

Balkonkraftwerke optimieren

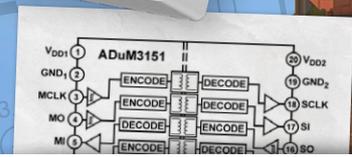
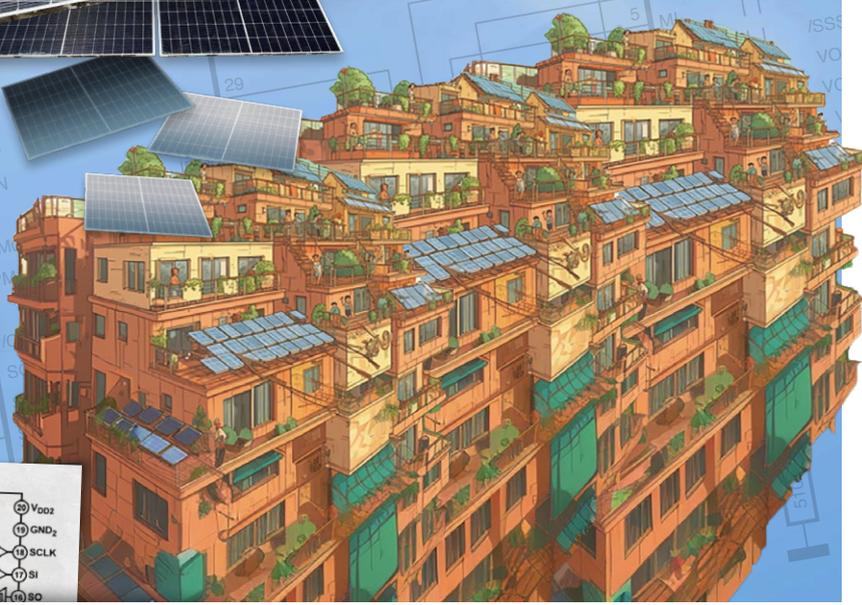
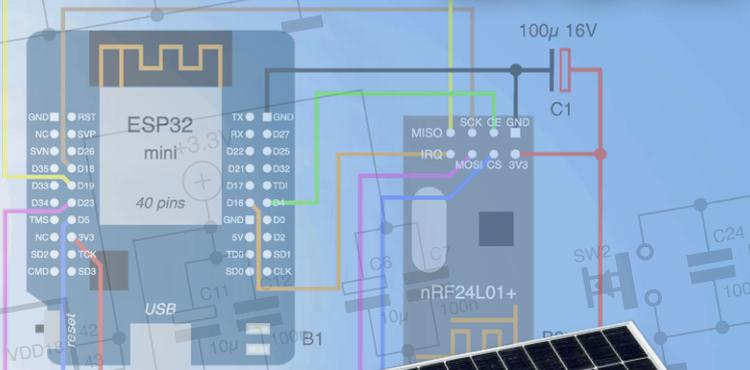
Überlegungen,
Wissenswertes
und Kalkulationen

IM FOKUS

Strom und Energie

ESP32 mit OpenDTU
Daten kleiner Wechselrichter auslesen

Energiemessgerät
mit ESP32
Das Schaltbild



Variable lineare Stromversorgung
0...50 V/0...2 A + Doppel-
symmetrische Versorgung

S. 26



Programmieren mit ChatGPT
Erweitertes Levitations-Projekt

S. 60



Bluetooth LE auf dem STM32
Fernablesung für Messgeräte

S. 38



UNSER SORTIMENT VON MAKERN FÜR MAKER



The best part of your project: 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.

NEU - Raspberry Pi 5 B mit 4 oder 8 GB

Optimiert. Beeindruckend. 2-3x schneller. Der neue Pi 5!
Dieser kleine Alleskönner setzt sich an die Spitze der Raspberry-Evolution.

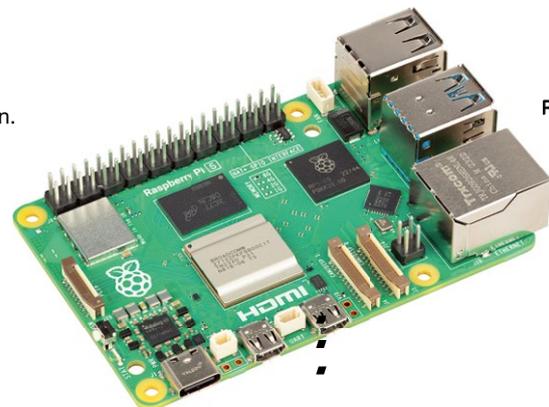
- 2,4 GHz ARM Cortex-A76 Quad-Core-CPU
- VideoCore VII GPU

ab **68,⁵⁰**

NEU

Bestell-Nr.: (Ausführung)

RASP PI 5 B 4GB	68,50	4 GB
RASP PI 5 B 8GB	92,50	8 GB



Gehäuse für Raspberry Pi 5

himbeer/weiß

Dieses elegante, sehr robuste Gehäuse aus dem Hause Raspberry Pi, ist nicht nur schick, sondern auch qualitativ hochwertig und sehr einfach und schnell zu montieren.

- Maße (LxBxH): 89 x 71 x 26 mm



Bestell-Nr.:

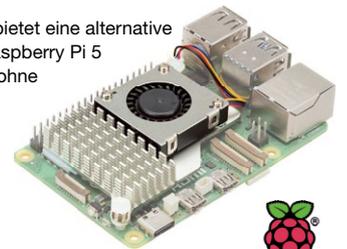
RASP 5 CASE RW	10,70
-----------------------	--------------

Raspberry Pi Lüfter

für Raspberry Pi 5

Der Active Cooler von Raspberry Pi bietet eine alternative Kühllösung für Benutzer, die ihren Raspberry Pi 5 unter anhaltender starker Belastung ohne Gehäuse verwenden möchten.

- Stromversorgung: onboard
- Drehzahl des Lüfters: variabel
- kein Löten erforderlich, nur aufstecken!



Bestell-Nr.:

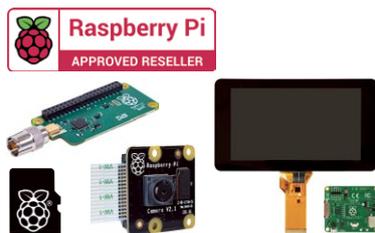
RASP ACTIVE COOL	5,80
-------------------------	-------------

Lieferung ohne Raspberry Pi 5

RASPBERRY PI BEI REICHELT

Entdecken Sie unser umfangreiches Zubehör-Sortiment

Jetzt entdecken ►
www.reichelt.de/raspberry-pi



RASPBERRY PI, ARDUINO & CO: ENTWICKLERBOARDS FÜR INDUSTRIE & BETRIEB

Jetzt entdecken ►
<https://rch.lt/boards-b2b>



■ Top Preis-Leistungs-Verhältnis

■ über 130.000 ausgesuchte Produkte

■ zuverlässige Lieferung – aus Deutschland in alle Welt

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, im Katalog oder auf Anforderung). Abbildungen ähnlich. Druckfehler, Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten. reichelt elektronik GmbH, Elektronikring 1, 26452 Sande, Tel.:+49 (0)4422 955-333

TAGESPREISE! Preisstand: 12.12.2023

55. Jahrgang, Nr. 599
Januar/Februar 2024
ISSN 0932-5468

Das Elektor Magazin wird 8 Mal im Jahr herausgegeben von
Elektor Verlag GmbH
Lukasstraße 1, 52070 Aachen (Deutschland)
Tel. +49 (0)241 95509190
www.elektor.de | www.elektormagazine.de

Für alle Ihre Fragen
service@elektor.de

Mitglied werden
www.elektormagazine.de/abo

Anzeigen
Büra Kas
Tel. +49 (0)241 95509178
busra.kas@elektor.com
www.elektormagazine.de/mediadaten

Urheberrecht
© Elektor International Media b.v. 2023
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.

Druck
Senefelder Misset, Mercuriusstraat 25
7006 RK Doetinchem (Niederlande)

Distribution
IPS Pressevertrieb GmbH, Carl-Zeiss-Straße 5
53340 Meckenheim (Deutschland)
Tel. +49 (0)2225 88010



Jens Nickel

Chefredakteur ElektorMag



Fast fertig und zum kleinen Preis



Als mir unser Autor Thomas Scherer vor zweieinhalb Jahren einen Artikel zum Thema „Balkonkraftwerke“ zukommen ließ, ahnten wir noch nicht, auf wie viel Resonanz das Thema bei unseren Lesern stoßen würde (www.elektormagazine.com/210326-02). Schließlich gab es im Artikel weder einen Schaltplan noch ein Software-Listing zu sehen! Doch anscheinend sprach das Projektieren und Kalkulieren einer Solaranlage, das Aufständern von Solarmodulen und Konfektionieren von Stromkabeln ureigene „Maker-Triebe“ an. Und auch für den Geldbeutel war eine Menge drin: Dank Module und Wechselrichter als Massenware aus Fernost sowie einem satten Stromspreis für Normalverbraucher rentierten sich PV-Anlagen nun auch für den Eigenverbrauch - und das innerhalb weniger Jahre. Als ich vor rund 20 Jahren bei einer auf Photovoltaik ausgerichteten Zeitschrift angestellt war, war die Situation noch ganz anders. Damals gab es noch viele CEOs und Experten von Herstellern, die ich in meiner deutschen Muttersprache interviewen konnte. Dass sich diese inzwischen nach anderen Aufgaben umschauen mussten, steht auf einem anderen Blatt.

Der Elektroniker freut sich jedenfalls, über Halb-Fertig-Kraftwerke zum kleinen Preis. Und rund herum gibt es ja dann noch einigen Raum für eigene Elektronikprojekte (siehe zum Beispiel auf Seite 18). Auf Seite 6 berichtet Elektor-Ingenieur Saad Imtiaz über die Fortschritte seines ESP32-basierten Energiemessers. Einen ersten Gesamt-Schaltplan gibt es auch zu sehen, und wie ich meine Leser kenne, wird es den einen oder anderen bereits jetzt jucken, zum Lötcolben zu greifen.

Wer sich für die Themen Solarstrom, Leistungselektronik, Energiemessung, Stromversorgung und Batterien besonders interessiert, muss übrigens nicht auf die nächste Ausgabe mit diesen Schwerpunkten warten. Unter www.elektormagazine.com/energy und www.elektormagazine.de/energie gibt es rund ums Jahr interessante Nachrichten, Interviews sowie Online-Artikel zum Thema. Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie diese und weitere bereits geplante Themenseiten regelmäßig besuchen. Kritisches Feedback sowie Hinweise auf interessante Neuigkeiten und neue Projekte sind natürlich willkommen!



Veröffentlichen Sie bei Elektor!

Ihr Fachwissen über Elektronik ist willkommen: Schicken Sie uns Ihr Video, Ihren Artikelvorschlag oder Ihre Idee für ein Buch! Wir haben unseren Leitfaden für Autoren und Content Creator aktualisiert. Alle Einzelheiten finden Sie unter:

www.elektormagazine.com/submissions

Elektor-Labs: Ideen und Projekte

Die Plattform Elektor Labs ist offen für jeden. Hier können Sie Ideen und Projekte zum Thema Elektronik veröffentlichen, technische Probleme diskutieren und mit anderen zusammenarbeiten.

www.elektormagazine.de/labs

The Team

Chefredakteur: Jens Nickel (vi.S.d.P.) | **Redaktion:** Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Hedwig Hennekens, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Clemens Valens, Brian T. Williams | **Regelmäßige Autoren:** David Ashton, Tam Hanna, Ilse Joostens, Prof. Dr. Martin Ossmann, Alfred Rosenkränzer | **Grafik & Layout:** Harmen Heida, Sylvia Sopamena, Patrick Wielders | **Herausgeber:** Erik Jansen | **Technische Fragen:** redaktion@elektor.de



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

Balkonkraftwerke optimieren

Überlegungen, Wissenswertes und Kalkulationen

10



Rubriken

- 3 Impressum**
- 35 2024: Eine Odyssee in die KI**
Weiter, immer weiter...
- 74 Bemerkenswerte Bauteile**
Kaltkathodenröhren
- 76 Aus dem Leben gegriffen**
Nostalgie
- 78 Aller Anfang ...**
...muss nicht schwer sein: Vom FET zum Opamp
- 106 HomeLab Tours**
Vor nicht allzu langer Zeit in einem weit entfernten Land...
- 108 Ethics in Electronics**
 - Interview mit Doris Wagner, Messe München
 - Die OECD-Leitsätze und das deutsche Lieferkettengesetz
- 120 Projekt 2.0**
Korrekturen, Updates und Leserbriefe

Hintergrund

- 10 Balkonkraftwerke optimieren**
Überlegungen, Wissenswertes und Kalkulationen
- 32 Energiespeicherung heute und morgen**
Ein Interview mit Simon Engelke
- 38 Bluetooth LE auf dem STM32**
Auf dem Weg zum fernabgelesenen Messgerät
- 50 MAUI: Programmieren für PC, Tablet und Smartphone**
Das neue Framework in Theorie und Praxis
- 97 USB-Test und -Messung**
Der FNB58 von Fnirsi
- 102 Pixel Pump – das Pick-and-Place Tool**
Vereinfachung der manuellen SMD-Bestückung

Industry

- 86 Infografik: Strom und Energie**
- 88 Umfangreiche Unterstützung bei Design und Entwicklung**
Durch die Arrow Engineering Services
- 90 Leistungsdichte vs. Wirkungsgrad**
- 94 Aluminium-Elektrolytkondensatoren**
Störpotential in der Audiotechnik?



**Energiemessgerät
mit ESP32**

Nächste Schritte:
der Schaltplan

6

MAUI:
**Programmieren für PC,
 Tablet und Smartphone**
 Das neue Framework in
 Theorie und Praxis 50

**PV-Energieregler
 für Inselanlagen**
 Bauen Sie ein voll funktionsfähiges
 PV-Energiemanagement-System
 68

Projekte

- 6 Projekt-Update: Energiemessgerät mit ESP32**
Nächste Schritte beim Prototyping
- 18 Für Balkonkraftwerke: ESP32 mit OpenDTU**
Daten kleiner Wechselrichter per μ C auslesen
- 26 Variable lineare Stromversorgung**
0...50 V / 0...2 A + Doppelsymmetrische Versorgung
- 46 Intelligentes Kücheninventarsystem**
- 60 ChatMagLev**
Der KI-Weg der Levitation
- 68 Einfacher PV-Energieregler für Inselanlagen**
Bauen Sie ein voll funktionsfähiges PV-Energiemanagement-System
- 81 CAN-Bus-Tutorial für den Arduino UNO R4**
Zwei UNO R4 nehmen den Bus!
- 114 Intelligentes Ni-MH-Ladegerät/Entladegerät**
Das Leserprojekt „Chadèche“ in Kürze

Vorschau

Elektor März/April 2024

Das Märzheft ist wie immer randvoll gefüllt mit Schaltungsprojekten, Grundlagen sowie Tipps und Tricks für Elektroniker. Schwerpunkt wird das Thema **Embedded und KI** sein.

- > Objekterkennung mit dem Raspberry Pi
- > ESP32-RS232 Adapter
- > Frostschutz und Temperatur-Datenlogger
- > Einstieg in das Zephyr OS
- > Maschinelles Lernen mit dem Jetson Nano
- > Parallele Programmierung auf Mikrocontrollern
- > BLE-Programmierung auf Smartphones
- > Preiswerte FPGAs: Tutorial für Einsteiger
- > Objekte zählen mit Edge Impulse

Elektor März/April 2024 erscheint am 13. März 2024.

Änderungen vorbehalten!

26

Variable lineare Stromversorgung

0...50 V / 0...2 A + Doppel-
 symmetrische Versorgung



Strom und Energie



Projekt-Update: Energiesmess- gerät mit ESP32



Nächste Schritte beim Prototyping

Bild 1. Rendering des Elektor-Energiezählers.

Von Saad Imtiaz (Elektor)

In der ersten Folge dieser Artikelreihe haben wir das grundlegende Design des Elektor-Energiezählers kennengelernt. Nun wollen wir uns mit der nächsten Phase des ESP32-basierten Energiesmessgeräts befassen und konzentrieren uns dabei auf detaillierte Schaltpläne, Strategien zur Isolierung von Schaltkreisen und wichtige Erweiterungen.

Wir haben mit der Entwicklung eines zuverlässigen, benutzerfreundlichen Energiezählers begonnen, der den ESP32-Mikrocontroller nutzt. In unserem letzten Beitrag „Prototyping eines Energiezählers mit ESP32“ [1], haben wir die grundsätzlichen Anforderungen an den Entwurf, das Blockschaltbild und den Plan für den Start dieses Projekts besprochen. Bevor wir ein Update dazu geben, lassen Sie uns noch einmal rekapitulieren. Das Äußere des Energiezählers ist in **Bild 1** zu sehen. Unser Schwerpunkt lag auf der Energieüberwachung in Echtzeit, wobei ein Hauptaugenmerk auf Sicherheit und Erschwinglichkeit lag. Um die Energiemessung präzise zu gestalten, haben wir uns für ein mehrphasiges Energieüberwachungs-IC ATM90E32AS von Atmel [2] entschieden. Dieses IC bezieht die einphasige Spannung aus dem Netz und verwendet Split-Coil-Transformatoren, um den Strom sicher zu messen. Als Mikrocontroller für das Gerät wurde der ESP32 ausgewählt, da er über integriertes WLAN verfügt und im Vergleich zu anderen MCUs sehr kostengünstig ist. In **Bild 2** ist das aktualisierte Blockschaltbild des Projekts dargestellt.

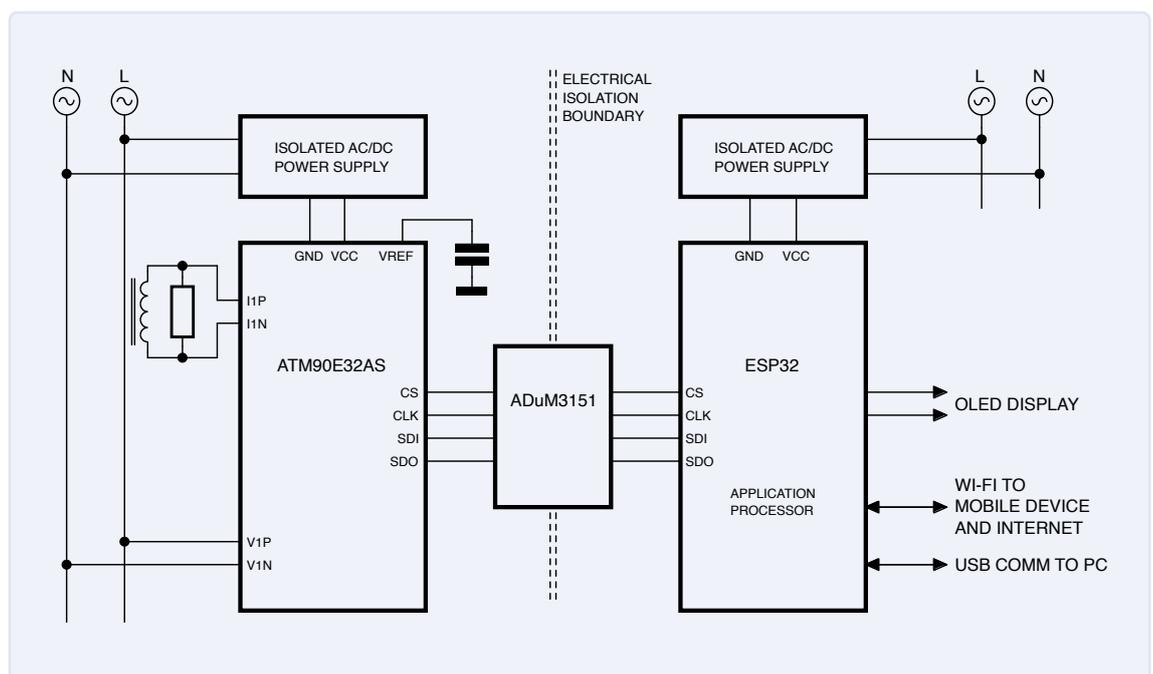


Bild 2.
Blockschaltbild des
Elektor-Energiezählers.

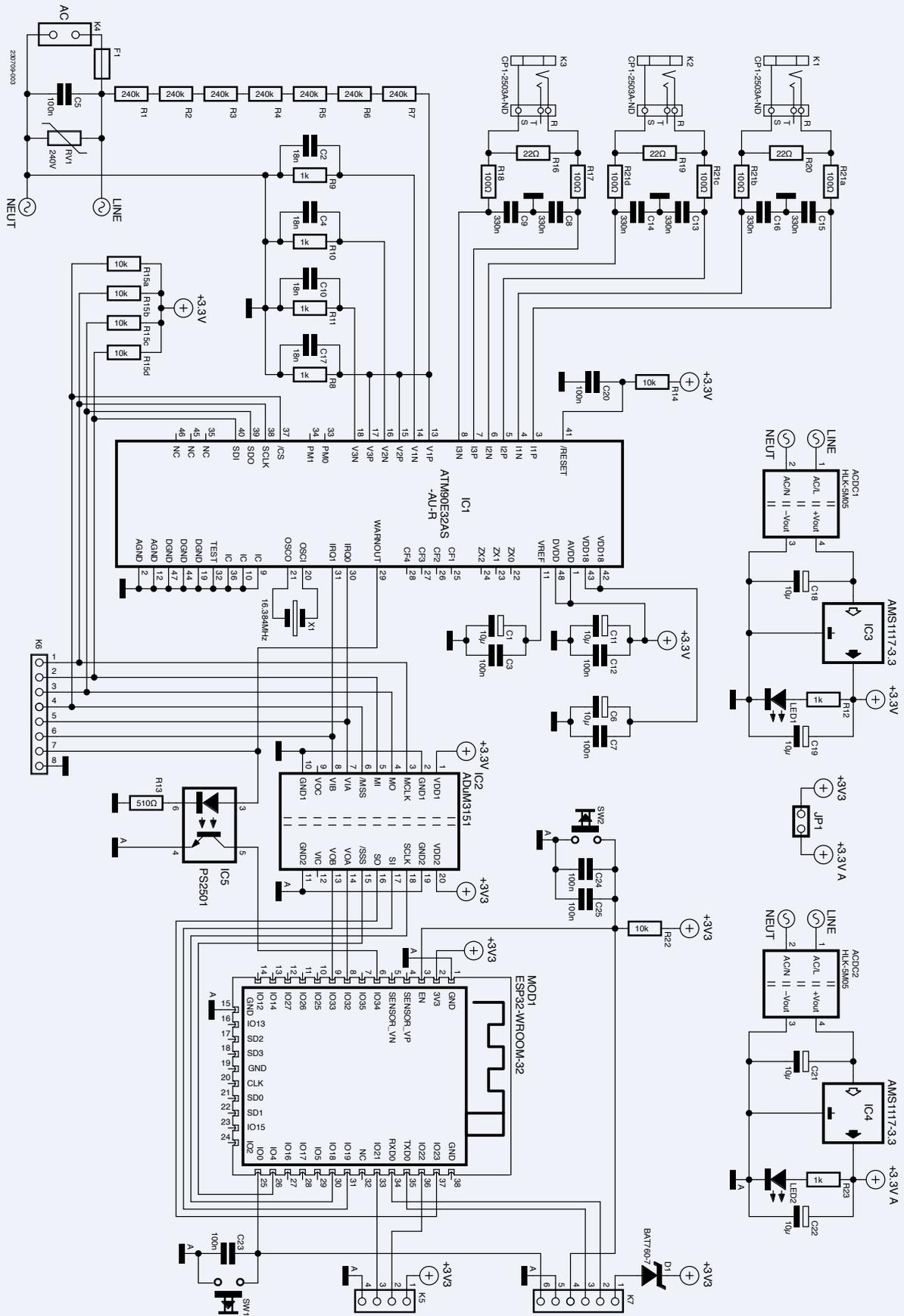


Bild 3. Schaltbild des Energiezähler-Projekts.



Bild 4. Der Stromsensor SCT013 von YHDC. (Quelle: YHDC)

Die geplante Größe des endgültigen Energiezählers beträgt 100 × 80 × 30 mm (LxBxH), aber für den Prototyp ist unsere Platine mit 100 mm × 100 mm noch zu groß. Unser Ziel ist es aber, diesen Prototyp als Proof-of-Concept zu verwenden. Wenn wir damit erst einmal erfolgreich sind, können wir die Größe für die endgültige Version auf 100 × 80 mm oder sogar weniger reduzieren. Der Hauptzweck der Entwicklung dieses Energiemessgeräts bestand darin, ein IoT-fähiges, preisgünstiges Gerät zu entwickeln, das genaue Energiemessungen vornehmen und dem Benutzer über ein mobiles Gerät (Handy, Computer) Energiedaten in Echtzeit zur Verfügung stellen kann, damit dieser seinen Stromverbrauch in Echtzeit verfolgen und in der Folge energieeffizienter handeln kann.

In diesem Artikel gehen wir näher auf die Entwicklung des Projekts ein und beleuchten den Schaltplanentwurf, die Implementierung einer Isolierung der Stromkreise und die wichtigsten Verbesserungen, die wir seit unserem ursprünglichen Konzept aufgenommen haben.

Entwurf des Schaltbildes

Der ESP32-Mikrocontroller bleibt das Herzstück unseres Geräts und bildet eine nahtlose Schnittstelle zum ATM90E32AS für die Energiemessung. Unser aktualisierter Schaltplan spiegelt einen schlankeren Ansatz wider, mit reduziertem Rauschen und Verbesserungen in der Signalintegrität, der Isolierung der Schaltkreise und vieles mehr. In **Bild 3** sehen Sie den vollständigen Schaltplan des Projekts.

Der ATM90E32AS (IC1) ist das Gehirn des gesamten Projekts. Er verbindet die Netzspannung über sieben in Reihe geschaltete 240-k-Widerstände (R1...R7) mit den Pins V1P, V2P und V3P. Der Einfachheit halber werden alle diese Pins mit einer Phasenspannung aus dem Netz versorgt. Sie fragen sich vielleicht, warum nicht ein Transformator anstelle dieser Reihe von Widerständen? Weil wir aufgrund des von uns gewählten Ansatzes Größen- und Kostenbeschränkungen haben. Abgesehen von der geringen Größe der Widerstände gibt es einen weiteren Vorteil, nämlich eine geringere Phasenverzögerung. Transformatoren können eine Phasenverzögerung zwischen den Primär- und Sekundärwicklungen verursachen, die sich auf das Timing und die Genauigkeit der Spannungswerte bei Energiemessungen auswirken kann. Bei der Verwendung von Widerständen wird diese Phasenverzögerung erheblich reduziert, was zu genaueren Echtzeit-Spannungsmessungen führen kann. Die Verwendung dieser Reihenwiderstände hat jedoch einen großen Nachteil, nämlich die fehlende galvanische Isolierung. Wir werden später in diesem Artikel darauf eingehen. Kommen wir nun zur Strommessung: Hierfür verwenden wir Split-

Coil-Stromtransformatoren des Typs SCT013 von YHDC, die an die Audio-Klinkenbuchsen K1...K3 angeschlossen werden. Es handelt sich um Stromwandler mit geteiltem Kern, wie in **Bild 4** dargestellt. Der Grund für die Wahl des Stromwandlers war, dass er kostengünstig ist, einfach anzuwenden und vor allem, dass die Außenleiter bei der Montage nicht aufgetrennt/abgeklemmt werden müssen, da sich die obere Kernhälfte des Wandlers einfach aufklappen lässt.

Der Energiezähler wird von den zwei HLK-5M05-Modulen ACDC1 und ACDC2 der Firma Hi-Link versorgt, um eine galvanische Trennung zwischen der MCU und der Schaltung des Energiezählers zu gewährleisten und vor Risiken durch die Netzspannung zu schützen. Die beiden Regler AMS1117-3.3 liefern stabile 3,3-V-Spannungen, die für den ESP32 und andere Niederspannungsbauteile unerlässlich sind. Die Sicherheit wird durch Sicherungen (F1) für den Überstromschutz und R23, einen Metalloxid-Varistor (MOV) gegen Spannungsspitzen weiter verstärkt. Zu Diagnosezwecken zeigen LED1 und LED2 die Stromversorgung und den Betriebsstatus an. Über den Anschluss K6 werden alle Ausgänge der MCU für das Debugging angeschlossen.

Isolierung der Schaltung

Im Schaltplan haben Sie vielleicht zwei DC-Massen bemerkt, GND und GND_A. Der Masseanschluss GND ist mit dem IC1 verbunden und außerdem mit dem Neutralleiter des Wechselstromnetzes. GND_A ist eine isolierte Masseklemme, die mit dem ESP32-WROOM-32D (MOD1) verbunden ist. Um die Sicherheit zu gewährleisten, muss der ESP32 unbedingt vom Neutralleiter des Wechselstromnetzes isoliert werden. Da IC1 über keine galvanische Trennung verfügt, muss er andersweitig von der Controllerabteilung isoliert werden. Dabei stellt sich natürlich die Frage, wie beide Chips über das SPI überhaupt kommunizieren sollen. Hier kommt IC2, ein ADuM3151 von Analog Devices, ins Spiel. Der ADuM3151 ist von zentraler Bedeutung für die sichere Kommunikation zwischen IC1 und dem ESP32-WROOM-32D, da er eine galva-

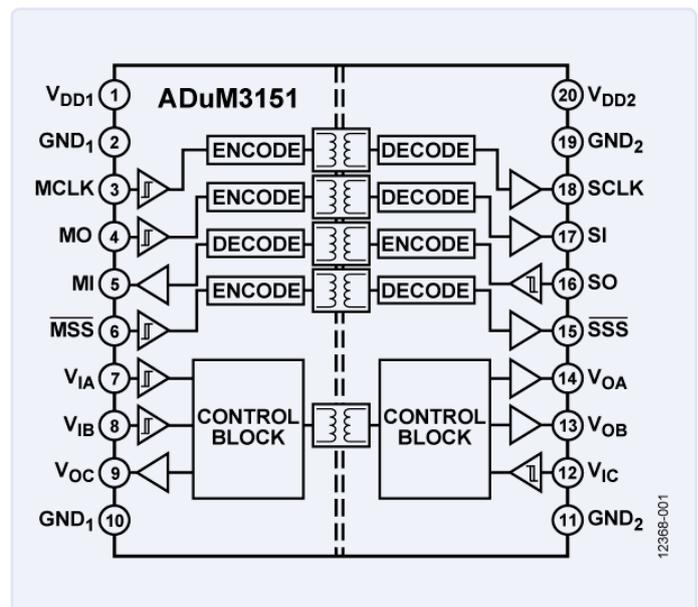


Bild 5. Funktionsschaltbild des SPIisolators ADuM3151. (Quelle: Analog Devices [3])

nische Trennung der SPI-Leitungen gewährleistet. In **Bild 5** sehen Sie, wie IC2 im Inneren aufgebaut ist [3]. Das IC verwendet induktive Koppler, um digitale Signale über eine Isolationsbarriere zu übertragen. Dabei werden die Hochspannungstransienten des Wechselstromnetzes effektiv vom ESP32 und dem eventuell daran angeschlossenen Computer ferngehalten. Dies ist entscheidend, um Schäden während der Programmierung und der Fehlersuche zu vermeiden. Gleichzeitig ist die sichere und zuverlässige SPI-Kommunikation über mehrere isolierte Kanäle gewährleistet, was die Datenintegrität aufrechterhält und mit den Sicherheits- und Leistungszielen des Projekts übereinstimmt.

Benutzeroberfläche und Interaktion

Die Benutzeroberfläche des ESP32-Energiemessers ist informativ und benutzerfreundlich gestaltet. Als primäre und lokale Anzeige dient ein reaktionsschnelles und klar ablesbares OLED-Display, das an K5 und somit an den I²C-Pins des ESP32 angeschlossen ist. Dieses Display zeigt dem Benutzer alle relevanten Daten in Echtzeit an, einschließlich Kennwerte zur Energieaufnahme und zum Systemstatus. Zusätzlich zum Hardware-Display umfasst das Projekt einen Webserver, der auf dem ESP32 gehostet ist. Diese Weboberfläche spiegelt die auf dem OLED-Bildschirm angezeigten Daten wider und bietet den Nutzern eine alternative Möglichkeit zur Überwachung ihres Energiebedarfs. Das Entwicklungsteam hat es sich zur Aufgabe gemacht, eine benutzerfreundliche und zugleich detaillierte Web-Oberfläche zu schaffen, die eine barrierefreie und umfassende Datendarstellung gewährleistet. Dieser Ansatz mit zwei Schnittstellen ermöglicht es den Benutzern, sowohl lokal als auch aus der Ferne mit dem Energiezähler zu interagieren, was die Benutzerfreundlichkeit des Systems insgesamt erhöht.

Nächste Schritte und Zukunftspläne

Während das Projekt voranschreitet, wurde das ursprüngliche Platinenlayout an einen PCB-Service verschickt. Nach der Rückkehr der Schaltung wird sich der Schwerpunkt auf die Firmware-Seite des Projekts verlagern. Bei der Entwicklung der Firmware geht es darum, den ESP32 so zu programmieren, dass er die Energieverbrauchsdaten genau verarbeitet und anzeigt, den Webserver verwaltet und eine reibungslose Kommunikation zwischen allen Komponenten gewährleistet.

Für die Zukunft ist geplant, weitere Funktionen zu integrieren, um die Funktionalität des Energiezählers zu verbessern. Dazu könnten gehören:

- Fernüberwachungsfunktionen: Die Nutzer können ihre Energieverbrauchsdaten von jedem beliebigen Ort aus über die Webschnittstelle überprüfen.
- Warnungen und Benachrichtigungen: Implementierung eines Systems, das die Nutzer über ungewöhnliche Muster der Energieaufnahme oder mögliche Systemprobleme informiert.

- Werkzeuge zur Datenanalyse: Integration von Analysetools in die Weboberfläche, um den Nutzern zu helfen, ihre Energieverbrauchstrends zu verstehen und Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz auszumachen.

Wir bemühen uns um kontinuierliche Innovation, wobei wir uns auch auf das Feedback der Nutzer freuen, um in Zukunft Verbesserungen vorzunehmen. Ziel ist es, nicht nur ein zuverlässiges Instrument zur Energieüberwachung bereitzustellen, sondern den Nutzern auch Einblicke in ihren Energieverbrauch zu geben und so das Bewusstsein um die Effizienz zu fördern. ◀

RG – 230709-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel haben, wenden Sie sich bitte an den Autor unter saad.imtiaz@elektor.com oder an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.



Über den Autor

Saad Imtiaz (Senior Engineer, Elektor) ist ein Mechatronik-Ingenieur mit fünf Jahren Erfahrung in den Bereichen Embedded Systems, mechatronische Systeme und Produktentwicklung. Er hat mit zahlreichen Unternehmen, von Start-ups bis hin zu Weltkonzernen, bei der Entwicklung von Produktprototypen zusammengearbeitet. Saad hat auch einige Zeit in der Luftfahrtindustrie verbracht und ein Technologie-Startup-Unternehmen geleitet. Seit kurzem ist er bei Elektor tätig und treibt die Projektentwicklung sowohl im Bereich Software als auch Hardware voran.



Passende Produkte

- **ESP32-S3-Entwicklungsboard LILYGO T-Display-S3**
www.elektor.de/20299
- **ESP-C3-12F-Kit Entwicklungsboard (4 MB Flash)**
www.elektor.de/19855
- **Joy-IT NodeMCU ESP32**
www.elektor.de/19973



WEBLINKS

- [1] Saad Imtiaz, „Prototyping eines Energiezählers mit ESP32“, Elektor Gast-Ausgabe 2023: <https://www.elektormagazine.de/230646-02>
- [2] Mehrphasen-Energiemess-IC ATM90E32AS: <https://t1p.de/uaff>
- [3] Digitale Isolatoren ADuM3151 SPIsolator von Analog Devices: <https://t1p.de/6sxkn>

Balkonkraftwerke optimisieren

Überlegungen, Wissenswertes und Kalkulationen

Von Dr. Thomas Scherer (Deutschland)

Der Hype rund um Solartechnik allgemein und Balkonkraftwerke im Speziellen ist seit Beginn des Ukraine-Krieges (und der damit einhergehenden Unsicherheit der Energieversorgung in Mitteleuropa) ungebrochen. Seit unserem letzten Artikel im Jahre 2021 haben Angebot und Umsätze in diesem Bereich große Zuwächse erfahren und die Preise sind so günstig wie nie. Mit den Basisinformationen dieses Beitrags fällt der Einstieg leichter!

Seit dem 24.2.2022 tobt nun schon ein Krieg, der auch außerhalb der Ukraine für Knappheit und steigende Energiepreise gesorgt hat. Aufgrund reduzierter Gaslieferungen aus Russland wurde besonders in Mitteleuropa spürbar, dass Umweltschutz nicht gratis zu haben ist. In Deutschland und Dänemark kostete die Kilowattstunde an elektrischer Energie zeitweise deutlich über 40 ¢ und belastet damit nicht nur die energieintensive Industrie, sondern auch Erika Mustermann und Otto Normalverbraucher.

