfläche. Die Tasten werden alle 200 ms abgetastet. Dies ermöglicht wiederholte Tastendrucke, während eine Taste gedrückt gehalten wird, und vermeidet Kontaktprellen (Variable `debounceDelay`). Die Mode-Taste schaltet zwischen UKW und DAB+ um (`dabMode` in der Software). Wenn im gewählten Modus kein Sender gespeichert ist, werden Sie aufgefordert, die Scan-Taste zu drücken (**Bild 6**).

## Sortierung der Sender

Im DAB+-Modus (`DAB_scan` im Programm) werden alle Multiplexe gescannt, und wenn Sender gefunden werden (mit einem RSSI von mehr als -30 dB), werden sie gespeichert.

Auch wenn jeder Multiplex die Sender in alphabetischer Reihenfolge sendet, müssen alle gefundenen Sender in alphabetischer Reihenfolge sortiert werden (`sortStations` im Programm), da es mehrere Multiplexe gibt. Manchmal werden zwei identische Sender auf zwei verschiedenen Multiplexen gefunden, aber da die Empfangseigenschaften nicht die gleichen sind, habe ich beschlossen, nichts herauszufiltern (bei 83 Sendern habe ich das ohnehin nur einmal erlebt). Wenn der Name eines Senders nicht gefunden wird, weil das Feld aus irgendeinem Grund leer gelassen wurde, ersetzt das Programm ihn durch „Unknown?“.

Die im Scan gefundenen Sender werden zunächst im RAM gespeichert und sortiert, bevor sie ins EEPROM kopiert werden (`saveDABchannelToEEPROM`).

## UKW-Suchlauf

Im UKW-Modus sind die Dinge ein wenig komplexer. Der Suchlauf ist in der Tat sehr schnell (`FMscan`) und alle Frequenzen zwischen 87,5 MHz und 108 MHz, die ein Signal mit einem RSSI von mehr als -30 dB aufweisen, werden gespeichert. Allerdings werden zu diesem Zeitpunkt noch keine Sendernamen gefunden. Daher werden am Ende des Scans die gespeicherten Frequenzen einzeln ausgewählt und die vom Sender zurückgegebenen RDS-Daten (unter anderem Uhrzeit und Sendername) überprüft. Wird ein Name gefunden, wird er mit der entsprechenden Frequenz im RAM gespeichert. Wenn nach 30 s kein Name gefunden wurde,

wird er auf „Unknown?“ gesetzt.

Da dieser Vorgang ziemlich lange dauern kann (ich empfangen hier in Aix-en-Provence 27 UKW-Sender, bis zu 30 s pro Sender), können Sie ihn jederzeit durch Drücken der Scan-Taste unterbrechen.

Wenn die Namenssuche beendet ist (normal oder weil Sie sie vorzeitig beendet haben), wird eine alphabetische Sortierung im RAM gestartet und die Sendernummer, die Frequenz und der Name werden im EEPROM gespeichert (`addStation`).

Wenn ein Sender ausgewählt wird, wird sein RDS-Status erneut gelesen (`Dab.task`), und wenn der gefundene Name nicht mit dem Namen im Speicher übereinstimmt, wird der neue Name im EEPROM gespeichert. Dies geschieht, wenn zum Beispiel „Unknown?“ angezeigt wird, weil der Name bei der Suche nicht gefunden wurde oder weil sich der RDS-Name geändert hat. Es ist ziemlich ärgerlich, dass einige Sender den Namen verwenden, um Informationen wie den Titel des Liedes anzuzeigen, obwohl RDS genau dafür ein eigenes Datenfeld bereitstellt.

Dann können Sie im UKW- oder DAB+-Modus durch die Sendernamen blättern (halten Sie einfach den Finger auf CH+ oder CH-) und den gewünschten Sender mit der SEL-Taste (`FMsetChannel` oder `DAB_SetChannel`) auswählen. Das Display zeigt die Details des empfangenen Senders an, einschließlich der Uhrzeit und zusätzlicher Informationen (die alle 30 s aktualisiert werden, **Bild 7**).

Bei jedem Einschalten wird das EEPROM ausgelesen (`LastEEPROM`), was es ermöglicht, den zuletzt gehörten Sender (DAB+ oder UKW) mit der entsprechenden Lautstärke zu finden.

Ich habe bewusst darauf verzichtet, ein Menü „Sender hinzufügen“ anzulegen. Das muss warten, bis ich den Softwareteil für die Fernbedienung schreibe, in dem ich unter anderem diese Funktion unterbringen möchte.

## Radio total

Ich habe es endlich geschafft, das Radio zu bauen, das ich wollte. Es ist sehr praktisch in der Handhabung und steht stolz auf meinem Schreibtisch. Ohne dass ich viele Worte über die Bedienung verlieren musste, kommt auch meine Familie damit klar, was ein gutes Zeichen ist. Und wir haben schnell festgestellt, dass wir fast immer den gleichen Sender hören. Gut, dass ich einen Speicher für 500 Sender angelegt habe :-).

Ich möchte Adrian von AVIT Research danken, meinem Freund Stephan Calderoni, der mir bei der Sortierfunktion für die Sendernamen geholfen hat, und Elektor für die Veröffentlichung dieses

Artikel und für das Reinzeichnen meiner handgezeichneten Schaltpläne. Danke auch an Adafruit für die Veröffentlichung aller Quellen und Schaltpläne. ◀

220249-02

### DAB+ in Frankreich

In Frankreich (das hinter seinen Nachbarländern zurückbleibt) ist der DAB+-Rundfunk erst seit dem 15. Juli 2021 zugelassen, und 40 % der französischen Bevölkerung sollten im Jahr 2023 DAB+ empfangen können. Derzeit ist die DAB+-Abdeckung in Frankreich eher dürrig, vor allem wenn man weiß, dass die Radios von Neuwagen ab Juli 2020 DAB+-kompatibel sein müssen, eine Anforderung, die seit Dezember 2019 auch für alle anderen in Frankreich verkauften Radios gilt. Dies wird die Einführung sicherlich beschleunigen. Es ist wahrscheinlich, dass UKW in Frankreich allmählich verschwinden wird, wie es in der Schweiz, England und Norwegen bereits der Fall ist.

Um die Verfügbarkeit von DAB+ in Ihrer Region zu erfahren, können Sie die Website <https://www.dabplus.de/empfang/?lang=de> nutzen.

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

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



### PASSENDE PRODUKTE

- > **ESP32-Pico-Kit (SKU 18423)**  
[www.elektor.de/18423](http://www.elektor.de/18423)
- > **Elektor Raspberry Pi RTL-SDR Kit (SKU 19518)**  
[www.elektor.de/19518](http://www.elektor.de/19518)

### WEBLINKS

- [1] B. Kainka, „Das Elektor DSP-Radio“, Elektor 7/2010: [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-201007/3531](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-201007/3531)
- [2] Downloads und Updates: [www.elektormagazine.de/labs/radio-dab](http://www.elektormagazine.de/labs/radio-dab)
- [3] DAB-Shield: [www.dabshield.com](http://www.dabshield.com)

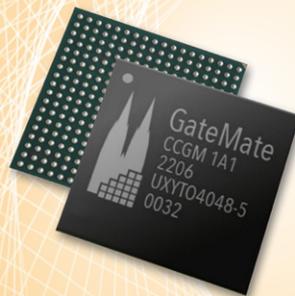
Anzeige

# GateMate FPGA

## Das erste FPGA „Made in Germany“

- Neuartige Architektur mit neuem Logikelement
- Logikkapazität ab 20.480 Logikelemente
- GlobalFoundries™ 28 nm SLP Prozess

Smart. Innovativ. Kosteneffizient.



[www.colognechip.com](http://www.colognechip.com)

# Von Entwicklern für Entwickler

Tipps & Tricks, Best Practices und andere nützliche Infos



Foto: breakermaximus/Shutterstock

## Aus dem Leben gegriffen

Electronica Obscura

Von Ilse Joostens (Belgien)

Die Zeit, sie eilt im Sauseschritt... Dies ist bereits Kolumne Nummer 13, die vor Ihnen liegt. Nun, da wir uns wieder in der dunklen Jahreszeit befinden, scheint es mir die ideale Gelegenheit zu sein, ein wenig Licht in die etwas schattigere Seite der Elektronik zu bringen. Ich bitte um Entschuldigung, falls der Titel Sie in die Irre geführt hat, aber in diesem Fall geht es nicht um elektronische Musik.

Meine Eltern (vor allem mein Vater) waren unverbesserliche Hypochonder. Nicht nur, dass sie regelmäßig verschiedene gruselige Krankheiten präsentierten, mit oder ohne medizinisches Lexikon in der Hand, auch die Art und Weise, wie weniger glückliche Dorfbewohner und Bekannte den Löffel abgegeben hatten, war ein Lieblingsthema. Die Frau von nebenan tratschte oft munter mit, wobei auch die schrecklichsten Details nie ein Tabu waren. Es wird Sie daher nicht überraschen, dass ich

in meiner Jugend einiges an Ängsten aushalten musste und schon immer eine ungesunde Faszination für Geister und das Paranormale hatte.

### Instrumentelle Transkommunikation

Auf meiner Suche nach dem Jenseits war ich vor vielen Jahren für eine kurze Zeit Mitglied eines paranormalen Vereins. Gelegentlich ging ich sogar auf „Geisterjagd“, bewaffnet

mit einer digitalen Kompaktkamera und einem Diktiergerät mit Mikrokassetten. Die Digitaltechnik war damals noch nicht sehr weit fortgeschritten, aber dennoch gab es bereits verschiedene Schaltpläne und Bauanleitungen für einfache Konstruktionen wie eine Raudive-Diode bis hin zu kompletten „Geisterboxen“. Letztere sind eine Kombination aus einem Rauschgenerator und einem defekten Radioempfänger. Mit diesen Geräten sollte es möglich sein, die Stimmen von Verstorbenen und anderen Wesen zu hören, und für fortgeschrittene Benutzer war sogar eine Zweiwege-Kommunikation möglich [1]. Der paranormale Verein warnte in seinen Mitgliederpublikationen und anderswo davor, dass der Versuch, mit Entitäten in Kontakt zu treten, ohne die nötige Erfahrung ziemlich gefährlich sein könnte, und deshalb war ich nie mutig genug, eine dieser Konstruktionen nachzubauen. Gott bewahre, dass man, wie in den besseren klassischen Horrorfilmen, versehentlich einen bösen Geist in sein Haus einlädt, mit allen Konsequenzen, die das mit sich bringt.

Die Ergebnisse meiner persönlichen Suche waren eher eine Enttäuschung: Ich habe zwar ein paar merkwürdige Fotos gemacht, aber nichts, was sich nicht auch auf ganz bodenständige Weise erklären ließe.



Das Paranormale hatte ich schon lange nicht mehr im Kopf, und ich hatte mich überhaupt nicht mehr damit beschäftigt, bis ich vom Elektor-Labor die Anfrage erhielt, etwas mit einem Geophon [2] zu entwerfen. Das sind spezielle Mikrofone, die Schwingungen und Schallwellen aus der Erde aufnehmen und für seismologische Forschungen sowie für die Suche nach Mineralien wie Öl und Gas eingesetzt werden. Diese Sensoren haben nicht nur einen beträchtlichen Preis, sondern sind auch nicht so leicht zu finden. Bei meiner Suche nach einem Lieferanten entdeckte ich, dass diese Geophone auch gerne von paranormalen Forschern verwendet werden, um bei der Geisterjagd Schwingungen zu erfassen. Offensichtlich ist die paranormale Forschung heutzutage sehr angesagt, und das Internet quillt über vor Shops, die die nötige Ausrüstung anbieten, zum Beispiel Tonbandgeräte, EMF-Detektoren, Geisterboxen, Geisterkapseln, UV-Lampen, Infraschallgeneratoren, Infrarotlampen, Vibrationsdetektoren, spezielle Vollspektrumkameras und sogar Wärmekameras. Für die ganz Eingefleischten werden sogar komplette Kurse angeboten, die zu einer Qualifikation als „Paranormaler Forscher Level 1“ führen. Nichts ist zu verrückt. Sogar Elektor hatte sein eigenes Gespenst, als sich das Labor noch im mittelalterlichen Schloss Limbricht befand und die *League of Paranormal Investigators* es im Jahr 2013 untersuchte. Es wurden angeblich seltsame Geräusche erfasst, und eine Forscherin kam sogar nur mit ein paar Kratzern auf dem Rücken davon[3][4]. Ich war schon mehrmals auf der Burg in Limbricht, auch zu später

Stunde, und habe nie etwas Seltsames und schon gar nichts Bedrohliches bemerkt. Jetzt, wo ich Elektor erwähne, fühle ich mich an die Chaosmaschine [5][6][7] von Ende 2011 erinnert. Wer verantwortungsvoll - sprich: risikolos - das Schaudern vor Poltergeistgeräuschen erleben will, muss diese unbedingt bauen!

### Quacksalberei und Pseudowissenschaft

Ich bin eine Geschichtsfanatikerin und erfreue mich gelegentlich an den Turngeräten von Dr. Gustav Zander [8] aus dem Ende des 19. Jahrhunderts. Diese „Folterinstrumente“ sind nicht nur amüsant, sondern auch grausig. Dies war auch die Zeit der viktorianischen Postmortem-Fotografie und des Aufkommens zahlreicher seltsamer elektrischer Geräte zur Elektrotherapie oder zur Beruhigung hysterischer Frauen. Der „Violet Wand“ vom

Anfang des 20. Jahrhunderts ist ein berühmtes Beispiel dafür. Weitere Einzelheiten zu diesem seltsamen Gerät sind für Veröffentlichung in dieser Zeitschrift nicht angemessen, aber es spricht nichts dagegen, dass Sie es selbst genauer recherchieren.

In meiner Jugend waren Erdstrahlen der letzte Schrei. Zu kaufen gab es nicht nur spezielle, teure Erdstrahlengeräte - bestehend aus einer Spule und einem Kondensator - die diese schädliche Strahlung neutralisieren sollten [9], sondern sogar Frauenzeitschriften widmeten ihnen ganze Artikel. Inzwischen sollten wir es eigentlich besser wissen, aber leider ist nichts weiter von der Wahrheit entfernt... Vor einigen Jahren bestellte ich elektronische Surplus-Bauteile aus den Vereinigten Staaten, und in der Verpackung fand ich auch einige Anzeigen mit Links zu Websites. Einer dieser Links führte zu einer Website mit einer ganzen Reihe von dilettantisch gebauten elektronischen Schaltungen auf Steckplatinen mit Zigarrenkisten als Gehäuse. Diese „Geräte“ würden nicht nur bei zahlreichen Krankheiten und Symptomen des Käufers helfen, sondern auch der Verkäufer würde sich eine goldene Nase verdienen, da die typischen Verkaufspreise für eine solche Zigarrenkiste mehr als tausend Dollar betrug (sic!). Ich war ziemlich schockiert, als ich feststellte, dass sogar einer meiner früheren Lieferanten jetzt hauptsächlich Schumann-Resonanz-Generatoren verkauft. Diese sollen nicht nur beruhigen, sondern auch Musik viel besser klingen lassen. Also ein perfektes Produkt, um es Audiophilen anzuhören ... ◀

220383-02

## WEBLINKS

- [1] Elektronisches Sprachphänomen: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tonbandstimmen>
- [2] Geophone: <https://de.wikipedia.org/wiki/Geophon>
- [3] Bericht bestätigt Verdacht: In Schloss Limbricht spukt es (niederländisch): [www.dichtbij.nl/2987065/fotos-geluidsopnamen-rapport-bevestigt-vermoedens-het-spookt-op-kasteel-limbricht](http://www.dichtbij.nl/2987065/fotos-geluidsopnamen-rapport-bevestigt-vermoedens-het-spookt-op-kasteel-limbricht)
- [4] L1 Nieuws Limburg - LPI-International in Kasteel Limbricht (niederländisch): [www.youtube.com/watch?v=SO41c5FYXao](http://www.youtube.com/watch?v=SO41c5FYXao)
- [5] M. Ambaum, „Die Chaos-Maschine: Analoge Computer wiederentdecken (1), Elektor 9/2011: [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-201109/3939](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-201109/3939)
- [6] M. Ambaum, „Die Chaos-Maschine: Analoge Computer wiederentdecken (2), Elektor 10/2011: [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-201110/3959](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-201110/3959)
- [7] Lorenz'scher Engel: [www.youtube.com/watch?v=fXQRKR-KZrw](http://www.youtube.com/watch?v=fXQRKR-KZrw)
- [8] Die ersten Turngeräte der Welt, entworfen von Dr. Gustav Zander, 1892: <https://rarehistoricalphotos.com/first-gym-machines-zander>
- [9] Eine strahlende Zukunft: Die Rückkehr der Erdstrahlen (niederländisch): <https://skepsis.nl/stralen/>



# Software-Fehlern drahtlos auf der Spur

## Zirkularer Puffer und Webserver auf dem ESP32



Von Laurent Labbe (Hongkong)

Die Aufzeichnung von Debug-Daten eines Mikrocontrollers auf einem Laptop ist nicht immer bequem. Entweder steht gerade kein Laptop für diesen Zweck zur Verfügung oder das Entwicklungsboard befindet sich an einem schwer zugänglichen Ort. Dieses enorm erweiterbare Projekt von Elektor Labs löst das Problem mit einem gigantischen Pufferspeicher für die Debug-Meldungen, der in einem 3D-druckbaren Gehäuse untergebracht ist, und einer WLAN-Verbindung.

Die Entwicklung von Software für Mikrocontroller ist oft eine Herausforderung. Bis auf wenige Ausnahmen bieten Mikrocontroller eine Art Debugging-Lösung, mit der der Prozessor gestartet und gestoppt werden kann und bei der Variablen- und Registerinhalte untersucht werden können. Dies hilft bei der Ermittlung der Ursache eines Problems. Viele Maker-Boards wie der Arduino Uno oder der micro:bit der BBC bieten jedoch von Haus aus keine derartige Unterstützung, so dass der Entwickler den Code wiederholt bearbeiten und herunterladen muss, bis die Ursache eines Problems gefunden ist.

Aber Debugger sind auch nicht immer das Allheilmittel, das sie zu sein scheinen. Bei der Entwicklung von Echtzeitcode für Ethernet, WLAN oder USB oder bei Anwendungen wie einer Motorsteuerung können Sie den Mikrocontroller nicht einfach mitten im Ablauf

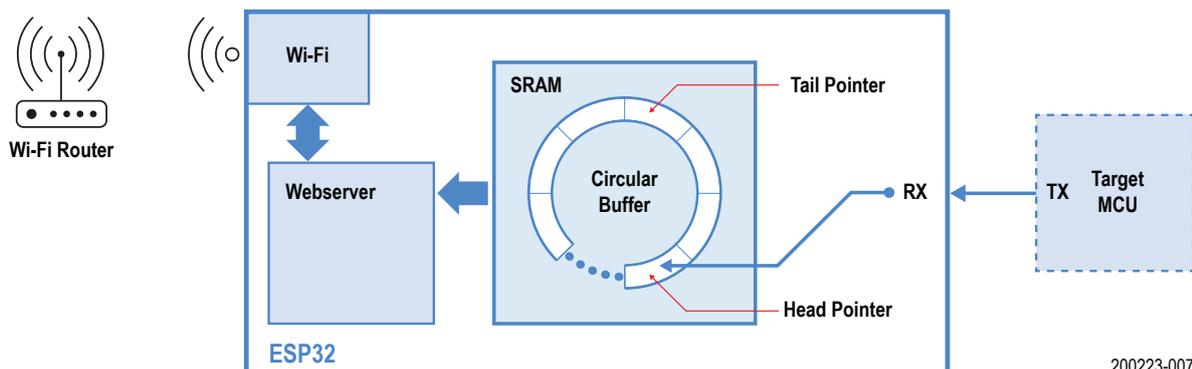
anhalten. Dies führt zu einer Unterbrechung der Kommunikation und kann sogar Schäden an der Stromversorgung verursachen, wenn etwa ein MOSFET im eingeschalteten Zustand gestoppt wird. Glücklicherweise ist es bei Maker-Boards einfach, eine serielle Ausgabe zu initiieren: Die meisten Entwickler fügen deshalb ihrem Code eine textbasierte Debug-Ausgabe hinzu, indem sie Nachrichten über USB an ein Terminal auf einem PC senden. Nach einem Testlauf kann der Entwickler bei der Analyse der Ausgabe den vom Code eingeschlagenen Weg zurückverfolgen, weshalb diese Methode des Debuggens von Code auch als „Software-Trace“ bezeichnet wird. Dies ermöglicht auch das Debugging von Anwendungen, die während des Betriebs nicht angehalten werden können.

### Das Projekt

So verwendet auch Laurent Labbe, Mitarbeiter des Elektor-Labors, häufig die serielle Schnittstelle, um die Ausführung von eingebettetem Code zu verfolgen. Er hat aber leider nicht immer einen Laptop zur Verfügung, um die Nachrichten aufzuzeichnen. Das brachte ihn dazu, über einen alternativen Ansatz nachzudenken: Not macht erfinderisch! Mit einem ESP32, einem OLED-Display und einem 3D-Drucker bewaffnet, entwickelte er das Projekt „Wireless trace for debug“ [1].

Der Ansatz verwendet einen ESP32 als Puffer für die Debug-Meldungen, der über eine serielle Schnittstelle mit dem Ziel-Controller verbunden ist. Der Puffer wird dann über WLAN und einen Webserver zugänglich gemacht (**Bild 1**).

Die enorme Menge an SRAM auf dem ESP32 ermöglicht es, einen riesigen Ringspeicher zu implementieren. Laurents Projekte verwenden typischerweise eine niedrige Baudrate von 9600, was aber leicht geändert werden kann. Jedes Mal, wenn ein Zeichen empfangen wird, wird es in den „Kopf“ des Ringspeichers geschoben. Der Puffer hat eine Größe von 65530 Bytes (unsigned char), so dass genügend Platz zum Sammeln von Trace-Nachrichten vorhan-



200223-007

Bild 1. Diese vereinfachte Blockschaltung zeigt, wie eingehende serielle Daten im Ringpuffer gespeichert werden. Auf Anfrage werden die Daten über die WLAN-Schnittstelle als Webpage abgerufen.

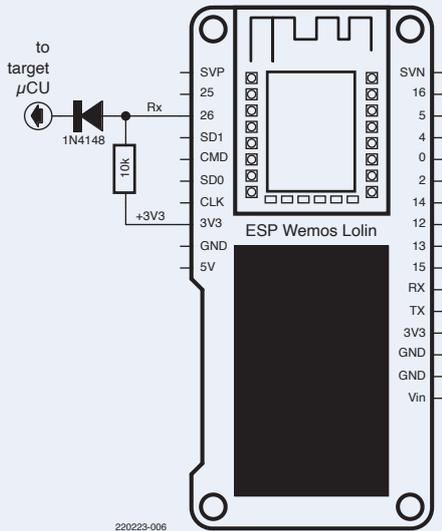


Bild 2. Auch wenn der ESP32 über 3,3-V-Pins verfügt, kann mit dieser Beschaltung ein 5-V-Mikrocontroller angeschlossen werden.

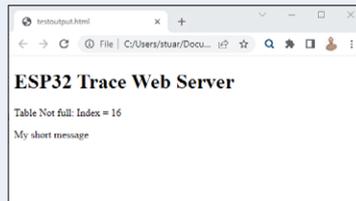


Bild 3. Beispiel für die Ausgabe in einer Webseite.

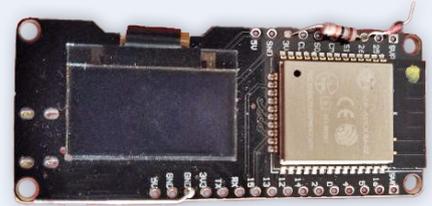


Bild 4. Der ESP32 komplett mit der Beschaltung, die den Anschluss einer 5-V-Schnittstelle ermöglicht.



Bild 5. Eine drahtlose serielle Debug-Einheit im 3D-gedruckten Gehäuse.

den ist. `Serial1` wird für die Datenerfassung über Pin 25 (TX) und Pin 26 (RX) initialisiert, obwohl eigentlich nur der RX-Pin benötigt wird. Da der ESP32 ein 3,3-V-Baustein ist, hat Laurent einen aus einem Widerstand und einer Diode bestehenden Pegelwandler hinzugefügt, damit auch 5,0-V-Mikrocontroller an die serielle Schnittstelle angeschlossen werden können (Bild 2).

Wie bereits erwähnt, nutzt das Projekt die WLAN-Konnektivität des ESP32. Nach der Registrierung im Netzwerk (im Code definiert), kann jeder lokale Laptop oder jedes mobile Gerät auf eine vom ESP32 angebotene Webseite zugreifen. Der ESP32 zeigt dann eine einfache Webseite an, die den aktuellen Inhalt des Ringspeichers enthält (Bild 3).

## Zweites Netzwerk, serielle Schnittstelle und Display

Es gibt noch ein paar andere coole Funktionen, die in den Code eingebaut sind. Zum Beispiel werden eine zweite SSID und ein Passwort für einen alternativen WLAN-Router unterstützt. Sollte die erste Verbindung aus irgendeinem Grund ausfallen, versucht der ESP32 automatisch, sich mit dem Backup zu verbinden. Da möglicherweise Stunden oder Tage an Daten auf dem Gerät gespeichert sind, bietet dies mehr Sicherheit beim Abrufen der Trace-Meldungen. Der Webserver verwendet standardmäßig Port 80, aber bei der Initialisierung kann auch ein alternativer Port definiert werden. Der kreisförmige Puffer ermöglicht auch ein Wrap-around, einen Umgriff: Sollte der Puffer vollständig gefüllt sein, überschreiben neu eingehende Nachrichten die ältesten Daten. Der Übersichtlichkeit halber wird auf der Webseite eine entsprechende Meldung eingeblendet, bevor der Inhalt des Ringspeichers von der ältesten zur neuesten Nachricht angezeigt wird.

Der ESP32 gibt auch Nachrichten über das `Serial`-Interface (über USB) aus, so dass auch der Code dieses Projekts getestet werden kann. Über `Serial1` empfangene Debug-Meldungen werden auf `Serial` ausgegeben und sofortig sichtbar. Alle Daten, die über das `Serial`-Interface empfangen werden, werden ebenfalls in den Ringpuffer eingefügt.

Informationen über die IP-Adresse und andere relevante Details werden an ein OLED-Display mit I<sup>2</sup>C-Schnittstelle ausgegeben, das an Pin 4 und Pin 5 angeschlossen ist. Hier wird das Display SSD1306 von Adafruit zusammen mit den entsprechenden Adafruit-Treiber- und GFX-Grafikbibliotheken verwendet.

Laurent hat für sein Gerät ein Board mit der Bezeichnung *WeMos Lolin32 OLED* (Bild 4) eingesetzt, das auf dem ESP32-WROOM-32-Modul basiert und einige zusätzliche Schaltkreise besitzt, um die USB-zu-UART-Schnittstelle zu implementieren und gleichzeitig einen LiIon/LiPo-Akku anschließen und laden zu können. Zusammen mit seinem 3D-gedruckten Gehäuse, für das eine CAD-Datei zur Verfügung steht, kann dieses drahtlose Debug-Trace-Tool fast überall eingesetzt werden, um autonom Daten von Ihrem Zielsystem zu sammeln (Bild 5).

## Optionen

Das Schöne an diesem Projekt ist die Kombination aus Einfachheit und Erweiterbarkeit. Die Arbeitsweise des Codes ist klar, so dass es für erfahrene Entwickler einfach ist, dieses Projekt zu erweitern und zu ändern. So wäre es beispielsweise nicht schwierig, den verfügbaren SRAM-Speicher mit externen Bausteinen weiter zu erweitern, und man könnte die Trace-Meldungen sogar auf einer SD-Karte speichern. Die Geschwindigkeit der seriellen Schnittstelle für die Datenerfassung kann ebenfalls angepasst werden, oder es können stattdessen Daten von einer I<sup>2</sup>C- oder SPI-Schnittstelle gesammelt werden. Sollten Ihre Meldungen ein wenig Farbe oder ein eleganteres Aussehen benötigen, können Sie während die Webseite mit entsprechendem HTML oder CSS aufpeppen. ◀

200223-02

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

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

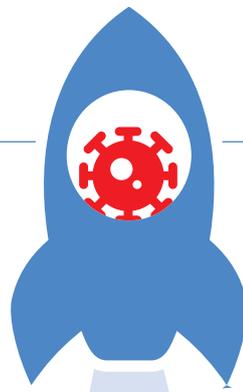


### PASSENDES PRODUKT

► **WeMos Lolin ESP32 mit OLED-Display (SKU 18575)**  
[www.elektor.de/18575](http://www.elektor.de/18575)

### WEBLINK

[1] Projektseite auf Elektor Labs:  
[www.elektormagazine.de/labs/wireless-trace-for-debug](http://www.elektormagazine.de/labs/wireless-trace-for-debug)



# Hat COVID einen Innovationsschub im Ingenieurwesen ausgelöst?

## Innovative Bauteile, Komponenten und Lösungen 2022

Die COVID-19-Pandemie hat die Ingenieure und Führungskräfte in der Elektronikindustrie vor unzählige Herausforderungen gestellt. Doch trotz aller personellen, logistischen und versorgungstechnischen Schwierigkeiten ist die Innovation weitergegangen. Werfen wir einen Blick auf einige der neuen Bauteile, Komponenten und Lösungen, die besonders hervorstechen.

**Von Stuart Cording  
(Elektor)**

Die vergangenen zwei Jahre mögen für diejenigen, die Bauteile kaufen wollten, schwierig gewesen sein, aber die diesjährigen Messen haben gezeigt, dass die Entwicklungsteams in aller Welt in dieser Zeit alles andere als träge waren. Während die Begeisterung über die angebotenen neuen Produkte auf die Euphorie des Wiedersehens auf Messen zurückgeführt werden könnte, zeigt eine genauere Analyse, dass es echte Fortschritte gegeben hat, und zwar in allen Bereichen, von kleinen analogen Stromversorgungsgeräten bis hin zu riesigen Prozessoren, die das Antlitz der Automobilindustrie verändern dürften.

### Leistung und Sicherheit für die Automobilindustrie

Es ist schon seit einiger Zeit klar, dass die Zukunft der Automobilindustrie im Verkauf von Software, verpackt in einer mechanischen Hülle, liegt. Das softwaredefinierte Auto wird dies möglich machen, ein Fahrzeug, dessen Software im Laufe ihrer Lebensdauer aktualisiert und mit neuen Funktionen ausgestattet werden kann. BMW hat bereits „Features-as-a-Service“ angekündigt, zum Beispiel die Sitzheizung, die in Großbritannien gegen eine monatliche Gebühr [1] erhältlich ist. Dies bedeutet einen massiven Wandel in der Art und Weise, wie Fahrzeugelektronik, insbesondere dessen Software, entwickelt wird.

Anstatt für jede Funktion wie einen Fensterheber ein eigenes elektronisches Steuergerät (electronic control unit, ECU) zu entwickeln, werden mehrere Funktionen in eine Handvoll leistungsfähiger Domain-Controller integriert. Diese werden mit Hilfe von Fahrzeugethernet, einer neuen Single-Pair-Implementierung des bekannten Vernetzungsprotokolls, miteinander verbunden und um einen Hochleistungscomputer (high-performance computer, HPC) herum angeordnet. Dieser Ansatz darf natürlich nicht gegen die ASIL-Sicherheitsanforderungen [2] ausgespielt werden.

Dies bringt uns zur Einführung der wirklich beeindruckenden Echtzeitprozessoren S32Z und S32E von NXP (**Bild 1**). Zunächst einmal verfügen sie über eine Fülle von Funktionen, die das kritische deterministische Verhalten des Fahrzeugs bei Taktraten von bis zu 1 GHz erfüllen sollen, was für ein ASIL-D-fähiges Gerät bisher unerreichbar war. Acht Arm-Cortex-R52s, die unabhängig oder im Gleichschritt arbeiten können, erledigen die Hauptarbeit. Ein Arm-Cortex-M33 im Lockstep-Betrieb ist für das Systemmanagement zuständig, während zwei weitere für die Beschleunigung der CAN-FD-Kommunikation im Fahrzeug sorgen. Ein letzter Arm-Cortex-M7 steuert die Funktion der Hardware-Sicherheits-Engine (hardware security engine, HSE), der für die Gewährleistung eines sicheren Systems entscheidend ist.

### Core-zu-Pin-Virtualisierung

Um mehrere Funktionen auf einem einzigen System-on-Chip (SoC) zu unterstützen, verwenden solche Bauteile einen Hypervisor. Dadurch können mehrere Betriebssysteme auf dem SoC ausgeführt werden, ohne dass sie sich gegenseitig bemerken (typischerweise POSIX und AUTOSAR [3]). Die Prozessoren von Servern, auf denen Hypervisoren laufen, verwenden eine Speicherverwaltungseinheit (memory management unit, MMU), um die Betriebssysteme voneinander zu trennen, zusammen mit einer ausgeklügelten

Software, um beispielsweise die richtige USB-Hardware dem jeweiligen Betriebssystem zuzuweisen oder den Ethernet-Anschluss unter ihnen aufzuteilen. Beim S32Z und S32E liegen die Dinge jedoch anders.

Die Virtualisierung wird vom Core bis zum Pin unterstützt, was bedeutet, dass die Zuordnung von Peripherie zu einem bestimmten Betriebssystem auf der Hardwareebene erfolgt. Dies vereinfacht die Zuweisung, reduziert den Software-Overhead und stellt sicher, dass ein Ausfall einer Sicherheitsanwendung eines Betriebssystems keinen Einfluss auf die eines anderen OS hat. Dies unterstützt auch die Allzweck-IOs (GPIO), wobei die Bitgruppen in Registern als dedizierte virtuelle Register erscheinen, die nur die vom virtualisierten Betriebssystem benötigten Pins enthalten.

Das Portfolio dieser Bauteile basiert derzeit auf der 16-nm-Technologie, aber Brian Carlson, Director, Global Product and Solutions Marketing, erklärte, dass der Übergang zu 5 nm vorgesehen ist. Auch die Industrie hat die Bedeutung dieser Bauelemente erkannt: Axel Aue, Vizepräsident von Bosch Engineering, erklärte, dass diese Bauelemente „eine Leistungssteigerung um den Faktor 2 im Vergleich zu eingebetteten NVM-MCUs bieten“. Darüber hinaus wurden diese Bauteile mit dem *Embedded World 2022 Award* in der Kategorie Hardware ausgezeichnet, was sie zu einer Technologie macht, die man im Hinblick auf die zunehmende Elektrifizierung und Elektronisierung von Fahrzeugen im Auge behalten sollte.

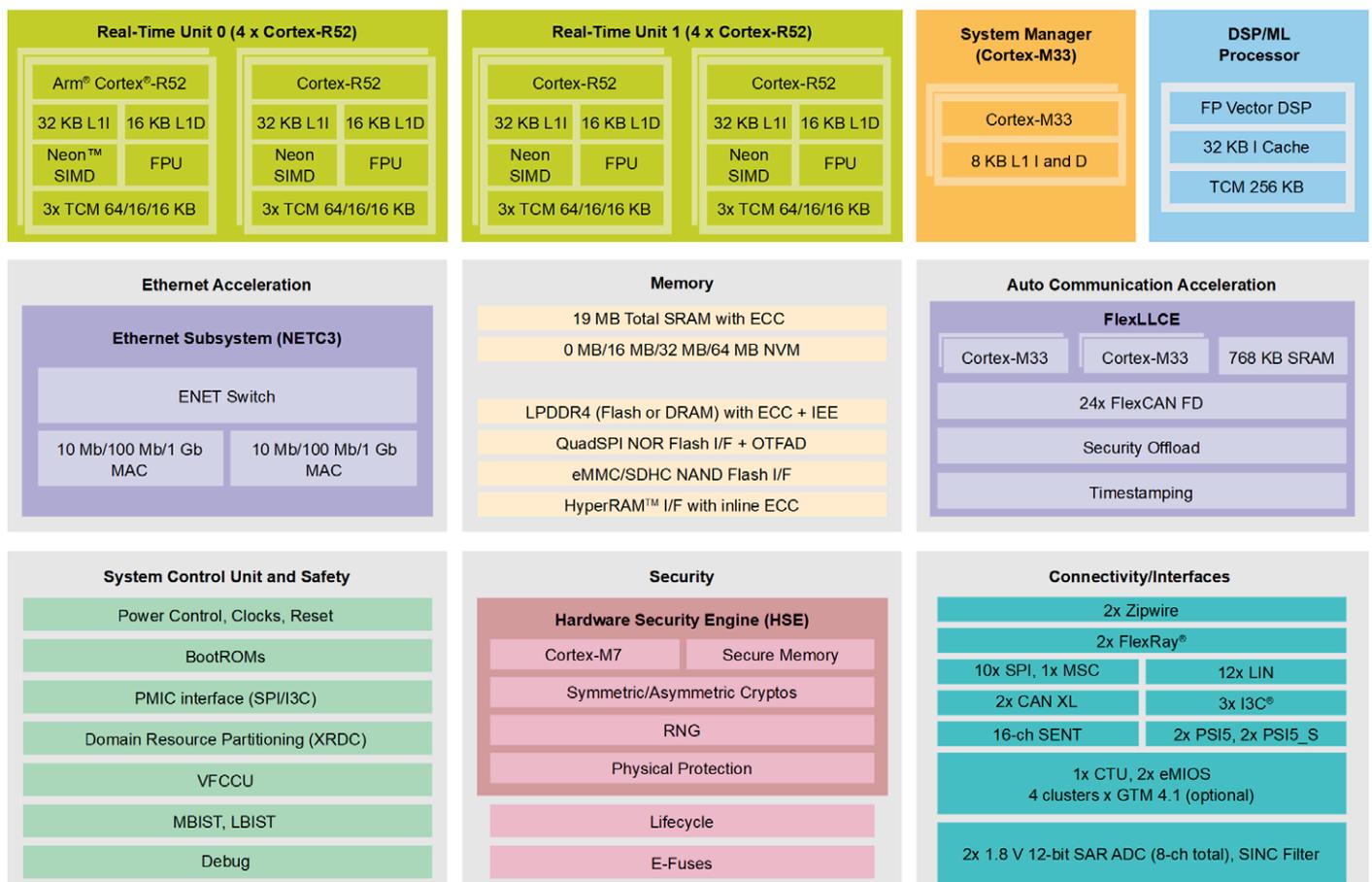
### Single-Pair-Ethernet in der Industrie

Betrachtet man den Ansammlung an Kabeln und Steckverbindern in Fabriken, so zeigt sich ein erhebliches Optimierungspotenzial. Derzeit wird eine Vielzahl von Feldbussen nach den Kriterien Preis, Sicherheitsanforderungen und Eignung für die jeweilige Anwendung ausgewählt. Die meisten dieser Bussysteme unterstützen kein Multidrop, was dazu führt, dass zu viele Kabel zu einer einzigen SPS geführt werden müssen. Mit dem Multidrop-Single-Pair-Ethernet (SPE), das in einer Reihe von Erweiterungen des bestehenden Ethernet-Standards definiert ist, kann jedoch eine gewisse Ordnung erreicht werden.

Bislang war die notwendige Hardware nur als in Mikrocontrollern integrierte Peripherie verfügbar. Mit dem NCN26010 von OnSemi ist nun ein eigenständiger 10BASE-T1S-Ethernet-Controller mit integriertem MAC und PHY verfügbar. Das Bauteil kann über SPI mit einem Standard-Mikrocontroller oder einem Board wie einem Raspberry Pi verbunden werden, für das Softwaretreiber verfügbar sind (Linux, FreeRTOS). Der Controller unterstützt die vom Standard geforderte Mindestanzahl von acht Multidrop-Knoten über >25 m, kann aber bei Bedarf bis zu 40 Knoten und größere Entfernungen unterstützen.

Um die Zuverlässigkeit unter den elektrisch verbrauchten Bedingungen in einer Fabrik aufrechtzuerhalten, ist das Bauteil mit einer Reihe innovativer Störsicherheitsfunktionen ausgestattet. Zusätzliche Zuverlässig-

Bild 1. Die Echtzeitprozessoren der S32-Serie von NXP zielen auf die neue softwaredefinierte Fahrzeugarchitektur ab und unterstützen Core-to-Pin-Virtualisierung. (Quelle: NXP)



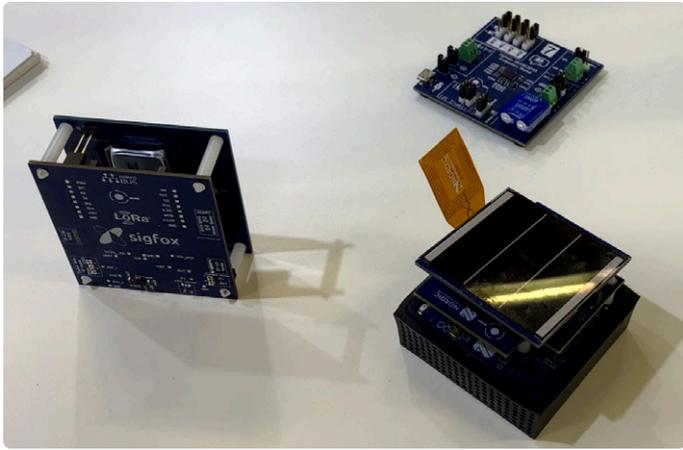


Bild 2. Der Diatom PMIC (NH16D3045) des fabriklosen Start-ups Nowi bietet hocheffizientes Energy Harvesting aus einer Reihe von Energiequellen.

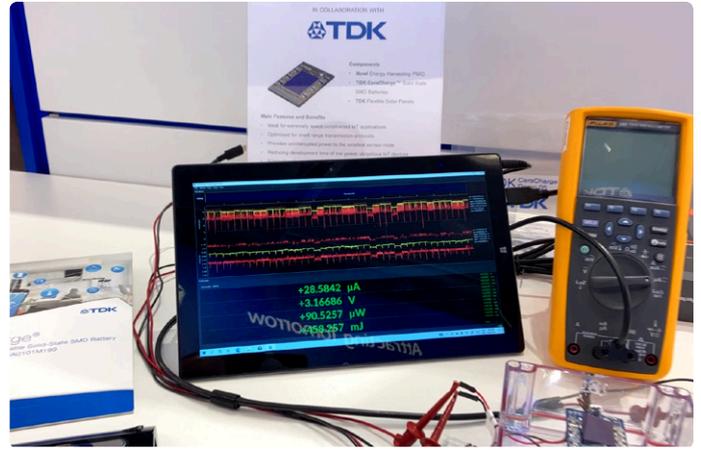


Bild 3. Die wiederaufladbare, oberflächenmontierbare Festkörperbatterie CeraCharge von TDK verwendet eine mehrschichtige Oxidstruktur auf Lithiumbasis.

keit in der Kommunikation wird durch eine optionale, in den MAC integrierte IEEE-Funktionalität erreicht, die Physical Layer Collision Avoidance (PLCA) genannt wird. Diese bietet eine Rundlauf-Arbitrierungsmethode, die Kollisionen vermeidet und die Netzwerkleistung auf nahezu 100 % erhöht.

### Stromversorgung für das IoT

Angesichts der zunehmenden Verbreitung von Geräten für das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) stellt sich die Frage, ob Batterien wirklich die beste Methode zur Stromversorgung von Geräten sind, die keine alternative Stromquelle besitzen. Nowi, ein kleines fabrikloses Halbleiter-Start-up-Unternehmen mit Sitz in Delft (Niederlande), hat sich mit dieser Frage beschäftigt. Ihr neuestes Power-Management-IC namens Diatom (NH16D3045) ist eine hocheffiziente Energy-Harvesting-Lösung für Anwendungen mit geringem Stromverbrauch (Bild 2). Es zielt auf intelligente Wearables und drahtlose Sensoren ab und kann Energie im Mikro- bis Milliwattbereich aus so unterschiedlichen Quellen wie Sonnenkollektoren, thermoelektrischen Generatoren oder Vibrationen von Piezoelementen liefern. Es wurden bereits verschiedene Demonstrationsschaltungen gebaut, darunter elektronische Regal-Etiketten und Fernbedienungen für Fernseher.

Natürlich muss die gewonnene Energie gespeichert werden, bis sie in der Anwendung benötigt wird. Zu

diesem Zweck hat TDK eine neue Speichertechnologie, CeraCharge, auf den Markt gebracht (Bild 3). Diese Festkörperlösung vereint das Beste aus Lithium-Ionen-Batterien und Vielschichtkondensatoren zu einer lithiumbasierten Oxid-Vielschichtbatterie. Aufgrund ihrer Chemie ist sie selbst im Vakuum sicher, da sie weder auslaufen noch explodieren kann. Mit der gleichen Größe wie 1812-MLCC-Kondensatoren ist sie zehnmal kleiner als vergleichbare Superkondensatoren und kann im Pick-and-Place-Verfahren auf der Platine positioniert und in einem gewöhnlichen Reflow-Verfahren gelötet werden. Nach 1.000 Ladezyklen bietet die Batterie noch 80 % ihrer ursprünglichen Kapazität. Der CeraCharge 1812 besitzt eine Nennspannung von 1,5 V, eine Nennkapazität von 100  $\mu\text{Ah}$  und arbeitet bei  $-20^\circ\text{C}$  bis  $80^\circ\text{C}$ . Dank Entladeraten von bis zu 10C kann sie auch Bluetooth-Low-Energy-Beacons mit Energie versorgen.

### Die Stars des IoT

Eine weitere Herausforderung des IoT sind die „Inseln“ um unterschiedliche Technologien wie verschiedene drahtlose Netzwerke oder IoT-Plattformen. Das verlangsamt die Entwicklung, weil an bis zu zehn Stellen an derselben Anwendung gearbeitet wird, jedes Mal auf einer anderen Plattform. IoT Stars, eine Netzwerkorganisation, die Meet-ups organisiert, versucht, abseits der bekannten Messen etwas dagegen zu unternehmen (Bild 4). Laurens Slats, Developer Relations, erläuterte, wie ihre Veranstaltungen es Entwicklern und Zulieferern, die sich mit allen Aspekten des IoT befassen, ermöglichen, ihre Erfahrungen auszutauschen, sei es im Bereich des stromsparenden Designs, der Plattformintegration oder der drahtlosen Technologie. Die nächste Veranstaltung ist für den Mobile World Congress (MWC) in Barcelona geplant.

Ein weiteres Mitglied der IoT-Stars-Community ist Rachel Taylor, die ihr neues Unternehmen Nubix auf der IoT Stars während der Embedded World vorstellte. Rachels Ansatz ist, dass IoT-Geräte zu sehr auf traditionelle Entwicklungsprozesse angewiesen sind und die Möglichkeiten bestehender Cloud-Dienste nicht voll ausschöpfen. So sind Over-the-Air-Updates (OTA) oder sogar die Bereitstellung neuer Anwendungen nach wie vor eine echte Herausforderung. Nubix entwickelt eine

Bild 4. Laurens Slats erklärt, wie IoT Stars Networking-Veranstaltung Menschen zusammenbringt, um gemeinsame Probleme in der IoT-Branche zu erforschen.



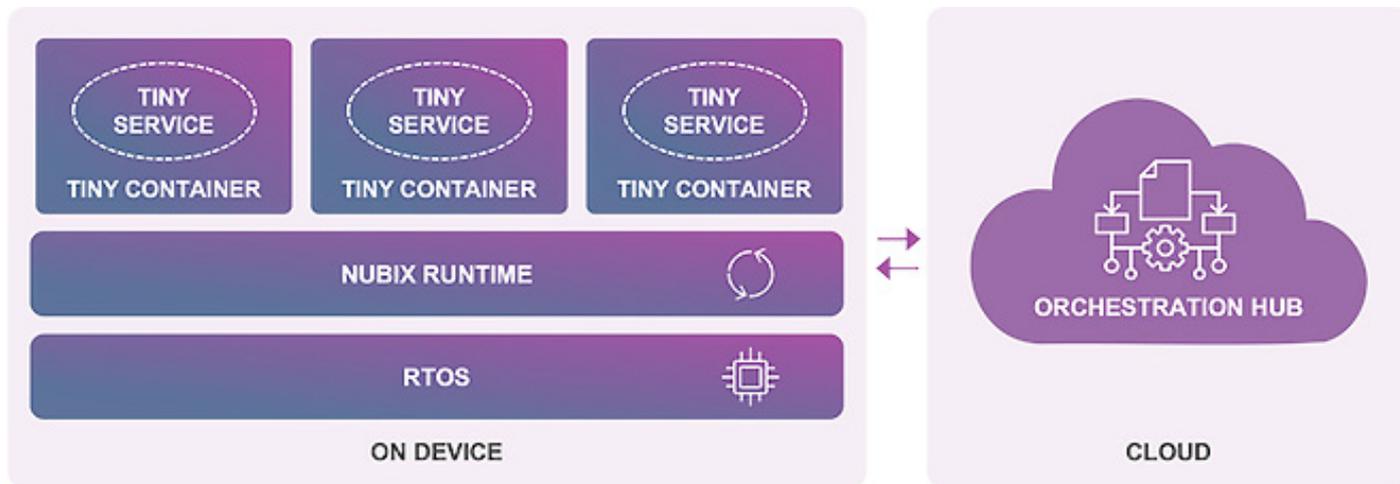


Bild 5. Nubix will die Bereitstellung von IoT-Funktionen auf Standard-Mikrocontrollern mit seinem Orchestration Hub und Container-Ansatz vereinfachen. (Quelle: Nubix)

Edge-Native-Anwendungsplattform, die für die derzeit in diesem Bereich verwendeten Arm-Cortex-M-Mikrocontroller geeignet ist. Ausgehend von einem Echtzeit-Betriebssystem und einem Laufzeit-Layer werden die Anwendungen als Dienste in „tiny containers“ bereitgestellt. Sobald eine Verbindung verfügbar ist, können über den Orchestration Hub Daten gesammelt und Dienste aktualisiert werden (Bild 5).

### Neues Flash-Drive-Format

Mini- und Client-PCs sind platzsparend und bieten genug Leistung, um im Internet zu surfen und gelegentlich einen Brief zu schreiben. Aber ihre integrierten Flash-Laufwerke, die auf die Hauptplatine gelötet sind, bestimmen im Wesentlichen ihre Lebensdauer, denn sobald das Betriebssystem und die Daten entsprechend (zu) groß sind, gibt es keine Möglichkeit zur Aufrüstung. In Zukunft könnte sich dies auch auf Autos und andere Anwendungen auswirken. Dank XFMEXPRESS (Bild 6), einem neuen Flash-Laufwerk-Format von Kioxia, könnte dies jedoch bald der Vergangenheit angehören. Das Gerät, das einer SD-Karte ähnelt, unterstützt PCIe und NVMe und ist damit an seiner Schnittstelle mit den heutigen M.2-SSDs kompatibel. Es ist jedoch eher für den Gebrauch als für den Transport von Daten konzipiert. Mit einer Dicke von nur 1,4 mm wird es in einen Clamshell-Sockel eingesetzt, der eine feste und sichere Montage ermöglicht. Diese Technologie, mit einem Speicher von bis zu 1024 GB angeboten wird, ist als JEDEC-Standard definiert, um eine breitere Akzeptanz zu erreichen.

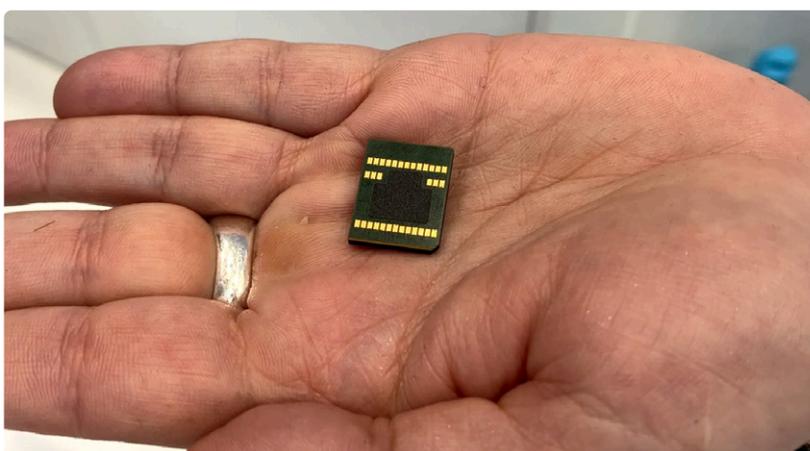
### Prozessordesign noch einfacher gemacht

Einer der Vorteile von RISC-V-Cores für Entwickler ist die Möglichkeit, benutzerdefinierte Anweisungen hinzuzufügen, um bestimmte Algorithmen zu beschleunigen. Heute gibt es eine Reihe von Standard-Prozessorkernen von Herstellern, die diese Anpassungen unterstützen. Die Verwendung neuer Befehle erfordert jedoch, dass der Programmierer sie mit Inline-Assembler [4] implementiert, was natürlich Änderungen am Quellcode erfordert. Codasip, ein im Jahr 2014 gegründetes Unternehmen mit Hauptsitz in München, hat mit seinem L31-Embedded-RISC-V-Core gezeigt, dass dies nicht der Fall sein muss. Bei der

Verwendung von Tensor Flow Lite zur Erkennung der in der MNIST-Datenbank definierten handgeschriebene Ziffern erklärte Marketingleiter Rupert Baines, dass die Knackpunkte in der Verarbeitung ermittelt werden konnten. Daraufhin wurden zwei neue benutzerdefinierte Befehle zur Beschleunigung der Ziffernerkennung definiert und in den Core integriert. Derselbe Code läuft dann ohne Änderungen auf dem angepassten L31-Kern und erreicht eine um 80 % kürzere Verarbeitungszeit (Bild 7).

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des maschinellen Lernens ist der Zugang zu leistungsstarken Grafikprozessoren (graphics processing units, GPU) und Beschleunigern für neuronale Netze (neural network accelerators, NNA). Für Start-ups, die neue Chips entwickeln, ist es oft schwierig, die Lizenzgebühren für die Core-IP (Intellectual Property) zu finanzieren. Sie sind oft gezwungen, bei der Einstellung von Mitarbeitern zu sparen, die die eigentlichen Innovationen umsetzen könnten. Imagination, ein Anbieter von RISC-V- und GPU-IP, macht dies mit seinem neuen Programm *Open Access* einfacher. Durch den Wegfall der Lizenzkosten für Scale-up-Unternehmen können Teams vier PowerVR Series8XE-GPUs und drei Series3NX-NNAs in Anspruch nehmen. Das Programm umfasst den Zugang zu Support und Tools für die ersten Schritte zur Entwicklung neuer Chips, wobei die Lizenzgebühren erst nach der Auslieferung der Produkte fällig werden.

Bild 6. XFMEXPRESS von Kioxia bietet eine brauchbare Alternative zu eingelöteten Flash-Laufwerken für Thin Clients und Mini-PCs.





**Bild 7.** Das Hinzufügen und Verwenden neuer Anweisungen mit RISC-V-Kernen kann sehr einfach sein, erklärt Rupert Baines von Codasip.

## Kampf gegen gefälschte Bauteile

Das vielleicht größte Problem während COVID war der Bauteilemangel in Kombination mit der Zunahme der Zahl von Fälschungen. Während einige Fälschungen offensichtlich sind, werden viele sicher leicht übersehen. Für Electronics Manufacturing Services (EMS), die Tausende von Kunden bedienen, ist es schwierig, den Überblick über das Angebot von Millionen von Bauteilen zu behalten, mit denen Platinen bestückt werden. Das Start-up-Unternehmen Cybord hat sich dieser Herausforderung mit seiner Analyse- und Rückverfolgbarkeitsplattform für elektronische Bauteile gestellt. Das in die Fertigungsstraße integrierte System erfasst Bilder von jedem einzelnen Bauteil und speichert sie zusammen mit der Chargennummer und anderen Lieferscheindaten in einer Datenbank. Mit Künstlicher Intelligenz werden dann Unregelmäßigkeiten erkannt, in allen Bereichen von Siliziumchips bis hin zu passiven Bauteilen.

Chief Strategy Officer Oshri Cohen erklärt, dass das System auch andere Sachverhalte erfassen kann, zum Beispiel minderwertige Lötstellen und unterschiedliche Datumcodes für Produkte auf derselben Rolle. Diese werden dann vom System markiert, so dass die Bediener entscheiden können, ob sie die Teile weiterverwenden wollen oder nicht. Das System analysiert nicht nur die Bauteile, sondern verwaltet auch eine Datenbank mit den Bauteilen, die in jedes hergestellte Produkt gelötet werden. Wenn ein Produkt aufgrund eines schlecht gelöteten Kondensators ausfällt und zurückgeschickt wird, kann der Hersteller den Zustand der Kondensatoren, die für andere Platinen in dieser Charge verwendet wurden, zurückverfolgen. Wenn sich herausstellt, dass auch andere Kondensatoren mangelhafte Lötstellen aufwiesen, kann vielleicht nur eine Handvoll betroffener Platinen zurückgeru-

fen werden anstatt Hunderte oder Tausende. Dies ermöglicht eine präzise Rückverfolgbarkeit, die zur Verringerung des Elektronikabfalls beitragen kann.

## Während COVID waren wir sehr beschäftigt!

Da wir aufgrund der COVID-Beschränkungen so lange voneinander getrennt waren, scheinen die in diesem Jahr erzielten Fortschritte vielleicht eher eine Fata Morgana als Realität. Aber die Fakten lügen nicht - es gibt viele neue Akteure, neue Produkte und neue Plattformen, die anspruchsvolle Probleme auf innovative Weise lösen. Vielleicht war die Arbeit von zu Hause aus die Effizienzsteigerung, auf die Entwicklungsingenieure all die Jahre gewartet haben! ◀

220395-02

### 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).

## Elektor Engineering Insights



### Live dabei sein: Elektor Industry Insights

**Elektor Industry Insights** ist eine Anlaufstelle für vielbeschäftigte Ingenieure und Hersteller, die sich über die Welt der Elektronik informieren wollen. In jeder Live-Folge der Sendung diskutiert Elektor-Redakteur Stuart Cording mit Experten aus der Elektronikbranche über echte technische Herausforderungen und Lösungen. Besuchen Sie [www.elektormagazine.com/eei](http://www.elektormagazine.com/eei) für Details über kommende und vergangene Sendungen.

## WEBLINKS

- [1] P. Valdes-Dapena, „Why BMW is offering heated seats on a monthly subscription“, CNN Business, Juli 2022: <https://cnn.it/3dqmIAT>
- [2] „Automotive Safety Integrity Level (Automotive) (ASIL)“, IT Wissen.info, Juli 2019: <https://bit.ly/3C4dNiH>
- [3] AUTOSAR-Webseite: [www.autosar.org](http://www.autosar.org)
- [4] S. Cording, „What is RISC-V?“, Elektormagazine.de, April 2021: [www.elektormagazine.com/articles/what-is-risc-v](http://www.elektormagazine.com/articles/what-is-risc-v)

# Ersa i-CON TRACE

## die IoT-Lötstation für Praktiker

Ein Beitrag von Kurtz Ersa

Was ist entscheidend für erfolgreiches Handlöten? Die Fertigkeiten des Anwenders und das richtige Werkzeug! Schon als Ernst Sachs 1921 den elektrischen LötKolben patentieren ließ, war sein Fokus absolut auf die Entwicklung eines funktionalen Lötwerkzeugs gerichtet. Und so ist es geblieben: Mit der Ersa i-CON TRACE präsentiert der Systemlieferant Nr.1 für die Elektronikfertigung aus Wertheim eine moderne Lötstation, die von einer neuen Lötspitzentechnik bis hin zur Netzwerkintegration jede Menge zu bieten hat!



Die Konzentration aufs Wesentliche, den Lötprozess selbst, rückt Ersa bei der Lötstation i-CON TRACE in den Mittelpunkt. Die Station überzeugt mit einem überaus ergonomischen und leistungsstarken Lötwerkzeug, dem i-TOOL TRACE. Der leichte und ergonomische LötKolben ist mit einem 150 W starken Heizelement ausgestattet und ist damit das perfekte Werkzeug für sämtliche Lötaufgaben. Die neue Lötspitzenserie 142 wurde thermodynamisch überarbeitet. Zusammen mit der äußerst präzisen Temperaturregelung gewährleistet Ersa, immer mit der richtigen Temperatur zu arbeiten. Für die



*„Zunächst waren die Performance des LötKolbens i-TOOL TRACE, also die Wärmeübertragung sowie die Handhabung und der sehr einfache Lötspitzenwechsel für mich wichtig.“ (Rückmeldung eines Pilotkunden zur i-CON TRACE)*

Qualität der ausgeführten Lötungen ist dies einer der wichtigsten Faktoren. Dabei können vielfältige Lötspitzentypen eingesetzt werden – von feinen Bleistiftspitzen (0,1 mm) für extrem filigrane Lötaufgaben an kleinsten SMT-Bauteilen bis hin zu einer 12 mm breiten Meißelspitze für Hochleistungs-Anwendungen oder der 20 mm breiten Wick-Tip zum Entlöten beziehungsweise der Aufnahme von Restlot auf einer Baugruppe. Alle Spitzentypen sind mit einem eindeutigen QR-Code bedruckt und damit identifizierbar. Diese Funktion wird bei der Dokumentation bedeutsam. Der Spitzenwechsel ist in der Tat eine

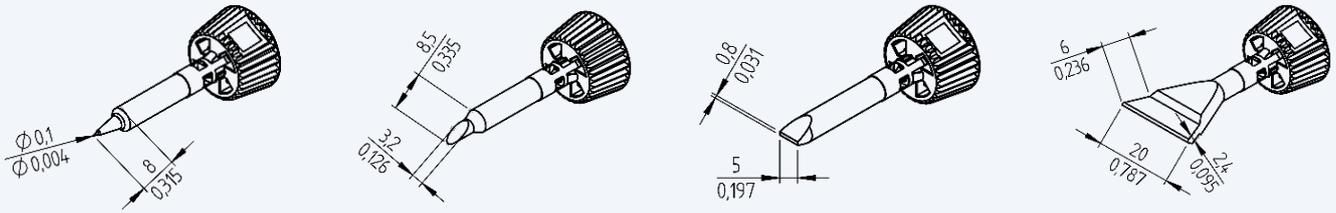


Bild 1. Auswahl an Lötspitzen der neuen Serie 142 mit Bajonettverschluss und optimierter Wärmeleitung.



Bild 2. Das patentierte Tip'n'Turn-Konzept der Ersa i-CON TRACE ermöglicht einen Spitzenwechsel in Rekordzeit.

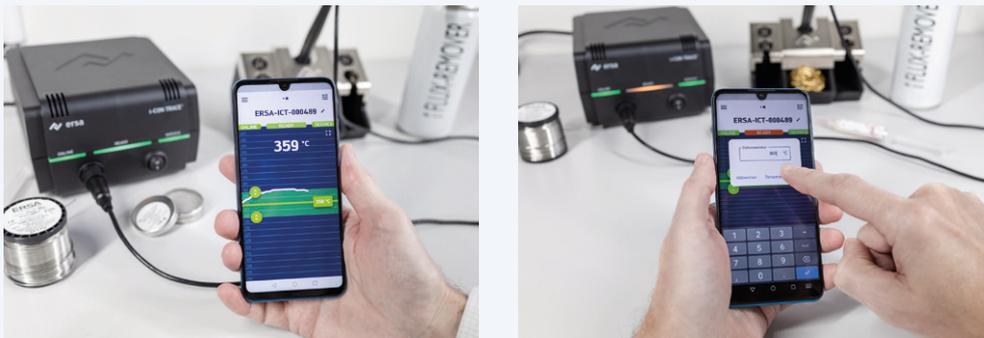


Bild 3. Die Konnektivität der i-CON TRACE erlaubt es, jeden einzelnen Lötvorgang zu dokumentieren: Baugruppen, verwendete Spitze, Temperatur und Löttdauer. Dazu stehen das TRACE COCKPIT für Computer oder die TRACE APP für mobile Endgeräte zur Verfügung.

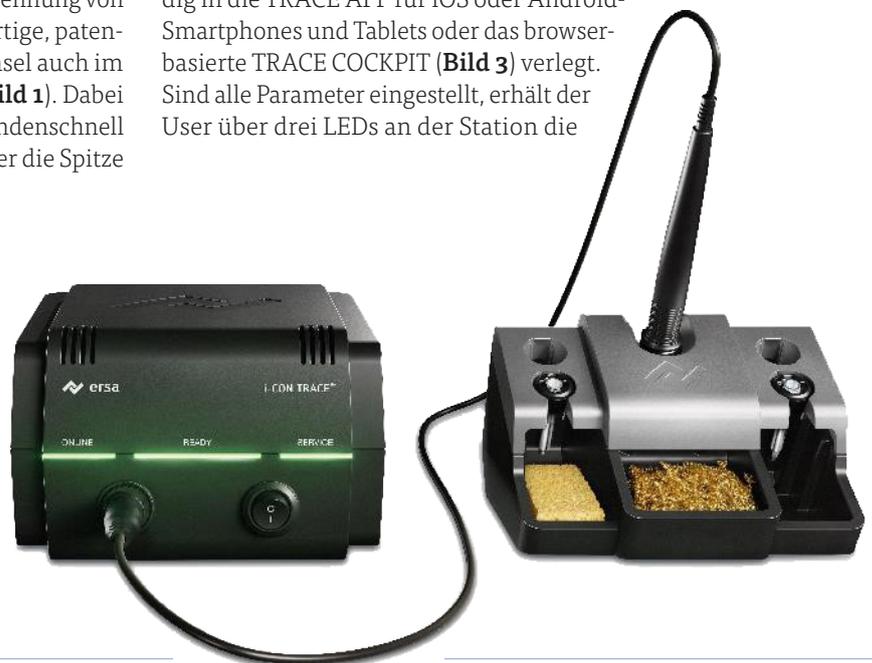
Innovation: Wechselzeiten wie bei einem Kartuschen-System, aber weiterhin die ökologisch wie ökonomische sinnvolle Trennung von Lötspitzen und wechselbarem Heizkörper! Der neuartige, patentierte Bajonettverschluss erlaubt den Lötspitzenwechsel auch im heißen Zustand innerhalb von wenigen Sekunden (**Bild 1**). Dabei kann direkt der multifunktionale Ablageständer sekundenschnell mit Hilfe der Tip'n'Turn-Technik genutzt werden – oder die Spitze wird wie gewohnt von Hand gewechselt (**Bild 2**).

### Intuitives Bedienkonzept auf LED-Basis

Auch das Bedienkonzept der i-CON TRACE ist komplett neu: Anstelle eines Displays und Bedienelementen an

der Station wurde das User-Interface fast vollständig in die TRACE APP für iOS oder Android-Smartphones und Tablets oder das browserbasierte TRACE COCKPIT (**Bild 3**) verlegt. Sind alle Parameter eingestellt, erhält der User über drei LEDs an der Station die

Bild 4. GREEN MEANS GO! Wenn alle Bedingungen für die zugeteilte Löttaufgabe erfüllt sind, gibt das LED-Interface der i-CON TRACE grünes Licht zum Start des Lötvorgangs.



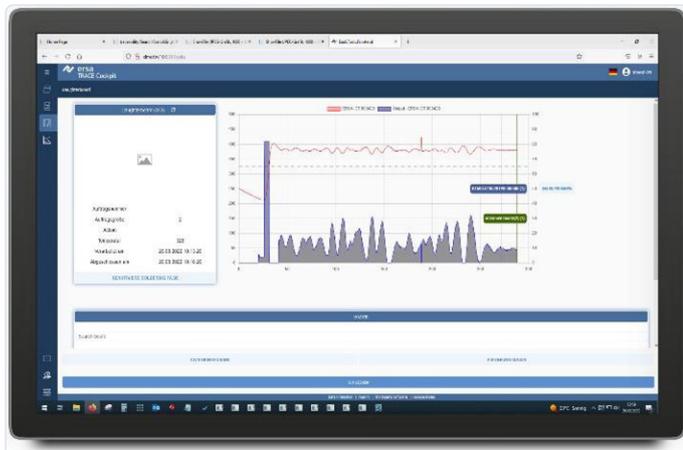


Bild 5. Dokumentation eines Lötjobs in TRACE COCKPIT.

wesentlichen Informationen. Leuchten alle Anzeigen grün, so bedeutet dies freie Fahrt fürs Löten – oder wie es die Erska-Ingenieure in eine griffige Formel gepackt haben: Green means Go! So bleibt die Konzentration des Anwenders bei der Löttaufgabe selbst (Bild 4). Möglich wird diese einfache und intuitive Bedienung durch die einzigartige Konnektivität der i-CON TRACE. Als erste Lötstation überhaupt ist sie serienmäßig mit einem Bluetooth- und WLAN-Modul ausgestattet. Sie lässt sich so mit wenigen Handgriffen in jedes Netzwerk einbinden. Optional ist ein einsteckbares LAN-Modul für kabelgebundene Kommunikation erhältlich. Die Bedienung von einer oder mehreren Stationen über die kostenlose TRACE APP (iOS und Android) erfolgt dabei komplett intuitiv. Von der Soll-Temperatur über das Regelverhalten bis hin zu Standby- und Ruhemodus lassen sich alle Werte im Handumdrehen einstellen und werden in Echtzeit aktualisiert.

Für professionelle Kunden bietet die i-CON TRACE über die serverbasierte Browser-Applikation TRACE COCKPIT noch mehr: Die i-CON TRACE ist das „Missing Link“ und schließt mit maximaler Rückverfolgbarkeit die bisher noch offene Lücke im Handlötprozess in puncto Traceability (Bild 5). So kann das TRACE COCKPIT die Aufzeichnung einer gesamten Löttaufgabe in einem gewünschten Dateiformat bereitstellen (PDF, CVS oder auf XML-Basis). Jeder Lötstation lassen sich via TRACE COCKPIT spezifische Löttaufgaben (Jobs) zentral zuweisen.

Die IoT-Lötstation kann sogar via Manufacturing Execution System (MES) in gesteuerte Produktionsprozesse eingebunden werden und macht damit den kompletten Handlötprozess rückverfolgbar und

dokumentierbar. Hierbei werden mittels Handscanner wichtige Eckdaten wie Baugruppe, der QR-Code der verwendeten Lötspitze, des Lötdrahts und des eingesetzten Flussmittels erfasst. So „weiß“ das System, dass alle Bedingungen für die zugeteilte Löttaufgabe erfüllt sind. Der Operator konzentriert sich ganz aufs Löten, wodurch die Fehlermöglichkeiten auf ein absolutes Minimum sinken. Sämtliche Prozessdaten der ausgeführten Lötarbeiten werden zentral gespeichert und können zum Beispiel im Fall von Reklamationen jederzeit ausgewertet werden. Als erste IoT-Lötstation eröffnet die i-CON TRACE für alle Anwender in der Löttechnik völlig neue Dimensionen. ◀

220553-02

### i-CON PICO & NANO – kompakte Lötleistung

Wer auf Lötleistung nicht verzichten will, aber über wenig Platz auf dem Arbeitstisch sowie über ein begrenztes Budget verfügt, dem bietet Erska zwei weitere kompakte Lötstationen an. Die i-CON PICO (Stellfläche 145 x 80 mm) bietet drei fest voreinstellbare Temperaturen oder stufenlose Temperatureinstellung von 150 °C bis 450 °C. Auch sie verfügt über Standby- und Ruhemodus und kann mit einer Micro-SD-Karte parametrisiert werden. Ist ein ESD-sicheres Umfeld gefragt, kommt die i-CON NANO mit gleicher Funktionalität in Betracht. Bei ihr sind sämtliche Oberflächen aus antistatischem Material ausgeführt. Beide Stationen verfügen ebenfalls über getrennt austauschbare Lötspitzen (Serie 102) und Heizkörper (maximal 150 W) sowie eine hervorragende Lötperformance an kleinen bis mittelgroßen Lötstellen. Handlich und smart!



i-CON PICO (links) und i-CON NANO - kompakte Lötleistung für normale Arbeitsbereiche und solche mit ESD-Anforderungen.

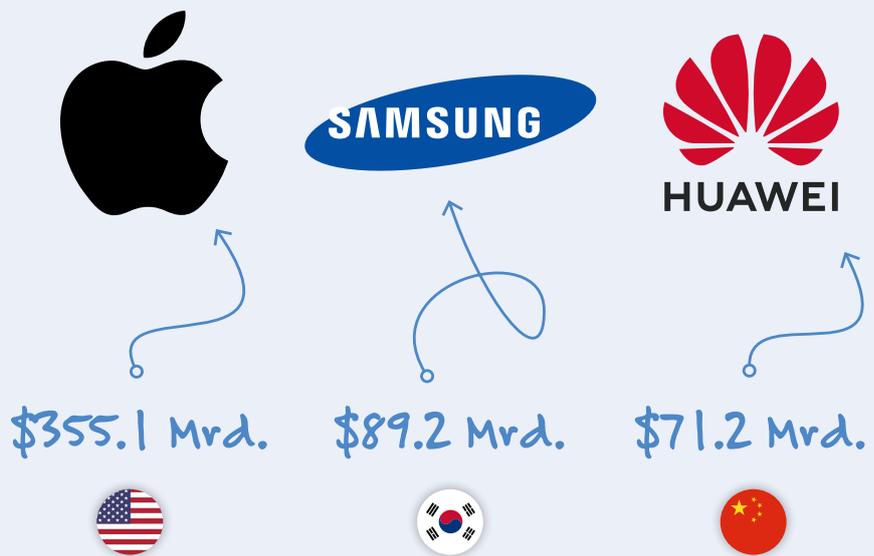
## WEBLINKS

[1] Mehr unter: [www.i-con-trace.de](http://www.i-con-trace.de)

[2] Produktvideo Erska i-CON PICO und i-CON NANO: [https://youtu.be/eUE0a\\_2C6XI](https://youtu.be/eUE0a_2C6XI)

## Apple ist der große Gewinner des Jahres 2022

Wie stark kann eine Elektronikmarke sein? So stark, wie es die spezielle Methodik von Brand Finance zulässt. Jedes Jahr veröffentlicht Brand Finance ein Ranking der 50 wertvollsten und stärksten Elektronikmarken der Welt. Die Methodik von Brand Finance berücksichtigt alle möglichen Dinge: emotionale Bindung an die Marke, aktuelle und zukünftige Einnahmen, potenzielle Lizenzvereinbarungen, Einkommen nach Steuern und so weiter. Apple steht an der Spitze mit einem atemberaubenden Markenwert von 355 Mrd. USD, einem Anstieg von 35 % im Vergleich zum Vorjahr und einem 2,5-fachen Anstieg seit Beginn der Pandemie. Branding Finance führt den beispiellosen Erfolg von Apple auf eine sehr überzeugende Kombination aus innovativen Geräten und hochwertigen Dienstleistungen zurück.



(Quelle: Brand Finance)

## Alles ist unsicher, nur nicht ... die Nachfrage

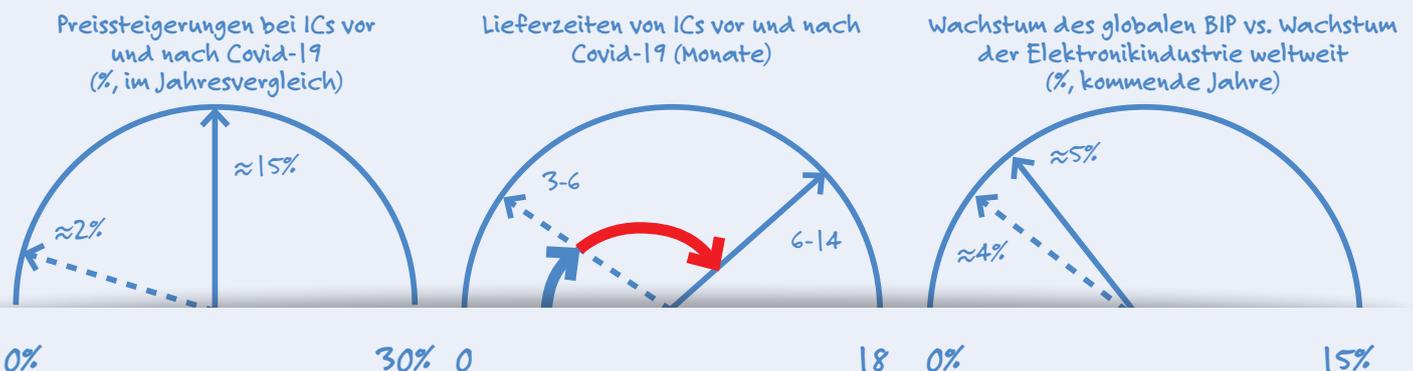
Ende des letzten Jahres war die Stimmung in der Halbleiterindustrie gut. Ein tragfähiges Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage war nicht nur in Sicht, sondern im Jahr 2022 zum Greifen nahe. Einige Analysten glaubten, dass die Zahlen bald wieder das Niveau von vor der Pandemie erreichen würden.

Der Krieg gegen die Ukraine und neue Ausbrüche von Covid-19 in China haben diesen Optimismus jedoch zunichte gemacht. Seit Beginn der Pandemie ist der Preis für ein IC um etwa 15 % gestiegen. Die Lieferzeiten könnten jetzt sogar länger als Mitte 2021 sein, als die Knappheit am größten war.

Wirkt sich das auf die Nachfrage in der Elektronikindustrie aus? Nein. Autonomes und elektrisches Fahren, 5G, Gaming, Edge Processing: All dies führt zu mehr Wachstum als das globale BIP selbst.

(Quellen: Nikkei Asia, Qualitel, The Business Research Company)

### Vor Covid-19 und nach Beginn des Krieges



# Transparente Elektronik: wirklich eine andere Perspektive

Auch wenn es sich noch nicht um einen großen Markt handelt, hat transparente Elektronik doch einiges zu bieten. Zum Beispiel ermöglicht es die transparente Elektronik, Solarzellen in gewöhnliche Fenster zu integrieren, wodurch jedes Fenster zu einem potenziellen Stromerzeuger wird, der viel effizienter arbeitet als die derzeitigen Solarzellen. Und dann gibt es noch diese andere großartige Aussicht für transparente Elektronik. Ein Autofahrer oder Pilot kann die Geschwindigkeit verfolgen und gleichzeitig die Straße oder die Wolken im Auge behalten. Transparente Elektronik ist ebenso vielversprechend wie drahtloses Laden oder 5G. Wie bei diesen beiden Technologien ist das Wachstum dieser neuen Entwicklung zweistellig: 21,19 %, von 1,25 Mrd. USD im Jahr 2022 auf 4,07 Mrd. USD im Jahr 2027.

Globaler Markt für transparente Elektronik, in Mrd. USD 2022-2027



(Quelle: Research and Markets)

## Medianeinkommen deutscher IT-Beschäftigter, 2022 in Euro



## Gehälter schießen durch die Decke? Nicht so sehr!

Angesichts der Kapazitätsprobleme in der Halbleiterindustrie liegt es auf der Hand, dass die Gehälter in der IC-Industrie zwangsläufig nach oben gehen müssen. Und das ist in der Tat der Trend. Aber die Durchschnittseinkommen der Beschäftigten in der Halbleiterindustrie haben sich nicht verdoppelt - viele Lieferzeiten hingegen schon. Der Grund für diese Zurückhaltung hat mit den unsicheren Zeiten zu tun, in denen wir uns angesichts der Unterbrechungen der Lieferkette in den letzten beiden

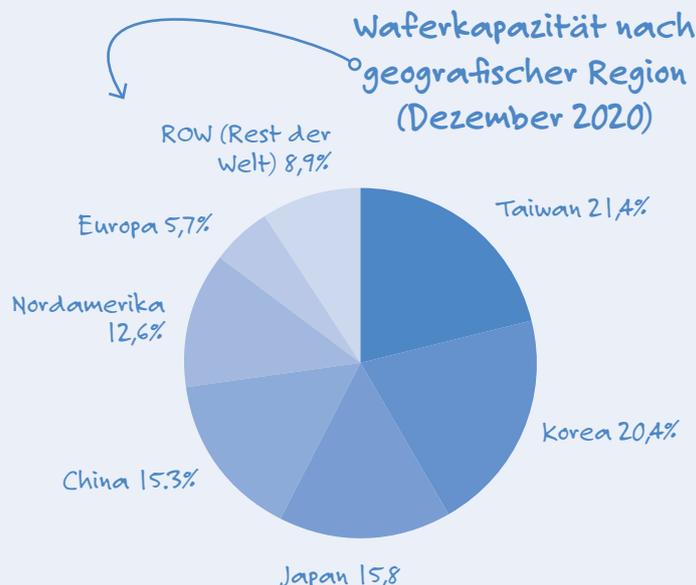
Jahren befinden. Lieber leicht den Sturm überstehen als mit schwerem Schiff zu kentern! Dies scheint die Einstellung der deutschen IT-Beschäftigten zu sein, wie eine Untersuchung von StepStone und Interconsult zeigt. Laut StepStone könnten die Gehälter in diesem Jahr um 3 % bis 4 % steigen, also etwas mehr als der 10-Jahres-Durchschnitt von 2 % bis 3 %.

(Quellen: Interconsult, StepStone)

## Russland: Halbleiter sind kein Druckmittel

Russland mag dem Westen mit Lieferkürzungen für Gas und Öl drohen, aber dieselbe Strategie wird nicht funktionieren, wenn es um Halbleiter geht. Der Grund ist einfach: Die Produktionskapazität für ICs in der Russischen Föderation ist vernachlässigbar gering. Werfen Sie einen Blick auf das eher kleine Stückchen „ROW“ (Rest der Welt) im Kuchendiagramm. Hier finden Sie die gesamte Waferkapazität von Ländern wie Singapur, Israel, Malaysia, Australien, Belarus und ... Russland. Warum ist Russland dann immer noch eine Macht, mit der man rechnen muss? Das Land ist ein wichtiger Lieferant von Neon, Argon und Helium, Edelgasen, die für die Herstellung von ICs benötigt werden. Obwohl sich westliche Unternehmen bereits anderweitig eingedeckt haben, ist eine Preiserhöhung um das Fünffache bei neuen Verträgen nicht unüblich.

(Quellen: Aroged, Financial Times, IC Insights)



# Was wollen wir mit all dieser Rechenleistung machen?

Von Zach Shelby (Mitbegründer und Geschäftsführer von Edge Impulse)

Zach Shelby, Mitbegründer von Edge Impulse, spricht mit Simon Segars, dem ehemaligen Geschäftsführer von Arm, darüber, wie Acorn-Computer dazu beigetragen haben, uns in eine dezentrale Welt des maschinellen Lernens zu führen.

Daten und Edge Computing treiben dank brandneuer Innovationen im Bereich des Edge Computing neue Innovationen für die echte Industrie voran. Ich habe mich kürzlich mit Simon Segars getroffen, um all die erstaunlichen Dinge zu besprechen, die in dieser Branche passieren (**Bild 1**). Simon ist ein Technologie-Visionär, er war langjähriger Geschäftsführer bei Arm, Vorstandsmitglied in globalen Unternehmen wie Vodafone und sitzt seit kurzem im Vorstand in meinem Unternehmen Edge Impulse. Er war an der Entwicklung eines Großteils der im *Computer History Museum* ausgestellten Technik beteiligt, was es zu einem passenden Ort für unser Gespräch macht.

Dies ist ein Auszug aus einem längeren Gespräch, dessen vollständige Fassung Sie bei [youtube.com/edgeimpulse](https://www.youtube.com/edgeimpulse) (in englischer Sprache) anhören können.

**Zach:** Genau hier hinter uns steht der BBC Micro, neben vielem anderem erstaunlichem Computer-Equipment. Erzähle uns ein wenig über den Weg vom BBC Micro und den Acorn-Computern zu Arm.

**Simon:** Diese Computer haben viel Spaß gemacht und in meinem Leben sicherlich eine Rolle gespielt, als ich anfing, mich für Computer und Technik und alles andere zu interessieren. Der BBC Micro war ein wichtiger Bestandteil davon. Die BBC wollte die britische Gesellschaft über Computer aufklären und gab daher die Entwicklung dieses Computers in Auftrag. Das Team von Acorn setzte sich zusammen und baute es. Es ist eine faszinierende Geschichte, wie ein Haufen wirklich intelligenter Leute zusammenkommt und etwas baut. Es kam zwar alles erst auf den letzten Drücker zusammen, aber es wurde ein unglaublicher Computer. Das Team von Acorn wollte dann einen fortschrittlicheren Mikroprozessor für die nächste Generation von Computern. Da es keinen finden konnte, dachte es: „Wie schwer kann das schon sein? Lasst uns einen Mikroprozessor bauen.“ Und das führte zum Arm1 (**Bild 2**). Ein bahnbrechendes Design, sehr klein, sehr stromsparend und auch sehr effizient in der Nutzung des Speichers. Das war dann die CPU, die in die Archimedes-Reihe der Acorn-Computer eingebaut wurde. Als ich an der Universität war, habe ich damit herumgespielt und dachte: „Wow, das Ding ist unglaublich schnell.“ Ich wusste nicht, dass parallel dazu bei Acorn eine Menge Dinge passierten. Das Unternehmen konnte sich ein Forschungs- und Entwicklungsteam, das Mikroprozessoren baute, nicht mehr leisten, also suchten sie einen Partner. Apple kam hinzu, weil die Firma einen Mikroprozessor für den Apple Newton brauchte. Sie

taten sich zusammen und beschlossen, das Joint Venture Arm zu gründen, das aus Acorn ausgegliedert wurde. Ich kam ein paar Monate danach als 16. Mitarbeiter dazu. Seitdem war es ein fantastischer Weg: Wir haben diese Prozessoren immer energieeffizienter und leistungsstärker gemacht, und inzwischen gibt es Milliarden und Abermilliarden von ihnen auf der Welt.

**Zach:** Wie hat diese Reise der Mikrocontrollerentwicklung eine neue Welle des maschinellen Lernens im Edge Computing ermöglicht?

**Simon:** Als die Leute anfangen, den Begriff *Internet der Dinge* zu verwenden, ging es darum, einen Sensor mit dem Netzwerk zu verbinden und die Daten an einem anderen Ort zu verarbeiten. Und ziemlich schnell hieß es dann: „Okay, Sicherheit ist wichtig“, denn bei Milliarden von Geräten muss man sich darum kümmern, dass sie sicher sind. Dafür brauchen wir mehr Leistung. Sollte man einen Kryptographie-Beschleuniger in den Chip einbauen? Aber wie viel Silizium kann man sich überhaupt leisten? Glücklicherweise wird die Siliziumverarbeitung immer besser und besser und besser, und irgendwann kommt man an den Punkt, an dem die Leistung dieses winzigen Bauteils ausreicht. Wenn man anfängt, einen Teil der Verarbeitung am weit entfernten Endpunkt des Netzes zu erledigen, kann man darüber nachdenken, wie viele Daten man tatsächlich übertragen muss. Wenn man das auf ein Minimum reduziert, steigt auch die Energieeffizienz.

Wir haben diese Fortschritte bei den zugrunde liegenden technologischen Fähigkeiten gesehen, indem wir uns Entwicklungen zu eigen gemacht haben, die irgendwo anders in der Cloud geschehen sind. Die Menschen können den ganzen Tag lang experimentieren. Das ist sehr, sehr kostengünstig. Plötzlich kommt alles zusammen und man sagt: „OK, ich kann jetzt so viel mehr ‚on the edge‘ machen. Also lass mich das auch machen.“

**Zach:** Ich erinnere mich, wie mein Edge-Impulse-Mitbegründer Jan Jongbloom und ich bei einem Bier zusammensaßen und sagten: „Was machen wir mit all dieser Computerkapazität? Das ist wie bei einer Party. Was sollen wir mit all dem Bier machen? Es gibt einfach so viel Computing. Die traditionellen Anwendungen wie Kryptografie für das Internet der Dinge, Datenverarbeitung und DSP sind noch nicht einmal die Spitze des Eisbergs dessen, was möglich ist. So kamen wir auf die Idee: „Warum nehmen wir nicht diese Toolkits für maschinelles Lernen aus der Cloud und wenden sie auf Mikrocontroller und Mikroprozessoren an?“ Und



Bild 1. Zach Shelby (links) und Simon Segars.  
(Foto: Mike Senese [1])

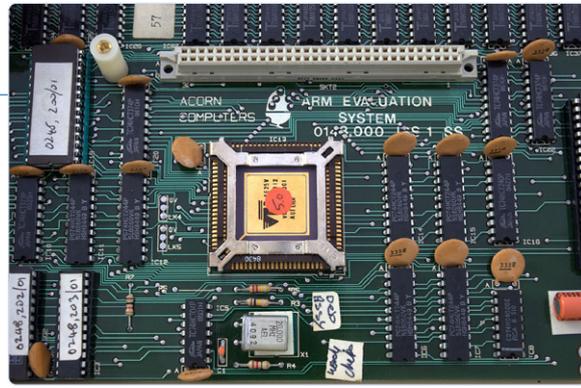


Bild 2. Arm1 (Foto von Peter Howkins, CC BY-SA 3.0 [2][3])

das war der Startschuss für eine Menge wirklich interessanter Arbeiten rund um das maschinelle Lernen.

**Simon:** Ich glaube, einer der Momente auf dieser Reise war die Erkenntnis, dass man mit diesen Technologien, mit maschinellem Lernen und Sensorik und all dem mehr Dinge tun kann. Plötzlich hat man diesen Sensor und diesen Hochleistungsprozessor und kann von überall anfragen: „Wie warm ist der Raum? Sollen wir ihn abkühlen? Ist jemand im Raum? Warum schalten wir die Heizung nicht aus?“ Und die Leute fangen einfach an, über diese neuen Anwendungsfälle nachzudenken, was sie zu der Frage führt: „Wie programmiere ich das auf diesem winzigen Mikrocontroller, der so gut wie nichts kostet? Ich brauche dafür eine bessere Programmierumgebung.“

Und das ist das Problem, das Edge Impulse wirklich löst. Wie kann man die Produktivität steigern, wenn jemand eine Anwendung „on the edge“ entwickeln und dabei die ganze Rechenleistung und das ganze Lernen in der Cloud nutzen will? Wie kann ich das jetzt auf den kleinsten Controller übertragen? Denn die zugrundeliegende Mathematik ist ziemlich abschreckend. Aber wenn ich nur eine Anwendung zum Leben erwecken will, muss ich mir darüber keine Gedanken machen. Ich möchte, dass meine Produktivität gesteigert wird, damit ich diese großartige Technologie nutzen kann.

**Zach:** Wo siehst du interessante Möglichkeiten für maschinelles Lernen in Unternehmen?

**Simon:** Im Grunde genommen geht es darum, Erkenntnisse zu gewinnen, Daten zu sammeln und sie zu analysieren. Aber man möchte daraus verwertbare Erkenntnisse gewinnen, zum Beispiel: Wie gut habe ich letzte Nacht geschlafen? Wie ist mein allgemeiner Gesundheitszustand? Darin steckt eine Menge Innovation. Was kann ich feststellen, wenn ich die Oberfläche meiner Haut untersuche? Stehe ich kurz davor, einen Anfall zu bekommen? Ich habe eine Anwendung dafür gesehen, und ich glaube, in diesem Bereich sollten wir wirklich interessante Forschung betreiben. Es geht darum, diese Daten zu nutzen und die Technologie für etwas zu verwenden, das umsetzbar ist, etwas, das wirklich einen Nutzen bringt, und zwar in so gut wie jedem Bereich, in jeder Branche. Wird meine Maschine ausfallen? Kann ich erkennen, warum sie ausfällt, und rechtzeitig ein Ersatzteil bestellen, so dass bei der Wartung die richtige Ausrüstung und das richtige Werkzeug zur Verfügung stehen und die Maschine für nur sehr kurze Zeit außer

Betrieb genommen werden muss? Es gibt so viel Geld, das gespart werden könnte, und so viel mehr Effizienz, die geschaffen werden kann. Ich sehe unendlich viele Möglichkeiten, echte Erkenntnisse zu gewinnen, einen echten Mehrwert zu schaffen, die Effizienz zu steigern und einfach mehr zu lernen, mehr Einblicke in die Welt zu bekommen, die neue Geschäftsmöglichkeiten schaffen und die Welt einfach viel effizienter machen.

**Zach:** Welche Ratschläge sollten wir den Führungskräften in der Industrie geben, damit sie die Technologie in ihrem Unternehmen zum Guten einsetzen?

**Simon:** Was wir bei Arm gesehen haben, war die enorme Wirkung unserer Arbeit. Als ich in das Unternehmen eintrat, war der Geschäftsführer die einzige Person, die ein Mobiltelefon besaß, und jetzt haben Milliarden von Menschen eins. Es hat Verbindungen ermöglicht, den Menschen Zugang zu Informationen gewährt, die sie vorher nicht haben konnten. Und es hat dazu beigetragen, die Lebensqualität und -quantität in der ganzen Welt zu erhöhen. Und das ist eine erstaunliche Leistung! Einen Code zu schreiben, der eine solche Wirkung hat, ist wirklich phänomenal. Und das Gefühl, dass das, was wir tun, etwas bewirkt. Deshalb wollen wir die Leute ermutigen, sich an einigen dieser großartigen Projekte zu beteiligen, bei denen Menschen diese Sensoren verwenden und zum Beispiel herausfinden können, wo sich gefährdete Tierarten aufhalten. Ich habe gesehen, wie Nashörner mit Tags versehen und ihre Lebensräume geografisch erfasst wurden, um die Gewohnheiten dieser Tiere zu verfolgen. Wir sehen, wie Technologie eingesetzt wird, um den Lärm von illegalem Holzeinschlag im Regenwald zu erfassen und diesen letztendlich zu schützen. Die Menschen haben all diese großartigen Ideen, und wenn wir sie dazu befähigen, Erfindungen zu machen und etwas zu schaffen, dann ist das sehr, sehr wirkungsvoll.

Die Unternehmen werden immer mehr dazu angehalten, eine positive Rolle in der Welt zu spielen. In der Wirtschaft geht es nicht nur darum, Geld für die Aktionäre zu verdienen. Sie sollten besser etwas Gutes für die Welt tun. Die Technologie kann bei der Bewältigung der größten Probleme der Welt eine wichtige Rolle spielen. ◀

220544-02

Erfahren Sie mehr über Edge Impulse auf: [edgeimpulse.com!](https://edgeimpulse.com)

## WEBLINKS

[1] Quelle des Fotos: <https://photos.app.goo.gl/3D34o4itFwnUT4vQ8>

[2] Lizenz CC BY-SA 3.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>

[3] Wikipedia Quelle: [https://en.wikipedia.org/wiki/ARM\\_architecture\\_family#/media/File:Acorn-ARM-Evaluation-System.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_architecture_family#/media/File:Acorn-ARM-Evaluation-System.jpg)

# Ansteuerung des E-Paper-Displays von Ynvisible

## Ein Beitrag von Ynvisible

Dieser Artikel beschreibt die Ansteuerung und die elektrische Integration der gedruckten E-Paper-Displays von Ynvisible. Er stellt sowohl die Hardware als auch die Firmware vor, die für den erfolgreichen Betrieb dieser Displays erforderlich sind.

Die gedruckten E-Paper-Displays von Ynvisible sind extrem stromsparend (**Bild 1**) [1]. Die empfohlene Ansteuerspannung beträgt  $\pm 1,5$  V, und ein Quadratcentimeter aktive Anzeigefläche benötigt etwa 1 mJ zur Aktivierung. Dies entspricht etwa  $1...2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  für ein ständig eingeschaltetes Display.

Die Displays werden im Rollen-Siebdruck- und Laminierungsverfahren hergestellt. Sie sind ungiftig, frei von Indiumzinnoxid (ITO) und bestehen hauptsächlich aus PET-Kunststoff. Das Kunststoffsubstrat ermöglicht im Rollendruck die Produktion dünner, flexibler, skalierbarer und äußerst kostengünstiger Displays. Legen Sie also los mit dem E-Paper-Display-Kit von Ynvisible [2]!

## Hintergrund

Die Displays von Ynvisible sind sehr einfach zu bedienen. Schon dies ist eines der Hauptunterscheidungsmerkmale zu anderen E-Paper-Technologien. Die GPIOs der meisten Mikrocontroller können die Ynvisible-Displays mit Hilfe nur weniger zusätzlicher Bauteile ansteuern. Legen Sie eine positive Spannung an das Anzeigesegment an, um es einzuschalten und legen Sie eine

negative Spannung an, um es auszuschalten. Die Spannung muss nur angelegt werden, wenn das Display schaltet oder aktualisiert wird. Je nach Anwendungsfall und Systemvoraussetzungen gibt es verschiedene Optionen, auf die wir im Folgenden eingehen werden.

## Fakten im Überblick

- Die Ansteuerung der Displays muss zwar an das endgültige Display-Design und den Anwendungsfall angepasst werden, aber die grundlegenden Prinzipien sind für alle Ynvisible-Displays gleich.

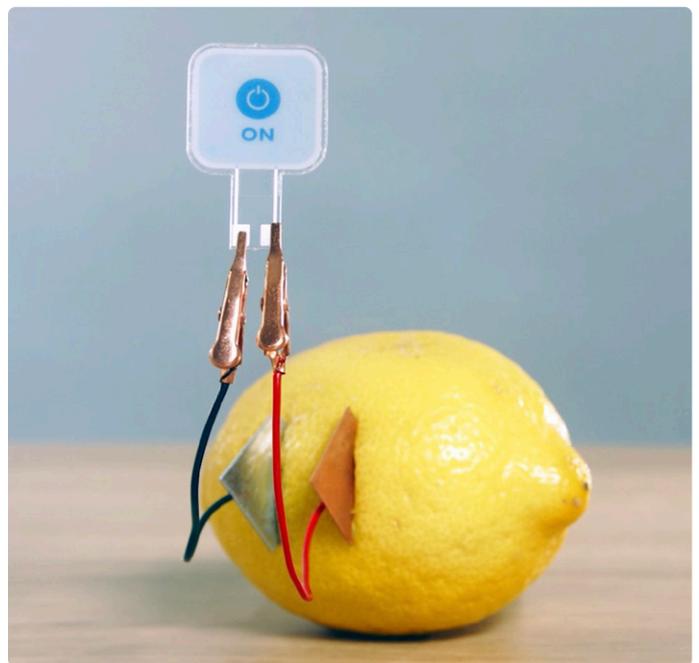


Bild 1. Die gedruckten E-Paper-Displays von Ynvisible sind extrem stromsparend.

- Die Displays werden direkt angesteuert, eine Elektrode pro Segment, plus eine gemeinsame Elektrode.
- Eine positive Spannung, bezogen auf die gemeinsame Elektrode, schaltet das Anzeigesegment ein.
- Eine negative Spannung (oder eine Verbindung von aktiver und gemeinsamen Elektrode) schaltet das Segment aus.
- Eine höhere Spannung ermöglicht eine schnellere Schaltgeschwindigkeit, während eine niedrigere Spannung eine längere Lebensdauer verspricht.
- Um einen guten Kompromiss zwischen Schaltgeschwindigkeit und langer Lebensdauer zu erzielen, empfiehlt sich eine Spannung von typisch  $\pm 1,5$  V über dem Segment.
- Wenn die Schaltgeschwindigkeit keine Rolle spielt, ist es ratsam, die Spannung auf ihr Minimum zu beschränken: Nur 1,2 V reichen für den vollen Kontrast aus, und es ist möglich, die gemeinsame und die Arbeitselektrode kurzzuschließen ( $\approx 0$  V), um das Segment auszuschalten.

### Treiber und Ressourcen

Ynvisible stellt einen Display-Treiber [3] zusammen mit Anleitungen und einer Bibliothek [4] für Rapid Prototyping und Demonstrationen zur Verfügung. Weitere Informationen, einschließlich elektrischer und Timing-Eigenschaften, finden Sie im Datenblatt [5]. Ynvisible bietet auch einen 16-poligen Adapter [6] für eine bequeme Verbindung des Folienanschlusses an eine Platine (flex-to-pin-integration) an.

### Schaltungsvorschläge

Es gibt viele Möglichkeiten, das E-Paper-Display von Ynvisible in eine Schaltung zu integrieren. In der Regel sind keine oder nur sehr wenige zusätzliche Bauteile erforderlich. Alle Vorschläge basieren auf einem Mikrocontroller mit IOs, die in den hochimpedanten (High-Z-) Modus versetzt werden können. Fast alle Controller bieten diese Möglichkeit.

### Schaltung 1 (Spannungsregler-Schaltung)

Ein Tiefpassfilter und ein Operationsverstärker erzeugen eine variable virtuelle Masse an der gemeinsamen Elektrode (siehe **Bild 2** und **Tabelle 1**). Durch Anpassung der Frequenz des PWM-Signals kann die Spannung auf die gewünschte Steuerspannung eingestellt werden. Auf diese Weise kann die richtige Spannung an die Segmente angelegt werden, unabhängig von der Betriebsspannung des Controllers. Im High-Z-Zustand erhalten die IOs das Bild zwischen den Aktualisierungen..

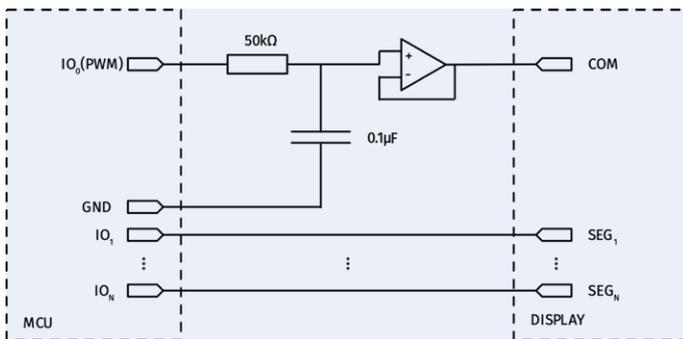


Bild 2. Ein Tiefpassfilter und ein Operationsverstärker werden verwendet, um eine variable virtuelle Masse an der gemeinsamen Elektrode zu erzeugen.

Tabelle 1. Spezifikationen der Komponenten für Schaltung 1.

Bauteil	Beispiel	Wert Einheit	Anmerkung
Widerstand		50 kΩ	Je nach PWM-Frequenz und erforderlicher Reaktionszeit können unterschiedliche Widerstandswerte verwendet werden.
Kondensator		0,1 µF	Je nach PWM-Frequenz und erforderlicher Reaktionszeit können verschiedene Kondensatorwerte verwendet werden.
Operationsverstärker	Texas Instruments TLV9001SIDBVR		Sorgt für ein stabiles COM-Potential bei verschiedenen Lasten.

### Schaltung 2 (DAC-Ausgang an gemeinsamer Elektrode)

Wenn der Mikrocontroller über einen eingebauten DAC verfügt, kann dieser die virtuelle Masse für die gemeinsame Elektrode erzeugen (**Bild 3**). Der DAC ersetzt die externen Bauteile aus Schaltung 1. Auch hier gilt, dass die IOs im High-Z-Zustand das Bild zwischen den Aktualisierungen erhalten.

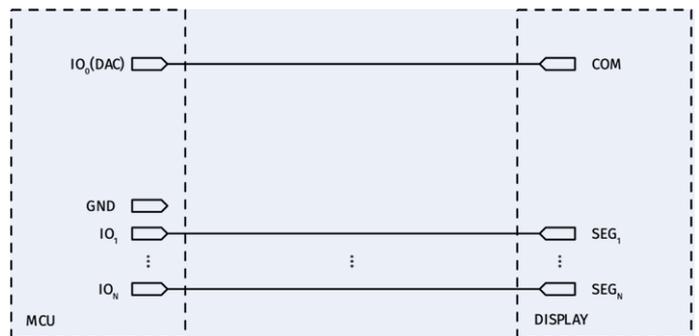


Bild 3. Der DAC ersetzt die externen Bauteile in Schaltung 1.

### Schaltung 3 (2-stufige variable gemeinsame Elektrode)

R1 und R2 bilden einen Spannungsteiler (siehe **Bild 4** und **Tabelle 2**). Durch Einstellen von IO0 auf HIGH und IO1 auf LOW wird ein erster Spannungspegel an der gemeinsamen Elektrode erreicht. Eine zweite Spannung wird erreicht, indem IO0 auf LOW und IO1 auf HIGH gesetzt wird. Die IOs im High-Z-Zustand erhalten das Bild zwischen den Aktualisierungen.

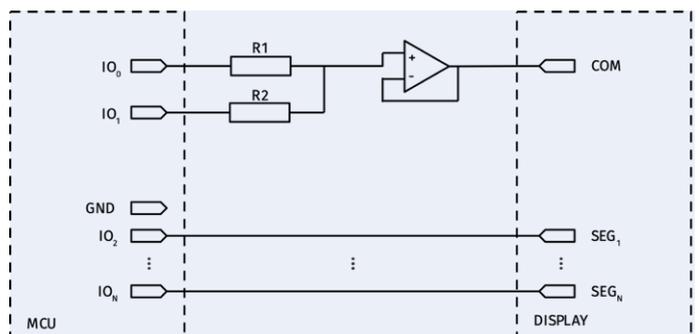


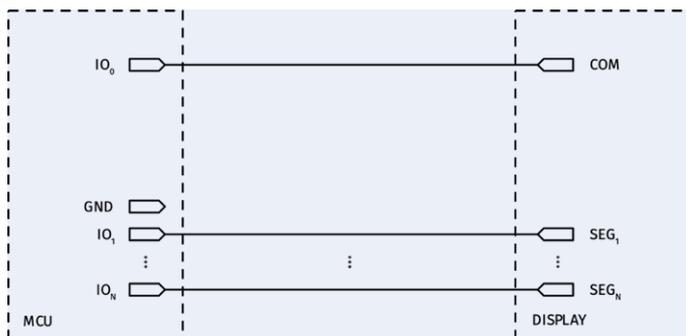
Bild 4. R1 und R2 bilden einen Spannungsteiler.

**Tabelle 2. Vorschläge für Widerstände für verschiedene Versorgungsspannungen, um  $\pm 1,5$  V bei verschiedenen Spannungspegeln zu erreichen.**

Versorgungsspannung	R1	R2	Anmerkung
1,8 V	30 k $\Omega$	6 k $\Omega$	Die Widerstände sollten so gewählt werden, dass ein Spannungsteiler mit einer Offsetspannung von 1,5 V entsteht. Andere Widerstandspaare sind möglich, allerdings führt ein kleinerer Widerstandswert zu einer höheren Leckage.
3 V	30 k $\Omega$	30 k $\Omega$	
3,3 V	30 k $\Omega$	36 k $\Omega$	
5 V	30 k $\Omega$	70 k $\Omega$	

#### Schaltung 4 (Digitale Ausgänge)

Bei diesem Ansatz sind gar keine externen Bauteile erforderlich (**Bild 5**). Die Spannung wird auf die Versorgungsspannung des verwendeten Controllers begrenzt. Die ideale Betriebsspannung für die Anzeige beträgt  $\pm 1,5$  V. Betriebsspannungen von 1,8 V und höher können auch in Betracht gezogen werden, wenn die Anforderungen an die Lebensdauer eine untergeordnete Rolle spielen. Das Hinzufügen eines Widerstands zwischen IO<sub>0</sub> und COM kann die Lebensdauer ebenfalls verlängern.



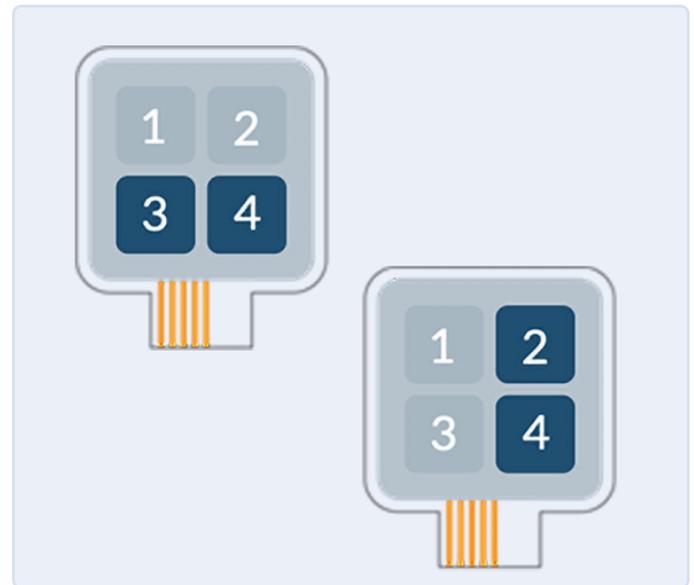
**Bild 5.** Bei diesem Ansatz werden keine externen Bauteile benötigt. Die Spannung wird auf die Versorgungsspannung der verwendeten MCU begrenzt.

#### Ansteuerschaltungen für E-Paper von Yvisible

Nachfolgend finden Sie einige Vorschläge für verschiedene Ansteuerschaltungen (siehe **Bild 6** und **Tabelle 3**), die wie angegeben kompatibel mit den oben beschriebenen Schaltungsvorschlägen sind.

**Table 3. Bezeichnungen und Definitionen der Elektroden in den folgenden Ansteuerschaltungen.**

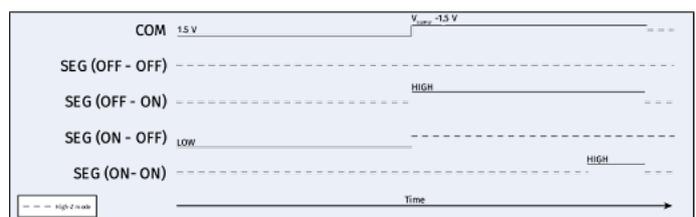
Bezeichnung	Segmentnummer im Bild	Definition
COM	-	Gemeinsame Elektrode
SEG (OFF - OFF)	1	Segmente, die im OFF-Status gehalten werden sollen
SEG (OFF - ON)	2	Segmente, die in den ON-Status geschaltet werden sollen
SEG (ON - OFF)	3	Segmente, die in den OFF-Status geschaltet werden sollen
SEG (ON - ON)	4	Segmente, die in den ON-Status gehalten werden sollen



**Bild 6.** Links: vor der Aktualisierung. Rechts: nach der Aktualisierung.

#### Ansteuerschaltung A (kompatibel mit den Schaltungen 1...3)

Bei dieser Ansteuerschaltung wird die Anzeige in zwei Schritten aktualisiert (**Bild 7**). Zunächst werden einige Segmente ausgeschaltet, indem die gemeinsame Elektrode auf 1,5 V und die entsprechenden Segmentelektroden auf LOW/0V gesetzt werden (was zu -1,5 V über den Segmenten führt). Im zweiten Schritt werden einige Segmente auf ON geschaltet, indem die Spannung der gemeinsamen Elektrode auf VSUPPLY - 1,5 V und die entsprechenden Segmentelektroden auf HIGH/VSUPPLY gesetzt werden (was zu +1,5 V über den Segmenten führt). Für die Segmente, die im ON-Zustand gehalten werden sollen, ist ein kürzerer Auffrischungsimpuls erforderlich. Die Sequenz endet mit dem Setzen aller Signale auf High-Z, um den aktuellen Zustand zu erhalten.