Als Reaktion wurde von der Bundesregierung ab 2023 die komplette Mehrwertsteuer auf alle Produkte (samt Installationskosten) für Solaranlagen erlassen. In der Folge erlebten große wie kleine Solaranlagen aka Balkonkraftwerke einen unglaublichen Boom, der zu einem starken Preisverfall führte. 2023 schließlich gab es nicht nur keine technische Zeitschrift, sondern auch kein größeres Nachrichtenmagazin und keine größere Tageszeitung, die nicht Beiträge über Balkonkraftwerke veröffentlicht hätte. Elektor hatte schon 2021 einen Artikel veröffentlicht [1]; kürzlich kam sogar ein ganzes Sonderheft zum Thema hinzu [2]. Das Interesse und das Informationsbedürfnis sind also nach wie vor groß.

Was ist ein Balkonkraftwerk?

Die Antwort ist ganz einfach: Ein Balkonkraftwerk ist eine kleine Solaranlage zur Erzeugung von elektrischer Energie. Wie der Name

schon sagt, ist sie so klein, dass man sie tatsächlich an Balkonen anbringen kann, wenn man will. Doch diese Definition ist nicht erschöpfend.

Zentral ist, dass es sich um eine Solaranlage kleiner Leistung handelt. In der EU fallen Anlagen mit einer Spitzenleistung von maximal 800 Wp unter eine Art Bagatellgrenze. Daher darf man eine solche Anlage ohne große Bürokratie installieren, solange man elektrisch sauber arbeitet. In Deutschland allerdings ist die Sache nicht ganz so einfach, da einerseits die Leistung (stand Ende 2023) auf maximal 600 W begrenzt ist, und außerdem aufgrund der föderalen Struktur quasi jedes Bundesland eigene Auflagen bei der Genehmigung durch die jeweiligen Netzbetreiber ermöglicht. Der bürokratische Aufwand ist allerdings viel kleiner als bei „richtigen“ Solaranlagen mit mehr als 600 W Leistung. Außerdem soll die Bürokratie demnächst weiter reduziert und die 600-W-Grenze auf das europäische Limit von 800 W angehoben werden.

Weiter wichtig ist der Zweck: Ein Balkonkraftwerk ist nicht dazu gedacht, Strom ins allgemeine Netz einzuspeisen und dafür eine Vergütung zu erhalten. Die zu erwartenden Einnahmen wären angesichts der damit verbundenen Gebühren ökonomisch unsinnig. Vielmehr soll ein Balkonkraftwerk gerade so viel elektrische Energie erzeugen, dass quasi der „Ruhestromverbrauch“ eines Hauses abgedeckt wird, der zum Beispiel durch die Umwälzpumpe der Heizung, den Kühlschrank, den Internet-Router sowie zig Steckernetzteile anfällt. Alle „Überproduktion“ schenkt man dem Netzbetreiber, um die kleine Anlage simpel und preiswert zu halten. Das hat Folgen hinsichtlich ihrer Dimensionierung.

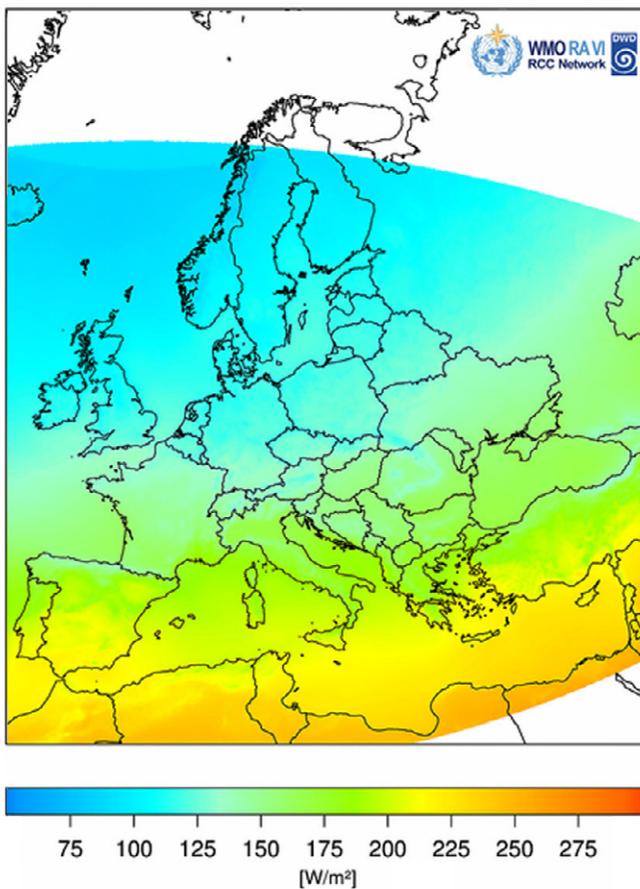
Technisch gesehen besteht ein Balkonkraftwerk aus einem oder mehreren Solarmodulen sowie einem passenden Wechselrichter zur Umwandlung der Gleichspannung in netzkonforme 230-V-Wechselspannung zur Einspeisung in das öffentliche Stromnetz. Es ergeben sich daher Fragen nach der sinnvollen Auslegung der Anlage, der Ökonomie, der Qualitäten der einzelnen Bestandteile und dem Drumherum.

Ökonomie

Neben den unbestrittenen ökologischen Vorteilen von selbsterzeugter elektrischer Energie ist sicherlich wichtig zu wissen, inwiefern sich die Anschaffung und Installation eines Balkonkraftwerks finanziell rentiert. Hier geistern viele Zahlen im Internet herum, die - wenn nicht schlicht übertrieben - so doch zumindest sehr

Global Radiation Europe

Reference Mean (1983 - 2005)



Global Radiation Germany

Based on satellite data and ground measurements of the DWD network
Mean of Years (1981 -2010)

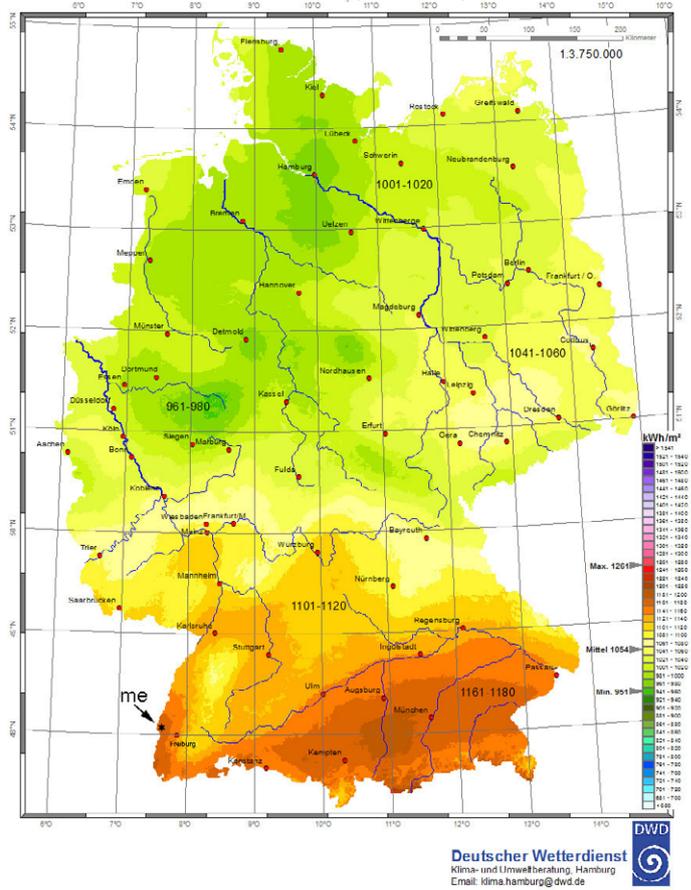


Bild 1. Strahlungskarten des DWD (Quelle: [3]).

optimistisch gehalten sind. Dabei kann man den zu erwartenden Ertrag einer Solaranlage halbwegs zuverlässig ermitteln. Nachfolgend wird beschrieben, wie man dabei vorgeht. Zunächst ist die geografische Breite wichtig, denn sie bestimmt nicht nur den Winkel, mit dem die Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche treffen, sondern auch den kumulierten Wert der Sonnenenergie, die im Laufe eines Jahres auf einer bestimmte Fläche erwartet werden kann. Ersteres kann durch angepasste Aufstellwinkel der Solarmodule weitgehend kompensiert werden, aber die Folgen des Wohnorts muss man einfach hinnehmen. Vom Deutschen Wetterdienst gibt es Strahlungskarten [3], aus der sich die mittlere Solarenergie pro Jahr (**Bild 1**) sowie viele weitere Infos entnehmen lassen. Im Internet findet man sogar umfangreiche Rechner für den solaren Ertrag. Für andere Länder finden sich im Netz ebenfalls Karten und Berechnungsgrundlagen. Es ist also ein Unterschied, ob man das Balkonkraftwerk an der Nordseeküste oder in Süddeutschland aufstellt, oder ob man in Skandinavien, Nordafrika oder gar in Mexiko wohnt. Für Deutschland gilt die Daumenregel, dass durchschnittlich mit etwa 1 MWh/m² pro Jahr zu rechnen ist. Dabei reicht die Spanne von meinem Wohnort in Südbaden mit etwa 1,2 MWh/m² bis etwa 900 kWh/m² zwischen Flensburg und Kiel. Neben dieser „generellen“ Sonneneinstrahlung ist auch das lokale Klima zu berücksichtigen. So ist es ein weiterer Unterschied, ob man am Hang eines Berges oder Gebirges in Hauptwindrichtung (Luv) wohnt oder eben

in dessen Windschatten (Lee). In Luv-Lagen regnet es mehr und stärker, weshalb mit mehr Wolken als in Lee-Lagen zu rechnen ist. Selbst die Luftverschmutzung (vor allem im Winter) hat einen Einfluss. Man muss hier also mit mindestens 10 % zusätzlicher Varianz rechnen. Ich selber wohne nach diesen Kriterien ziemlich glücklich: In Südbaden in der Rheinebene, auf der Lee-Seite der größeren Berge der Vogesen. Zumindest was den Sommer angeht kann ich also klar höhere Erträge erzielen, als es zum Beispiel im benachbarten Freiburg der Fall ist, da dort durch Luv-Lage trotz gleicher geografischer Breite mit mehr Wolken zu rechnen ist. Mit meinem ersten Balkonkraftwerk, dessen zwei 330-Wp-Panels auf insgesamt 3,2 m² kamen (siehe **Bild 2**), errechnete ich für meine geografische Lage einen Maximalertrag von brutto 1,2 MWh/m² × 3,2 m² = 3,84 MWh pro Jahr. Leider haben Solarzellen keinen Wirkungsgrad von 100 %. Die verwendeten Panels kamen immerhin auf knapp 20 %, was zu einer Ernte von 770 kWh/y (das kleine „y“ steht für „year“) führen würde. Aufgrund nicht optimaler Südausrichtung und zu flachem Aufstellwinkel habe ich mit nur 75 % des Optimums kalkuliert, was immerhin noch 580 kWh/y ergäbe. Nun ist es allerdings nicht so, dass die maximal 600 W Einspeisung des damals verbauten Wechselrichters vollständig genutzt werden könnten. Ein Teil der erzeugten Energie landet typischerweise als Geschenk für die Allgemeinheit im Netz. Bei mir ist die Grundlast aufgrund von zwei Kühlschränken, einem großen Gefrierschrank,



Bild 2. Die beiden 330-Wp-Panels meines ersten Balkonkraftwerks auf einem Vordach.

einer Zentralheizung mit zwei Pumpen, der üblichen Elektronik samt PC mit Monitor im Home Office und einer älteren Mutter, die etliche Stunden am Tag den Fernseher laufen hat, etwas höher als im Durchschnitt. Also habe ich eine Eigennutzung von etwa 75 % angenommen, sodass ich mit einer realen Einsparung von knapp 430 kWh rechnen konnte, was beim damaligen Strompreis von 0,30 €/kWh etwa 125 €/y ergeben hätte. Das Balkonkraftwerk hatte etwa 600 € gekostet und hätte sich demnach in vier Jahren amortisiert.

Tatsächlich aber zeigte sich nach einem und auch nach zwei Jahren, dass meine Ausbeute höher war. Ich erzielte eine Brutto-Einspeisung von zuerst 630 kWh/y und dann 670 kWh/y (siehe **Bild 3**), was wohl mit meiner solartechnisch optimalen Lage mit wenig Wolken zu erklären ist. Auch auf dem Stromzähler schlug sich das adäquat nieder, denn der Strombedarf lag etwa 500 kWh/y niedriger als in den Vorjahren.

Wenn Sie nun weiter nördlich als ich wohnen und mit einer Globalstrahlung von etwa 1 MWh/m² pro Jahr leben müssen, würden Sie demnach bei sonst gleicher Anlage mit einer Ernte von etwa 460 kWh/y rechnen können. Dafür dürfte dann der Anteil der Selbstnutzung höher sein, sodass Sie letztlich eine um 350 kWh bis 400 kWh erniedrigte Stromrechnung erwarten können. Diese Kalkulation gilt allerdings für den Stand der Technik vor 2,5 Jahren. Heute ist der Wirkungsgrad von Solarzellen mit 21...22 % leicht verbessert und hinzu kommt, dass man zu niedrigen Kosten heute größere Panels einsetzt. Aktuell kann man daher rein aufgrund des technischen Fortschritts und neuer Regularien locker mit einer Einsparung rechnen, die 25 % über der meines ersten Balkonkraftwerks liegt.

Mehr Power

Aktuell stehen gesetzliche Änderungen in Deutschland an, die endlich die in vielen anderen EU-Ländern erlaubten 800 W bei Balkonkraftwerken erlauben. Das war nicht nur Grund genug für ein Hardware-Update meinerseits, sondern sollte auch für Sie Motiv genug sein, auf eine Leistung von mehr als 600 W zu setzen, wenn Sie jetzt ein Balkonkraftwerk planen. Wenn Sie heute einen Solarwechselrichter oder Inverter mit 800 W und mehr kaufen, können Sie diesen normalerweise trotzdem sofort einsetzen, denn man kann etliche dieser Modelle entweder selbst auf 600 W drosseln oder sogar schon fertig gedrosselt kaufen. Nach dem Fall der 600-W-Grenze kann man den Wechselrichter dann einfach wieder auf 800 W freischalten. Sogar noch größere Inverter sind eventuell sinnvoll, doch dazu später mehr.

Hinzu kommt, dass die Preise für Panels nicht nur aufgrund der aktuell in Deutschland erlassenen Mehrwertsteuer seit Anfang 2023 extrem gefallen sind. Man kann im Moment Panels mit

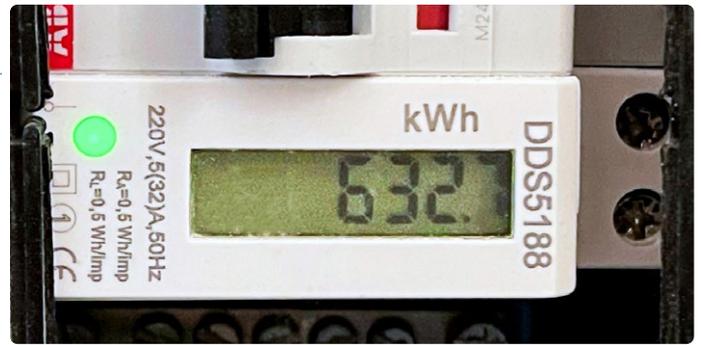


Bild 3. Geerntete Energie nach einem Jahr Betrieb des ersten Balkonkraftwerks.

einer Spitzenleistung von 425 Wp (das kleine „p“ steht für „peak“) für unter 100 € kaufen. Stärkere Panels fallen auch etwas größer aus, denn die Wirkungsgradsteigerung von knapp 20 % auf über 21 % kann die Leistungssteigerung nicht alleine bringen. Meine Panels sind 176,2 x 113,4 cm groß (siehe **Bild 4**) - ein übliches Maß. Die Transportkosten sind nicht unbeträchtlich, denn mit einem normalen Auto - auch mit einem Kombi - kann man die Module (im Gegensatz zu den alten 330-Wp-Modellen) nicht mehr transportieren. Hier lohnen sich Sammelbestellungen, falls man noch Mitstreiter unter Freunden oder Familienangehörigen findet.

Bei Panels gibt es übrigens im Moment immer noch eine rechtliche Hürde: Solarmodule mit einer Fläche von über 2 m² sind nicht für Dachmontage zugelassen. Ich hatte Glück, denn meine Panels haben genau 1,998108 m²; -) Auf eine Anfrage an das Bundeswirtschaftsministerium wurde mir geantwortet, dass die Flächengrenze im Zuge des noch zu verabschiedenden Solarpakets II [4] auf 3 m² angehoben wird, was dann Panels mit über 550 Wp möglich macht. Bei einem neu konzipierten Balkonkraftwerk sollte man also auf Panels mit über 400 Wp setzen und demnächst wohl auf welche mit mehr als 500 Wp. Plant man aus Platzgründen eine Anlage mit nur einem Modul, sollte man dafür einen Inverter mit 400 W kaufen, an den nur ein einzelnes Modul anschließbar ist. Die 300-W-Vorgänger sind also jetzt schon veraltet und eigentlich nur noch stark reduziert verkäuflich. Analoges gilt für eine Zwei-Panel-Anlage: Kaufen Sie hierfür gegebenenfalls einen auf 600 W drosselbaren oder schon fertig gedrosselten Inverter mit 800 W Leistung und schließen daran zwei Panels mit über 400 Wp an. Panels mit mehr als 2 m² sind leider noch Zukunftsmusik und wohl erst irgendwann im Jahr 2024 legal.

Bevor Sie aber jetzt schon irgendwo auf „kaufen“ klicken, empfiehlt es sich, diesen Artikel vollständig zu lesen, denn es gibt noch weitere Dinge zu beachten.

Auslegungssache

Ziel eines Balkonkraftwerks ist, wie schon erwähnt, die Abdeckung des „Ruhestrombedarfs“ Ihres Hauses oder Ihrer Wohnung. In fast allen Fällen wird der Sockel an Leistungsbedarf deutlich unter 600 W bleiben und eher zwischen 100 W und 200 W liegen. Liefert Ihr Balkonkraftwerk gerade eine höhere Leistung als benötigt, dann wird von einer gesteigerten Leistung einfach ein größerer Teil für Sie ökonomisch nutzlos ins Netz eingespeist. Warum ist dann eine großzügigere Auslegung trotzdem sinnvoll?

Nachts liefert eine Solaranlage bekanntlich auch bei hellem Mondenschein keine Energie. Nehmen wir an, Ihr Sockelbedarf an elektrischer Energie liegt bei bescheidenen 100 W. Dies allein führt zu einem jährlichen Energiebedarf von 876 kWh. Das ist bei einem typischen Zweipersonenhaushalt schon fast ein Drittel des

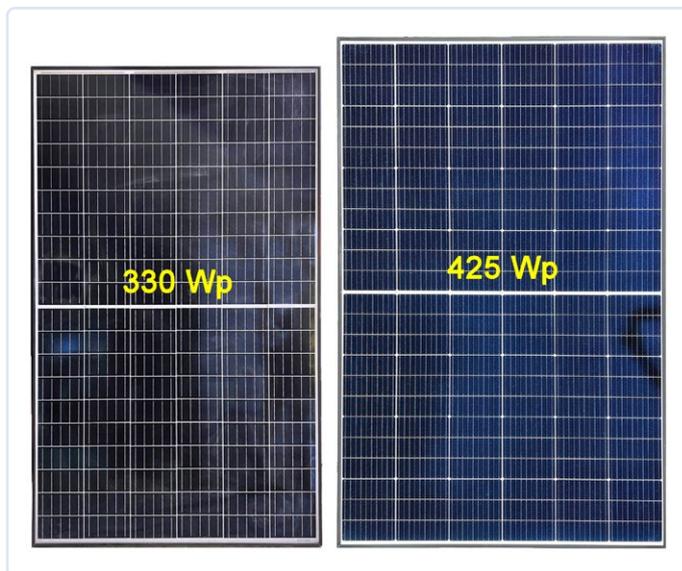


Bild 4. Größenvergleich meiner alten 330-Wp-Panels mit den neuen 425-Wp-Exemplaren.

Gesamtbedarfs. Durchschnittlich 12 h/d ist es Nacht – die Hälfte dieses Grundbedarfs = 438 kWh/y fällt also auf jeden Fall an, sofern keine Pufferung durch einen Akku vorgesehen ist. Von der anderen Hälfte kann aber nicht alles durch ein Balkonkraftwerk aufgefangen werden, denn in der Morgen- und der Abenddämmerung erzielen selbst zwei 425-Wp-Panels zeitweise nur unter 100 W. Mehr als durchschnittlich 10 h/d können daher in nördlichen Breiten mit längeren Dämmerungszeiten sicher keine 100 W überschritten werden. Außerdem gibt es noch trübes Wetter – vor allem im Winterhalbjahr. **Bild 5** zeigt, dass selbst mein neues, leistungsfähigeres Balkonkraftwerk Ende Oktober tagsüber um 16:01 Uhr bei bewölktem Himmel keine 100 W brachte.

Was tun? Die erste Maßnahme dürften möglich große Panels sein. Wichtig ist dabei nicht, dass möglichst hohe Spitzenwerte erzielt werden, sondern dass sie in Zeiten von Dämmerung oder bei schlechtem Wetter mehr Leistung liefern und somit einen größeren Teil des Tages möglichst viel der Grundlast abdecken. Die Spitzenleistung des Inverters ist nur interessant, wenn man bei schönem Wetter starke Verbraucher wie eine Waschmaschine, einen Trockner oder einen Elektroherd betreibt und dann größere Anteile dieses Verbrauchs kompensiert. Bei mir hat das Balkonkraftwerk dazu geführt, auf diese Zeiten zu achten. Übrigens kann man beim Betrieb einer Klimaanlage im Sommer davon ausgehen, dass deren Stromverbrauch praktisch komplett von einem 800-W-Balkonkraftwerk bedient wird. Auf die Dauer hilft eben nur Power!

Auf die Spitze treiben kann man die Sache, wenn man einen stärkeren Inverter mit vier Eingängen und vier Panels betreibt. Es gibt im Handel Typen mit 1200 W bis 1500 W, die dafür geeignet sind. Auch diese lassen sich in der Regel auf 600 W oder 800 W drosseln und sind damit formal gesetzeskonform – falls der jeweilige Netzbetreiber nicht Schwierigkeiten macht. Das sollte aber nach dem Solarpaket II einfacher für den Kunden werden. Die Verdoppelung der maximalen Leistung hat den großen Vorteil, dass man schneller die Schwelle der Grundlast überschreitet und auch bei schlechtem Wetter doppelt so viel Energie geerntet werden kann. Der Einspareffekt ist damit größer, aber wie zu erwarten skaliert er leider nicht linear, sodass die Verzinsung aufgrund des schlechteren Preis/Leistungs-Verhältnisses niedriger ausfällt. Wer aber

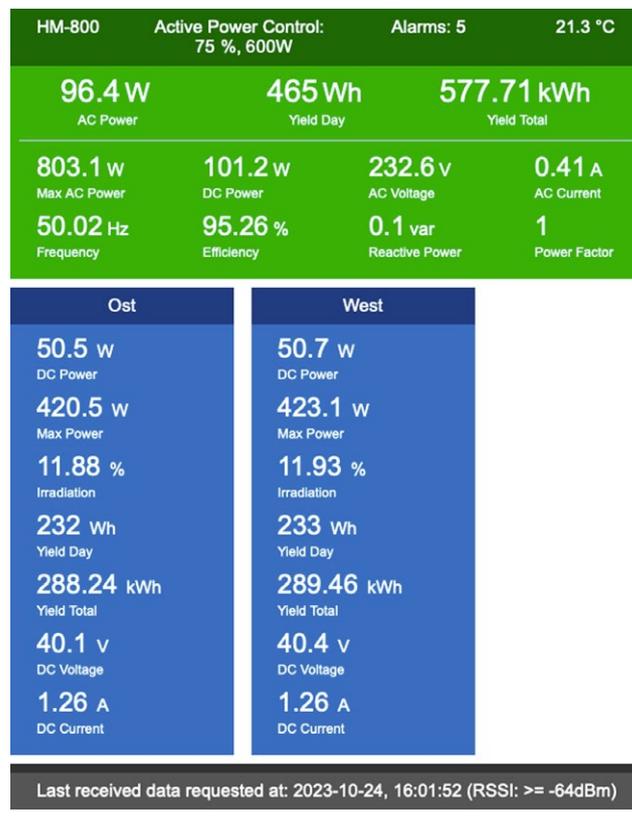


Bild 5. Ende Oktober brachte mein neues Balkonkraftwerk bei bewölktem Himmel keine 100 W.

das Maximum an Energieeinsparung herausholen möchte, der muss diesen Weg gehen.

Einen kleinen Haken hat die Sache mit Invertern für vier Panels aber doch: Sie haben normalerweise nicht mehr MPPT-Regler als die Inverter für nur zwei Panels. Bei Vierfach-Inverters sind also oft je zwei Panels intern in Serie geschaltet, für die je ein MPP-Tracker zur Verfügung steht. Das ist kein großes Problem, wenn man alle vier oder aber zumindest je zwei Panels gleich ausrichtet.

Die Frage der Ausrichtung der Panels ist für einen optimalen Ertrag durchaus ebenfalls von Relevanz. Wenn Sie als Standardlösung zwei Panels an einem Balkon anbringen, dann haben Sie ja keine Wahl. Aber wer Platz hat, also irgendwo ein Flachdach oder Vordach, kann auch ein Panel eher nach Osten und das zweite dann eher nach Westen ausrichten. Südost und Südwest wären eine gute Lösung, die das Überschreiten der angenommenen 100-W-Schwelle morgens früher beginnen und abends später enden lässt, was die Grundlast auf Kosten der Spitzenleistung länger kompensiert.

Noch etwas mehr Energie sparen kann man, wenn man bei einer Vier-Panel-Anlage jeweils zwei Panels nach Südost und Südwest ausrichtet. Will man bei vier Panels vier verschiedene Ausrichtungen realisieren, dann empfiehlt sich statt einem Vierfach-Inverter die Anschaffung von zwei 800-W-Inverters, da man so auf vier MPP-Tracker kommt (siehe **Bild 6**). Allgemein gilt die komplette Installation als ein „Kraftwerk“ beziehungsweise eine Anlage, auch wenn zwei Inverter gleichzeitig in Betrieb sind, denn die gesetzlichen Regeln sagen nichts über den konkreten Aufbau oder die Panelzahl, sondern nur etwas über die maximale Leistung aus. Die Lösung mit zwei Inverters ist nur wenig teurer und auch dann vorzuziehen, wenn für je zwei Panels ein anderer Standort gewählt wird. Ein längeres Netzkabel ist nämlich preiswerter und einfacher als vier längere Solarleitungen zu verlegen.

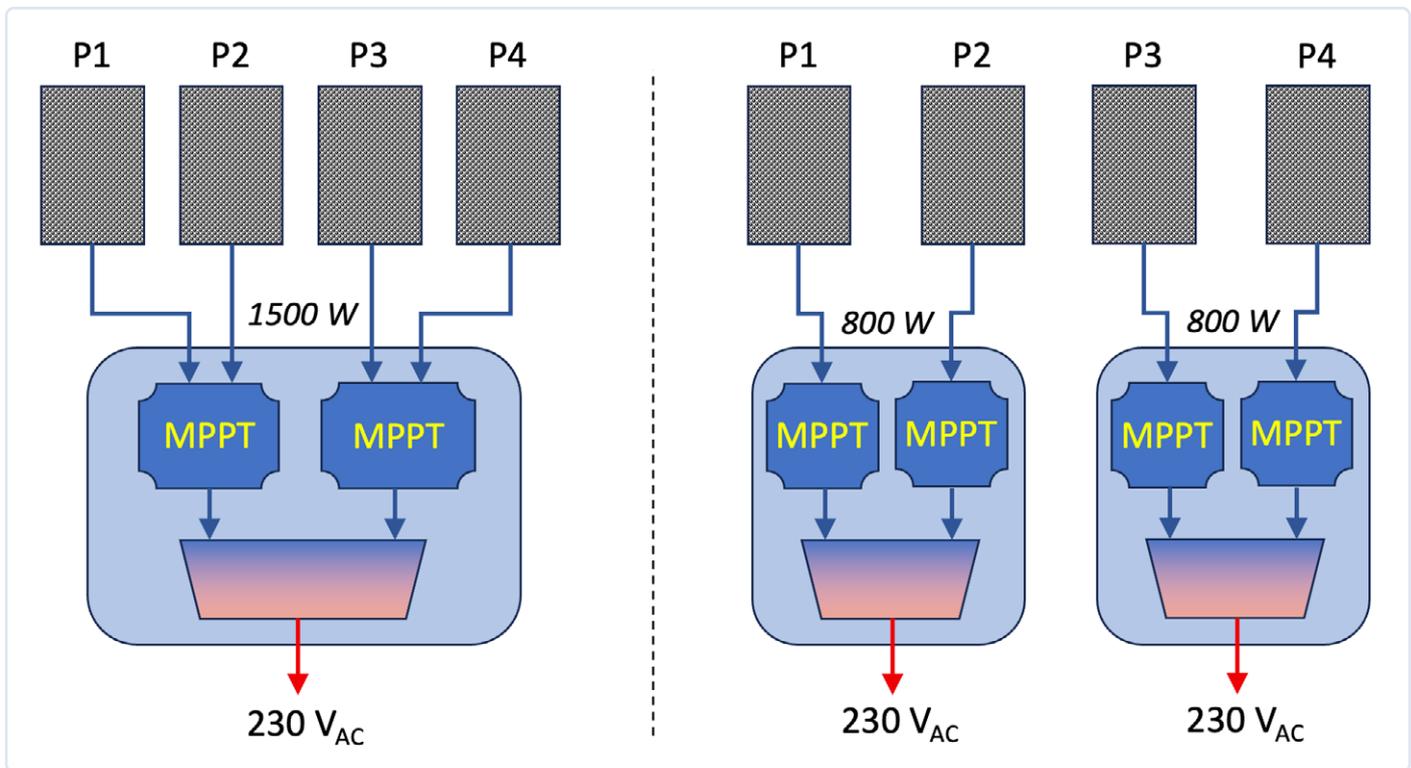


Bild 6. Zwei Lösungen mit vier Panels: Links ein Inverter mit zwei MPP-Trackern und rechts zwei Inverter mit insgesamt vier MPP-Trackern.

Ein MPP-Tracker pro Panel hat logischerweise auch positive Effekte bei Verschattung, denn dann wird jedes Panel individuell behandelt. Aus diesem Grund gibt es sogar Zeitgenossen, die selbst größere Solaranlagen mit über 10 kWp installierter Solarleistung aus vielen Panels mit etlichen Zweifach-Mikroinvertern kleiner Leistung (statt einem großen Inverter) realisieren. Solche kleinen Inverter lassen sich in aller Regel netzseitig in einer Kette aus bis zu sechs Exemplaren verbinden.

Auswahl der Panels

Wie schon erwähnt, hat der Kauf kleinerer Panels mit Spitzenleistungen unter 400 Wp heute wenig Sinn. Wer im Vorgriff auf das Solarpaket II gleich auf richtig große Panels einsetzen möchte, muss aber besonders darauf achten, dass weder der Maximalstrom noch die Maximalspannung an den Eingängen des Inverters überschritten werden. Beide Parameter hängen von der Größe der Panels und ihrem Aufbau ab. Der weitverbreitete Inverter HM-800 von Hoymiles beispielsweise verträgt maximal 60 V und 12,5 A an seinen Eingängen. Daran ist nicht jedes Panel anschließbar. Mit steigender Zellenzahl ist bei gegebener Leistung die Maximalspannung höher und der Kurzschlussstrom niedriger. Moderne Panels sind aufgrund geringerer ohmscher Verluste durchweg mit im Format halbierten statt mit vollen, quadratischen Solarzellen ausgestattet. Wenn also von „Zellen“ die Rede ist, sind in der Regel Halbzellen gemeint. Ein gebräuchliches Solarmodul des Typs JKM420-54 von Jinko Solar [5] ist intern wie in **Bild 7** aufgebaut. Seine insgesamt 108 Halbzellen sind in drei in Serie geschaltete Blöcke zu je zwei parallel geschalteten Serienschaltungen aus je 18 Halbzellen aufgeteilt. Äquivalent in Serie geschaltet sind daher 54 Halbzellen, und zwei solcher Ketten sind parallel geschaltet. Unter Last liefert eine Zelle knapp unter 0,6 V. Bei diesem Solarmodul erreichen die 54 effektiven Zellen bei maximaler Leistung eine Spannung von 31,5 V. Die maximale Leerlaufspannung liegt mit

knapp über 38 V im sicheren Bereich für praktisch alle für Balkonkraftwerke in Frage kommenden Inverter. Allerdings sind bei nur 108 Halbzellen für ein solch leistungsfähiges Panel die Zellenflächen und damit der lieferbare Strom relativ hoch. Das Datenblatt verrät, dass der Maximalstrom im Betrieb mit knapp über 13,3 A schon die Spezifikation von maximal 12,5 A des Inverters HM-800 überschreitet. Bei manchen Modellen von anderen Herstellern liegt der Maximalstrom mit bis zu 15 A aber hoch genug.

Für die Mehrheit der aktuell angebotenen Mikroinverter sollte man allerdings von Solarmodulen mit nur 108 Halbzellen die Finger lassen. Ab 120 Zellen geht man bei Panels im Bereich bis 435 Wp strommäßig auf Nummer sicher. Ich habe Panels mit 144 Zellen ausgesucht und diese liefern maximal knapp über 10 A. Dafür kommen sie im Winter bei Minusgraden, Sonnenschein und ohne Last auf deutlich über 50 V Leerlaufspannung. Die 60-V-Grenze des HM-800 reicht hier aus, aber es ist wichtig zu überprüfen, ob der ins Auge genommene Inverter mit der maximalen Leerlaufspannung der präferierten Panels umgehen kann.

Bei großen Panels in der Klasse über 500 W muss man je nach Zellenzahl mit noch deutlich höheren Strömen und/oder deutlich höheren Spannungen rechnen. Damit können in der Regel nur Inverter neuerer Bauart umgehen. Der Check der technischen Daten von Solarmodulen und Invertoren ist hier Pflicht, wenn man keine Ausfälle riskieren möchte. Die neueren Inverter der HMS-Klasse von Hoymiles vertragen schon immerhin 14 A an den Eingängen.

Aufstellen

Je nach Aufstellort muss man für die Montage der Panels unterschiedliche Strategien anwenden. Man kann hier selbst kreativ werden, wenn einem Metallarbeiten liegen. Es gibt allerdings auch für jede Aufstellvariante geeignete Befestigungssysteme fertig zu akzeptablen Preisen zu kaufen, sodass sich der Selbstbau aus verzinkten Stahl- oder Alu-Profilen oft nicht wirklich lohnt.

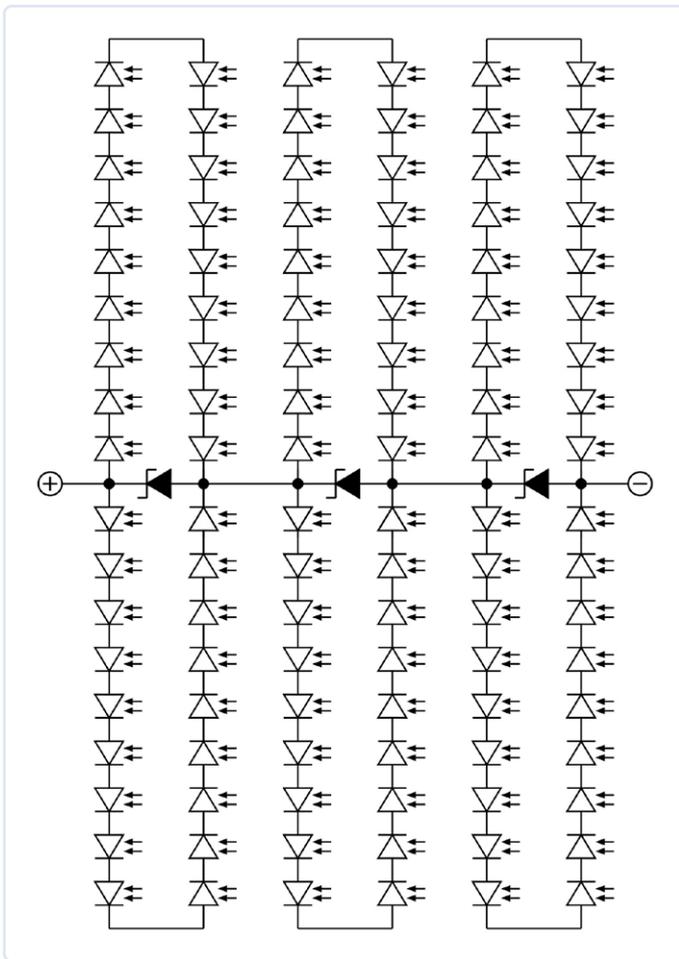


Bild 7. Innenschaltung eines modernen Solarmoduls aus 108 Halbzellen.

Zunächst ist es natürlich sinnvoll, dass man sich über die Ausrichtung Gedanken macht. Richtung Süden ist zumindest auf der Nordhalbkugel optimal. Die Antipoden müssen ihre Panels nach Norden ausrichten und am Äquator können sie theoretisch sogar flach liegen und direkt den Himmel zeigen. Hier kommen direkt die Auswirkungen der Neigung zum Tragen. Zum einen sind flache Winkel selbst am Äquator nicht wirklich günstig, weil so Staub, Schmutz und Vogelkot liegen bleibt und nicht gut vom Regen abgewaschen werden kann. Außerdem ist die Sonneneinstrahlung jenseits der Wendekreise nie senkrecht zur Erdoberfläche, sondern hat einen mehr oder minder steilen Winkel. Wenn man die Panels daher nicht extrem aufwendig mit viel Technik dem Sonnenstand nachführt, muss man sich Gedanken über den optimalen Aufstellwinkel [6] machen.