**Bild 7.** Diese Ansteuerschaltung aktualisiert die Anzeige in zwei Schritten.

#### Ansteuerschaltung B (kompatibel mit den Schaltungen 1...4)

Bei dieser Ansteuerschaltung wird die Anzeige wie zuvor in zwei Schritten aktualisiert, jedoch ohne eine variable Spannung der gemeinsamen Elektrode (**Bild 8**). Zunächst werden Segmente ausgeschaltet, indem die gemeinsame Elektrode auf HIGH und die entsprechenden Segmentelektroden auf LOW/0V gesetzt werden (was zu -VSUPPLY über den Segmenten führt). Dann werden Segmente eingeschaltet, indem die Spannung der gemeinsamen Elektrode auf LOW und die entsprechenden Segmentelektroden auf HIGH gesetzt werden (was zu +VSUPPLY über den Segmenten führt). Für die Segmente, die im ON-Zustand gehalten werden sollen, ist ein kürzerer Auffrischungsimpuls erforderlich. Die Sequenz endet mit dem Setzen aller Signale auf High-Z, um den aktuellen Zustand zu erhalten. Diese Option ist vorzuziehen, wenn

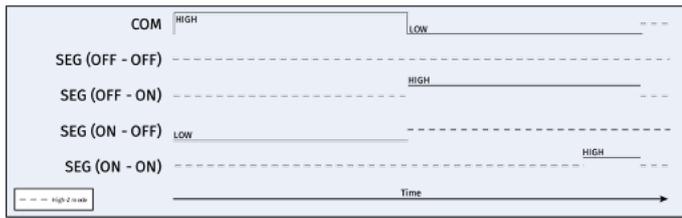


Bild 8. Diese Ansteuerschaltung aktualisiert die Anzeige in zwei Schritten, wie Ansteuerschaltung A, jedoch ohne eine variable Spannung an der gemeinsamen Elektrode.

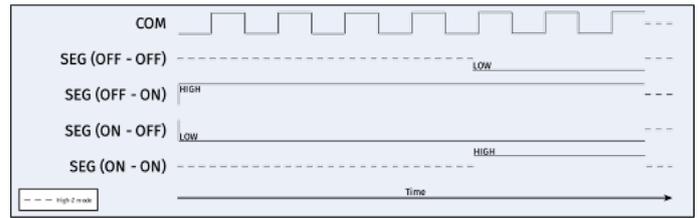


Bild 10. Bei dieser Ansteuerschaltung wird die Anzeige in einem Schritt aktualisiert. Die Anzeige wird durch Anlegen eines PWM-Signals an die gemeinsame Elektrode aktiviert.

das System mit einer niedrigen Spannung betrieben wird oder wenn die Anforderungen an die Lebensdauer nur gering sind.

### Ansteuerschaltung C (kompatibel mit den Schaltungen 1...3, wenn $|VON| + |VOFF| = VSUPPLY$ )

Bei dieser Ansteuerschaltung wird die Anzeige in einem einzigen Schritt aktualisiert (Bild 9). Die Segmente werden gleichzeitig ein- und ausgeschaltet. Dies wird ermöglicht, indem die gemeinsame Elektrode auf eine Spannung zwischen LOW und HIGH eingestellt wird, typischerweise  $\pm 1,5$  V bei einem 3-V-System oder beispielsweise auch  $\pm 1$  V für ein 2-V-System. Auf diese Weise kann gleichzeitig eine positive und eine negative Spannung an die jeweiligen Segmente angelegt werden. Bei den Segmenten, die im ON-Zustand gehalten werden sollen, ist ein kürzerer Auffrischungsimpuls erforderlich. Die Sequenz endet mit dem Setzen aller IOs auf High-Z, um den Zustand zu erhalten.

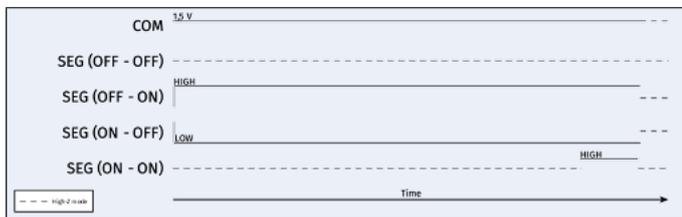


Bild 9. Bei dieser Ansteuerschaltung wird die Anzeige in einem einzigen Schritt aktualisiert.

### Ansteuerschaltung D (kompatibel mit den Schaltung 4)

Auch diese Ansteuerschaltung aktualisiert die Anzeige in einem Schritt (Bild 10), genau wie Ansteuerung C. Die Anzeige wird durch Anlegen eines PWM-Signals an die gemeinsame Elektrode aktiviert, um eine virtuelle Masse zwischen LOW und HIGH zu simulieren. Bei vielen Controllern verursacht dieser Ansatz allerdings erhebliche Leckagen, was zu einem deutlich höheren Energiebedarf führt als Ansteuerung C. Die Sequenz endet mit dem Setzen aller Signale auf High-Z, um den Zustand zu erhalten.

### Ansteuerschaltung E (kompatibel mit den Schaltung 4)

Dieses Ansteuerung aktualisiert die Anzeige ebenfalls in einem einzigen Schritt, jedoch mit dem Unterschied, dass die Abschaltspannung 0 V beträgt (Bild 11). Das Ausschalten der Segmente mit 0 V ist wesentlich langsamer als das Anlegen bei einer negativen Spannung (von zum Beispiel -1,5 V). Deshalb dauert es länger, bis das Segment, das ausgeschaltet werden soll, umschaltet, als bei den Segmenten, die eingeschaltet werden sollen. Für die Segmente, die im ON-Zustand gehalten werden sollen, ist ein kürzerer Auffrischungsimpuls erforderlich. Die Sequenz endet mit dem Setzen aller Signale auf High-Z, um den Zustand zu erhalten. Mit dieser Ansteuerungsmethode kann die gemeinsame Elektrode direkt mit der festen Masse verbunden werden.

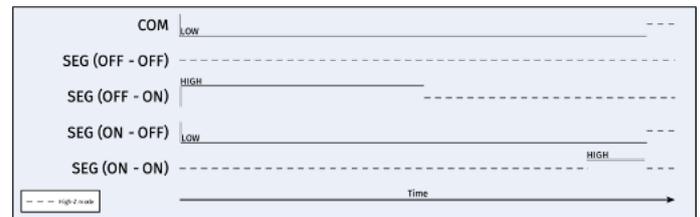


Bild 11. Diese Ansteuerschaltung aktualisiert die Anzeige in einem einzigen Schritt, jedoch mit dem Unterschied, dass die Abschaltspannung 0 V beträgt.

### Fazit

Die Integration und Ansteuerung der E-Paper-Displays von Ynvisible ist im Vergleich zu anderen Display-Technologien relativ einfach. Möchten Sie mit den Displays experimentieren, besuchen Sie den Ynvisible-Store [7], um unsere verfügbare Hardware kennenzulernen. Und zögern Sie nicht, sales@ynvisible.com zu kontaktieren, wenn Sie irgendwelche Fragen haben! 

220411-02

### WEBLINKS

- [1] Beispiele für den Energiebedarf: [www.ynvisible.com/segment-displays#Energy](http://www.ynvisible.com/segment-displays#Energy)
- [2] E-Paper-Display-Kit: [www.ynvisible.com/product/e-paper-display-kit](http://www.ynvisible.com/product/e-paper-display-kit)
- [3] Display-Treiber: [www.ynvisible.com/product/e-paper-display-driver](http://www.ynvisible.com/product/e-paper-display-driver)
- [4] Anleitungen und Bibliothek: [www.ynvisible.com/getting-started#driver](http://www.ynvisible.com/getting-started#driver)
- [5] Datenblatt: [www.ynvisible.com/datasheet](http://www.ynvisible.com/datasheet)
- [6] 16-Pin-Adapter: [www.ynvisible.com/product/adapter](http://www.ynvisible.com/product/adapter)
- [7] Ynvisible-Store: [www.ynvisible.com/shop](http://www.ynvisible.com/shop)

# Immer innovativ mit InnoFaith

## F&A mit Walter Arkesteijn

Von Alina Neacsu (Elektor)

InnoFaith ist nicht nur ein großartiges Beispiel für ein erfolgreiches Unternehmen, sondern beweist auch, dass „Innovation“ nicht nur in Start-ups stattfindet. Das Unternehmen bemüht sich bewusst darum, den Charakter eines Startups zu bewahren und betont die Bedeutung von Innovation sogar im Firmennamen. Wie bereits in früheren Artikeln beschrieben, sind Teamarbeit und Kreativität wichtige Bestandteile des Unternehmens, und diese Fähigkeiten werden auf allen Ebenen umfassend und regelmäßig eingesetzt. Wie kam es zu dieser Entwicklung, wenn man bedenkt, dass InnoFaith vor nicht allzu langer Zeit noch ein Startup war?

Als Beispiel für Teamarbeit und Kreativität in der Belegschaft mag das „Look and Feel“ der App zur Steuerung des Hauptprodukts von InnoFaith, des Hautanalysators Observ 520x [1] dienen, die von praktisch allen Mitarbeitern des Unternehmens aktiv mitgestaltet wurde. Wie Walter Arkesteijn betont, sollte letztendlich jeder in der Lage sein, das Produkt ohne große Schwierigkeiten zu benutzen!

**Alina Neacsu:** Im vorherigen Interview [2] wurde erwähnt, dass Sie „InnoFaith Beauty Sciences [3] aus unternehmerischem Ehrgeiz heraus gegründet haben.“ An welchem Punkt auf Ihrem Weg haben sich Ingenieurwesen und Unternehmertum zum ersten Mal überschritten? Standen Sie vor irgendwelchen Herausforderungen?

**Walter Arkesteijn:** Ich habe viele Jahre lang in den Ferien gearbeitet, was mich nicht befriedigt hat, weil ich davon träumte, etwas zu kreieren. So kreuzten sich die Pfade von Ingenieurwesen und Unternehmertum zum ersten Mal, als mein Bruder zu mir kam und mich fragte, ob ich ein Problem lösen könnte, auf das er bei seinem Nebenjob gestoßen war. Die Pizzeria, in der er arbeitete, hatte die Idee, einen Ofen in den Lieferwagen einzubauen, um die Pizzen während der Auslieferung warm zu halten, aber sie wussten nicht, wie sie diese Idee in die Realität umsetzen sollten. Während dieses Projekts stieß ich auf eine Reihe von Herausforderungen. Dabei ist es meiner Meinung nach wichtig, immer daran zu denken, dass man sich am besten naiv gibt, wenn man anfängt, etwas zu entwerfen. Man kann es andererseits auch sehr unterschätzen. Man glaubt,



Walter Arkesteijn (InnoFaith Beauty Sciences)

dass man ein Projekt schaffen kann, ohne genau zu wissen, worauf man sich einlässt. Der Wunsch, etwas Schönes zu schaffen, stimmt nicht immer mit der Planung und Budgetierung überein. Man lernt, die Dinge zu überprüfen, denn Rückschläge gehören zum Prozess dazu. Dieses erste Projekt hat mein Interesse am Unternehmertum geweckt. Ich stand vor der Herausforderung, dass ich nicht genau wusste, worauf ich mich einlasse, aber wenn die Idee schließlich funktioniert und man etwas geschaffen hat, wovon man vorher nur träumen konnte, ist man sehr zufrieden.

**Alina:** Angenommen, Sie stünden vor der Wahl, InnoFaith erneut zu gründen. Was glauben Sie, würde sich jetzt ändern? Ist das Erfolgsrezept das gleiche wie vor 25 Jahren?

Das wichtigste Produkt von InnoFaith, der „Observ 520x“.



**Walter:** Ich glaube schon, dass das Erfolgsrezept seit 25 Jahren gleich geblieben ist und würde nicht viel ändern wollen. Wenn ich davor stünde, InnoFaith Beauty Sciences neu zu gründen, würde ich mich mit dem heutigen Wissen dafür entscheiden, den Teil der Betriebsführung früher in Angriff zu nehmen. Für mich persönlich fühlt sich ein Projekt abgeschlossen an, wenn es funktioniert, und ich möchte mich am liebsten auf neue Innovationen konzentrieren. Dadurch verpasst man kommerzielle Möglichkeiten. Meine größte Motivation ist aber nicht kommerzieller Natur, sondern organisches Wachstum, da wir innerhalb von InnoFaith Beauty Sciences immer größere Herausforderungen angegangen sind. Innerhalb des Unternehmens wurde nun Raum geschaffen, um bereits in der Entwicklung befindliche Projekte weiter zu nutzen, während ich mich auf Innovationen konzentrieren kann.

**Alina:** In Ihrer Arbeit kommen Elektronik, Hautpflege und unternehmerische Fähigkeiten zusammen. Ich gehe davon aus, dass Ihr „Prozess, in dem Fantasie mit Hilfe von Technik Realität wird“, einige Innovatoren in der Elektor-Community dazu inspirieren kann, verschiedene Disziplinen einschließlich der Elektronik einzusetzen. Ist die **electronica fast forward, the start-up platform powered by Elektor** [4], eine einzigartige Gelegenheit, ihre Ideen und Technologien zu präsentieren?

**Walter:** Ich denke auf jeden Fall, dass es eine einzigartige Gelegenheit für Start-ups ist, sich dem Markt über die „electronica Fast Forward“-Plattform zu präsentieren. Es ist sehr wichtig für neue Initiativen, die technischen Entwicklungen zu verstehen. Die Startup-Plattform bietet die Möglichkeit, sich zu präsentieren. Ein Technologieunternehmen weiß genau, wie sein Produkt funktioniert, aber es ist sehr wichtig zu klären, welche Bedeutung diese Innovation für den Nutzer hat. Die Brücke ist wichtig, um den Wert einer technischen Entwicklung deutlich zu machen. Egal wie schön die Technologie ist, wenn sie nicht verstanden wird, wird sie nicht geschätzt.

**Alina:** Was halten Sie von der Einstellung der jüngeren Generationen? Haben Sie einen Rat für Neuankömmlinge?

**Walter:** Eine große Veränderung im Vergleich zu vor 25 Jahren ist, dass der Zugang „zur Welt“ sehr einfach geworden ist. Das hat den Vorteil, dass man Initiativen in kleinem Rahmen starten kann. Andererseits ist die enorme Menge an Informationen ein Nachteil, und es ist schwieriger, sich zu entscheiden. Die Frage ist also, wie man sich in einem überfüllten und leicht zugänglichen Markt bemerkbar machen und Gehör finden kann. Mein Rat ist, sich Partner zu suchen, die Zugang zu diesem Markt haben. Wenn man von der Technik kommt, muss man sich selbst in dieser Hinsicht



Der Observ 520x aus Patientensicht. Die Themen Optik und Elektronik verschmelzen hier sehr schön.

noch viel Wissen aneignen, was eine langsame Entwicklung zur Folge hat. Suchen Sie sich daher starke Partner, die sich auch um andere Aspekte wie Vertrieb, Marketing und Verkauf kümmern. Ich möchte noch hinzufügen, dass Rückschläge genau der richtige Weg sind, um wieder an die Spitze zu kommen, und dass sie eine gute Motivation sind, weiterzumachen.

**Alina:** Wir danken Ihnen für das Gespräch und hoffen, bald mehr von Ihnen und Ihrem Unternehmen zu lesen und zu hören.

Im Mai 2022 traf Elektor zum ersten Mal Walter Arkesteijn und besuchte InnoFaith in Eindhoven, Niederlande, um zu erfahren, wie die High-End-Geräte zur Hautanalyse entstehen. Weitere Informationen finden Sie in den früheren Artikeln: *Inspiration, was wirklich wichtig ist: Fragen und Antworten mit Walter Arkesteijn von InnoFaith*, und *Mit intelligenter Software Hardware minimieren: Die Technik von InnoFaith unter der Lupe* [5]. Außerdem können Sie InnoFaith in einem Video auf dem Elektor-Youtube-Kanal [6] besuchen. ◀

220257-C-02

## Arbeiten bei InnoFaith

Technologie im Herzen der ästhetischen Medizin und der professionellen Beauty-Industrie, erzeugt von einem kleinen, aber starken Team von 31 Personen, die seit Jahren bei InnoFaith arbeiten. Das zeigt, dass InnoFaith gekommen ist, um zu bleiben. InnoFaith Beauty Sciences teilt die Einstellung zu innovativem Design und der Herstellung von hochmodernen Hightech-Scannern und bildgebenden Diagnosegeräten. Werfen Sie einen Blick auf die Stellenangebote unter [www.innofaith.com](http://www.innofaith.com).

## WEBLINKS

[1] Observ 520x: <https://sylton.com/products/observ-520x/>

[2] Fragen und Antworten mit Walter Arkesteijn: [www.elektormagazine.de/news/inspiration-was-wirklich-wichtig-ist-leserinterview](http://www.elektormagazine.de/news/inspiration-was-wirklich-wichtig-ist-leserinterview)

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

[4] electronica fast forward: [www.elektormagazine.de/effwd-2022](http://www.elektormagazine.de/effwd-2022)

[5] Ein Besuch im InnoFaith-Labor:

[www.elektormagazine.de/news/mit-intelligenter-software-hardware-minimieren-die-technik-von-innofaith-unter-der-lupe](http://www.elektormagazine.de/news/mit-intelligenter-software-hardware-minimieren-die-technik-von-innofaith-unter-der-lupe)

[6] Video-Besuch auf Youtube: [https://youtu.be/cAL17ZI\\_UvQ](https://youtu.be/cAL17ZI_UvQ)

# Industrielle Automatisierung

## Einfache und skalierbare IoT-Nachrüstungen

Quelle: pressmaster

Ein Beitrag von Würth Elektronik

Industrielle Fertigungsanlagen in einem über Jahre gewachsenen Maschinenpark sind oft fein abgestimmt und hoch optimiert. Mit IoT-Retrofitting kann die Produktion aufgerüstet und digitalisiert werden, wie eine Zusammenarbeit zwischen Würth Elektronik, FEGA & Schmitt und IAV zeigt.

Die neueste und fortschrittlichste Technologie gilt immer als überlegen. Manchmal ist es jedoch besser, bewährte oder sogar veraltete Technologien weiter zu verwenden - auch wenn ältere Anlagen zuweilen ihre Probleme mit sich bringen, beispielsweise hinsichtlich ihrer Effizienz, uneinheitlicher Qualität, teurer Wartung und manueller Arbeit.

Der Ersatz älterer Produktionsanlagen ist für Unternehmen mit einer Reihe von Überlegungen verbunden. So ist es nicht ungewöhnlich, dass in älteren Anlagen Investitionen in Millionenhöhe und jahrelange Planungen stecken. Folglich ist der Ansatz einer Nachrüstung kosteneffektiver.

Produktionsumgebungen lassen sich durch die Einführung intelligenter Automatisierung erheblich verbessern. Bestehende Anlagen können durch eine Steigerung des Automatisierungsgrads sogar an Wert gewinnen. Da ältere Maschinen oft bereits abgeschrieben sind, sind die wirtschaftlichen Auswirkungen einer höheren Produktivität ohne größere Neuinvestitionen besonders vorteilhaft für die Wettbewerbsfähigkeit. Damit die Modernisierung erfolgreich ist, müssen die automatisierten Maschinen die Betriebsdaten genau aufzeichnen und auswerten. Darüber hinaus ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Schlussfolgerungen, die aus diesen Bewertungen gezogen werden, auf andere Produktionsstandorte

übertragen werden können.

Die Schwierigkeit bei älteren Maschinen besteht darin, dass uns in der Regel das Wissen fehlt, um die richtigen Fragen zu stellen. Wie lässt sich dieses Problem lösen? Hier ist die Nachrüstung von Maschinen die beste Strategie.

Nachrüstung ist der Prozess der Aktualisierung oder des Hinzufügens neuer Funktionen zu bestehenden Anlagen unter Verwendung einer IoT-Lösung auf nicht-invasive Weise. Durch die Digitalisierung einer Maschine kann die Produktion detaillierter und effizienter untersucht und optimiert werden.

### Proof of Concept in Partnerschaft

Würth Elektronik ist ein Befürworter des Open-Source-Konzepts und hat zusammen mit FEGA & Schmitt und IAV ein Proof-of-Concept für die Überwachung industrieller Schneidemaschinen realisiert (**Bild 1**). FEGA & Schmitt konzipierte dieses Projekt, Würth Elektronik lieferte die Konnektivität und die Sensorkomponenten und stellte zusammen mit IAV die Cloud-Infrastrukturlösung bereit (**Bild 2**). IAV kümmerte sich zudem um die Datenanalyse und die vollständige Systemintegration.

Ziel war es, ein einfach zu installierendes Produkt für Kunden von FEGA zu entwickeln, um industrielle Schneidemaschinen

zu überwachen, die Auslastung anhand von Strommessungen zu ermitteln und mögliche Probleme mit den Schneidwerkzeugen zu erkennen, bevor sie auftreten.

Manchmal kann eine bestimmte Kombination von Werkzeugbewegungen dazu führen, dass Werkzeuge brechen. Durch die Identifizierung dieser Bewegungsabläufe kann eine Fehlervorhersage getroffen werden, so dass es infolgedessen zu deutlich weniger Produktionsausfällen kommt. Eine Strommessung ermöglicht zusätzlich die Bestimmung der Maschinenauslastung und vereinfacht den Planungsprozess.

Während des Proof of Concepts war bei der Installation strikt vorgegeben, weder die Infrastruktur des Kunden zu beeinträchtigen noch Prozessausfälle zu verursachen.

Der Kunde erhält von der fertigen Lösung umfassende Informationen zur Anlagenverfügbarkeit. Durch den Einsatz von Sensoren und KI-gestützter Datenauswertung wird die vorausschauende Wartung ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal der FEGA & Schmitt-Produkte.

### Prototyping mit FeatherWing-Modulen

FeatherWings ist eine Serie von stapelbaren Prototyping-Boards mit unterschiedlichen Funktionen. Würth Elektronik hat eine Reihe solcher Entwicklungsplatinen im Angebot – Open Source und vollständig kompatibel mit dem Feather-Formfaktor. Dazu gehören Sensor Wings, WE Pro-Ware Wireless-Konnektivität, WiFi und verschiedene Stromversorgungen. Es gibt ein GitHub-Repository [1] für alle Open-Source-Boards, einschließlich ihrer Schaltpläne, BoMs, Software und Cloud-Konnektivitätsbeschreibungen für Azure und AWS.

### Erfassung von Beschleunigung

Sensor-FeatherWings (**Bild 3**) werden verwendet, um die initialen Datenpunkte zu erzeugen. Da die Bewegung der Messerhand Beschleunigungsmomente erzeugt, ist die Verwendung eines Beschleunigungssensors ein guter Ausgangspunkt für die Überwachung von Bewegungen.

Der WE Sensor FeatherWing ist ein Entwicklungs-Board mit vier Sensoren. Zusätzlich zum Adafruit Feather-Formfaktor ist es auch mit Sparkfun's QWIIC-connect kompatibel, das eine Standard-I<sup>2</sup>C-Schnittstelle bietet, die auch mit STEMMA QT und Grove/Gravity zusammenarbeitet. Dies bietet schier endlose Möglichkeiten im Prototyping.

All das macht es einfach, verschiedene Sensoren und Geräte verschiedener Hersteller ohne großen Verkabelungsaufwand aneinanderzukoppeln und schnell Prototypen zu entwickeln.

### Konnektivität LTE-M/NB-IoT

Die Verbindungen zwischen Knoten und zum Gateway werden auf unterschiedliche Weise hergestellt. Die Gateway/Cloud-Konnektivität kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Unter Verwendung eines industriellen Raspberry Pi mit LTE-Konnektivität werden während der Modellerstellungsphase große Datenmengen zur Spektralanalyse an die Cloud gesendet. Nach der Erstellung des Modells wird die Konnektivität auf das Adrastea-I LTE-M/NB-IoT-Modul von Würth Elektronik [2] umgestellt. Dies reduziert den Netzwerkverkehr und damit auch die Kosten erheblich. Beide Methoden wurden in cloud-basierten Produktionsumgebungen getestet.



Bild 1. Industrieschneider von FEGA & Schmitt mit Überwachung. (Quelle: Würth Elektronik eiSos)

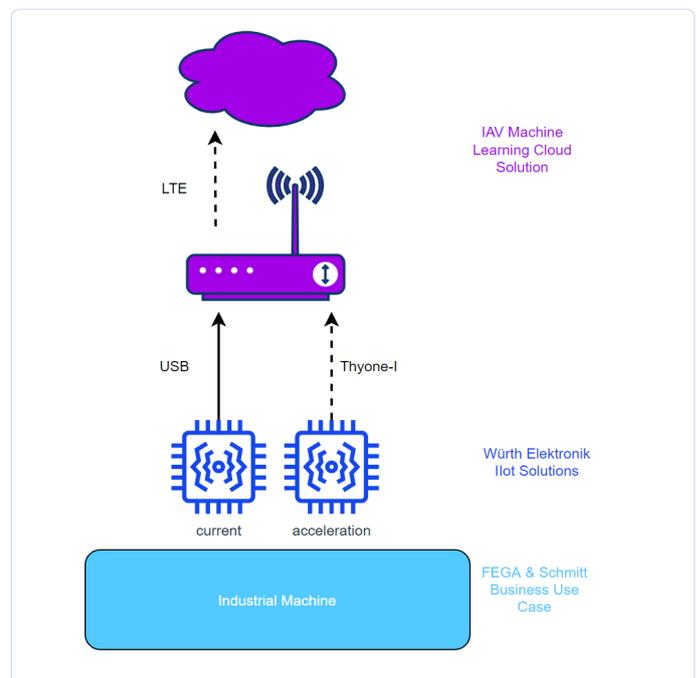


Bild 2. Das Konzept des IoT-Retrofittings und die Rollen der Partnerunternehmen. (Quelle: IAV)



Bild 3. WE-Sensor FeatherWing. (Quelle: Würth Elektronik eiSos)

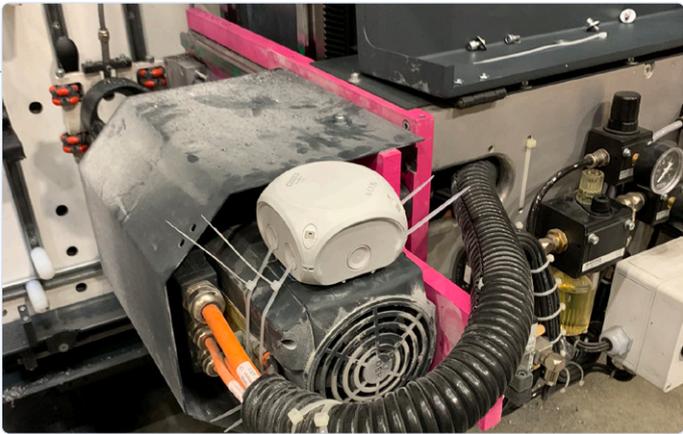


Bild 4. Schwingungsmessung mit einem Beschleunigungssensor. (Quelle: Würth Elektronik eiSos)

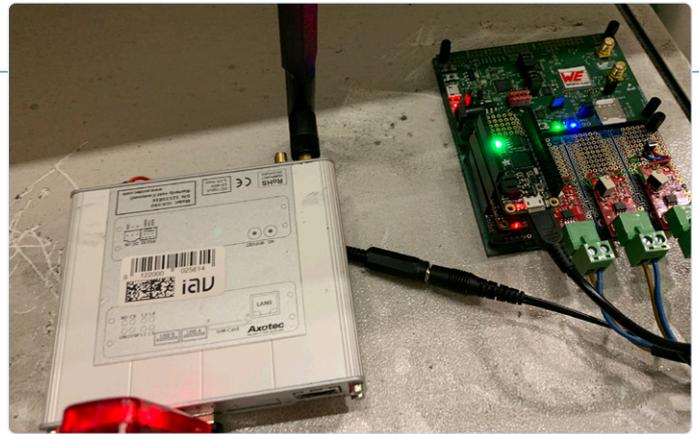


Bild 5. Strommessung mit einem Hall-Effekt-Sensor. (Quelle: Würth Elektronik eiSos)

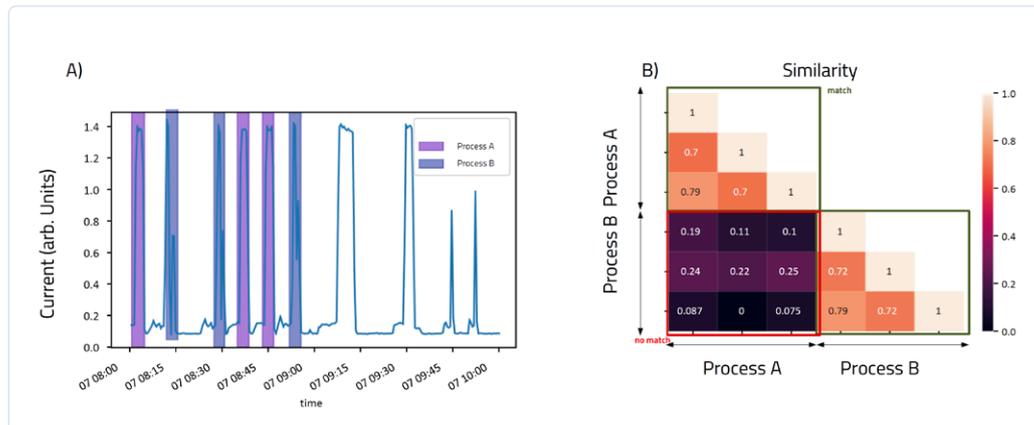


Bild 6. Datenanalyse zur Erkennung von Mustern mit Maschinellem Lernen. (Source: IAV)

Der Knoten ist über ein Gateway mit der Cloud verbunden, das das proprietäre 2,4-GHz-Funkmodul Thyone-I Wireless [3] verwendet. Die Sicherheit sollte hier nicht unterschätzt werden, daher verwendet das Gateway zur Cloud-Verbindung das TLS-Protokoll, und der Knoten nutzt einen ähnlichen Ansatz mit dem Secure Element ATECC608A-TNGTLS von Microchip Technologies auf der einen Seite und dem Cloud-Schlüsseltresor auf der anderen Seite. Die gesamte Verbindung zwischen allen Kommunikationsteilnehmern – Knoten, Gateways und der Cloud – ist geschützt und verschlüsselt.

## Die Implementierung im Detail

### Vibrationsmessung

Für die Auswahl eines geeigneten Beschleunigungssensors ist ein klares Verständnis der Anwendung und ihrer Messaufgaben unerlässlich. In diesem Fall wurde ein 3-Achsen-Beschleunigungs-MEMS-Sensor verwendet, um die Bewegungen des Messerarms zu erfassen. Die Vorteile der MEMS-Sensoren in Bezug auf Größe, Kosten und Zuverlässigkeit nutzen zu können, steht schon

länger auf der Wunschliste von Entwicklern, und mit dem WSEN-ITDS-3-Achsen-Beschleunigungssensor (Bild 4) können die Vorteile nun voll ausgeschöpft werden.

### Strommessung

Strommessungen dürfen nicht-invasiv sein, da die überwachten Geräte nicht beeinträchtigt werden dürfen. Die Lösung sollte einfach auf jede ähnliche Maschine

anwendbar sein. Zu diesem Zweck wurden der WAGO Split-Core-Stromwandler 855-4101/400-001 und das SparkFun ACS723 Hall-Effekt-Sensor-Breakout verwendet (Bild 5). Der Vorteil eines Hall-Effekt-Sensors besteht darin, dass die Schaltung, die den Sensor abtastet, und die Schaltung, die den Sensor ausliest, elektrisch voneinander isoliert sind. Daher kann die Schaltung, die den Sensor abtastet, mit höheren Gleich- oder Wechselspannungen arbeiten als die Hauptplatine.

### Konnektivitätslösungen

Zum Proof of Concept wurden zwei Versionen der Konnektivitätslösungen verwendet. Version eins der Konnektivität, die in der ersten Phase der Datenerfassung verwendet wurde, war ein mit dem Raspberry Pi kompatibles Industrial-IoT-Gateway. Ein Linux-basiertes System wurde verwendet, um C-Code zu generieren und die Datenerfassung und -übertragung zu optimieren, da eine große Menge an Daten erforderlich ist, um das Maschinenverhalten zu validieren. Für die Cloud wurde ein Dashboard für die Echtzeitüberwachung der Daten mit Node-Red

## WEBLINKS

- [1] GitHub Repository: <https://github.com/WurthElektronik/FeatherWings>
- [2] Adrastea-I LTE-M / NB-IoT Cellular Modul von Würth Elektronik : [www.we-online.com/katalog/de/ADRASTEIA-I](http://www.we-online.com/katalog/de/ADRASTEIA-I)
- [3] Funkmodul Thyone-I Wireless FeatherWing: [www.we-online.com/katalog/de/THYONE-I\\_FEATHERWING\\_2](http://www.we-online.com/katalog/de/THYONE-I_FEATHERWING_2)
- [4] Adafruits Awesome Feather auf GitHub : <https://github.com/adafruit/awesome-feather>

und Grafana erstellt. Darüber hinaus wurden die Zeitstromdaten analysiert, um mit Maschinellern Trends und Muster zu erkennen. Ähnliche Prozessmuster werden automatisch erkannt und gekennzeichnet (**Bild 6**). Die restlichen Muster werden als unbekannt markiert. Diese Daten dienen als Grundlage für Prozessstatistiken, die für verschiedene Anwendungsfälle wie Prozessüberwachung, Qualitätssicherung und vorausschauende Wartung genutzt werden können.

### Test in einer realen Umgebung

Während des Praxistests traten zahlreiche Herausforderungen auf: Datenverluste aufgrund der Entfernung und der verschiedenen Störquellen in der Fertigungshalle, ständige Bewegung der gestapelten Platinen und der Stromversorgung oder deren Fehlen. Die Beschleunigungssensoren wurden am Messerarm montiert, ohne dass eine Stromquelle in der Nähe war. Dieses Hindernis wurde mit Hilfe eines LiPo-Akkus überwunden. Trotz des geringen Standby-Stromverbrauchs erschöpfte die ständige Datenübertragung in der Anfangsphase den Akku. Täglich wurden große Mengen an Informationen übertragen, was dazu führte, dass die Batterie alle zwei bis drei Tage leer war. Die Lösung war die Verwendung eines Solarpanels zum Aufladen der Batterie. Zu diesem Zweck wurde eine Open-Source-Lösung von Adafruit verwendet.

Das zweite Problem war die Platzierung der Sensoren und Funkmodule. Der Sensor muss sich auf dem Werkzeuggriff befinden, der ein bewegliches Teil ist. An der Maschine sind alle beweglichen Teile durch Metallgehäuse geschützt, die wie Faradaysche Käfige wirken. Obwohl die integrierte Antenne klein und effizient ist, war sie unbrauchbar. Dies wurde durch die Anbringung einer externen Antenne an der Außenseite des Gehäuses behoben.

Der Stromsensor besteht aus Split-Core-Stromwandlern und Hall-Effekt-Sensoren für jede Phase. Die Kombination von zwei Sensoren erforderte eine Kalibrierung, die von Würth Elektronik durchgeführt wurde.

### Schnelleres Prototyping

Die Erstellung eines Proof of Concept mit Open-Source-Komponenten kann die Prototyping-Zeit drastisch reduzieren. Die Kombination bereits vorhandener Platinen mit Standard-Pinning und Sensoren mit Standardanschlüssen erleichtert das Testen und Experimentieren mit dem Aufbau.

Durch das Prototyping des Proof-of-Concept in zwei Stufen konnte in der ersten Stufe ein effektives Modell erstellt werden, das dann in der zweiten Stufe implementiert wurde. In der zweiten Phase werden lokale Modelle auf dem Mikrocontroller implementiert und nur das absolute Minimum an Daten gesendet. Die erforderlichen Daten werden über das Adrastea-I-Mobilfunkmodul an die Cloud gesendet.

Würth Elektronik bietet kostenlose SDKs im Arduino-Stil für verschiedene Prozessoren an und vertreibt FeatherWings-Platinen. Diese Boards können mit Daten (PCB und BoM) von Würth Elektronik oder Adafruits Awesome Feather auf GitHub [4] leicht angepasst werden.

Dieser Anwendungsfall hat gezeigt, dass die Verwendung von Open-Source-Standards für das Prototyping Flexibilität bietet, was zu einer enormen Implementierungsgeschwindigkeit führt. ◀

220531-02

## Über die Autoren



**Miroslav Adamov** studierte Physik und Informatik an der Universität von Belgrad, Serbien. Danach setzte er seine wissenschaftliche Arbeit an der TU-Berlin, dem WIAS Berlin, der FAU Erlangen/Nürnberg und dem Center of Private Equity Research in München fort. Nach einigen Jahren im Bereich Quantitative Finance wechselte er 2015 als Senior Business Analyst zu Würth Elektronik.

Im Jahr 2017 übernahm er die Position des Senior IoT Solution Architect mit einem Schwerpunkt auf der Konzeption und Implementierung von Industrial IoT Lösungen.



**Adithya Madanahalli** schloss sein Studium der Nachrichtentechnik an der Technischen Universität München mit einem MSc. ab. Danach arbeitete er mehrere Jahre als Software-Ingenieur im Bereich drahtlose Konnektivität und Sensoren. Seit 2022 ist Adithya Madanahalli als IoT-Ingenieur bei Würth Elektronik eiSos im Geschäftsbereich Wireless Connectivity and Sensors tätig.

Dort ist er spezialisiert auf das Design und die Entwicklung von IoT-Lösungen mit den Schwerpunkten Hardware, Embedded Software und End-to-End-Sicherheit.



**Dr. Jan Gieseler** erwarb den Grad eines Dipl.-Phys. an der Universität Karlsruhe, Deutschland, und eines MPhys. in Optoelektronik und Laser an der Heriot Watt University, Schottland, gefolgt von einem PhD in Photonik vom ICFO in Barcelona, Spanien. Danach arbeitete er als Postdoktorand in der Grundlagenforschung an der ETH Zürich, der Harvard University und dem ICFO. Im Jahr

2020 wechselte Jan zum DigitalLab der IAV in Berlin. Dort arbeitet er als Data Scientist mit den Schwerpunkten Data Engineering, Zeitreihenanalyse und IIoT & Smart Sensor Solutions.



**Bernd Grimm** ist Diplom-Betriebswirt und Diplom-Informatiker. Seit seinem Berufseinstieg im Elektrogroßhandel im Jahr 2008 hat er mit seinen Teams zahlreiche Projekte mit starkem Fokus auf dem Kundenservice bearbeitet. Seit 2019 ist er als Branchen- und Objektleiter für das Projektmanagement bei Fega & Schmitt tätig. In dieser Funktion arbeitet er mit seinem Team an dem Projekt „Be-

Linked“, das das Thema „Servicevertrieb gepaart mit Digitalisierung & KI“ bei Fega & Schmitt etablieren soll.



**Eduard Richter** absolvierte eine Ausbildung zum staatlich geprüften Elektrotechniker und Bachelor of Business Administration. Seit 2017 ist er im Elektrogroßhandel als technischer Key Account Manager tätig. Seine Aufgabe ist es, die Dienstleistungen von FEGA & Schmitt bei bestehenden und neuen Kunden zu positionieren. Mit seinem Vertriebs-Know-how ist er an der Entwicklung und

Verbesserung der Dienstleistungen beteiligt.

# Das Oszilloskop der nächsten Generation für schnellere Einblicke

Besuchen Sie Rohde & Schwarz auf der electronica 2022 in Halle A3.307!

Rohde & Schwarz präsentiert die R&S MXO 4 Serie

Ein Beitrag von Rohde & Schwarz

Rohde & Schwarz erweitert sein Oszilloskop-Portfolio um eine komplett neue Serie, die mit einer ganzen Reihe von Branchenneuheiten aufwartet. Das neue R&S MXO 4 Oszilloskop verfügt über die weltweit höchste Echtzeit-Aktualisierungsrate von über 4,5 Millionen Messkurven pro Sekunde. So können Entwicklungsingenieure mehr Signaldetails sehen und mehr seltene Ereignisse erfassen als mit jedem anderen Oszilloskop. Dank 12-bit-A/D-Wandler liefert die R&S MXO 4 Serie die 16-fache Auflösung im Vergleich zu herkömmlichen 8-bit-Oszilloskopen und ermöglicht hochgenaue Messungen selbst bei den höchsten Abtastraten. Mit einem Erfassungsspeicher von 400 MPunkten pro Kanal gleichzeitig für alle vier Kanäle bietet das Oszilloskop standardmäßig die bis zu hundertfache Speichertiefe vergleichbarer Geräte.

Rohde & Schwarz präsentiert mit der R&S MXO 4 Serie das erste Oszilloskop der nächsten Generation (**Bild 1**). Die R&S MXO 4 Serie umfasst Vierkanal-Modelle mit Bandbreiten von 200 MHz, 350 MHz, 500 MHz, 1 GHz und 1,5 GHz. Mit einem Grundpreis ab 7.600 Euro und einer Reihe von einzigartigen Funktionen zeichnet sich das neue Gerät sowohl durch höchste Performance als auch durch ein hervorragendes Preis-Leistungs-Verhältnis aus. Rohde & Schwarz zeigt das neue R&S MXO 4 Oszilloskop auf der electronica 2022 in München in Halle A3.307 vom 15. bis 18. November 2022.

## Schnelle Einblicke in Signaldetails

Die R&S MXO 4 Oszilloskope bieten die weltweit höchste Aktualisierungsrate von 4,5 Millionen Messkurven pro Sekunde. Damit stellen sie das Signalverhalten umfassender dar als jedes andere Oszilloskop auf dem Markt (**Bild 2**). Entwicklungsteams können seltene Ereignisse so schneller erkennen und isolieren, erhalten ein besseres Verständnis von Signalen auf der Bitübertragungsschicht und sparen wertvolle Zeit beim Testen. Ermöglicht wird diese in der Branche unerreichte Performance durch einen einzigartigen 200-Gbit/s-ASIC für die Signalverarbeitung – einer von mehreren neuen Technologiebausteinen, die von den Ingenieuren von Rohde & Schwarz entwickelt und erstmals in der R&S MXO 4 Serie implementiert wurden (**Bild 3**). Dr. Andreas Werner, Vice President Oscilloscopes bei Rohde & Schwarz, erklärt: „Mit den neuen Hardware- und Software-Technologiebausteinen und der neuen Architektur ist unserem Entwicklungsteam ein entscheidender technologischer Durch-

bruch gelungen. Unsere Kunden werden Performance auf einem völlig neuen Niveau erleben, und das zu einem bisher konkurrenzlosen Preis.“

## Geringeres Messrauschen und höchste vertikale Auflösung

Die R&S MXO 4 Serie verfügt über einen 12-bit-A/D-Wandler mit wesentlich höherer vertikaler Auflösung, die durchgehend selbst bei den höchsten Abtastraten zur Verfügung steht. Eine Architektur mit 18 bit vertikaler Auflösung ermöglicht zusätzlich eine Auflösungsgenauigkeit, die in der Industrie unerreicht ist. Darüber hinaus bietet das R&S MXO 4 das in dieser Klasse geringste Rauschen und den größten Offsetbereich von  $\pm 5$  V mit einer Skalierung von 500  $\mu$ V/Div. Anwender können Gleichstrom- und andere Signale damit genauer analysieren als mit jedem anderen Oszilloskop auf dem Markt.

## Tiefster Speicher bereits in der Standardkonfiguration

Neben Bandbreite und Abtastrate ist die Speichertiefe der wichtigste Parameter, von dem abhängt, wie vielseitig sich ein Oszilloskop für die Fehlersuche einsetzen lässt. Ein Oszilloskop mit großem Erfassungsspeicher kann Signale über einen längeren Zeitraum aufzeichnen und ermöglicht die Nutzung der vollen Bandbreite auch bei langsameren Zeitbasiseinstellungen. Mit einem Erfassungsspeicher von 400 MPunkten pro Kanal für alle vier Kanäle gleichzeitig bietet die R&S MXO 4 Serie standardmäßig die bis zu hundertfache Speichertiefe im Vergleich



Bild 1. Das R&S MXO 4 von Rohde & Schwarz: das Oszilloskop der nächsten Generation.

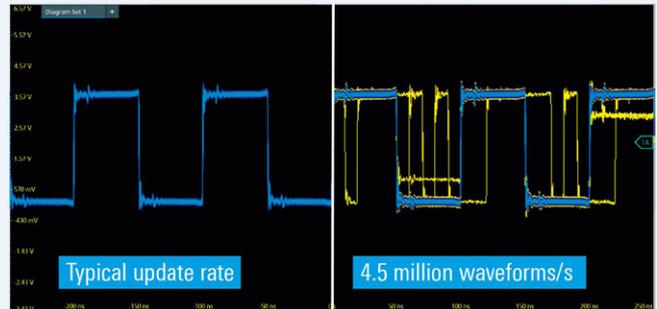


Bild 2. Das R&S MXO 4 Oszilloskop bietet eine Aktualisierungsrate von über 4,5 Millionen Messkurven/s, mit der sich auch seltene Ereignisse aufspüren lassen.



Bild 3. Rohde & Schwarz hat einen intern entwickelten 200-Gbit/s-ASIC für die Signalverarbeitung in das neue R&S MXO 4 integriert.

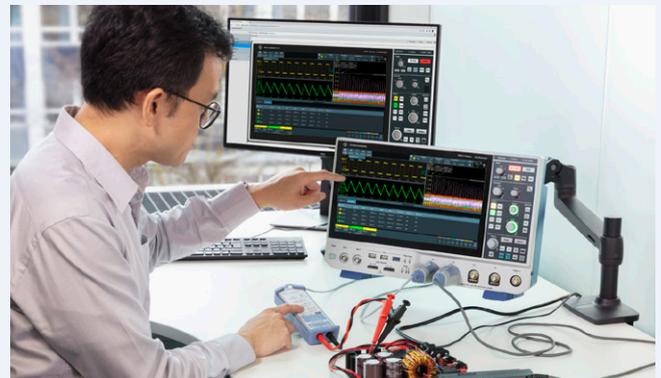


Bild 4. Dank VESA-Montageschnittstelle fügen sich die R&S MXO 4 Oszilloskope ideal in verschiedenste Arbeitsplätze ein.

zu direkten Wettbewerbern. Der höhere Speicher sorgt bei Bedarf auch für zusätzliche Messkapazitäten.

### Hochgenauer digitaler Trigger

Der digitale Trigger, mit dem alle Oszilloskope der R&S MXO 4 Serie standardmäßig ausgestattet sind, war in der Vergangenheit leistungsstärkeren, teureren Oszilloskopen vorbehalten. Mit einer Trigger-Empfindlichkeit von 1/10.000 einer vertikalen Unterteilung können auch schwer aufspürbare kleine Anomalien auf der Bitübertragungsschicht in Gegenwart stärkerer Signale isoliert werden. Kein vergleichbares Oszilloskop auf dem Markt verfügt über eine derart hohe Empfindlichkeit zur Triggerung auf kleinste Signale. Der digitale Trigger ergänzt die vertikale 18-bit-Architektur perfekt und ermöglicht Anwendern, die volle Messgenauigkeit der R&S MXO 4 Serie zu nutzen.

### Überlegene HF-Mess-Performance

In der Produktentwicklung müssen Ingenieure Tests und Fehleranalysen häufig sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich durchführen. Neben Zeitbereichsmessungen bieten die Oszilloskope der R&S MXO 4 Serie eine hervorragende HF-Performance für Spektrummessungen. Als erste Oszilloskope überhaupt führen sie 45.000 schnelle Fourier-Transformationen (FFT) pro Sekunde durch – vergleichbare Oszilloskope schaffen weniger als 10 FFT pro Sekunde. Diese Fähigkeit ist bereits im Grundgerät enthalten und sorgt für eine bessere Darstellung von HF-Signalen als mit jedem anderen Oszilloskop dieser Klasse.

### Höherer Bedienkomfort

Bei der Nutzung eines Oszilloskops spielt das visuelle Erlebnis eine bedeutende Rolle, da der Anwender seine Aufmerksamkeit häufig der Bildschirmanzeige widmen muss. Die R&S MXO 4 Serie punktet hier mit einem kapazitiven 13,3-Zoll-Full-HD-Touch-Display und einer intuitiven Bedienoberfläche. Durch ihre geringe Stellfläche, das flüsterleise, kaum noch hörbare Betriebsgeräusch, eine VESA-Montageschnittstelle und einen Gestelleinbausatz für die Installation in integrierten Umgebungen fügen sich die R&S MXO 4 Oszilloskope ideal in verschiedenste Arbeitsplätze ein (Bild 4). Für Anwender mit anspruchsvolleren Anforderungen stehen diverse Erweiterungsmöglichkeiten zur Verfügung. Diese umfassen eine Mixed-Signal-Option (MSO) mit 16 integrierten digitalen Kanälen, einen integrierten Zweikanal-100-MHz-Arbiträrgenerator, Optionen zur Protokoll-Triggerung und -Dekodierung für eine Vielzahl von Standard-Industriebussen sowie weitere Optionen, die den Funktionsumfang des Geräts erweitern.

Das neue R&S MXO 4 Oszilloskop ist ab sofort bei Rohde & Schwarz und ausgewählten Vertriebspartnern erhältlich [1].

220516-02

### WEBLINK

[1] Weitere Informationen:  
[www.rohde-schwarz.com/product/MXO4](http://www.rohde-schwarz.com/product/MXO4)

# Linear-Steckverbinder mit niedrigem Profil

## lösen Aufgaben im Multi-Signal-Datenmanagement

### Ein Beitrag von Omnetics

In modernen elektronischen Geräten mit hoher Packungsdichte müssen mehr und mehr Signale von und zu Datenquellen, zu Displays und anderen Verarbeitungseinheiten geführt werden. Die Kabel zwischen den Geräten oder Displays, die oft mehrere Signale leiten, erfordern lange, lineare Steckverbinder mit hoher Pinzahl. Dazu kommt, dass diese Einheiten in robusten und tragbaren Geräten in Fahrzeugen, Robotern oder von Soldaten im Bodeneinsatz verwendet werden.

Elektronik mit hoher Packungsdichte im Bereich der Robotik, im Weltraum oder körpermontiert erfordern gleichsam robuste Lösungen mit geringem Gewicht, oft verbunden mit der Forderung nach höherer Bandbreite und gleichzeitig verringerter Gerätegröße. Neue Sensoren, Detektoren, Injektoren und kleine Motoren für robuste Mobilität sind für den Betrieb mit kleinsten Strömen und -spannungen ausgelegt, um die neue Digitalisierung der hochkompakten elektronischen Module zu unterstützen. Optische und analoge Positionsdaten eines Soldaten oder eines Geräts werden durch einen A/D-Wandler verarbeitet, was die Signalgeschwindigkeit und die Anzahl der Signale drastisch erhöht. Beamforming-Antennen- und Kommunikationssysteme werden eingesetzt, um gezielt bestimmte Bereiche zu erfassen. Diese Systeme erfordern eine große Anzahl von Signalabschnitten, ähnlich denen von phasengesteuerten Gruppenantennen. Zur Bewältigung der enormen Datenmengen bei höheren Geschwindigkeiten werden Einplatinencomputer eingesetzt; die neuen digitalen Hochgeschwindigkeitssignale auf Galliumarsenid- und anderen Chiptechnologien ausgeführt, die mit sehr niedrigen Spannungen und minimalem Strom arbeiten.

Das neue Verdrahtungssystem umfasst, um die Datenübertragung zu ermöglichen, differenzielle digitale Signalverdrahtungssätze mit einer positiven und einer negativen Ader für jedes Signal sowie

einer Rückleitung (Drain-Wire). Und schließlich erfordert jeder differenzielle Kabelsatz eine Abschirmung, um Rauschkopplungen von Kabelsatz zu Kabelsatz zu vermeiden. Ein kompletter Kabelsatz kann aus lediglich 30...40 Drähten bestehen, aber je nach den Funktionen, die sie erfüllen, kann die Anzahl der Adern sehr rasch ansteigen. Kabel und Steckverbinder in Mikro- und Nanogröße lösen dabei das Platz- und Gewichtsproblem und erbringen gleichzeitig hervorragende Leistungen in Bezug auf eine sehr schnelle digitale Signalübertragung im Feld.

Diese fortschrittlichen Systeme sind zwar klein und robust, aber sie sind aufgrund ihrer rauen Einsatzorte stärkerer Beanspruchung ausgesetzt. Die Signale erfordern aber nicht die massive Größe und das Gewicht der älteren Elektronikgeneration. Die Ingenieure können sich deshalb ganz auf die Zusammenarbeit der miniaturisierten Steckverbinder und Kabel mit der Elektronik und die Widerstandsfähigkeit im Feld konzentrieren. Die direkte Zusammenarbeit mit Kabel- und Steckverbinder-Entwicklern schon zu Beginn des Systementwicklungsprozesses kann dazu beitragen, das Gesamtdesign und die Leistung Ihrer Kabel- und Steckverbinderlösung erheblich zu verbessern.

Bei der Entwicklung von Elektronik mit hoher Dichte müssen Signalinhalt, Datengeschwindigkeit, Impedanz, potenzielles Übersprechen, Rauschen und EMI-Empfindlichkeit innerhalb des Systems schon frühzeitig berücksichtigt werden. Ein Verbindungsspezialist kann bei der Auswahl der wichtigsten Kabeltypen, des Kabelquerschnitts, der Abschirmung und der Drain-Systeme helfen. Die Qualität digitaler Signale hängt immer mehr ab von der Anstiegszeit des Rechtecksignals und der Anpassung der Leitungsimpedanz von der Treiberschaltung zum Kabel. Die Beachtung solcher Parameter hat sich in der Hochfrequenztechnik bewährt und wird nun mit zunehmender Signalgeschwindigkeit auch im Digitalbereich immer wichtiger.



Einreihige Miniatursteckverbinder.



Musterplatine mit Strip-Steckverbindern.

Einige multiple Digitalsignale werden mit Non-return-to-Zero-Spannungspegeln (NRZ) in einer Schaltung quasi gestapelt übertragen (wie bei PAM4-Modulation) und können deshalb anfälliger für Probleme durch das Signal-Rausch-Verhältnis sein. Dies lässt sich durch eine sorgfältige Planung der Kabel, der Abstände und der Steckerbelegung in den Griff bekommen. Standardkabel können problemlos Gigabit-Signalübertragungen bewältigen, wenn sie mit differenziellen Paaren verdrahtet sind und eine spezielle Ableitung haben. Wie bereits erwähnt, sind die Adern getrennt von anderen Adergruppen innerhalb des Kabels abgeschirmt. Mit zunehmender Geschwindigkeit müssen Masse- oder Rückleitungen genauso schnell sein wie die übertragenen Signale. Dadurch ändern sich sowohl das Layout der Masseleitungen als auch die Kapazität der verwendeten Leiterplatten.

Ein Mikro- oder Nano-Streifensteckverbinder muss oft den Anforderungen der Leiterplatte in Bezug auf Routing und Abstände genügen. Hilfreich ist es, ein oder zwei zusätzliche Steckverbinderstifte für zusätzliche Masse- oder Rückleitungen an der Seitenleiste vorzusehen, weil dies oft eine Redesign-Phase bei der Entwicklung eines Systems erspart. Viele Hersteller von Steckverbindern bieten Bauteile für IPC-Standard-Pads und Durchgangsloch-Layoutmuster an, aber diese Standards sind ziemlich veraltet. Neuere Platinen erfordern manchmal maßgeschneiderte Steckverbinder-Leitungsmuster und Mitte-zu-Mitte-Stiftabstände. Unternehmen, die hochzuverlässige Steckverbinder entwickeln, können sowohl Standardgrößen als auch speziell für neue Design-Layouts konfigurierte Verbindungssysteme anbieten. Entwicklern wird empfohlen, mit den Militärspezifikationen für Micro-D (MIL-DTL-83513) und Nano-D (MIL-DTL 32139) zu beginnen, die eine gute Grundlage darstellen. Diese beiden Spezifikationen wurden von einem Team von Steckverbinderspezialisten aus militärischen Zulieferbetrieben entwickelt. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Definition einer Reihe von Anwendungen unter robusten und extremen Umweltbedingungen in der Rüstungsindustrie. Der Teil der Spezifikationen, der sich mit der Zuverlässigkeit befasst, konzentriert sich auf Steckverbindungen und physikalische Bedingungen wie Stöße, Vibrationen, Korrosion und Immersion. Diese Spezifikationen können als Zuverlässigkeits-Checkliste für neuere kleinere und leichtere Steckverbinder verwendet werden, die im Weltraum eingesetzt werden oder anderen rauen Bedingungen ausgesetzt sind.

Die Miniatur-Steckverbinder entwickeln sich schnell weiter und lassen sich in zwei Kategorien einteilen. Zu den älteren Modellen gehören Streifenverbinder, die für den kommerziellen Markt mit begrenzten Tests und Zertifizierungen entwickelt wurden, aber für



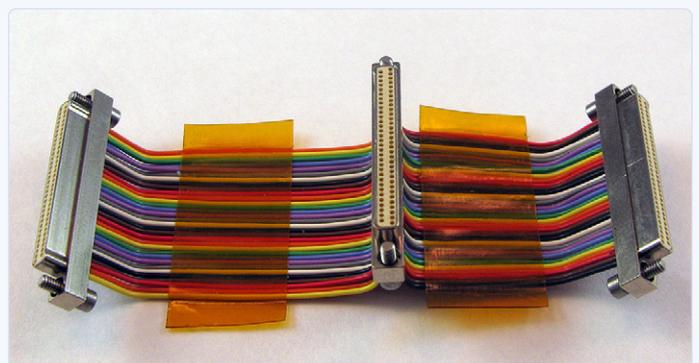
Platinenkanten-Steckverbinder Nano mit Verriegelung.

viele Anwendungen recht nützlich sind. Neuere Anwendungen erfordern aber bewährte Materialien und Konstruktionen mit Schlüsselementen, die nach militärischen Standards getestet wurden. Unternehmen wie die Omnetics Connector Corp. verwenden massive Berylliumkupfer-Federstifte und -Buchsen (BeCu) nach militärischer Spezifikation, die mit Nickel und Gold beschichtet sind, um die höchste Zuverlässigkeit auf dem Markt zu gewährleisten. Tests zum Verbinden und Trennen von Stiften und Buchsen zeigen eine konstante Signalintegrität über mehr als 2000 Verbindungsvorgänge. Diese Steckverbinder sind sehr stoß- und vibrationsfest und haben Tests bestanden, die über die Anforderungen auf dem Schlachtfeld oder am Mars-Rover hinausgehen. Systementwickler können Muster dieser Streifenverbinder für einen ersten Test ihres Designs anfordern. Micro-Strip-Steckverbinder mit einem Raster von 1,27 mm (0,50“) und Nano-Strip-Steckverbinder mit einem Raster von 0,635 mm (0,025“) sind etablierte Standards und leicht erhältlich. Damit Systemingenieure angepasste Strip-Verbinder in Militärqualität entwickeln können, sollten sie zunächst mit einem Steckverbinder-Entwickler online ein Volumenmodell erstellen, um den Steckverbinder genau auf die Anwendung abzustimmen. Wenn das neue Design zufriedenstellend ist, wird ein Muster des Prototyps angefordert, um Form, Passform und Funktion in der Realität zu erproben, bevor man mit der Systementwicklung fortfährt. 3D-gedruckte Modelle können schnell erstellt und an das Systemteam geschickt werden. Um sicherzustellen, dass das Verbindungssystem den Anforderungen moderner Schaltungen entspricht, werden im letzten Schritt die Test- und Qualitätsstandards überprüft, die für die Anwendung erforderlich sind. Besprechen Sie mit dem Designer des Steckverbinders die Umwelt- oder elektrischen Spezifikationen, die von Bedeutung sein könnten. ◀

220507-02



Ein Mix verschiedener Strip-Steckverbinder.



Ein Kabelbaum mit Steckverbindern.

# Smart – Innovativ – Kosteneffizient

## GateMate-FPGAs entwickelt und hergestellt in Deutschland

Ein Beitrag von Cologne Chip AG

Die *Cologne Chip AG* aus Köln ist seit über 25 Jahren als Hersteller von Telekommunikations-Chips eine bekannte Größe im Markt. Als deutscher Chiphersteller ist es dem Unternehmen in seiner Historie gelungen, Branchengrößen wie Siemens, Infineon und Intel im Bereich der ISDN-Chips den Rang abzulaufen.

Vor gut zwei Jahren präsentierte Cologne Chip seinen Kunden auf der Embedded World in Nürnberg die neueste Produktfamilie der GateMate FPGAs.

### Neue Architektur und ein Produktionsstandort in Deutschland für Versorgungs- und Planungssicherheit

Der Kern der GateMate-FPGAs enthält eine neuartige Architektur, die in Deutschland entwickelt wurde und in wesentlichen Punkten bereits zu erteilten Patenten geführt hat. Da das Unternehmen als Fabless-Halbleiterhersteller am Markt ist, wurde bei der Auswahl der Produktionsstätte auf kurze Wege geachtet. So werden die Chips in Zusammenarbeit mit Globalfoundries in der Fab 1 in Dresden gefertigt.



Das Unternehmen gewährleistet so – gerade für Kunden in Europa – kurze Lieferketten für eine maximale Versorgungs- und Planungssicherheit. Gerade in der aktuellen Zeit sind viele

FPGA-Nutzer von Lieferverzögerungen und teilweise exorbitanten Preissteigerungen betroffen. Nicht so die Kunden von Cologne Chip. Durch eine hervorragende Vorausplanung und Lagerhaltung kann die Versorgung der Kunden jederzeit gewährleistet werden. Auch das Risiko von Handelsbeschränkungen oder hohen Zöllen wird mit GateMate auf ein Minimum reduziert.

Technisch gesehen basiert die neue Architektur der Logikelemente auf den sogenannten „Cologne Programmable Elements“ (CPEs) mit jeweils acht kombinatorischen Eingängen in einem sogenannten „LUT-Tree“. Jedes dieser CPEs lässt sich mit 2x4 oder 1x8 Eingängen konfigurieren, hat also bis zu zwei Ausgänge.

Durch zusätzliche Verknüpfungsmöglichkeiten lassen sich beispielsweise typische Gatterschaltungen ohne Kaskadierung umsetzen. Durch eine intelligente Routing-Engine gelingt es, den effizienten Aufbau von beliebig großen Multiplizierern an beliebigen Stellen im Chip zu realisieren. Dies bringt eine sehr hohe kombinatorische Dichte mit sich. Somit eignen sich die GateMate-FPGAs zum Beispiel auch für die Realisierung von KI-Funktionen.

### Zielmärkte und Einsatzmöglichkeiten

Als generelle Zielmärkte nennt Cologne Chip vor allem Low-End- und Low-Power-Anwendungen. Überall dort, wo tendenziell kleinere FPGAs um circa 20.000 Logikelemente zum Einsatz kommen, bietet das GateMate-A1-FPGA eine gute und kostengünstige Alternative zu bisher eingesetzten FPGAs.

Neben dem patentierten Fertigungsverfahren verfügen die GateMate-FPGAs auch über ein weit skalierbares Performance-Potenzial. So kann beispielsweise die Core-Spannung und die Taktfrequenz variiert werden, um die Verarbeitungsgeschwindigkeit

## Wichtigste Merkmale der GateMate-FPGAs

### Neue CPE Architektur

- › 20.480 programmierbare Logikelemente (CPEs) für kombinatorische und sequentielle Logik
- › 40.960 Latches / Flip-Flops innerhalb der CPEs
- › Ein CPE enthält einen LUT-tree mit 8 Eingängen
- › Jedes CPE ist auch als 2-bit-Addierer oder 2x2-bit-Multiplizierer konfigurierbar

### Niedriger Energieverbrauch

- › Globalfoundries™ 28 nm SLP Prozess
- › 3 Betriebsmodi: Low-power, Economy, Speed
- › Geringe Anlaufströme
- › Nur zwei Versorgungsspannungen nötig

### Eigenschaften

- › 4 programmierbare PLLs
- › Schnelle Konfiguration mit Quad-SPI-Schnittstelle (bis 100 Mhz)
- › Multi-Chip Konfiguration
- › 1.280 Kbit Dual-ported-Block-RAM
- › Alle 162 GPIOs sind sowohl als „Single-ended“- als auch LVDS-Paare konfigurierbar
- › DDR-Unterstützung in allen GPIO-Zellen
- › 2,5 GB/s SERDES-Controller

### Gehäuse

- › 324-ball BGA-Package (15 x 15 mm)

um Faktor 2,5 zu skalieren. Dies ist im Betrieb des FPGAs auch dynamisch möglich. Die drei Betriebsmodi „Low Power“, „Economy“ und „Speed“ können einfach durch Änderung der Core-Spannung auf 0,9 V, 1,0 V oder 1,1 V eingestellt werden. Je höher die Spannung, desto höher die Performance. Dies ermöglicht den Einsatz des Chips für ein sehr breites Anwendungsspektrum.

## Niedrigste „Total Cost of Ownership“ und Open-Source-Softwareunterstützung

Beim Thema Kosteneffizienz legt Cologne Chip großen Wert auf die niedrigsten spezifischen Kosten. Als Anwender von FPGAs kommt es darauf an, die gesamten Kosten für den Einsatz eines bestimmten FPGAs im Blick zu haben. Ein günstiger Chip alleine nützt nicht viel, solange die Kosten für diverse Peripherie exorbitant hoch sind. So benötigen die GateMate-FPGAs beispielsweise nur zwei Versorgungsspannungen, eine Core-Spannung und eine I/O-Spannung, was zusätzliche Spannungsregler einspart.

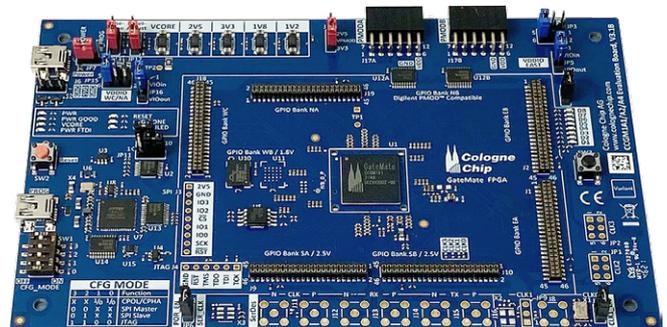
Bei der Auswahl einer geeigneten Leiterplatte hat der Entwickler es ebenso einfach: eine Platine mit nur zwei Signallagen, insgesamt also vier Lagen, reicht aus, um alle Signale zu routen. Dies spart Kosten für zusätzliche PCB-Lagen. Auch die Lagerhaltung wird vereinfacht, insbesondere bei Benutzung von GateMate für verschiedene Endprodukte. Es gibt keine „Speed Grades“ oder ähnliche Derivate.

Auch im Bereich der Softwareumgebung setzt Cologne Chip auf Kosteneffizienz und Flexibilität. Doch nicht nur aus diesem Grund hat man sich für eine Open-Source-Toolchain entschieden: das Synthese-Tool „Yosys“.

Ist bereits ein Verilog- oder VHDL-Code vorhanden, so kann dieser mit Yosys einfach in die Architektur synthetisiert werden. Das aktuell noch proprietäre „GateMate Place & Route“ ist kostenfrei verfügbar und kann nach einmaliger Registrierung als User von der Webseite von Cologne Chip heruntergeladen werden. Mit automatischer Clock-Skew-Optimierung übernimmt das Tool die Portierung einer Schaltung in das FPGA.

## FPGAs und Evaluation-Kits ab Lager verfügbar

In der aktuellen Zeit nicht selbstverständlich ist, dass Cologne Chip sowohl ihre FPGAs als auch die GateMate-Starter-Kits ab Lager zur Verfügung stellt. So gelingt es Cologne Chip, auch im Jahr 2022 seine Kunden innerhalb weniger Tage mit Produktionsstückzahlen von FPGAs zu versorgen.

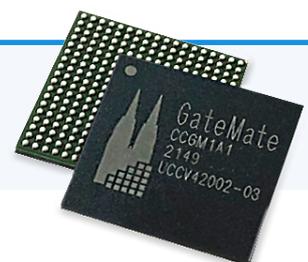


Das Starter-Kit selbst enthält ein Evaluation-Board mit dem GateMate-A1-FPGA, einen Kabelsatz sowie einen zusätzlichen Programmer und ermöglicht so dem Kunden einen einfachen Start in die Evaluierung der GateMate-FPGAs.. ◀

220515-02

## WEBLINK

- [1] Website:  
[www.colognechip.com](http://www.colognechip.com)



# Vom Layout zum Prototypen an einem Tag

## 4-Lagen-PCBs im Elektronik-Labor

Ein Beitrag von LPKF

Fehlende elektronische Bauteile und dringende Redesigns belasten die Entwickler in den Elektronik-Laboren. Viele Elektronik-Entwicklungsteams stehen unter Zeitdruck, ihre Produkte an die geänderten Voraussetzungen anzupassen oder neue Funktionen zu integrieren. Trotz ausgefeilter Software-Simulation und fortschrittlicher CAD-Systeme: Ohne Prototypen geht es nicht. Gut, wenn es erprobte Verfahren gibt, um an einem Tag komplexe Multilayer im eigenen Haus herzustellen.

LPKF kennt diese Herausforderungen als Maschinenbauunternehmen selbst. Das Elektroniklabor ist rund um die Uhr im Einsatz, um mit den wachsenden Anforderungen Schritt zu halten. Das Beispiel ist ein PCB-Multilayer mit vier Lagen. Die Leiterplatte ist die Grundlage für eine präzise 4-Punkt-Messeinheit mit mehreren Operationsverstärkern und Spannungsreglern. Sie erkennt Mikrovolt-Differenzen und wandelt sie in digitale Daten um. Dieser Aufbau erfordert ein 4-Lagen-Design. Vom Import der CAD-Daten bis zur fertigen Leiterplatte vergeht nur ein Arbeitstag.

### Abgestimmte Prototyping-Systeme für das Elektroniklabor

Die eingesetzten Systeme sind für eine problemlose Zusammenarbeit konzipiert: LPKF ProtoLaser H4, LPKF MultiPress S4 und LPKF Contac S4 bilden eine gut abgestimmte Produktionskette.

- Der LPKF ProtoLaser H4 strukturiert die Leiterplatten. Das System verfügt über einen Strukturierungslaser, mechanische Bohr- und Fräswerkzeuge und einen integrierten PC. Es wird mit der CircuitPro-RP-Software ausgeliefert.
- Die LPKF MultiPress S4 ist ein eigenständiges Presssystem mit geringem Platzbedarf. Dank frei einstellbarer Temperatur-, Druck- und Zeitsteuerung und Vakuumfunktion eignet sich die Maschine zum Verpressen von starren, starr-flexiblen, flexiblen und RF-Multilayern mit bis zu acht Lagen.
- Die Laborgalvanik LPKF Contac S4 sorgt für die zuverlässige Durchkontaktierung von starren, flexiblen und RF-Multilayern. Sie kommt in einem kompakten Tischgehäuse, hat eine integrierte PC-Schnittstelle und ein großes Touch-Display für eine komfortable Bedienung.

Alle Systeme beinhalten bereits umfassende Werkzeug-, Profil- und Prozessbibliotheken. Für die meisten Produktionen sind keine tiefen Fachkenntnisse erforderlich. Der ProtoLaser H4 und die MultiPress S4 sind brandneu, während sich die Contac S4 bereits seit Jahren in der Praxis bewährt.

### Produktionsablauf vorbereiten

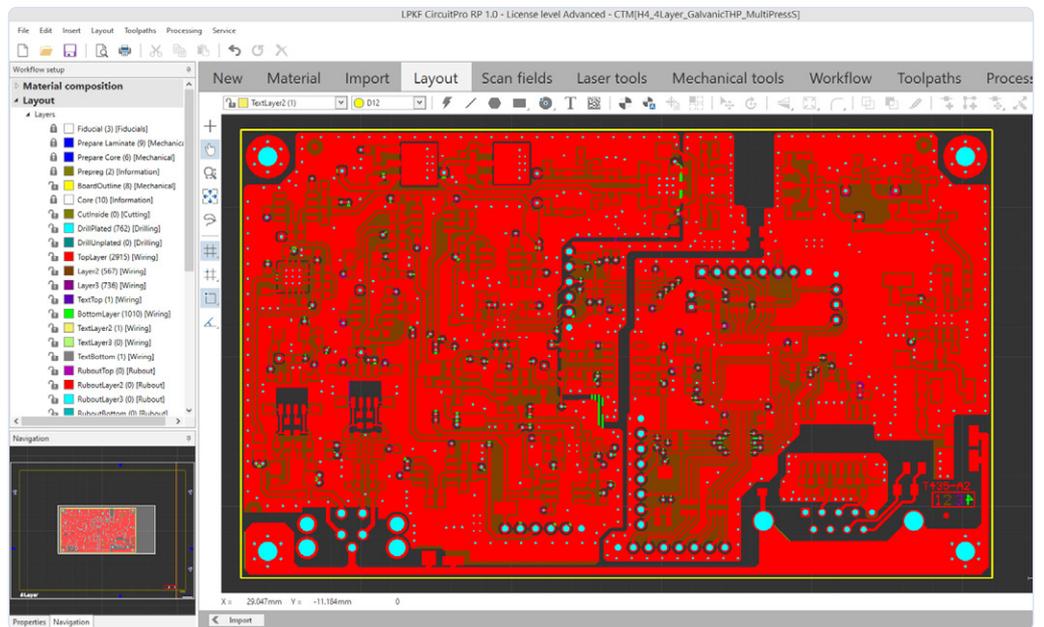
Zunächst wird die Software LPKF CircuitPro RP auf dem eingebauten Rechner des LPKF ProtoMat H4 gestartet. Dann wird eine vorhandene Vorlage gewählt oder eine neue angelegt. Die geplante Konstellation ist bereits vorkonfiguriert: Ein 4-Lagen-Multilayer mit galvanischer Durchkontaktierung unter Verwendung der MultiPress S4.

Im Aufbau wird ein doppelseitiger 1 mm FR4-Kern (mit je 18 µm Kupfer) kombiniert mit einer 0,2 mm starken ML 104 (mit je 5 µm Cu auf jeder Seite des Kerns). Die 5 µm Kupfer wachsen bei der galvanischen Durchkontaktierung um 12,5 µm Cu auf, das sichert gleichmäßige Kupferstärken auf der Ober- und Unterseite. Die Verwendung des entsprechenden Prepregs ist ebenfalls in der Vorlage vorgesehen. Die Größe des PCB ist auf ein Viertel der Plattengröße 12" x 9" ausgelegt.

### Innenlagen herstellen

Jetzt folgt der Import von CAD-Daten. Die Lagen in CircuitPro sind verknüpft und klar benannt. Nach dem Import ist das Layout sichtbar und kann gegebenenfalls bearbeitet werden.

Referenzstifte richten den Lagenstapel im Presswerkzeug aus. Die Positionen der Stifte sind in der Vorlage von CircuitPro vordefiniert. Die Referenzlöcher und weitere Passermarken werden erst in den Außenlagen, dann in der Kernlage gebohrt. Es folgt die Laser-Struktu-



rierung der beiden inneren Lagen. Der gesamte Prozess läuft automatisch und ist nach 25 Minuten abgeschlossen.

### Unter Druck: Lagenpaket verpressen

Vor der Verpressung werden die einzelnen Lagen mit Isopropanol gereinigt. Dann wird der Stapel von der untersten Lage an auf dem Presswerkzeug aufgebaut. Passstifte und Textmarkierungen am Rand der Lagen helfen bei der korrekten Ausrichtung. Zwischen den Lagen wird das Prepreg mittig auf dem Material ausgerichtet. Die Abdeckung des Presswerkzeugs schließt das Presspaket ab, dann kommt es in die LPKF MultiPress S4. Der Pressvorgang läuft automatisch und ohne Benutzereingriff 2:45 Stunden. Am Ende erhält der Bediener eine E-Mail. Das Material kann aber problemlos länger in der Presse verbleiben.

### Bohraufgaben: Löcher und Durchkontaktierungen

Der ProtoLaser H4 steuert die Bohrpositionen im verpressten Multilayer-Stapel anhand der Passermarken präzise an. Das PCB-Layout weist zwölf verschiedene Lochdurchmesser auf und benötigt dafür zwölf verschiedene Bohrer. Der Bohrprozess startet vom kleinsten Durchmesser aufwärts; die integrierte Toolbox wird mit den ersten sechs Werkzeugen bestückt. Das Programm erkennt fehlende Werkzeuge und fordert nach den ersten sechs Bohrungen zum Tausch im Werkzeughalter auf – und läuft nach Bestätigung automatisch weiter. Für die 762 Löcher benötigt das System nur 33 Minuten.

Die Durchkontaktierung übernimmt die LPKF Contac S4. Die Galvanisierung baut die gewünschten 12,5 µm Kupfer auf. Prozessanweisungen auf dem Display führen den Bediener durch die Reinigungsphasen, eine Black-Hole-Aktivierung, Trocknung und die abschließende Vorbereitung für die Beschichtung. Der gesamte Prozess dauert etwa 2,5 Stunden. Innerhalb der ersten Stunde sind gelegentliche Eingriffe des Bedieners erforderlich.

### Das Finish: Außenlagen strukturieren

Die Strukturierung der äußeren Schichten entspricht dem Vorgehen bei den doppelseitigen PCBs. Der LPKF ProtoLaser H4 bearbeitet die untere Schicht in 6:16 Minuten, die komplexere obere Schicht benötigt 9:00 Minuten. Das Ausschneiden der Leiterplatte dauert weitere 3:07 Minuten.

Die Press- und Durchkontaktierungsprozesse erfordern nur gelegentliche Benutzereingriffe. Sie nehmen den Großteil der Produktionszeit ein. Trotzdem wurde die vierlagige Leiterplatte in sieben Stunden produziert. Für zusätzliche Schritte wie Lötstopplack, Beschriftungen oder Bestückung stehen weiteren Prototyping-Verfahren zur Verfügung. ◀

220523-02

Bild 1. In der Systemsoftware LPKF CircuitPro werden die einzelnen Layer für die Produktion vorbereitet. Vorlage wählen, Layout laden, verfügbare Maschinen und Produkttyp angeben: Die Software führt sicher durch den Prozess.

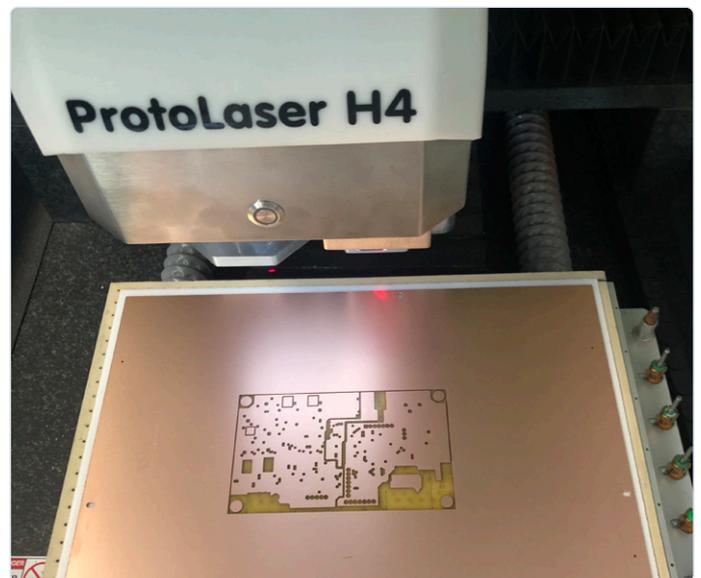


Bild 2. Multitalent ProtoLaser H4: Im ersten Produktionsschritt erfolgen die Passbohrungen mit einem mechanischen Bohrer, dann strukturiert der Laser die Kernschicht.

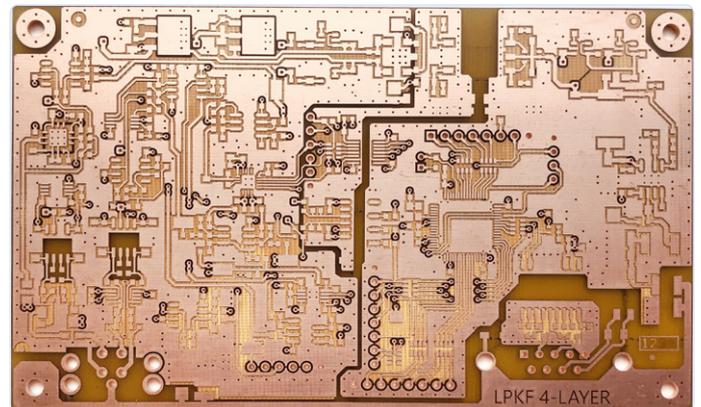


Bild 3. Nach dem Verpressen wird gebohrt, dann folgt die Durchkontaktierung und schließlich die Strukturierung der Außenlagen. Im Ergebnis: ein 4-lagiges PCB in weniger als einem Tag.

# Tools für die kostengünstige Sensorentwicklung



Von Stuart Cording,  
für Mouser Electronics

Bei der Überwachung unserer Umwelt sind Ingenieure auf Sensoren angewiesen, die physikalische Größen wie die Luftfeuchtigkeit messen und in Signale umwandeln, die von Computern verarbeitet werden können. Das Team muss bei der Spezifikation der Sensoren sowohl die Messgenauigkeit und den Messbereich als auch andere Aspekte wie Robustheit und Schutz vor dem Eindringen von Staub und Flüssigkeiten berücksichtigen. Da die Leistung der Sensoren und ihre Robustheit für die Zielumgebung zunehmen, steigen zwangsläufig auch die Sensorkosten. Das führt zu Problemen bei der Einführung von Sensoren, denn hohe Anschaffungskosten können einer breiteren Anwendung entgegenstehen.

Ein Beispiel hierfür ist die Feinstaubmessung, bei der Sensoren Daten zur Quantifizierung der Luftverschmutzung sammeln. Doch gravimetrische Sensoren für hochpräzise Messungen von Partikeln in der Luft sind kostenintensiv. Allerdings liefern sie zuverlässig notwendige Daten für die Auswahl der optimalen Gegenmaßnahmen, zum Beispiel die Anpassung der Verkehrsregelungen in den Städten. Dieses Thema wird immer wichtiger, und deshalb werden mehr Sensoren zu einem Preis benötigt, bei dem ein breiterer Einsatz für ein besseres Verständnis der Problematik möglich ist. Es werden daher große Anstrengungen unternommen, um kostengünstigere alternative Sensoren mit ähnlicher Leistungsfähigkeit zu entwickeln [1].

Viele Entwicklungsingenieure stehen vor diesem Problem. Sie müssen etwas messen, aber die Gesamtkosten, die Systemgröße, die Robustheit, den Stromverbrauch und andere Faktoren gegen die erforderliche Genauigkeit, Linearität und Hysterese des Sensors abwägen. Um diese Aspekte zu untersuchen, müssen Testgeräte beschafft werden, damit der zu entwickelnde Sensor bewertet, verglichen und gegebenenfalls mit einem genaueren Sensor kalibriert werden kann.



Bild 1. Die Umweltmessgeräte der Baureihe 250W von Extech unterstützen die langfristige Datenerfassung in Verbindung mit einem Bluetooth-fähigen Smartphone oder Tablet und der ExView App.

Bild 2. Das MachineryMate 800 (MAC800) ist ein tragbares Messgerät zur Überwachung der Vibrationen von Pumpen, Motoren, Ventilatoren und Lagern.



## Den Sensor mit Umgebungsmessungen vergleichen

Handmessgeräte eignen sich ideal für einfache Sensoren, da sie in einem Testaufbau neben der zu entwickelnden Anwendung aufgestellt oder montiert werden können. Batteriebetriebene Geräte machen ein Netzkabel beziehungsweise ein Steckernetzteil überflüssig. Gleichzeitig muss das Display groß und übersichtlich sein, um das Ablesen der Ergebnisse durchgeführter Messungen zu erleichtern. Die Umweltmessgeräte *250 W Bluetooth Connected Environmental* von Extech [2] sind eine ausgezeichnete Wahl für verschiedenste Datenerfassungsaufgaben. Fünf Geräte dieser Reihe decken alles ab, von Windgeschwindigkeit und Schallpegel bis hin zu Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Rotationsgeschwindigkeit und Lichtstärke (**Bild 1**).

Das RH250W ist gerade einmal 150 × 53 × 28 mm groß und wiegt 80,5 g. Es misst die relative Luftfeuchtigkeit von 0 bis 100 % mit einem Fehler von ±5 % und die Lufttemperatur von -10...+60 °C mit einem Fehler von ±1 °C. Das Gerät wird, wie alle Geräte der Baureihe, mit drei im Lieferumfang enthaltenen AAA-Batterien (1,5 V) betrieben. Zudem schon eine automatische Abschaltfunktion die Batterien. Im oberen Bereich befindet sich mittig ein großes LC-Display mit Hintergrundbeleuchtung, das neben dem aktuellen Messwert auch die Höchst- und Tiefstwerte anzeigen kann. Für die richtige Positionierung bei der langfristigen Datenerfassung kann das Messgerät mit einer Standard-Stativschraube (1/4") befestigt werden.

Für Lichtintensitätsmessungen bietet Extech das LT250W an. Die Daten werden mit einer Abtastrate von zwei Messungen pro Sekunde erfasst und decken eine Lichtintensität von bis zu 100.000 Lux (10.000 Fc) ab. Unterhalb von 9999 Lux beträgt die maximale Auflösung 1 Lux bei einem Fehler von ±4% Vollausschlag. Darüber ändert sich die Auflösung auf 10 Lux für ≥10.000 Lux und 100 Lux für ≥100.000 Lux, jeweils mit einem Fehler von ±5% Vollausschlag.

Alle Umweltmessgeräte von Extech besitzen eine Bluetooth-Schnittstelle, mit der eine Datenübertragung über eine Entfernung von 90 m bei Sichtverbindung möglich ist. Die Messungen können mit der ExView-App (für iOS- [3] und Android-Geräte [4] erhältlich) auf einem Smartphone oder Tablet erfasst werden. Insgesamt können acht Messgeräte mit einem einzigen Smartphone oder Tablet gekoppelt werden. Für Minimal- und Maximalwerte lassen sich auch akustische Alarmer einstellen. Die gesammelten Daten können durch im gängige CSV-Format (kommagetrennte Werte) einfach und problemlos in Analysetools importiert werden. Zudem lassen sich die von Ihrem mobilen Gerät aufgenommenen Fotos des Testaufbaus in PDF-Berichte integrieren.

## Vibrationen und vorausschauende Wartung

Viele von uns haben schon einmal einen Ingenieur kennengelernt, der die scheinbar magische Gabe besitzt, zu „wissen“, wann sich ein Gerät dem Ende seiner Lebensdauer nähert. Jahrelanges Hören auf die Geräusche und das Fühlen der Schwingungen von Motoren und Förderanlagen verleihen ihm ein fast prophetisches Gespür für bevorstehende Ausfälle. Doch für die hochautomatisierten Industriesysteme von heute bedarf es doch etwas mehr Digitalisierung. Damit die Ingenieure bei der Entwicklung von Lösungen für die vorausschauende Wartung zwischen



Bild 3. Die Energiemessgeräte EMpro II von Phoenix Contact ermöglichen die Fernüberwachung in Geräten mit und ohne Display.

guten und schlechten Vibrationen unterscheiden können, steht ihnen der *MachineryMate* von Amphenol Wilcoxon zur Verfügung. Dabei handelt es sich um eine Reihe von tragbaren Vibrationsmessgeräten.

Der *MachineryMate 200 (MAC200)* [5] ist ein tragbares Gerät zur Vibrationsüberwachung und -analyse, mit dem Fehler bei Motoren, Pumpen, Ventilatoren und Lagern diagnostiziert werden können. Dieses Gerät ist IP67-zertifiziert und wird mit zwei AA-Batterien (1,5 V) betrieben, die eine Betriebsdauer von 50 Stunden ermöglichen. Die Messungen werden anhand von farbcodierten Werten angezeigt. Der erste Wert ist der ISO-Wert und wird durch die ISO 10816-1 (Mechanische Schwingungen) festgelegt. Die Vibrationsgeschwindigkeit wird in mm/s oder inch/s für den Frequenzbereich 10 Hz bis 1 kHz (600 - 60.000 1/min.) oder 2 Hz bis 1 kHz (120 - 60.000 1/min.) angezeigt. Das Geräusch, das von verschlissenen Lagern ausgeht, ist die zweite Messgröße, die in Bearing Damage Units (BDU) angezeigt wird, wobei Werte unter 50 BDM von maximal 100 BDM grün hervorgehoben werden.

Das Messgerät kann außerdem analysieren, ob die Maschine aus dem Gleichgewicht geraten ist, falsch ausgerichtet ist oder ob sich Befestigungsschrauben oder Fundamente gelockert haben.

Mit dem *MachineryMate 800 (MAC800)* lassen sich die Ergebnisse von verschiedenen Maschinen und deren Messpunkten protokollieren und über die USB-Dockingstation auf einen PC hochladen (**Bild 2**). Über die mitgelieferte PC-Software *DataMate* [6] können Vergleiche zwischen Maschinenmesswerten und sogar historischen Messwerten vorgenommen werden, um Probleme und Trends zu erkennen. Weitere optionale Extras sind ein Stroboskopaufsatz und Bluetooth-Kopfhörer, mit denen die Signale des Beschleunigungsmessers abgehört werden können.

## Den Energieverbrauch im Blick behalten

Wir alle müssen unseren Beitrag zur Senkung des Energieverbrauchs leisten, unabhängig davon, ob es sich um grüne Energie handelt oder nicht. Wenn Sie also komplexe Maschinen entwickeln, ist es hilfreich, ein Energiemessgerät zur Überwachung und zur weiteren Analyse zu haben. Messgeräte wie das EMpro II [7] von Phoenix Contact sind benutzerfreundlich und bieten eine Reihe von Anschlussmöglichkeiten, um den Energieverbrauch in Echtzeit zu erfassen (**Bild 3**).



Bild 4. Das Infrarot-Digitalthermometer IR1 von Klein Tools wird mit einer praktischen Tragetasche geliefert und ermöglicht Temperaturmessungen aus sicherer Entfernung.

Das Gerät ist sowohl im Schaltschrankformat mit Display als auch montagefertig auf einer DIN-Schiene ohne Display erhältlich und eignet sich für ein-, zwei- und dreiphasige Installationen. Das EMpro II verfügt über eine Modbus-TCP-Schnittstelle, ist aber auch mit Unterstützung für Modbus-RTU, PROFINET und EtherNet-I/P erhältlich. Die Strommessungen erfolgen über Stromwandler oder Rogowski-Spulen, während die Spannung der Phasen über Direktanschlüsse überwacht wird.

Der integrierte mehrsprachige Webserver bietet eine übersichtliche und moderne Benutzeroberfläche, die den Anwender durch

die Einrichtungsschritte führt. Außerdem ermöglicht er den Echtzeitzugriff auf die Messungen sowie die Definition von Alarmen und die integrierte Protokollierung. Darüber hinaus stellt er eine REST-API bereit, mit der die Integration in selbstentwickelte industrielle Webanwendungen erleichtert wird.

### Kontaktlose Temperaturmessung

Bei der Systementwicklung werden die Komponenten oft heiß, insbesondere bei Leistungs- und Motorumrichtern. Wegen der häufig verwendeten hohen Spannungen ist ein kontaktloses Verfahren zur Temperaturüberwachung sinnvoll. Tragbare digitale Infrarot-Thermometer wie das IR1 [8] von Klein Tools sind eine perfekte Messlösung (Bild 4).

Das Messgerät wird mit der im Lieferumfang enthaltenen 9-V-Blockbatterie betrieben und bietet bei eingeschalteter Hintergrundbeleuchtung eine Betriebsdauer von fünf Stunden. Eine automatische Abschaltfunktion verlängert die Batterielebensdauer. Die Messergebnisse werden in Celsius und Fahrenheit angezeigt, wobei der unterstützte Temperaturbereich von -20 °C bis 400 °C (-4 °F bis 752 °F) reicht. Mit dem integrierten Laser kann der Sensor exakt auf die gewünschte Komponente ausgerichtet werden. Das Abstand-zu-Punktgröße-Verhältnis von 10:1 ermöglicht das Anvisieren eines Bereichs mit einem Durchmesser von 13 mm bei einer Entfernung von 127 mm oder von 25 mm Durchmesser bei einer Entfernung von 254 mm. Für den einfachen Transport des Messgeräts ist ein Koffer im Lieferumfang enthalten.

### Stetige Weiterentwicklung der Sensoren

Um Entscheidungen fundierter treffen zu können, Maschinenausfälle früher zu erkennen oder unsere Umwelt besser zu schützen, arbeiten Entwickler an Sensorlösungen, die der Präzision der besten heute erhältlichen Messgeräte möglichst nahe kommen und gleichzeitig die Kosten auf ein Niveau senken, das einen breiteren Einsatz ermöglicht. Die hier vorgestellten Prüf- und Messgeräte leisten dabei einen wertvollen Beitrag. Sie liefern Daten zu relevanten physikalischen Größen und können mit den Ergebnissen eines von den Entwicklerteams konstruierten kostengünstigen Sensors verglichen werden. Auf diese Weise können die Entwickler die Genauigkeit, Linearität und Hysterese ihrer eigenen Designs verbessern. ◀

220524-02

## WEBLINKS

- [1] A Review of Low-Cost Particulate Matter Sensors from the Developers' Perspectives: [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7730878/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7730878/)
- [2] Extech 250W Bluetooth Connected Environmental Meters : <https://bit.ly/3TkWRde>
- [3] ExView im Apple Store: <https://apps.apple.com/de/app/exview/id1547400277>
- [4] ExView im Google Play Store: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.extech.exview2&hl=de&gl=de>
- [5] Amphenol Wilcoxon MachineryMate™ Vibrationsmessungs-Kits: <https://bit.ly/3EJN0tf>
- [6] Handbuch DataMate: [https://buy.wilcoxon.com/amfile/file/download/file\\_id/611/product\\_id/387/](https://buy.wilcoxon.com/amfile/file/download/file_id/611/product_id/387/)
- [7] Phoenix Contact EMpro II Energiemessgeräte: <https://bit.ly/3S2szLm>
- [8] Klein Tools IR1 10:1 Infrared Thermometer with Laser: <https://bit.ly/klein-tools-ir1>

# Isolierter Analogausgang für Arduino Uno

Von Giovanni Carrera (Italien)

Dieses Projekt nutzt den PWM-Ausgang des Arduino Uno, um einen vollständig isolierten Analogausgang mit einem Bereich von 0...5 V oder mehr zu realisieren. Die Verwendung eines gemittelten PWM-Signals ist zwar nicht mit einem echten DAC vergleichbar, ist aber einfach zu realisieren und reicht aus, um einen Optokoppler zur Isolation des digitalen PWM-Signals zu verwenden.

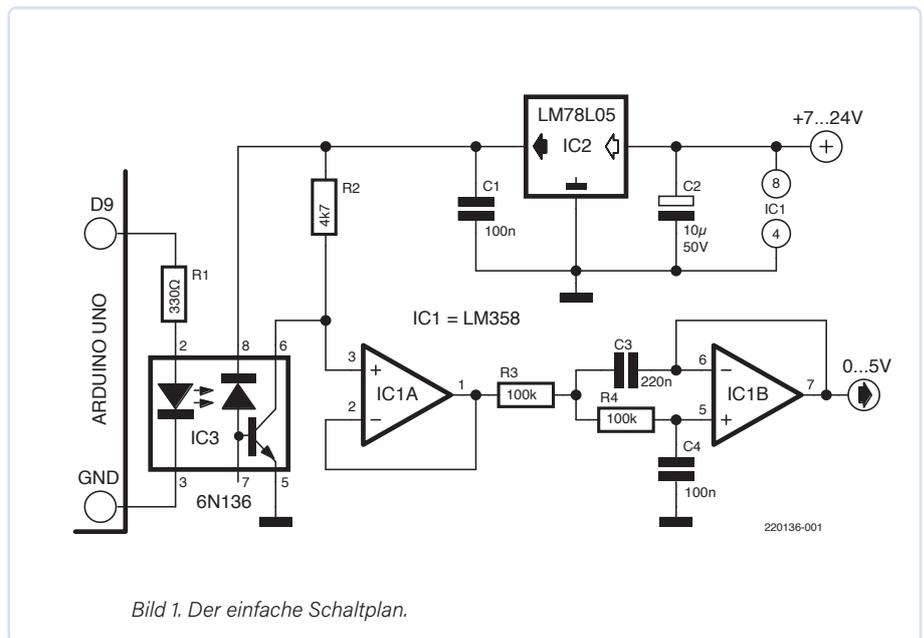


Bild 1. Der einfache Schaltplan.

In Steuerungssystemen von Industrieanlagen ist es immer ratsam, sowohl die Eingänge ins als auch die Ausgänge vom „Feld“ zu isolieren. Dies verhindert Störungen, die durch Spannungsspitzen, Blitzeinschläge oder andere EMI-Quellen und auch durch Massepotentialdifferenzen verursacht werden.

Systeme mit einem Arduino Uno oder ATmega328 verfügen nicht über einen echten Analogausgang. Die Ausgabe analoger Signale kann aber durch einen PWM-Ausgang realisiert werden, der mit einem Tiefpassfilter gemittelt (integriert) wird. Ein gemittelt PWM-Signal mit 8-Bit-Auflösung ist zwar nicht mit einem echten DAC vergleichbar, aber im Falle der Isolation bietet sie jedoch einen unbestreitbaren Vorteil: Trotz aller Einfachheit reicht ein Optokoppler zur Isolation des digitalen PWM-Signals.

## Der Arduino-PWM

Ein Arduino Uno besitzt mehrere Pins (D3, D5, D6, D9, D10 und D11), die für PWM-Ausgabe konfiguriert werden können. Für dieses Projekt habe ich den Pin D9 verwendet, da die anderen schon von verschiedenen Geräten (LCD, SD und RTC/Echtzeituhr) belegt waren.

Das PWM-Signal an den Pins D9 und D10 wird durch den Timer1 des ATmega328 erzeugt. Er besitzt einen Vorteiler, der durch 1, 8, 64, 256, 1024 teilt, gesteuert durch die drei niederwertigen Bits des Registers TCCR1B. Der von der Arduino-IDE eingestellte Standard-

wert des Vorteilers ist gleich  $N_p = 64$  (TCCR1B, Bits 2..0 = 110), was eine Ausgangsfrequenz ergibt von:

$$\text{PWM-Frequenz} = \text{CPUclock} / (2 \times N_p \times \text{TOP}) = 16.000.000 / (2 \times 64 \times 255) = 490,196 \text{ Hz}$$

wobei TOP der maximale Wert des Timers/Zählers ist.

Bei Verwendung eines gewöhnlichen Optokopplers mit einem Fototransistor, etwa dem 4N25, ist die Frequenz wegen der hohen Übergangszeiten begrenzt, daher habe ich den schnelleren Optokoppler 6N136 mit Fotodiode und mit einem Open-Collector-Ausgang verwendet. Um das Ausgangsrauschen zu minimieren, habe ich ein aktives Sallen-Key-Tiefpassfilter zweiter Ordnung mit einer Grenzfrequenz von etwa 11,2 Hz in den Signalpfad aufgenommen.

## Schaltung

Die Schaltung in **Bild 1** ist recht einfach. Die Isolation wird durch den Optokoppler gewährleistet. Natürlich muss man für diese Schaltung eine andere Stromversorgung als die des Arduino verwenden. Wenn die Isolation nicht erforderlich ist, wird die Sache noch einfacher. Schließen Sie das Filter direkt an den PWM-Ausgang an. In diesem Fall wird nicht einmal der Spannungsregler IC2 benötigt.

Ich empfehle, für IC1 einen zweifachen Operationsverstärker zu verwenden.

den, der für eine asymmetrische Versorgung geeignet ist, zum Beispiel den LM358. Der LM358 muss mit einer Spannung von mehr als 7 V (und weniger als 32 V) versorgt werden, um einen Ausgangsspannungsbereich von 5 V zu gewährleisten. Und bedenken Sie bitte: Der Regler besitzt eine Dropout-Spannung von etwa 2 V. Der Vorteil des offenen Kollektors des Optokopplers ist, dass man leicht einen anderen Ausgangsbereich einstellen kann. Bei einer Referenzspannung von 10 V und  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$  beträgt der Ausgangsspannungsbereich beispielsweise 0..10 V. In diesem Fall muss der LM78L05 durch einen LM317 mit entsprechender Beschaltung ersetzt werden. Die für das Filter verwendeten Kondensatoren müssen mit einem Kapazitätsmessgerät gemessen werden. Für meinen Prototyp habe ich für C3 einige 220-nF-Kondensatoren ausprobiert, um ein Bauteil mit einem Wert zu finden, der sich 200 nF annähert. Und für C4 habe ich einen Wert gewählt, der halb so groß ist wie C3.

## Ein Test

**Bild 2** zeigt die Ergebnisse der linearen Regression für die 14 Messpunkte, die ich an meinem Prototyp vorgenommen habe. Die Testbedingungen waren:

- PWM-Frequenz = 490,196 Hz
- $V_{in} = 12 \text{ V}$
- $V_{ref} = 5,00 \text{ V}$

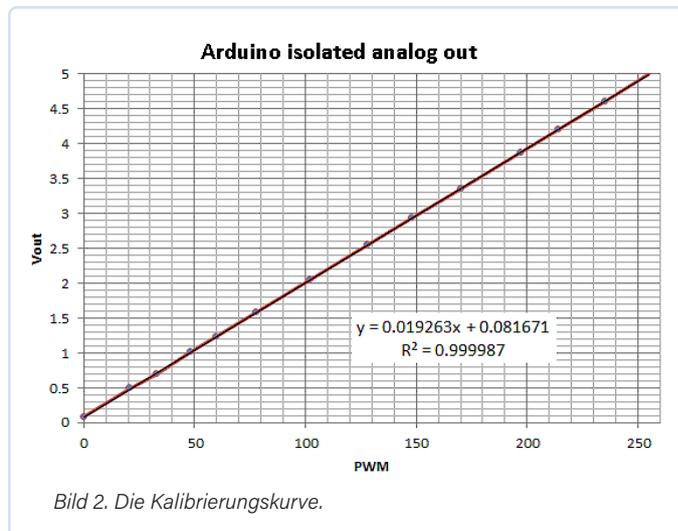
Der Standardfehler betrug nur etwa 6,1 mV, die Ergebnisse bei der Standard-PWM-Frequenz sind also sehr gut.

Ich habe die Schaltung auch bei einer Frequenz von 3921,569 Hz getestet, aber einen Standardfehler von 39 mV ermittelt. Die größten Fehler treten bei hohen Tastverhältnissen auf. In diesem Bereich sind die Impulse schmal und die Anstiegszeit hoch, und dies führt zu Nichtlinearität. Die Periode beträgt:  $T = 1/3921,569 = 255 \mu\text{s}$ . Der schmalere Impuls hat eine Dauer von etwa  $1 \mu\text{s}$ , was ungefähr der Anstiegszeit der Impulse entspricht. Die Ursache für die Nichtlinearität ist genau auf dieses Phänomen zurückzuführen. Bei der Standardfrequenz von 490,196 Hz ist die Dauer des minimalen Impulses achtmal länger, was die Linearität erheblich verbessert.

## Der Arduino-Sketch

Um das System zu testen, habe ich einen Arduino Uno mit einem LCD und dem Analogeingang A0 verwendet, der mit einem Potentiometer verbunden ist, um das Tastverhältnis der PWM zu variieren. Der Quellcode des Arduino-Sketches ist in **Listing 1** zu sehen. 

220136-02



## Listing 1. Der Quellcode [1]

```
// program to test Arduino Uno PWM at 3.9 kHz
// G. Carrera 30 sept 2016

#include <LiquidCrystal.h>

int PWMpin = 9; // PWM out on digital pin 9
int analogPin = 0; // potentiometer connected to A0
int val = 0; // variable to store the read value
char spacestring[17] = " ";

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  pinMode(PWMpin, OUTPUT); // sets the pin as output
  lcd.begin(16, 2); // set up number of columns and rows
  lcd.setCursor(0, 0); // set the cursor to column 0, line 0
  lcd.print("Stalker PWM"); // Print a message to the LCD
}

void loop() {
  val = analogRead(analogPin) >> 2; // read the potentiometer as 8 bit
  analogWrite(PWMpin, val);
  val = 255-val; // complement
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(spacestring);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(val);
  delay(500);
}
```



## Stückliste

### Widerstände:

R1 = 330  $\Omega$ ,  $\pm 5\%$   
R2 = 5k1,  $\pm 5\%$   
R3 = 100 k,  $\pm 5\%$   
R4 = 100 k,  $\pm 1\%$  Metallschicht

### Kondensatoren:

C1 = 100 n, keramisch  
C2 = 10  $\mu$ , 50 V Elko  
C3 = 200 n, Mylar,  $\pm 2\%$   
C4 = 100 n, Mylar,  $\pm 2\%$

### Halbleiter:

IC1 = LM358, Doppelopamp  
IC2 = LM78L05  
IC3 = 6N136

### Außerdem:

Arduino Uno Rev3

## Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel haben, können Sie sich an den Autor unter [g.carrera@elettronicaemaker.it](mailto:g.carrera@elettronicaemaker.it) oder an das Elektor-Team unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de) wenden.



## Passende Produkte

- > **Arduino Uno Rev3 (SKU 15877)** [www.elektor.de/15877](http://www.elektor.de/15877)
- > **W. A. Smith, Ultimate Arduino Uno Hardware Manual (Elektor 2021)**  
Buch, SKU 19678: [www.elektor.de/19678](http://www.elektor.de/19678)  
E-Buch (PDF), SKU 19679: [www.elektor.de/19679](http://www.elektor.de/19679)

## WEBLINK

[1] Download Quellcode: <https://www.elektormagazine.de/summer-circuits-2022>

Anzeige

R&S<sup>®</sup> ESSENTIALS

# PRECISION MADE EASY

Next-generation oscilloscope for accelerated insight



NEW R&S<sup>®</sup> MXO 4  
Series oscilloscope

The R&S<sup>®</sup>MXO 4 Series is the first of a new generation of oscilloscopes that excels in both performance and value. The instruments deliver a once-in-a-decade engineering breakthrough for accelerated insight. The R&S<sup>®</sup>MXO 4 Series oscilloscopes utilize leading-edge technologies to achieve fast and accurate results. Custom technology and innovative features in our oscilloscopes quickly boost your understanding of circuit behaviors.

[www.rohde-schwarz.com/product/mxo4](http://www.rohde-schwarz.com/product/mxo4)

ROHDE & SCHWARZ  
Make ideas real





# Betreten für Unbefugte verboten!

## Herr Karenovics entdeckt das Theremin

Von Gottfried Karenovics (Deutschland) und Eric Bogers (Elektor)

Wenn man Leute fragt, ob sie wissen, was ein Theremin ist, bekommt man in den meisten Fällen keine Antwort. Ein paar Leute meinen zu wissen, dass die Beach Boys in dem Lied „Good Vibrations“ ein Theremin benutzt haben - aber das ist nicht ganz richtig. Dieses Instrument wurde später entwickelt und funktioniert nicht berührungslos, sondern ist ein sogenanntes Elektro-Theremin [1]

*Schon in seiner Jugend hatte Gottfried Karenovics (geb. 1943, Chemielehrer im Ruhestand) gelesen, dass es möglich sei, „im Feld zwischen zwei Antennen“ Musik zu machen - ohne Saiten oder Tasten zu berühren. Die Idee ließ ihn nicht mehr los.*

„2008 entdeckte ich im Internet zufällig Lidija Kavina [2][3][4], die beste Theremin-Spielerin der Welt und Großnichte von Lew Termen, später Léon Theremin, der das gleichnamige Instrument 1920 erfand und es 1928 patentieren ließ [5]. Ich wollte unbedingt ein solches Instrument besitzen. Die zum Verkauf stehenden Theremins (die meisten von Moog) waren viel zu teuer, also beschloss ich, mein eigenes zu entwickeln. Und zwar nicht nur ein normales Instrument - ich wollte den ‚Steinway unter den Theremins‘ bauen.“

*Herr Karenovics ist Autodidakt in Sachen Elektronik. Im Rahmen seiner Doktorarbeit an der Universität Dortmund hat er zahlreiche Transistorschaltungen entwickelt, darunter eine zur Erkennung kleinster Wärmeströme. Die Entwicklung und der Bau des Theremins haben einige Zeit in Anspruch genommen, doch 2013 war sein (erstes) Instrument in Konzertqualität fertig (Bild 1 und Bild 2).*

„Mein Theremin hat drei Oszillatoren: zwei für die Tonhöhe (einen lokalen und einen variablen) und einen weiteren für die Lautstärkeeinstellung. Die Oszillatorschaltungen habe ich mit Hilfe von LTSpice entworfen und Schritt für Schritt verbessert und optimiert - bis sie nicht nur zufriedenstellend, sondern perfekt funktionierten. Die LC-Oszillatoren meines Prototyps arbeiten bei 530 kHz. Die Antennenschaltung ist eine Reihenschaltung



Bild 1. Gottfried Karenovics' Theremin in voller Pracht.

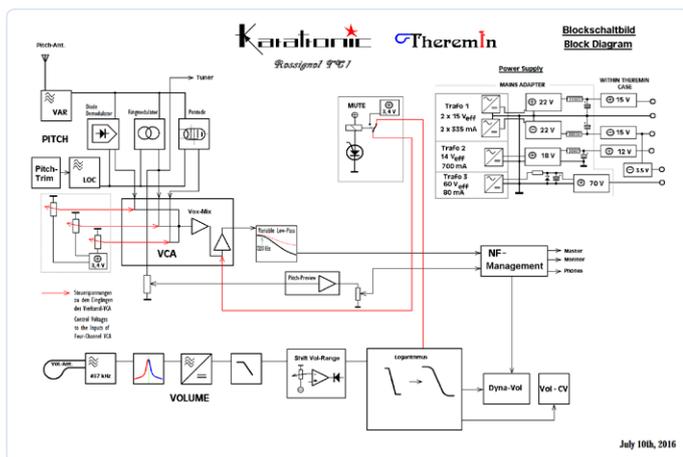


Bild 2. Blockschaltbild des selbstgebauten Theremins.

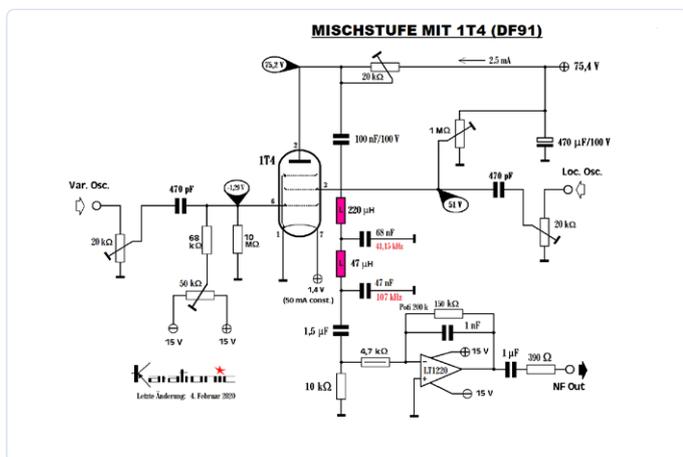


Bild 3. Die Mischstufe ist um eine 1T4-Röhre aufgebaut.

aus zwei Spulen mit einem kleinen Trimmkondensator dazwischen. Wenn die Resonanzfrequenz genau getroffen wird, wird das ‚Tonhöhenfeld‘ schön zylindrisch und linear.

Der Lautstärkeoszillator arbeitet mit 467 kHz. Die steile Filterschaltung (eine Reihenschaltung in der ersten Stufe und eine Parallelschaltung in der Rückkopplungsschleife) bietet einen großen Regelbereich - wenn man die linke Hand in oder direkt über die Schleifenantenne hält, wird das Rauschen vollständig unterdrückt. Bewegt man die linke Hand nach oben, erhöht sich die Lautstärke um bis zu 100 dB.