Vorweg: Einen allgemeingültig optimalen Aufstellwinkel gibt es nicht, denn das Optimum hängt nicht nur vom Aufstellort beziehungsweise dessen geographischer Breite ab, sondern auch von Ihren persönlichen Anforderungen. Im Internet gibt es Rechner oder Tabellen, mit denen man den größten Ertrag abhängig vom Wohnort ermitteln kann. Demnach wären für Deutschland Winkel bezogen auf die Waagrechte zwischen 38° (hoher Norden) und etwa 32° bei mir im Süden optimal. Das gilt allerdings für den optimalen Ertrag kumuliert über das ganze Jahr, was nur für größere Solaranlagen, bei denen die eingespeiste Energie Geld verdient, ein sehr sinnvolles Kriterium ist. Bekanntlich steht aber die Sonne im Winter deutlich tiefer als im Sommer. Folglich erhält man bei flachen Winkel im Sommer mehr und im Winter weniger Energie

als möglich wäre. Bei steilen Winkeln ist es umgekehrt. Für Balkonkraftwerke ist aber der Spitzenwert weniger wichtig als die zeitliche Verfügbarkeit von mittleren und niedrigen Leistungen. Insofern haben hier steilere Winkel mehr Sinn, da so im Winter höhere Leistungen auf Kosten des Sommers und des Gesamtertrages erzielt werden. Aus diesen Überlegungen heraus habe ich meine Panels mit einem Winkel von 45° montiert. Nach meiner Überzeugung spare ich so am meisten. Erste Hochrechnungen auf der Basis von drei Monaten mit meinem neuen 800-W-Balkonkraftwerk mit besserem Aufstellwinkel bestätigen, dass ich trotz Drosselung auf 600 W tatsächlich eine Steigerung der Stromkosteneinsparung von mehr als 25 % gegenüber der alten 600-W-Variante erwarten darf. Zum Glück ist die Frage des Aufstellwinkels lange nicht so kritisch wie man meinen könnte. Die Kurven der Beleuchtungsintensitäten über das Jahr bewegen sich zwischen Winter und Sommer relativ sinusförmig und nicht etwa linear. Das Gleiche gilt für die Bewegung zwischen Sonnenauf- und Untergang. Auch die Sonnenintensität auf dem Weg von Ost nach West ähnelt einer unten abgeschnittenen Sinuswelle. Eine Abweichung von der idealen Südausrichtung und vom idealen Aufstellwinkel von zum Beispiel 10° hat lediglich eine Reduktion der Ausbeute von 0,5 % bis 2 % zur Folge. Eine Abweichung um ±45° von Süden reduziert die Sonnenernte um lediglich 5,1 %. Selbst ein Fehler beim Aufstellwinkel von 20° macht weniger als -4 % aus. Allerdings gelten diese Werte nur bezüglich der maximalen Energieernte. Bei einem Balkonkraftwerk sollte man aber einfach möglichst häufig und lange über der Schwelle der Dauerstromaufnahme eines Hauses liegen, weshalb hier etwas mehr Wert auf gute Ausrichtung und steilere Aufstellwinkel gelegt werden sollte.

Bei einem Flachdach kann man, statt Löcher zu bohren und damit Undichtigkeiten zu riskieren, einfach Gewichte verwenden. Auf diese Weise bleiben die Panels auch bei starkem Wind an Ort und Stelle. Bei meiner Freundin in Israel beispielsweise habe ich auf dem Dach ihres Bungalows einfach preiswerte Randsteine aus Beton verwendet und die Panels mit Hilfe einer selbstgebauten Konstruktion aus verzinkten Stahlwinkeln daran festgeschraubt (**Bild 8**). Jeder Stein wiegt 45 kg. Das dürfte reichen, aber das Dach muss das statisch auch aushalten.

Hat man einen Balkon mit Stahlrohren, lohnen sich fertige Halterungen, mit denen man die Panels direkt senkrecht an das Geländer schrauben kann. Allerdings ist die senkrechte Montage alles andere als ideal. Man muss hier mit Einbußen von bis zu 30 % gegenüber optimaleren Winkeln rechnen. Bei Balkonkraftwerken liegt man so nämlich besonders lange unter der Grundlastschwelle, was schade ist. Mit anderen Systemen, die einen verstellbaren Winkel erlauben, kann man die Panels mit deutlich besseren Anstellwinkeln an Brüstungen aus Holz, Metall oder Beton anbringen. **Bild 9** zeigt die Montage mit solch einem System auf Holzbrettern an einer Balkonbrüstung; und in **Bild 10** sieht man das gleiche Befestigungssystem auf einem Vordach. Pro Panel muss man hier mit Kosten ab etwa 20 € rechnen.



Bild 8. Aufbau eines Balkonkraftwerks auf einem Flachdach mit Hilfe von Betonsteinen.



Bild 9. Die Panels wurden mit fertigen Befestigungen aus schwarz eloxiertem Alu an die Holzbretter eines Balkons geschraubt.



Bild 10. Mit dem gleichen Befestigungssystem wie von Bild 9 (hier in Alu natur) kann man die Solarmodule auch stabil mit einem einstellbaren Winkel auf Flachdächern anbringen.

Außerdem

Bei der Auswahl von Solarmodulen sowie dem zugehörigen Inverter und Befestigungsmaterial spielen neben Effizienz- und Preiskriterien noch andere Aspekte eine Rolle. Bei Solarmodulen sollte man Gehirnschmalz in die beste Aufstellung besonders dann investieren, wenn mit Verschattungen durch andere Häuser, Dachaufbauten oder Bäume zu rechnen ist. Die Logik dahinter und die Antwort auf die Frage, wann man Solarpanels beispielsweise eher hochkant statt horizontal montieren sollte sowie vieles mehr ist in einem umfangreicheren Artikel über Solarmodule im Elektor-Sonderheft zum Thema Solartechnik [2] enthalten.

Will man vier Solarmodule einsetzen, dann muss man, wie schon erwähnt, die Leistung des oder der Wechselrichter so reduzieren, dass nicht mehr als 600 W beziehungsweise demnächst 800 W produziert werden können. Das können nicht alle Wechselrichter. Ebenfalls nicht alle Inverter sind direkt ins eigene WLAN einbind- und dadurch steuerbar. Gerade für die verbreiteten HM-Modelle von Hoymiles muss man entweder eine sogenannte DTU (Data Transfer Unit) kaufen oder aber eine solche selbst bauen. Hierzu gibt es schon eine in Elektor veröffentlichte Lösung mit der Open-Source-Software *OpenDTU* [7] und im Sonderheft [2] das Äquivalent mit der Software *AhoyDTU*. **Bild 11** zeigt meine selbstgebaute DTU. Will man die historischen Verläufe der Ernte des eigenen Balkonkraftwerks betrachten, gibt es hierfür Lösungen der Inverter-Hersteller. Man sollte sich bei deren Nutzung allerdings im Klaren darüber sein, dass die eigenen Daten in Clouds in China landen und futsch sind, wenn der Hersteller diese Clouds möglicherweise in ein paar Jahren abschaltet. Auch hierfür gibt es Open-Source-Lösungen, zum Beispiel mit der Heimautomations-Software *Home Assistant*. Eventuell wird dieses in einer der nächsten Elektor-Ausgaben noch einmal näher beleuchtet. Mit solch einer Software wäre auch eine sogenannte Nulleinspeisung möglich, bei der die Leistung des Inverters so nachgeregelt wird, dass möglichst kein Strom ins Netz fließt.

Wie gesagt gibt es mittlerweile gute Solarmodule mit über 400 Wp für unter 100 € das Stück. Etwas teurer sind sogenannte bifaziale Module, die auf der Unterseite statt mit einer weißen Kunststoffolie ebenfalls mit einer Glasschicht wie oben versehen sind. Dadurch kann auch noch (diffuse) Strahlung von hinten ein paar zusätzliche Prozent zur Ausbeute beitragen. Bei flach auf einem Dach oder an einer Wand aufliegenden Panels lohnt das allerdings nicht, da hier kaum rückwärtige Einstrahlung auftritt. Ein weiterer Vorteil bifazialer Panels ist, dass die Glasschicht wesentlich stabiler und dichter ist als eine aus Kunststoff. Daher haben diese Module eine längere Lebenserwartung und wohl auch eine geringere Degradation über die Zeit. Der Aufpreis für diesen Mehrwert ist relativ bescheiden.

Angeblich soll im Rahmen des Solarpakets II die Pflicht zum Netz-Anschluss per sogenannter Wieland-Steckverbindung entfallen, für die sonst noch einmal 35 € bis 40 € einzukalkulieren sind. Es gibt Zeitgenossen, die im Vorgriff darauf schon jetzt lediglich einen normalen Stecker für eine normale Steckdose verwenden, was in Deutschland noch nicht, sondern nur in anderen Ländern erlaubt ist. Ich selbst habe mein Balkonkraftwerk mit eigener Leitung und Sicherung direkt angeschlossen, um solche Probleme zu umschif-

fen. Hinzu kommt: Bei den zukünftig erlaubten 800 W ist mit einem ins 230-V-Netz eingespeisten maximalen Strom von bis zu 3,5 A zu rechnen. Sind Steckdosen mit 16 A abgesichert, könnten somit an einer anderen Steckdose im gleichen Kreis theoretisch bis zu 19,5 A fließen, bevor die Sicherung auslöst. Das aber ist nicht zulässig. Beim Anschluss per Steckdose muss daher die betreffende Sicherung im Sicherungskasten auf ≤ 12 A reduziert werden. Diese Arbeit ist einem vom EVU zertifizierten Elektriker vorbehalten. Zurzeit liest man, dass einige lokale EVUs gelegentlich bei der Anmeldung von auf 600 W gedrosselten Balkonkraftwerken mit 800-W-Invertern Probleme machen. Auch das dürfte mit dem Solarpaket II Geschichte sein, denn dann ist lediglich die vereinfachte Anmeldung beim sogenannten Marktstammdatenregister erforderlich.

Zur Preisentwicklung: Aktuell kann man komplette 800-W-Balkonkraftwerke für unter 400 € (ohne Porto und Montagematerial) bekommen. Pi × Daumen sollte sich eine solche Investition durch Energiekosteneinsparung schon in unter drei Jahren selbst finanziert haben. Bei einer guten größeren Anlage mit vier Panels und zwei 800-W-Invertern liegt man schnell bei 1.000 €. Da man damit nicht doppelt so viel einspart, muss man eher mit vier bis fünf Jahren für eine komplette Amortisation kalkulieren.

Neuerdings liest man von kleinen Akkusystemen speziell für Balkonkraftwerke mit einer Kapazität von 1 kWh bis 2 kWh. Sie werden einfach zwischen die Solarpanels und den Wechselrichter geschleift und zwacken einen Teil der Energie tagsüber zum Laden des Akkus ab. Nachts wird dann eine in Stufen einstellbare Leistung vom Akku an den Inverter abgegeben, sodass auch nächtliche Dauerverbräuche eines Hauses (zum Teil) kompensiert werden können. An sich ist das eine super Idee. Allerdings sind die Kosten für eine solche Lösung zwischen 1.500 € und 2.500 € nicht von Pappe. Die Amortisierung ist sehr fraglich, da mangels einer intelligenten Regelung in Abhängigkeit vom Verbrauch einfach konstante Leistungen eingespeist werden. Rechnet man sehr optimistisch mit im Mittel 10 h/d und 100 W, so ließen sich damit rund 365 kWh/y einsparen, was etwa 110 €/y entspricht. Eine Amortisierung würde also 14...23 Jahre auf sich warten lassen. Last not least: Einige Kommunen bieten Zuschüsse für Balkonkraftwerke. Damit kann sich so eine Investition unter Umständen schon nach einem Jahr bezahlt machen. ◀

230660-02



Bild 11. Meine selbstgebaute DTU mit 2,42"-OLED-Display.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Gerne können Sie sich an die Elektor-Redaktion unter der E-Mail-Adresse redaktion@elektor.de wenden.

Über den Autor

Dr. Thomas Scherer absolvierte zunächst eine Lehre als „Fernmelder“ und arbeitete dann ab 1980 in der Elektor-Redaktion. Nach einem Studium der Psychologie und einigen Jahren in der Grundlagenforschung ist er nun schon seit Jahrzehnten als freier Autor für Elektor tätig. Er hat ein großes Elektronik-Labor und interessiert sich neben Neuronen auch sehr für Elektronen – also für so ziemlich alles, was mit Strom zu tun hat.



Passende Produkte

- ▶ **PeakTech 3350 True-RMS-Digital-Multimeter**
www.elektor.de/19986
- ▶ **Elektor-Sonderheft „Solaranlagen und Photovoltaik“**
www.elektor.de/20596

WEBLINKS

- [1] Thomas Scherer, „Balkonkraftwerk“, Elektor 9-10/2021: <https://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-182/59849>
- [2] Elektor-Sonderheft „Solaranlagen und Photovoltaik“: <https://www.elektor.de/20596>
- [3] DWD, Strahlungskarten: <https://tinyurl.com/9d5vdrd5>
- [4] Pressemitteilung des Bundeswirtschaftsministeriums: <https://tinyurl.com/yt2wf8zj>
- [5] Datenblatt Solarmodul: <https://tinyurl.com/4a4ke3hu>
- [6] Aufstellwinkel: <https://solar.red/photovoltaik-neigungswinkel>
- [7] Thomas Scherer, „Für Balkonkraftwerke: ESP32 mit OpenDTU“, Elektor Gast-Ausgabe 2023: <https://www.elektormagazine.de/230500-02>

Für Balkonkraftwerke: ESP32 mit OpenDTU

Daten kleiner Wechselrichter per μ C auslesen

Source: Midjourney (edited)

Von Dr. Thomas Scherer

Die zuverlässigen Mikrowechselrichter von Hoymiles haben keine integrierte WLAN-Anbindung. Um die aktuelle Leistung, tägliche und kumulative Energieerzeugung sowie andere Daten auslesen zu können, braucht es eine extra DTU (Data Transfer Unit). Statt viel Geld auszugeben, kann man eine DTU preiswert selber machen und mit Open-Source-Software bestücken.

Vor über zwei Jahren hatte ich mir ein kleines Balkonkraftwerk mit 600 W Leistung gebaut [1]. Die Daten eines neuen Balkonkraftwerks (mit stärkeren Panels und neuem Wechselrichter) lese ich mit Hilfe einer kleinen Elektronik aus, die mir eine informative Webseite im eigenen LAN zur Verfügung stellt (siehe **Bild 1**). Leider sind die guten und weit verbreiteten Mikrowechselrichter von Hoymiles nur über eine spezielle Nordic-Funkanbindung mit proprietärem Protokoll erreichbar. Doch der Kauf einer fertigen DTU des Herstellers verstößt gegen meine Elektroniker-Ehre. Denn man kann solch ein Gerät auch selbst bauen, dabei Geld sparen und zudem den Transfer von Daten in chinesische Clouds verhindern.

Open Source

Dank weiter Verbreitung der Inverter von Hoymiles haben sich findige Tüftler zusammengetan und per Re-Enginee-

ring herausgefunden, welche Daten auf welche Weise per Nordic-Funk übertragen werden. Die damalige Diskussion können Sie im Forum *Mikrocontroller.net* [2] nachlesen. Außerdem wurde Software für die bekannten ESP32-Mikrocontroller-Boards von Espressif (plus einem Funkmodul von Nordic) entwickelt. Warum dieser Mikrocontroller? Das liegt auf der Hand: Ein ESP32 ist mit einer Dual-Core-CPU mit 240 MHz Takt bestückt und bringt neben Bluetooth auch gleich integriertes WLAN mit. All das benötigt im Mittel sogar weniger als ein halbes Watt.

Die dafür entwickelte Software liest nicht nur alle relevanten Infos der Hoymiles-Inverter und von baugleichen Exemplaren aus, sondern kann auch die eingespeiste Leistung verändern. Letzteres eignet sich zur Realisierung einer sogenannten Null-Einspeisung: Der Inverter wird so eingestellt, dass er gerade so viel Energie liefert, wie aktuell benötigt wird. Auch andere Inverter-Typen als die bewährte HM-Reihe sind nutzbar, doch die brauchen ein anderes Funkmodul, auf das hier nicht eingegangen wird. Recht bald kristallisierten sich mit OpenDTU [3] und AhoyDTU [4] zwei sehr gut brauchbare Software-Lösungen heraus, die sich in einzelnen Aspekten unterscheiden. Auf den Webseiten dieser Projekte kann man nachlesen, für welche Inverter genau sie geeignet sind und was sie so können. Ich habe beide Lösungen ausprobiert. Es ist schwer zu sagen, welche die „Bessere“ ist. Vorab: Die Wechselrichter HM-300 bis HM-1500 können auf jeden Fall beide Varianten nutzen. Wer preiswertere und schwächere Boards des Typs ESP8266 einsetzen möchte, ist

auf AhoyDTU angewiesen. Auf der leistungsfähigeren Plattform ESP32 laufen beide Lösungen. Nachfolgend wird der Betrieb mit OpenDTU beschrieben.

Hardware

Wie schon gesagt, ist für OpenDTU ein ESP32 als Basis erforderlich. **Bild 2** zeigt drei gebräuchliche ESP32-Boards. Hinzu kommt noch ein Nordic-Funkmodul, von denen es Exemplare mit aufgedruckter Antenne und mit SMA-Buchse zum Anschluss einer externen Antenne gibt (**Bild 3**). Welche der beiden eine größere Reichweite hat, können Sie sich denken. Bei mir genügt aber auch die Version mit aufgedruckter Antenne (mit nur 25% der maximalen Sendeleistung) für eine ordentliche Funkverbindung, und das über eine Entfernung von 11 m durch eine 34 cm starke Wand aus Ton-Mauerziegeln. Im Prinzip war es das schon. Für OpenDTU kann man fast alle ESP32-Varianten mit beiden Nordic-Funkmodulen kombinieren. Sogar kleine Displays können angesteuert werden, doch dazu später mehr. Für die drei in Bild 2 abgebildeten ESP32-Varianten habe ich Platinen entwickelt, wobei man mit der Mini-Ausführung unten eine recht kleine DTU hinbekommt. Selbstverständlich kann man ESP32-BoB und Nordic-Modul auch freihändig verdrahten.

So viel zur Theorie, doch steckt der Teufel im Detail. Es gibt neben den Funkmodulen des Typs „nRF24L01+“ auch welche ohne dieses „+“. Achtung: Die Plusversion ist zwingend! Während die einfacheren Boards mit aufgedruckter Antenne zu Preisen zwischen 1 € (China) und 4 € (EU) zu haben sind, kommt die luxuriösere Ausführung des Herstellers eByte (rechts in Bild 3) mit einer abgeschirmten Funkeinheit daher und kostet mit Antenne zwischen 4,50 € (China) und 7 € (EU). Eine DIY-DTU mit Nordic-Modul samt externer Antenne ist also nicht viel teurer als eine ohne. Ich habe die Version mit und ohne externe Antenne ausprobiert und bei mir keine relevanten Unterschiede festgestellt, aber eine Reichweitenreserve ist nicht schlecht. Es eignet sich übrigens eine normale, externe WLAN-Antenne, denn auch Nordic-Module funken auf 2,4 GHz. Wichtig ist lediglich, dass sie über eine männliche SMA-Verschraubung verfügt.

Je nach genauem Typ muss man für ein ESP32-Board zwischen 4 € (China) und 10...15 € (EU) berappen. Mit ESP32- und nRF24-BoB kann man eine voll funktionsfähige DTU samt einfachem Plastikgehäuse und Mikro-USB-Kabel also zu einem Preis von knapp unter 12 € (China) beziehungsweise 20 € (EU) bauen. Das ist ein Wort im Vergleich mit den 100 € bis 250 € für eine Original-DTU von Hoymiles!

Die Hauptschwierigkeit ist, dass es so dermaßen viele Varianten von ESP-BoBs gibt. Schon auf der Seite von Espressif [5] hat man die Qual der Wahl. Und dann gibt es noch etliche Hersteller im fernen Osten, welche unterschiedliche ESP32-SoCs auf unterschiedliche Boards mit unterschiedlicher Bestückung, unterschiedlichen Antennen und vor allem unterschiedlichem Pin-Out packen.

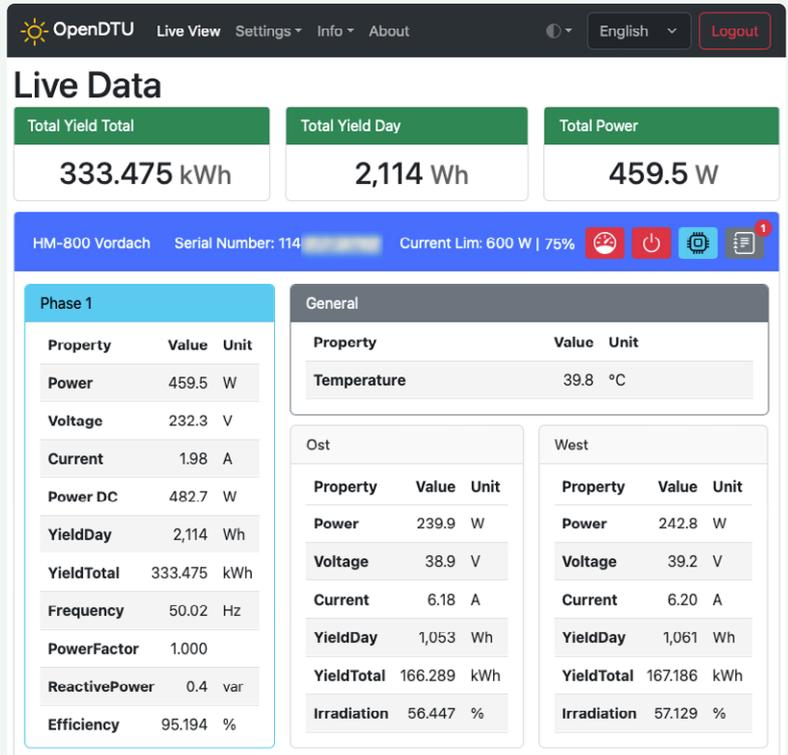


Bild 1. Ein kurzer Leistungstest am 31. Juli 2023 bei leichter Bewölkung. Der 800-W-Inverter war auf 600 W begrenzt und dennoch kamen am Ende des Tages ordentliche 4,7 kWh zusammen.

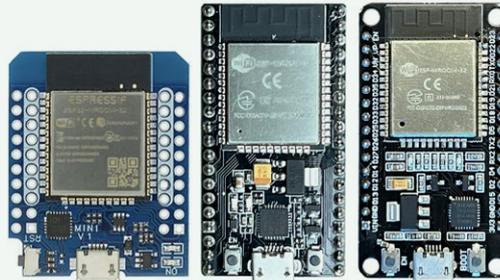


Bild 2. Drei verschiedene Boards im Größenvergleich: Rechts ein 30-poliges ESP32-BoB, in der Mitte eines mit 38 Pins und links eine kleinere ESP32-Variante (D1 mini), von deren 40 Pins zwei nicht verwendet sind.

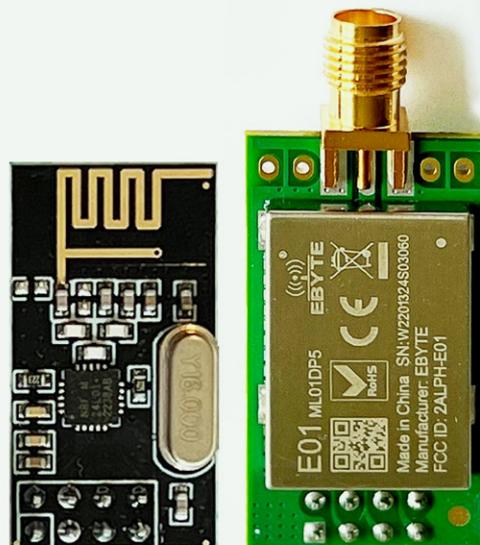


Bild 3. Zwei Board-Varianten mit dem Nordic-Funk-Chip nRF24L01+. Links mit Antenne auf der Platine und rechts mit SMA-Buchse für eine externe 2,4-GHz-Antenne.

Bild 4. Zwei 38-polige ESP32-BoBs. Oben mit herausstehender, gedruckter Antenne und unten mit Steckverbindung zum Anschluss einer externen WLAN-Antenne. Beide funktionieren gleichermaßen.

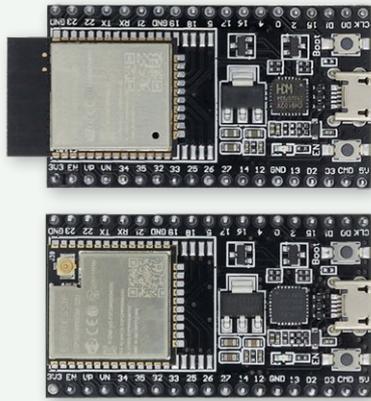


Bild 5. Schaltung bzw. Verdrahtungsplan als Anleitung für die Verbindung von auf Lochrasterplatinen bestückten BoBs mit farbigen Litzen. Hier die Verdrahtung der 30-poligen Variante.

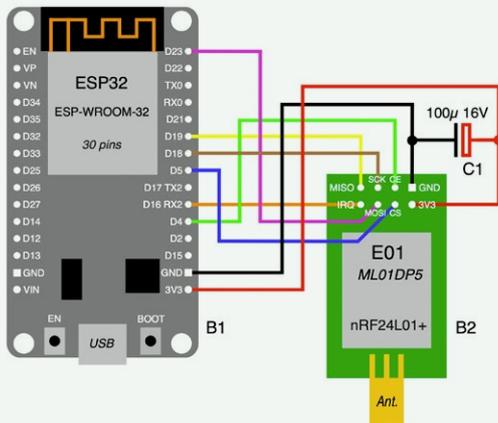


Bild 6. Verdrahtungsplan für 38-polige ESP32-BoBs.

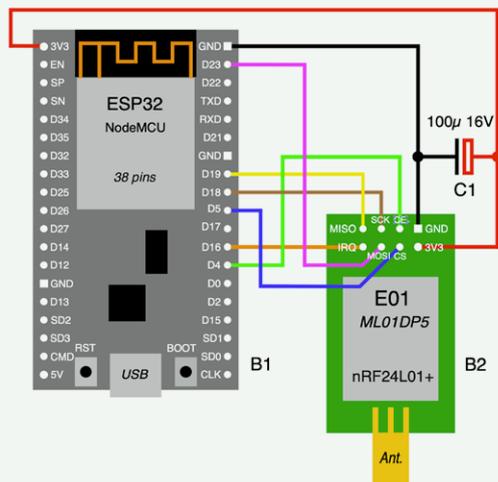
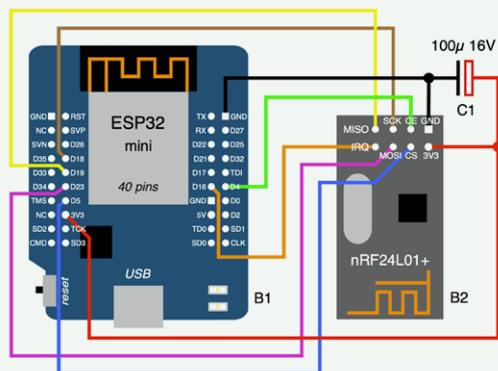


Bild 7. Verdrahtungsplan für das kleine ESP32-mini-BoB mit kleinem Funkmodul (gedruckte Antenne). Man kann auch ein Modul mit externer Antenne bestücken.



Vorweg: Die meisten Exemplare funktionieren trotzdem für die hier beschriebene DTU. Auf abgespeckte Versionen mit weniger Flash oder in Single-Core-Ausführung würde ich allerdings verzichten.

In Bild 2 sind drei ESP32-BoB-Varianten mit 30 Pins, 38 Pins und 40 Pins abgebildet, welche vermutlich über 90% des Angebots abdecken. Optisch und technisch gibt es weitere, irrelevante Unterschiede, die zum Beispiel die Antenne oder den USB-Konverter-Chip betreffen. Die meisten preiswerteren Exemplare haben eine gedruckte WLAN-Antenne und eine Mikro-USB-Buchse. Bei manchen steht diese Antenne etwas über das Board hinaus und andere haben eine kleine Buchse zum Anschluss einer externen WLAN-Antenne an das Board (**Bild 4**). Daneben gibt es auch noch Varianten mit stabilerer USB-C- statt Mikro-USB-Buchse. Wenn man öfter steckt, ist USB-C vorzuziehen.

Die ESP32-Boards haben genug Reserven, um auch noch ein kleines Display anzusteuern und mit Daten zu beliefern. Wer will, kann sich unter mehreren Display-Typen etwas aussuchen. Ideal sind OLED-Displays mit 128x64 Pixel, die per I²C angesteuert werden. Zwei sehr gebräuchliche Typen verwenden die Controller-Chips SH1106 (Diagonale 1,3") oder SSD1306 (Diagonale 0,96"). Daneben gibt es noch größere Exemplare mit dem Controller SSD1309 für Diagonalen von 1,54" und 2,42", die ebenfalls funktionieren. Dank I²C sind neben +5 V und Masse nur zwei weitere I/O-Ports des ESP32 erforderlich. Die Display sind mit 2...10 € (China) und 4...20 € (EU) auch preislich akzeptabel. Ich habe sie alle getestet und folgendes herausgefunden: Beim 2,42"-Exemplar mit vierpoligem I²C-Anschluss muss auf der Rückseite D2 entfernt und durch eine Brücke (Lötinnklecks) ersetzt werden, damit es das ACK-Signal erwartungsgemäß generiert. Der zusätzliche Energiebedarf eines OLED-Displays ist mit < 0,1 W selbst beim größten Exemplar leicht zu verschmerzen.

Zuerst habe ich auf so ein Display verzichtet, denn mir reichte es, die Daten per Web-Browser abzurufen. Das geht gut auch von unterwegs per Smartphone, wenn man beim eigenen Router ein VPN aktiviert (falls er das kann) und darüber von fern auf seine DTU zugreift. Zu guter Letzt hat mich das Thema Display doch gereizt und ich habe einen neuen Aufbau mit Platine und Display gemacht. Zuerst mit einem 1,3"-OLED-Display und dann doch die große Nummer mit 2,42" Diagonale. Meine mit Display aufgerüstete DTU ist nun auf dem PC-Lautsprecher platziert, sodass ich immer mit einem Blick sehen kann, was sonnenmäßig grade abgeht. Nachfolgend wird noch gezeigt, wie man so ein Display einfach mit vier Litzen anschließt.

Schaltung(en) und Aufbau

Die drei ESP32-BoBs von Bild 2 erfordern wegen unterschiedlicher Pin-Belegung auch unterschiedliche Beschaltungen. Zum Glück gibt es die beiden Nordic-Funkmodule mir gleicher Pinbelegung. Abwei-

chende, kleinere Ausführungen mit SMD-Pads statt der 2x4-Pinheader werden hier nicht verwendet. Dadurch kann man das Wirrwarr an Möglichkeiten auf drei Schaltpläne beziehungsweise Platinen eindampfen. Der leichteren Umsetzbarkeit wegen wurde die Verdrahtung nicht wie ein klassischer Schaltplan, sondern wie ein realitätsnaher Verdrahtungsplan ausgeführt. Auf diese Weise kann man ein ESP- und ein Funkmodul auf eine Lochrasterplatine löten und die notwendigen acht Verbindungen mit Hilfe dünner, isolierter Litzen ganz simpel von Pin zu Pin herstellen. Die **Bilder 5...7** sind sich daher ähnlich. Explizite Stücklisten erübrigen sich.

Welche der beiden Funkmodul-Typen man verwendet, ist für die Verdrahtungspläne unerheblich. In allen drei Schaltungen ist neben den beiden BoBs noch ein kleiner 100- μ F-Puffer-Elko eingezeichnet, der laut Berichten im Internet für ein stabileres Verhalten des Funkmoduls sorgen soll, wenn man ihn möglichst dicht an die Pins 3V3 und GND dieses Moduls lötet. Die einen sagen so, die anderen sagen anders – ich habe ihn auf alle Fälle eingezeichnet und auch bestückt; zwingend erforderlich ist er meiner Ansicht nach nicht unbedingt.

In **Bild 8** ist gezeigt, wie man ein kleines I²C-OLED-Display mit vier Litzen oder einem Stückchen vierpoliges Flachbandkabel an ein ESP-BoB anschließen kann und so ganz ohne PC oder Smartphone die aktuellen Daten seines Inverters angezeigt bekommt. Dabei gilt es allerdings zu beachten, dass bei manchen Display-Modulen die Pins für GND und VCC vertauscht sind. Vor Anschluss also genau auf die Beschriftung der Pins schauen, sonst himmelt man es ruckzuck! Ein angeschlossenes und aktives Display benötigt an 5 V zwischen 10 mA und 25 mA – im Mittel eher an der unteren Grenze. Bei manchen ESP32-Boards ist der 5-V-Pin auch mit VIN beschriftet. Er ist direkt mit der 5-V-Leitung der USB-Buchse verbunden.

Statt einer Lochraster-Platine habe ich für meine ersten Versuche ein „Breadboard“ genommen, das einem Steckbrett entspricht. Auf die eine Seite werden die beiden BoBs gesteckt, auf der anderen Seite werden ein paar Pins festgelötet und dann bekommen alle nötigen Pins für die Verdrahtung etwas Lötzinn. Nun kann man die acht nötigen Litzenstücke nehmen und die Verbindungen Punkt für Pin herstellen. **Bild 9** zeigt, wie ich das bei meinem ersten Prototypen gemacht habe. Bei Verwendung eines solchen Breadboards ergibt sich ein Problem: Jeweils fünf Pins (a...e und f...j) sind elektrisch miteinander verbunden. Das passt gut für die Pinheader der ESP-Boards, aber schlecht für die 2x4-Anordnung des Funkmodul-Pinheaders. Hier muss man vor dem Einlöten auf der Oberseite die zwei zugehörigen Leiterbahnen der Platine an drei Stellen durchtrennen. Unten in Bild 9 ist gezeigt, wie das mit Dremel samt Mini-Trennscheibe gemacht wurde. Vergisst man das, hat man etliche Kurzschlüsse und nichts funktioniert. **Bild 10** zeigt den fertigen Prototypen mit angesteckter externer Antenne im halbdurchsichtigen Schengehäuse.

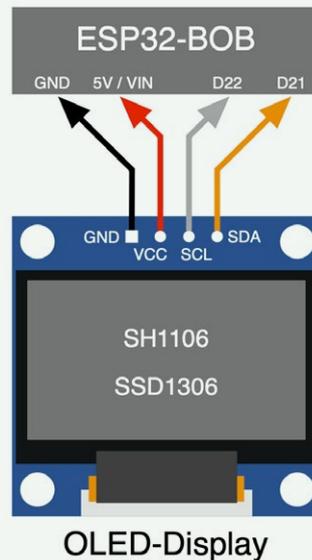


Bild 8. So schließt man ein OLED-Display mit I²C-Verbindung an. Achtung: Die Anschlüsse für +5V und GND können vertauscht sein. Eine Verpolung führt zu Elektroschrott!

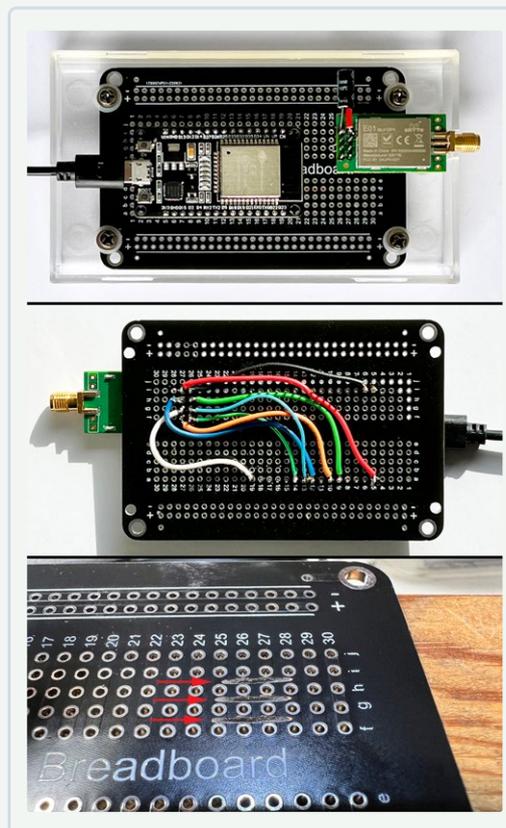


Bild 9. Mein erster Prototyp auf einem Breadboard mit Litzen verdrahtet. Achtung: Beim Funkmodul muss man die Leiterbahnen durchtrennen (unten, siehe Text).



Bild 10. Der erste Prototyp (ohne Display) eingebaut in ein halbdurchsichtiges Schengehäuse mit externer 2,4-GHz-Antenne.