Die Tonhöhensteuerung besteht aus drei Demodulatorschaltungen: einem Ringmodulator, einem Diodendemodulator und der Schaltung um eine Miniaturpentode (eine 1T4-Röhre mit einer Anodenspannung von 70 V und einem Anodenstrom von 50 mA). Diese drei Signale können mit einem ‚Mixer‘ zusammengeführt werden und ergeben einen schönen Klang (Bild 3).

Im Gegensatz zu den Instrumenten des Marktführers Moog bietet mein Theremin eine einzigartige Frequenzstabilität. Das Instrument behält seine Einstellungen über Jahre hinweg - weil ich in den frequenzbestimmenden Schaltungen hochwertige Bauteile wie Glimmerkondensatoren und Ferritkernspulen verwendet habe. Der Moog Etherwave verstimmt sich innerhalb weniger Wochen bis Monate und muss dann neu kalibriert werden, was nicht so einfach ist.“

Bei einem Besuch in Colmar (Elsass) hat Lidija Kavina das Instrument von Herrn Karenovics gespielt und der Klang des selbstgebauten Theremins hat ihr besonders gut gefallen.

Ein Problem bei einem Theremin ist natürlich, dass der Spieler die Notenblätter nicht schnell umdrehen kann, da dies katastrophale Folgen für Tonhöhe und Lautstärke hätte. Herr Karenovics arbeitet daher an einer Notenrollmaschine, bei der die Notenblätter zu einer Rolle zusammengeklebt werden, die mit Hilfe von Pedalen vor- und zurückgerollt werden kann. Dazu hat er ein flaches Gehäuse mit Aluminiumrollen an den Seiten konstruiert, die von Servomotoren und Zahnriemen angetrieben werden. Leider hat das bisher nur bei dünnen Rollen gut funktioniert. Bei dickeren Rollen (mit anderen Worten: längeren Musikstücken) beginnt das Papier zu wellen und bleibt dann stecken. Es gibt also noch einiges zu tun, zum Beispiel mit Mitnehmern und Rutschkupplungen.

„Für das Gehäuse meines Theremins habe ich Plexiglas gewählt, weil es die elektromagnetischen Felder wenig bis gar nicht beeinflusst. Die Platinen für die Elektronik habe ich selbst entworfen, in Microsoft Paint gezeichnet und dann selbst belichtet und geätzt (Bild 4 und Bild 5). Paint ist ein sehr einfaches Programm, aber es hilft, gerade Linien zu zeichnen und das Platinendesign sauber zu halten.“

In seiner Werkstatt (Bild 6) hat Herr Karenovics nicht nur sein Theremin gebaut. Um 1997 herum entwickelte und baute er einen Elektromog-Detektor für niederfrequente elektrische und magnetische Störfelder. Es ist ein handliches kleines Gerät geworden, von dem er 20 Stück an einen kleinen unabhängigen Unternehmer in der Nachbarschaft verkauft hat. Und kürzlich baute er einen Timer auf Basis eines 7555, der das Windwerk einer Orgel ein- und nach einer festen Zeit von drei Stunden wieder ausschaltet, weil der Organist regelmäßig vergaß, den Motor der Pumpe abzuschalten.

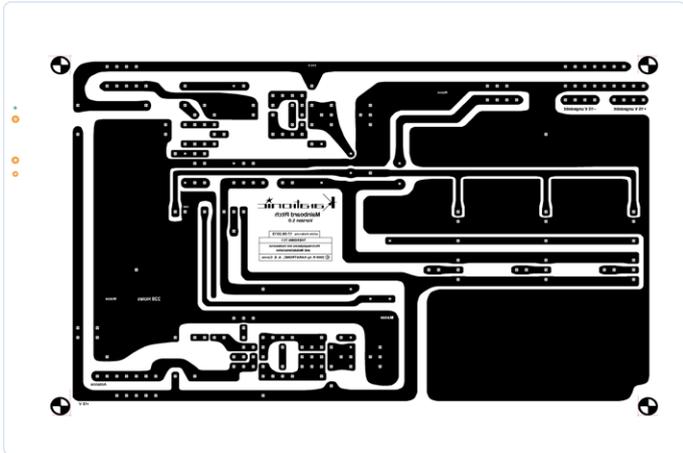


Bild 4. Auch mit Microsoft Paint lassen sich saubere Platinen entwerfen.



Bild 5. Ist Bier das Geheimnis einer gut geätzten Platine?

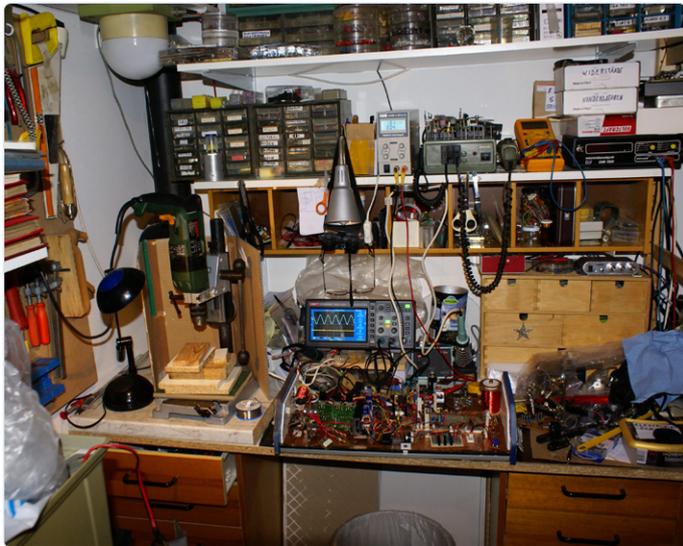


Bild 6. Hier gibt es noch viel zu tun!



Bild 7. Herr Karenovics spielt bei einem Auftritt natürlich auf seinem eigenen Instrument.

„Um das Theremin spielen zu können, muss man ein musikalisches Gehör haben, und es ist von Vorteil, wenn man bereits ein anderes Instrument spielen kann. Regelmäßiges Üben ist absolut notwendig, um eine Art Muskelgedächtnis anzutrainieren, so dass der Arm nach einiger Zeit ‚automatisch‘ weiß, wo welcher Ton ist. Und insgeheim hoffe ich immer noch, dass eine Firma genug Interesse an meinem Instrument hat, um es in Serie zu bauen...“

200717-02

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel? Bitte senden Sie eine E-Mail an den Autor über die Elektor-Redaktion unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

### WEBLINKS

- [1] Das Tannerin oder Elektro-Theremin, bekannt aus Good Vibrations: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tannerin>
- [2] Webseite von Lidija Kavina: [www.lydiakavina.com/](http://www.lydiakavina.com/)
- [3] Lidija Kavina, Biografie: [https://de.wikipedia.org/wiki/Lidija\\_Jewgenjewna\\_Kawina](https://de.wikipedia.org/wiki/Lidija_Jewgenjewna_Kawina)
- [4] So gut klingt ein Theremin: [www.youtube.com/watch?v=tXgkXTSTXgQ](https://www.youtube.com/watch?v=tXgkXTSTXgQ)
- [5] Biografie von Lev Termen: [https://de.wikipedia.org/wiki/Leon\\_Theremin](https://de.wikipedia.org/wiki/Leon_Theremin)

# E-FFWD

## electronica fast forward 2022 powered by Elektor

15. - 18. November, 2022,  
electronica, München

### Line-up und Zeitplan

Von Udo Bormann (Elektor)

Es war eine spannende Zeit! Elektor-Redakteure und -Ingenieure sowie Experten, die unsere Jury bilden, haben neue Technologier von verschiedenen Start-ups, Scale-ups und Unternehmen unter die Lupe genommen. Aber jetzt ist es Zeit für die Ergebnisse und wir freuen uns sehr, das endgültige Line-up für die diesjährige *electronica fast forward 2022 - powered by Elektor* bekannt zu geben. Wir haben neun Teilnehmer ausgewählt - jeder mit einer Technologie, die unsere Jury beeindruckt hat. Vom dünnsten induktiven Ladegerät bis hin zur autonom fahrenden Rolle werden wir herausragende Technologien und die Teams, die sie ermöglichen, vorstellen. Besuchen Sie uns auf der *electronica 2022* an unserem Stand in Halle B4.440. Treffen Sie die Teilnehmer und werfen Sie einen Blick auf diese Technologien. Dies könnte die beste Gelegenheit sein, sich frühzeitig mit einer herausragenden Technologie zu beschäftigen, die die Zukunft der Elektronik!

In einer feierlichen Zeremonie werden wir am Freitag um 11:00 Uhr drei Startup-Awards verleihen und die Preise überreichen. Die Gewinner erhalten einen Anteil an einem Elektor-Marketingbudget von insgesamt 150.000 €.



Hier die Übersicht der diesjährigen Teilnehmer am **electronica fast forward 2022 - powered by Elektor**, in alphabetischer Reihenfolge.

#### **AirHood (Frankreich)**

AirHood ist eine tragbare Dunstabzugshaube, die Fett, Rauch und Kochgerüche bereits an ihrem Entstehungsort absaugt und die Bildung von Ölfilmen auf Oberflächen verhindert. Sie hält die Luft und die Küchenarbeitsflächen sauber und verleiht jeder Küche einen freundlichen, aber nicht aufdringlichen Touch. <https://theairhood.com>



#### **AMSEL GmbH (Deutschland)**

AMSEL steht für „Advanced Materials and Surfaces for Environment and Life“. Die AMSEL GmbH hat sich zum Ziel gesetzt, durch den Einsatz der kompakten, sicheren, anwender- und umweltfreund-

lichen eBlaze-Technologie innovative und ökologische Lösungen für die chemiefreie Oberflächentechnik anzubieten. Ziele wie das blasen- und rückstandsfreie Lötten von Hochleistungselektronik, die Haftung von blasenfreiem Conformal Coating und die Herstellung einer dichten Klebelinie in Elektronikgehäusen können mit der Inline-Behandlung mit eBlaze gelöst werden.

### Ecurie Aix - RWTH Aachen University Project (Deutschland)

Der Name dieses Teams ist eine Anspielung auf die Motorsportgeschichte der Region Aachen. Weniger als eine Stunde entfernt liegt Spa-Francorchamps, die berühmte Rennstrecke, die nicht nur die weltberühmte Kurve Eau Rouge beherbergt, sondern auch das Formel-1-Team Ecurie Francorchamps - eines der dominierenden Motorsport-Teams seiner Zeit. Das französische Wort für Rennstall, Ecurie, wurde in den Namen des RWTH-Teams übernommen und mit Aix-la-Chapelle, dem französischen Namen für Aachen, kombiniert. Das Ecurie-Team wird sein neuestes Entwicklungsprojekt, den Rennwagen eax01, vorstellen, der elektrisch und autonom fahren kann.

<https://ecurie-aix.de>



ren Maßstab herzustellen, als es ihnen manuell möglich wäre. Ihr Produkt LumenPnP, eine Desktop-Pick-and-place-Maschine automatisiert die Bestückung von Platinen. Sie werden Ihre Platinen nie wieder von Hand bestücken! Mit dieser Open-Source-Maschine ist kein Outsourcing erforderlich. <https://opulo.io>

### Treesense (Deutschland)

Treesense ermöglicht es den Menschen, die Welt der Bäume besser zu verstehen. Sie setzen sich dafür ein, dass die Menschen die endlichen Ressourcen des Ökosystems nachhaltig nutzen können. Dazu gehören vor allem sauberes Wasser und Luft, Bodenfruchtbarkeit, ein gesundes Klima und Biotop sowie Artenschutz - insbesondere die Erholungsmöglichkeiten des Waldes. Sie erforschen und entwickeln Technologien auf der Grundlage neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse, die Bäume als zentralen Teil unseres Ökosystems behandeln. <https://treesense.net>



### V-Juice (Deutschland)

V-Juice dürfte das intelligenteste und beste Ladegerät sein, das man als Kunde kaufen kann. Es ist die dünnste und diskreteste Ladestation, die überall dort und immer wieder von Neuem installiert werden kann, wo es eine freie Fläche gibt. <https://v-juice.de>

**V-Juice**



### QUADRUPED Robotics (Deutschland)



QUADRUPED Robotics ist spezialisiert auf die Entwicklung und den Vertrieb von Forschungs- und Entwicklungskomponenten. Bei QUADRUPED Robotics liegt der Fokus auf der Anwendungsentwicklung für mehrbeinige Roboter, insbesondere auf Basis der Unitree-Produkte.

[www.quadruped.de](http://www.quadruped.de)

### Voltera (Kanada)

Voltera stellt Plattformen für additive Elektronik her, die es Produktentwicklern ermöglichen, die innovativen Lösungen von heute zu entwerfen - ob starr, weich, flexibel oder dehnbar. Voltera hilft Ihnen, die Brücke zu schlagen zwischen dem, was Sie tun können, und dem, was Sie gerne mit Elektronik tun würden. <https://voltera.io>



VOLTERA

### Opulo (Vereinigte Staaten)

Opulo entwickelt Maschinen, die es den Menschen ermöglichen, Produkte in einem größe-



### wheel.me (Schweden)

wheel.me ist die erste autonome Rolle der Welt, die eine Robotik-Komponente, eine Technologie für die Navigation in Innenräumen und Datenanalyse umfasst und es Ihnen ermöglicht, alles und jeden mühelos zu bewegen. <https://wheel.me>

**wheel\_me**

Planen Sie einen Besuch der Messe electronica? Verpassen Sie nicht die *electronica fast forward area*, wo wir in diesem Jahr unsere eigene „Spielwiese“ haben werden, auf der die Teilnehmer ihre Technologie in Aktion zeigen werden. Wenn Sie einen bestimmten Teilnehmer sehen möchten, der seine Technologie vorstellt, sehen Sie sich den unten stehenden Zeitplan an und tragen Sie den Termin in Ihre Agenda ein. Alle Präsentationen finden in Halle B4, Stand 440 statt. Natürlich hat Elektor einen eigenen Platz in diesem Bereich, und wir freuen uns, Sie dort zu treffen.

Am Freitag um 11:00 Uhr werden wir im Rahmen einer Feierstunde die drei Startup-Awards verleihen und die Preise überreichen. Die Gewinner erhalten einen Anteil am Elektor-Marketingbudget in Höhe von 150.000 €.

Natürlich wird Elektor in diesem Bereich einen eigenen Platz haben, und wir freuen uns auf Sie.

Hier ist der offizielle Zeitplan:

Zeitplan			
Datum	Beginn	Ende	Wer
Dienstag, 15. Nov.	10:00	18:00	Expert Meetup
	11:00	11:30	Treesense
	11:45	12:15	QUADRUPED Robotics
	12:30	13:00	AMSEL
	13:15	13:45	Ecurie Aix
	14:00	14:30	Voltera
	14:45	15:15	wheel.me
	15:30	16:00	Opulo
	16:15	16:45	Airhood
	Mittwoch, 16. Nov.	10:45	11:15
11:30		12:00	Voltera
12:15		12:30	wheel.me
12:45		13:15	Ecurie Aix
13:30		14:00	Treesense
14:15		14:45	AMSEL
15:00		15:30	Opulo
16:00		16:15	QUADRUPED Robotics
16:30		17:00	Airhood
Donnerstag, 17. Nov.	10:30	12:00	Official Pitch at Cyber Forum Hall B4
	13:00	13:30	Voltera
	14:00	14:30	QUADRUPED Robotics
	15:00	15:30	Ecurie Aix
Freitag, 18. Nov.	11:00	11:30	Ceremony



220422-01



**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.
- Schliffbildauswertung.
- Lot-Benetzungs-Test.
- Delaminations-Test.
- alle Fertigungsstätten halten ISO 14001 ein.

#### LPN Dienstleistungen

- Datenaufbereitung incl. Nutzenaufbau,
- Machbarkeitsprüfung,
- EMPB.
- geklebte Vorlagen digitalisieren.
- Filme digitalisieren.
- Leiterplatten clonen.
- Leiterplatten nachlayouten.
- Terminaufträge.
- Abruflager für Jahreslose.

Profitieren Sie von den LPN Qualitätsstandards und den weltweiten Kontakten.

#### LPN Leiterplatten Nord GmbH

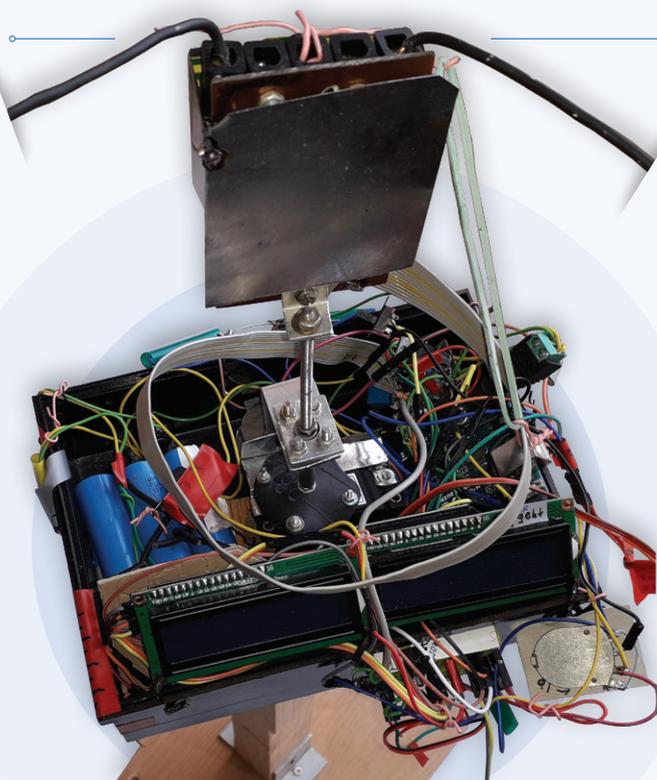
Hermann-Bössow-Straße 13-15  
23843 Bad Oldesloe  
leiterplatten-nord.de

#### Anfragen/Bestellungen:

lpn@lp-nord.de  
Telefon 04531 1708 0

# Sender- peilung

Verlorene Funk-Wettersensoren  
wiederfinden



Versuchsaufbau der Senderpeilung.

Von Rolf Hase (Deutschland)

In diesem Artikel geht es wenig bis gar nicht um Wettermesstechnik und Sensorik, aber vielmehr um das Auffinden eines funkbasierten Wettersensors mittels Senderpeilung. Wenn um eine Wetterstation herum mehrere solcher Wettersensoren in Betrieb sind, kann es schon einmal passieren, dass man den einen oder anderen nicht mehr lokalisieren kann. Sei es, weil er von Dornengestrüpp zugewuchert wurde oder sei es, dass man seinen Aufenthaltsort schlichtweg vergessen hat. Dieses Projekt hilft!

Eine gute Wetterstation kann nicht nur Lufttemperatur, Luftdruck und Luftfeuchte messen, sondern auch einigermaßen verlässliche Aussagen über das zukünftige Wetter treffen. Dazu gehören aber auch Messungen von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Niederschlagsmenge, Niederschlagsdauer, Beleuchtungsstärke der Sonne und so weiter, die eine ausgeklügelte Software im Mikrocontroller der Station auswertet. Es kann also eine Vielzahl entsprechender Sensoren zusammenkommen, die üblicherweise über Funk mit der Wetterstation verbunden werden (*connect & forget*), wobei uns hier vor

allem die 433-MHz-Modelle interessieren. Um einen verlorenen Wettersensor anpeilen zu können, muss man jedoch die Arbeitsweise einer Wetterstation kennen. Dabei geht es nicht darum, das spezielle Impulsschema bei einer bestimmten Marke aufzudecken, sondern einen Einblick in den Datenverkehr zu gewinnen. Denn so extrem viele Übertragungsvariationen für ein serielles Bitmuster gibt es neben Manchester- oder Ethernet-Code ja nun auch wieder nicht und durch „rtl\_433“ [1] kann man den Datenverkehr eines jedes Sensors ohnehin leicht dekodieren (trotz der Bezeichnung für eine ganze Reihe von Frequenzen).

Es gibt im Internet sogar eine kompilierte Version, allerdings nur für 433 MHz.

## Grundlagen

Ohne also Geheimnisse auszuplaudern, kann man davon ausgehen, dass die Sendefrequenz einer Wetterstation im ISM-Band (industrial, science, medical) bei 433,92 MHz oder auch 868 MHz liegt, stabilisiert durch einen Resonator. Hierin liegt das Problem, denn alle Sender in der Umgebung, eigene und fremde, arbeiten auf dieser beziehungsweise diesen beiden Frequenzen. Die üblicherweise von zwei Mignon-Zellen versorgten Geräte sind, bedingt durch einen kurzen Impulsbetrieb, sehr energiesparend und senden im Milliwatt-Bereich. In einem großen zeitlichen Abstand, im vorliegenden Fall 44 s, werden ein bis drei Datenpakete verschickt (**Bild 1**). Dieser Betrieb vollzieht sich mit relativ hoher zeitlicher Präzision, denn selbst bei der einfachsten Wetterstation kann man von Quarzgenauigkeit ausgehen. Diese Präzision gibt dem findigen Bastler die Möglichkeit, seinen eigenen Sensor zu priorisieren, indem er einen kleinen DIL-Schalter in die Plus-Versorgungsspannungsleitung des Empfängers einfügt. Nach längerem, zwei bis drei Sekunden währenden Druck auf die

entsprechende Taste gelangt die Wetterstation in den Suchmodus, bei dem der Empfänger für zwei bis drei Minuten dauerhaft mit Strom versorgt wird (siehe dazu unten). Dabei blinkt das Empfänger-Symbol. Sobald der eigene Sensor erkannt ist, wird der DIL-Schalter betätigt. Damit ist nur der eigene Sensor im Zeitregister vorge­merkt. Nach Ablauf des Suchmodus wird wieder eingeschaltet, und damit ist für längere Zeit die Ordnung hergestellt.

Auch bei der meist ebenfalls batterie­betrie­benen Empfangsstation kommt es aufs Stromsparen an. Hier wird die hohe zeitliche Wiederholgenauigkeit der Telegramm-Aussendung genutzt, um durch ein Schaltsignal den Empfänger zur richtigen Zeit einzuschalten. Wenn man einen Breitband-Empfänger (wie meinen guten alten ICOM PCR1000 [2]) in die Nähe des Empfängers hält, kann man den Beginn des Rauschens des Reflex-Empfängers (je nach Variante auch Pendel-Audion oder Supergenerativ-Empfänger genannt) kurz vor dem Telegramm hören. In heutiger Zeit wurde durch die entsprechende Transistor­technik der Reflexmodus sogar im UHF-Gebiet möglich. Deshalb auch das Rauschen am PCR1000, weil die hohe Verstärkung durch Pendeln zwischen Schwingen und Nicht-Schwingen erreicht wird. Es gibt hier natürlich auch den Superheterodyn-Empfänger, kurz Superhet genannt. Der Unterschied ist, dass der Superhet eine Empfindlichkeit von -112 dBm aufweist, während der einfache Empfänger etwa 6 dBm schlechter ist. Soweit der kleine Exkurs über Wetterstationen, HF und Elektronik zur Vor­be­rei­tung der Problematik Senderpeilung.

### Von der Idee ...

Folgende Ausgangssituation liegt also vor: Sensor und Wetterstation arbeiten ordnungsgemäß, aber der unbekannt Standort des Sensors soll ermittelt werden. Dabei ist ein Oszilloskop wie mein bei Elektor erworbenes PicoScope mit seinen exzellenten Triggereigenschaften auf rein digitaler Ebene sehr vorteilhaft. Im Peilempfänger habe ich den kleinen Superhet-Empfänger Typ RX 4MM5 von Aurel [3] eingesetzt. Für die Vorversuche zur Aufnahme des zutreffenden Telegramms ist am fast fliegend aufgebauten Superhet

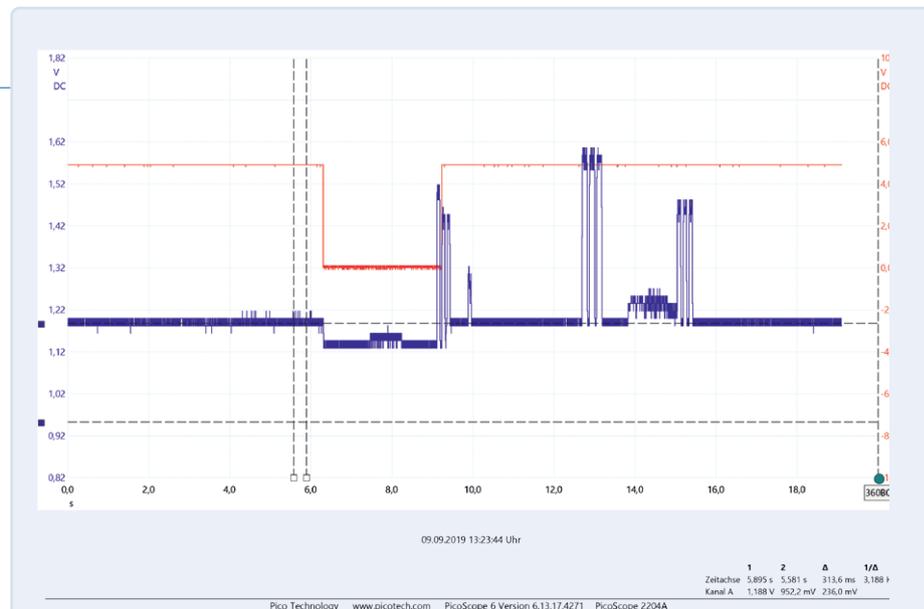


Bild 1. Auf dem 433-MHz-Band ist viel los: Hier die Signale verschiedener Sendemodule. Die mittlere Impulsfolge ist die gesuchte.



Bild 2. Die Auswahl des mittleren Impulses ist zeitkritisch.

lediglich eine kurze Antenne von etwa 16 cm Länge erforderlich. Die Aufbau-Hinweise im Datenblatt sind insoweit zu beachten, dass entweder ein schmales Stück Leiterplatte oder zumindest stärkere Drähte als Lötstützpunkt für die Masse verwendet werden. Zahlreiche getestete Typen anderer Superhets wiesen nicht beeinflussbare Dauerschwingungen auf. Um sich zu orientieren, habe ich am Impulsausgang (Pin 14 des RX 4MM5) eine Ohrhörer-Auskopplung über 470 Ω und einen kleinen Elko vorgesehen. Parallel wurde das Geschehen am PCR1000 verfolgt, ebenfalls mit kurzer Drahtantenne von circa 16 cm. Als Betriebsart des Oszilloskops muss

Single ausgewählt werden, weil nur so auf das gewünschte Ereignis, die gesuchte Impulsfolge, getriggert werden kann. Um das richtige Telegramm herausfiltern zu können, wurde an der Empfangs-Wetterstation ein „Batterie-Reset“ (tatsächlich, die Batterie wird kurzzeitig entfernt und wieder eingesetzt) durchgeführt, weil damit automatisch die Sensorsuche gestartet wird. Die Wetterstation zeigt dann einen gültigen Wert sofort an, sobald er vom Sensor kommt, der dann zeitgleich mit dem Oszillogramm übereinstimmen sollte, falls keine Störung durch ein anderes Signal vorlag. Aus dem Oszillogramm lassen sich dann

die Zeiten für Impulspaket und Pause ablesen (**Bild 2**, das am bereits fertigen Gerät aufgenommen wurde). Die Länge des relevanten Pakets beträgt 321 ms, ein anderes Paket hat eine Länge von 340 ms. Dieses Verfahren ist also relativ zeitkritisch, aber machbar und erspart die Suche nach einer Identnummer in den Einzelimpulsen. Die so ermittelten Zeiten ändern sich nicht und wurden in die Software des Senderpeilers aufgenommen. Die Kurve zeigt auch die Pegelabsenkung infolge der Antennen-Umschaltung durch die PIN-Dioden (siehe dazu unten), die dann einen geringeren Pegel ergaben. Durch diese hohe Messdynamik werden diverse Fehler ausgeschlossen, die bei Hand-Peilung zwangsläufig auftreten. Die obere rote Kurve in Bild 1 zeigt mit dem digitalen L/H-Übergang an, dass der Arduino den richtigen, mittleren Impuls sowie die Impulspause erkannt hat und kurz danach den Pegel des zweiten Impulses ausmisst, der dann in der unteren Zeile des Displays angezeigt wird. Die Auswertung des Pegel-Signals birgt auch Risiken, da durch den Tiefpass auch eine Flankenschräge auftritt, die über Pegelhöhe (Nähe zum Sender) und Schwellwert auch die Zeit beeinflusst, die das Auswertekriterium des Arduino ist. Die Methode hat sich aber bewährt. Alternativ müsste mit einer Halteschaltung die Länge des Datensignals (die aufgelösten Impulse) ausgewertet werden, man hat es dann aber auch wieder mit Zeitkonstanten zu tun. Ich wollte mich ja auch nicht so abschnitten wie die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bei einer Fuchsjagd (siehe **Kasten**), denn besser ist es, wenn der Motor eines Servos rotiert statt der Funkamateurliebhaber selbst. Von dieser Erkenntnis bis zum automatisierten Servobetrieb ist es kein großer Schritt mehr. Doch ganz so einfach war der Entwicklungsschritt zum einsatzfähigen Gerät aber dann doch nicht. Ich hatte nämlich vorher wegen der geringen Bandbreite auch eine 70-cm-Yagi-Antenne mit sechs Elementen aus Draht aufgebaut und damit Versuche im Garten gemacht. Die Versuche waren wegen des langen Signalintervalls ziemlich zeitaufwändig, aber letztendlich ergebnislos. Besser ist eigentlich der Aufbau wie bei einem Fuchsjagd-Empfänger [4] [5]: ein separates handliches, HF-mäßig abgeschlossenes Gerät mit eigener Strom-

versorgung, ohne störendes Kabel, welches beim Bewegen womöglich das Feld verändert. Zudem kommt beim realen Einsatz an einer Wetterstation noch die schwierige Aufgabe für das Oszilloskop hinzu, alle 44 s das kurze und dazu noch richtige Signal unter einer Vielzahl von Signalen zu erwischen und trotz größerer Schwankungen die Signalthöhe vergleichbar zu halten. Das ist einfach nur aussichtslos, so dass der Einsatz eines Servos zum automatischen Drehen der Antenne(n) alternativlos war.

### ... zur Schaltung

Man kennt aus Büchern wie der „Antennenbibel“ Rothammel die schönen Antennendiagramme (horizontal und vertikal). Zu deren Aufnahme sind ein ideales Freifeld und eine exakte Messtechnik erforderlich. Im vorliegenden Fall kommt es aber nicht auf genaue Werte für jeden Winkel, sondern auf die Richtung des Minimums an. Außerdem sollte man auch nicht die Nachbarschaft mit einem Dauerstrichsender verärgern. Um die in etwa zu erwartende Richtcharakteristik zu erfassen, habe ich ein kleines, preiswertes Sendemodul mit Resonator (die Fernbedienung einer Funksteckdose auf 433,92 MHz mit festgeklemmter Taste erfüllt diese Aufgabe kurzzeitig auch) in möglichst großer Entfernung (7... 8 m) vom Haus angeordnet. Empfängerseitig wurde mit dem Poti, welches proportional den Servo-Winkel steuert und sowieso für dynamische Tests des mechanischen Aufbaus erforderlich war, sowie einer Grad-Schablone das Antennendiagramm in 30-Grad Schritten aufgenommen. Hierzu sind entsprechende Steuerungsprogramme geladen worden. Durch solche Vorversuche klug geworden, habe ich einen Peilempfänger aus folgenden Elementen zusammengestellt, wie sie die Schaltung in **Bild 3** zeigt: Die beiden  $\lambda/4$ -Antennen stehen im Winkel von 90 Grad zueinander. Durch die PIN-Dioden sind beide Antennen nie gleichzeitig eingeschaltet und sollen sich so wenig wie möglich gegenseitig beeinflussen. Zur **Filterung** kann bei Bedarf ein T-Tiefpass, bestehend aus zwei Luftspulen aus versilberten Kupferdraht, drei Windungen auf 3-mm-Dorn gewickelt, mit  $C = 2,2 \text{ pF}$ , jeweils direkt an beiden Antennen angeord-

net werden (nicht im Schaltplan eingezeichnet). Hier ist eine Leiterplatte von Vorteil, weil ein kurzer, kompakter Aufbau mit Antennenklemmen und PIN-Dioden möglich wird. Die Kondensatoren dienen als Lötstützpunkte.

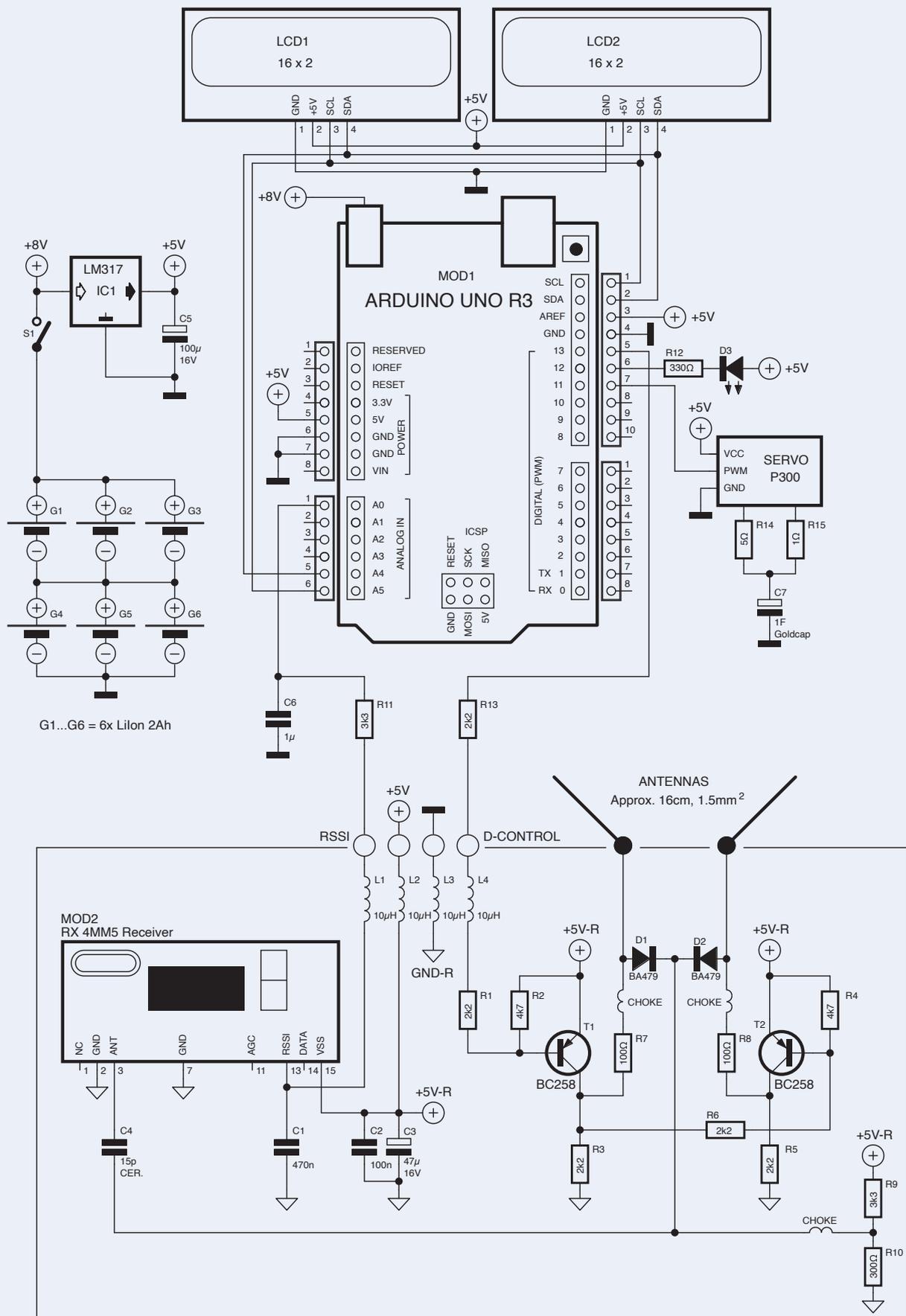
Das **Superhet**-Empfangsmodul RX 4MM5 erhält das Signal der Antennen und gibt unter anderem die Signalstärke RSSI aus. Nur dieses analoge Signal, das im Bereich von etwa 1,2 V (bei -120 dBm) und 2,2 V (bei -30 dBm) liegt, wird genutzt und über einen Tiefpass (3,3 k, 1  $\mu\text{F}$ ) geglättet dem Analogeingang Ao des Arduino zugeführt.

Der **Arduino** führt drei Aufgaben durch: Er wertet das geglättete RSSI-Signal des Empfängers aus und zeigt das Ergebnis seiner Bemühungen auf zwei 16x2-Displays. Der Arduino aktiviert eine der beiden Antennen und steuert zudem den Servo in die jeweilige Position, in der gemessen werden soll.

Der **Servo** überstreicht, beginnend ganz links, einen Bereich von ungefähr 180 Grad in sechs Schritten á 30 Grad, besitzt also sieben Messpunkte. Wenn ein gültiges Telegramm erkannt wird, wird der Messwert von Impuls 1, entsprechend der Antenne links, auf die obere Zeile des linken **Displays** ausgegeben. Vor dem Impuls 2 im selben Paket von drei Impulsen, wurde durch die PIN-Dioden die Antenne rechts aktiviert; und dann nach einer Beruhigungszeit von einigen Millisekunden der Wert von Impuls 2 gemessen und auf der unteren Zeile ausgegeben. Danach dreht der Servo weiter und wartet auf das nächste Telegramm.

Das Minimum der Werte zeigt dann die Richtung zum Sender an, was weiter unten noch genauer spezifiziert wird. Das rechte Display dient wie das Potentiometer rechts und das Steckbrett vorn der Diagnose und genauerer Untersuchung (zum Beispiel der Steuerung des Servos über ein Poti als Vorstufe der Entwicklung).

Wie zu erwarten, liegt das Minimum etwa rechtwinklig zur scheinbar gebildeten Pfeilrichtung der beiden Antennen, die, wie im Versuchsaufbau zu sehen ist, in einen Winkel von 90 Grad angeordnet sind. Obwohl die Antennen elektrisch durch die BA479 getrennt sind, wirkt die linke Antenne (entsprechend der Theorie



200636-008

Bild 3. Die Schaltung des Peilempfängers. -R: Empfängerseite;  $\lambda/4$ -Drossel (choke): 16 cm CuL 0,2 auf Dorn 3 mm. Verbindung zum drehbaren Antennenmodul: 14-poliges Flachbandkabel, flexibel, 3\*  $\lambda/4$ , 50 cm. BA479: PIN-Diode.

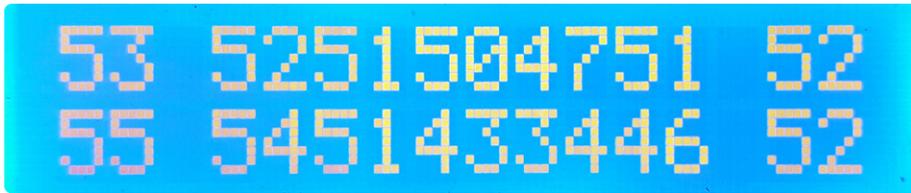


Bild 4. Anzeigen im Display.

der Yagi-Antennen mit dem Aufbau: Direktor(en), Dipol, Reflektor) für die rechte Antenne in einem bestimmten Winkel als Direktor, da sie dafür aber zu lang ist, eher als Reflektor, dämpft also diese Richtung. Das ist gut im Display (**Bild 4**) zu sehen, die „optische Pfeilrichtung“ der Antenne zeigt hin zur bereits bekannten Position des Wettersensors in etwa 5 m Entfernung. Von links beginnend zeigen die Wertepaare 4: 50/43, 5: 47/34 und 6: 51/46. Insbesondere mit dem Wert 34 der rechten Antenne (unten im Display), die nun von der linken Antenne abgedeckt wird, ergibt sich genau dieser Effekt. Damit ist die Definition der Peilrichtung festgelegt. Ein weiteres Kriterium ist die absolute Höhe der Werte, da die Feldstärke aufgrund der Flächenausbreitung quadratisch mit der Entfernung abnimmt.

Damit der Peilempfänger autonom arbeiten kann, wird er von sechs **LiIon-Akkus** (zwei in Reihe, dreimal parallel) versorgt. Die Ausgangsspannung wird für den Betrieb der Elektronik von einem Festspannungsregler LM317 auf 5 V reduziert. Beachten Sie, dass die Versorgungsspannung der Antennenschaltung direkt an Pin 15 des Empfangsmoduls abgegriffen werden muss!

### Aufgaben der Software

Wenn man wie ich viel in Assembler programmiert hat, bei der die Software des Rechners die Hardware ja praktisch genau nachbildet und man sich üblicherweise um Fragen der Echtzeit weniger Gedanken machen muss, treibt einen bei zeitkritischen Anwendungen die Skepsis um, ob eine Hochsprache wie Arduino-C ebenfalls in Echtzeit arbeiten kann? Es erscheint alles sehr einfach, wenn die Hochsprachen nicht so ihre internen Vereinbarungen hätten, die man wissen oder ausprobieren muss. Die Initialisierungsphase des Sketches [6] ist nicht weiter zu erklären. Der Schwellwert wird hier definiert und muss eventuell angepasst werden. Zu nennen ist eine Beruhigungszeit von einigen Sekunden, um den Arduino „anzuheizen“. Im Gegensatz zum ESP32, der nur analoge Schätzwerte liefert, besitzt der Atmel

ATmega328 einen genauen AD-Wandler, der hier auch gebraucht wird. In der Loop-Schleife wird dann gleich der Analogwert aufgerufen. Dazu gibt es die beiden Routinen **MessWert** und **TestWert**, die sich nur in der Anzahl der Messwerte der Mittelung unterscheiden, je nach vorhandener Zeit. Nach der Entprellmaßnahme wird die Länge des High-Impulses gemessen. Dazu wird die Funktion **millis()** verwendet, die auf einer Differenzmessung beruht, was bedeutet, dass man den Anfangswert abspeichern muss. Entsprechend der Messung mit dem Oszilloskop muss der High-Impuls im Bereich 63...76 ms liegen. Ist die Bedingung erfüllt, wird der Marker **Block1** auf 1 gesetzt. Anschließend wird noch die Pausenzeit gemessen. Liegt die Gesamtzeit im Bereich 117...127 ms, ist der gesuchte Sensor gefunden und **Block1** wird auf 2 gesetzt. Nach einer Wartezeit für den Flankenanstieg des zweiten Impulses (**delay (20)**) wird **Wert2** für die gleiche vhorizontale Drehung ermittelt und später unter **Wert1** ins Display geschrieben. Der Rest ist Routine. Mit dem Parameter **k** werden die sieben Positionen des LCD bedient, bis maximal zur 37. Sekunde und mit genügend Abstand zur 44. Sekunde, in der die nächste Messung des Sendetelegramms erfolgt.

Die Frage der Echtzeitfähigkeit des Arduino konnten softwareseitig im Sketch mit genau dieser Anordnung von **while**- und **for**-Schleifen gelöst werden. Allerdings musste ich die Klammern durchnummerieren, weil sonst bei etwa zehn Schleifen die Übersicht verloren gegangen wäre. Wenn die Software auf den Impuls wartet, darf sie sich nicht mit anderen Dingen als dem Warten beschäftigen. Insbesondere die Display-Ansteuerung beansprucht an die 20 ms, was während einer Impulslänge von 75 ms und einer Pause von 50 ms natürlich nicht geht. Allerdings weiß man, dass nach einem erkannten Telegramm 44 s Ruhe auf dem Kanal ist. Das ist Zeit genug! Die relevanten Zeiten für Impuls und Pause werden mit einer gewissen Toleranz abgefragt. Kritisch ist auch die Triggerschwelle des Impulses. Hier wurde über eine vertretbare Zeit

eine Mittelung durchgeführt. Wie gesagt, genauso wie hier programmiert funktioniert es. Vor Änderungen, außer der Zahlenparameter der Impulse, sei deshalb gewarnt, es sei denn, man behält das „Klammer-Schema“ bei. Die im Internet gefundenen und modifizierten Hilfsprogramme, zum Beispiel für die Servo-Steuerung, sind zum Teil auch im Download zu diesem Artikel [6] für eigene Experimente zu finden.

### Kammerspiele

Beim Peilempfänger wurde auf erhöhte Schirmung Wert gelegt und der Empfänger zusätzlich mit Weißblech ummantelt, um auch starke Mobilfunksender abzuschirmen. Es kam mir zupass, dass ich früher sehr viele HF-Geräte (Verstärker, Konverter) im Leiterplatten-Kameraaufbau gefertigt habe. Dabei werden die Platinenabschnitte entsprechend der vorhandenen Antennen-Anschlussdose auf Maß gesägt und verlötet, mit Zwischenkammern für die Verstärkerstufen, und so nahe wie möglich an der Antenne angeordnet. Der Superhet-Empfänger wurde wegen der im Datenblatt empfohlenen großen Massefläche auf einem Stück Leiterplatte angebracht. Wenn man nicht gerade im Strip-Line-Bereich tätig ist, sind geätzte Leiterbahnen im UHF-Bereich aber eher ein Hindernis.

Das Gerät ist in sich kompakt aufgebaut, so dass keine innere Kammer-Schirmung erforderlich ist und nur der gesamte Empfangskomplex mit Weißblech verlötet und damit geschirmt wurde. Ein freier Aufbau/Betrieb des Moduls zum Beispiel in einer Wetterstation ist nur möglich, wenn die Masseverbindung an den Pins kurz und nicht zu dünn ausgeführt wird und die Elko-Abblockung an Ort und Stelle stattfindet.

Der mechanische Aufbau sollte, wie oben begründet, möglichst autark erfolgen. Hierzu dienen auch sechs LiIon-Standardzellen, was elektrisch überdimensioniert ist, aber Sicherheit im Betrieb und Standfestigkeit gibt. Auf einem Brett als Standfuß wurde ein Vierkant-Holz geschraubt und darauf ein Bakelit-Kasten, in dem Akkus, Arduino und zentral der Servo Platz fanden. Über dem Servo wurde mittels Winkelblech ein kleines Kugellager für eine M4-Gewindestange montiert. Am oberen Ende ist der Empfänger über einen kleinen Winkel

angeschraubt. Die elektrische Verbindung zum Empfänger erfolgt über ein bewegliches 14-poliges dünnes, elastisch aufgehängtes Flachbandkabel mit einer Länge von etwa 50 cm. Das entspricht  $3 \cdot \lambda/4$  und unterstützt die im Empfänger in alle Zuleitungen eingefügten 10- $\mu$ H-Drosseln.

So viele Drähte, wie im **Titelbild** zu sehen, sind eigentlich nicht erforderlich. Alle Signal- und Versorgungsleitungen wurden nämlich zwischen Masseleitungen eingebettet, was eine gute Schirmwirkung zur Folge hat und nur wenig schlechter als ein richtiges koaxiales Kabel ist.

Ich hatte zunächst einen Miniatur-Servo eingebaut, da sich die Anordnung spielend leicht drehen ließ. Das war aber ein Trugschluss, denn es ist auch das Trägheitsmoment zu beachten. Und weil der Servo mit seiner Brückenschaltung am Motor keine Intelligenz besitzt und im Einschaltmoment erst mal tut, was er will, war das kleine Getriebe schnell kaputt. Ich hatte noch einen Servo des Typs PS300 mit stärkerem Drehmoment auf Lager. Aus Schaden wird man klug! Zur Sicherheit habe dann ich direkt in die Motorleitung ein RC-T-Glied mit 1  $\Omega$  und 5  $\Omega$  und zwei Goldcaps mit zusammen 1 F eingeschleift, was das Anlaufen immerhin für etwa 1 s ausbremst. Zusätzlich habe ich auf den Mitnehmer eine aus einem Fahrrad-schlauch zugeschnittene Gummischeibe geschraubt, die dann die Gewindestange antreibt und ruckartige Bewegungen dämpft. Diese Maßnahmen haben das dynamische Antriebsproblem entschärft. Wenn es im Amateurbereich um Senderpeilung geht, sollte unbedingt auch der sogenannte Spandaupeiler erwähnt werden, der immer noch bei Funkamateure.de [7] angeboten wird. Hierbei werden im VHF- Bereich noch mehr Antennen als hier geeignet miteinander verknüpft. Der Spandaupeiler wurde in Zeiten des kalten Krieges in Westberlin bei der Jagd auf Stasi-Spione eingesetzt. Allerdings bestand dort nicht das extreme Signal-Tastverhältnis wie beim Wetter-Sensor von 44 s zu 0,4 s. Auf der nach oben offenen technischen Skala wäre allerdings eine Verknüpfung der beiden Verfahren mittels Umschaltdiode BA479 denkbar. ◀

200636-02

## Der gemeine Funkamateur

Wer jagt den Fuchs in Feld, Wald und Flur? Es ist der sportive Funkamateur!



(Foto von K. Theurich, aus Funkamateureur 9/88, mit freundlicher Genehmigung der Funkamateureur-Redaktion)

Da soll noch jemand behaupten, der gemeine Funkamateureur (imperitus scintillae vulgaris) würde ein einsames und graues Leben in seiner Funkbude verbringen, mit Kopfhörern verzückt verrauschten Piepsignalen lauschen und sich von lauwarmer Pizza und klebrigen Süßgetränken ernähren. Nein, denn manchmal sieht der aufmerksame Naturbeobachter bunt gewandete Gestalten mit seltsamen Metallrohrkonstruktionen über die Felder hetzen und durch das Unterholz krabbeln. Warum tut der Funkamateureur so etwas?

Geht es dabei um gemeinschaftliche Futtersuche oder handelt es sich gar ein besonders ausgefallenes Paarungsritual? Nein, nein, nichts davon! Der Amateureur-funker begibt sich auf eine „Fuchsjagd“, was nicht heißt, dass er dabei scharf auf unschuldige Tiere schießt. Im Gegenteil, er übt sich vielmehr im harmlosen „Amateureur-funkpeilen“, wie es im Jargon des DARC korrekt heißt. Es geht darum, mit Hilfe eines leichten, tragbaren Peilempfängers, mit Karte und Kompass im Gelände versteckte Sender aufzuspüren, die üblicherweise im 80-m-Band (3,579 MHz) oder - schwieriger - im 2-m-Band (144,5 MHz) arbeiten. Dabei kann es sich um ein gemütliches Freizeitvergnügen für Jung und Alt handeln, es gibt aber auch (besonders in Osteuropa) ernsthafte und anspruchsvolle Wettbewerbe bis hin zu Weltmeisterschaften. Impressionen und Informationen gibt es bei [5].

## Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Wenden Sie sich an den Autor unter [rolf.hase@arcor.de](mailto:rolf.hase@arcor.de) oder schreiben Sie eine E-Mail an die Elektor-Redaktion unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).



## PASSENDE PRODUKTE

- **Arduino Uno Rev3 (SKU 15877)**  
[www.elektor.de/15877](http://www.elektor.de/15877)
- **PicoScope 2204A USB-Oszilloskop (10 MHz) (SKU 17303)**  
[www.elektor.de/17303](http://www.elektor.de/17303)



## WEBLINKS

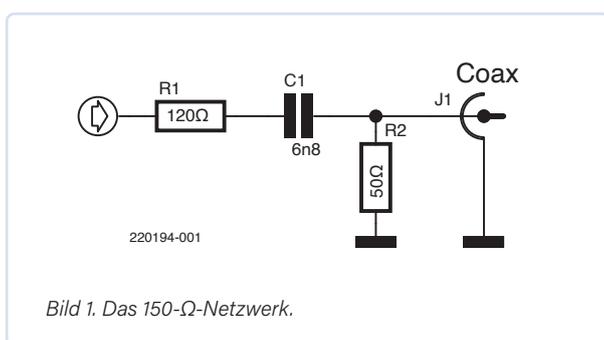
- [1] [rtl\\_433 auf GitHub: https://github.com/merbanan/rtl\\_433](https://github.com/merbanan/rtl_433)
- [2] [IC-PCR1000: https://bit.ly/39aJdYR](https://bit.ly/39aJdYR)
- [3] [RX 4MM5: https://www.velleman.eu/downloads/7/rtl433\\_usersmanual.pdf](https://www.velleman.eu/downloads/7/rtl433_usersmanual.pdf)
- [4] [Über die Fuchsjagd: https://de.wikipedia.org/wiki/Amateurfunkpeilen](https://de.wikipedia.org/wiki/Amateurfunkpeilen)
- [5] [ARDF-Funksportreferat beim DARC: https://ardf.darc.de/pubrel/wasist.htm](https://ardf.darc.de/pubrel/wasist.htm)
- [6] [Downloads zu diesem Artikel: https://www.elektormagazine.de/200636-02](https://www.elektormagazine.de/200636-02)
- [7] [Spandau-Peiler im „Funkamateureur“ 9-11/2011: https://www.box73.de/product\\_info.php?products\\_id=2503](https://www.box73.de/product_info.php?products_id=2503)

# Das interne Rauschen eines ICs abschätzen

Mit einer einfachen Methode

Von Mario Rotigni (Italien)

Man kann einen einfachen Messkopf verwenden, um das interne Rauschen integrierter Schaltungen zu bewerten. Der Bau und die Verwendung einer solchen Sonde können nützliche Informationen liefern und es ermöglichen, die Wirksamkeit einer Änderung zu überprüfen, die zur Reduzierung des Rauschens auf den Stromversorgungs- oder Signalleitungen vorgenommen wurde. Dies kann bei der EMV-Fehlersuche sehr helfen.



Die Quelle der elektromagnetischen Emission moderner elektronischer Geräte lässt sich häufig auf einen integrierten Schaltkreis zurückführen. Die Industrie hat internationale Normen entwickelt, um spezielle Prüfverfahren auf der Ebene der integrierten Schaltkreise zu spezifizieren, die keine teuren Infrastrukturen erfordern. Ein in der Halbleiterindustrie beliebtes Verfahren wird von der IEC61967-4 vorgeschlagen. Sie wird als „150-Ω-Direktkopplungsmethode“ bezeichnet. Diese Methode ermöglicht die Messung des elektromagnetischen Rauschens an einem bestimmten Pin einer integrierten Schaltung. Sie erfordert die in **Bild 1** dargestellte einfache Schnittstellenschaltung (das 150-Ω-Netzwerk). Der Eingang auf der linken Seite ist mit dem gewünschten Messpunkt verbunden. Der Ausgang des Verbinders J1 wird in der Regel an einen Spektrumanalysator angeschlossen, der die Amplitude des Rauschens im Frequenzbereich darstellt. Das 150-Ω-Netzwerk ist im Grunde ein Hochpassfilter, das zwei Hauptfunktionen hat. Erstens belastet es den Messpunkt mit einer bekannten Impedanz (etwa 150 Ω, wie der Leser erraten kann), was einen Vergleich verschiedener Messungen ermöglicht, da diese unter gleichbleibenden Bedingungen durchgeführt werden. Zweitens bietet das Netzwerk dem Messgerät die erforderliche 50-Ω-Impedanz. Der Kondensator verhindert auch, dass an den sehr empfindlichen Eingängen eines Spektrumanalysators zu hohe Gleichspannungspegel anliegen können. Aus technischer Sicht wird die leitungsgebundene Emission des untersuchten Knotens gemessen - die unbeabsichtigte Hochfrequenzspannung, die sich über die physikalischen Verbindungen ausbreitet.

## Messungen

Die Messung der abgestrahlten Emissionen ergänzt in der Regel die Untersuchung der integrierten Schaltungen, ist aber nicht Teil dieses Artikels. Es ist möglich, an den Stromversorgungspins zu messen, typischerweise mit einem Koppelkondensator von 6,8 nF, aber auch an den Eingangs- oder Ausgangspins. Da die Ausgangspins aktiv sein können, zum Beispiel zur Übertragung eines Taktsignals an einen externen Peripheriebaustein, ist es wichtig, den Wert des Kopplungskondensators an die im Datenblatt der zu prüfenden integrierten Schaltung angegebene maximale kapazitive Last anzupassen. Die Grenzfrequenz des Netzwerks beträgt 174 kHz bei 6,8 nF und 24 MHz bei 50 pF. Über der Grenzfrequenz des für die Messungen relevanten Bandes beträgt die Dämpfung idealerweise konstant 15 dB.

Die formale Anwendung der Methode erfordert den Aufbau des 150-Ω-Netzwerks auf einer Testplatine nach genauen Layoutregeln. Dieselbe Methode kann auch für den Hausgebrauch auf weniger formale Weise angewandt werden, indem das Netzwerk an relevanten Netzen unserer Platine oder als Sonde implementiert wird. Die

Wiederholbarkeit und Stabilität der Messungen auf diese Weise sind zwar beeinträchtigt, was zu Unsicherheiten bei der Lastimpedanz und dem Frequenzgang führt, die Ergebnisse ermöglichen jedoch ein Verständnis der Trends und helfen bei der Fehlersuche zur Rauschunterdrückung. So wäre es beispielsweise möglich, verschiedene Entkopplungskondensatoren an einer Versorgung oder die Auswirkungen der unterschiedlichen Ansteuerungsstärken zu bewerten, die von den Allzweck-Ausgangspins vieler moderner Mikrocontroller angeboten werden.

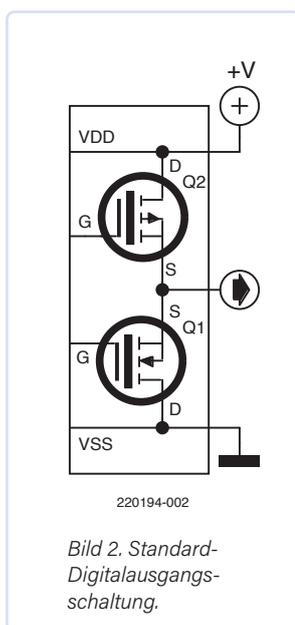


Bild 2. Standard-Digitalausgangsschaltung.

### Pre-Compliance-Tests

Interessanterweise erhalten wir einen Eindruck vom Rauschen auf den internen Stromschienen, wenn die Sonde an einen statischen digitalen Ausgangspins angelegt wird. Wenn der Ausgangspins einen hohen logischen Pegel aufweist (siehe **Bild 2**), ist der PMOS-Transistor leitend, weist einen niedrigen Widerstand auf und ermöglicht den Zugriff auf das interne Stromnetz. Bei einem niedrigen Pegel gibt der NMOS-Transistor den Zugang zum internen  $V_{SS}$ -Netz frei. Es könnte interessant sein, verschiedene Peripherieabteilungen eines Mikrocontrollers zu aktivieren und zu deaktivieren und die Auswirkungen auf das erzeugte Rauschen zu beobachten. Diese Versuche könnten Teil der elektromagnetischen Tests im Vorfeld der Konformitätsprüfung sein. Im Prinzip könnte eine Kalibrierung den Messkopf zuverlässiger machen, aber es ist immer schwierig, die Unwägbarkeiten zu bemessen, die durch die Verbindung mit dem zu prüfenden Gerät entsteht. ◀

220194-02

### Über den Autor



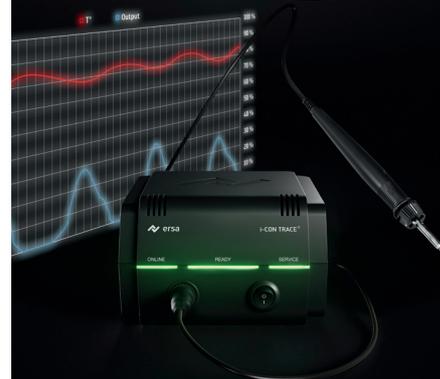
Mario Rotigni wurde 1958 im italienischen Bergamo geboren und erwarb 1977 ein Diplom in Elektrotechnik. Er entdeckte die Elektronik als Hobby, als er 14 Jahre alt war. Im Jahr 1978 wurde die Elektronik zu seinem Beruf, in dem er in der Forschung und Entwicklung an der Entwicklung von Prozessinstrumenten arbeitete, die in sehr ungünstigen elektromagnetischen Umgebungen arbeiten mussten. Nachdem er ein automatisches Testgerät für Mikrocontroller entwickelt hatte, wechselte er zu einem großen Halbleiterhersteller, wo er verschiedene Positionen in der Technik, im Design und jetzt in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung in der Produktgruppe Automotive innehatte.

### Haben Sie technische Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schreiben Sie dem Autor eine E-Mail an [m.rotigni@elettronicaemaker.it](mailto:m.rotigni@elettronicaemaker.it) oder nehmen Sie Kontakt mit dem Elektor-Team auf: [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de).

 kurtz ersa

## THE MISSING LINK!



i-CON TRACE, die am besten vernetzte Lötstation der Welt.

### Ersa TRACE COCKPIT

Individuell konfigurierbare Anbindung an ein MES und lückenlose Nachverfolgung beim Handlöten



### Ersa Mobile APP

Smarte Integration, intuitive Bedienung der i-CON TRACE und mobile Prozesskontrolle in Echtzeit



**100**  
years  
**ersa**  
1921 – 2021

GLOBAL. AHEAD. SUSTAINABLE.

# ETHIK IN AKTION



Unterstützt vom WEEF

Von Don Akkermans (Vorsitzender WEEF) und Shenja Panik (Projektleiterin WEEF)

Das World Ethical Electronics Forum regt Innovatoren auf der ganzen Welt mit offenen Diskussionen und Veröffentlichungen über Ethik und nachhaltige Entwicklungsziele an. Nehmen Sie teil am WEEF 2022 am 15. November 2022, entweder persönlich auf der electronica 2022 oder live und online, und teilen Sie Ihre Ideen zu umweltfreundlichen Entwicklungsmethoden, SDGs, ethischen HR-Praktiken, nachhaltigen Ressourcen, Elektronikschrott-Management, Vielfalt in MINT und vielem mehr.

Endlich hat die Elektronikindustrie ihre eigene Plattform, um über Ethik in der Wirtschaft zu diskutieren - das World Ethical Electronics Forum (WEEF). Viel zu lange haben nur Lobbyisten, Aktivisten, NGOs und Politiker die Diskussion dominiert und lediglich die schlechten Einflüsse der Elektronikindustrie auf die Menschen und den Planeten hervorgehoben. Die Verbraucher wurden in der Regel als willige Opfer von Marketingkampagnen der Elektronikindustrie dargestellt, die sie angeblich in einen nicht enden wollenden Kaufrausch von Produkten versetzte. Das Bild war düster: Die Verbraucher wurden als besinnungslose Käufer von Produkten dargestellt, die Bedürfnisse befriedigen, von denen sie gar nicht wussten, dass sie sie überhaupt haben.

Ein Mitglied des schwedischen Parlaments schlug einmal mit einem Lächeln im Gesicht vor: Lasst uns Gesetze erlassen, die den Konsum für zwölf Monate stoppen, und die Welt wird sich in einem Jahr in einen glücklichen grünen Ort verwandeln! Das Lächeln war angemessen, denn selbst während der jüngsten Lockdowns und des fast vollständigen Stillstands von Autos und Flugzeugen wurde der CO<sub>2</sub>-Ausstoß nur um 4 % reduziert. Den Konsum zu stoppen, ist also vielleicht nicht die perfekte Lösung. Aber was dann?

In Amsterdam findet man in Geschäften Plakatkarikaturen, auf denen ein Mitarbeiter sagt: „Wir haben nichts zu verkaufen“, und ein Kunde antwortet: „Das ist genau das, wonach ich suche.“ Ja, an dem Slogan „weniger ist mehr“ ist etwas dran. Warum die Welt mit Klimaanlage verschmutzen, wenn Öko-Gebäude durch den geschickten Einsatz von (oft traditionellen) Materialien und intelligentem Design ein kühles Raumklima schaffen?

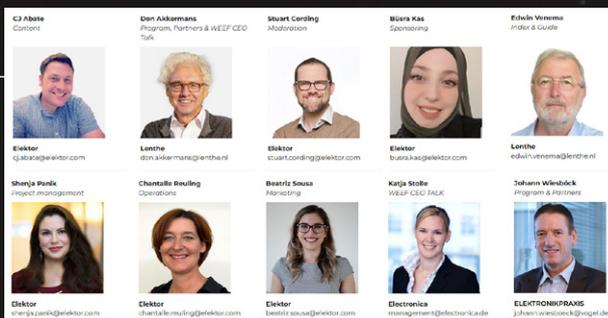
Keine Angst vor Umsatzeinbußen, wenn Innovatoren und Start-ups nicht-elektronische Lösungen finden würden, denn elektronische Anwendungen werden ohnehin bald in fast Allem eingebettet sein. Sogar in Handtüchern. „Ping!“ sagt die IoT-Handtuch-App auf Ihrem Handy: „Bitte wechsle mich, denn ich wurde schon sieben Mal benutzt.“

Mehr Elektronik in mehr Produkten und mehr Robotik und KI-gesteuerte Anwendungen anstelle der altmodischen menschlichen Kraft - das ist eine unaufhaltsame Entwicklung. Und das ist eine gute Nachricht für die Industrie. Es wird reichlich Kapital vorhanden sein, um auch in die Entwicklung nachhaltiger Elektronik, in fairen Handel, nachhaltigen Vertrieb und soziales Personalmanagement zu investieren, kurz gesagt, um ethische Geschäfte zu machen. Wenn Unternehmer und Firmenchefs den Menschen und den Planeten auf die gleiche Stufe stellen wie den Profit, werden Unternehmen langfristig bessere Veränderungen herbeiführen als kurzfristig denkende Politiker und ihre kurzfristigen Wähler. Dies war jedoch nicht immer so.

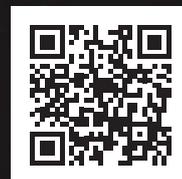


Das erste WEEF-Forum im Jahr 2021 machte deutlich: Ingenieure sind Idealisten, aber auch Realisten. Die Branche braucht keine aggressiven Aktivisten, die zu 100 % inklusiv denken.





Wenden Sie sich an das WEWF-Komitee, wenn Sie interviewt werden möchten, eine Rede halten oder eine zündende Erklärung abgeben wollen. Besuchen Sie <https://worldethicalelectronicsforum.com>.



Als Elektor im Jahr 2014 die ersten Meinungen, Kommentare und Artikel zum Thema Ethik in der Elektronik veröffentlichte, konnten viele CEOs und andere Branchenführer ihr Lachen nicht unterdrücken. Sie hielten das für schlichtweg naiv. Elektor musste sie erst davon überzeugen, **warum** ihr Unternehmen auch „eine Kraft für das Gute“ sein sollte.

Im Jahr 2022 stellt sich die Frage - und die Fragen aller Mitarbeiter, Kunden und Aktionäre - nicht mehr nach dem **Warum**. Die Welt wird überschwemmt von Beratern, Verbänden, Politikern und NGOs, die den Unternehmen vorschlagen, sich mehr um Werte statt um Gewinne zu bemühen. Daher liegt der Schwerpunkt heute mehr auf dem **Wie** und dem **Was** und dem **Wann**, um die Kluft zwischen Industrie und Natur, zwischen Reich und Arm, zwischen NGO und Unternehmen zu schließen.

Wie kann diese Bewegung beschleunigt werden, ohne profitable Geschäfte zu zerstören? Könnte die Einführung grüner/ethischer/sozialer Marken einer der Beschleuniger sein? Ein Denkanstoß!

Das Programm-Komitee des WEWF ist davon überzeugt, dass „grüne Labels“ alleine nicht helfen. Nehmen Sie B Corp: Beantworten Sie 200 Fragen, und wenn Sie bei 40 % davon ein grünes Fähnchen erhalten, können die PR-Manager der Presse und

der Öffentlichkeit stolz mitteilen: „Alles ist gut (mit uns), Sie können beruhigt schlafen!“

Das Ganze sieht mehr nach einem raffinierten Marketinginstrument aus als nach irgendetwas anderem. Es ist kein Zufall, dass der Geschäftsführer von B Corp von seinen eigenen Mitgliedern angegriffen wird, seit er Nestlé aufgenommen hat. „Wie können Sie Nestlé zulassen, wenn deren CEO erklärt, dass der Zugang zu Trinkwasser kein Menschenrecht ist?“ Das ist eine berechnete Frage.

**Machen Sie mit beim WEWF 2022, 15. November entweder persönlich auf der electronica 2022 oder live online - und teilen Sie Ihre Ideen.**

Andere freuen sich über die Entstehung all dieser Labels. „Je mehr, desto besser“, argumentieren sie, und Debatten über die Stichhaltigkeit schaffen Gerüchte. Hey, warum hat Ihr Unternehmen (noch) nicht dieses oder jenes Gütesiegel? Kunden und Käufer haben die Wahl, sich für Produkte und Dienstleistungen von Unternehmen zu entscheiden, die geprüft sind und die ein Gütesiegel tragen.

Was halten **Sie** von solchen Etiketten? Was ist Ihre Meinung und Ihr Kommentar in dieser JA/NEIN-Debatte? Möchten Sie sich vielleicht von solchen Schwarz-Weiß-Optionen lösen und eine ausgewogenere Position anstreben?

Und nun zum Kern der Sache auf persönlicher Ebene: Haben **Sie** persönlich Mut, sich offen zu einem individuellen e-pledge zu bekennen, das wir in den nächsten Monaten einführen wollen? Einem Versprechen, das die Grundlagen ethischen Geschäftsverhaltens auf persön-

licher Ebene umfasst? Können Sie ehrlich über Ihre Träume und Zweifel sprechen?

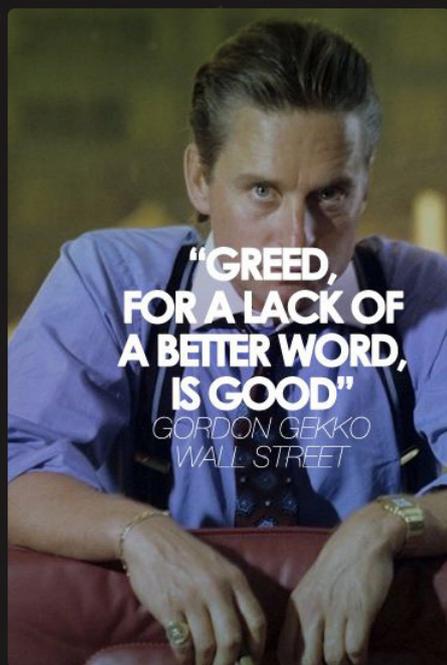
Wenn ja, dann wollen Sie vielleicht andere anregen? Deshalb laden wir Sie ein, Teil unserer neuen WEWF-Community zu werden - Menschen, die bereit sind, den Weg zu gehen und über ethisches Verhalten zu sprechen.

Wie wäre es, wenn wir Sie interviewen? Dürfen wir Ihr Statement veröffentlichen? Dürfen wir einen passenden Cartoon zeigen, der Ihnen gefällt? Können wir ein Video senden, in dem Sie über ethische Elektronik sprechen? Oder haben Sie bereits ein Video, das Sie uns zur Verfügung stellen möchten? Können unsere Redakteure einen „ethischen Pass“ für Sie und für das Unternehmen, für das Sie arbeiten, erstellen? Kurzum, lassen Sie uns miteinander reden! 

Schicken Sie Shenja eine E-Mail an [shenja.panik@elektor.com](mailto:shenja.panik@elektor.com), und wir werden uns innerhalb von 24 Stunden bei Ihnen melden. Wir hoffen, Sie in unserem Forum (online oder live) und in unserem gedruckten ethischen Leitfaden zu treffen.

220394-02

**Engagieren Sie sich beim WEWF**  
Interessieren Sie sich für Ethik und Elektronik? Das Programmkomitee lädt ethisch denkende Ingenieure und Führungskräfte ein, die sich ernsthaft mit der Ethikpolitik ihrer Unternehmen, Universitäten, Aktionsgruppen, NGOs und Verbände befassen. Lassen Sie uns auch wissen, ob Sie einen Vortrag halten, ein Video beisteuern oder an einer Debatte über ethische Elektronik teilnehmen möchten. Schauen Sie auf [WorldEthicalElectronicsForum.com](http://WorldEthicalElectronicsForum.com) für weitere Informationen und um sich für den WEWF-Newsletter zu registrieren.



Das kultige Zitat von Michael Douglas im Film „Wallstreet“ von 1987. Wäre es besser zu sagen: „Grüne Gier ist gut“?





# Ohne Ethik kein nachhaltiges Geschäft

Ein Interview mit Professor Stefan Heinemann

Von Edwin Venema (Lenthe Foundation)

Kann ein Elektronikunternehmen ohne Geschäftsethik nachhaltig und profitabel sein? Professor Stefan Heinemann geht der Frage auf den Grund.

Sehr oft werden Ethik und Wirtschaft als Antagonismus angesehen. Ethik wäre ein Hindernis für echte Rentabilität, ein politisch korrektes Diktat der Woke-Kultur. Etwas, das man abhakt und dann weitermacht mit dem „echten“ Geschäft“. Laut Stefan Heinemann - Philosoph, Theologe und Professor für Wirtschaftsethik - ist diese Sichtweise völlig überholt: Ethik und Wirtschaft sind zwei Seiten derselben Medaille. Ohne Wirtschaftsethik ist nachhaltiges und damit profitables Wirtschaften schlicht nicht mehr möglich. Als Lösungspartner vieler anderer Branchen hat die Elektronikindustrie eine geradezu moralische Verpflichtung, eine Vorreiterrolle bei den großen Paradigmenwechseln dieses Jahrhunderts einzuneh-

men: Digitalisierung und Nachhaltigkeit. Und ja, Heinemann ist positiv gestimmt, wenn es um die Kräfte des Guten geht: „Es gibt immer Hoffnung. Wir können die Zukunft noch gestalten. Aber denken Sie daran: Wirtschaftsethik in der Elektronik beginnt ...mit Ihnen!“

**Edwin Venema: Ethische Geschäfte zu machen, klingt wie eine Selbstverständlichkeit. Wer könnte dagegen sein?**

**Stefan Heinemann:** Ethik mag in gewisser Weise eine Selbstverständlichkeit sein, aber sie ist schwer zu realisieren. Ethik ist die Theorie der Moral. Es geht um unser Handeln und um Aussagen darüber, was richtig und falsch ist. Manchmal scheint der Unterschied zwischen beidem ziemlich

offensichtlich zu sein. Niemand bezweifelt, dass es falsch ist, seine Kinder zu töten. Aber diese rote ethische Linie kann in der Praxis sehr viel dünner werden, vor allem, wenn es darum geht, Geschäfte zu machen. Man könnte sagen, dass die Wirtschaft als Ganzes einige unethische Grundlagen hat - nennen wir es die dunkle Seite im Sinne von Luke Skywalker. Aber zum Glück gibt es auch eine - meiner Meinung nach viel größere - helle Seite. Ich bin davon überzeugt, dass die Elektronikindustrie sich als zentrales Bindeglied für digitale Lösungen betrachten könnte oder sogar sollte. Dabei darf aber nicht vergessen werden, dass die Digitalisierung kein Selbstzweck ist (abgesehen davon, dass analoge Lösungen in diesem Zusammenhang weiterhin eine Rolle spielen werden): Sie dient letztlich nachhaltigen Unternehmen, Kunden und unserer Gesellschaft als Ganzes. In Ethik zu investieren ist das Beste, was man tun kann, ganz nah an der Wertschöpfung des eigenen Unternehmens.



Dazu braucht es auch moralische Führung und Vorbilder. Das ist eine Herausforderung in einer sehr heterogenen Branche mit der gesamten Bandbreite von Einzelunternehmen, kleinen Familienbetrieben bis hin zu großen Konzernen. Sie müssen sich selbst in eine Führungsposition bringen, um sich systematischer mit Ethik zu beschäftigen. Nicht aus Herdenverhalten (das machen alle), sondern aus dem Selbstbewusstsein heraus: Wir haben eine Vorreiterrolle. Wir erkennen die Bedeutung für unsere Kunden und die Kunden unserer Kunden. Benjamin Parker oder Onkel Ben, Spidermans Onkel väterlicherseits, hat es richtig gesagt: „Mit großer Macht kommt große Verantwortung!“

Ich bin der festen Überzeugung, dass wir nur zwei Möglichkeiten haben. Entweder wir betrachten Ethik als Teil des Geschäftserfolgs und als eine Form der „moralischen Reinheit“ oder wir warten passiv darauf, dass Vorschriften von oben unsere Art der Geschäftstätigkeit ändern.

**Venema: Vorschriften von oben werden oft als unabänderliche „Compliance“ verstanden...**

**Heinemann:** Compliance ist die eher formale, rechtliche Art von Regeln, die einem „von oben“ aufgezwungen werden. Bei der Ethik geht es um die Freiheit, etwas „von innen heraus“ zu tun. Es geht um die innere Motivation. Schauen Sie sich den Abgasskandal bei Volkswagen an: Es hätte dem Unternehmen 5...10 Milliarden Dollar ersparen können, wenn die interne Struktur und Kultur ein moralisch akzeptables Verhalten stärker gefördert hätte.“

Compliance ist erzwungene Moral und weniger effektiv als persönliche Integrität. Deshalb sind der Ton und das Verhalten von Unternehmensleitern so wichtig. Wir brauchen Vorbilder!

**Venema: Können Sie einige konkrete Vorbilder nennen?**

**Heinemann:** Das ist sehr schwierig, denn woran erkennt man eigentlich, dass eine Person oder ein Unternehmen „ethisch“ ist? Sind die Menschen, die Zahlen, die Produkte „ethisch“? Kein Mensch und kein Unternehmen auf dieser Welt ist zu 100 % ethisch. Sie können Beispiele für kleine oder große Unternehmen anführen, die ihren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck stärker reduzieren, als es gesetzlich vorgeschrieben ist. Das bedeutet nicht, dass diese Unternehmen zu 100 % ethisch handeln. Aber gute

*Onkel Ben, Spidermans Onkel väterlicherseits, hat richtig erkannt: „Mit großer Macht kommt große Verantwortung!“*

Beispiele aus der Lieferkette, die ethisch handeln wollen, ohne dabei in Konkurs zu gehen, sind und bleiben wichtig. Eine schöne Aufgabe für den WEEF-Index, würde ich sagen. Aber denken Sie immer daran: Wir sind auch nur Menschen, wir sündigen und wir machen Fehler.

**Venema: Wenn Ethik mit persönlicher Integrität beginnt, wird es in Unternehmen schwieriger, vor allem auf höheren Ebenen: Ihre persönliche Verantwortung verwässert in der Dynamik von Organisationen und der politischen Realität.**

**Heinemann:** Verantwortung kann in Unternehmen, Fachgebieten und Gesellschaften gestreut werden, das ist richtig. Wer ist für was genau verantwortlich? Was kann ich als Einzelner tun? Ich kann nicht aktiv meine Verantwortung direkt auf die Schultern anderer legen. „Let George do it“, sagen die Amerikaner dazu. Soll sich doch jemand anderes um die Umwelt kümmern! Nichts Böses sehen, nichts Böses hören. Für die Entwicklung von Eigenverantwortung braucht man ein Umfeld und eine Gesellschaft, die dies anregt und überwacht. In diesem Zusammenhang kann das WEEF eine unterstützende Rolle spielen. Laden Sie die (jungen) Menschen ein, mitzureden; geben Sie ihnen eine Stimme. Aber glauben Sie nicht, dass das ausreicht, denn letztendlich geht es um einen systemischen Wandel. Jeder, der heute lebt, egal ob er fünf oder 50 Jahre alt ist, gehört zu der letzten Generation, die diese systemische Veränderung beeinflussen kann.

**Venema: Das klingt ziemlich düster und pessimistisch.**

**Heinemann:** Es gibt Hoffnung! Die Welt ist, wie sie ist. In dieser Welt können wir tun, was wir tun sollen. Als Christ nenne ich das „Schöpfung“, aber wie auch immer Sie es nennen wollen, es ist möglich, dass wir diesen Planeten zum Besseren wenden. Ich bin kein Fatalist, der sagt: „Das Spiel ist aus“.

**Venema: Auch angesichts der weit verbreiteten Angst vor Anwendungen**

**Künstlicher Intelligenz, die letztendlich das Ende der menschlichen Rasse bedeuten würden?**

**Heinemann:** In einem früheren Interview mit Elektor habe ich gesagt: „Der Optimist hält die Welt für die beste aller möglichen Welten; der Pessimist fürchtet, dass der Optimist Recht haben könnte. Ich würde mich als KI-Realist bezeichnen. Die KI gestaltet die Welt, das ist sicher. Aber wer wird die KI gestalten?“

Sehen Sie, wenn wir die Zukunft und natürlich auch schon die Gegenwart der Weiterentwicklung und des Einsatzes von künstlicher Intelligenz nicht ethisch absichern, haben wir vielleicht schon zu unseren Lebzeiten eine künstliche allgemeine Intelligenz - die uns möglicherweise gar vorwirft, sie geschaffen zu haben. Nur Menschen können moralisch handeln, lieben, leiden, denken, kreativ, verwirrt und gefährlich, faszinierend und langweilig sein. Es wäre falsch, KI grundsätzlich abzulehnen, aus Angst, die Welt könnte eine andere, eine schlechtere werden, sondern sie mit dem Willen zu begrenzen, die Welt anders, aber besser zu machen. Für Unternehmen ist KI eine große Chance, Digitalisierung und Nachhaltigkeit zu verbinden, um mit legitimen Geschäftsmodellen erfolgreich zu sein. Dazu gehört auch, sich kritisch mit Datensicherheit und Datenschutz auseinanderzusetzen, mehr zu tun als das, was man gesetzlich unbedingt tun muss, aber auch soziale Verantwortung zu übernehmen.

**Venema: Welche Rolle spielen, abgesehen von unserer Rolle als Einzelpersonen, die anderen Akteure?**

**Heinemann:** Ethik geht alle an. Auf der Mikroebene sind es die einzelnen Arbeitnehmer und Arbeitgeber, die wir gerade erwähnt haben. Auf einer mittleren Ebene haben wir die Unternehmen. Und auf der Makroebene die Branchenplattformen und Regierungen. Auf diesen höheren Ebenen geht es mehr um die ethischen Rahmenbedingungen. Wir steuern auf eine viel diversifiziertere und dynamischere neue Weltordnung zu, in der der Systemwettbewerb immer auch ein Wettbewerb um ethische Überzeugungen ist, darum, wie sich die Gesellschaften entwickeln sollen. Autokratien sind ethisch immer problematischer als Demokratien. Aber es ist komplexer als man denkt. Eine vernünftige Umweltpolitik durch ein „falsches“ Regime ist nicht per se eine falsche Politik;



umgekehrt führen freie Wahlen nicht automatisch zu klugen Entscheidungen oder Führungspersonlichkeiten: Die US-Wahlen 2016 haben dies schmerzlich deutlich gemacht.

**Venema:** Die Verbraucher scheinen eine entscheidende Rolle zu spielen, wenn es um ethisches Wirtschaften geht.

**Heinemann:** Die Verbraucher sind in der Lage, bedeutende Veränderungen herbeizuführen - zum Beispiel in Richtung einer weniger materialistischen Welt. Die EU hat mit ihren Richtlinien diesen Prozess hin zu mehr Eigenverantwortung und Entmaterialisierung bereits angeregt. Gleichzeitig scheinen die demokratische und digitale Kompetenz rückläufig zu sein, wahrscheinlich beschleunigt durch die Pandemie. In den westlichen Gesellschaften mag man viele Freiheiten haben, aber man kann nicht viel damit anfangen, wenn man ungebildet ist. Viele Menschen machen nichts aus ihren legitimen Freiheiten - zum Beispiel wählen gehen. Das ist ein echtes Problem, denn wir wollen natürlich keine digitalisierte Autokratie wie in China.

Der Konsum hat viele strukturelle Ähnlichkeiten mit der Demokratie. Man wählt, indem man etwas kauft. Viele kaufen Produkte, die sie nicht wirklich brauchen, die ihnen aber durch „intelligentes“ Marketing als solche präsentiert werden. Die Elektronikindustrie muss jedoch akzeptieren, dass eine Welt des ewigen Wachstums ein völlig überholtes Konzept ist. Das ist eine Geschäftsidee von gestern. Wachstum ist nachhaltige Entwicklung, Wachstum ist Wachstum an Innovation, Wachstum an

*Einem  
Elektronikunternehmen  
muss klar werden, dass  
Ethik kein Beitrag zur  
globalen Philanthropie  
ist, sondern essentiell  
für erfolgreiche und gute  
Geschäfte.*

Ertrag, aber nicht mehr unbedingt Wachstum an Umsatzzahlen. Deshalb brauchen Unternehmen andere Menschen, andere Kompetenzen und eine andere Führung.

**Venema:** Könnte ein Ethikkodex, oder besser noch ein Verhaltenskodex für Unternehmen mit Schwerpunkt Elektronik hilfreich sein?

**Heinemann:** Ein Kodex kann funktionieren oder auch nicht. Wie bei allen freiwilligen Verpflichtungen hängt es von der Ernsthaftigkeit der Unternehmen ab. Und von der Art und Weise, wie solche Kodizes eingeführt werden, möglichst nicht mit erhobenem Zeigefinger, sondern intelligent integriert, intern kommuniziert und im Tagesgeschäft verankert. Letztlich muss einem Elektronikunternehmen klar werden, dass Ethik kein Beitrag zur globalen Philanthropie ist, sondern für ein erfolgreiches und gutes Geschäft unerlässlich. Wie ich schon sagte, ist es wichtig, nicht nur zu reden, sondern auch zu handeln. Es anwendbar zu machen. Wir alle reden viel

über eine freie und friedliche Welt, aber wie kommen wir dorthin?

**Venema:** Einige der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung, die SDGs (insbesondere SDG 5, 9 und 12) eignen sich hervorragend als Ethik-Kodizes. Dies deckt sich mit der oft wiederholten Aussage, dass Ethikkodizes die Nachhaltigkeit der SDGs widerspiegeln und die Grundlage für eine künftige Welt bilden sollten, in der wirtschaftliche, ökologische und soziale Faktoren im Kontext einer wettbewerbsintensiven und wissensbasierten Wirtschaft in einem fairen und nachhaltigen Gleichgewicht stehen. Ihre Gedanken dazu?

**Heinemann:** Die SDGs sind nützlich, um einen genaueren Blick auf die Ethik zu werfen, um zu sehen, wo es Anknüpfungspunkte für das Elektronik-Geschäft gibt, abgesehen von den bestehenden Regeln und Vorschriften der Regierungen. Es bleibt jedoch abzuwarten, ob es für Sie als Elektronikunternehmen von Nutzen ist. Die SDGs inspirieren wohl eher die Regierungen als die einzelnen Unternehmen, und ihre Umsetzung und Bewertung auf Unternehmensebene ist mit einer Vielzahl von Mängeln behaftet. Die Projektion der SDGs in die Ethikkodizes und letztlich in die Strategie und das Tagesgeschäft der beteiligten Unternehmen scheint mir eine große, aber nicht unlösbare Herausforderung zu sein. Das WEEF könnte damit beginnen, bestehende Rahmenwerke wie die SDGs, aber auch andere Millenniumsziele, zum Beispiel von EU-Nachhaltigkeitsgruppen, zu prüfen. Und sie zu lesen, denn

## Über Prof. Dr. Stefan Heinemann

Prof. Dr. Stefan Heinemann ist Professor für Wirtschaftsethik an der FOM Hochschule für Oekonomie und Management und Sprecher des Ethik-Ellipse Smart Hospital an der Universitätsmedizin Essen. Er beschäftigt sich mit der ökonomischen und ethischen Perspektive der digitalen Medizin und der Gesundheitswirtschaft. Zum zweiten Mal in Folge wird er einen Beitrag zum WEEF-Panel auf der Messe electronica in München leisten. Heinemann ist wissenschaftlicher Leiter des Hauptstadtkongress Lab (SpringerMedizin, Wiso), Leiter der Forschungsgruppe Ethik der digitalen Gesundheitswirtschaft Medizin am ifgs-Institut für Gesundheit und Soziales der FOM Hochschule, Mitglied der „Arbeitsgruppe KI in der Inneren Medizin“ im Rahmen der Kommission Digitale Transformation der Inneren Medizin (DGIM) sowie Fachberater in verschiedenen Forschungs- und Bildungseinrichtungen. Darüber hinaus ist der Philosoph und Theologe Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats für Digitale Transformation der AOK Nordost, Mitglied des Beirats des Instituts für Patienten-Erleben der Universitätsmedizin Essen und Mitglied des sozial- und gesundheitspolitischen Beirats der BARMER-Landesvertretung Nordrhein-Westfalen. Außerdem ist er im Vorstand der Kölner Wissenschaftsrunde, Vorstandsvorsitzender der Wissenschaftsstadt Essen und Mitglied des Kuratoriums von sneep e. V., einem studentischen Netzwerk für Wirtschafts- und Unternehmensethik. Heinemann ist Mitinitiator von [www.dataprotection-landscape.com](http://www.dataprotection-landscape.com), einer Plattform für Transparenz in der Mehrdimensionalität der Datenverarbeitung.



## tronikingenieuren in Bezug auf „Ethik“ beachtet werden?

**Heinemann:** Ethik sollte ein integrierter Bestandteil der Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften sein. Man kann nicht einfach einen Ethikprofessor in einen Wirtschaftslehrplan hineinsetzen und damit das Kästchen Ethik abhaken. Ethik muss mit allen Disziplinen verknüpft sein und deshalb auch überall als ein organischer Teil der Ausbildung diskutiert werden. Ich habe intensiv mit Kollegen daran gearbeitet, Ethik im weitesten Sinne zu einem festen Bestandteil der Managementausbildung an Hochschulen zu machen. Dazu gehören Initiativen in der Lehre, in der Forschung, im Praxistransfer für Unternehmen und im Management der Hochschule selbst. Insgesamt denke ich, dass wir heute schon Fortschritte sehen, aber noch nicht weitreichend genug. Es gibt offensichtlich viel Raum für weitere Fortschritte. ◀

220433-01

## Über den Autor

Edwin Venema verfügt über mehr als 30 Jahre Erfahrung in den Bereichen Journalismus und Content Marketing. Er arbeitet seit 2003 mit Lenthe zusammen. Als Texter ([www.dekopijmeester.nl](http://www.dekopijmeester.nl)) hilft Venema Menschen und Organisationen mit redaktioneller Kommunikation und kreativen Inhalten, die überzeugen.

## Prof. Heinemanns Vortrag 2021

Sehen und hören Sie sich den Vortrag von Prof. Dr. Stefan Heinemann beim WEEF 2021 an, in der er unter anderem die Themen Nachhaltigkeit und Unternehmensethik behandelt.

<https://youtu.be/ELpxR6SuLb8?t=1621>



niemand scheint diese Dinge zu lesen ... um sie in praktische Schritte zur Umsetzung zu übersetzen. Das kann die Branche in Bezug auf Ethik als verbindendes Thema sichtbar machen, weil die meisten denken, dass die Elektronikbranche zu zersplittert ist, um wirklich etwas zu tun.

## Venema: Und in welcher Weise könnte das WEEF hilfreich sein?

**Heinemann:** Mit einem Kodex oder einem Manifest allein werden wir natürlich keinen Erfolg haben. Es ist viel besser, mit einer Art Handbuch mit praktischen Beispielen für Unternehmen zu beginnen, das ihnen sagt, was Sie in Bezug auf Umsatz, Gewinn, Kunden und Produkte tun können, und so dazu beitragen, dass Ethikmanagement zu einem nachhaltigen Effekt für das Unternehmen und die Gesellschaft wird und als Unternehmen Teil dieser Gesellschaft zu sein.

In Anbetracht der enormen Vielfalt in der Branche ist es ratsam, nicht einer „One Size fits all“-Strategie zu folgen. Es ist besser, von einer Art grün-gelb-rotem Ampelsystem auszugehen: Was tun Sie bereits? Wo stehen Sie als Unternehmen heute? Hier könnte das WEEF mit neutral formulierten Leitlinien und Ratschlägen für die große Mehrheit der Unternehmen in der Elektronikindustrie hilfreich sein.

Es ist auch wichtig, zuerst die niedrig hängenden Früchte zu pflücken. Kleinere Unternehmen können sich keine großen Investitionen leisten. Wenn eine solche ethische Maßnahme ein Vollzeitäquivalent oder fünfzig Kredite kostet, ist das Spiel vorbei. Die großen Unternehmen verfügen oft über solche Mittel, so dass finanzieller Druck vor allem auf die kleinen Unternehmen ausgeübt wird. Und man verliert den Wettbewerb, vor allem, wenn auch noch staatliche Vorschriften erlassen werden. Sie müssen also klug vorgehen. Nutzen Sie den Praktikanten in Ihrem Unternehmen, der intelligent genug ist, das Konzept zu verstehen, um sich mit einem solchen Handbuch oder Leitfaden zu befassen. Das ist bereits ein erster Schritt.

Das WEEF könnte mit Materialien helfen, die diese ersten Schritte erleichtern. Auf diese Weise haben Sie auch eine größere Chance auf gleiche Wettbewerbsbedingungen auf dem Gebiet der Ethik. Informationsmaterialien oder Checklisten können natürlich keine Anwälte und Compliance- oder CSR-Beauftragte ersetzen, aber sie können dafür sorgen, dass

auch kleine Unternehmen mit ins Boot kommen.

## Venema: Was sind die Erfolgsfaktoren für eine Initiative wie das WEEF?

**Heinemann:** Kurz gesagt, würde ich mich auf drei Grundbedingungen konzentrieren:

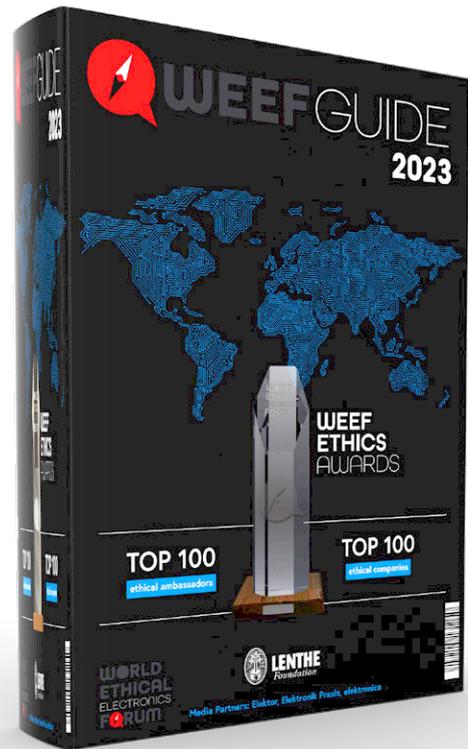
1. Transparenz und Klarheit des gesamten Prozesses: Wer sind die Initiatoren und was sind ihre grundlegenden Absichten? Manchmal riechen diese Initiativen nach „Greenwashing“ oder einer verkappten Marketingkampagne. Denken Sie eher an „Bewegung“ als an „Organisation“. Seien Sie bescheiden und bereit, das Projekt zu beenden, wenn die Industrie oder andere Plattformen bereit sind, unter ihrem eigenen Namen zu handeln.

2. Einbeziehung von Unternehmen jeder Größe: Mitarbeiter, CSR-Manager/Gründer einbeziehen, sie an einen Tisch bringen und ihnen eine Stimme geben. Denken Sie von der Basis aus. Denken Sie an Ko-Kreation und entwickeln Sie gemeinsam Ideen. Vergessen Sie nicht: 80 % der Branche besteht aus kleineren Unternehmen, die oft Zulieferer großer Unternehmen sind, achten Sie also auf das Verhältnis zwischen den Unternehmensgrößen. Jede Seele ist wichtig. Sie könnten also diese kleinen Unternehmen sogar in Gruppen zusammenfassen, aber letztendlich müssen nachhaltige Endprodukte auch eine nachhaltige Kette von Zulieferern/Bauteilen haben. Es gibt ein gemeinsames Interesse.

3. Nützlichkeit und Anwendbarkeit: nicht nur ein Dokument, ein Versprechen oder ein Code, sondern ein praktischer Werkzeugkasten und vielleicht einige Vorlagen, um dem Prozess einen guten Start zu geben. Erfinden Sie das Rad nicht neu: Manchmal haben die Handelskammern solche Instrumente, die aber nicht speziell auf die Elektronikindustrie ausgerichtet sind. Passen Sie sie also an, damit sie anwendbar sind.

## Venema: Und schließlich: Was sollte bei der Aus- und Weiterbildung von Elek-

# Der WEEF Index 2023



Von Edwin Venema (Lenthe Foundation)

In den kommenden Monaten werden wir den WEEF-Index 2023 veröffentlichen, der an Hunderttausende von Ingenieuren und Führungskräften verteilt wird. Der Index wird Profile von ethischen Innovatoren enthalten, die andere dazu inspirieren, die Bedeutung von ethischer Elektronik zu berücksichtigen.

Äpfel und Birnen. Wahllos. Überraschend. Fragwürdig. Inspirierend. Gefälligkeit. Unüberlegt. Skandalös. Krumm. Gewagt. Unausgewogen. Anregend. Unvernünftig. Willkürlich. Unmöglich. Verblüffend. Lachhaft. Dumm. Ermutigend. Aufmerksamkeit heischend. Vetterwirtschaft. Bewundernswert. Populismus. Willkürlich. Ankreuzen der richtigen Kästchen. Provozieren. Ein Trick. Eitelkeit. Falsches Signal. Richtiges Signal. Auslöser. Engstirnig. Bahnbrechend. Ungerecht. Augenöffner. Machtpolitik. Endlich!

All dies sind Begriffe, die vorkommen, wenn Organisationen oder Redaktionen Ranglisten vorstellen, insbesondere wenn es um Einzelpersonen aus ihrer Branche geht. Wir zweifeln nicht daran, dass der neue WEEF-Ethik-Index 2023 einiges an Stirnrünzeln, Augenbrauen hochziehen und ähnlichen Reaktionen hervorrufen wird. Und genau aus diesem Grund stellen wir unseren neuen Index vor.

## Ohne Druck keine Diamanten

Des Teufels Advokat hat viele Fragen: Wie um alles in der Welt bestimmt man den Einfluss einer Person, wenn es um die Ethik in der Elektronikindustrie geht? Und wenn es auf wundersame Weise gelingen sollte, eine solche Liste von Personen zu erstellen, was ist dann das übergeordnete Ziel? Die Antwort auf die letzte Frage ist klar: Die Zuordnung der Personen zu dieser Liste, die in ethischer Hinsicht den größten Einfluss in der Elektronikbranche ausüben, ist an sich schon eine Aussage und in unseren Augen definitiv mehr als nur ein Werbegag. Neben der Befriedigung der Eitelkeit der Gewählten und der Verärgerung der zweifellos schwer angeschlagenen Egos der Nichtgewählten drücken die Indizes auch ein allgemeines Gefühl der Wertschätzung und Anerkennung aus. Immer in dem Wissen, dass die Gewählten oft das Beste repräsentieren, was eine Branche oder ein Beruf zu bieten hat, fungieren sie dann als Vorbilder - oder als Brechstange, um die Grenzen eines Bereichs zu erweitern. Was? Ist ausgerechnet DER oder DIE Teil dieses Indexes? Sind sie bei WEEF denn alle verrückt geworden?

Sehen Sie, es gibt keine Diamanten, wenn es keinen Druck gibt. Schauen Sie sich jedes Jahr die Oscars oder Emmys an.

## Der Obst-Ansatz

Das Argument „Äpfel und Birnen“ ist ein Klassiker. Unterschiedliche Menschen, unterschiedliche Unternehmen, unterschiedliche Verantwortlichkeiten. Sicher, aber Äpfel und Birnen sind trotzdem Obst, oder? Es geht natürlich um den gemeinsamen Nenner. Der Index ist keine Raketentechnik, er ist in erster Linie gesunder Menschenverstand. Einzelne Personen stehen für ein Versprechen und für eine Vision, eine bahnbrechende Methode oder den Mut, sich in eine andere Richtung zu bewegen oder über den Teller rand hinauszuschauen. Sie regen uns zum Nachdenken und zur Diskussion über Ethik an - ein Thema, das in der Elektronikbranche



noch viel mehr Raum einnehmen muss. Es gibt einige berechtigte Fragen, die beantwortet werden müssen, wie:

- › Haben Elektroingenieure auf persönlicher Ebene eine ethische Verantwortung, ihre Fähigkeiten für mehr als nur für die Gewinnmaximierung einzusetzen?
- › Sollte die Ethik eine Rolle dabei spielen, wie die Führer von Unternehmen mit Schwerpunkt Elektronik ihre Firmen leiten?
- › Inwieweit sollten sie sich mit Themen wie nachhaltige Entwicklung, umweltfreundliche Produktion und soziale Verantwortung befassen?
- › Wie wirken sich ihre Entscheidungen auf lokale Gemeinschaften und die Umwelt aus?
- › Sollten ihre Verbände bei geopolitischen Konflikten Hilfe anbieten?

### Es ist kein Ranking ... noch nicht

Ein Index ist eine Sache, ein Ranking eine andere. Wenn Sie wirklich auf aufgeheizte Diskussionen oder Kontroversen aus sind, gehen Sie direkt zu einem solchen Ranking über, und schon bald wird es richtig Ärger geben. Wir haben uns in der Erstausgabe unserer WEEF-Liste der Einflussreichen für einen Kompromiss entschieden, sozusagen als Vorbereitung auf kommende Ausgaben, die vielleicht eine Rangliste bieten werden. Für den Moment folgen wir dem Weg der progressiven Einsicht.

Der WEEF-Index 2023 wird daher eine alphabetische Liste von einhundert einflussreichen Persönlichkeiten inklusive einer „Nummer eins“ enthalten, wobei letztere kein „Gewinner“ sein wird, sondern eher ein Fahnenträger, ein Inspirator - ein Primus inter Pares sozusagen. Eine weise und gerechte Jury wird die Auswahl treffen und die Liste der verbleibenden 99 Personen auf dem Index festlegen.

### Die Jury steht fest

Die Jury bewertet die Online-Nominierungen, nominiert selbst die Kandidaten und koordiniert die gesamte Kommunikation.

- › Don Akkermans (Geschäftsführer, Lenthe Foundation, Vorsitzender, WEEF)
- › Johann Wiesbock (Chefredakteur von Elektronik Praxis)
- › Tessel Renzenbrink (unabhängige Journalistin, spezialisiert auf Ethik)
- › Priscilla Haring-Kuipers (Journalistin Elektor)
- › Shenja Panik (Projektleiterin Elektor/WEEF)

### Die Kriterien der Jury

Die Jury wird die folgenden Kriterien berücksichtigen:

- › Maß des Einflusses (in Medien, Foren, sozialen Netzwerken und bei Gleichgesinnten)
- › Innovationsgrad (zum Beispiel Integration der SDGs)
- › Bereitschaft zum Austausch von Ideen/Konzepten mit Gleichgesinnten

Die Kandidaten auf dem Index haben einige Dinge gemeinsam: Sie wagen es, ausgetretene Pfade zu verlassen, und sind in ihrem Tun effektiv und sichtbar.

### Die Regeln

- › Die Online-Abstimmungen werden noch angekündigt und eröffnet (TBD).
- › Regeln für die Online-Abstimmung: Geben Sie eine (kurze) Begründung an, wenn Sie Ihre Lieblingskandidaten nominieren. Nominierungen ohne Begründung werden nicht akzeptiert! Sie können eine unbegrenzte Anzahl von Kandidaten nominieren, aber Sie können einen Kandidaten nicht mehr als einmal nominieren: Mehrfachnominierungen für ein und dieselbe Person von einer IP-Adresse werden erkannt und für ungültig erklärt. Und es ist erlaubt, sich einmal selbst zu nominieren.
- › Nicht teilnahmeberechtigt am WEEF100 sind: Mitglieder der Jury und Mitarbeiter der Lenthe Foundation, dem Herausgeber des Index.
- › Die Begründung für den Nominierten wird in einem Jurybericht festgehalten. Er oder sie erhält einen greifbaren und besonders umweltfreundlich gestalteten WEEF-AWARD.
- › Der komplette WEEF100 wird auf der Website der WEEF sowie auf den Websites der Lenthe Foundation und ihrer Medienpartner Elektronik Praxis, electronica München und Elektor veröffentlicht.

Besuchen Sie [www.worldethicalelectronicsforum.com](http://www.worldethicalelectronicsforum.com), um die aktuellen Daten und weitere Details zu erfahren. Das WEEF 2023 ist für den 15. November in München geplant. ◀

220434-02

### Über den Autor

Edwin Venema verfügt über mehr als 30 Jahre Erfahrung in den Bereichen Journalismus und Content Marketing. Er arbeitet seit 2003 mit Lenthe zusammen. Als Werbetexter ([www.dekopijmeester.nl](http://www.dekopijmeester.nl)) hilft Venema Menschen und Organisationen mit redaktioneller Kommunikation und kreativen Inhalten, die überzeugen.

### Ihr Beitrag zum WEEF-Index

Möchten Sie einen Beitrag zum WEEF-Index 2023 leisten? Kontaktieren Sie die WEEF-Projektleiterin Shenja Panik unter [shenja.panik@elektor.com](mailto:shenja.panik@elektor.com).

Weitere Informationen finden Sie unter [www.WorldEthicalElectronicsForum.com](http://www.WorldEthicalElectronicsForum.com).

**WORLD  
ETHICAL  
ELECTRONICS  
FORUM**

# Filter-Software

## Design-Tools für analoge Filter

Von **Alfred Rosenkränzer** (Deutschland)

Wer die passenden Formeln kennt beziehungsweise weiß, wo man diese findet, kann natürlich auch im dritten Jahrzehnt des dritten Jahrtausends immer noch Filter „von Hand“ berechnen. Heute aber wirkt dieses Vorgehen geradezu antiquiert, wenn man von einfachsten Fällen wie simplen RC-Gliedern absieht. Man nutzt heute Software. Und glücklicherweise stellen IC-Hersteller auch passende Tools kostenlos zur Verfügung. In diesem Artikel geht es hauptsächlich um Software von Texas Instruments.

Im Artikel „Design analoger Filter (Teil 2)“ aus Elektor November 2020 [1] haben wir die Strukturen aktiver Filter besprochen. Dabei wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Entwicklungsarbeit durch spezielle Software deutlich vereinfacht wird. Genaues Wissen um die mathematischen Hintergründe ist also gar nicht mehr so wichtig, um zum Ziel zu kommen. Wer sich dennoch für die Formeln dahinter interessiert, sei auf entsprechende Literatur (zum Beispiel den „Tietze-Schenk“ [2]) verwiesen.

Stellvertretend für andere Software zum Thema Filter-Design wird hier das Programm *FilterPro Desktop* und anschließend sein Nachfolger, die Online-Version *Filter Design Tool*, besprochen.

### FilterPro

Das Desktop-Programm *FilterPro* wird zwar schon eine ganze Weile nicht mehr von TI weiterentwickelt, ist aber dennoch sehr nützlich. Die letzte Version für den Betrieb unter Windows kann man kostenlos etwa unter [3] herunterladen. Startet man nach Installation das Programm, so erscheint die Oberfläche in **Bild 1**. In der Mitte ist der *Filter Wizard* zu sehen.

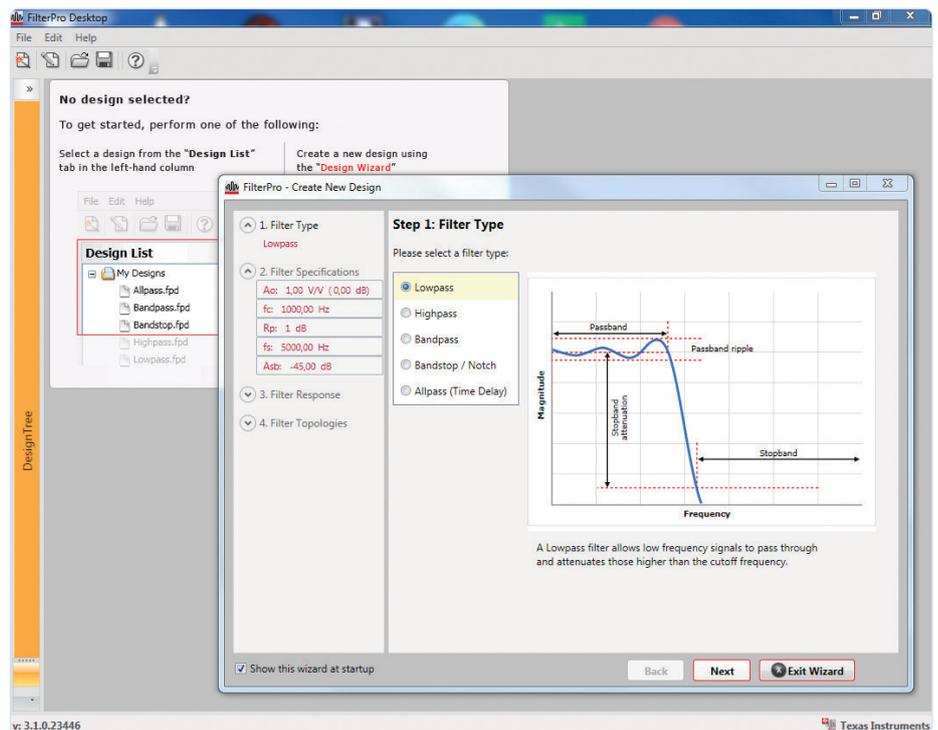


Bild 1. Startmenü von *FilterPro Desktop* mit dem *Filter Wizard*.

*Wizard* zu sehen.

Falls dieser Wizard nicht auftaucht, kann er mit der Zauberstab-Schaltfläche links oben geöffnet werden. Der Wizard führt durch den Design-Ablauf. Im ersten Schritt wählt man die Filterart (Tiefpass, Hochpass und so weiter).

Im Bild rechts werden die Parameter gezeigt, die man im nächsten Schritt eingeben muss (Passband, Passband ripple, Stopband, ...). Im zweiten Schritt werden die Spezifikationen eingegeben (**Bild 2**). Beim ersten Parameter handelt es sich um die Verstärkung des Filters.

Auch wenn für manche Anwendungen eine Verstärkung  $>1$  gewünscht wird, empfiehlt es sich, zunächst mit einer Verstärkung von 1 zu starten.

Bei der Grenzfrequenz des Filters gilt es zu beachten, dass für Filterapproximationen wie Bessel und Butterworth die Frequenz gemeint ist, bei der die Amplitude um  $-3$  dB abgesunken ist. Für Tschebyscheff hingegen wird die Frequenz angegeben, bei der die Amplitude den erlaubten Ripple unterschreitet.

Nun wird der erlaubte *Passband Ripple* eingegeben. Für Filter ohne Ripple wie Bessel und Butterworth kann man die Eingabe beim Standardwert belassen.

Es gibt zwei Möglichkeiten zur Bestimmung der Filter-Ordnung: Entweder hakt man wie in Bild 2 *Set Fixed* an und wählt rechts daneben die Ordnung aus, oder man gibt (ohne Haken) direkt die für die Anwendung geforderte Dämpfung für eine bestimmte Frequenz ein. Das Programm wählt dann die passende Filter-Ordnung selbst. Dies eignet sich gut, um den Aufwand für verschiedene Approximationen einzuschätzen. Im dritten Schritt wird der *Response Type* beziehungsweise die Filter-Approximation ausgewählt (Bild 3). Im gezeigten Diagramm sieht man den Verlauf von Amplitude, Phase und Gruppenlaufzeit über der Frequenz. Durch Drehen des Mauseisens kann man den Ausschnitt vergrößern und per Linksklick plus Halten verschieben. Ein Rechtsklick erlaubt die Rückkehr zur Vollansicht. Die Frequenzdarstellung ist logarithmisch.

Im vierten und letzten Schritt wird die Topologie ausgewählt (Bild 4). Man hat hier die Wahl zwischen *Multiple Feedback* für Single-Ended-Verstärker, *Sallen-Key* (ebenfalls single ended) und *Multiple Feedback (Fully differential)*. Diese Begriffe wurden in [1] ausführlich beleuchtet.