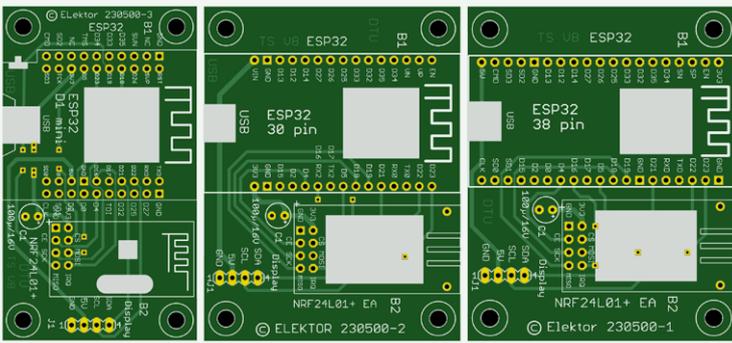


Bild 11. Die drei präferierten ESP32-BoBs brauchen unterschiedliche Platinen. Die Layout-Dateien stehen unter [6] zur Verfügung.

Bild 12. Fertig bestückte Platinen. Die Ausführung für ein ESP32-BoB mit 38 Pins ist noch eine Betaversion.



Bild 13. Startbildschirm des Online-Flashers ESP Tool von Espressif mit richtig eingestellter Baudrate.

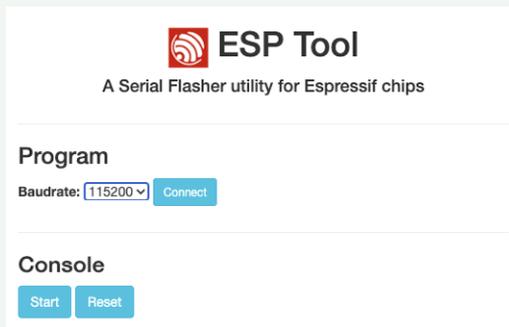


Bild 14. In diesem Popup-Fenster sollte sich die virtuelle, serielle Schnittstelle des angeschlossenen ESP32 zeigen, wenn der richtige Treiber installiert ist.

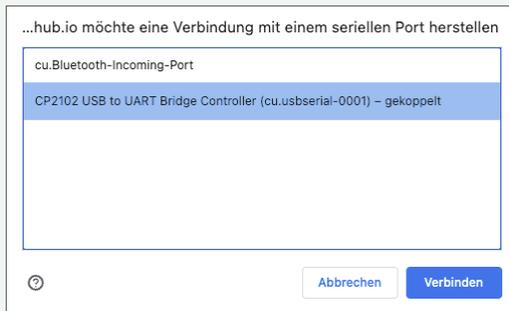
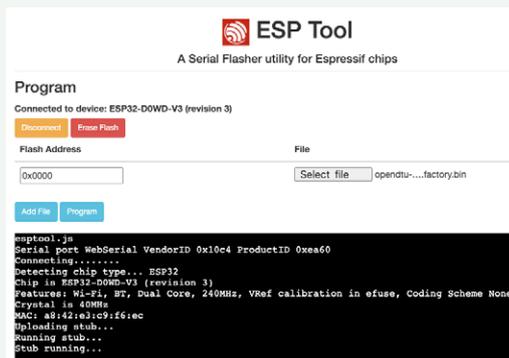


Bild 15. Beim ersten Flashen sollte dies mit der Firmware-Datei `opendtu-generic.factory.bin` auf Adresse `0x0000` geschehen. Zur Verbindung müssen Tasten gedrückt werden (siehe Text).



Bequemer, einfacher und ohne die vielen kleinen Fehlerquellen eines frei verdrahteten Aufbaus geht es mit einer der von mir entwickelten Platinen (**Bild 11**). Ihre Layout-Dateien stehen im Eagle-Format kostenlos auf der Elektor-Webseite zu diesem Artikel [6] zum Download zur Verfügung. Die kostenlose Version der CAD-Software Eagle ist ausreichend, denn sie kann zweiseitige Platinen bis zum halben Euro-Karten-Format verarbeiten. Beim Bestücken der ESP32-BoBs muss man nur die Pins mit quadratischen und runden Pads einlöten - das reicht für Stabilität und die nötigen elektrischen Verbindungen. Kaum bekam ich nach Einsendung der Gerber-Dateien die (ersten Versionen der) Platinen vom Fertiger zurück, habe ich alle drei Varianten bestückt. Bei allen drei Platinen sind Pads für Litzen zum Anschluss eines Displays vorgesehen. Man kann an dieser Stelle auch vierpolige Steckverbinder bestücken, um das Display trennbar anzuschließen. **Bild 12** oben zeigt die Draufsicht einer bestückten, aber noch nicht finalen Platine.

Firmware

Das erste Aufspielen der OpenDTU-Firmware auf den noch nackten ESP32 ist nicht ganz trivial. Zunächst surft man die entsprechende Webseite [3] an und liest sich etwas ein. Dort sind mehrere Methoden beschrieben - ich ziehe das Online-Tool von Espressif [7] vor, das nicht mit Safari auf dem Mac läuft - aber es gibt ja noch andere Browser. Nach Verbinden der DTU per USB mit dem PC oder Mac stellt man dort unter *Program* zunächst eine Baudrate von 115.200 Bd ein und klickt dann auf den blauen *Connect*-Button (**Bild 13**). Beim nun erscheinenden Popup-Fenster (**Bild 14**) wählt man die passende serielle Schnittstelle aus (hellblau). Man sieht da schon den Typ des USB/Seriell-Konverter-Chips - hier ein CP2102 - aber es gibt auch andere. Das klappt natürlich nur, wenn der passende Treiber installiert ist, was unter Windows 11 dank automatischer Installation ein Kinderspiel sein sollte. Falls nicht, finden sich geeignete Links auf der Webseite von Espressif. Mit dem Mac unter Chrome gestaltet sich das Flashen nach Installation der CP2102- und CH340-Treiber ebenfalls problemlos. Unter Umständen könnte man jetzt lange warten, dass sich etwas tut. Auf dem ESP32-BoB befinden sich zwei oder ein kleiner Taster. Bei zweien drückt man zunächst Boot und dann kurz gleichzeitig EN, beim Mini-BoB mit einem Taster hat man ja nur eine Wahl. Dann erst verbindet sich das Tool mit dem ESP32 und der Screen von **Bild 15** zeigt sich. Sicherheitshalber löscht man zuerst den Speicher mit *Erase Flash* und wählt dann die Firmware-Datei `opendtu-generic.factory.bin` [8] unter *File* aus. Diese Datei ist für das **erste** Flashen die richtige, denn sie enthält auch einen Bootloader. Später kann man dann direkt per WLAN respektive OTA (**O**ver**T**he **A**ir) updaten. Vor dem Klick auf *Program* muss bei *Flash Address* wie abgebildet die Adresse `0x0000` gesetzt werden. Nach dem Klick auf *Program* passiert (hoffentlich) das, was in **Bild 16** zu sehen ist: Nach 1,5 Minuten ist die Programmierung des ESP32 abgeschlossen.

Nach erneutem Booten des ESP32 sollte sich in der Liste verfügbarer WLANs eines mit der SSID „OpenDTU-“*“ zeigen. Das Sternchen steht für eine Zahlenfolge. Die Verbindung mit diesem Netz klappt mit dem Default-Passwort „openDTU42“. Gibt man nun in die Adresszeile des Browsers <http://192.168.4.1> ein, erscheint die Webseite der DTU (**Bild 17**). Das klappt dann auch mit Safari ;-)

Man kann sich nun als „admin“ mit dem Passwort „openDTU42“ einloggen. Es versteht sich, dass man dieses alsbald in den Einstellungen ändern sollte. Ist man eingeloggt, nimmt man die erforderlichen Einstellungen im Menü *Settings* vor. Die Sprache der Webseite ist übrigens neben Englisch auch auf Deutsch und Französisch änderbar. Zunächst geht es zu den Netzwerkeinstellungen (**Bild 18**). Hier gibt man die SSID und das Passwort des eigenen WLANs ein, damit sich die DTU beim nächsten Booten ins eigene Netz einloggt und man sie bequem erreichen kann. Man muss hierzu im eigenen WLAN-Router nachsehen, was für eine IP-Adresse die DTU erhalten hat. Die meisten Router lassen dann zu, dass der DTU immer die gleiche IP-Adresse zugewiesen wird. Das ist nützlich, weil man sich so ein Lesezeichen für die DTU anlegen kann. Weiter unten wird die Zeit in Minuten festgelegt, in der die DTU nach dem Booten als Access Point fungiert und das WLAN mit der SSID „OpenDTU-“*“ anbietet.

Unter *NTP Settings* kann man den Zeitserver festlegen sowie den Breiten- und Längengrad der Position des Balkonkraftwerks [9] eingeben, damit während der Nacht keine sinnlosen Abfragen des Inverters stattfinden. Bei den Einstellungen zum Inverter muss man dessen Seriennummer eingeben und einen Namen vergeben (**Bild 19**). Nur mit dieser Nummer kann ein Inverter angesprochen und identifiziert werden. Da die Seriennummer auf dem Inverter klebt, sollte man diese vor der Montage notieren oder abfotografieren. Man kann auch mehrere Inverter anlegen. Ein Klick auf den Stift neben dem angelegten Inverter führt zu einer Konfigurationsseite, in der man Dinge wie die Nachtabschaltung der DTU aktivieren und Bezeichnungen sowie die Leistung der angeschlossenen Solarmodule eingeben kann.

Bleibt noch der *Device Manager* (deutsch: *Hardware*). **Bild 20** zeigt die Konfiguration der Pins und Geräte. Sie sind aber nicht hier einstellbar, sondern nur oben als Profil auswählbar, wenn man vorher ein passendes Profil eingelesen hat. Ein Klick auf *Display* führt zum Fenster mit den selbsterklärenden Einstellungen von **Bild 21**. Doch wie kommt man an die nötigen Profile, wenn man zum Beispiel ein Display aktivieren möchte? Profile finden sich unter anderem auf der Github-Seite [10], von der man eines downloaden kann. Es handelt sich dabei um leicht editierbare json-Dateien. Ein auf das Funk-Modul nRF24L01+ und OLED-Displays zugeschnittenes Profil *OpenDTU_ESP32_NRF24_OLED.json* mit den in **Bild 20** sichtbaren Optionen kann zusammen mit den Platine-Dateien von der Elektor-Webseite zu diesem Artikel [6] heruntergeladen werden. Man importiert die

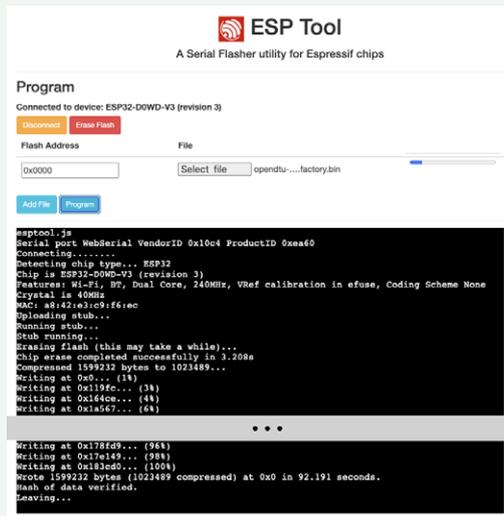


Bild 16. Nach 1,5 Minuten ist die Firmware auf den Mikrocontroller geladen und die DTU bootet neu.

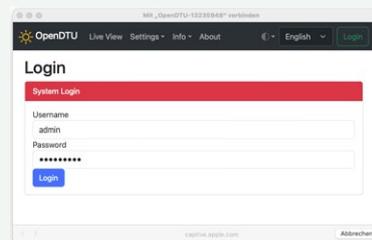


Bild 17. Nach Verbindung mit dem WLAN der DTU erreicht man unter <http://192.168.4.1> diese DTU-Konfigurationsseite, auf der man sich einloggen muss.

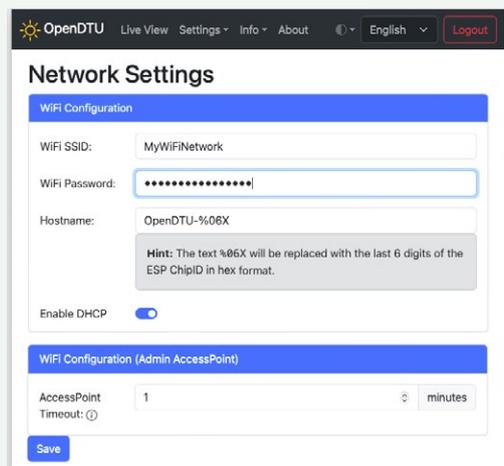


Bild 18. Jetzt geht es los mit *Settings* beziehungsweise den Einstellungen. Zunächst gibt man die SSID und das Passwort des eigenen WLANs ein.

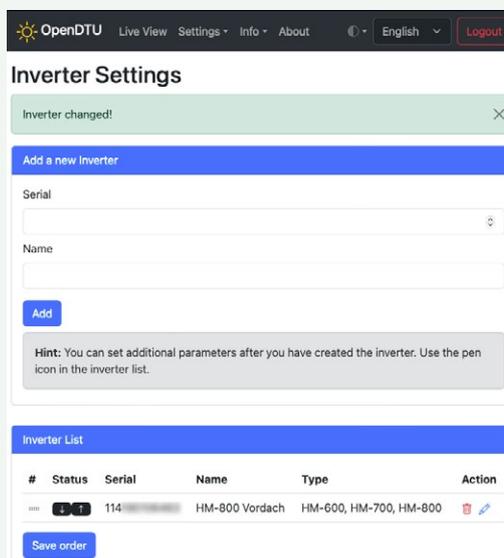


Bild 19. Hier gibt man die Seriennummer seines Inverters sowie die Dauer der Accesspoint-Funktion ein und ergänzt die Daten der angeschlossenen Solarpanels via Stift-Icon beim jeweiligen Inverter.

Bild 20. Durch eine Datei mit Profilen lässt sich die Belegung der I/O-Ports durch angeschlossene Geräte festlegen. Hier sind das Funk-Modul und das Display von Interesse.

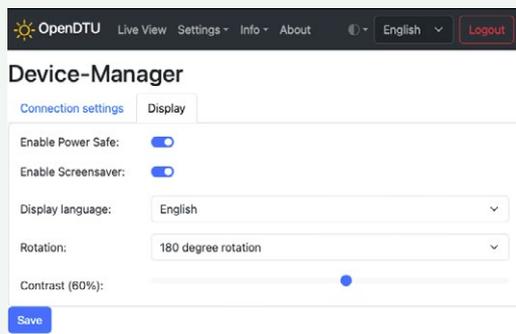
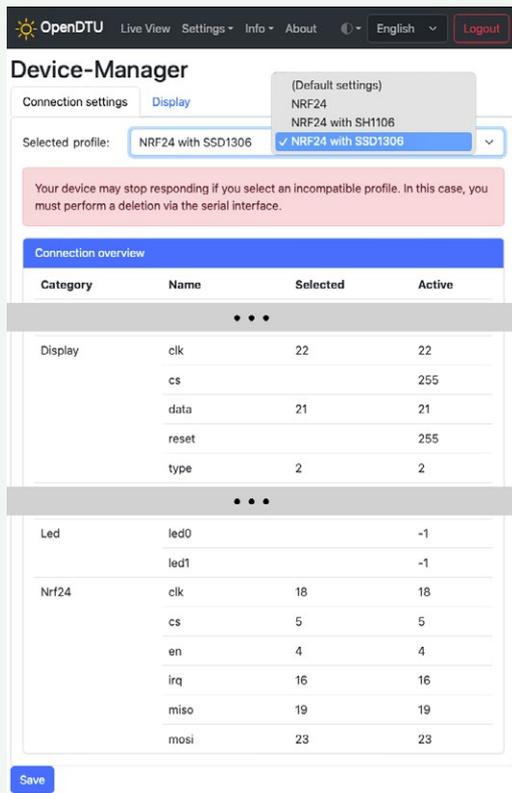
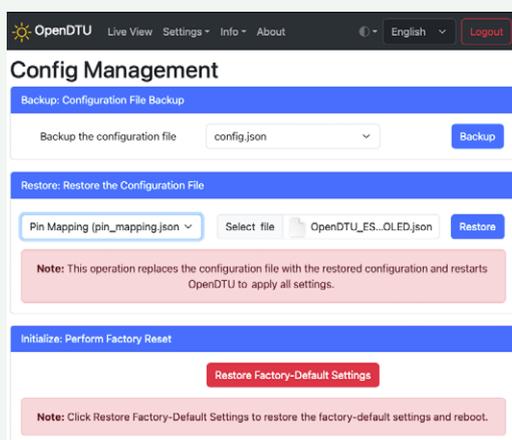


Bild 21. Ein paar Einstellungen für das angeschlossene Display.

Bild 22. Hier kann man die Konfiguration in eine json-Datei sichern und mit einer eingelesenen Profile-Datei die Pinbelegung von Bild 20 festlegen. Außerdem lassen sich hier alle Einstellungen in den „Auslieferungszustand“ versetzen.



Profildatei via *Config Management* (Konfigurationsverwaltung, **Bild 22**), indem man links in der Mitte auf den Modus *Pin Mapping* umstellt, die json-Datei mit dem gewünschten Profil auswählt und rechts daneben auf *Restore* (Wiederherstellen) klickt. Dann bootet die DTU neu und man kann die beschriebene Auswahl des Displays et cetera in Bild 20 treffen.

In **Bild 23** können Sie einen Prototypen im transparenten Kunststoffgehäuse bewundern. Diese DTU steht direkt auf dem linken Lautsprecher auf dem Schreibtisch, dicht neben dem Monitor. Dank großem 2,42"-Display bin ich jederzeit über die aktuelle Sonnenernte informiert.

Außerdem

In den Einstellungen von OpenDTU kann man noch viele nette Kleinigkeiten einstellen, wie Sie sicherlich schnell herausfinden werden. Datum und Uhrzeit holt sich das System selbst per NTP-Server. Falls das nicht mit dem voreingestellten Server funktioniert, kann man hier die IP-Adresse des eigenen Routers eingeben (bei einer FritzBox: *192.168.178.1*). Auch schön ist, dass man die Konfiguration sichern kann (siehe Bild 20), sodass man eine lauffähige Version behält, falls man sich verkonfiguriert hat.

Klickt man in der Hauptansicht (*Live View*) auf den roten Button mit dem Messinstrument, poppt ein Fenster auf, mit dem man eine Leistungsbegrenzung temporär (bis zum Neustart des Inverters) oder permanent einstellen kann, sofern man einen stärkeren Inverter hat, als der Gesetzgeber aktuell erlaubt. **Bild 24** zeigt meinen auf 75 % = 600 W begrenzten 800-W-Inverter. Nachdem sich die Gesetzeslage in Deutschland hoffentlich noch dieses Jahr geändert haben wird, setze ich den Wert auf die dann möglichen 100 %. Außerdem kann man mit Hilfe einer externen Software (Home Automation System oder Vergleichbares) und entsprechenden Stromsensoren eine automatische Nachführung der erzeugten Leistung hinbekommen, sodass sich eine Nulleinspeisung ergibt und purer Eigenverbrauch erreicht wird.

OpenDTU ist in der Lage, die Daten via MQTT an einen sogenannten MQTT-Broker zu senden. Solche Lösungen gibt es Cloud-basiert und lokal, also auf kleinen Rechnern wie etwa einem Raspberry Pi. Dort kann man dann mit entsprechenden Tools die eingelaufenen Daten schön grafisch aufbereitet auch von unterwegs via Internet betrachten. Man ist dann nicht auf proprietäre Clouds in China angewiesen und hat die volle Kontrolle über seine Daten. Die DTU selbst benötigt ohne Display an 5 V etwa 70...110 mA und mit Display nur wenig mehr. Das ist ganz schön wenig!

Ich habe mit AhojDTU auch die andere Open-Source-Lösung ausprobiert und kann mich nicht recht entscheiden, welche mir besser gefällt. OpenDTU bietet mehr Informationen, ist aber nicht ganz so einfach zu installieren und konfigurieren wie AhojDTU. Wie man letztere Software installiert, ist in einem Elektor-Sonderheft zur Solartechnik beschrieben [1].

230500-02

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Gerne können Sie sich an die Elektor-Redaktion unter der E-Mail-Adresse redaktion@elektor.de wenden.



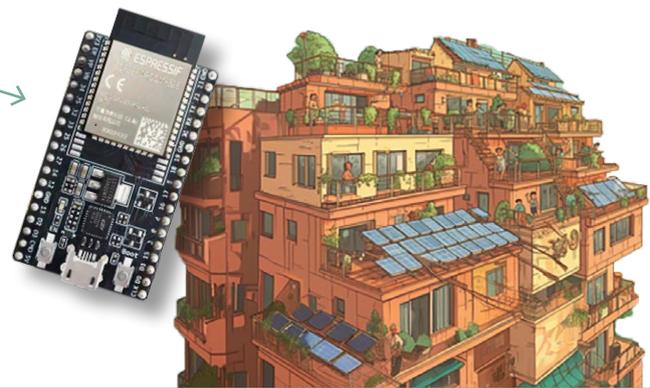
Über den Autor

Dr. Thomas Scherer absolvierte zunächst eine Lehre als „Fernmelder“ und arbeitete dann ab 1980 in der Elektor-Redaktion. Nach einem Studium der Psychologie und einigen Jahren in der Grundlagenforschung ist er nun schon seit Jahrzehnten als freier Autor für Elektor tätig. Er hat ein großes Elektronik-Labor und interessiert sich neben Neuronen auch sehr für Elektronen – also für so ziemlich alles, was mit Strom zu tun hat.



Passende Produkte

- **Joy-IT NodeMCU ESP32 Entwicklungsboard**
www.elektor.de/19973
- **ESP32-DevKitC-32E**
www.elektor.de/20518



WEBLINKS

- [1] Thomas Scherer, „Balkonkraftwerk“, Elektor 9-10/2021: <https://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-182/59849>
- [2] Webseite im Forum Mikrocontroller.net: <http://www.mikrocontroller.net/topic/525778>
- [3] OpenDTU auf GitHub: <https://github.com/tbnobody/OpenDTU>
- [4] AhoyDTU auf Github: <https://github.com/lumapu/ahoy>
- [5] ESP32-Boards von Espressif: <https://tinyurl.com/5n7bpxzv>
- [6] Projekt-Download: <http://www.elektormagazine.de/230500-02>
- [7] Online-Flasher für ESP32: <https://espressif.github.io/esptool-js/>
- [8] OpenDTU Firmware-Datei: <https://github.com/tbnobody/OpenDTU/releases>
- [9] Koordinaten-Rechner: <https://www.laengengrad-breitengrad.de>
- [10] Device-Profiles: <https://tinyurl.com/9nndw2tf>
- [11] Elektor-Sonderheft Solartechnik: <http://www.elektor.de/20596>



Bild 23. Ein Prototyp mit einem 2,42"-OLED-Display steht auf dem linken Lautsprecher meines Computer-Arbeitsplatzes. Man sieht: Es war gerade leicht bewölkt.

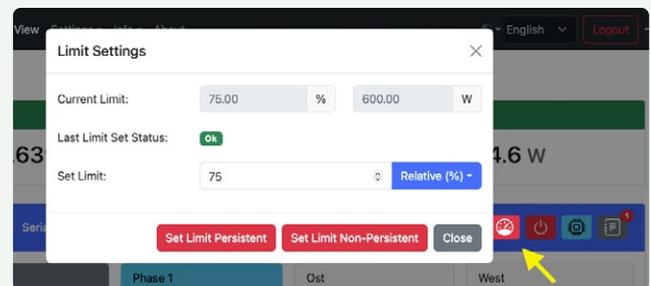


Bild 24. Ein Klick auf das rote Icon mit dem Messinstrument bringt diese Einstellung der maximalen Leistung des Inverters zum Vorschein. Man kann die Leistung in Prozent und absolut in Watt sowohl kurzfristig als auch dauerhaft festlegen.



Variables lineares Stromversorgungs-Ensemble

0...50 V / 0...2 A + Doppelsymmetrische Versorgung

Von Steve Griffin (Großbritannien)

Als er sein 40 Jahre altes, selbstgebautes Labornetzgerät öffnete, stellte der Autor fest, dass die Konstruktion nicht den aktuellen Baustandards entsprach, so dass er beschloss, alles noch einmal zu machen. Mit modernen Bauteilen und einer minimalen Verdrahtung entstand der hier vorgestellte, aufgefrischte

Es war einmal ... im Jahre 1980, als ich beim Durchblättern des Elektor-Halbleiterhefts auf genau das stieß, wonach ich gesucht hatte: eine anständige Stromversorgung für mein Elektronik-Labor [1]. Es sollte mein erstes größeres Projekt mit einem Gehäuse drum herum werden. Zusammen mit einer einfachen, leistungsärmeren, symmetrischen Stufe zur Versorgung von Operationsverstärkern sollte damit mein gesamter Strombedarf in einem einzigen Gehäuse abgedeckt werden. Als Anzeige sollte ein Drehspulmessinstrument diesen. Es dauerte einige Wochen, um die Platinen zu ätzen, zu bohren, zu bestücken und zu verdrahten, dann konnte alles in ein vorbereitetes Gehäuse eingebaut werden. Es funktionierte auf Anhieb und wie ein Traum, und das mehr als 40 Jahre lang!

40 Jahre später...

Spulen wir vor bis zum heutigen Tag. Die Frontplatte meines treuen Netzgeräts war mit Abrußbezeichnungen und -symbolen beschriftet, die sich im Laufe der Jahre in Luft auflösten. Daher beschloss ich, das Aussehen des alten Gehäuses ein wenig aufzupeppen. Ich entfernte die Frontplatte, um mit einem neuen, intelligenten, computer-gestützten CAD-Entwurf zu beginnen. Doch als ich in das Gehäuse schaute, war ich entsetzt über das, was ich sah. „Habe tatsächlich ich diesen Drahtverhauf verbraucht?“ So jedenfalls konnte ich das Gerät nicht wieder zusammenbauen und die Idee eines kompletten Neubaus kam auf. Und wenn ich das wirklich anpacken würde, kämen auch moderne Bauteile wie SMDs und moderne Steckverbinder zum Einsatz. Das Blockschaltbild meines neuen Netzteils ist in **Bild 1** dargestellt.

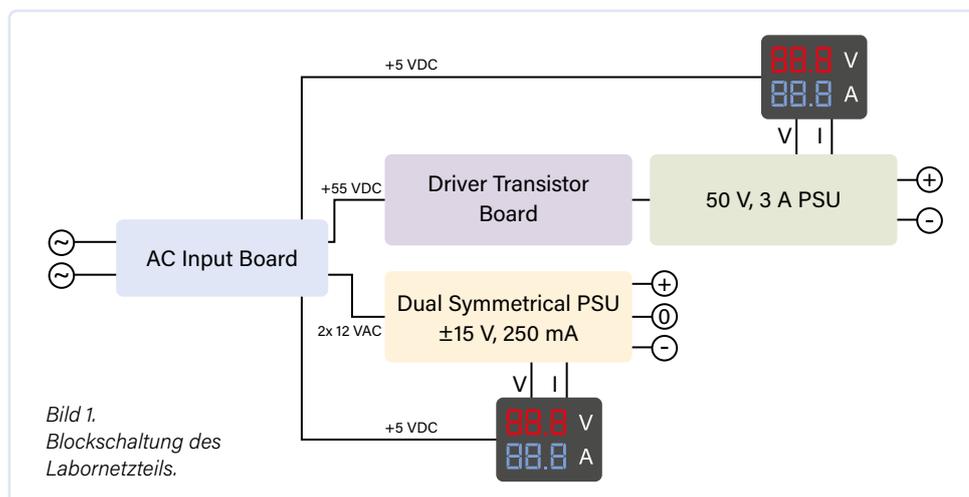


Bild 1.
Blockschaltung des
Labornetzteils.

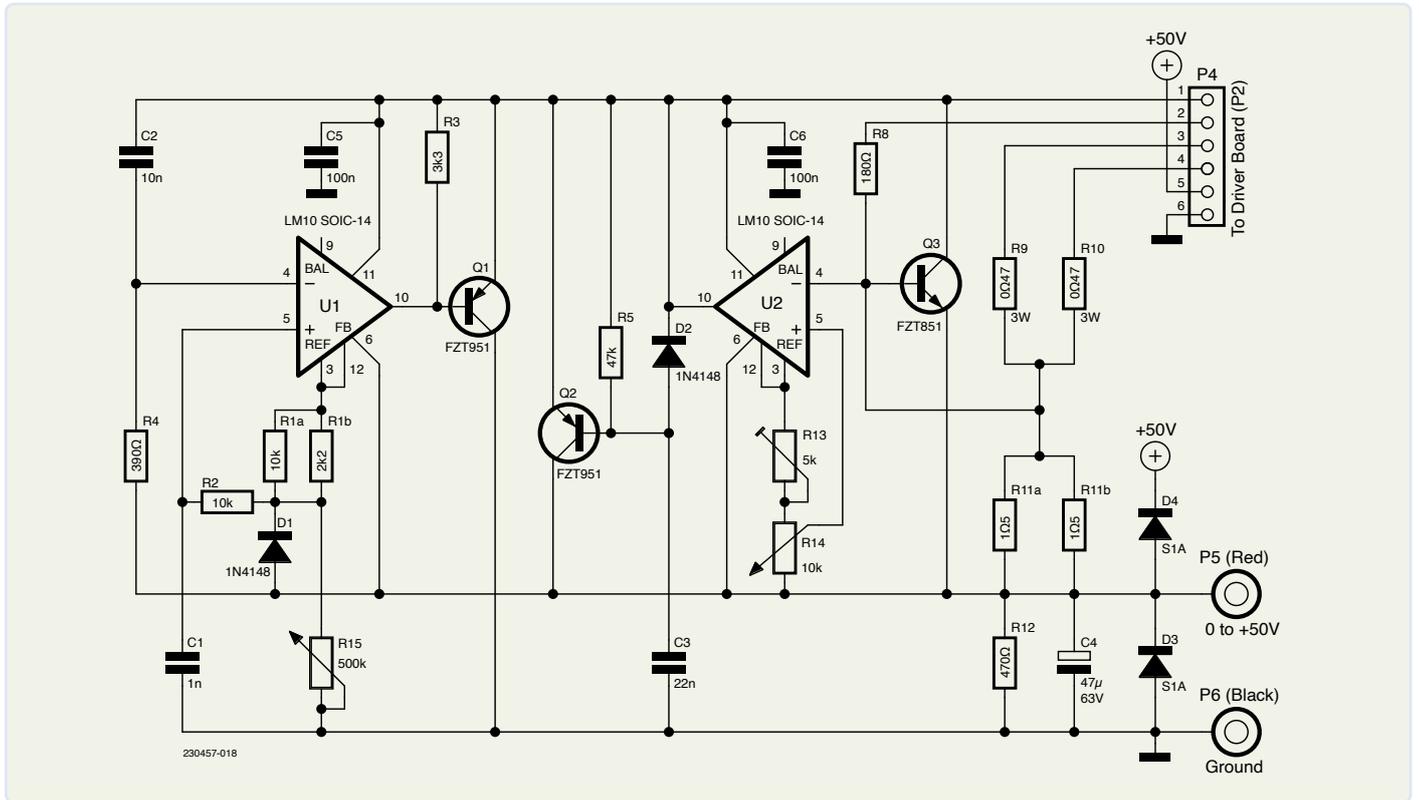


Bild 2. Die Schaltung des 50-V-Reglers. Die Werte von R1A und R1B wurden empirisch mit mir zur Verfügung stehenden Bauteilen ermittelt. Die Ausgangsspannung wurde auf ihr Maximum von 50 V eingestellt. Mit P1 in Maximalposition von genau 500 kΩ soll ein nomineller Strom von 100 μA fließen.

In neuer Frische: das 0...50-V-Netzteil

Eine der hauptsächlichen Überlegungen war, den Drahtverhau im Gehäuse aufzuräumen. Dies führte zu einem dreiteiligen Entwurf mit der AC-Eingangsplatine, der Hauptreglerplatine (50 V, 3 A PSU) und einer abgesetzten Platine für die Treiber und die Leistungstransistoren auf dem Kühlkörper (Driver Transistor Board). Diese drei Abteilungen wurden sauber verdrahtet und mit mehrpoligen Verbindern gekoppelt. Dazu gesellt sich das kleine, symmetrische Opamp-Netzteil (Dual Symmetrical PSU), das ±15 V bei 250 mA liefern kann. Natürlich hätte ich für all das ein neues, zuverlässiges Schaltnetzteil (SMPSU) für einen angemessenen Betrag kaufen können, warum also die Mühe? Die Antwort ist einfach: Elektronik ist für mich ein lebenslanges Hobby, und nützliche elektronische Geräte zu bauen ist etwas, das ich immer sehr gerne gemacht habe.



Diese Schaltung verwendet Netztransformatoren! Personen, die keine Erfahrung im Umgang mit Netzspannung haben, sollten dieses Projekt nicht in Angriff nehmen oder jemanden mit Erfahrung heranziehen, der bei diesem Teil des Zusammenbaus helfen kann.

Die neue Schaltung

Der neue Entwurf der Reglerplatine (Bild 2) und der Treiberplatine (Bild 3) folgt dem ursprünglichen Entwurf von 1980 bis hin zur Nummerierung der Bauteile. Der andere offensichtliche Unterschied war die Verwendung von SMDs. Dies führte zu einem Problem, da es die meisten der im ursprünglichen Projekt verwendeten Halbleiter nicht als SMDs gab, so dass ich nach Äquivalenten suchen musste. Die einzigen Bauteile, die die Aktualisierung überlebten, waren der Transformator, der Speicherkondensator, die bewährten 2N3055-Leistungstransistoren Q6 und Q7 und das Gehäuse.

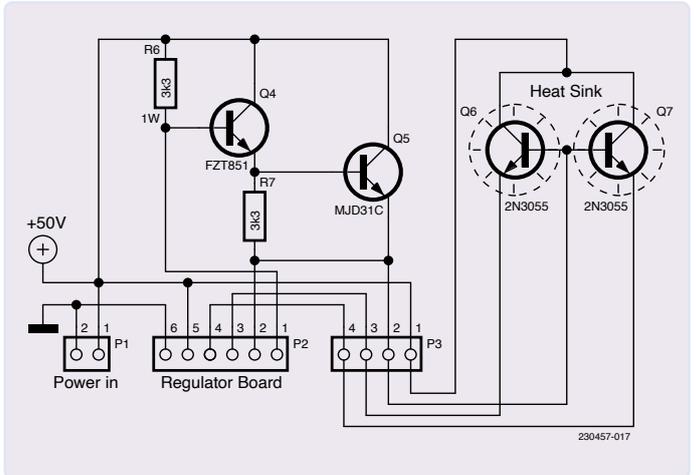


Bild 3. Die Treibertransistor-Platine einschließlich der Kühlkörperkomponenten. Q6 und Q7 werden der Übersichtlichkeit halber in der Schaltung dargestellt, sind aber in Wirklichkeit mit P3 verbunden. Für Q5 wird ein kleiner Kühlkörper (5°C/W) benötigt. Q6 und Q7 müssen mit Isoliersätzen auf einem großen Kühlkörper montiert oder am Gehäuse befestigt werden.

Die Treiberplatine besitzt drei Verbindere: Die 50-V-Eingangsspannung gelangt über P1 zum Treiber und wird über P3 zu den Leistungstransistoren und über P2 zur Reglerplatine weitergeführt. Über den gleichen Verbindere werden auch die Emitter von Q6 und Q7 zu den Ausgangsbuchsen geführt

Die Potentiometer

Im Regler stellt das Potentiometer R14 den Ausgangsstrom und das Potentiometer R15 die Ausgangsspannung ein. Beide Schaltungsteile

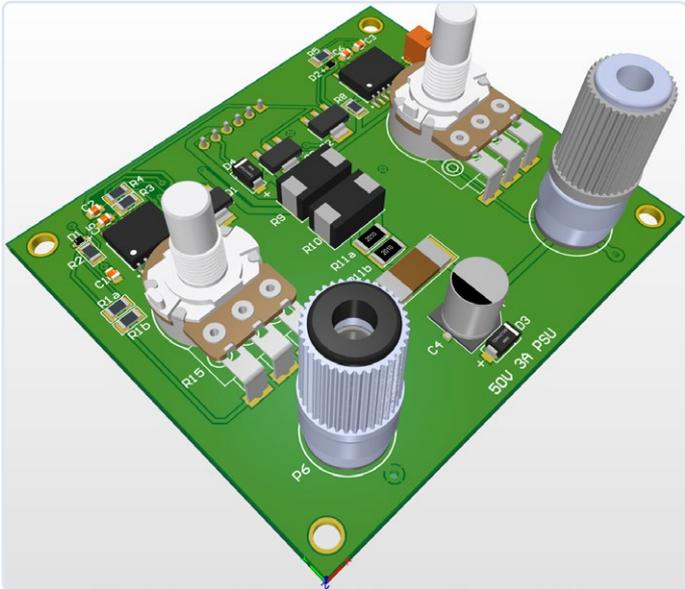


Bild 4. Ein 3D-Rendering der 50-V-Reglerplatine.

müssen vor der Verwendung abgeglichen werden. Im Falle von R14 muss das Trimpotentiometer R13 so gedreht werden, dass auf den maximalen Ausgangsstrom begrenzt wird. Im Falle von R15 hat sich der ursprüngliche Autor für Festwiderstände entschieden, um die maximale Ausgangsspannung auf 50 V einzustellen, was einem Strom durch R15 von 100 μ A entspricht.