Klickt man schließlich auf *Finish*, erscheint die fertig dimensionierte Schaltung mit Bauteilwerten, eine Liste mit den Filterspezifikationen und zwei Diagramme mit Amplituden- und Phasenverlauf sowie der Gruppenlaufzeit (Bild 5). Auch diese Diagramme lassen sich zoomen und verschieben.

Eine wichtige Information aus der Liste in der Mitte ist der Wert *Min GBW reqd.* Diese Verstärkungsbandbreite (gain bandwidth) muss der verwendete Opamp mindestens haben, um das Filter mit dem gewünschten Verhalten realisieren zu können. Ein geringerer Wert beeinflusst das Filterverhalten zunehmend mit dem Maß der Unterschreitung. Der Parameter *QualityFactor (Q)* wurde ebenfalls schon in [1] besprochen.

### Praktische Anwendung

Im Gegensatz zu passiven Filtern haben aktive Äquivalente zwei Freiheitsgrade zur Anpassung der Bauteilwerte. Klickt man zum Beispiel auf den Wert von C1 und ändert ihn von 10 nF zu 1 nF (Reduktion auf 10 %) so ändert sich auch C2 proportional. Die beiden Widerstände erhöhen sich im Gegenzug um den Faktor 10. Beide Dimensionierungen ergeben das gleiche Filter-Verhalten. Andere Aspekte wie Rauschen oder Verzerrungen können sich allerdings verändern.

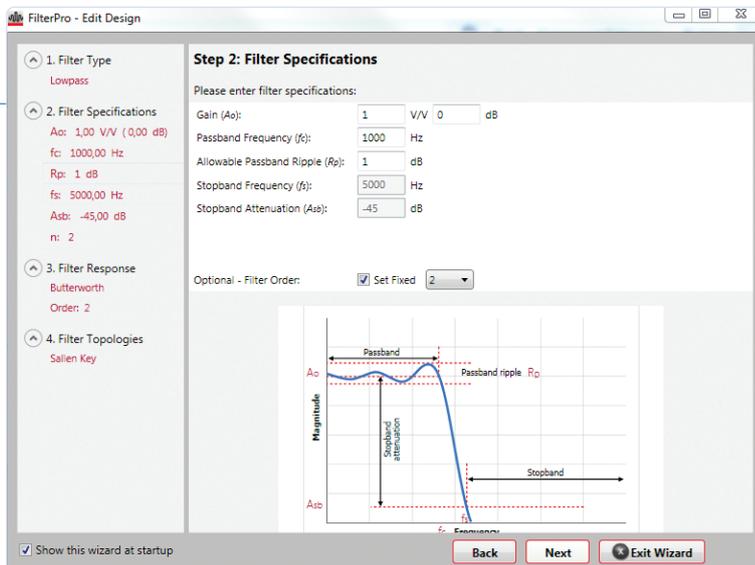


Bild 2. Eingabe der Filter-Spezifikationen.

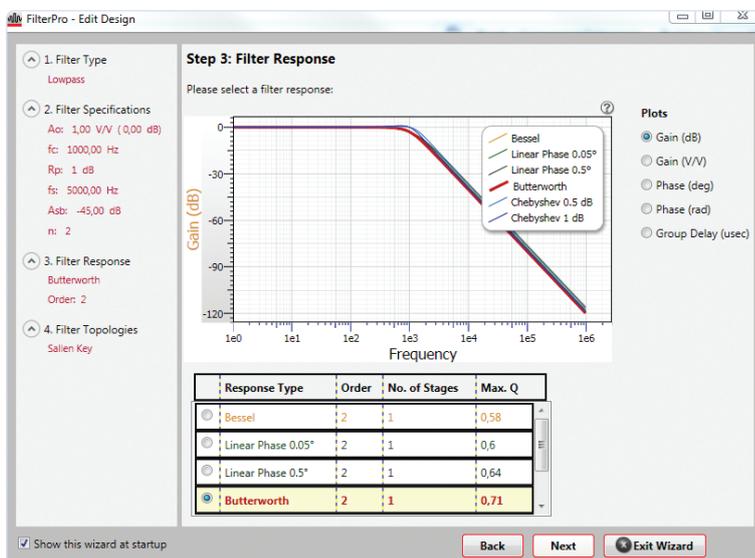


Bild 3. Filter-Response oder Filter-Approximation.

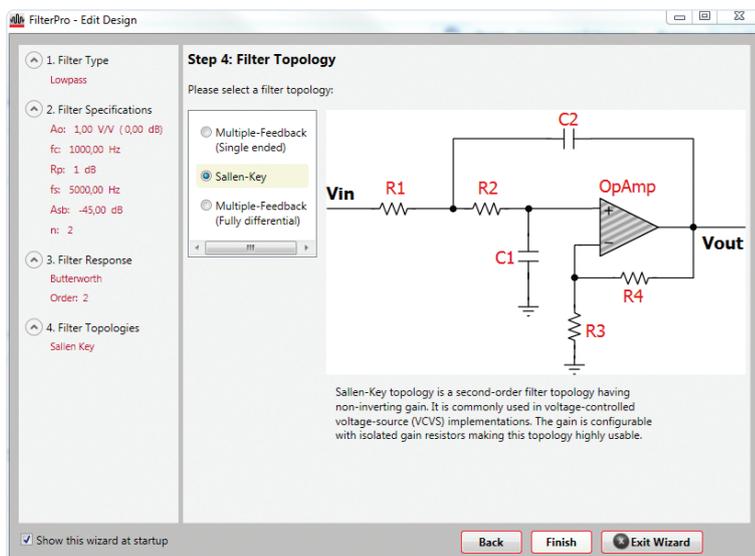


Bild 4. Auswahl der Filter-Topologie.

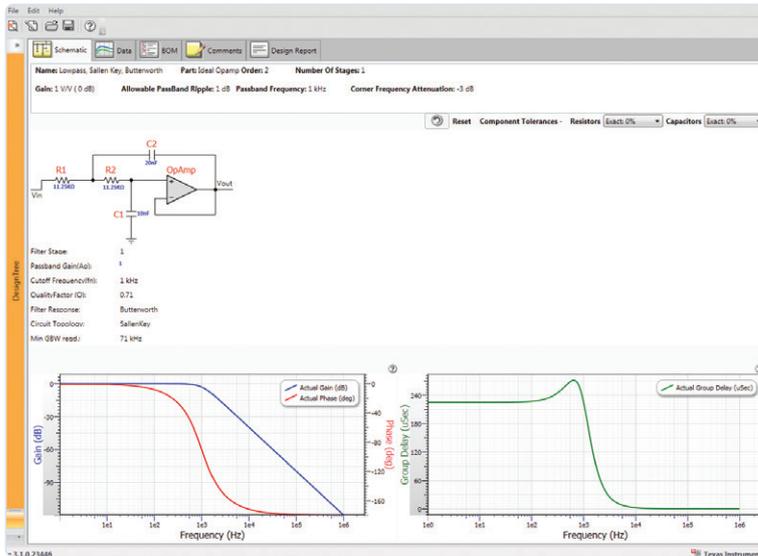


Bild 5. Das Ergebnis: Fertige Schaltung und Diagramme des Filter-Verhaltens.



## PASSENDE PRODUKTE

- **OWON SDS1104 4-Kanal-Oszilloskop (100 MHz) (SKU 19514)**  
www.elektor.de/19514
- **OWON XDM1041 Digitales Multimeter (55000 Counts) (SKU 19715)**  
www.elektor.de/19715
- **OWON AG051 Arbitrary Waveform Generator (5 MHz) (SKU 18874)**  
www.elektor.de/18874

Für Audiofrequenzen wählt man typischerweise Widerstandswerte im einstelligen Kiloohm-Bereich als guten Kompromiss zwischen Rauschen (sinkt mit kleineren Widerständen) und Verzerrungen (steigen bei kleineren Widerständen durch höhere Ströme). Zwecks Anpassung an real erhältliche Bauteile sollte man zuerst mit den Kondensator-Werten spielen, da diese üblicherweise nur in kürzeren E-Reihen (E3 bis E12) erhältlich sind als Widerstände (E12 bis E96).

Will man den zweiten Freiheitsgrad verstehen, muss man sich wohl oder übel doch mit den Filter-Formeln beschäftigen. Den Wert für C1 kann man frei wählen. Je nach Approximation, Ordnung und Verstärkung gibt es ein Mindestverhältnis von C2 zu C1. Bei diesem Minimum sind bei einer Verstärkung von 1 die beiden Widerstände gleich. Das Programm *FilterPro Desktop* scheint für die exakten Werte der Kondensatoren dieses Mindestverhältnis zu wählen.

Sollen die Kondensatoren aus einer gegebenen E-Reihe kommen, nimmt das Programm die nächstbesten Werte und das Verhältnis von C2 zu C1 vergrößert sich. Dadurch verändern sich die Widerstandswerte: Sie sind nicht mehr gleich.

Im obigen Beispiel ergeben sich die exakten Werte 10 nF für C1 und 20 nF für C2 – das Verhältnis von C2 zu C1 ist demnach 1:2.

Beide Widerstände haben den gleichen Wert von 11,25 kΩ. Bei Kondensatoren aus der E12-Reihe bleibt C1 bei 10 nF, doch C2 erhöht sich auf 22 nF. R1 hat nun 7,86 kΩ und R2 dann 14,65 kΩ.

Auch beim aktuelleren Online-Tool (siehe unten) ist das so. Leider kann man das Verhältnis nicht selbst anpassen. Immerhin aber kann man in Bild 5 rechts oben getrennt für Widerstände und Kondensatoren auswählen, ob man exakte Werte oder welche aus einer bestimmten E-Reihe haben möchte. Bei der Auswahl von E-Reihen werden in den Diagrammen sowohl die Kurven für die exakten Werte als auch für die gewählten E-Reihen angezeigt. Auf diese Weise kann man besser entscheiden, welche Abweichungen vom Ideal man tolerieren möchte.

Es gibt aber auch einen vereinfachenden Trick: Im vorherigen Beispiel sind die beiden Widerstände gleich groß und C2 ist genau doppelt so groß wie C1 (diese Variante wird übrigens auch im Tietze-Schenk beschrieben). Will man hohe Genauigkeit erreichen, so kann man für C1 einen gut erhältlichen und bezüglich Bauform und Toleranz gut passenden Wert wählen. Für C2 schaltet man einfach zwei gleiche Kondensatoren parallel. Stammen die drei Kondensatoren aus der gleichen Charge, sollten sie gut übereinstimmen. Eventuelle Abweichungen vom Nominalwert kann man durch Anpassen

der Widerstände ausgleichen, in dem man den gemessenen Wert für C1 in Bild 5 einträgt und die neu errechneten Widerstandswerte (beziehungsweise den nächsten Wert der verfügbaren E-Reihe) nimmt.

Bei einer (präzisen) Frequenzweiche gilt übrigens: Beim Hochpass sollten die gleichen Kondensatoren wie beim Tiefpass verwendet werden, um so den optimalen Übergang vom Tiefpass zum Hochpass zu gewährleisten. Selbstverständlich kann man auch Kondensatoren und Widerstände aus mehreren einzelnen „zusammensetzen“, falls man es ganz genau nehmen möchte.

## Sonstiges

Damit die vorgenommenen Optimierungen nicht verloren gehen, kann man bereits optimierte Filter zuerst abspeichern, bevor man ein anderes Filter ausprobiert.

Wählt man in Bild 5 oben den Reiter *Data*, so erhält man die Frequenzgänge als Tabelle, die sich via *Export to Excel* zur weiteren Verarbeitung sichern lässt (etwa als Vergleich zu Messungen an Prototypen oder zwecks Dokumentation). Der Reiter *BOM* erstellt eine Stückliste. *Comments* erlaubt das Einfügen von Kommentaren und *Design Report* erzeugt automatisch eine Dokumentation (ohne Frequenzgangtabelle).

Bevor man das berechnete Filter aufbaut, empfiehlt sich die Simulation der Schaltung.

Besonders hilfreich bezüglich Bauteiltoleranzen ist eine Monte-Carlo-Simulation. Simuliert man mehrere Varianten eines Filters, kann man deren Verhalten direkt miteinander vergleichen.

Mehrstufige Filter werden aus Filtern erster und zweiter Ordnung zusammengesetzt. Wichtig: Das Hintereinanderschalten zweier gleicher Butterworth-Filter 2. Ordnung ergibt allerdings kein Butterworth-Filter 4. Ordnung, sondern ein Linkwitz-Filter 4. Ordnung.

Man kann durch Ausprobieren untersuchen, wie sich der *Quality Factor (Q)* und die Anforderungen an die minimale Verstärkungs-Bandbreite der OpAmps ändern.

Soll das Filter eine größere Verstärkung als 1 haben, kann man dies bei den Spezifikationen eingeben. Bei mehrstufigen Filtern wird die Verstärkung dann gleichmäßig verteilt. Man sollte sich anschauen, wie sich die Bauteilwerte dadurch verändern und eine zu große Spreizung der Werte vermeiden. Notfalls realisiert man die fehlende Verstärkung einfach in einer getrennten Stufe. Auf diese Weise bleiben die Bauteile-Werte auch dann konstant, wenn man später die Verstärkung ändern möchte.

Noch ein Hinweis: Da TI die Desktop-Variante der Software nicht mehr pflegt, ist sie auch nicht mehr auf den Firmen-Servern zu finden. Einfaches Googeln nach „FilterPro Desktop“ führt aber immer noch zu funktionierenden Downloads wie dem von [3]. Das Programm läuft sowohl unter Windows 7 als auch unter Windows 10 und erstaunlicherweise sogar

noch unter Windows 11 stabil. Beim Start scheint das Programm gelegentlich für eine Minute zu hängen – danach funktioniert es allerdings einwandfrei.

### Online-Tools

Die neuere Online-Version der Filter-Software von TI nennt sich „Filter Design Tool“ und ist unter [5] bei TI zu finden. Nach Registrierung kann man mit dem Filterentwurf beginnen. Es gibt keine Pro-Version und daher auch keine Beschränkungen. Die Oberfläche ist etwas moderner gestaltet als beim Desktop-Programm, hat aber fast die gleiche Funktionalität.

Gegenüber der Vorgängerversion wird hier auch die Sprungantwort des Filters angezeigt. Wählt man statt der idealen Werte welche aus der E-Reihe, kann man zusätzlich auch die Toleranz getrennt für Widerstände und Kondensatoren einstellen.

In den Darstellungen der Frequenzgänge von Amplitude, Phase und Gruppenlaufzeit sowie der Sprungantwort wird neben dem idealen Verlauf auch das Toleranzband angezeigt. Man spart sich damit eigentlich eine spätere Monte-Carlo-Simulation (die ich zur Sicherheit trotzdem machen würde).

Die Desktop-Version kann Bandsperren nach Sallen-Key (ungünstig, siehe Artikel [1]) und MFB-Struktur berechnen – die Onlineversion leider nur die Bainter-Topologie. Für Fliege-Filter und Variable-State-Bandsperren findet sich im Internet spezialisierte Design-Software.

Der größte Nachteil des Online-Tools ist, dass man die Bauteilwerte nicht so leicht manipulieren kann wie in der Desktop-Version. Daher ziehe ich *FilterPro* der Online Version weiterhin vor. Das *Filter Design Tool* scheint jedoch ebenfalls das Mindestverhältnis der Kondensatoren zu unterstützen.

Zum Schluss noch eine Bemerkung zum Filter-Tool von Analog Devices [6]: Dieses Online-Tool scheint ein festes Verhältnis der Kondensatoren 1:1 oder von 1:10 zu benutzen. Das größere der beiden Verhältnisse führt aber zu einer großen Spreizung der Werte, die ich für ungünstig halte. ◀

210041-02

### Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter [alfred\\_rosenkraenzer@gmx.de](mailto:alfred_rosenkraenzer@gmx.de) oder kontaktieren Sie Elektor unter [redaktion@elektor.de](mailto:redaktion@elektor.de)

## WEBLINKS

- [1] Alfred Rosenkränzer, „Design analoger Filter (Teil 2)“, ElektorMag 11-12/2020: [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-158/59067](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-158/59067)
- [2] U. Tietze, C. Schenk und E. Gamm, „Halbleiter-Schaltungstechnik“, Springer-Verlag: [www.tietze-schenk.de/](http://www.tietze-schenk.de/)
- [3] Download FilterPro Desktop V. 3.1.0.23446: [www.softpedia.com/get/Science-CAD/Circuit-Diagram.shtml](http://www.softpedia.com/get/Science-CAD/Circuit-Diagram.shtml)
- [4] Dokumentation FilterPro: [www.ti.com/lit/an/sbfa001c/sbfa001c.pdf](http://www.ti.com/lit/an/sbfa001c/sbfa001c.pdf)
- [5] Filter Design Tool (online): <https://webench.ti.com/filter-design-tool/topology>
- [6] Analog Filter Wizard (online): <https://tools.analog.com/en/filterwizard/>
- [7] Bonnie C. Baker, „Bandstop Filters and the Bainter Topology“, Analog Applications Journal : [www.ti.com/lit/an/slyt613/slyt613.pdf](http://www.ti.com/lit/an/slyt613/slyt613.pdf)
- [8] Fliege-Filter: <https://earmark.net/gesr/opamp/notch.htm>

# TV-B-Gone!

... oder zumindest: B-OFF



Quelle: Adafruit

Von Luc Lemmens (Elektor)

Essen Sie mit Freunden in einem Restaurant, in dem ein (zu) lautes Fernsehgerät läuft? Oder möchten Sie ahnungslose Zuschauer veräppeln? Dann richten Sie TV-B-Gone darauf und drücken Sie den Knopf!



Vor langer, langer Zeit funktionierten drahtlose Fernbedienungen für einige teure Fernsehgeräte mit Ultraschall. Man erzählt sich, dass ein Besitzer eines solchen Luxusgeräts dieses immer wieder zur Reparatur einschickte, weil entweder der Fernseher oder die Fernbedienung ein Eigenleben zu führen schienen: Sie wechselten wahllos die Kanäle, änderten die Lautstärke oder schalteten sich spontan aus... Zur großen Verzweiflung des Besitzers und des Reparaturtechnikers konnte die Ursache für die Fehlfunktion nicht gefunden werden; in der Werkstatt funktionierte das Gerät problemlos. Als der Techniker den Fernseher zum x-ten Mal im Wohnzimmer des Besitzers aufstellte, bemerkte er zufällig, dass das Haustier - ein Papagei - seinen Schnabel öffnete und der Fernseher sich sofort

ausschaltete. Offenbar ahmte das Tier das (für menschliche Ohren unhörbare) Geräusch der Fernbedienung nach!

Ob die Geschichte wahr ist oder nicht, sei einmal dahingestellt, aber amüsant ist sie allemal. Später, im Zeitalter der Infrarot-Fernbedienungen, kamen die Geschichten von Kindern (nein: Erwachsene tun das nicht!) ans Licht, die das TV-Gerät des Nachbarn heimlich mit einer Fernbedienung von vor dem Wohnzimmerfenster aus bedienten. Voraussetzung ist natürlich, dass das Gerät mit demselben IR-Protokoll arbeitet wie das betreffende Fernsehgerät. Der hier vorgestellte IR-Sender TV-B-Gone geht in dieser Beziehung kein Risiko ein: Er überträgt mehr als 230 verschiedene IR-Codes zum Ausschalten für mehr als 230 verschiedene Arten von Fernsehgeräten und dies über eine Entfernung von bis zu 45 m! Die meisten Fernsehgeräte verwenden in einem Toggle-Betrieb denselben Code zum Ein- und Ausschalten, so dass die Fernbedienung das Gerät auch (wieder) einschalten kann.

## Der Bausatz TV-B-Gone

Adafruit bietet einen Bausatz mit einer Leeplatine und allen Bauteilen an, die zum Bau dieses von Mitch Altman entworfenen Projekts benötigt werden. Der Bausatz ist jetzt auch im Elektor Store [1] erhältlich. Wie bei vielen Produkten heutzutage ist auf der Verpackung ein Weblink aufgedruckt, eine Dokumentation auf Papier liegt dem Bausatz nicht bei. Dafür gibt es aber eine Fülle sehr übersichtlicher Online-Informationen auf der

Website von Adafruit [2], GitHub [3] und der Website des Entwicklers [4].

Das Informationspaket unter [2] enthält die gesamte Dokumentation, die man für den Bau und die Verwendung des Geräts benötigt. Die Anleitungen sind einfach zu befolgen und sehr klar illustriert, so dass es auch für Leute, die noch nie eine elektronische Schaltung gebaut haben, möglich sein sollte, dieses Projekt erfolgreich abzuschließen - wenn man ein wenig löten kann oder man jemanden kennt, der es einem beibringt. Es ist gutes Übungsmaterial, und da das Layout der Platine recht kompakt ist, ist sauberes und genaues Arbeiten gefragt. Vergessen Sie nicht, den Abschnitt *Design Notes* zu lesen, der nützliche Hintergrundinformationen über die Hardware und die Fernbedienungs-codes enthält.

Wenn Sie die Hardware auf der Platine oder die Firmware ändern wollen (etwa wenn Sie IR-Codes für Geräte hinzufügen wollen, die nicht unterstützt werden), ist GitHub der richtige Ort dafür. Der Quellcode sowie die Eagle-Schaltplan- und Platinen-Design-dateien sind dort zu finden. Natürlich ist das alles nur etwas für fortgeschrittene Bastler. Auf der Website von Mitch Altman finden Sie weitere, ähnliche Projekte zur Überwachung und Beeinflussung von Fernsehgeräten. Vielleicht finden Sie dort weitere nützliche Produkte, oder Sie lassen sich inspirieren, Ihre eigenen Anwendungen in diesem Bereich zu entwickeln.

## Die Hardware

Die Schaltung des TV-B-Gone in **Bild 1** ist

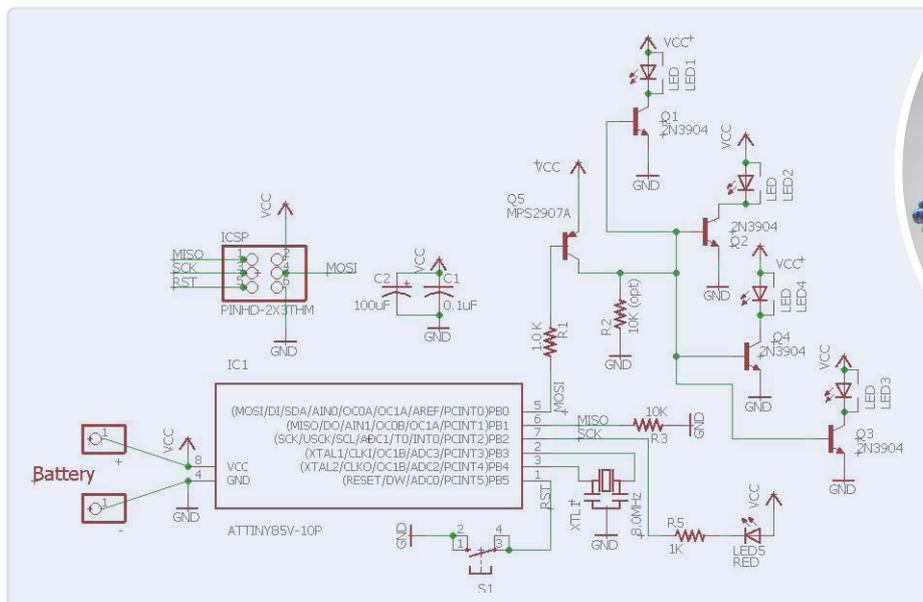


Bild 1. Der Schaltplan von TV-B-Gone.

nicht allzu kompliziert; die meiste Arbeit wird von der Software erledigt. Durch Drücken und Loslassen des Druckknopfes S1 wird die Sequenz aller „bekannt“ Off-Codes über die Transistoren Q1 bis Q5 und die IR-LEDs LED1 bis LED4 übertragen. LED5 zeigt an, wenn TV-B-Gone aktiv ist. Der Bausatz wird mit einem vorprogrammierten ATtiny85-Mikrocontroller geliefert; die 6-polige Stiftleiste zum Anschluss eines AVR-ISP-Programmieradapters (und auch den Adapter selbst) werden Sie nicht benötigen, es sei denn, Sie möchten mit der Firmware experimentieren.

### Aufbau von TV-B-Gone

**Bild 2** zeigt den Inhalt des Bausatzes. Überprüfen Sie zunächst anhand der Liste auf der Adafruit-Website, ob alle Bauteile in der Tüte sind. Beachten Sie, dass es verschiedene Versionen der Stückliste gibt! Wir haben die Version V1.2 getestet; die Versionsnummer ist auf beiden Seiten der Platine aufgedruckt. Anhand der Anleitungen und Fotos im Abschnitt *Solder It!* auf der Adafruit-Website ist es einfach, den Bausatz zusammenzubauen. Erfahrene Bastler werden diese Anleitung wahrscheinlich überspringen und einfach direkt anfangen zu löten. Der Bau ist wirklich nicht schwierig. Aber für die weniger erfahrenen Baumeister unter uns gilt: einfach der Anleitung folgen!

### Verwendung dieser Fernbedienung

Es gibt eigentlich nicht viel zu tun: einfach den Druckknopf drücken und loslassen, und

die IR-LEDs beginnen, Ein/Aus-Codes auszusenden. Die grüne LED blinkt, um anzuzeigen, dass die Schaltung aktiv ist. Es dauert eine Weile, bis alle verschiedenen Codes übertragen werden, und es kann einige Zeit dauern (bis über eine Minute), bis der zu Ihrem Fernsehgerät passende Code gesendet wird. Ich war beeindruckt von der Reichweite dieser Fernbedienung. Es wird in der Anleitung behauptet, dass sie noch in einer Entfernung von mehr als 40 m wirksam ist. Mein Wohnzimmer ist zwar etwas zu klein, um diese volle Reichweite zu testen, aber es war erstaunlich zu sehen, dass ein Fernsehgerät aus dem Nebenzimmer und um die Ecke gesteuert werden kann, wobei die Wände den IR-Strahl reflektieren. Gar nicht so schlecht!

Eine zusätzliche Fernbedienung, die heimlich bedient wird, kann bei einem ahnungslosen Fernsehzuschauer durchaus für komische Effekte sorgen. Die TV-B-Gone verfügt über einen verstärkten IR-Ausgang für eine viel größere Reichweite als eine Standardfernbedienung und natürlich über mehr als 230 verschiedene Codes, um (fast?) jeden real existierenden Fernseher mit der IR-Fernbedienung auszuschalten. Aber bevor Sie mit diesem

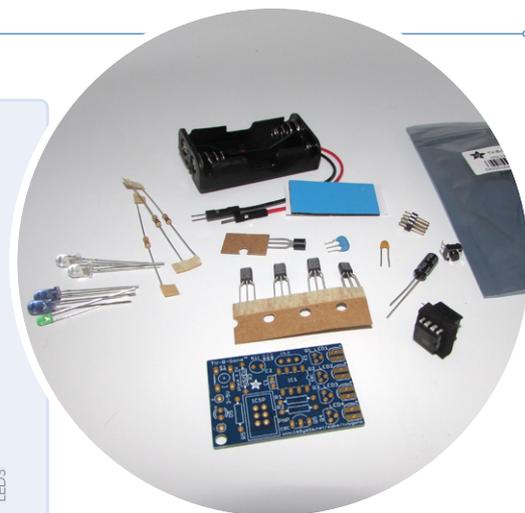


Bild 2. Inhalt des Bausatzes.

TV-B-Gone-Gadget herumspielen, sollten Sie sich vergewissern, dass Ihr(e) Opfer diese Art von Humor zu schätzen wissen. Manche Menschen können sehr wütend und sogar aggressiv werden, wenn Sie ihre Liebessendung unterbrechen oder wenn ihre Lieblingssportmannschaft in der letzten Minute des Spiels das entscheidende Tor schießen will und der Fernseher plötzlich dunkel wird. Die Chance, Sie als Übeltäter zu entlarven, ist zwar gering, aber trotzdem... B-Ware! ◀

220236-02

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

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



**PASSENDES  
PRODUKT**

➤ **Bausatz TV-B-Gone – Universelle TV-Fernsteuerung (SKU 20140)**  
[www.elektor.de/20140](http://www.elektor.de/20140)

### WEBLINKS

- [1] Der Bausatz im Elektor-Store: <https://elektor.de/20140>
- [2] Bauanleitung: <https://learn.adafruit.com/tv-b-gone-kit>
- [3] Software und Konstruktionsdateien: <https://github.com/adafruit/TV-B-Gone-kit>
- [4] Website des Entwicklers: <https://www.tvbgone.com/>

# RP2040-basierte Luftgüte- messung

Von Dr. Claus Kühnel (Schweiz)

Anfang des Jahres 2021 kündigte die Raspberry Pi Foundation den Raspberry Pi Pico an. Wie Elektor-Leser wissen, handelt es sich dabei nicht um ein weiteres Modell der Raspberry-Pi-Familie, sondern um ein eigenständiges Mikrocontroller-Board mit dem Mikrocontroller RP2040. Mit dem RP2040 kann man die Luftqualität messen. Er erfasst Daten von einem CO<sub>2</sub>-Sensor und überträgt sie dann über einen ESP8266 an die beliebte ThingSpeak-Cloud-Plattform.

Schon bei der Ankündigung des Raspberry Pi Pico gab es viele kontroverse Diskussionen im Internet. Während die einen den neuen Controller euphorisch begrüßten, wiesen die anderen sofort auf die aus ihrer Sicht fehlende Funktionalität hin. Elektor versuchte in [1], einen neutraleren Überblick zu geben, aber zu dieser Zeit war die Community oft stark polarisiert, so dass es gab kaum Raum für differenzierte Meinungen gab.

In der Zwischenzeit kam Arduino mit dem Arduino Nano RP2040 Connect auf den Markt. Der RP2040-Mikrocontroller, ergänzt durch ein NINA-W102-Funkmodul von ublox, bildet ein komplettes IoT-Gerät mit WLAN- und BLE-Konnektivität. Wenn Sie den Arduino Nano RP2040 Connect in einem Projekt verwenden, werden Sie wahrscheinlich auch

die Arduino- oder PlatformIO-IDE nutzen. Beide IDEs kennen aber einige Besonderheiten des RP2040 wie Dual-Core- und PIO-Unterstützung nicht.

Auf der anderen Seite, wenn Sie den Raspberry Pi Pico allein verwenden, können Sie zwischen den SDKs Raspberry Pi Pico C/C++ und Raspberry Pi Pico Python wählen, die beide alle Funktionen dieses Mikrocontrollers unterstützen. Allerdings fehlt Ihnen dann die Unterstützung für die drahtlose Kommunikation. Aber es gibt heute genügend Kommunikationsmodule, um diese Funktionalität hinzuzufügen.

Aufgrund der Unterstützung verschiedener Mikrocontroller und der vielen verfügbaren Bibliotheken verwende ich für meine Projekte gerne und häufig die Arduino-IDE. Die neue Hauptversion der Arduino-IDE ist schneller und noch leistungsfähiger. Die Arduino-IDE 2.0 wird jetzt mit einer Reihe von Release-Candidate-Builds (RC) zum stabilen Status gebracht. Im Juni 2022 war die Arduino-IDE 2.0 RC8 verfügbar, die Sie unter [2] herunterladen können. Neben einem moderneren Editor und einer reaktionsschnelleren Oberfläche bietet sie Autovervollständigung, Code-Navigation und sogar einen Live-Debugger.

## Raspberry Pi Pico

Der Mikrocontroller Raspberry Pi Pico wird hier nur kurz besprochen, da er bereits Gegenstand zahlreicher Berichte war und den meisten Lesern wohlbekannt sein dürfte. Ich möchte nur einige aus meiner Sicht wichtige Details herausstellen.

Der Raspberry Pi Pico bietet eine minimale Infrastruktur für den Betrieb des RP2040-Mikrocontrollers (**Bild 1**).

Der Raspberry Pi Pico verfügt über Halbloch-Kantenkontakte (castellated pins), was die einfache Montage (Board-to-Board-Löten) auf einem Trägerboard ermöglicht. Solche „Halblöcher“ werden seit langem bei verschiedenen Modulplatinen (beispielsweise Bluetooth- oder WLAN-Modulen) verwendet, um sie direkt auf einer anderen Platine montieren zu können.

Der RP2040 ist ein kostengünstiger und leistungsstarker Mikrocontroller mit flexiblen digitalen Schnittstellen. Ein mit bis zu 133 MHz getakteter Dual-Core-Cortex-M0+-Prozessor bietet ausreichend Leistung für die meisten IoT-Anwendungen.

**Tabelle 1. Wichtige Pins und Funktionen**

Pin	I/O-Richtung	Funktion
GPIO29	in	ADC3 erfasst VSYS/3
GPIO25	out	User-LED
GPIO24	in	Erkennung VBUS - high, wenn VBUS vorhanden, sonst low
GPIO23	out	Steuert die Onboard-SMPS

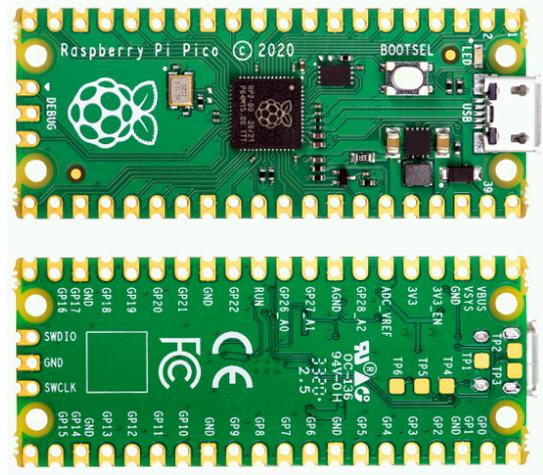


Bild 1. Ansicht des Raspberry Pi Pico von oben und von unten (Quelle: Datenblatt Raspberry Pi Pico).

**Bild 2** zeigt die Mehrfachbelegung der GPIOs des Raspberry Pi Pico, die zu einem hohen Maß an Flexibilität im Hardwaredesign führt. Man sieht, dass die beiden UARTs, die beiden I<sup>2</sup>C-Busse und die beiden SPI-Busse mehrfach vorhanden sind. Nur die internen ADC-Anschlüsse sind festen Pins zugeordnet. Einige GPIOs dienen internen Funktionen. **Tabelle 1** zeigt die relevanten GPIOs und ihre Funktionalität. Zusätzlich zu diesen GPIOs stehen sieben weitere Anschlüsse nach außen zur Verfügung. **Tabelle 2** zeigt die Bezeichnung dieser Anschlüsse und ihre Funktionen. Der 3V3-Pin (OUT) ist schaltbar und kann so Sensoren oder Aktoren von der Versorgungsspannung trennen, um Strom zu sparen. Für batteriebetriebene IoT-Anwendungen kann dies sehr vorteilhaft sein. Wenn die Genauigkeit des ADCs nicht hoch sein muss, ist die intern

erzeugte Referenzspannung ausreichend. Sie können die Genauigkeit aber mit einer externen Referenzspannungsquelle am Anschluss ADC\_VREF verbessern, zum Beispiel mit einem LM4040 (**Bild 3**). Bitte beachten Sie, dass der ADC des aktuellen RP2040 noch einige Linearitätsprobleme hat, und dies betrifft auch alle aktuellen Boards, die auf dem RP2040 basieren.

### Maker Pi Pico

Der Raspberry Pi Pico ist nicht das einzige Board mit einem RP2040. Adafruit, Sparkfun, Pimoroni und andere bekannte Hersteller sind mit ihren Varianten von RP2040-basierten Mikrocontroller-Boards auf dem Markt. Sie können die Luftqualität mit jedem dieser Boards messen.

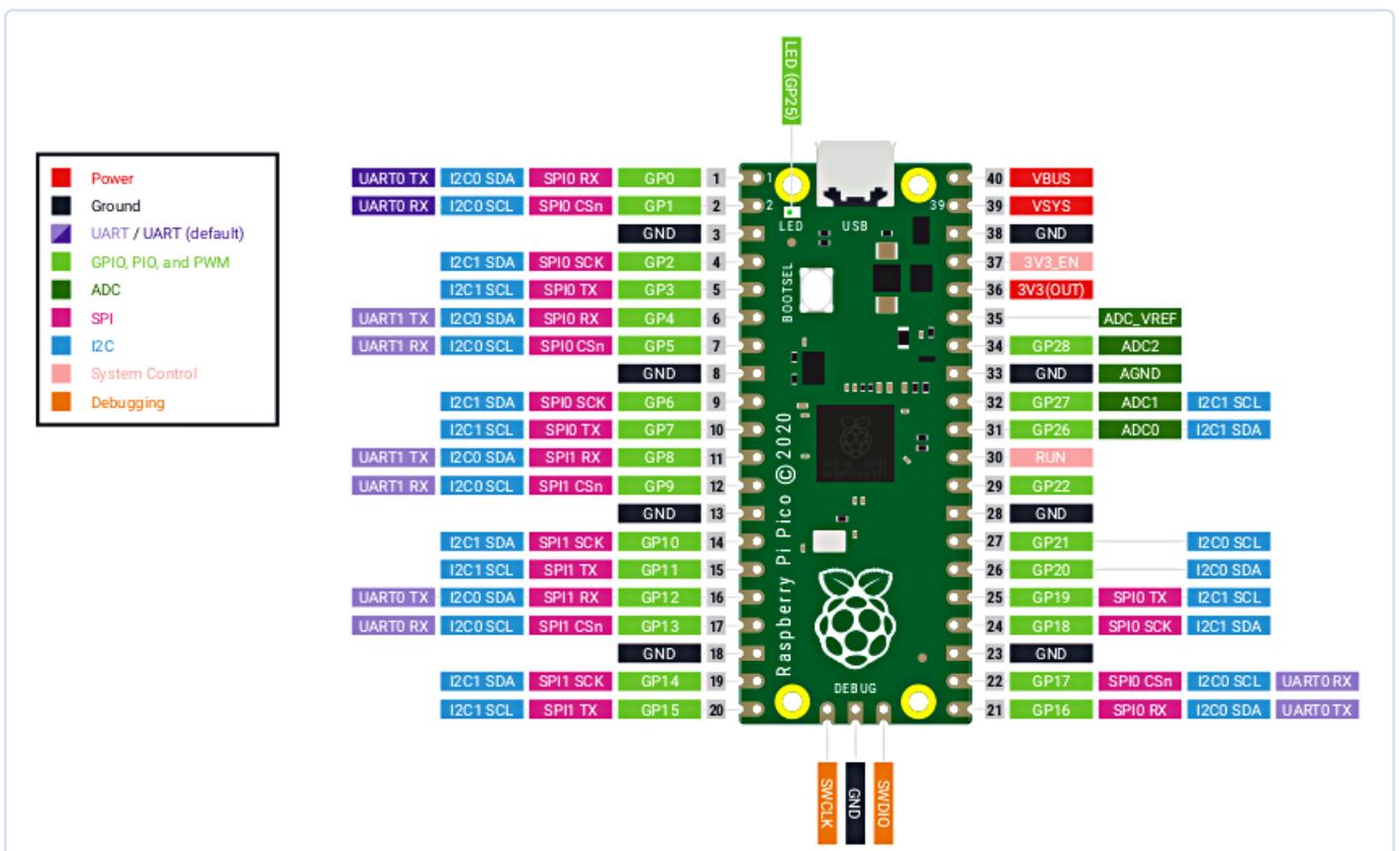


Bild 2. Vollständige Pinbelegung des Raspberry Pi Pico [9].

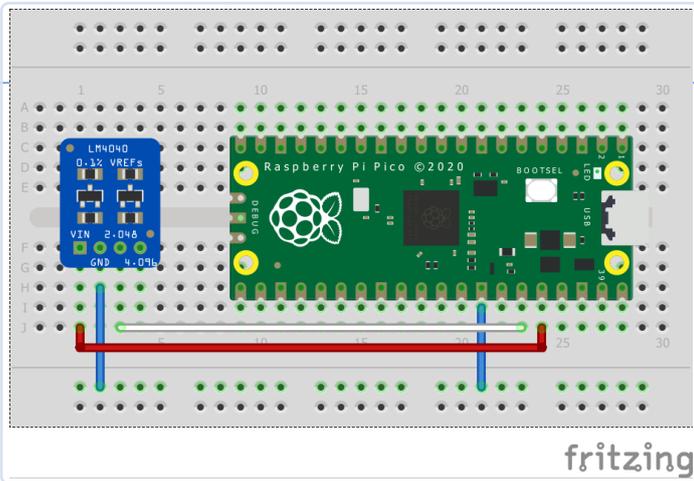


Bild 3. Externer ADC\_VREF mit LM4040.

Ich verwende den Maker Pi Pico von Cytron Technologies für diesen Zweck, weil das Board eine hervorragende Experimentierbasis bietet. Im Elektor-Store finden Sie weitere Controller-Boards und Add-ons für Ihre Projekte [3].

Der Hersteller Cytron Technologies wirbt mit dem Slogan „Simplifying Raspberry Pi Pico for Beginners“ für sein Maker Pi Pico Board (Bild 4). Beim Einstieg in einen neuen Mikrocontroller ist es immer wichtig, so weit wie möglich auf bekanntem und stabilem Boden zu spielen, denn die neue Umgebung und die neuen Tools allein bieten schon genügend Möglichkeiten, Fehler zu machen.

Der Raspberry Pi Pico ist bereits auf der Platine verlötet, und Sie können die Grove-Anschlüsse auf der linken und rechten Seite der Platine sehen. Es gibt einen SD-Kartensteckplatz für eine microSD-Karte. Der Anschluss für ein ESP-01-Modul unten rechts ist wichtig, um eine Internetverbindung zu ermöglichen. Neben zahlreichen neueren WLAN-Modulen ist der gute alte ESP-01, der auf dem ESP8266 von Espressif basiert, ein bewährtes Modul für diesen Zweck.

**Bild 5** zeigt die Anschlussbelegung des Maker Pi Pico Boards. Sie finden dort auch die entsprechenden Pins des Raspberry Pi Pico. Der Reset-Knopf auf der Platine, der beim Raspberry Pi Pico fehlt, ist beim Prototyping unerlässlich. Eine Neopixel-RGB-LED zeigt verschiedene Zustände des Boards an.

Bild 5 zeigt auch die Mehrfachbelegung der GPIOs des Raspberry Pi Pico an den Grove-Anschlüssen. Es ist zu erkennen, dass die beiden UARTs, die beiden I<sup>2</sup>C-Busse und die beiden SPI-Busse mehrfach

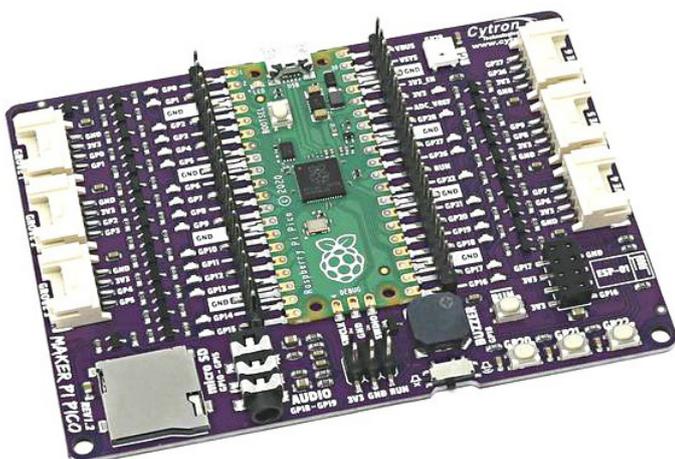


Bild 4. Ansicht des Maker Pi Pico von oben (Bild: Cytron).

Tabelle 2. Weitere Pins und Funktionen

Pin	Name	Funktion
40	VBUS	USB-Spannung (5 V). Eine externe Spannungsversorgung über USB kann über GPIO24 erkannt werden (high: Spannung vorhanden; low: keine Spannung vorhanden).
39	VSYS	System-Eingangsspannung; Bereich 1,8...5,5 VDC. Die Onboard-SMPS erzeugt 3,3 V zur Versorgung des RP2040 und seiner GPIOs.
37	3V3_EN	Über Pull-Up-Widerstand auf high gesetzt. Wenn mit GND verbunden, ist 3,3 V abgeschaltet.
36	3V3 (OUT)	3,3-V-Stromversorgung für externe Komponenten. Die Last sollte ≤ 300 mA sein.
35	ADC_VREF	Versorgungsspannung und Referenz für den ADC. Bei Verwendung einer externen Spannungsreferenz kann eine höhere Genauigkeit erzielt werden.
33	AGND	Analoge Masse für GPIO26...29. Wenn der ADC nicht verwendet wird oder die ADC-Genauigkeit nicht kritisch ist, kann dieser Pin mit der digitalen Masse (GND) verbunden werden.
30	RUN	Über einen Pull-up-Widerstand auf high gesetzt. Low setzt den RP2040 zurück. Es gibt keine Reset-Taste.

vorhanden sind. Nur die beiden ADC-Kanäle sind fest dem Anschluss Grove6 zugeordnet. Drei GPIOs sind mit programmierbaren Tasten verbunden und mehrere Ausgänge mit der NeoPixel-RGB-LED, dem Piezo-Summer und dem Audio-Anschluss. Das WLAN-Modul ESP-01 wurde ja bereits erwähnt.

Durch die Anschlussmöglichkeit für das WLAN-Modul ist das wahrscheinlich größte Manko eines RP2040 beseitigt. Die Kombination aus einem RP2040-Board und einem ESP8266-WLAN-Modul kostet normalerweise weniger als 12 €. Vergleichen Sie dies einmal mit den 30 €, die Sie normalerweise für das Arduino-Board Nano RP2040 Connect Board hinblättern müssen!

### Messung der Luftqualität

Die Luftqualität war und ist in Corona-Zeiten ein wichtiges Thema. Im Sommer ist das Infektionsrisiko scheinbar geringer, aber für den kommenden Herbst und Winter gibt es düstere Prognosen. Schadstoffe wie Feinstaub, Asbestfasern, Formaldehyd, PCB, Radon, Reinigungsmittel, Schimmel, Staub, Tabakrauch und flüchtige organische Verbindungen (VOC) beeinträchtigen zusätzlich zu CO<sub>2</sub> die Luftqualität in Innenräumen.

Der Anteil von Kohlendioxid in der Luft, die wir heute einatmen, beträgt etwa 415 ppm (≈ 0,04 %). Die von einem Menschen ausgeatmete Luft hat einen CO<sub>2</sub>-Gehalt von etwa 40.000 ppm. In ungelüfteten Schlafzimmern, voll besetzten Klassenzimmern oder Besprechungsräumen können wir daher schnell bis zu 5.000 ppm messen. Diese hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind schädlich für die Aufmerksamkeit, die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit im Allgemeinen.

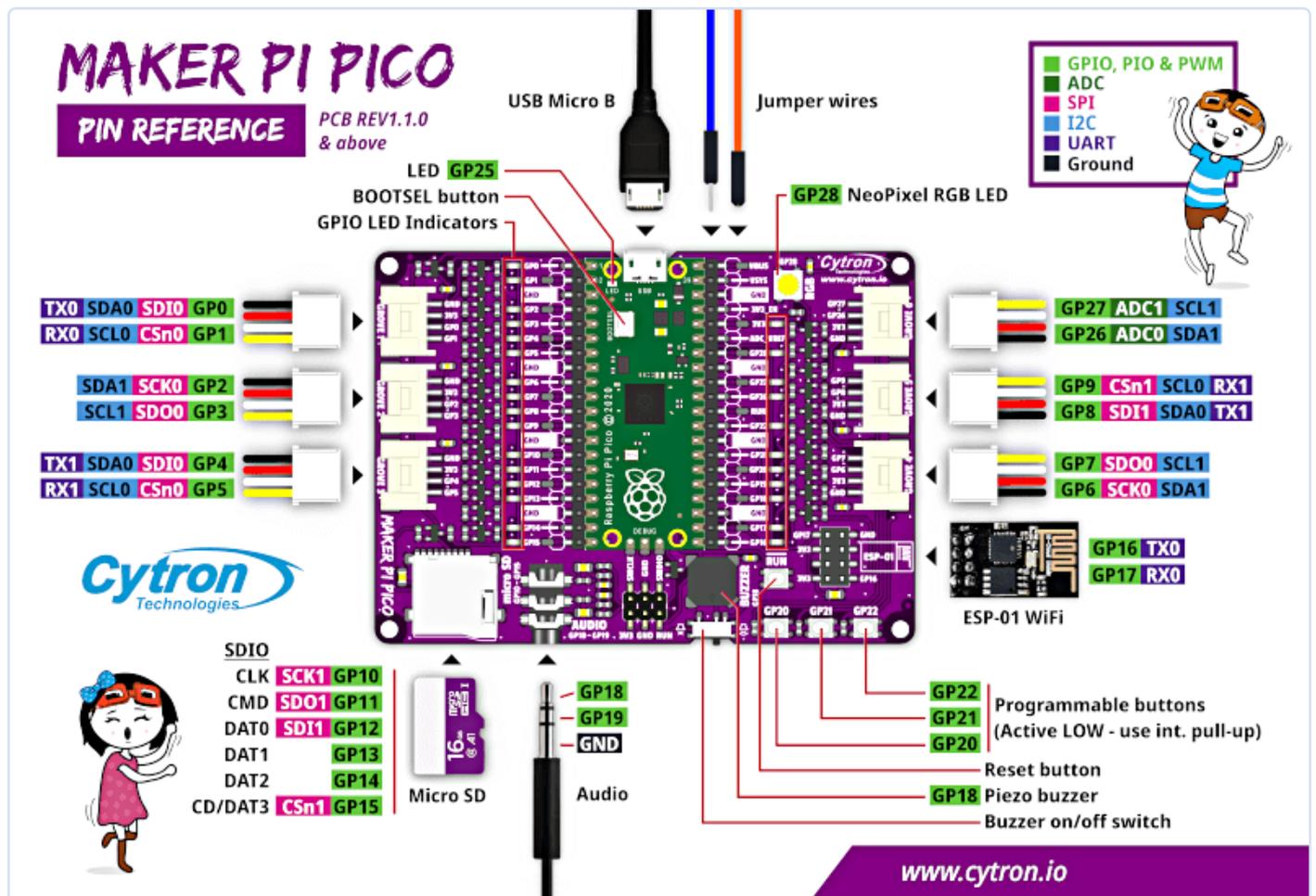


Bild 5. Pinbelegung der Maker Pi Pico Platine (Bild: Cytron).

Will man die Luftqualität umfassend beurteilen, muss man ein komplexes Sensorsystem bereitstellen. In einem professionellen Messsystem erfassen verschiedene Sensoren Werte für CO<sub>2</sub>, Feinstaub (relevante Größenklassen: PM1, PM2,5 und PM10), NO<sub>2</sub>, CO, Lärm, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck. Hier wollen wir uns auf die Messung von zwei wichtigen Schadstoffen konzentrieren, CO<sub>2</sub> und VOC, die mit zwei Arten von Sensoren gemessen werden können:

- > **NDIR-Sensoren** (Non-Dispersive Infrared Sensors) nutzen die konzentrationsabhängige Absorption von elektromagnetischer Strahlung im Infrarotbereich. Das Absorptionsmaximum von CO<sub>2</sub> liegt bei einer Wellenlänge von 4,3 µm und wird durch andere Gase kaum beeinflusst. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration kann daher sehr selektiv und einfach gemessen werden.
- > Bei **MOX-Sensoren** bewirkt das strömende Gas eine Veränderung einer gasempfindlichen Metalloxidschicht. Die Widerstandsänderung betrifft aber die Konzentration der erfassten VOC in ihrer Gesamtheit und kann nicht in bestimmte Substanzen aufgelöst werden. Mit den breitbandigen VOC-messenden MOX-Sensoren stehen Bauteile zur Verfügung, die ein ganzes Spektrum von gesundheitsgefährdenden Stoffen in bestimmten Konzentrationen erfassen.

Wie gesagt, konzentriert sich dieser Artikel auf die Messung von CO<sub>2</sub> und VOC. Nehmen wir an, wir verwenden die CO<sub>2</sub>-Konzentration als Maß für die Luftqualität. Dann haben wir einen guten Anhaltspunkt für die Belastung der Luftqualität durch die Atemluft der anwesenden

Personen und das damit verbundene Infektionsrisiko durch Viren, die über Aerosole übertragen werden.

Nehmen wir weiterhin an, wir verwenden die breitbandigen MOX-Sensoren zur Messung der Luftqualität. In diesem Fall haben wir einen guten Hinweis auf die Verschmutzung der Luft durch verschiedene Schadstoffe, einschließlich menschlicher Ausdünstungen und Gerüche. In einer umfangreichen Studie habe ich das Verhalten von NDIR- und MOX-Sensoren bei der Messung der Luftqualität untersucht [4], mit interessanten Ergebnissen (Bild 6). In einem dieser Experimente habe ich mit zwei CO<sub>2</sub>-Sensoren und einem MOX-Sensor gemessen. Bei den CO<sub>2</sub>-Sensoren handelte es sich um den SCD30 (NDIR) und den SCD41 (PASense), die von der Schweizer Firma Sensirion entwickelt wurden. Der MOX-Sensor war ein SGP30, ebenfalls von Sensirion. Da neben den menschlichen Ausdünstungen keine weiteren Stoffe vorhanden waren, folgen die Messwerte des MOX-Sensors SGP30 auch denen der beiden CO<sub>2</sub>-Sensoren SCD30 und SCD41. Die Luftqualitätsmessung der kostengünstigeren MOX-Sensoren zeigt überall dort, wo die Atemluft und die menschlichen Ausdünstungen dominieren, mit der reinen CO<sub>2</sub>-Konzentration vergleichbare Ergebnisse. Abweichungen treten vor allem in (beispielsweise mit Formaldehyd) belasteten Umgebungen auf.

### Luftqualität über MOX-Sensor

Da also ein MOX-Sensor zur Messung der Luftqualität ausreicht, habe ich in meinem Projekt den Sensirion SGP30 verwendet. Dieser Sensor misst die Gesamtkonzentration flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC) und die äquivalente berechnete CO<sub>2</sub>-Konzentration (eCO<sub>2</sub>). eCO<sub>2</sub> wird auf der Grundlage der H<sub>2</sub>-Konzentration berechnet und

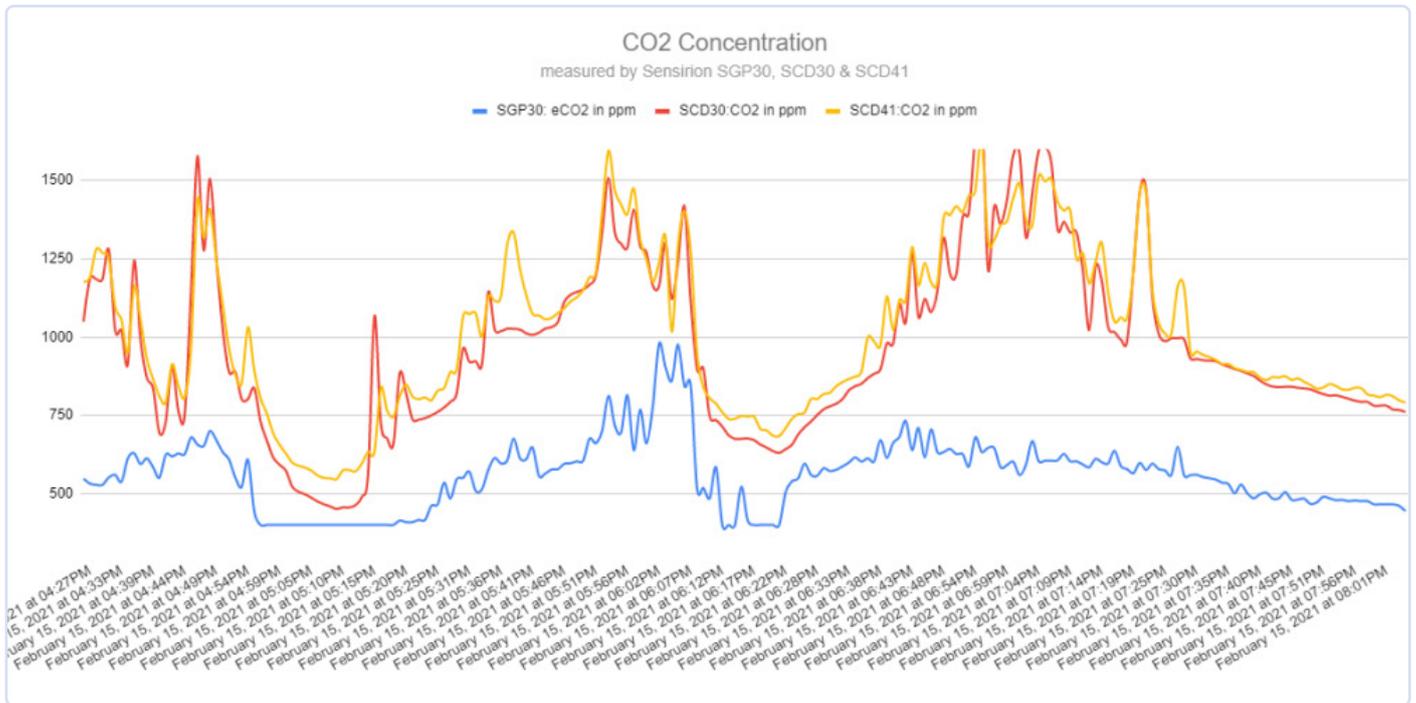


Bild 6. Mit NDIR- und MOX-Sensor gemessene CO<sub>2</sub>-Konzentration.



Bild 7. SGP30 (Bild: Sensirion SGP30 Data Sheet).

ist daher nicht so genau wie die direkte Messung von CO<sub>2</sub>, aber für unsere Zwecke gut genug.

Mit dem Chip (Bild 7) selbst konnte ich nicht viel anfangen, also habe ich die M5Stack-Einheit TVOC/eCO<sub>2</sub> für die Experimente verwendet. Bei dieser Einheit handelt es sich um einen gut verpackten SGP30, der über einen I<sup>2</sup>C-Anschluss im Grove-Format angeschlossen werden kann (Bild 8).

Ein ebenfalls über I<sup>2</sup>C angeschlossenes 0,96"-OLED-Display zeigt die Messwerte für TVOC und eCO<sub>2</sub> an. Der ESP-01 ist für den Internetzugang zuständig und über die UART-Schnittstelle *Serial1* mit dem Raspberry Pi Pico verbunden. Bild 9 zeigt alle verwendeten Peripheriegeräte, die mit dem Maker Pi Pico Board verbunden sind. Die NeoPixel-LED dient als Ampelanzeige. Grün bedeutet gute Luftqualität, gelb bedeutet weniger gute und rot bedeutet schlechte Luftqualität (dann muss unbedingt gelüftet werden).



Bild 8. M5Stack TVOC/eCO<sub>2</sub>-Sensor (Bild: M5Stack).

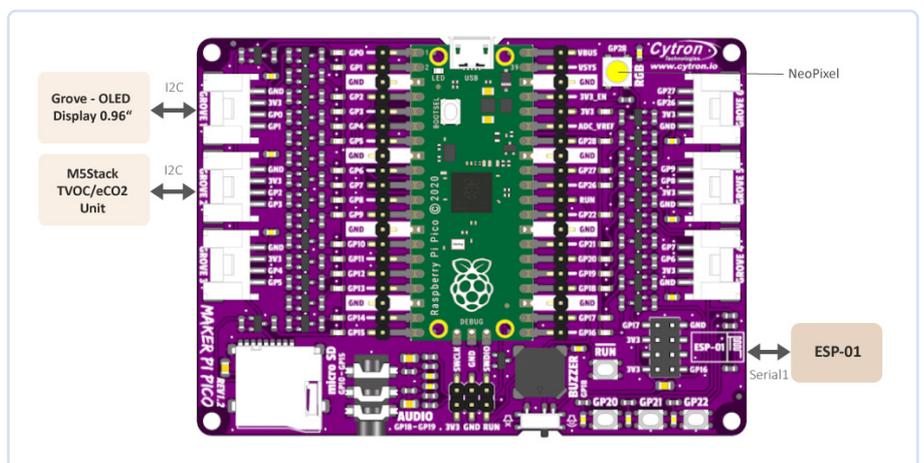


Bild 9. Maker Pi Pico mit angeschlossenen Peripheriegeräten (Bild: Cytron/Autor).

**Bild 10** schließlich zeigt die komplette Schaltung bei der Arbeit. Der Controller fragt den SGP30-Sensor im 5-s-Takt ab und überträgt die letzten Messwerte einmal pro Minute an den ThingSpeak-Server. Die Farbe der NeoPixel-LED entspricht dem gemessenen eCO<sub>2</sub>-Wert und kann einfach eingestellt werden (**Bild 11**).

Für die Visualisierung der Messwerte auf ThingSpeak werden die Daten über einen HTTP-GET-Zugriff an die ThingSpeak-API gesendet. **Bild 12** zeigt, wie die Messwerte in ThingSpeak [5] präsentiert werden.

## Software

Für diese Anwendung habe ich, wie anfangs erwähnt, die Arduino-IDE 2.0 verwendet. Earle F. Philhower III hat dankenswerterweise den Raspberry Pi Pico für die Programmierung mit der Arduino-IDE portiert. So können wir nun all die verschiedenen RP2040-Boards mit der Arduino-IDE programmieren. Diese Portierung des RP2040 (Raspberry Pi Pico Prozessor) in das Arduino-Ökosystem verwendet das reine SDK für den Raspberry Pi Pico und eine eigene GCC 10.3/ Newlib 4.0-Toolchain.

Im Bootloader-Modus werden die Boards automatisch erkannt und in der Arduino-IDE angezeigt. Der Upload-Befehl funktioniert mit dem Microsoft-UF2-Tool (im IDE-Download enthalten). Eine Anleitung zur Installation und Verwendung finden Sie auf GitHub [6].

**Bild 13** zeigt das Programmbeispiel *RP2040\_WiFi.ino*. Es verwendet zwei zusätzliche Dateien, *sendMessage.ino* und *arduino\_secrets.h*, die auf GitHub [7] zum Download bereitstehen. Während der ersten Kompilierung dieser Softwareversion fand der Compiler zwei Fehler in der Datei *WiFiEspClient.cpp* der WiFiEsp-Bibliothek v2.2.2. Nachdem



Bild 10. Messung der Luftqualität mit Sensirion SGP30 und Raspberry Pi Pico.

die fehlenden Return-Statements hinzugefügt wurden, funktionierte es.

```
size_t WiFiEspClient::print(const __FlashStringHelper
    *ifsh)
{
    return printFSH(ifsh, false); // 2022-04-25 CK
}

// if we do override this, the standard println will
```

Anzeige



## Schneller fertig als gedacht

PCB-Prototypen in nur einem Tag mit LPKF ProtoMaten. Noch einfacher – und automatisch – produzieren. Erfahren Sie mehr unter:  
[www.lpkf.de/prototyping](http://www.lpkf.de/prototyping)





LPKF Laser & Electronics AG  
Tel. +49 (0) 5131-7095-0



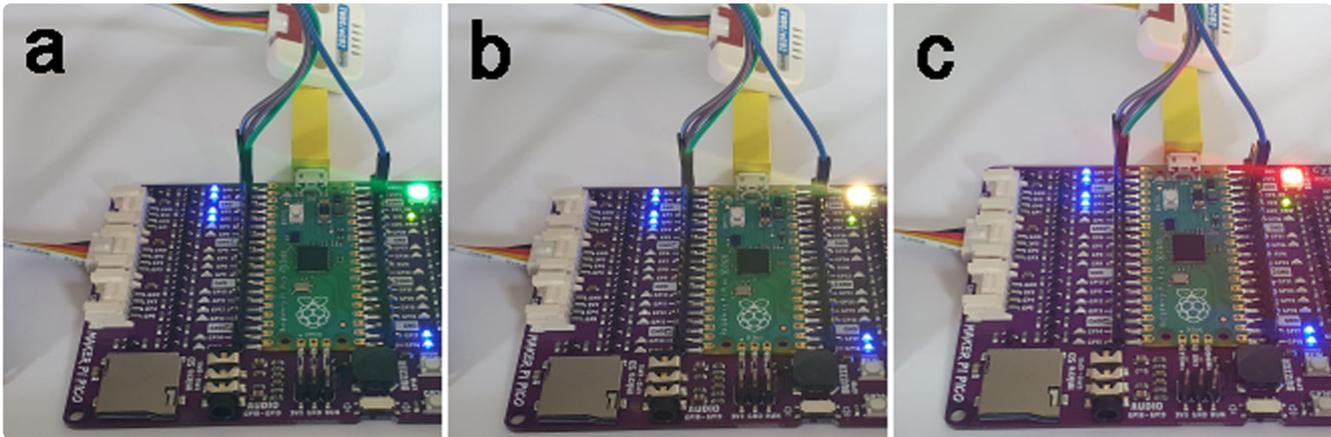


Bild 11. Signalisierung des gemessenen  $eCO_2$ -Wertes durch die Farbe der NeoPixel RGB-LED.

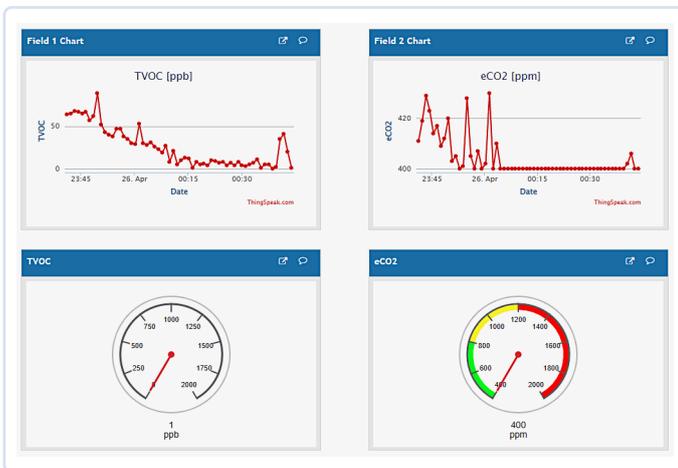


Bild 12. Thingspeak-Visualisierung.

```
size_t WiFiEspClient::println(const __FlashStringHelper
    *ifsh)
{
    return printFSH(ifsh, true); // 2022-04-25 CK
}
```

Das Programm *RP2040\_WiFi.ino* enthält alle benötigten Bibliotheken. Ich habe die verwendeten Versionen im Listing als Kommentar angegeben. Deklarationen und Initialisierungen folgen vor der Funktion *setup()*. Die Initialisierung der Peripheriegeräte ist interessant und unterstreicht die Flexibilität des RP2040. Der folgende Code ist ein Auszug aus dem kommentierten Quellcode, der die Zuordnung von Funktionen zu GPIO-Anschlüssen und deren Initialisierung zeigt.

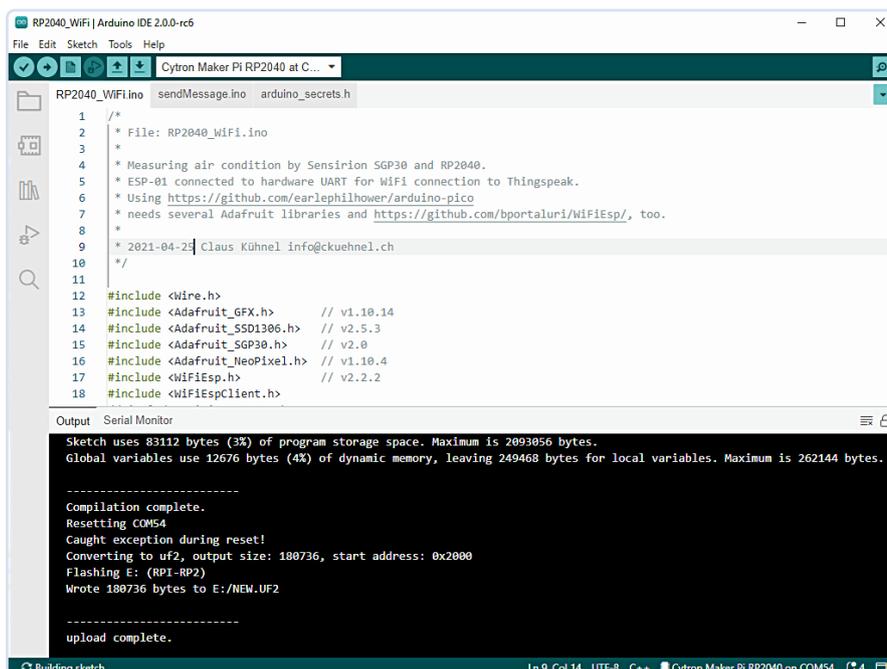


Bild 13. Programmbeispiel *RP2040\_WiFi.ino* in der Arduino-IDE 2.0.

```

21 void sendMessage()
22 {
23     // close any connection before send a new request
24     // this will free the socket on the WiFi shield
25     client.stop();
26
27     Serial.println("Starting connection to server...");
28     // if you get a connection, report back via serial
29     if (client.connect(server, 80))
30     {
31         Serial.println("Connecting...");
32         // Make a HTTP request
33         client.println("GET /update?api_key=" + api_key + "&field1=" + String(TVOC) + "&field2=" + String(eCO2) + " HTTP/1
34         client.println("Host: api.thingspeak.com");
35         client.println("Connection: close");
36         client.println();
37     }
38
Output Serial Monitor x
Message (Ctrl + Enter to send message to 'Cytron Maker Pi RP2040' on 'COM54')
RP2040 Air Condition Measurement
Found SGP30 serial #01684D23
[WiFiEsp] Initializing ESP module
[WiFiEsp] Initialization successful - 1.5.4
Attempting to connect to WPA SSID: Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
[WiFiEsp] Connected to Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
You're connected to the network
SSID: Sunrise_2.4GHz_8AC2A0
IP Address: 192.168.1.217
Signal strength (RSSI): -77 dBm
Initialization finished.
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm
TVOC 0 ppb      eCO2 400 ppm

```

Bild 14. Funktion `sendMessage()` in der Datei `sendMessage.ino` und serielle Ausgabe.

```

//I2C0 for SSD1306 connection
Wire.setSDA(0);
Wire.setSCL(1);
Wire.begin();

```

```

...
// I2C1 for SGP30 connection
Wire1.setSDA(2);
Wire1.setSCL(3);
Wire1.begin();

```

Anzeige



## Wir sind Ynvisible Interactive Hersteller von Printed E-Paper Displays.

Ynvisible wird Ihre neuen Ultra Effektiven E-Paper Displays auf der **electronica 2022** präsentieren.

**Besuchen Sie uns auf dem Messestand 118**



SCANNEN SIE!



```
...
// Serial1 for ESP-01 connection
Serial1.setRX(17);
Serial1.setTX(16);
Serial1.begin(115200);
WiFi.init(&Serial1);
```

eCO<sub>2</sub>-Werte unter 800 werden durch eine grüne LED angezeigt. Zwischen 800 und 1200 leuchtet die LED gelb. Über 1200 wird die LED rot (Bild 11c). Diese Schwellwerte können bei Bedarf geändert werden. Die Funktion `sendMessage()` ist für den HTTP-GET-Zugriff auf die Thingspeak-API zuständig. Die Zeile

```
client.println("GET /update?api_key=" + api_key + "&field1=" + String(TVOC) + "&field2=" + String(eCO2) + " HTTP/1.1");
```

ist für das Senden von API-Schlüssel, TVOC- und eCO<sub>2</sub>-Werten an die Thingspeak-API verantwortlich (**Bild 14**). Außerdem können Sie in diesem Screenshot die serielle Ausgabe des Programms nach dem Zurücksetzen sehen.

Für den WLAN-Zugang müssen Sie Ihre SSID und Ihr Passwort angeben und für Thingspeak das Write-Token in der Datei `arduino_secrets.h`. Eine Registrierung bei Thingspeak ist zwingend erforderlich; die Einträge im folgenden Code sind nur nicht funktionierende Beispiele.

```
// Access data for services
```

```
// WiFi
const char* ssid = "Sunrise_2.4GHz_8xxxx0";
const char* pass = "u2uxxxxxDs";
```

```
// Thingspeak
// GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=
// 33xxxxxxSZE&field1=0&field2=0
const char* server = "api.thingspeak.com";
String api_key = "33xxxxxxSZE";
```

## Ausbau

Sie können diese Anwendung auf der Grundlage der hier beschriebenen Hardware zu einem geschlossenen System ausbauen. Verwenden Sie andere Grove-Geräte, um zum Beispiel die Belüftung eines Raumes auf Basis des eCO<sub>2</sub>-Wertes zu steuern. In Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist auch die Regelung einer Klimaanlage möglich. Sie sollten in der Lage sein, weitere Ideen zur Automatisierung Ihrer Umgebung zu entwickeln. Vielleicht finden Sie in einem anderen Elektor-Artikel [8] weitere Informationen zur Luftmessung und weitere Anregungen für Ihre Projekte. ◀

210636-02



### PASSENDE PRODUKTE

- RP2040-Controller-Boards und mehr im Elektor-Store [www.elektor.de/raspberry-pi/rp2040](http://www.elektor.de/raspberry-pi/rp2040)
- Sensoren bei Elektor [www.elektor.de/catalogsearch/result/?q=Sensor](http://www.elektor.de/catalogsearch/result/?q=Sensor)

## Über den Autor

Dr. Claus Kühnel studierte Informatik an der Technischen Universität Dresden und entwickelt seit vielen Jahren eingebettete Systeme, unter anderem für Labordiagnostikgeräte. In diesem interdisziplinären Bereich kam er in Kontakt mit der Maker-Szene. Er hat zahlreiche Artikel und Bücher über Mikrocontroller-Hard- und -Software im In- und Ausland veröffentlicht. Er begeistert sich für neue Technologien rund um Mikrocontroller.

## Haben Sie Fragen oder Kommentare?

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

## WEBLINKS

- [1] L. Lemmens, M. Claussen, „Raspberry Pi Pico und der RP2040“, Elektor 5-6/2021: [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-174/59553](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-174/59553)
- [2] Arduino-IDE 2.0 Download (Windows 64 bit): [https://downloads.arduino.cc/arduino-ide/arduino-ide\\_2.0.0-rc6\\_Windows\\_64bit.exe](https://downloads.arduino.cc/arduino-ide/arduino-ide_2.0.0-rc6_Windows_64bit.exe)
- [3] RP2040-Controller-Boards und mehr im Elektor-Store: [www.elektor.de/raspberry-pi/rp2040](http://www.elektor.de/raspberry-pi/rp2040)
- [4] Luftqualität mit NDIR- und MOX-Sensoren messen: <https://tinyurl.com/yvj9z5sb>
- [5] Messergebnisse über Thingspeak: <https://thingspeak.com/channels/1392977>
- [6] Raspberry Pi Pico, Arduino-Kern für RP2040: <https://github.com/earlephilhower/arduino-pico>
- [7] Beispiel RP2040\_WiFi.ino: [https://github.com/ckuehnel/Arduino2020/tree/master/RP2040/RP2040\\_WiFi](https://github.com/ckuehnel/Arduino2020/tree/master/RP2040/RP2040_WiFi)
- [8] L. Lemmens, M. Claussen, „CO<sub>2</sub>-Wächter“, Elektor 5-6/2022: [www.elektormagazine.de/magazine/elektor-257/60475](http://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-257/60475)
- [9] Anschlussbelegung Raspberry Pi Pico: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/Pico-R3-A4-Pinout.pdf>



**electronica**

Weltleitmesse und Konferenz der Elektronik



MESSE  
MÜNCHEN

15.–18. November 2022

# Driving sustainable progress.

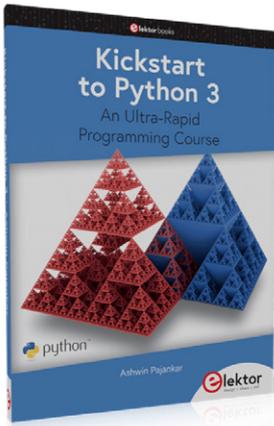
Die Zukunft schon heute erleben.  
Auf der electronica 2022.

**Jetzt Ticket sichern!**

[electronica.de/ticket](https://electronica.de/ticket)

# Kickstart zu Python 3

## Ein Beispiel-Kapitel: Digitale Bildverarbeitung und Wand-Bibliothek



Von Ashwin Pajankar (Pakistan)

Der Elektor-Buchautor Ashwin Pajankar beleuchtet einen Bereich, in dem Python als Programmiersprache einen hohen Stellenwert hat, wenn nicht sogar „top“ ist: die Bildverarbeitung. Begleiten Sie Ashwin bei der Erkundung einer Bildverarbeitungsbibliothek namens Wand, die sich durch die einfache Programmierung von Spezialeffekten mit minimalem Aufwand auszeichnet - natürlich alles in Python und mit hoher Geschwindigkeit!

**Anmerkung der Redaktion:** Dieser Artikel ist ein Auszug aus dem 210-seitigen Buch *Kickstart to Python 3* (Elektor, 2022). Der Auszug wurde formatiert und leicht bearbeitet, um den redaktionellen Standards und dem Seitenlayout von Elektor zu entsprechen. Da es sich um einen Auszug aus einer größeren Veröffentlichung handelt, können sich einige Begriffe in diesem Artikel auf Diskussionen an anderer Stelle im Buch beziehen. Der Autor und der Herausgeber haben ihr Bestes getan, um solche Fälle auszuschließen, und sind gerne bereit, bei Rückfragen zu helfen. Kontaktinformationen finden Sie im **Kasten Fragen oder Kommentare?**

Bei der Bildverarbeitung geht es um Algorithmen zur Verarbeitung von Bildinhalten. In den Tagen der analogen Filme und Kinofilme gab es Techniken, um die Qualität von Bildern und Einzelbildern (in einem Kinofilm) mit manuellen Techniken wie dem Einsatz chemischer Verbindungen zu verbessern. Dies war ein Vorläufer der modernen Idee der Bildverarbeitung. Heutzutage sind die meisten Bilder digital. Natürlich kann die digitale Technik noch nicht mit den lebendigen Farben und der Klarheit der analogen, auf chemischer Filmbearbeitung basierenden Bildbearbeitung mithalten. Da es jedoch billiger ist, verwenden die meisten Menschen und Filmproduktions- und -verarbeitungsunternehmen die digitale Bildverarbeitung für die Produktion von Bildern und Videos. Moderne Computer sind schnell genug, um sinnvoll für die Verarbeitung digitaler Bilder verwendet werden zu können. Für die Verarbeitung von Bildern und Videos greifen wir in der Regel auf moderne Programmiersprachen wie C, C++, Java, Python, MATLAB und GNU Octave zurück. Es ist sehr einfach, Bilder mit Python zu verarbeiten, da es dafür viele Bibliotheken von Drittanbietern gibt.

**ImageMagick** ist ein Softwareprogramm für die Bearbeitung von Bildern. Es verfügt über APIs für verschiedene Programmiersprachen. Wir können die Bibliothek namens **Wand** verwenden, die eine Python-Schnittstelle zu ImageMagick bietet. Richten wir jetzt die erforderliche Software ein, um loszulegen. Zunächst müssen wir Image-

Magick für unser Betriebssysteme installieren, im Folgenden unter macOS mit den folgenden Befehlen:

```
brew install ghostscript
brew install imagemagick
```

Diese beiden Befehle sollten ImageMagick auf Ihrem macOS installieren. Wenn nicht, dann müssen wir es manuell installieren. Das ist einfach - laden Sie die Zip-Datei unter [1] herunter und kopieren Sie sie in das *Home*-Verzeichnis des Benutzers unter macOS. Entpacken Sie die Datei mit dem Befehl:

```
tar xvzf ImageMagick-x86_64-apple-darwin20.1.0.tar.gz
```

Nun müssen wir der Datei *.bash\_profile*, die sich im *Home*-Verzeichnis Ihres Users unter macOS befindet, ein paar Einträge hinzufügen.

```
# Settings for ImageMagick
export MAGICK_HOME="$HOME/ImageMagick-7.0.10"
export PATH="$MAGICK_HOME/bin:$PATH"
export DYLD_LIBRARY_PATH="$MAGICK_HOME/lib/"
```

Beenden Sie die Eingabeaufforderung, starten Sie sie erneut und führen Sie die folgenden Befehle nacheinander aus:

```
magick logo: logo.gif
identify logo.gif
display logo.gif
```

Dadurch wird das Logo des ImageMagick-Projekts angezeigt. Die Installation unter Windows ist noch einfacher. Es gibt ausführbare Binärdateien für alle Windows-Varianten (32/64 Bit). Von allen Download-Optionen müssen wir diejenige mit der Bezeichnung *Win64/Win32 dynamic at 16 bits-per-pixel component with High-dynamic-range imaging enabled* auswählen. Für 64-Bit-Systeme verwenden Sie [2] und für 32-Bit-Windows [3].

Linux-Benutzer laden den Quellcode mit dem folgenden Befehl herunter:

```
wget https://www.imagemagick.org/download/ImageMagick.tar.gz
```

Überprüfen wir, wohin alle Dateien extrahiert wurden:

```
ls ImageMagick*
```

Es wird der Namen des Verzeichnisses angezeigt:

```
ImageMagick-7.1.0-10
```

Wechseln Sie in dieses Verzeichnis:

```
cd ImageMagick-7.1.0-10
```

Als nächstes führen Sie die folgenden Befehle nacheinander aus (wenn Sie mit Linux vertraut sind, werden Sie erkennen, dass dies ein Standardbefehlssatz für die Installation eines neuen Programms auf Linux-Distributionen ist):

```
./configure
make
sudo make install
sudo ldconfig /usr/local/lib
```

Nachdem wir das ImageMagick-Programm erfolgreich installiert haben, können wir die Wand-Bibliothek mit dem folgenden Befehl installieren. Dies ist auf jeder Plattform gleich:

```
pip3 install wand
```

Damit ist die Installation von ImageMagick und der Bibliothek Wand auf allen Betriebssystemen abgeschlossen.

## Erste Schritte

Bitte erstellen Sie ein neues Jupyter-Notebook für alle in diesem Artikel gezeigten Versuche. Von hier an sollte der gesamte Code im Notebook gespeichert und ausgeführt werden. Beginnen wir mit dem Importieren der benötigten Module der Bibliotheken.

```
from __future__ import print_function
from wand.image import Image
```

Wir lesen nun ein Bild ein und erkundigen uns nach seinen Abmessungen:

```
img = Image(filename='D:/Dataset/4.2.03.tiff')
print('width =', img.width)
print('height =', img.height)
```

Die Ausgabe sieht wie folgt aus:

```
width = 512
height = 512
```

Wir können auch den Typ des Bildes sehen:

```
type(img)
```



Bild 1. In Jupyter Notebook angezeigtes Bild.

Dies ergibt die folgende Ausgabe:

```
wand.image.Image
```

Als Nächstes können wir das Bild im Notebook als Ausgabe anzeigen, indem wir einfach den Namen der Variablen eingeben, in der das Bild gespeichert ist:

```
img
```

Dies erzeugt das in **Bild 1** gezeigte Foto eines Mandrills.

Ich verwende den von ImageProcessingPlace [4] bereitgestellten Bilddatensatz. Alle Bilder sind Standard-Testbilder, die häufig in der Bildverarbeitung verwendet werden. Ich verwende nicht das Standardtestbild Lena, da der Ursprung des Bildes umstritten und es respektlos und abwertend gegenüber Frauen im Allgemeinen ist.

Wir können ein Bild klonen, sein Dateiformat ändern und es wie folgt auf der Festplatte speichern:

```
img1 = img.clone()
img1.format = 'png'
img1.save(filename='D:/Dataset/output.png')
```

Falls Sie es noch nicht bemerkt haben, verwende ich für diese Demo einen Windows-Computer. Wenn Sie ein Unix-ähnliches Betriebssystem verwenden, müssen Sie den Speicherort entsprechend ändern. Um die Ausgabedatei beispielsweise auf einem Raspberry Pi OS (Debian Linux Variante) zu speichern, verwende ich den folgenden Code:

```
img1.save(filename='/home/pi/Dataset/output.png')
```

Wir können auch ein benutzerdefiniertes schwarzes Bild erstellen:

```
from wand.color import Color
bg = Color('black')
img = Image(width=256, height=256, background=bg)
img.save(filename='D:/Dataset/output.png')
```

Schauen wir uns an, wie man die Größe eines Bildes ändert. Es gibt zwei Möglichkeiten, nämlich diese:

```
img = Image(filename='D:/Dataset/4.2.03.tiff')
img1 = img.clone()
img1.resize(60, 60)
img1.size
```

und diese:

```
img1 = img.clone()
img1.sample(60, 60)
img1.size
```

Die Routinen `resize()` und `sample()` ändern die Größe des Bildes



Bild 2. Ein unscharfes Bild.



Bild 3. Adaptive Unschärfe.



Bild 4. Bewegungsunschärfe mit einem 30°-Winkel.

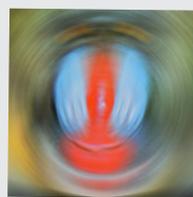


Bild 5. Rotationsunschärfe.



Bild 6. Selektive Unschärfe.

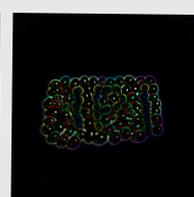


Bild 7. Kantenerkennung.

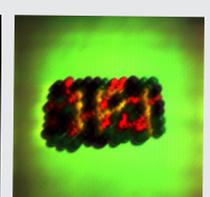


Bild 8. Prägeeffect.

auf die angegebenen Maße. Wir können auch einen Teil eines Bildes abschneiden, etwa so:

```
img1 = img.clone()
img1.crop(10, 10, 60, 60)
img1.size
```

## Bildeffekte

Wir können eine Vielzahl von Bildeffekten verwenden. Beginnen wir mit Weichzeichnen (Unschärfe) eines Bildes.

```
img1 = img.clone()
img1.blur(radius=6, sigma=3)
img1
```

Das Ergebnis sieht wie in **Bild 2** dargestellt aus. Wenden wir nun die Adaptive Unschärfe an:

```
img1 = img.clone()
img1.adaptive_blur(radius=12, sigma=6)
img1
```

und dann etwas Gaußsche Unschärfe:

```
img1 = img.clone()
img1.gaussian_blur(sigma=8)
img1
```

Das Ergebnis ist in **Bild 3** zu sehen. Wir können auch einen Bewegungsunschärfe-Effekt anwenden:

```
img1 = img.clone()
img1.motion_blur(radius=20, sigma=10, angle=-30)
img1
```

Beachten Sie, dass wir beim Aufruf der Routine den Winkel der Bewegung angeben. Die Ausgabe sollte wie in **Bild 4** aussehen.

Dann gibt es die Rotationsunschärfe (**Bild 5**):

```
img1 = img.clone()
img1.rotational_blur(angle=25)
img1
```

und Selektive Unschärfe (**Bild 6**):

```
img1 = img.clone()
img1.selective_blur(radius=10, sigma=5,
threshold=0.50 * img.quantum_range)
img1
```

Wir können ein Bild auch entschärfen, das heißt, das Rauschen reduzieren:

```
img1 = img.clone()
img1.despeckle()
img1
```

und Kanten erkennen (**Bild 7**):

```
img = Image(filename='D:/Dataset/4.1.07.tiff')
img1 = img.clone()
img1.edge(radius=1)
img1
```

Wir können einen 3D-Prägeeffect erzeugen (**Bild 8**):

```
img1 = img.clone()
img1.emboss(radius=4.5, sigma=3)
img1
```

Ändern Sie den Bildmodus in Graustufen und wenden Sie einen Bildeffekt an (**Bild 9**):

```
img1 = img.clone()
img1.transform_colorspace('gray')
img1.emboss(radius=4.5, sigma=3)
img1
```

Um das Bild insgesamt zu schärfen, empfiehlt sich der Code:

```
img1 = img.clone()
img1.sharpen(radius=12, sigma=4)
img1
```

oder die Anwendung des Adaptiven Schärfungsalgorithmus:

```
img1 = img.clone()
img1.adaptive_sharpen(radius=12, sigma=6)
img1
```

oder der umgekehrte Weg der Unschärfemaske:

```
img1 = img.clone()
img1.unsharp_mask(radius=20, sigma=5,
amount=2, threshold=0)
img1
```

Versuchen Sie abschließend, die Pixel im angegebenen Radius zufällig zu verteilen:

```
img1 = img.clone()
img1.spread(radius=15.0)
img1
```

und schauen Sie sich das Ergebnis in **Bild 10** an.

## Spezialeffekte

Sehen wir uns an, wie man Spezialeffekte auf ein Bild anwenden kann. Der erste Effekt ist *Rauschen* (Noise), wovon es verschiedene Arten gibt. Schauen wir uns an, wie man Gaußsches Rauschen einführt.

```
img1 = img.clone()
img1.noise("gaussian", attenuate=1.0)
img1
```

Die Ausgabe ist in **Bild 11** zu sehen. Im Folgenden finden Sie eine Liste aller gültigen Zeichenketten, die als Namen für Rauscharten

verwendet werden können:

```
'gaussian'  
'impulse'  
'laplacian'  
'multiplicative_gaussian'  
'poisson'  
'random'  
'uniform'
```

Wir können auf ein Bild eine Blauverschiebung anwenden (**Bild 12**):

```
img1 = img.clone()  
img1.blue_shift(factor=0.5)  
img1
```

oder den Effekt einer Kohlezeichnung erzeugen (**Bild 13**):

```
img1 = img.clone()  
img1.charcoal(radius=2, sigma=1)  
img1
```

Wir können auch eine Farbmatrix anwenden:

```
img1 = img.clone()  
matrix = [[0, 0, 1],  
[0, 1, 0],  
[1, 0, 0]]  
img1.color_matrix(matrix)  
img1
```

Eine Farbmatrix kann eine maximale Größe von 6x6 haben. In einer Farbmatrix entspricht jede Spalte einem Farbkanal, auf den Bezug genommen wird, und jede Zeile stellt einen Farbkanal dar, der beeinflusst werden soll. Bei RGB-Bildern sind dies Rot, Grün, Blau, N/A, Alpha und eine Konstante (Offset). Bei CMYK-Bildern sind es Cyan, Gelb, Magenta, Schwarz, Alpha und eine Konstante. In diesem Beispiel haben

wir eine 3x3-Matrix mit dem in **Bild 14** dargestellten Ergebnis erstellt. Weitere vom Programm unterstützte und im Buch beschriebene Spezialeffekte sind Überblenden mit konstanter Farbe, Implodieren, Polaroid, Sepia-Ton, Skizze, Solarisieren, Wirbeln, Getönt, Vignette, Welle, Wavelet-Entrauschen, Flip, Flop und Gedreht. ◀

220314-02

### Haben Sie Fragen oder Kommentare?

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



### Über den Autor

Ashwin Pajankar hält einen Master of Technology vom IIIT Hyderabad und verfügt über 25 Jahre Programmiererfahrung. Er begann seine Reise in die Programmierung und Elektronik mit der Programmiersprache BASIC und beherrscht nun Assembler, C, C++, Java, Shell Scripting und Python. Die weitere technische Erfahrung umfasst Einplatinencomputer wie den Raspberry Pi, Banana Pro und Arduino.



### PASSENDE PRODUKTE

- **A. Pajankar, Kickstart to Python 3, Elektor 2022**  
Buch (SKU 20106): [www.elektor.de/20106](http://www.elektor.de/20106)  
E-Buch (SKU 20107): [www.elektor.de/20107](http://www.elektor.de/20107)



Bild 9. Prägung auf einem Graustufenbild.



Bild 10. Ausbreitungseffekt.



Bild 11. Gaußsches Rauschen.



Bild 12. Blauverscho-benes Bild.



Bild 13. Kohlezeich-nungseffekt.



Bild 14. Farbmatrix-Effekt.

### WEBLINKS

- [1] Download ImageMagick:  
[https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-x86\\_64-apple-darwin2010.tar.gz](https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-x86_64-apple-darwin2010.tar.gz)
- [2] ImageMagick für Win64-Systeme:  
<https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-7.1.0-10-Q16-HDRI-x64-dll.exe>
- [3] ImageMagick für Win32-Systeme:  
<https://download.imagemagick.org/ImageMagick/download/binaries/ImageMagick-7.1.0-10-Q16-HDRI-x86-dll.exe>
- [4] Bilddatenbanken, ImageProcessingPlace: [www.imageprocessingplace.com/root\\_files\\_V3/image\\_databases.htm](http://www.imageprocessingplace.com/root_files_V3/image_databases.htm)

# Polyfuses

## Bemerkenswerte Bauteile

Von David Ashton (Australien)

Eine Sicherung ist durchgebrannt und sie finden unter ihren Lagerbeständen alles, nur nicht die passende? Willkommen im Club! Es gibt jedoch eine Alternative - die Polyfuse. Entdecken Sie, wie ihre clevere chemische Konstruktion eine automatische Rückstellung ermöglicht.

Wie oft ist Ihnen schon eine Feinsicherung durchgebrannt? Eine solche Sicherung ist ein großartiges Bauteil, das die wertvolle Schaltung, die Sie gerade aufgebaut haben, vor Schaden bewahrt. Aber gleich, danach sie Sicherung ihre Aufgabe erfüllt und dies mit ihrem Leben bezahlt hat, müssen Sie sich auf die Suche nach dem richtigen Ersatz machen. Und wenn Sie es versäumt haben, das Problem zu beheben, das die Sicherung überhaupt erst ausgelöst hat, dann brennt auch die neue Sicherung durch, was den Ärger noch ärger macht! Wäre es nicht schön, wenn wir eine sich selbst reparierende beziehungsweise zurücksetzende Sicherung hätten? Nun, es gibt zwar Leitungsschutzschalter, aber dies sind elektromechanische Geräte, die man selbst zurücksetzen muss. Und es gibt sie kaum für einen geringeren Strom als für 1 A. Außerdem eignen sie sich am besten für Anwendungen, die mit (für uns Elektroniker) unangenehm hoher Spannung arbeiten, zum Beispiel in Schalttafeln und Sicherungskästen.

Es gibt jedoch ein Bauteil, das genau das tut, was wir wollen, und das in der Lage ist, Niederspannungsschaltungen mit einer Stromaufnahme von ungefähr bis zu 100 mA zu schützen. Es wird Polyfuse genannt. Polyfuses ähneln in gewisser Weise PTC-Widerständen (Positive Temperature Coefficient), da sie

zunächst einen niedrigen Widerstand aufweisen. Im Gegensatz zu PTCs ist es jedoch die Selbsterhitzung, die durch einen hohen Strom verursacht wird, der Polyfuses zu einem hohen Widerstand verhilft, so dass der Strom auf einen sicheren Wert begrenzt wird. Polyfuses wurden schon 1939 von Gerald Pearson in den Bell Laboratories erfunden und patentiert, werden aber immer noch häufig in professionellen elektronischen Geräten verwendet. Diese Bauteile enthalten eine organische Polymersubstanz, in die Kohlenstoffpartikel imprägniert wurden. Das Polymer befindet sich in der Regel in einem kristallinen Zustand, wobei die Kohlenstoffpartikel in engem Kontakt stehen und eine gute Leitfähigkeit bei niedrigen Strömen gewährleisten. Wenn ein größerer Strom fließt, erwärmt sich der Kohlenstoff, wodurch das Polymer in einen amorphen Zustand übergeht. Dies führt dazu, dass sich die Kohlenstoffpartikel voneinander trennen, was zu einem Anstieg des Widerstands und der davon bedingten Verringerung des Stroms führt. Der Reststrom, der unter Fehlerbedingungen fließt, hält die Polyfuse in der Regel so heiß, dass der Strom so lange gedrosselt wird, bis die Ursache der Überlast beseitigt ist. Dann kühlt die Polyfuse wieder ab, so dass der für den ordnungsgemäßen Betrieb erforderliche Strom wieder fließen kann.

Polyfuses haben im Betrieb eine kurze, aber spürbare Zeitverzögerung, so dass sie nicht vor großen Überspannungen und Spannungsspitzen schützen. Ihr Hauptvorteil ist ihre Selbstrückstellung, die sie sehr nützlich für den Schutz gegen kurzfristige Überlastungen und Kurzschlüsse macht, zum Beispiel in Power-over-Ethernet-Schaltungen.

Polyfuses sind in einer Vielzahl von Formfaktoren erhältlich, sowohl als Durchsteck- als auch als SMD-Bauteile (siehe **Bild 1**), haben Nennwerte von 100 mA bis zu etwa 5 A und sind meist für Niederspannungsschaltungen bis zu etwa 30 V geeignet. Der Auslösestrom ist in der Regel etwa doppelt so hoch wie der Haltestrom. Da ihr Betrieb vom Temperaturanstieg abhängt, ändern sich ihre Spezifikationen bei höheren Umgebungstemperaturen. Nach einer Auslösung sinkt ihr Widerstand relativ schnell auf einen niedrigeren Wert, aber es kann lange dauern, manchmal Tage, bis sie wieder ihren ursprünglichen niedrigen Widerstand erreicht haben. Dies sollte man beim Einsatz dieser Bauteile berücksichtigen.

Als preiswertes und kompaktes Bauteil eignen sich Polysicherungen hervorragend für den Schutz von Schaltkreisen, die gelegentlich überlastet werden. ◀

220302-02

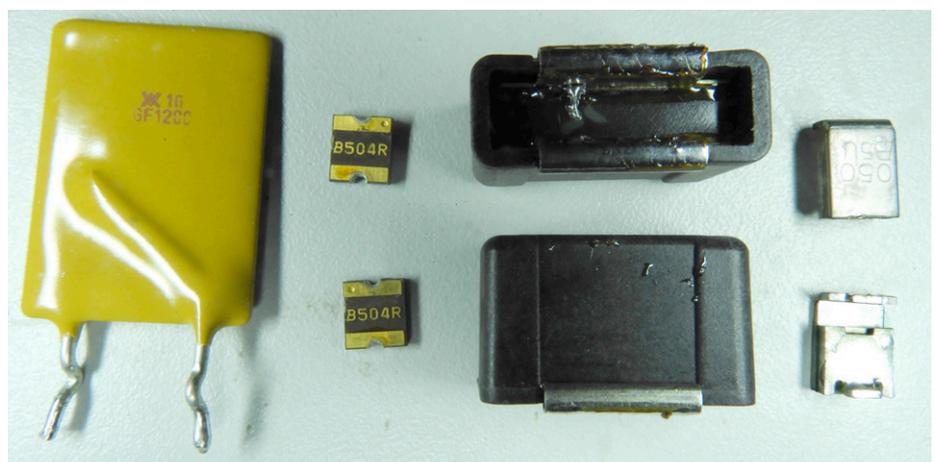


Bild 1. Eine Auswahl von Polyfuses, darunter eine bedrahtete gelbe (links) und verschiedene oberflächenmontierte Bauteile.

# Treten Sie jetzt der Elektor Community bei!



Jetzt



Mitglied werden!



- ✓ Komplettes Webarchiv ab 1970
- ✓ 8x Elektor Doppelheft (Print)
- ✓ 8x Digital (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Online-Shop und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber Dateien aus Elektor Labs



## Auch erhältlich

Die digitale  
Mitgliedschaft!



- ✓ Zugang zu unserem Webarchiv
- ✓ 10% Rabatt in unserem Online-Shop
- ✓ 8x Elektor Doppelheft (PDF)
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber Dateien aus Elektor Labs



[www.elektormagazine.de/Abonnement](http://www.elektormagazine.de/Abonnement)

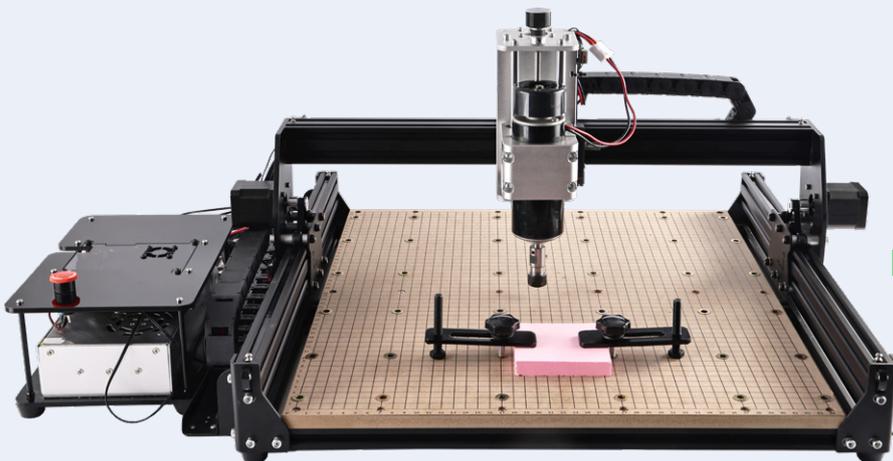
# Der Elektor Store

## 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!**

## Anet 4540 Desktop CNC Machine



Preis: 899,00 €

**Mitgliederpreis: 809,10 €**

 [www.elektor.de/20260](http://www.elektor.de/20260)

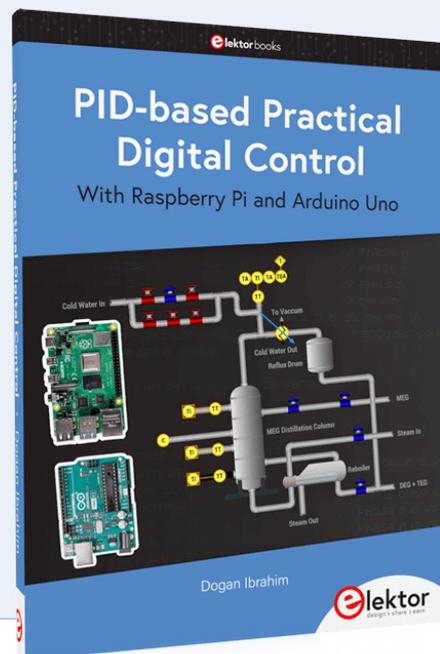
## PID-based Practical Digital Control with Raspberry Pi and Arduino Uno

*Dritte Druckauflage! Sichern Sie sich noch heute Ihr Exemplar!*

Preis: 34,95 €

**Mitgliederpreis: 31,46 €**

 [www.elektor.de/20274](http://www.elektor.de/20274)





## Elektor CheatKard – Referenzkarten für die Elektrotechnik

**-14%**

**29,95 €**  
anstatt  
**34,95 €**



[www.elektor.de/20080](http://www.elektor.de/20080)

## MakePython ESP32 Development Kit



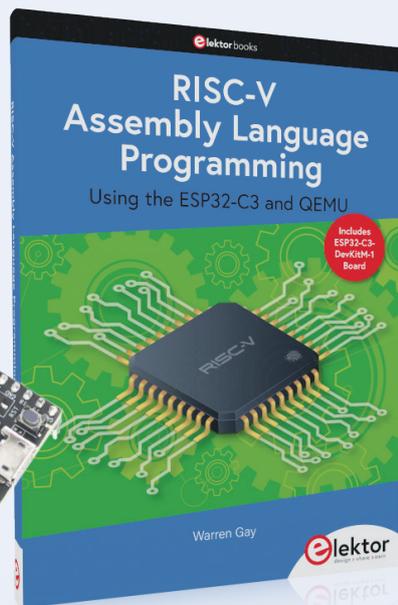
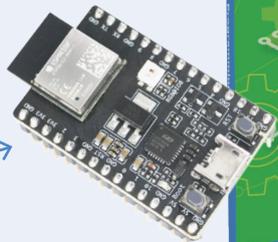
**-19%**

**64,95 €**  
war 79,95 €

[www.elektor.de/20137](http://www.elektor.de/20137)

## RISC-V Assembly Language Programming

Beinhaltet  
ESP32-C3-DEVKITM-1  
Entwicklungsboard



Preis: 37,95 €  
**Mitgliederpreis: 34,16 €**

[www.elektor.de/20296](http://www.elektor.de/20296)

## Elektor Dual DC LISN 150 kHz – 200 MHz (Vorbestellung)

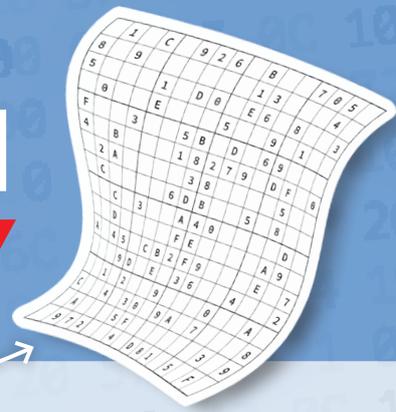


Preis: 129,95 €  
**Mitgliederpreis: 116,96 €**

[www.elektor.de/19869](http://www.elektor.de/19869)

# 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. Dezember 2022.**

## DIE GEWINNER DES HEXADOKUS AUS DER AUSGABE SEPTEMBER/OKTOBER STEHEN FEST!

Die richtige Lösung ist: **60E5A**

Aus allen Einsendungen mit der richtigen Lösung haben wir die fünf Gewinner eines Elektor-Wertgutscheins über je 50 € gezogen.

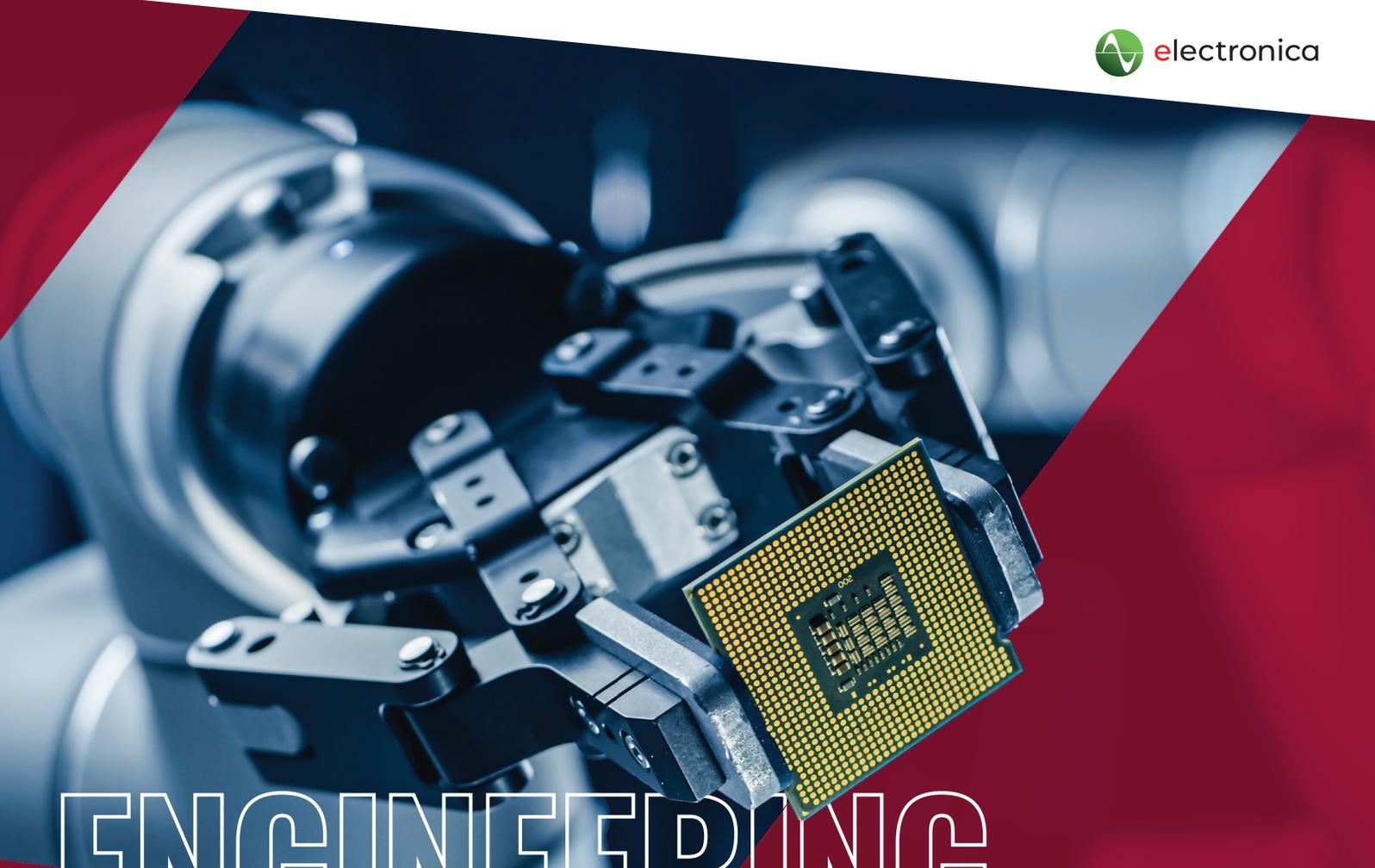
Die Namen der Gewinner werden unter [www.elektormagazine.de/hexadoku](http://www.elektormagazine.de/hexadoku) bekannt gegeben.

Herzlichen Glückwunsch!

7	B	C			6			4		F	9	3
9		E			0	3		F	6		7	C
	0		3		B		7	9		D		5
A		4		9						3	8	E
			8	A	6	B			D	E	0	3
	1	F		C	3		E	2		4	7	9
C	2			5						F		A
		5			F				A			B
		B			4				0		E	
2	A			6						4		C
	C	0		F	9		3	6		8	5	D
			4	E	2	1			A	B	D	7
5		1		8						A	3	4
	E		B		D		C	4		F	6	7
8		C			5	7			E	1		A
3	F		7			4			5			8

7	3	C	0	F	8	A	1	E	9	D	2	6	B	5	4
B	D	1	5	2	C	E	0	6	4	F	A	3	7	8	9
E	8	F	4	9	3	B	6	1	7	5	0	A	C	D	2
2	6	9	A	7	4	5	D	B	C	3	8	F	E	0	1
C	E	7	6	8	F	2	9	A	0	4	5	D	1	3	B
4	1	3	8	0	B	6	5	D	E	7	9	2	A	F	C
F	9	5	D	3	7	C	A	8	1	2	B	4	0	6	E
A	0	2	B	E	D	1	4	F	3	C	6	7	5	9	8
0	2	4	1	A	E	7	8	9	F	6	D	C	3	B	5
3	B	6	7	5	1	9	F	0	2	8	C	E	4	A	D
5	A	E	9	4	0	D	C	3	B	1	7	8	6	2	F
8	C	D	F	6	2	3	B	4	5	A	E	0	9	1	7
9	4	A	C	B	5	F	7	2	8	0	3	1	D	E	6
D	7	8	2	C	6	0	E	5	A	B	1	9	F	4	3
6	F	B	E	1	A	8	3	C	D	9	4	5	2	7	0
1	5	0	3	D	9	4	2	7	6	E	F	B	8	C	A

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Mitarbeiter der in der Unternehmensgruppe Elektor International Media B.V. zusammengeschlossenen Verlage und deren Angehörige sind von der Teilnahme ausgeschlossen.



# ENGINEERING A BETTER WORLD

**IMAGINE THAT.  
WE CAN.**

Gehen Sie mit uns auf Entdeckungsreise.  
Egal ob Sie etwas entwickeln, konstruieren oder instand halten, wir haben Technologien und Lösungen, die helfen durch Engineering die Welt ein bisschen besser zu machen.

Worauf warten Sie noch? Kommen Sie am Stand C2.179 vorbei, um unser Team zu treffen. Finden Sie heraus, wie wir Ihr Projekt auf das nächste Level heben können.



**RS**

# Die größte Auswahl elektronischer Bauelemente™

Auf Lager und versandfertig

---



[mouser.de](https://www.mouser.de)



**MOUSER  
ELECTRONICS**