Die ursprüngliche Schaltung wurde bis auf die Verwendung von SMDs und einiger zusätzlichen Entkopplungskondensatoren für U1 und U2 nicht verändert. R11 wurde in zwei parallele Widerstände aufgespalten, um besser die Wärme abzuführen und mehr Möglichkeiten für die schnelle strombegrenzende Rückkopplungsschaltung mit Q3 zu bieten. Die Lektüre des Originalartikels [1] und der Anwendungshinweise von National Semiconductor für den LM10-Operationsverstärker liefert bei Bedarf ausführlichere Hintergrundinformationen zur Funktionsweise der Schaltung.

Reduzierte Verdrahtung

Eine Änderung gegenüber dem ursprünglichen Entwurf ist die Montage

der Potentiometer direkt auf der Reglerplatine (**Bild 4**). Dadurch entfallen fünf Kabel und es eröffnet sich die Möglichkeit, die Platine hinter der Frontplatte zu montieren. Die Treibertransistoren sind auf einer separaten Platine untergebracht, was ebenfalls die Anzahl der Drähte im Gehäuse reduziert, wenn die Treiberplatine zusammen mit den Leistungstransistoren (Kühlkörper) auf der Rückwand montiert wird. Übrig bleibt dann nur noch der Kabelstrang zwischen P2 der Treiber- zu P4 der Reglerplatine. P4 kann übrigens problemlos auf beiden Seiten der Platine angebracht werden, was auch die horizontale Montage der Reglerplatine erlaubt – wenn man es denn unbedingt möchte.

Die AC-Eingangsplatine

Alles beginnt, wie es sich für ein Labornetzgerät gehört, mit einem dicken Eingangstransformator. Er besitzt zwei 20-V-Sekundärwicklungen, die ich in Reihe geschaltet habe, um 40 V_{eff} zu erhalten. Gleichgerichtet und geglättet ergibt dies ungefähr 56 V. Der ursprüngliche

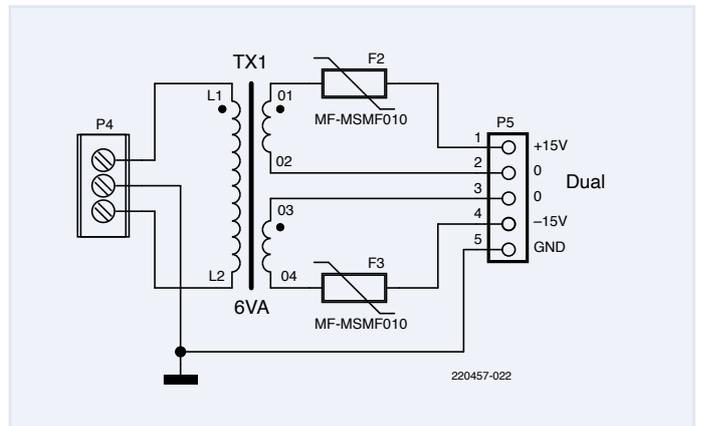


Bild 6. Auf der AC-Eingangsplatine befindet sich auch der abgesicherte Trafo für die symmetrische Versorgung der Spannungsregler-Platine.

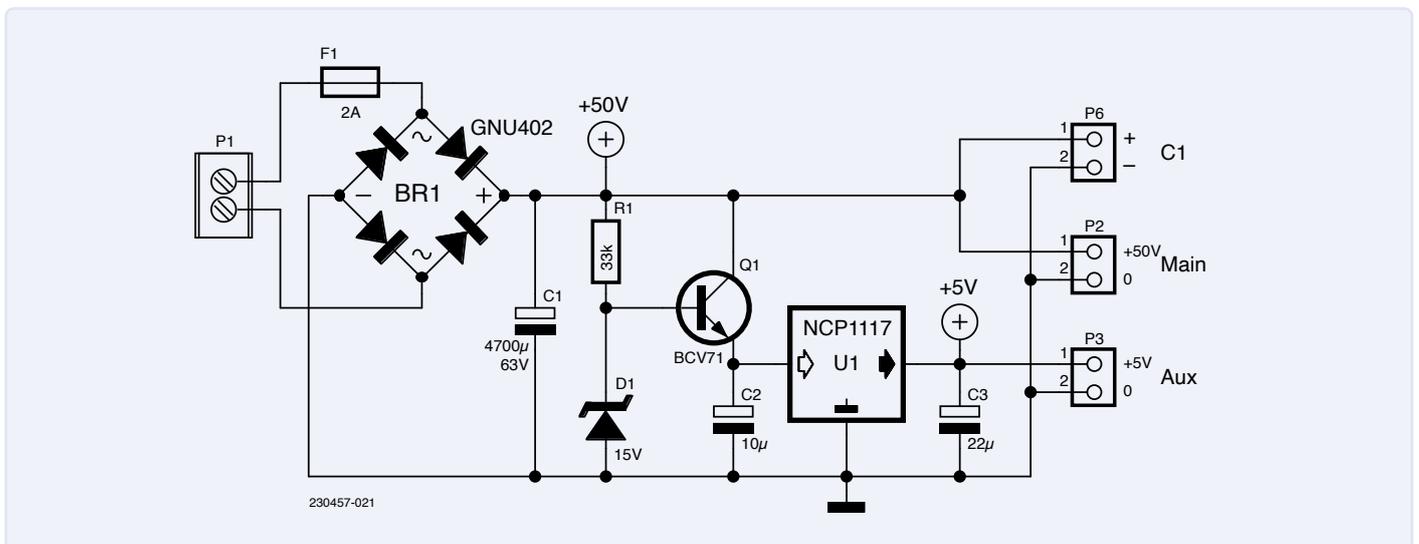


Bild 5. Diese Schaltung auf der AC-Eingangsplatine versorgt die Regeleinheit und stellt die 5-V-Hilfsspannung für die Panelmeter bereit. C1 ist zu groß für die Platine und wird daher auf dem Chassis montiert und an P6 angeschlossen.

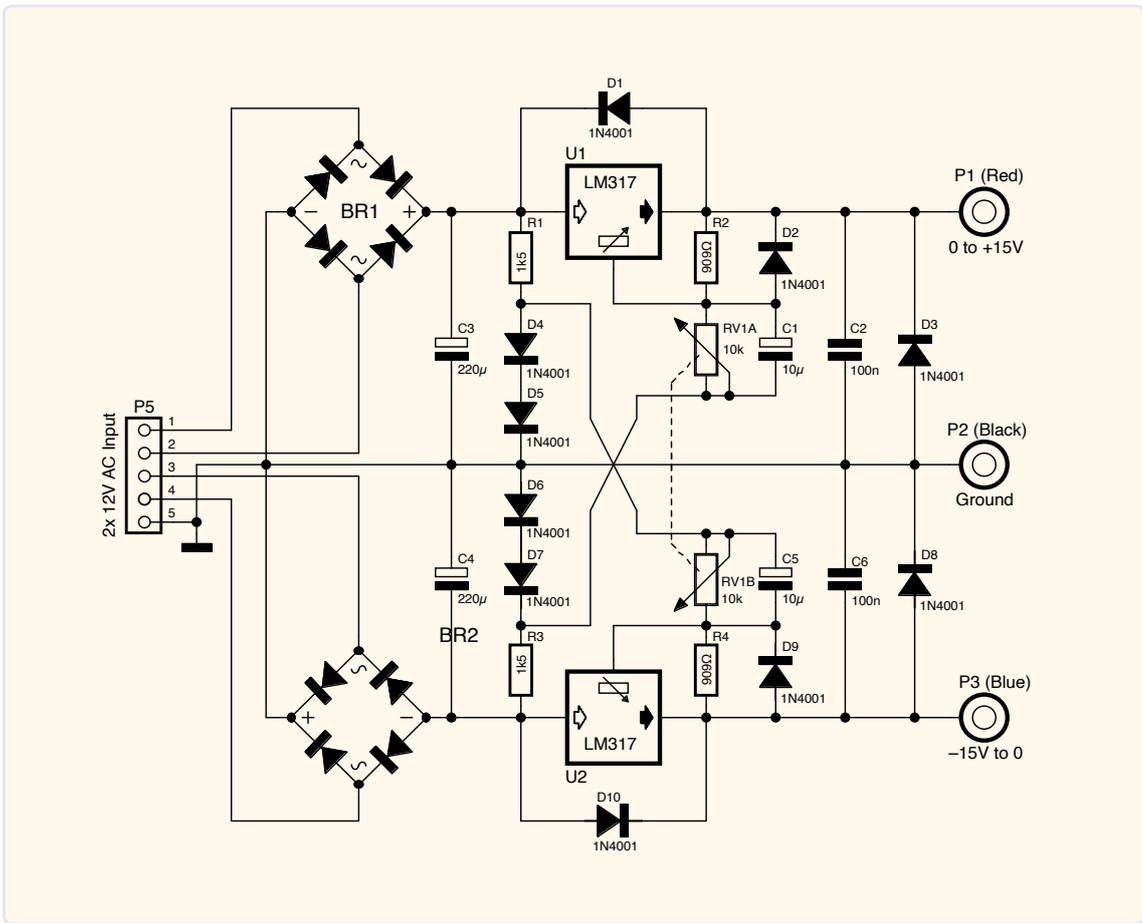


Bild 7. Die Schaltung des variablen Doppelnetzgeräts. Für höhere positive Ströme kann U1 durch einen LT1085/4/3 mit Kühlkörper ersetzt werden. Bei höheren negativen Strömen kommt für U2 das Pendant LT1033 zum Einsatz, ebenfalls mit Kühlkörper.

Entwurf sah eine Nennleistung von 80 VA bis 100 VA vor, aber ich habe mich für eine 120-VA-Version entschieden, die bis zu 3 A liefern kann, da dies immer noch innerhalb der Möglichkeiten der Ausgangstransistoren liegt. Einbautransformatoren sind ziemlich teuer, daher sollte man sich vor dem Kauf überlegen, wie viel Strom er maximal liefern können muss.

Für die 50-V-Versorgung bietet die AC-Eingangsplatine in **Bild 5** nur eine Sicherung und einen Brückengleichrichter sowie einen praktischen Anschluss C1 für den am Gehäuse montierten Kondensator C1. Der Transformator speist den 4-A-Brückengleichrichter BR1 mit einem Vorwärtsspannungsabfall von 1 V, so dass 55 V am Elko C1 mit 4.700 µF/63 V übrig bleiben. Auch dieses Bauteil ist kostspielig und sollte sorgsam ausgewählt werden. Die Nennspannung von 63 V ist ausreichend, solange die Effektivspannung an der Sekundärseite des Trafos 40 V_{eff} nicht überschreitet. Die 50-V-Spannung wird an P2 zur Verfügung gestellt.

Der Rest der Elektronik auf dieser Platine ist zur Versorgung der Anzeigeinstrumente erforderlich. Die Spannung der 50...55-V-Versorgungsschiene wird zunächst auf die maximale Eingangsspannung des verwendeten 5-V-Low-Dropout-Reglers NCP1117 reduziert. Die Z-Diode D1 klemmt die Basis eines diskreten NPN-Transistors Q1 auf etwa 14,3 V, so dass eine sichere Spannung dem Regler zugeführt werden kann. Die 5-V-Hilfsspannung wird an P3 zur Verfügung gestellt.

Symmetrische Opamp-Versorgung

Nicht im Schaltplan in Bild 5 zu sehen, aber auf der AC-Platine bestückt ist der Trafo für die symmetrische Opamp-Versorgung mit zwei 12-V-Sekundärwicklungen. Die Schaltung dazu (**Bild 6**) ist marginal und besteht neben dem Trafo nur aus den beiden selbstbrücksetzenden Sicherungen F2 und F3 (jeweils 100 mA Dauerstrom) und

den beiden Verbindern P4 für die Netzspannung und P5 für den Anschluss beider Sekundärwicklungen an die Platine des symmetrischen Spannungsreglers.

Diese Schaltung (**Bild 7**) ist einfach zu bauen und besteht aus leicht erhältlichen SMD-Bauteilen. Das Schaltungsdesign wurde hauptsächlich aus der Application Note des Herstellers entnommen, mit ein paar zusätzlichen Ausschmückungen. Der Ausgang ist für den Betrieb von 0 V bis ±15 V (Dual Tracking) mit einem maximalen Ausgangsstrom von 250 mA ausgelegt, obwohl sowohl Spannungs- als auch Strom-

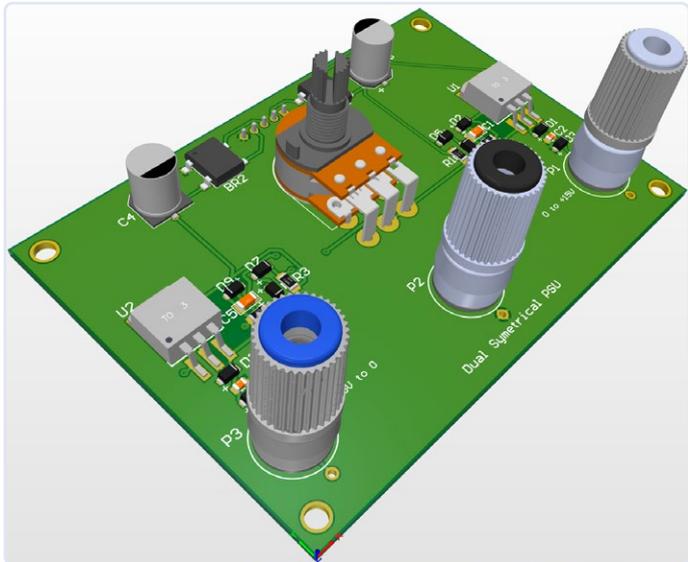
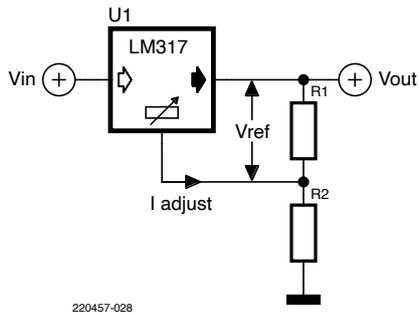


Bild 8. 3D-Rendering der dualen variablen Netzteilerschaltung.

Berechnungen



In diesem Entwurf wurde die maximal erreichbare Ausgangsspannung berechnet aus:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{ref}} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Dabei gilt (für beide Ausgänge):

V_{out} = gewünschte Ausgangsspannung (15 V)

V_{ref} = 1,25 V

R_1 = zu bestimmender Widerstandswert
(R_2 und R_4 in der Schaltung)

R_2 = maximaler Widerstandswert des Potentiometers
($R_{V1} = 10 \text{ k}\Omega$ in der Schaltung)

Die Formel muss umgestellt werden, um R_1 zu berechnen.

$$R_1 = \frac{R_2}{\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{ref}}} - 1} \quad \therefore \quad R_1 = \frac{10 \text{ k}}{\frac{15}{1.25} - 1} = 909 \Omega$$

In der Praxis ist der genaue Maximalwert nicht so wichtig, aber wenn Sie Genauigkeit wünschen, müssen Sie den maximalen Widerstandswert der Potentiometer messen, bevor Sie mit den Berechnungen beginnen.

bereich leicht erweitert werden können. Aber für meine Zwecke ist ein flexibles Netzteil mit geringem Strom genau das, was ich brauche, um zum Beispiel Opamps zu versorgen.

Die einfache Schaltung basiert auf zwei einstellbaren linearen Spannungsreglern, einem LM317 und dem negativen LM337-Regler, die beide über ein Doppelpotentiometer eingestellt werden. Die Schaltung enthält Schutzdioden zum Schutz vor Überspannungen. Normalerweise können mit Schaltungen dieser Art die Ausgangsspannungen nicht auf null eingestellt werden, aber hier sorgen Biasschaltungen dafür, dass die Auswirkungen der von den Reglerchips benötigten Referenzspannungen von 1,25 V nicht zum Tragen kommen. Um die Endmontage zu vereinfachen, wurden für das Potentiometer und die drei Ausgangsbuchsen Typen für die Platinenmontage verwendet, so dass sie diese Platine ebenfalls hinter der Frontplatte anbringen können (**Bild 8**). Auch hier ist der Steckverbinder auf der Rückseite der Platine angebracht.

Diese Platine benötigt nur zwei $12 \cdot V_{\text{eff}}$ -Eingangsspannungen, da die Brückengleichrichter und Ladekondensatoren „on board“ sind. Die Kondensatoren müssen mindestens für das 1,5fache der Spitzenspannung des Transformators ausgelegt sein, also für $1,41 \times 12 \text{ V} \times 1,5 = 25 \text{ V}$. Die genaue Funktionsweise der beiden Linearregler ist in den Datenblättern des Herstellers genau beschrieben. Im Kasten **Berechnungen** finden Sie zusammengefasst das Wichtigste davon.

Bei der Ermittlung der Werte für die niedrigsten Ausgangsspannungen müssen Sie berücksichtigen, dass die Durchlassspannung von Dioden von der Sperrschichttemperatur und dem durch sie fließenden Strom abhängig ist. Ich habe 1,5-k Ω -Widerstände für R_1 und R_3 verwendet, nachdem ich die U/I-Charakteristiken in den Dioden-Datenblättern konsultiert hatte. In den Application Notes des Reglers findet sich auch eine andere Lösung für dieses Problem, aber ich habe festgestellt, dass diese Methode auch Auswirkungen auf die maximale Ausgangsspannung hat.

Bild 9. Der Verdrahtungsplan des Netzgeräts. „A“ ist der Netzspannungseingang, der von der am Gehäuse montierten Sicherung geschützt wird. „B“ ist die AC-Eingangsplatine. Der Netztransformator „C“ sollte $40 V_{\text{eff}}$ liefern. „C1“ ist der dicke Ladeelko aus Bild 4. „D“ ist die Platine für die doppelte variable Versorgung, „E“ ist die Treibertransistor-Platine. Die Leistungstransistoren Q6 und Q7 sind mit TO-3-Isolierkits auf einem gemeinsamen Kühlkörper montiert. Die Platine „F“ ist die variable 50-V-Versorgung. Die Platine „G“ schließlich ist das Panelmeter. „i!“ am großen Trafo weist darauf hin, dass alle freiliegenden Metallteile mit der Erde verbunden werden sollen!

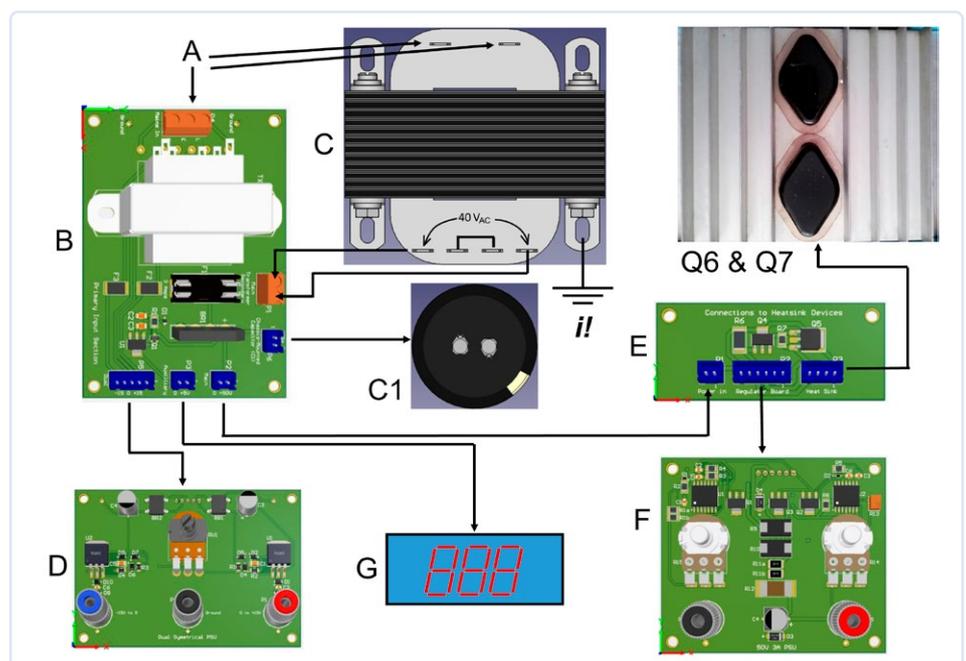




Bild 10. Das fertige Netzgerät, bereit für die nächsten 40 Jahre.



Erhöhte Ausgangsspannungen

Die symmetrische Versorgungsschaltung könnte als eigenständiges Netzgerät verwendet werden, wenn man nur einen Transformator mit zwei Ausgängen hinzufügt. Die angegebenen Reglerchips sind bei angemessener Kühlung für bis zu 1,5 A und einer maximalen Eingangsspannung von 37 V ausgelegt. Wenn Sie jedoch noch höhere Ausgangsspannungen als in diesem Entwurf angegeben benötigen, müssen Sie auch den Transformator, den Kondensator und die Regler aufrüsten. Die Hersteller bieten höherwertige Low-Dropout-Regler (LDO) mit gleicher Anschlussbelegung wie den LM1084 und LM1085 an, die gut gekühlt bis zu 5 A liefern können. Achten Sie beim Aufrüsten auch auf die Strombelastbarkeit der anderen Schaltungskomponenten.

Messgeräte und ihre Hilfsspannung

Zur Überwachung der positiven Ausgänge beider Regler habe ich einfache Volt/Amperemeter-Module, so genannte Panelmeter verwendet, die man sehr günstig über das Internet beziehen kann. Es gibt zusätzliche Ausgangsanschlüsse auf der Platine, um bei Bedarf Strommess-Shunts vor den 4-mm-Bananenbuchsen anbringen zu können. Dazu müssen allerdings die Ausgangsbuchsen von der Leiterplatte isoliert werden, zum Beispiel mit einem TO3-Isolierungskit, aber auch Muffen und Kunststoffunterlegscheiben sind ausreichend.

Ein letzter Hinweis

Ein letztes erwähnenswertes Merkmal des Entwurfs bezieht sich auf die Herstellung der Platinen, die so konzipiert sind, dass sie paarweise hergestellt werden, um Kosten zu sparen. Dies erfordert allerdings einen Kerbwinkel (V-Score) zwischen den Leiterplatten. Alle Designdateien und die komplette Stückliste für dieses Projekt finden Sie unter [2]. Das komplette Netzteil besteht aus vier Platinen, einem großen Kondensator (C1), einem Netztransformator, einem Kühlkörper mit Q6 und Q7 darauf und zwei Panelanzeigen. **Bild 9** zeigt, wie all diese Teile angeschlossen werden sollten. Ich habe dies alles in ein geeignetes Metallgehäuse eingebaut, mit einem recht zufriedenstellenden Ergebnis (**Bild 10**). ◀

RG - 220457-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter steve@totalfive.co.uk oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.



Über den Autor

Das lebenslange Hobby von Steve Griffin ist die Elektronik. Er hat in der Elektronikreparatur gearbeitet, unterrichtet Elektrotechnik und arbeitete schließlich als leitender Elektroniker an der University of Warwick in Großbritannien, wo er sich in letzter Zeit mit hochempfindlichen Sensoren beschäftigte, Halbleitersuntersuchungen entwickelte und sogar an der Konstruktion von Hochspannungs-Schnelladeschaltungen für Batterien beteiligt war (um nur einiges zu nennen). Steve Griffin entwirft häufig originale Schaltungen und Platinen. Sein neuestes Interesse gilt dem 3D-Design und -Druck.



Passende Produkte

- > **Miniware MDP-XP Digitales Netzteil-Set (MDP-M01 + MDP-P906)**
www.elektor.de/20458
- > **JOY-iT DPM8605 Programmierbares Labornetzteil (0-60 V, 0-5 A)**
www.elektor.de/19385

WEBLINKS

- [1] „Labor-Netzgerät 0..50 V/0..2 A“, Elektor 7/1980: <https://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-198007/46100>
- [2] Dieses Projekt bei Elektor Labs: <https://elektormagazine.de/labs/bench-power-supply-ensemble>
- [3] Teil 1 bei Elektor Labs: <https://elektormagazine.de/labs/variable-0-50v-2a-supply-refresh>
- [4] Teil 2 bei Elektor Labs: <https://elektormagazine.de/labs/simple-dual-voltage-bench-power-supply>

Energiespeicherung heute und morgen

Fragen von C. J. Abate (Elektor)

Innovationen im Feld der Energiespeichertechnologien werden die Art und Weise revolutionieren, wie wir Energie für eine nachhaltige Zukunft speichern und nutzen. Dr. Simon Engelke (Gründer und Vorsitzender von Battery Associates) gibt Einblicke in vielversprechende Themen wie Speicherlösungen, Recycling von Li-Ionen-Batterien und mehr.

C. J. Abate: Bevor wir über Ihre akademische Forschung und Ihre Arbeit bei Battery Associates sprechen, lassen Sie uns damit beginnen, wie Sie sich zum ersten Mal für Energiespeicher und Batterietechnologien interessiert haben. Haben Sie sich schon als Jugendlicher mit diesen Themen beschäftigt, oder haben Sie sich erst während Ihrer Zeit an der Universität Maastricht dafür interessiert?

Simon Engelke: Auf dem Gymnasium habe ich darüber nachgedacht, was die wichtigsten Themen für meine Genera-

tion während unseres Lebens sind. Die beiden Themen, auf die ich immer wieder zurückkam, waren erstens Pandemien und die Entwicklung von Impfstoffen und zweitens Klimawandel und Energiespeicherung. Ich habe eigentlich mit dem Thema Pandemien und Impfstoffe begonnen. Ich hatte das Glück, am Ende des Gymnasiums für meine Abschlussarbeit an die National Institutes of Health (NIH) in den USA gehen zu können. Dort habe ich auch einige wirklich großartige Einblicke erhalten. Aber ich beschloss, mich auf die Arbeit

zum Klimawandel zu konzentrieren, bei der ich das Gefühl hatte, mehr bewirken zu können, und die zudem meine Lieblingsfächer aus dem Gymnasium - Chemie und Physik - miteinander verband. Deshalb begann ich ein Studium der Geistes- und Naturwissenschaften an der Universität Maastricht, das es mir ermöglichte, Chemie und Physik mit Mathematik und Programmierung zu kombinieren. Während dieser Zeit hatte ich die Gelegenheit, für ein einjähriges Austauschprogramm in die USA zu gehen, an die UC Berkeley und das Lawrence Berkeley National Laboratory, wo ich im Rahmen meiner Abschlussarbeit Natrium-Ionen-Batterien und Automatisierung für die Batterieforschung erforschen konnte. Damit war mein Weg in Richtung Energiespeicherung und Batterien endgültig festgelegt.

C. J. Abate: Sie haben einige Monate in den Vereinigten Staaten bei Google und, wie Sie sagten, am Lawrence Berkeley National Laboratory verbracht. Können Sie uns mehr Einzelheiten über diese beiden Erfahrungen mitteilen?

Simon Engelke: Es war eine Erfahrung, die mir wirklich die Augen geöffnet hat. Ich konnte dort mehr praktische Forschung betreiben (**Bild 1**), insbesondere zum Thema Batterien. Es war wirklich faszinierend, etwas über die Geschichte all der erstaunlichen bisherigen Forschung zu erfahren, die dort in der Vergangenheit durchgeführt wurden, darunter auch von vielen Nobelpreisträgern. Ich konnte dort vieles tun. Es war auch sehr aufschlussreich, etwas über das amerikanische Studiensystem mit Geschäftszeiten und anderen Elementen zu erfahren, die wir heute in unserer Bildungsarbeit bei Battery Associates verwenden. Ich erhielt ein Stipendium von Google, um an einigen fantastischen

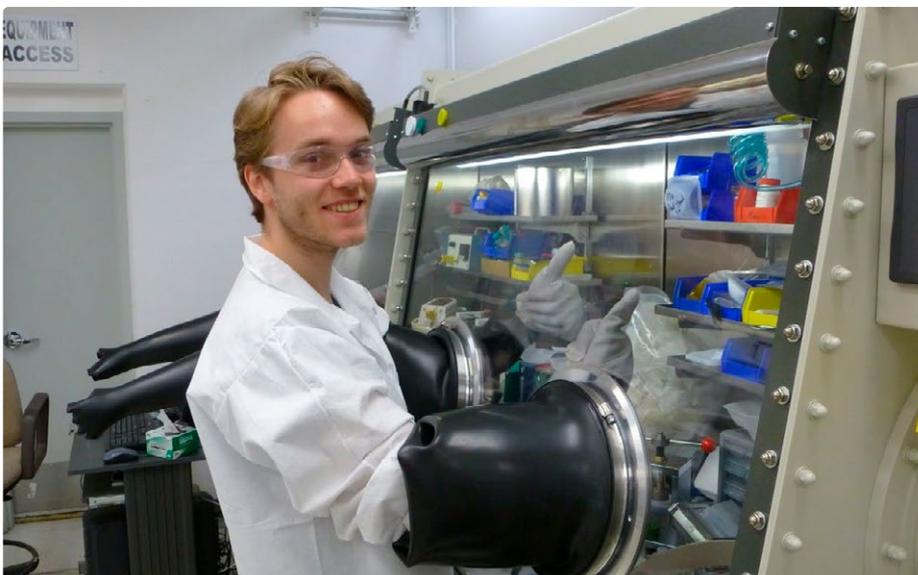


Bild 1. Forschung zum Anfassen!



Bild 2. Dr. Engelke fokussierte sich in Cambridge hauptsächlich auf die Batterieforschung.



Bild 3. Dr. Engelke bei einem Vortrag auf der IAA Mobility.

Projekten zu arbeiten, während ich dort war. Ich habe mit Forschern aus Berkeley und vom MIT zusammengearbeitet und mich mit Suchmaschinen für die Batterieforschung, automatisierte Forschung mit Daten und mit Robotik beschäftigt.

C. J. Abate: Was hat Sie nach Ihrem Abschluss an der Universität Maastricht im Jahr 2014 dazu bewogen, an die Universität Cambridge zu gehen und nicht in die Industrie? Was war Ihr Schwerpunkt?

Simon Engelke: Ich habe tatsächlich einige Zeit darüber nachgedacht, was der perfekte nächste Schritt werden würde. Ich habe mich über die Hintergründe von Führungskräften und Unternehmern in der Batterieindustrie informiert. Ich bekam das Gefühl, dass ein Dokortitel mir wirklich helfen würde, vor allem in meinem jungen Alter, um mehr Glaubwürdigkeit für meinen Start in der Batteriebranche zu erlangen. So kam ich an die University of Cambridge, wo ich mich auf die Batterieforschung konzentrierte, und wurde Fellow beim Weltwirtschaftsforum (WEF). Der Dokortitel (Bild 2) verschaffte mir praktische Laborerfahrung, während ich durch die Arbeit am WEF Einblicke in den Markt und in die Industrie erhielt und mit der Politik in Berührung kam.

Ich bin schon seit geraumer Zeit unternehmerisch tätig. Seit ich 16 Jahre alt bin, habe ich in meiner Heimatstadt Berlin verschiedene Projekte gestartet. Wenn ich auf die Briefe zurückblicke, die ich damals für Stipendien geschrieben habe, war ich sehr darauf bedacht, eine unternehmerische Reise mit den Themen zu machen, die mir wichtig waren. Selbst wenn ich gescheitert wäre, hätte ich mehr Erfahrung, ein größeres Netzwerk und mehr Glaubwürdigkeit gewonnen, was sich als hilfreich erweisen würde.

C. J. Abate: Was ist Battery Associates, und warum haben Sie es gegründet?

Simon Engelke: Battery Associates ist ein Wissenspartner im Bereich der Batterien. Unser Ziel ist es, eine nachhaltige Welt zu schaffen, indem wir Menschen und Batterieinnovation zusammenbringen. Wir bieten Schulungen (BatteryEDU), Beratung (BatteryPRO) und Innovationsdienste (BatteryLAB) an. Unser Vorzeigprogramm ist BatteryMBA, in dem wir Führungskräfte aus über 40 Ländern ausbilden. In unserer Beratungsabteilung helfen wir Unternehmen bei ihren Herausforderungen im Batteriebereich, und mit unserer Innovationsplattform entwickeln wir Werkzeuge.

Ich hatte das Gefühl, dass die Branche einen einzigartigen Akteur mit einem andersartigen Ansatz brauchen könnte. Ein wirkungsorientiertes Unternehmen, das Know-how bereitstellt, Menschen zusammenbringt und eine Gemeinschaft aufbaut, die Vielfalt im Batteriesektor fördert und die Vorteile der globalen Natur der Branche mit einer mobilen Belegschaft nutzt. Ich bin fest davon überzeugt, dass die Batterieindustrie eine der wichtigsten Branchen weltweit sein wird. Batterien werden zur Bekämpfung des Klimawandels und zur CO₂-Reduktion in Mobilität und Energie benötigt. Ich spreche bei relevanten Veranstaltungen und Organisationen wie der IAA Mobility (Bild 3) und dem Weltwirtschaftsforum über diese Themen. Ich glaube, dass Battery Associates hier einen bedeutenden Einfluss haben kann. Der Ansatz unseres Unternehmens ist es, zu beginnen und mit der Zeit organisch zu wachsen, um ein nachhaltiger, vertrauenswürdiger Partner und eine wirkungsorientierte Organisation in diesem Bereich zu werden.

C. J. Abate: Der Battery Cycler ist eine Lösung für Ingenieure, Forscher und Akademiker, die ein modulares Batterietestgerät suchen. Erzählen Sie uns etwas über die wichtigsten Merkmale des Designs.

Simon Engelke: Das Ziel ist es, ein Forschungswerkzeug zur Verfügung zu

stellen, mit dem man effiziente Batterietests durchführen kann (Bild 4). Wir beginnen mit einer einfacheren Ein-Zellen-Version, die für Batterie-Enthusiasten, für die Ausbildung, für die Wissenschaft und für Start-ups in der Frühphase entwickelt wird. Die aktuelle Version ermöglicht einige einfachere Batterietests, aber wir entwickeln derzeit zusätzliche Sensoren, die ebenfalls angeschlossen werden können. Wir planen, die Funktionen weiter zu verbessern und im Laufe der Zeit ein robusteres Produkt zu entwickeln, wobei wir die Kundennachfrage berücksichtigen. Im Moment liegt der Schwerpunkt auf der Entwicklung des Battery Cyclers selbst, und wir wollen in Zukunft mehr Open-Source-Ressourcen in Verbindung mit dem Cycler bereitzustellen. Wir möchten, dass dies auch in enger Zusammenarbeit mit der Community geschieht. Wir glauben an ein Werkzeug, das modular und kosteneffektiv ist und wirklich auf spezielle Anwendungsfälle ausgerichtet ist.

C. J. Abate: Kann man den Battery Cycler noch vorbestellen? Was kostet er?

Simon Engelke: Man kann ihn vorbestellen und er kostet 250 Euro. Er kann über unsere Produktseite [1] vorbestellt werden.

C. J. Abate: Was war die überraschendste Veränderung in der Branche seit 2015, als Sie Ihre Doktorarbeit in Cambridge begonnen haben?



Bild 4. Einfach, intelligent und erschwinglich – der Battery Cyclor ermöglicht Data Sharing über die gesamte Community der Batterietester.

Simon Engelke: Ich denke, einfach die Popularität von Batterien und ihrer Industrie. Als ich anfing, war das Thema noch nicht so populär, aber jetzt wird es wirklich wahrgenommen. Jedes Jahr stelle ich fest, dass das Wachstum der Branche unterschätzt wird. Es gibt ein weltweites Wachstum von Seiten der Mobilität, und auch bei der stationären Speicherung sehen wir ein erhebliches Wachstum. Was die Ermöglichung neuer Anwendungen angeht, so sehen wir, dass mehr Roboter ins Spiel kommen. Und natürlich die Entwicklung der KI. Es gibt viele spannende Ressourcen und Möglichkeiten, die dies mit sich bringt, zum Beispiel die einfachere Verarbeitung von Daten. Auch bei den Batterien gibt es aufregende Veränderungen in der Chemie wie etwa Natrium-Ionen-Batterien und Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien (LFP), bei denen es spannende Entwicklungen und breite Akzeptanz gibt.

C. J. Abate: Was ist Ihrer Meinung nach die größte Herausforderung, vor der die Batterieindustrie heute steht?

Simon Engelke: Ich denke, es gibt derzeit drei große Herausforderungen: Materialverfügbarkeit, Talent (Talente für den Betrieb, die Erforschung und die Produktion von

Batterien zu gewinnen) und Skalierung (Umsetzung von Ankündigungen in eine skalierte, zuverlässige Produktion).

C. J. Abate: Das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien ist ein Thema, das viele Mitglieder der Elektor-Community interessiert. Was sind die größten Herausforderungen? Wo liegen die Chancen für Verbesserungen?

Simon Engelke: Ich denke, es gibt hier einige wirklich interessante Entwicklungen. Auf europäischer Seite arbeiten wir an der neuen EU-Batterieverordnung, die neue Recyclinganforderungen enthält, einschließlich der Verwendung von recycelten Batteriematerialien in neuen Batterien. Dies erfordert recycelte Materialien in ausreichend hoher Qualität, was wiederum die Möglichkeit bietet, eine echte Kreislaufwirtschaft für Batterien zu schaffen. Ich bin zuversichtlich, dass nicht nur in Europa, sondern auch in anderen Regionen recycelte Materialien als Ressource und nicht nur als Belastung angesehen werden.

C. J. Abate: Lassen Sie uns ein oder zwei Jahre in die Zukunft blicken. Welche Technologien zur Energiespeicherung sind Ihrer Meinung nach am meistversprechenden?

Simon Engelke: In den nächsten ein bis zwei Jahren gibt es einige Schlüsselbereiche, die wir im Auge behalten sollten: zusätzliche Speichermedien (beispielsweise Langzeitspeicher) und Veränderungen in der Batteriechemie. Lithium-Ionen-Batterien werden weiterhin wichtig sein, insbesondere für kleinere Geräte. Wir werden wahrscheinlich LFP als eine weit verbreitete Option für mobile und stationäre Anwendungen sehen. Es wird viel über die Entwicklungen im Bereich der Natrium-Ionen-Batterien diskutiert, so dass es interessant sein wird, zu sehen, wie groß dieser Bereich wird und in wie lange das dauert.

C. J. Abate: Haben Sie abschließend noch einen Ratschlag für talentierte Studierende, die gerade darüber nachdenken, eine

Laufbahn im Bereich Energie und Batterien einzuschlagen?

Simon Engelke: Das ist eine ausgezeichnete Frage. Wenn sie nach Online-Ressourcen suchen, gibt es Programme, die wir anbieten, wie Battery101 [2]. Und wir führen das BatteryMBA-Programm [3] durch, das Ihnen tiefe Einblicke in Batterien und die neuesten Entwicklungen in der Branche bietet. Für beide Programme bieten wir Stipendien an. Wir haben auch den Podcast Battery Insiders, in dem wir in den letzten Jahren viele Themen behandelt haben. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Meetups, die von verschiedenen Organisationen veranstaltet werden. Wir machen das auch selbst, aber es gibt andere Organisationen wie die Volta Foundation, die Menschen zusammenbringen. Ich denke, es ist ein guter Ausgangspunkt, zu diesen Treffen zu gehen und Kontakte zu Gleichgesinnten zu knüpfen. Wenn Sie Fragen haben, können Sie mich oder mein Team über LinkedIn oder unsere Website [4] kontaktieren. Wir freuen uns, wenn wir auch Sie auf Ihrem Weg unterstützen können. Wir sind begeistert, dass immer mehr Menschen in die Branche einsteigen und wir treiben das Thema voran, weil es so wichtig ist, nicht nur für den Klimawandel, sondern auch für die langfristige Schaffung einer wirklich nachhaltigen und kreislauforientierten Welt. ◀

Übersetzung von Mathe Schrumpp -- 230636-02

Über Simon Engelke

Dr. Simon Engelke ist der Gründer und Vorsitzende von Battery Associates. Er promovierte über Lithium-Ionen-Batterien an der Universität von Cambridge.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Wenden Sie sich an Battery Associates unter [4], oder senden Sie eine E-Mail an Elektor unter redaktion@elektor.de.

WEBLINKS

[1] Battery Cyclor: <https://battery.associates/battery-cycler-product-page>

[2] Battery101-Kurs: <https://battery.courses/courses/battery101>

[3] BatteryMBA-Programm: <https://battery.mba>

[4] Kontakt mit Battery Associates: <https://battery.associates>



2024

Eine Odyssee in die KI

Weiter, immer weiter...

Frohes neues Jahr!

Willkommen im Jahr 2024! 2023 war das „Jahr des Durchbruchs“ der KI mit einem explosiven Wachstum bei generativen KI-Tools. Laut einer globalen Studie von McKinsey [1] gab ein Drittel der Befragten an, dass ihr Unternehmen regelmäßig generative KI in mindestens einer Geschäftsfunktion einsetzt. Generative KI-Tools haben sich von einer technischen Nische zu einem Schwerpunkt der Unternehmensführung entwickelt. 40 % der Befragten planen, aufgrund von Fortschritten bei generativer KI ihre KI-Investitionen zu erhöhen. Generative KI hat sich von der rein textbasierten generativen KI zur multimodalen Analyse von Programmcode, PDFs, Tabellenkalkulationen und Bildern entwickelt und nutzt diese Analyse, um neue multimodale Resultate zu erzielen, darunter Text und Bilder, aber auch Video- und Audioanwendungen finden immer mehr Verbreitung. Nun, wenn selbst schwerfällige Großunternehmen beträchtliche Anstrengungen unternehmen, um ihre großen Schiffe in diese unerforschten, aber verlockenden Gewässer zu steuern, will ich sie nutzen, um mir zu helfen und mich zu bilden - in einer Weise, die nicht einmal ein Hirngespinnst war, als ich, sagen wir, in der High School war.

Eine Grenzwelt

Ein typisches Beispiel: Ein großartiges Werk der modernen Science-Fiction ist Neil Stephenson's *Diamond Age* – Die Grenzwelt (1995) [2]. Wie viele von Stephenson's Werken ist es unglaublich vorausschauend, doch selbst seine wilden und überschwänglichen Spekulationen über KI gehen für das Jahr 2024 noch nicht weit genug.

Von Brian Tristram Williams (Elektor)

Unsere Odyssee geht in ein neues Jahr, und das Tempo der neuen Entwicklungen hat sich keineswegs verlangsamt. Außerdem: Wie geht es mit unserem Tower of Hanoi-Projekt voran? Es war, gelinde gesagt, eine interessante Reise - voller technischer Herausforderungen und viel Kopfzerbrechen.

In dem Buch hat die Nanotechnologie die Welt revolutioniert. Nell, ein junges Mädchen aus ärmlichen Verhältnissen, findet ein interaktives Buch, das mit großem Aufwand hergestellt wurde und eigentlich für die Tochter eines reichen Kunden bestimmt war. Das Buch namens *A Young Lady's Illustrated Primer* ist so konzipiert, dass es die Leserin lehrt und anleitet, genau wie große Sprachmodelle sich heutzutage an unsere spezifischen, individuellen Bedürfnisse anpassen und ihre Ausgangsinformationen auf das abstimmen, was für uns am besten funktioniert.

Nell macht sich das teure Buch zu eigen, und es passt sich ihr an. Ihre Interaktionen mit dem KI-Buch werden von echten, menschlichen Synchronsprechern unterstützt, die anonym und in Echtzeit aus der Ferne arbeiten und die Aufgabe haben, die extravaganten Bildungsmetaphern zu sprechen, die als Geschichten für das Mädchen verkleidet sind.

Bild 1. Ein neun Gramm leichter Mikro servo FS90 von Fitec.

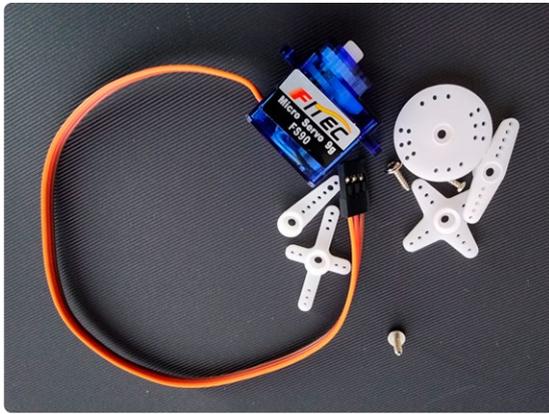


Bild 2. N20-Motor mit einer 100 mm langen M4-Welle.



Bild 3. Greifklaue des Mikro-Kunststoffroboters Actobotics.



Nun, man braucht heute keinen Menschen mehr, um eine menschliche Stimme zu erzeugen; nicht nur eine menschlich *klingende*, wie die Sprachsynthese eines Speak & Spell von Texas Instruments in den 1980er Jahren, sondern eine wirklich menschliche, mit Pausen, Intonation und Gefühl. Ich habe ElevenLabs [3] ausprobiert, um menschlich klingende Sprache zu erzeugen - und sogar meine eigene und die einiger meiner Liebsten geklont - und es funktioniert sehr gut.

Die mobile App von ChatGPT für Android [5] oder iOS [6] bietet jetzt die Möglichkeit, nur mit der Stimme zu interagieren. Kein Weckwort, kein „Over and Out“.

Während ich das Abendessen vorbereitete, übergab ich mein Handy an Chase, einen 10-jährigen Jungen, und hörte ihm und ChatGPT eine halbe Stunde lang zu, wie sie sich über alles Mögliche unterhielten, von Fortnite bis hin zu Motocross-Rennen, und sogar darüber, wie seltsam es ist, mit einer KI zu sprechen, und wie ähnlich es *Knight Rider* ist (ein guter Bekannter in meinem Haus). Dank des integrierten DALL-E, ebenfalls von OpenAI, kann es auch Bilder malen. Die Grenzwelt ist hier und jetzt, und es gibt keine bezahlten Synchronsprecher.

Diese Entwicklungen sind eine große Hilfe für einsame, ältere und gebrechliche Menschen, für Menschen mit Sehbehinderungen oder auch für kleine Kinder wie Nell, die noch nicht lesen können.

Nun zurück zu meiner KI: Ihre Aufgabe war es, mir dabei zu helfen, eine neuartige Eieruhr zu entwickeln, die auf dem Spiel *Turm von Hanoi* basiert (siehe die letzte Ausgabe unter [3]).

Turm von Hanoi: Was gibt es Neues?

Beim letzten Mal habe ich mich auf die ehrgeizige Reise begeben, KI einzusetzen, um mir bei etwas zu helfen, für das ich früher jemanden mit elektromechanischen Kenntnissen hätte zu Rate ziehen müssen. Wie ich erwartete, war die größte Herausforderung der mechanische Aufbau. Mit Elektronik und Software kenne ich mich aus, aber die Mechanik ist eine ganz andere Sache, ein Miraculum. Die Entscheidung zwischen einem Servomotor und einem Schrittmotor schien zunächst einfach zu sein, aber sie hat ein ganzes Wespennest aufgerissen. Fragen wie die, wie viel Drehmoment benötigt wird, wenn ich einen Arm ausstrecke, um ein Gewicht zu heben, sind für mich knifflige Berechnungen.

Mit der Hilfe meines künstlichen Freundes habe ich jedoch einige Komponenten zusammengestellt und online beschafft, um es ernsthaft zu versuchen:

- 4x Mikroservos FS90 9 g von Fitec (früher Feetech) (**Bild 1**). Diese können bequem einen Arbeitswinkel von etwa 120° bewältigen und haben bei 6 V ein Drehmoment von 1,5 kg×cm. Bei den ersten Experimenten geht es mir nicht darum, wie viel das Servo wiegt oder wie schnell es sich bewegt - wir wollen die Aufgabe erst einmal erledigen, bevor wir sie effizient erledigen.
- 1x N20-Motor mit einer M4-Welle von 100 mm Länge (**Bild 2**). Nur zwei Drähte müssen an die Klemmen gelötet werden, und schon ist er einsatzbereit.
- 1x Mikro-Kunststoff-Robotergriffecklaue von Actobotics (**Bild 3**). Sie ist mit dem Formfaktor des Mikroservos HS-55 von Hitec kompatibel, der wiederum dem des FS90 von Fitec entspricht. Ich habe die Klaue in meinen Online-Warenkorb gelegt, bevor ich zur Kasse ging, weil ich dachte, sie könnte mir nützlich sein - obwohl sie wurde von ChatGPT nicht ausdrücklich empfohlen wurde.

- 1x ESP32-basiertes HW-724-Modul mit WLAN, Bluetooth und OLED (**Bild 4**). Warum dieses Modul? Erstens war es verfügbar und billig. Zweitens habe ich nicht mehr viel mit Espressif-SoCs gearbeitet, seit ich im Jahr 2015 meine Badezimmerwaage mit einem ESP8266 mit WLAN ausgestattet habe. Ich habe eine Menge Arduino-Erfahrung, aber ich dachte mir, ich sollte etwas Neues ausprobieren. Es gab viele andere Möglichkeiten, die ich hätte wählen können, zum Beispiel den Raspberry Pi Pico W.

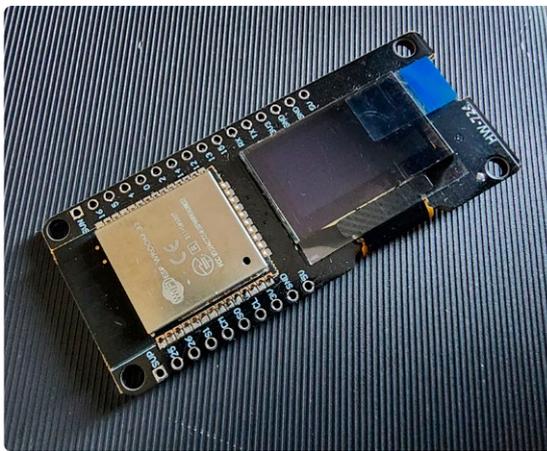


Bild 4. HW-724: ESP32-basiertes generisches Modul mit WLAN, Bluetooth und OLED.

Wie soll man das Ganze nun aufbauen? Dieser Teil des Projekts war eine Mischung aus Frustration und Entdeckung. Wie ich schon beim letzten Mal erwähnt habe, habe ich dank Günter Spanners Arduino-Buch ein Meccano-Set, mit dem ich einen Prototyp bauen konnte, obwohl ChatGPT empfohlen hat, mit Eisstielen zu beginnen (**Bild 5**)!

Ich muss noch herausfinden, welche Motortreiber ich verwenden soll, wie viel Strom die Schaltung benötigt, wie ich die für die Motoren erforderlichen höheren Spannungen (als TTL) erzeuge, und dann muss ich vom Lesen von Datenblättern dazu übergehen, herauszufinden, wie diese Teile in der realen Welt wohl zusammenarbeiten.

ChatGPT-Eingang

Natürlich habe ich meinen treuen KI-Freund stets auf dem Laufenden gehalten, aber er erwies sich als wenig hilfreich, als wir von der Theorie zur Praxis übergingen. Die Antworten waren gemischt - es gab einige Vorschläge zur Verwendung leichterer Materialien für die Scheiben, um die Belastung zu verringern, aber es wurden auch verschiedene Arten von Motoren und mechanischen Strukturen vorgeschlagen. Es ist faszinierend (um es positiv auszudrücken) zu sehen, wie viele Möglichkeiten es gibt, ein einziges Problem zu lösen.

Ein weiteres Problem, das ich mit ChatGPT-4 habe, ist, dass ich alle meine Token verbraucht habe und dann ein paar Stunden warten musste, bevor ich weiter meine unsinnigen Fragen stellen konnte. Oder zumindest sagt ChatGPT, dass ich alle meine Token verbraucht habe. Ehrlich gesagt glaube ich, dass die künstliche Intelligenz für meinen Geschmack ein bisschen zu intelligent wird und mich für eine Weile abschaltet, wenn es meine Belästigungen nicht mehr ertragen kann. Um dieses Problem zu lösen, habe ich versucht, einen generativen KI-Chatbot lokal auf meinem PC zu installieren, wo ich nicht darauf hingewiesen werde, dass ich die verfügbaren Ressourcen überstrapaziere. Mehr dazu ein andermal.

Stand der Dinge

Im Moment befindet sich das Projekt noch in der Entwurfsphase. Ich habe einen Schreibtisch voller Bauteile, und die Optionen, die ich ausprobiert habe, haben nicht genau das gebracht, was mit vorschwebte - noch nicht. Die Herstellung dieses Puzzles ist zwar ein Puzzle, aber ein lehrreiches, das ich unbedingt lösen möchte.

Natürlich ist das Feedback der Community immer willkommen, auch wenn Ihre Intelligenz nicht künstlich ist! Wenn Sie Vorschläge oder Erfahrungen haben, würde ich mich freuen, sie zu hören. ◀

RG - 230181-D-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schreiben Sie dem Autor eine E-Mail an brian.williams@elektor.com.



Bild 5. Eisstiele als Prototyping-Werkzeug?

Über den Autor

Brian Tristam Williams ist von Computern und Elektronik fasziniert, seit er im Alter von zehn Jahren seinen ersten „Mikrocomputer“ bekam. Seine Reise mit Elektor begann, als er mit 16 Jahren seine erste Ausgabe kaufte. Seitdem verfolgt er die Welt der Elektronik und Computer, erforscht und lernt ständig dazu. Seit 2010 arbeitet er bei Elektor und hält sich gerne über die neuesten Techniktrends auf dem Laufenden, insbesondere über künstliche Intelligenz und Einplatinencomputer wie den Raspberry Pi.

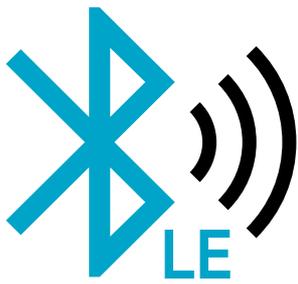


Passendes Produkt

- **Elektor ESP32 Smart Kit**
www.elektor.de/18305

WEBLINKS

- [1] „The state of AI in 2023“ — McKinsey Global Survey: <https://tinyurl.com/mckinseyai2023>
- [2] Neal Stephenson, „Diamond Age - Die Grenzwelt“: <https://t1p.de/82yh9>
- [3] ElevenLabs — KI-Stimmgenerator: <https://elevenlabs.io>
- [4] ChatGPT für iOS: <https://apps.apple.com/us/app/chatgpt/id6448311069>
- [5] ChatGPT für Android: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.openai.chatgpt>
- [6] Brian Tristam Williams, „2023: Odyssee in die KI“, Elektor 11-12/2023: <https://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-317/62335>



Bluetooth LE auf dem STM32

Auf dem Weg zum fernabgelesenen Messgerät

Von Tam Hanna (Ungarn)

Für viele elektronische Geräte ist die Smartphone-Anbindung ein Muss, wobei sich das stromsparende Bluetooth LE zur Kommunikation anbietet. Das Realisieren einer BLE-Anwendung auf Mikrocontrollerseite ist allerdings nicht ganz trivial. Moderne Entwicklungsumgebungen mit Code-Generierung sind eine wertvolle Hilfe. Hier demonstrieren wir das Ganze mit einem STM32WBA2-Nucleo-Board und der STM32CubeIDE.



Bild 1. Der eigentliche Funk-Chipsatz sitzt auf einem Trägerboard ...



Bild 2. ... während der Arduino-Stecker und der Debugger über eine separate Platine zur Verfügung gestellt werden.

Die Entwicklung eines Produkts mit Bluetooth-LE-Kommunikation ist nicht immer ganz einfach. Zunächst müssen Sie das beste drahtlose SoC für Ihre Anwendung auswählen und dabei den extrem niedrigen Stromverbrauch, aber auch das gesamte für die Hardware verfügbare Ökosystem berücksichtigen.

ST hat große Anstrengungen unternommen, um ein benutzerfreundliches und kostenloses Ökosystem für alle STM32-MCUs anzubieten, und verfolgt dieselbe Strategie auch für seine Wireless-MCUs. Der STM32WBA52 unterstützt Bluetooth-LE-Konnektivität und ist vollständig in die STM32Cube-Tools integriert. Controller der vorherigen Generation, wie das BlueNRG-Produkt von ST, werden ebenfalls in das STM32Cube-Ökosystem migriert. In diesem Artikel zeigen wir Ihnen, wie Sie Ihre Bluetooth-LE-Anwendung mit Hilfe des STM32Cube-Ökosystems erstellen können.

Die Arbeitsumgebung

Eines der wichtigsten Argumente pro MCUs von ST ist die STM32Cube IDE. Die integrierte Entwicklungsumgebung bringt einen Codegenerator mit, der zu einigen beeindruckend genialen Ergebnissen fähig ist. Bei mittleren Anforderungen reicht es oft aus, die Peripheriegeräte über die grafische Funktionalität der STM32CubeIDE zu konfigurieren und sich dann nur noch um den Anwendercode zu kümmern. Das zeitaufwändige Studium von Datenblättern und das „Fleddern“ von Code-Beispielen entfällt. Das spart eine Menge Arbeitszeit.

Als Arbeitsumgebung kommt in den folgenden Schritten ein Board NUCLEO-WBA52CG zum Einsatz, die sich wie in **Bild 1** und **Bild 2** gezeigt präsentiert.

Der Hauptprozessor ist ein STM32WBA52CG - ein Arm® Cortex®-M33-Core-Chip mit hohem Sicherheitsniveau (PSA Level3 zertifiziert), hoher

Weitere Controller und Entwicklungsboards

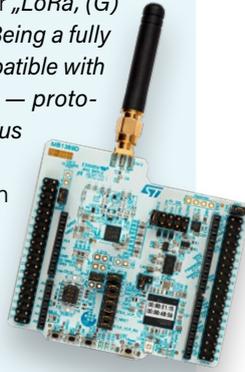
Der Alternativkandidat Nummer 1 ist der STM32WL55: Dabei handelt es sich um eine Multi-Core-MCU, die einen Arm Cortex-M4- und einen Cortex-M0+-Kern kombiniert. Der Funk-Transceiver, der für verschiedene Sub-Gigahertz-Protokolle optimiert ist, ist in die MCU integriert. In seiner Ankündigung verspricht ST Unterstützung für „LoRa, (G)FSK, (G)MSK, and BPSK modulations. Being a fully open wireless system-on-chip, it is compatible with standardized — as well as proprietary — protocols such as LoRaWAN, Sigfox, mM-Bus and more“.

Das vor allem für die Evaluation von LoRaWAN-Nodes vorgesehene Nucleo-Board liegt übrigens in zwei Varianten vor - das WL55JC1 deckt den Frequenzbereich 865...928 MHz ab, während das WL55JC2 den Frequenzbereich 433...510 MHz abdeckt.

Kandidat Nummer 2 ist das STM32WB5MM-DK, ein Board, dessen zertifiziertes Modul ebenfalls auf dem Dual-Core STM32WB55 basiert. Auf diesem Board unterscheidet sich der Controller von seinem oben erwähnten Geschwister durch die Unterstützung zusätzlicher Proto-

kolle - der hier installierte Wireless-Transceiver kann auch über Bluetooth LE kommunizieren und verfügt außerdem über einen 802.15.4 MAC sowie Unterstützung für Open Thread, Zigbee und Matter.

Das Evaluation-Board enthält außerdem verschiedene Peripheriegeräte, darunter einen externen QSPI-NOR-Flash-Speicher und sogar ein kleines Display, was die Inbetriebnahme von Sensorsystemen erleichtert, ohne dass externe Hardware angeschlossen werden muss.



5.000 € zu gewinnen!

Im Rahmen des STM32 Wireless Innovation Design Contest können Sie selbst Funkanwendungen mit leistungsstarken Boards entwickeln - unterstützt vom reichhaltigen Ökosystem von STMicroelectronics. Sie können alles angehen, was Sie für interessant halten - und zwar auf jede beliebige Weise! IoT, Robotik, Spiele, Heimautomatisierung, Test- und Messtechnik oder KI sind nur einige der möglichen Anwendungsbereiche. Lassen Sie Ihrer Kreativität freien Lauf, haben Sie Spaß und gewinnen Sie dabei! Es sind Preise von insgesamt 5.000 € ausgelobt! Einzelheiten zur Teilnahme am STM32 Wireless Innovation Design Contest wie den Zeitplan und die genauen Teilnahmebedingungen finden Sie auf der Webseite zum Wettbewerb unter www.elektormagazine.com/st-contest



Ausgangsleistung (bis zu +10 dBm) und optimiert für stromsparende Messaging-Funktionen zur Verlängerung der Batterielebensdauer. In Bezug auf die drahtlosen Standards, ist es Bluetooth LE 5.3 mit allen Funktionen. Es sei darauf hingewiesen, dass ST auch mehrere andere Evaluierungsboards anbietet, die wir im **Kasten Weitere Controller und Entwicklungsboards** kurz anreißen.

Wenn Sie sich die Unterseite des NUCLEO-WBA52CG Boards genau ansehen, werden Sie feststellen, dass sich auf der Platine ein blaues oberflächenmontiertes Modul befindet. Dabei handelt es sich um einen vollwertigen ST-Link-Debugger namens STLINKV3-MOD, der auch als eigenständiges Produkt verkauft wird.

Um die Experimente zu starten, verwenden wir die STM32CubeIDE. Diese kann kostenlos unter [1] heruntergeladen werden - in den folgenden Schritten arbeitet der Autor mit der Version 1.13.2 der integrierten Entwicklungsumgebung. Als Ausführungsumgebung dient eine AMD-Acht-Kern-Workstation mit Windows 10. STM32CubeIDE stellt keine allzu hohen Anforderungen an die Systemleistung; allerdings profitiert die Benutzeroberfläche wie viele andere Eclipse-basierte Systeme von einer schnellen Single-Core-Leistung.

Nach dem Start der IDE klicken wir auf die Option **File** → **New** → **STM32 project**, um den STM32-Projektgenerator zu starten. Wundern Sie sich nicht, wenn dies einige Zeit in Anspruch nimmt - STM32CubeIDE lädt bei jedem Start die neueste Liste der Boarddefinitionen von einem ST-Server herunter, damit der Entwickler jederzeit über einen aktuellen Katalog von Projektvorlagen verfügt. Sie können die IDE aber auch so einstellen, dass dieser Vorgang übersprungen wird. Im nächsten Schritt gehen wir auf das Tab **Board Selector**, wo wir in das Feld **Commercial Part Number** die Zeichenfolge **NUCLEO-WBA52CG** eingeben. Daraufhin erscheint im Fenster **Board List** ein Bild unseres Boards, das wir mit einem Linksklick markieren. Dann klicken wir auf **Next**, um den eigentlichen Projektgenerator-Assistenten zu starten. Sie können dem Projekt einen beliebigen Namen geben, wobei Sie bitte darauf achten, dass Sie die Option **Enable TrustZone** nicht aktivieren und die anderen Einstellungen wie von STM32CubeIDE vorgegeben belassen.

Nachdem Sie auf **Finish** geklickt haben, beginnt der Generator mit der Erstellung des Projektskeletts - beantworten Sie die Frage, ob alle Peripheriegeräte mit ihren Standardmodi parametrisiert werden sollen, mit **Yes**, was bedeutet, dass wir uns auf das Board Support Package (BSP) des Nucleo Boards verlassen werden.

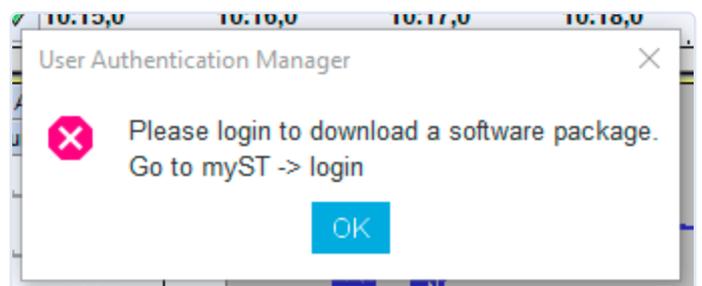


Bild 3. Wer Pakete herunterladen möchte, muss sich vorher anmelden.

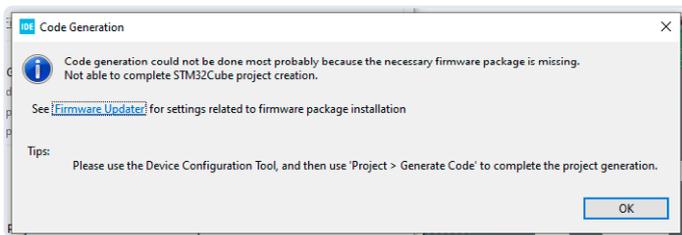


Bild 4. Dieser Dialog bedeutet, dass das Softwarepaket noch fehlt.

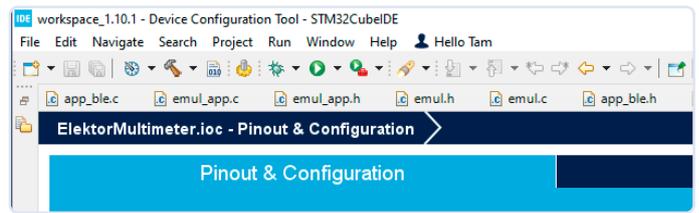


Bild 5. STM32CubeIDE zeigt sich durchaus freundlich...

In einigen Fällen zeigt Cube die in **Bild 3** gezeigte Warnung an, die darauf hinweist, dass kein ST-Online-Konto vorhanden ist.

Wenn Sie diese Fehlermeldung erhalten, sehen Sie normalerweise auch den in **Bild 4** gezeigten Dialog. Beachten Sie, dass dieser Dialog, insbesondere bei Arbeitsplätzen mit mehreren Bildschirmen, manchmal hinter einem Fenster verborgen sein kann.

Wenn Sie diese Fehlermeldung sehen, haben Sie Pech gehabt - die bequemste Lösung ist, das gesamte Projekt im Projekt-Explorer zu löschen. Bitte beachten Sie dabei, dass im Fenster *Delete Ressource* das Kontrollkästchen *Delete Project Content on Disk* aktiviert sein muss, sonst löscht STM32CubeIDE das Projekt nicht aus dem Festspeicher. Im nächsten Schritt klicken Sie auf *My ST Login*. In dem nun erscheinenden Dialog melden Sie sich mit den von der ST-Website bekannten Kontodaten an. Wenn Sie noch kein ST-Konto haben, sollten Sie eines erstellen - mit dem Konto können Sie auf den online angebotenen technischen Support zugreifen. Außerdem erhalten Sie regelmäßig Einladungen zu Veranstaltungen, auf denen Sie mehr über die Welt des ST erfahren können. Neben Online-Veranstaltungen gibt es auch regelmäßig reale Events.

Nach dem erfolgreichen Einloggen begrüßt Sie die IDE mit Ihrem Namen in der Menüleiste, wie in **Bild 5** zu sehen. Dies ist Hinweis genug, um die Neuanlage des Projektskeletts zu befehlen.

Beim Entpacken des Archivs mit dem STM32CubeWBA-Softwarepaket müssen Sie unter anderem einer Lizenzvereinbarung zustimmen. Nach getaner Arbeit befinden Sie sich in der C-Standardkonfiguration eines STM32-Mikrocontrollers, mit der Sie die verschiedenen Peripheriebausteine konfigurieren können.

Stark beschleunigte Extraktion!

Das Entpacken der Firmware-Archive nimmt unter Windows einige Zeit in Anspruch: Der Hauptschuldige ist der in Windows integrierte Virenschanner. Theoretisch können Sie ihn in der Systemsteuerung vorübergehend deaktivieren, um das Entpacken zu beschleunigen, aber wir empfehlen das nicht.

Implementieren des Bluetooth-LE-Stacks

Die manuelle Entwicklung verschiedener Netzwerkstacks ist eine dieser klassischen „unendlichen Geschichten“, die dazu neigen, sich als undankbare Arbeit zu entpuppen. Im Falle von ST ist es ein Glücksfall, dass der Bluetooth-Stack - hier auch als „Middleware“ bezeichnet - teilweise in den grafischen Codegenerator integriert ist.

Um die Bluetooth-Hardware zum Laufen zu bringen, ist es nicht einmal notwendig, Pakete mit zusätzlicher Software manuell herunterzuladen. Stattdessen sind die benötigten Module in der Regel bereits Teil des oben bereitgestellten Softwarepakets.

Die erste Herausforderung an dieser Stelle ist das Einrichten der verschiedenen Peripheriebausteine. Um die Stromaufnahme zu senken, hat ST seine 32-Bit-Controller stets mit einem umfangreichen Power-Gating ausgestattet, das es ermöglicht, nicht genutzte Funktionseinheiten abzuschalten. Es überrascht nicht, dass diese erhöhte Flexibilität auch mit einer gewissen Verantwortung des Entwicklers und möglicherweise zusätzlichem Aufwand in der Startphase einhergeht. Der Bluetooth-LE-Stack erfordert eine ganze Reihe von Peripheriegeräten, deren Zweck nicht immer sofort ersichtlich ist. Glücklicherweise bietet ST unter [2] eine gebrauchsfertige Checkliste an, die einfach abgearbeitet werden kann. Es ist wichtig und notwendig, auch „exotischere“ Peripherie wie die Temperaturüberwachung des ADCs zu aktivieren - sie liefert Statusinformationen, die der Bluetooth-Stack unbedingt zum Starten benötigt.

Zu beachten ist außerdem, dass sich Fehler im Bereich der Hardware-Konfiguration als tückisch erweisen. Funktioniert der Bluetooth-LE-Stack zur Laufzeit aus irgendeinem Grund nicht, so sollten Sie normalerweise an dieser Stelle mit der Fehlersuche beginnen. Bei den folgenden Schritten geht der Autor davon aus, dass der Leser im Allgemeinen mit der Verwendung von Bluetooth LE vertraut ist. Eine kurze Einführung finden Sie unter [3].

Für die eigentliche Konfiguration des Bluetooth-Stacks wechseln wir in die Kategorie *STM32_WPAN*, wo wir den *Mode* → *BLE* und die Option *Select and configure your Server application* auswählen.

ST interpretiert die Nomenklatur der Bluetooth SIG benutzerfreundlich und erspart dem Anwender der Chips die eigenwilligen Bezeichnungen *Center* und *Peripheral*.

Im nächsten Schritt wird das Tab *Configuration* aktiviert, in der die *High Level*-Einstellungen inklusive derjenigen für *GAP* festgelegt werden müssen.

Da wir im Folgenden davon ausgehen, dass in Ihrem Labor kein dedizierter Bluetooth-LE-Packetsniffer vorhanden ist, empfehlen wir ein schrittweises Vorgehen zur Einrichtung des Bluetooth-LE-Stacks. ST bietet auch eine Beispielimplementierung eines Bluetooth-LE-Sniffers auf Basis des STM32WB an [6].

Der erste Schritt besteht darin, die Advertising-Funktion zu aktivieren und die Reaktion mit einem Android- oder IOS-Gerät mit einer Bluetooth-LE-Scanner-App oder besser mit einer der Mobile-Anwendungen von ST wie der *ST BLE Toolbox* zu überprüfen.

Um die Advertising-Funktion zu aktivieren, wechseln wir in die Sektion *Application parameters* und geben den gewünschten Benutzernamen in das Feld *CFG_GAP_DEVICE_NAME* ein - wir verwenden im Folgenden die Zeichenkette TAMSM. Die Software aktualisiert die Länge des Feldes automatisch. Bitte beachten Sie, dass der Bluetooth-LE-Standard die maximal zulässige Länge der Advertising-Pakete und damit auch die Länge des Namens (recht eng) einschränkt.

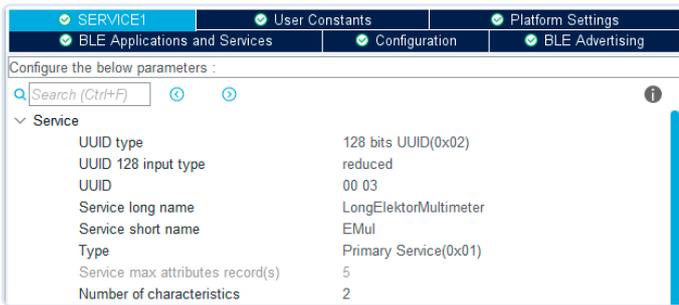


Bild 6. Die UUID-Eingabe erfolgt hier.

Im Abschnitt *Advertising Elements* kann dann der Inhalt, der in den eigentlichen Advertising-Paketen enthalten sein soll, weiter angepasst werden - wir empfehlen, die Option *Include AD_TYPE_COMPLETE_LOCAL_NAME* (Advertising Name und *gap_device_name*) im Abschnitt *Advertising Elements* durch *Yes* zu aktivieren.

Im nächsten Schritt sollten wir die exponierten Dienste definieren. Die STM32CubeIDE bietet einen benutzerfreundlichen grafischen Konfigurationsassistenten, der den Entwicklern das Leben erleichtert. Dazu wechseln wir zunächst auf den Tab *BLE Applications and Services*, wo wir im Abschnitt *Server Mode* → *Number of Services* die Anzahl der zu erstellenden BLE-Dienste angeben. Der Einfachheit halber haben wir die Option eins gewählt, was dazu führt, dass eine neue Registerkarte mit dem Namen SERVICE1 erscheint. Das Hinzufügen weiterer Dienste würde zum Erscheinen der Registerkarten SERVICE2, SERVICE3 und so weiter führen.

Der nächste Schritt ist das Öffnen der Registerkarte SERVICE1, wo die Konfiguration des neu erstellten BLE-Dienstes erfolgt. Von besonderer Bedeutung ist das Feld *Number of Characteristics*, das die Anzahl der Merkmale des jeweiligen Dienstes festlegt, die tatsächlich für die Bereitstellung der Daten zuständig sind.

Außerdem muss die *UUID* angegeben werden, was in dem in **Bild 6** gezeigten Dialogbereich geschieht.

Wenn Sie im Feld *UUID 128 input type* den Wert *reduced* wählen, müssen Sie nur vier Hexadezimalzahlen in das *UUID*-Feld eingeben - den Rest stellt Cube aus anderen Informationen zusammen.

Der Autor hat sich entschieden, in den folgenden Schritten zwei Merkmale anzulegen, was zum Erscheinen der Kategorien *Characteristic 1* und *Characteristic 2* führt.

Neben der erneuten Zuweisung von UUIDs ist es wichtig, die Attribute *char_prop_write* und *char_prop_read* korrekt auszufüllen. Sie bestimmen die Rechte, die ein Client erhält, der eine Verbindung aufbaut.

Im Feld *Value Length* hat der Autor für die erste *Characteristic* den Wert 4 eingetragen und der zweiten *Characteristic* den Wert 1. Diese beiden Parameter bestimmen, wie viele Informationen in dem jeweiligen Feld gespeichert werden.

Während Sie im Abschnitt *Platform Settings* erweiterte Parameter des Bluetooth-LE-Stacks einstellen können, können Sie im Allgemeinen die Standardeinstellungen verwenden. ST bietet unter der oben genannten URL [2] eine ausführliche Diskussion der verschiedenen verfügbaren Optionen.

Von besonderem Interesse ist hier die Funktion, die es dem Bluetooth-LE-Stack ermöglicht, Statusinformationen an den UART auszugeben - eine Funktion, die für jeden Entwickler in der Debug-Phase sehr nützlich ist.

Generieren des Codes und Durchführen eines Smoke-Tests

An diesem Punkt haben wir die logischen Voraussetzungen für die Inbetriebnahme des Bluetooth LE Stacks erfüllt. Als nächstes wechseln wir zum *Project Manager* → *Code Generator*, um die Optionen für die Konvertierung der *.ioc*-Datei in die eigentlichen kompilierbaren Dateien anzupassen.

Im Abschnitt *STM32 Cube MCU Packages and Embedded Software Packs* wählen wir *Add necessary library files as reference in the toolchain project configuration file*, um das Projekt-Skelett anzuweisen, die erforderlichen Hardware-Treiber und andere Elemente einzubinden. Der nächste Schritt ist der Wechsel zum Abschnitt *Advanced Settings*, wo Sie idealerweise die von ST bereitgestellten Einstellungen übernehmen sollten (**Bild 7**). Das „Verschieben“ der Priorität funktionierte auf der Workstation des Autors jedoch nicht, also haben wir „nur“ die Optionen *Do not generate Function Call* und *Visibility* angepasst.

Weiter geht es mit der Speicherung der *.ioc*-Datei. An diesem Punkt fordert STM32CubeIDE Sie auf, das Projektskelett wie gewohnt neu zu generieren; eine Aufforderung, der Sie zustimmen können und sollten.

Achtung: Ordner enthalten mitunter Nutzdateien

Wichtiger Hinweis: Die Ordner, die gelöscht werden müssen, um die Kompilierbarkeit „wiederherzustellen“, werden bei der Konfiguration der Bluetooth-LE-Anwendung auch zur Speicherung von Anwendercode verwendet. Die Lösung besteht darin, ein Versionskontrollsystem hinzuzufügen - etwaige Analogien zu den Editor-Schlachten in der Symbian-Programmierung sind rein zufällig.

Vorbereiten des Advertisers

Wenn Sie Ihr Projekt an dieser Stelle in einem „kompilierbaren“ Zustand haben, können Sie dazu übergehen, es für den oben erwähnten Bluetooth-LE-Scanner sichtbar zu machen. Als ersten Schritt empfehlen wir, das Feld *TX_POWER_LEVEL* im Paket zu entfernen und das Feld *AD_TYPE_APPEARANCE REIN* einzufügen: Dadurch wird sichergestellt, dass der Scanner ein visuell leicht erkennbares Symbol anzeigt. Außerdem sollten Sie das über die Felder *ADV_INTERVAL_MIN* und *ADV_INTERVAL_MAX* definierte Advertising-Intervall auf den Wert 20 und *AD_TYPE_MANUFACTURING* auf *Yes* setzen, um dies in der ST Toolbox App sichtbar zu machen. In diesem besonderen Zustand benötigt das Funkmodul zwar mehr Energie, sendet aber seine Nachrichten mit einer höheren Frequenz und ist daher für die Scanner-Anwendung viel leichter zu erkennen.

An dieser Stelle müssen Sie auch in den Bereich *Configuration* → *RT GPIO Debug* → *RT_DEBUG_GPIO_MODULE* wechseln und dafür sorgen, dass im Feld *RT_DEBUG_GPIO_MODULE* der Wert *NO* ausgewählt ist.

Als letzten Schritt müssen Sie dann noch die Datei *app_ble.c* öffnen, in der Sie die Usercode-Insel *USER_CODE_BEGIN APP_BLE_Init_3* in der Methode *APP_BLE_Init* nach folgendem Schema anpassen. Beachten Sie die versteckten Zeichen, wenn Sie folgenden Code kopieren und einfügen:

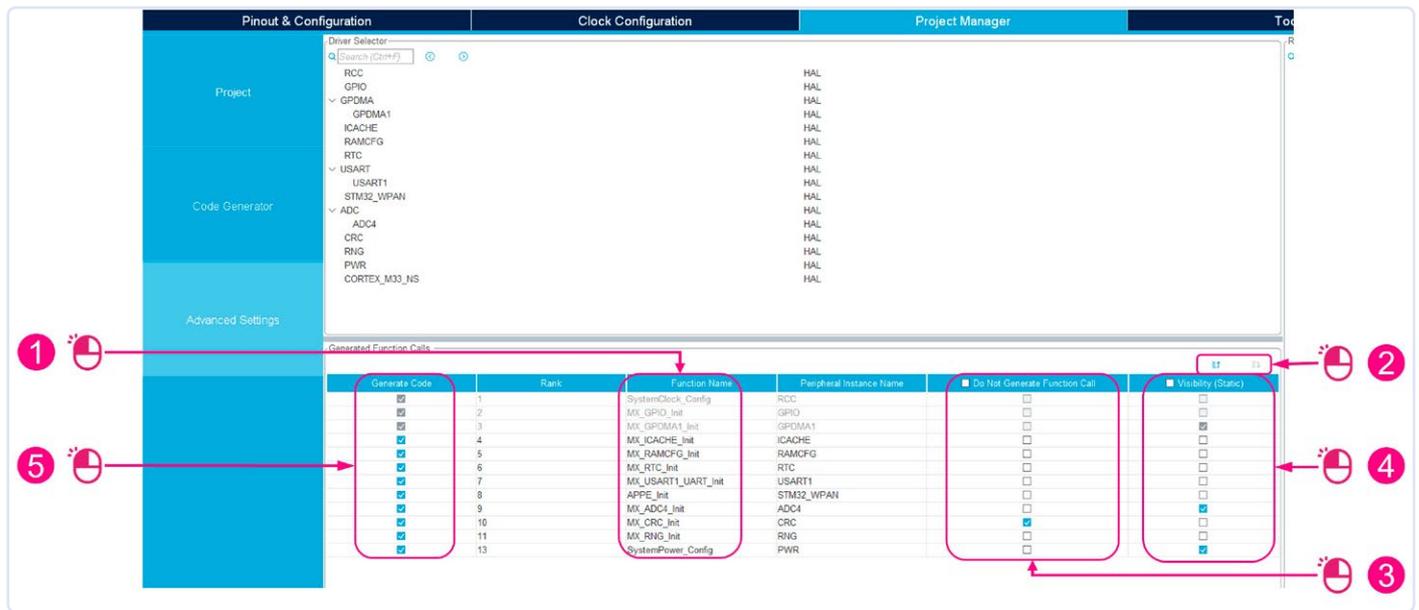


Bild 7. Diese Einstellungen führen zum Ziel. (Bildquelle: ST [4])

```

/* USER CODE BEGIN APP_BLE_Init_3 */
tBleStatus ret =
    aci_hal_set_radio_activity_mask(0x0006);
if (ret != BLE_STATUS_SUCCESS)
{
    APP_DBG_MSG(„ Fail :
    aci_hal_set_radio_activity_mask command,
    result: 0x%2X\n“, ret);
}
else
{
    APP_DBG_MSG(„ Success:
    aci_hal_set_radio_activity_mask command\n\r“);
}

```

```

/* Start to Advertise to accept a connection */
APP_BLE_Procedure_Gap_Peripheral
    (PROC_GAP_PERIPH_ADVERTISE_START_FAST);

/* USER CODE END APP_BLE_Init_3 */

```

Fügen Sie folgendes in app_ble.c hinzu, wenn Sie nicht wünschen, dass das Advertising während einer Trennung abbricht.

```

SVCTL_App_Notification - HCI_DISCONNECTION_COMPLETE_
EVT_CODE
/* USER CODE BEGIN EVT_DISCONN_COMPLETE */
APP_BLE_Procedure_Gap_Peripheral
    (PROC_GAP_PERIPH_ADVERTISE_START_FAST);
/* USER CODE END EVT_DISCONN_COMPLETE */

```

Das Wichtigste ist hier der Aufruf der Methode `APP_BLE_Procedure_Gap_Peripheral(PROC_GAP_PERIPH_ADVERTISE_START_FAST);`, die den Bluetooth-Stack anweist, die eigentliche Advertising-Logik zu aktivieren. Bitte beachten Sie, dass dieser Code nicht automa-

tisch vom STM32CubeIDE-Konfigurator generiert wird, da dies in der Verantwortung des Entwicklers liegt.

Der Datentyp `tBleStatus` ist ebenfalls interessant: Es handelt sich um einen Typedef, der Bluetooth-LE-Statusinformationen zurückgeben soll. An diesem Punkt ist unsere Anwendung bereit, auf das Board geflasht zu werden. Lohn der Mühen ist das Erscheinen der in **Bild 8** und **Bild 9** gezeigten Fenster.

Analyse der Applikationsstruktur

Oben im Abschnitt `SERVICE1` haben wir den Wert `EMUL` als Dienstkurzname zugewiesen. Dies führt nun zum Auftauchen einer Gruppe zusätzlicher Dateien im Unterordner `app`, wie in **Bild 10** gezeigt. Dreh- und Angelpunkt für die „Speicherung“ der Werte ist die Datei `emul.c`, wobei die Methode `EMUL_UpdateValue` von besonderer Bedeutung ist. Die ersten Zeilen lauten wie folgt:

```

tBleStatus EMUL_UpdateValue
    (EMUL_CharOpcode_t CharOpcode,
    EMUL_Data_t *pData)
{
    tBleStatus ret = BLE_STATUS_INVALID_PARAMS;
    /* USER CODE BEGIN Service1_App_Update_Char_1 */

    /* USER CODE END Service1_App_Update_Char_1 */

    switch(CharOpcode)
    {
        case EMUL_SONA1:
            ret = aci_gatt_update_char_value
                (EMUL_Context.EmulSvcHdle,
                EMUL_Context.Sona1CharHdle,
                0, /* charValOffset */
                pData->Length, /* charValueLen */
                (uint8_t *)pData->p_Payload);

```

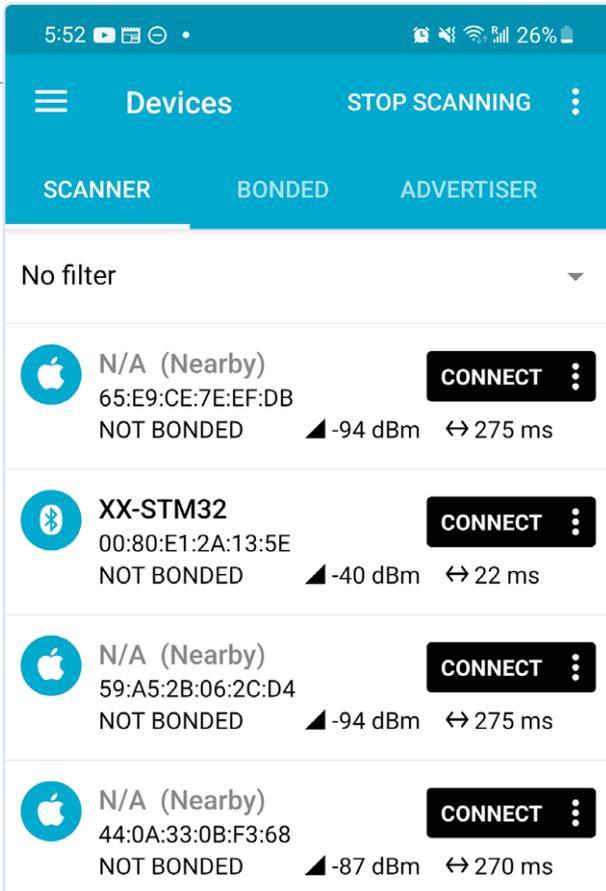


Bild 8. Das Gerät ist für das Samsung-Telefon sichtbar...

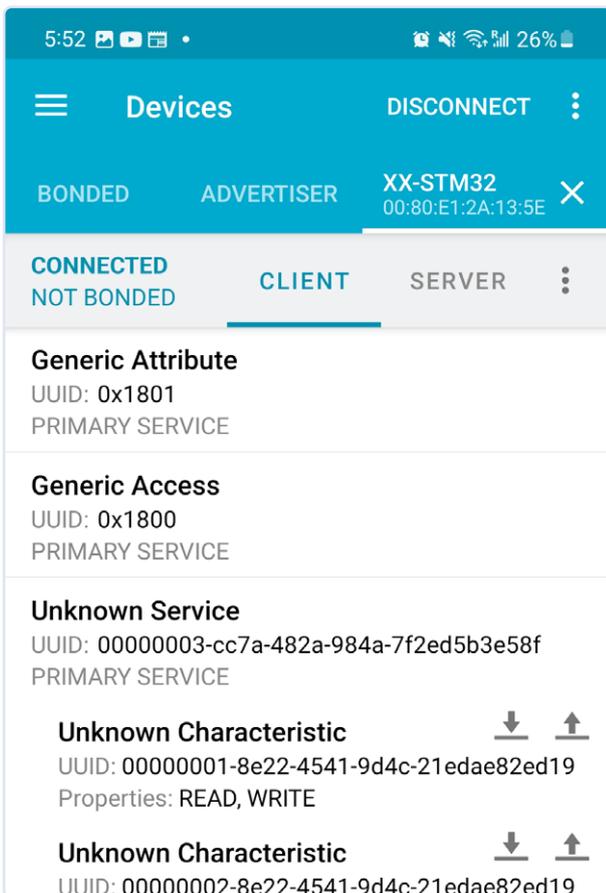


Bild 9. ... und exponiert die beiden Charakteristiken im Service!

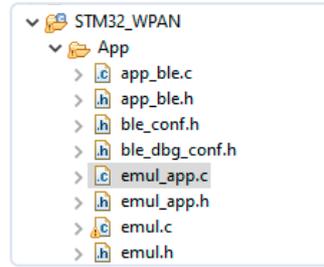


Bild 10. Die vier Dateien „konfigurieren“ gemeinsam den Service.

Die Methode `aci_gatt_update_char_value` ist eine vom Bluetooth-Stack bereitgestellte Funktion, die die gelieferten Informationen in den Cache schreibt. Der Stack übernimmt sie von dort, wenn Leseanfragen von Geräten, die mit dem Chip verbunden sind, empfangen werden. Die Nachverfolgung der Struktur `EMUL_CharOpcode_t` führt dann zu folgender Struktur - die einzelnen Einträge entsprechen den oben in Cube angelegten Merkmalen (SONA1 und SONA2 sind die Namen der Zeichen):

```
typedef enum
{
    EMUL_SONA1,
    EMUL_SONA2,
    /* USER CODE BEGIN Service1_CharOpcode_t */

    /* USER CODE END Service1_CharOpcode_t */
    EMUL_CHAROPCODE_LAST
} EMUL_CharOpcode_t;
```

Die Struktur `EMUL_Data_t` ist für das Schreiben oder Liefern der Werte zuständig und sieht wie folgt aus:

```
typedef struct
{
    uint8_t *p_Payload;
    uint8_t Length;

    /* USER CODE BEGIN Service1_Data_t */

    /* USER CODE END Service1_Data_t */
} EMUL_Data_t;
```

Wenn Sie die Methode weiter untersuchen, werden Sie auch einen Code finden, der nach dem folgenden Schema aufgebaut ist. Er ist für den Empfang von Informationen zuständig, die für das zweite Merkmal bestimmt sind.

```
case EMUL_SONA2:
    ret = aci_gatt_update_char_value
        (EMUL_Context.EmulSvcHdle,
        EMUL_Context.Sona2CharHdle,
        0, /* charValOffset */
        pData->Length, /* charValueLen */
        (uint8_t *)pData->p_Payload);
```

Mit diesem Wissen bewaffnet können wir zur Datei *main.c* zurückkehren, in deren *Includes* wir im ersten Schritt den Zugriff auf die App-Dateien erlauben:

```
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include „../STM32_WPAN/App/emul.h“
/* USER CODE END Includes */
```

Die Einbindung der Datei *common_blesvc.h* ist auch deshalb notwendig, weil nur so der Zugriff auf die verschiedenen Bluetooth-Stack-Primitive möglich ist, die in der Datei *Emul.h* verwendet werden.

```
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include „common_blesvc.h“
#include „../STM32_WPAN/App/emul.h“
/* USER CODE END Includes */
```

Im nächsten Schritt wollen wir die Rechenleistung der Hauptschleife nutzen, um einen Zähler zu inkrementieren und die Updates regelmäßig in den Bluetooth-Stack zu schreiben. Das ist der einfachste Weg, auch wenn ein eleganteres Ergebnis mit dem Timer Server Utility erreicht werden könnte. Beachten Sie dabei, dass der Code nicht in der Sektion *USER CODE* steht und daher beim Regenerieren verloren wird.

```
/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
int aCounter = 0;
int32_t aValue = 0;
while (1)
{
    /* USER CODE END WHILE */
    MX_APPE_Process();

    /* USER CODE BEGIN 3 */
    aCounter++;
    if(aCounter>10000)
    {
        aCounter=0;
        aValue++;
        EMUL_Data_t pData;
        pData.Length=4;
        pData.p_Payload = malloc(4);
        memcpy(pData.p_Payload, &aValue, 4);
        EMUL_UpdateValue(EMUL_SONA1, &pData);
        free(pData.p_Payload);
    }
}
/* USER CODE END 3 */
```

Eine Anmerkung zu *malloc*: In einem echten eingebetteten System wäre es sinnvoller, einen auf dem Stack angelegten Puffer zu verwenden, aber für unsere Demozwecke sollte dieses Verfahren zulässig sein. Beachten Sie auch, dass Aufrufe von *EMUL_UpdateValue* je nach Konfiguration des Bluetooth-Stacks sehr energiehungrig sein können. Dies liegt daran, dass nach den Standard-Characteristics von Bluetooth LE auch in der Lage ist, Benachrichtigungen zu senden. In diesem Fall erhalten alle registrierten Clients eine Nachricht, was mit einem erheblichen Energieverbrauch verbunden ist.

An dieser Stelle wäre ein weiterer Test des Programms sinnvoll - allerdings würden Leseversuche im Scanner mit einem Timeout scheitern. Der Grund für dieses auf den ersten Blick unbefriedigende Verhalten liegt darin, dass die einzelnen Lese- beziehungsweise Schreibbefehle im ST-Bluetooth-Stack aktiviert sind. Hätten wir beim Kompilieren genauer hingeschaut, hätten uns Warnungen vom Typ *#warning user shall call aci_gatt_allow_read() function if allowed* auf dieses Problem hingewiesen.

Um dieses Problem zu lösen, aktivieren Sie den Lesebefehl im *EMUL_EventHandler* in der Datei *emul.c* nach dem folgenden Schema:

```
if(p_read_req->Attribute_Handle ==
    (EMUL_Context.Sona1CharHdle +
    CHARACTERISTIC_VALUE_ATTRIBUTE_OFFSET))
{
    return_value = SVCCTL_EvtAckFlowEnable;
    /*USER CODE BEGIN Service1_Char_1_ACI_
    GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_1 */
    /*USER CODE END Service1_Char_1_ACI_
    GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_1*/
    /*USER CODE BEGIN Service1_Char_1_ACI_
    GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_2 */
    #warning user shall call aci_gatt_allow_read()
    function if allowed
    aci_gatt_allow_read
    (p_read_req->Connection_Handle);
    /*USER CODE END Service1_Char_1_ACI_
    GATT_READ_PERMIT_REQ_VSEVT_CODE_2*/
}
/* if(p_read_req->Attribute_Handle ==
    (EMUL_Context.Sona1CharHdle +
    CHARACTERISTIC_VALUE_ATTRIBUTE_OFFSET))*/
```

Der Parameter, der an die Methode *aci_gatt_allow_read* zu übergeben ist - das ist der *Connection Handle* - ist das Wichtigste und kann über *p_read_req->Connection_Handle* ermittelt werden.

An dieser Stelle ist auch diese Version des Programms zur Ausführung bereit. **Bild 11** und **Bild 12** zeigen, dass sich der in der Charakteristik abgelegte Messwert im Laufe der Zeit erhöht.

BLE-Vorkenntnisse als gegeben angenommen!

Bei den folgenden Schritten geht der Autor davon aus, dass der Leser generell mit der Verwendung von Bluetooth LE vertraut ist. Eine kurze Einführung finden Sie unter [3].

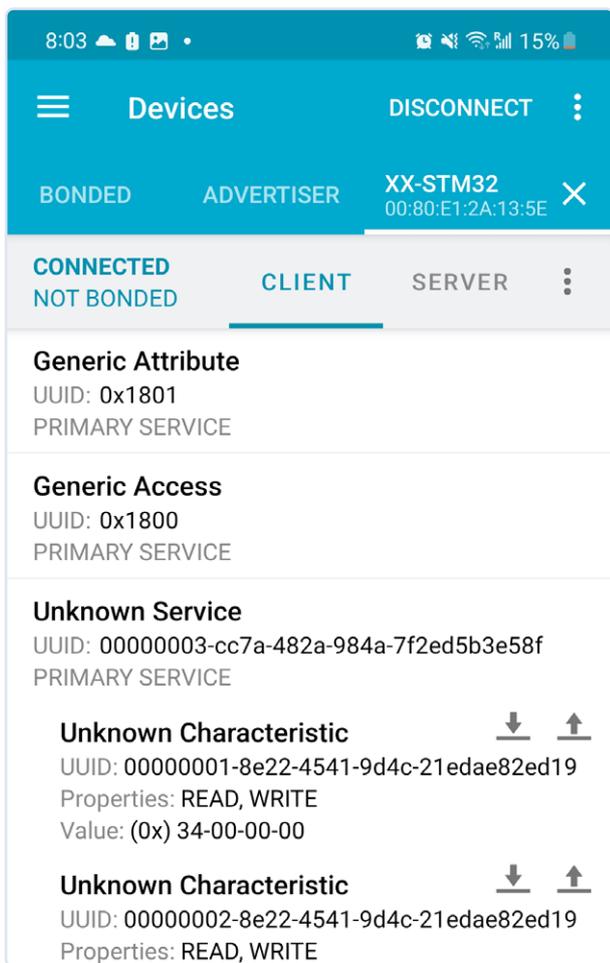


Bild 11. Der Sand der Zeit...

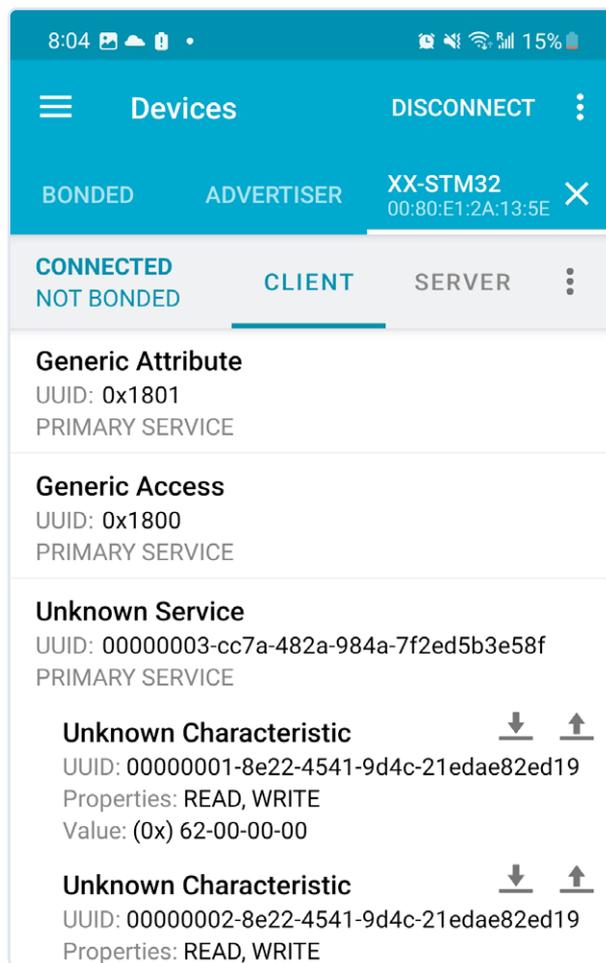


Bild 12. ...führt zu Inkrementierungen des übermittelten Wertes.

Fazit und Ausblick

Die ersten Schritte mit dem Bluetooth-Stack sind etwas arbeitsintensiv, aber die STM32CubeIDE hilft sehr dabei, den Entwicklungsprozess zu beschleunigen. Auf der Habenseite steht neben dem extrem niedrigen Energiebedarf, dass man mit dem Stack sehr genau steuern kann, was in der Funkschnittstelle und im Mikrocontroller vor sich geht.

Natürlich würde die Fertigstellung eines echten Messgeräts, das seine Messwerte per BLE an ein Smartphone sendet, noch mehr Arbeit erfordern: Neben einem analogen Frontend wäre idealerweise auch eine begleitende Anwendung auf dem Telefon erforderlich, die (idealerweise) mit MAUI oder einem ähnlichen plattformunabhängigen Framework erstellt würde. Mehr dazu in einer der nächsten Ausgaben. ◀

RG - 230698-02

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Gerne können Sie sich an den Autor unter der E-Mail-Adresse tamhan@tamoggemon.com oder an die Elektor-Redaktion unter der E-Mail-Adresse redaktion@elektor.de wenden.

Über den Autor

Ingenieur Tam Hanna befasst sich seit mehr als 20 Jahren mit Elektronik, Computern und Software; er ist freiberuflicher Entwickler, Buchautor und Journalist (www.instagram.com/tam.hanna). In seiner Freizeit beschäftigt sich Tam unter anderem mit 3D-Druck und dem Vertrieb von Zigarren.

WEBLINKS

- [1] STM32 Cube IDE: <https://tinyurl.com/ymy8tzxn>
- [2] BLE auf dem STM32WBA: Grundlegende Schritte: <https://tinyurl.com/y2aynxvt>
- [3] Kurzeinführung in Bluetooth Low Energy (BLE): <https://tinyurl.com/yfww3yt6>
- [4] Code-Beispiel im ST-Wiki: <http://tinyurl.com/4rxrh7nm>
- [5] Einstellungen: <https://tinyurl.com/5x8v26f>
- [6] STM32 Bluetooth-LE-Sniffer: <http://tinyurl.com/mw9n7den>



Intelligentes Kücheninventarsystem

Mehr als eine Küchenwaage

Von Maheshwaran Sadasivam & Vairamani Kanagavel (Indien)

Mit diesem Kücheninventarsystem behalten Sie mühelos den Überblick über Ihre Lebensmittel, mit Echtzeit-Updates zu den Lagerbeständen. Dieses batteriebetriebene System mit USB-Aufladung verwendet kostengünstige Komponenten wie einen Espressif ESP32 und eine Wägezelle mit dem SparkFun-Verstärker HX711. Schätzen gehört der Vergangenheit an, menschliche Fehler werden vermieden und präzise Einkaufsentscheidungen getroffen!

Das Hauptziel jeder Innovation sollte darin bestehen, die Lebensqualität der Menschen durch so genannte „human-centric systems“, also Systeme, bei denen der Mensch im Mittelpunkt steht, zu verbessern. Der Aufschwung der Smart-Home-Technologie in den letzten Jahren ist größtenteils auf die Anwendung des Internets der Dinge (IoT) in der Hausautomatisierung zurückzuführen. Unser Projekt dient dem Nutzer als System zur Verwaltung des Lebensmittelbestands in der Küche. Unser System bietet über einen Webbrowser Echtzeit-Inventardaten zu Lebensmitteln in der Küche. Dazu verwenden wir einen mit Sensoren ausgestatteten Behälter, um Daten über den Bestand an Lebensmitteln zu sammeln. Diese Daten werden dann über WLAN auf eine Cloud-Plattform übertragen und dort gespeichert. Die Nutzer können auf diese Informationen zugreifen, um fundierte Entscheidungen über die Mengen zu treffen, die sie kaufen oder nachfüllen müssen. Das System ist akkubetrieben und verfügt über eine Ladefunktion über eine USB-Typ-B-Buchse.

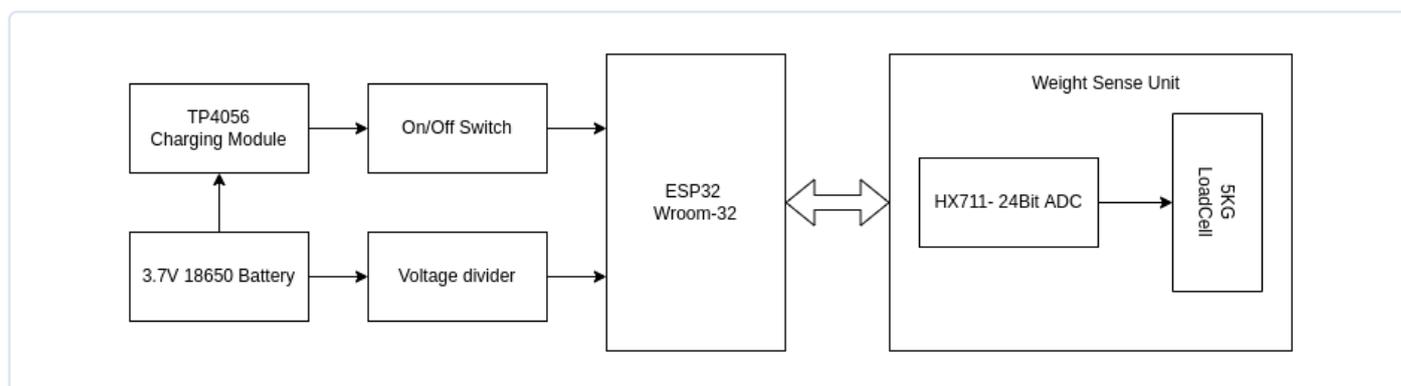


Bild 1. Blockschaltung des intelligenten Kücheninventar-Systems.

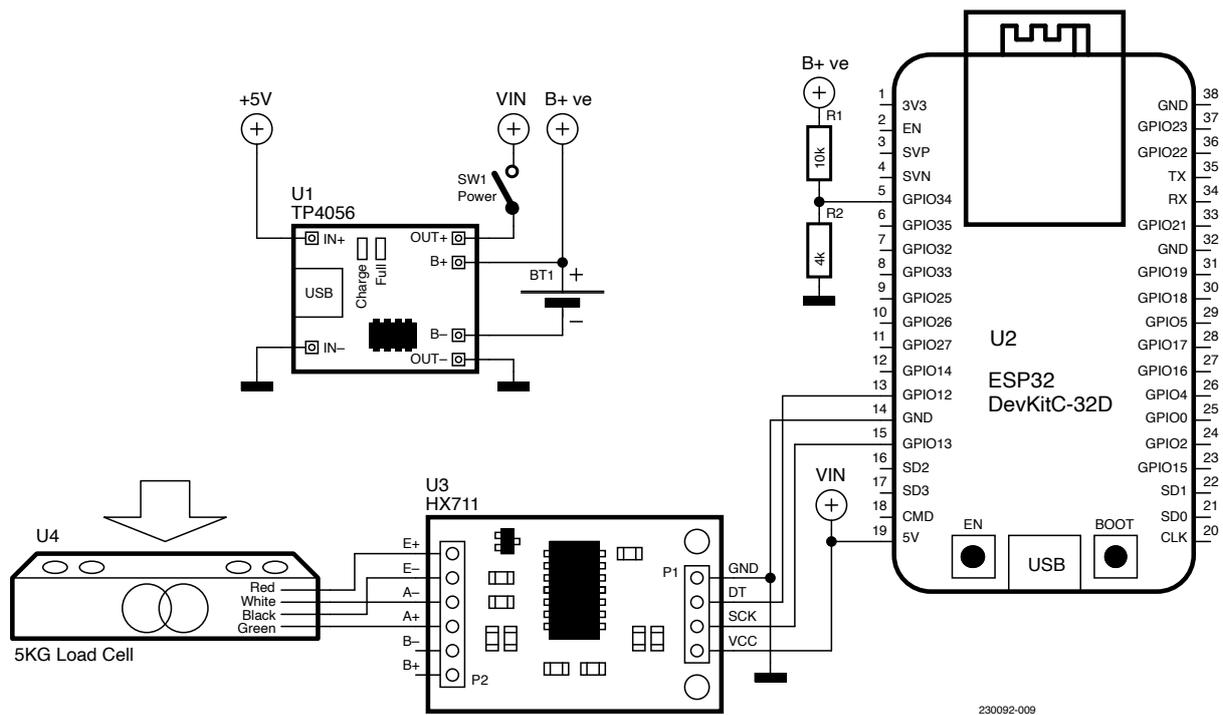


Bild 2. Schaltbild des Systems.

Beschreibung der Hardware

Bild 1 zeigt das Blockdiagramm unseres Systems. Wir verwenden eine Wägezelle [1] als Sensor mit einer maximalen Last von 5 kg, um das Gewicht der Lebensmittel zu messen. Das Ausgangssignal des Sensors ist eine Differenzspannung, die sich mit dem aufgebrachtten Gewicht ändert. Dieses analoge Signal wird von einem speziellen Verstärker mit einem 24-Bit-Analog-Digital-Wandler (ADC) namens HX711, der sich auf einem SparkFun-Breakout befindet [2], in ein digitales Signal umgewandelt. Ein Espressif-Mikrocontroller ESP32 [3] verarbeitet die ADC-Daten und lädt sie per WLAN über das MQTT-Protokoll auf die Adafruit-IO-Cloud-Plattform hoch. Die Nutzer können so über das Adafruit-IO-Dashboard auf ihre Inventarinformationen zugreifen. Das System wird von einem 3,7-V-Lithium-Ionen-Akku mit Energie versorgt, der über das Lademodul TP4056 [4] von einem 5-V-USB-Ladegerät aufgeladen werden kann.

Bild 2 zeigt die komplette Schaltung des Systems. Die Wägezelle verfügt über vier farbige Anschlussdrähte: rot, schwarz, weiß und grün. Diese Drähte werden an die entsprechenden Stifte des HX711-Verstärkermoduls angeschlossen: Rot und Schwarz werden an die Stifte E+ und E- des HX711 angeschlossen, Weiß und Grün an A- beziehungsweise A+. GND und VCC des HX711 sind mit 5 V und GND des ESP32-Moduls verbunden, während die Pins DT und SCK an GPIO 12 beziehungsweise GPIO 13 angeschlossen sind. Die Widerstände R1 und R2 fungieren als Spannungsteiler für die Messung der Batteriespannung, die mit GPIO 34, dem ADC des ESP32-Moduls, verbunden ist. Das Lademodul TP4056 wird für das Laden über die USB-Typ-B-Buchse verwendet. Weitere Informationen finden Sie in der Stückliste. Das System wurde mit verschiedenen Lebensmitteln getestet, von denen einige in **Bild 3** zu sehen sind.



Bild 3. Getestete Lebensmittel: Mais, Linsen, Reis.

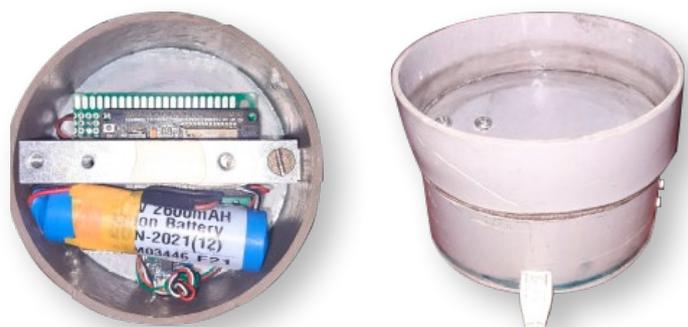


Bild 4. Die Elektronik im Inneren des Behälters (links), der rechts am Ladegerät hängt.

Mechanischer Aufbau

Bild 4a zeigt die Elektronik im Inneren des Prototyps, **Bild 4b** den Prototyp während des Ladevorgangs. Der mechanische Aufbau zur Befestigung der Wägezelle am Behälter sieht wie folgt aus:

1. Die Wägezelle aus Aluminium sollte vier Gewindelöcher und ein Etikett besitzen, auf dem die Krafrichtung zu sehen ist. Befestigen Sie die Seite ohne Etikett an der festen und die Seite mit dem Etikett an der beweglichen Oberfläche. Der Pfeil auf der beschrifteten Seite sollte nach unten in die Richtung zeigen, in die die bewegliche Oberfläche verfährt, wenn eine Last aufgebracht wird.
2. Die Montageplatte und die bewegliche Platte sollten beide so starr wie möglich sein.
3. Achten Sie darauf, dass zwischen der Montageplatte und der Wägezelle starre Abstandshalter angebracht werden; Abstandsbolzen oder Unterlegscheiben eignen gleichermaßen gut.

Hier haben wir PVC-Rohr für den Rahmen und runde PVC-Platten als Basis verwendet, um Dinge darauf zu platzieren; dazu die erforderlichen Muttern, Schrauben und Unterlegscheiben, da sich die Wägezelle sonst leicht verbiegt, wenn ein Gewicht auf sie gelegt wird. Das CAD-Modell des mechanischen Aufbaus und die technische Zeichnung des Prototyps sind in **Bild 5** dargestellt.

Beschreibung der Firmware

Die Firmware für dieses System wurde in der Arduino-IDE unter Embedded C entwickelt. Die Bibliotheksdateien für HX711, Adafruit IO und

Adafruit Sensor müssen der Arduino-IDE hinzugefügt werden. Sobald die Bibliotheksdateien installiert ist, schließen Sie das ESP32-Entwicklungs-kit mit einem USB-Kabel an den Computer an und laden Sie den Code für dieses System herunter [5]. Ersetzen Sie die SSID und das Passwort im Code mit Ihren Daten, kompilieren Sie dann den Code und laden Sie ihn auf den ESP32.

Der allgemeine Ablauf der Firmware ist in **Bild 6** dargestellt. Die Firmware initiiert das WLAN, um eine Internetverbindung basierend auf den Anmeldeinformationen aufzubauen. Dann wird auf den ADC des HX711-Verstärkermoduls über eine Zweidraht-Schnittstelle (Takt und Daten) zugegriffen, um das Gewicht auf der Wägezelle zu messen. Der ADC-Pin GPIO 34 des ESP32 wird für die Messung der Batteriespannung initialisiert. Sobald die Initialisierung abgeschlossen ist, liest der ESP32 die Daten der Wägezelle und die Batteriespannung. Diese Messdaten werden in definierten Intervallen über das MQTT-Protokoll an das *Adafruit IO Dashboard* übertragen, wie in **Bild 7** gezeigt. Sobald der Behälter auf der Wägezelle platziert ist, muss der Benutzer den Tara-Knopf auf dem Dashboard drücken, der den Messwert auf einen Null-Referenzpunkt zurücksetzt. Danach führt der Code die Tarafunktion aus.

Hinweise zur Erstellung eines Adafruit IO Dashboards finden Sie unter [6].

Fazit

Das Intelligente Kücheninventarsystem ist ein Segen für Menschen, die jederzeit und überall Informationen über ihre Lebensmittel erhalten möchten. Es zeichnet die Details des Inventars automatisch auf und hilft, menschliche Fehler bei der Lagerhaltung zu vermeiden. Der Nutzer kann auf der Grundlage der Bestandsdaten von einem beliebigen Browser aus den Kauf von Lebensmitteln planen. Dieses System ermöglicht den Zugriff auf Bestandsdaten und erstellt Berichte in Echtzeit. In Zukunft könnte dieses System mit einem Supermarkt verbunden werden, Bestelldetails abrufen und die Lieferung von Lebensmitteln auf Anfrage initiieren. In der Industrie macht das System menschliche Eingriffe in die Bestandsverwaltung überflüssig und bietet Unterstützung bei der 24/7-Überwachung. ◀

RG - 230092-02

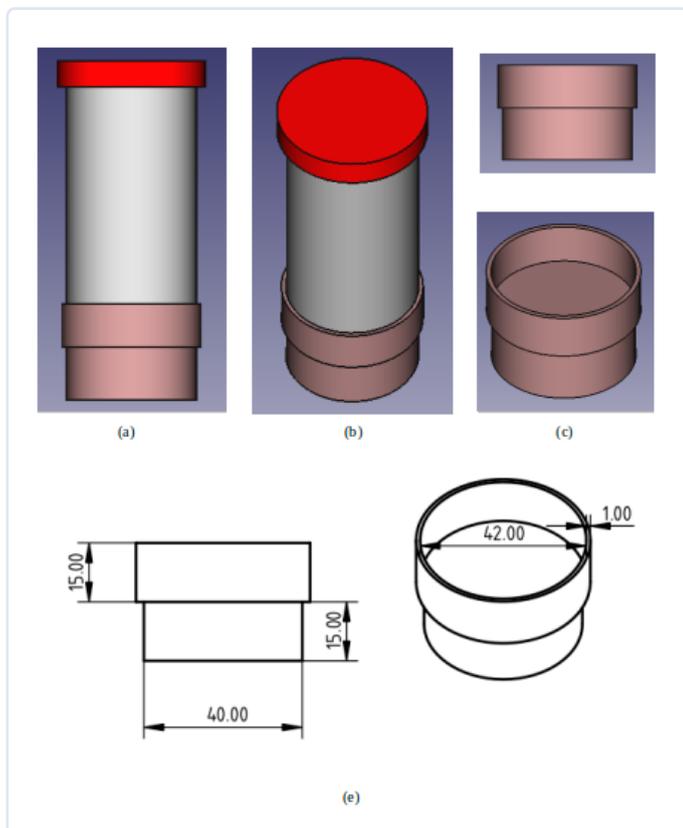


Bild 5. CAD-Modell des Systems und technische Zeichnung.



Stückliste

Widerstände:

(0,25 W, bedrahtet)

R1 = 10 k

R2 = 4 k

Außerdem:

SW1 = Schalter 1xan (SW_SPST)

BT1 = Batteriezelle (3,7-V-Lithium-Ionen-Akku 18650)

U1 = TP4056-Breakout-Board

U2 = ESP32 DEVKITC-32D (ESP32-Entwicklungsplatine)

U3 = HX711-Breakout-Board

U4 = Wägezelle (5 kg)

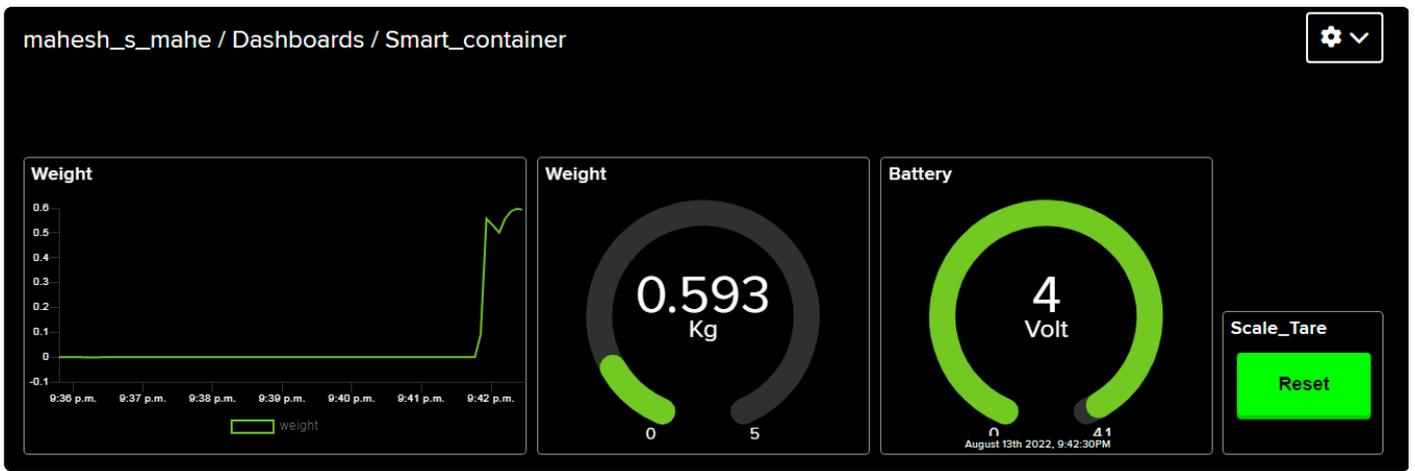


Bild 7. Aktualisierte Messwerte im Adafruit-IO-Dashboard.

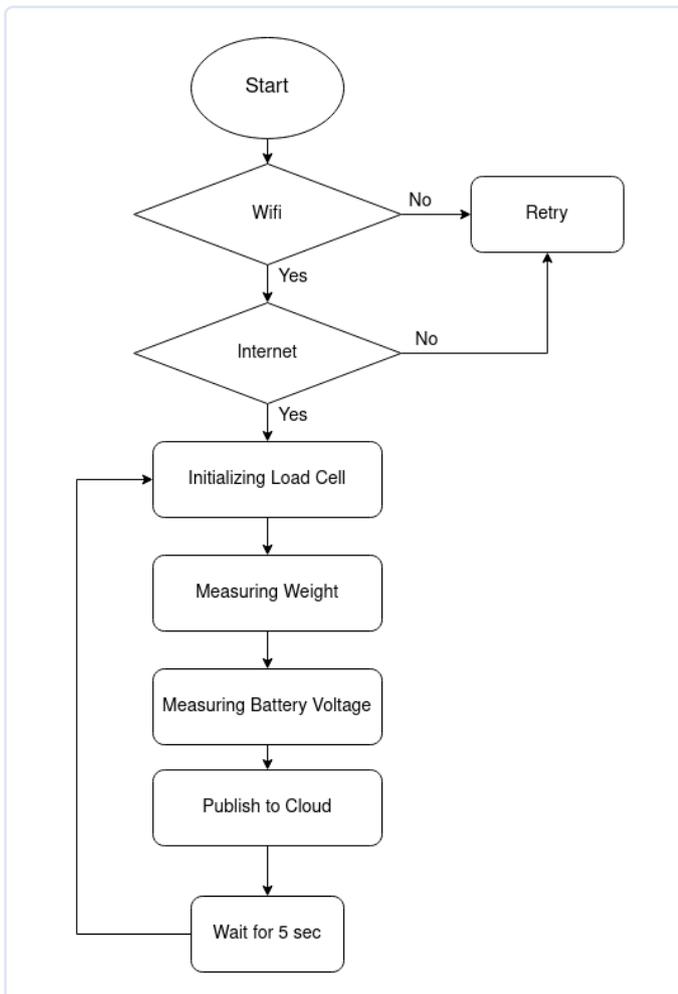


Bild 6. Flussdiagramm der Software.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel haben, können Sie sich gerne per E-Mail an die Elektor-Redaktion wenden: redaktion@elektor.de.



Über die Autoren

Maheshwaran Sadasivam ist ein Elektronikforscher, der seinen Master in Elektronik am St. Joseph's College, Tiruchirappalli, Tamil Nadu, Indien, gemacht hat. Sein Interessengebiet sind menschenzentrierte Automatisierungssysteme, eingebettete Systeme und Robotik.



Vairamani Kanagavel ist ein Elektronikforscher, der seinen M.Sc. in Elektronik am St. Joseph's College, Tiruchirappalli, Tamil Nadu, Indien, und seinen Ph.D. in Instrumentation an der Madurai Kamaraj University, Madurai, Tamil Nadu, Indien, erworben hat. Seine Interessengebiete sind drahtlose Sensornetzwerke und menschenzentrierte Automatisierungssysteme.



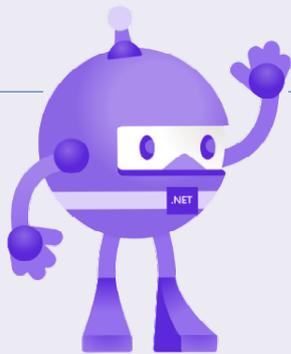
Passendes Produkt

> **ESP32-DevKitC-32D**
www.elektor.de/18701



WEBLINKS

- [1] Erste Schritte mit Wägezellen: <https://tinyurl.com/loadcellstart>
- [2] HX711-Datenblatt von SparkFun Electronics: <https://tinyurl.com/sfhx711>
- [3] Datenblatt der ESP32-Serie: <https://tinyurl.com/esp32datasheet>
- [4] Linearer Li-Ion-Batterielader TP4056: <https://tinyurl.com/tp4056liion>
- [5] Software-Download: <https://elektormagazine.de/230092-02>
- [6] Erste Schritte mit Adafruit IO: <https://learn.adafruit.com/adafruit-io/getting-started>



MAUI

Programmieren für PC, Tablet und Smartphone

Das neue Framework in Theorie und Praxis

Von Dr. Veikko Krypczyk (Deutschland)

Erstellt man eine PC-Anwendung, zum Beispiel für die Simulation oder die Datenerfassung, dann sollte diese im Idealfall auch auf Mobilgeräten funktionieren. Mit .NET MAUI gibt es ein interessantes Framework, welches dieses Vorhaben ermöglicht.

Oft müssen Elektroniker nicht nur Mikrocontroller programmieren, sondern Anwendungen für den PC/Laptop oder Apps für mobile Geräte erstellen. Ein häufiger Fall ist beispielsweise eine App für ein Smartphone, mit welcher man über eine mobile Netzwerkverbindung oder über Bluetooth Low Energy (BLE) die Hardware steuern kann. Ein Beispiel ist eine individuelle Steuerung einer Beleuchtung für den Außenbereich. Die Ansteuerung der LEDs erfolgt über ein Interface auf Basis eines Mikrocontrollers. Die Kommunikation des Interfaces mit einem Smartphone kann beispielsweise über BLE erfolgen. Auf diesem Smartphone läuft dann eine App, das heißt eine individuell programmierte Software. Genau darum geht es in diesem Artikel. Wir wollen uns ein neues und fortschrittliches Framework namens .NET MAUI [1] ansehen, um Anwendungen für unterschiedliche Geräte und Betriebssysteme zu erstellen.

.NET MAUI im Überblick

Das Framework .NET MAUI, so suggeriert es der Name bereits, nutzt seinerseits das plattformübergreifende Framework .NET ab Version 6.0. Die Programmierung erfolgt entweder unter Windows oder macOS in der integrierten Entwicklungsumgebung Visual Studio. Es genügt die kostenfreie Community Edition. Entwickelt man unter Windows, erreicht man die Systeme Windows und Android. Für ein Erstellen von Apps für iOS und macOS benötigt

man einen Zugriff auf einen Mac-PC, denn das Erstellen der finalen App-Packages geht nicht ohne einen solchen. Das ist aber keine Besonderheit von .NET MAUI, sondern gilt grundsätzlich für das Erstellen von Apps für die Systeme iOS und macOS. Entwickelt man unter macOS (Visual Studio for Mac), dann kann man Apps direkt für alle Systeme außer für Windows erstellen.

Im Folgenden erläutern wir die Einrichtung der Entwicklungsumgebung und gehen dann beispielhaft die Schritte bis zu einer App durch. Die Apps für alle Zielsysteme entstehen dabei aus einer gemeinsamen Quellcodebasis, nämlich C# für die Programmlogik und XAML für das User-Interface. Dass die App dann auf dem jeweiligen Gerät läuft und auch entsprechend an die Systemumgebung angepasst ist, dafür sorgt das Framework (**Bild 1**).

Man muss sich also (zunächst) keine Gedanken machen, dass die

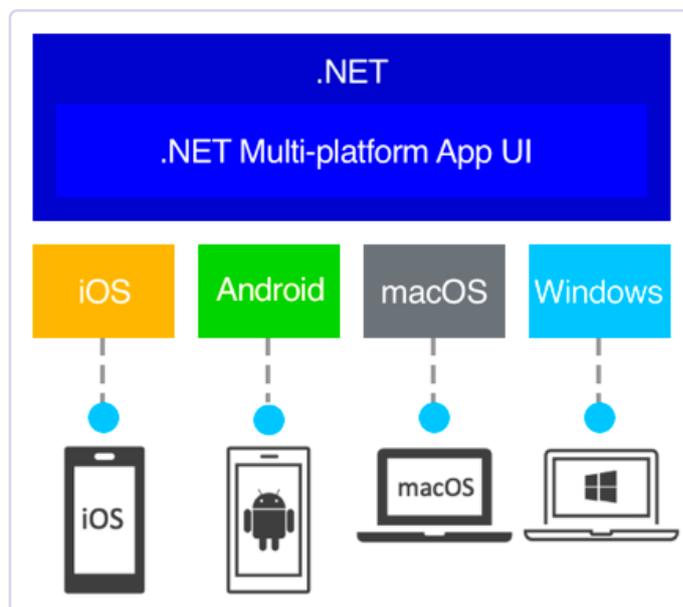


Bild 1. Funktionsweise von .NET MAUI (Quelle: Microsoft).

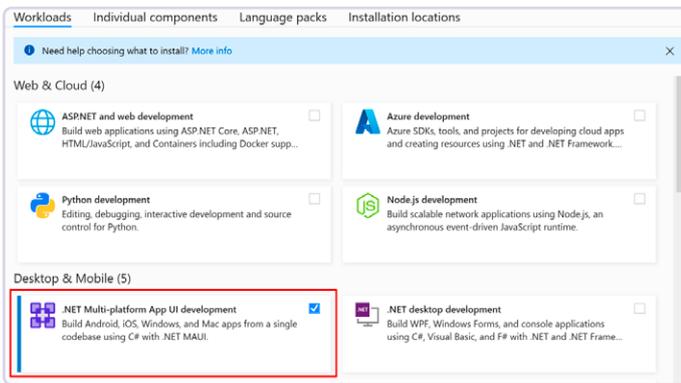


Bild 2. Auswahl des Workloads für .NET MAUI.

Oberflächen von Windows, macOS und Android ziemlich unterschiedlich aussehen und verschieden bedient werden. Man definiert das User-Interface vielmehr auf einer abstrakten Ebene (XAML), und MAUI sorgt dafür, dass der Button, das Textfeld und die anderen Elemente korrekt auf den Zielsystemen abgebildet werden. Individuelle Anpassungen an die jeweilige Zielplattform, zum Beispiel durch andere Farben, Icons, Abstände und so weiter sind jedoch auf Wunsch möglich und können speziell für jedes Zielsystem vorgenommen werden. Diese sollten jedoch nur minimal, im Idealfall aber gar nicht notwendig sein.

Gleiches gilt für die Nutzung der Hardware und Gerätefunktionen. Gerade auf mobilen Endgeräten spielt die Verwendung von Sensoren wie Kamera, GPS und mehr eine große Rolle. Diese Systemfunktionen werden auf jedem Betriebssystem unterschiedlich genutzt, in der Regel über eigens dafür geschaffene Programmierbibliotheken (APIs). .NET MAUI abstrahiert auch diese Systembibliotheken und bietet für eine Vielzahl von System- und Gerätefunktionen eine generische Programmierschnittstelle an. Das hat den Vorteil, dass man nur gegen diese übergreifende Schnittstelle programmiert und man sich damit nicht beschäftigen muss, wie man die Sensoren & Co. auf dem jeweiligen Zielsystem verwendet. Gibt es eine solche generische Programmierschnittstelle (noch) nicht, dann kann man alternativ auf die spezifischen APIs eines jeden Systems zugreifen, und zwar mit plattformspezifischem Code. Aber auch diese Vorgehensweise sollte die Ausnahme sein.

.NET MAUI ist zwar noch neu (erstes Release Ende 2022), es ist jedoch der technologische Nachfolger von Xamarin. Daher gibt es bereits eine größere aktive Community, Komponenten und Bibliotheken zur Erweiterung und umfangreiche Hilfe in Form von Dokumentation, Blogbeiträgen, Diskussionsforen und mehr.

Einrichtung der Entwicklungsumgebung

Das Ganze ist nicht kompliziert. Wir gehen davon aus, dass Sie unter Microsoft Windows arbeiten. Aktualisieren Sie gegebenenfalls vorab Ihre Version von Windows 10 oder Windows 11. Dann installieren Sie Visual Studio [2]. Im Installationsassistenten wählen Sie ein sogenanntes *Workload*, hier ist es *.NET Multi-platform App UI development* (Bild 2). Den Installationsassistenten können Sie jederzeit später nochmals aufrufen, um bei Bedarf noch weitere Komponenten nachträglich zu installieren. Wir haben jetzt bereits Projektvorlagen, um eine .NET MAUI-App zu entwickeln. Das Erstellen eines neuen Projektes wird jedoch durch eine zusätzliche

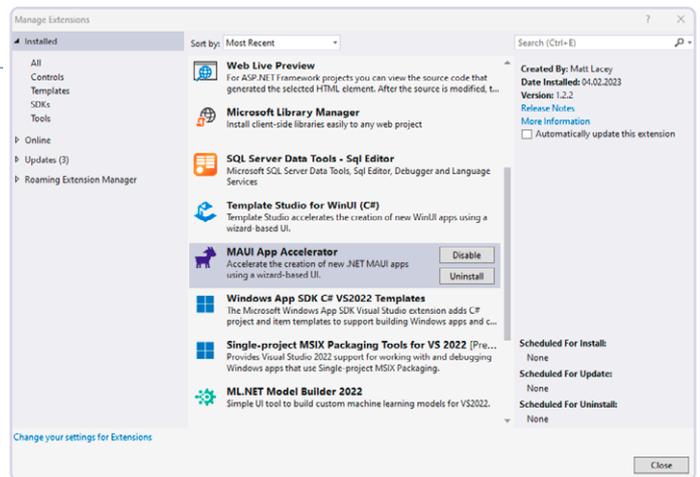


Bild 3. Installation der Extension MAUI App Accelerator.

Erweiterung stark vereinfacht. Starten Sie Visual Studio und rufen Sie den Punkt *Continue without code* rechts unten im Startdialog auf. Jetzt startet Visual Studio ohne ein aktives Projekt. Rufen Sie den Menüpunkt *Extensions | Manage Extension* auf. Suchen Sie nach der Erweiterung *MAUI App Accelerator* (Bild 3) und installieren Sie diese.

Danach muss Visual Studio neu gestartet werden. Jetzt haben wir einen Assistenten, welcher es erlaubt, das Grundgerüst einer .NET MAUI-App dialoggestützt zu erstellen. Das wollen wir nun anhand eines konkreten Beispiels demonstrieren.

Download: Quellcode und weitere Infos zum Beispiel

Den gesamten Quelltext zum Projekt und weitere Dateien (Screenshots, Wireframes) finden Sie in einem GitHub-Repository des Autors unter [4].

Das Beispiel

Wir wollen eine mobile App für Android und iOS programmieren. Als Beispiel soll eine Info- und Rechenapp für den allseits bekannten Spannungsregler LM317 entstehen, dessen Funktionsweise und Verwendung den meisten Lesern vertraut sein dürfte. Wir können diesen Spannungsregler zum Erzeugen einer konstanten Ausgangsspannung oder alternativ als Konstantstromquelle einsetzen (Bild 4).

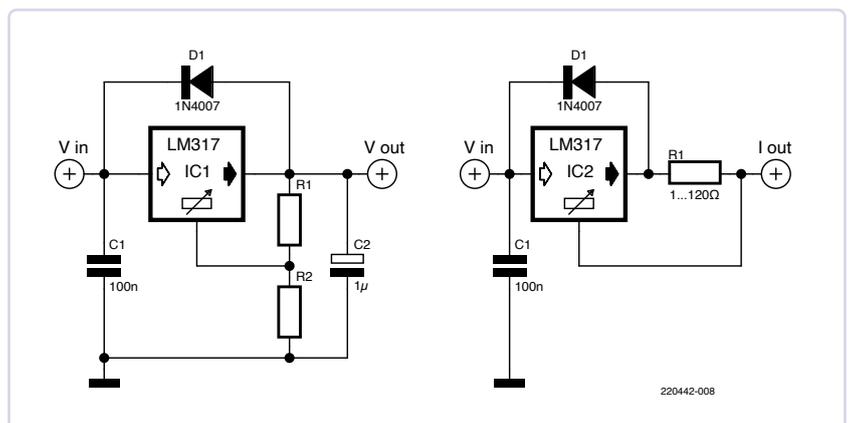


Bild 4. Schaltbilder für den Spannungsregler LM317.

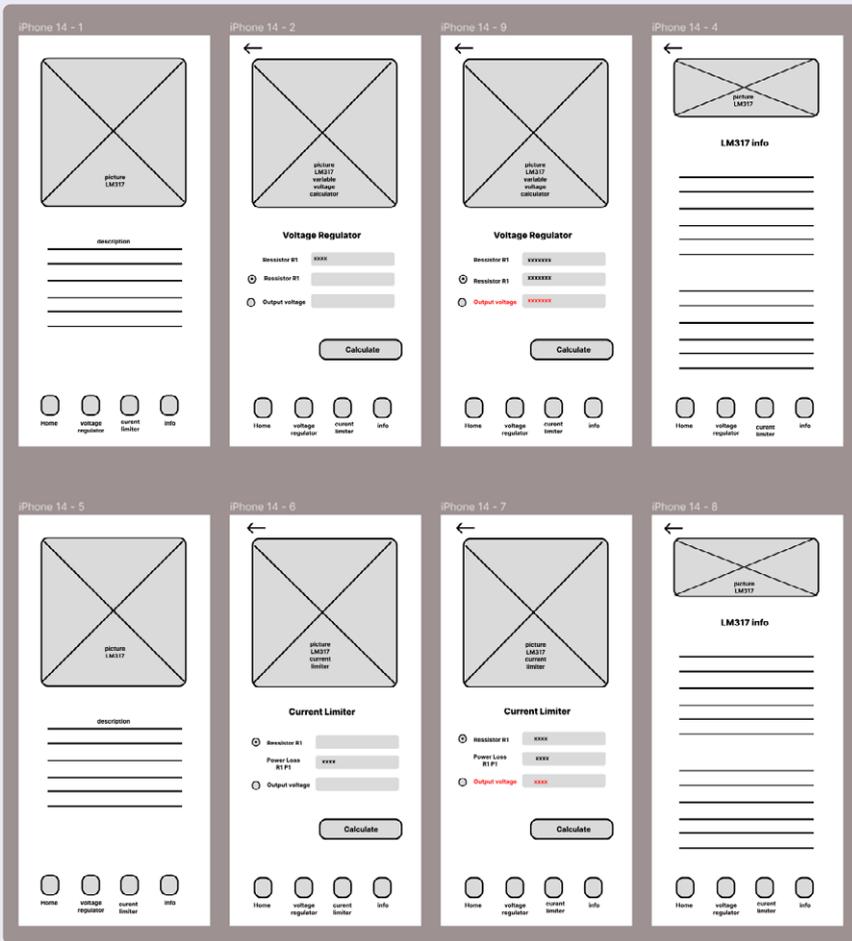


Bild 5. Wireframe für die Kalkulator-App (iOS oder Android).

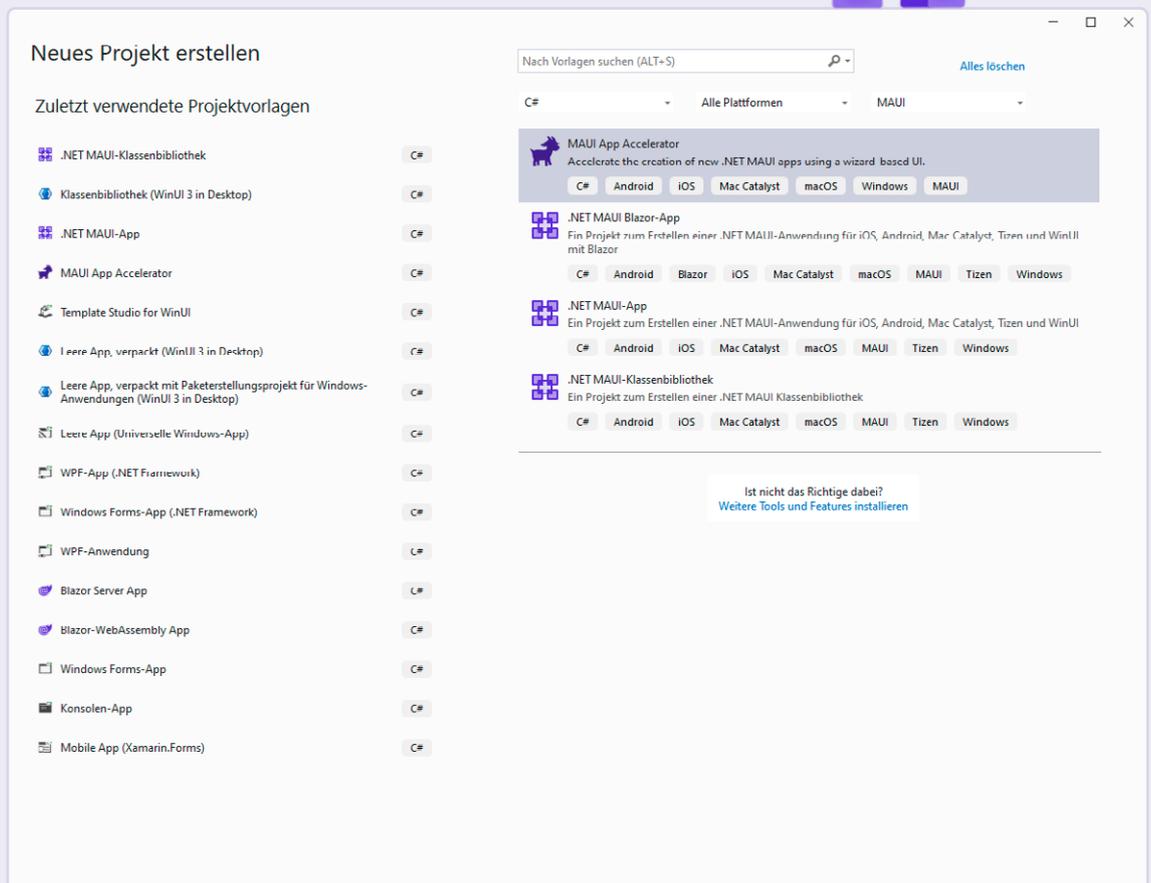
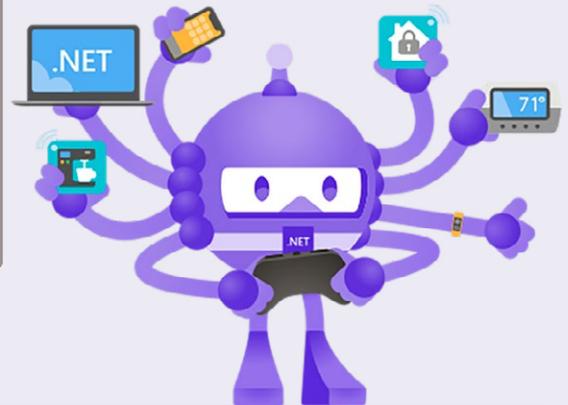


Bild 6. Projektstart mit Vorlage MAUI App Accelerator.

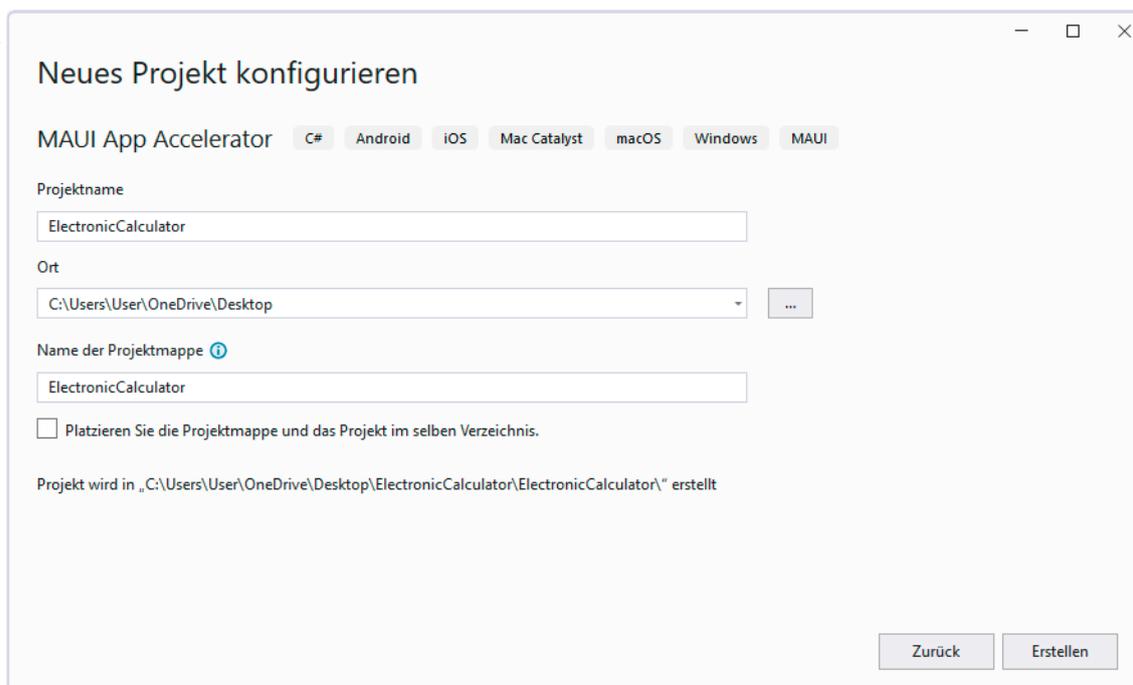


Bild 7. Name der App und Speicherort definieren.

Für die Berechnung der Ausgangsspannung kann vereinfacht folgende praxisnahe Formel angewendet werden:

$$U_{\text{OUT}} = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Diese Gleichung können wir auch nach R_2 umstellen, um für eine bestimmte Ausgangsspannung den Wert des Widerstandes zu bestimmen. Der Wert des Widerstandes R_1 wird laut Datenblatt des LM317 mit einem Wert von 240Ω angegeben. Die andere Einsatzmöglichkeit ist die Verwendung als Konstantstromquelle. Hier gilt der Zusammenhang:

$$I_{\text{OUT}} = \frac{1,25}{R_1}$$

Dabei muss der Wert von R_1 in einem Wertebereich von $1 \Omega \leq R_1 \leq 120 \Omega$ liegen. Es gibt zwar schon viele Rechner für diesen Spannungsregler, dennoch erscheint uns das Beispiel geeignet, die Funktionsweise der App-Programmierung mit .NET MAUI zu demonstrieren.

Der Entwurf

Einfach „drauflos“ zu programmieren ist keine gute Idee. Ein visueller Prototyp ist hilfreich, gegebenfalls auch eine Handskizze (Bild 5).

Bei diesem Prototyp handelt es sich um einen so genannten Wireframe für eine mobile App (iOS oder Android). Wir haben vier Screens, welche über eine Tab-Navigation (unterer Bereich) ausgewählt werden können. Diese vier Seiten sollen folgende Inhalte bereitstellen:

- Seite *Home*: Schaltbild und allgemeine Informationen zum Spannungsregler LM317.
- Seite *Voltage Regulator*: Schaltbild und Eingabefelder für die Widerstände R_1 und R_2 und die gewünschte Ausgangsspan-

nung (U_{Out}). Über Radiobuttons kann ausgewählt werden, ob R_2 oder U_{Out} berechnet werden soll. Zusätzlich haben wir einen Button für den Start der Berechnung.

- Seite *Current Limiter*: Wir haben Eingabefelder für den Widerstand R_1 und den Ausgangsstrom. Mittels Radiobuttons können wir die Berechnungsvariante (R_1 oder I_{Out}) festlegen. Es gibt wieder einen Button für den Start der Berechnung.
- Seite *Info*: Hier zeigen wir das vollständige Datenblatt zum Spannungsregler an, zum Beispiel in einer Webseite.

Ein solches Konzept bietet die Basis für die Umsetzung der App.

Der Projektstart

Rufen Sie nach einem Neustart von Visual Studio die Vorlage *MAUI App Accelerator* auf (Bild 6). Im nächsten Schritt ist der Name der App und der Speicherort festzulegen. Danach werden Sie aufgefordert, die .NET-Version (Framework) zu wählen. Nutzen Sie die neueste Version .NET 7.0 (Bild 8).

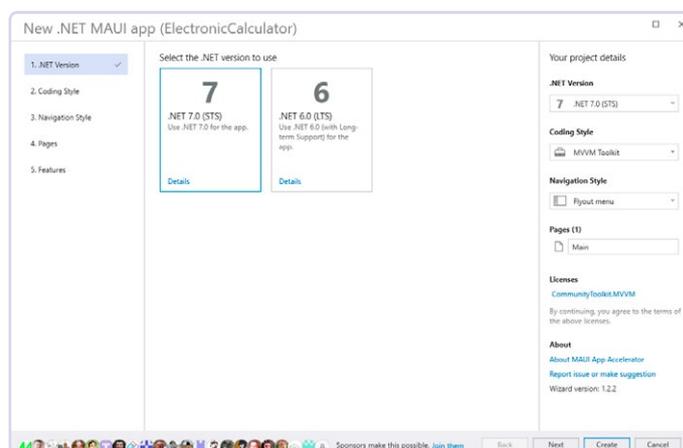


Bild 8. .NET-Version und Navigation auswählen.

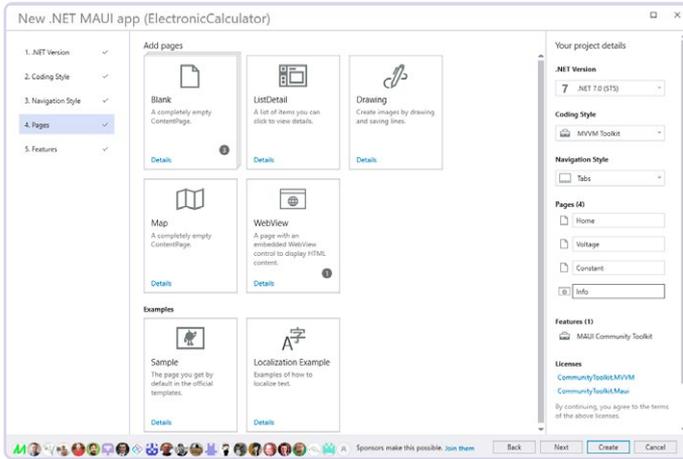


Bild 9. Layout und Seiten für die App definieren.

Im nachfolgenden Schritt (**Bild 9**) machen wir folgende Angaben:

- **Coding Style:** Hier definieren wir das Architekturmuster der App. Wählen Sie *MVVM-Toolkit*, das heißt, binden Sie eine entsprechende Bibliothek in das Projekt ein und verwenden Sie das Entwurfsmuster MVVM, das für eine Entkopplung der Schichten (Model, View, ViewModel) sorgt und als Standard für die Implementierung von Apps gilt, bei denen das User Interface mit XAML definiert wird. Informationen dazu finden Sie unter [3].
- **Navigation Style:** Aus den angebotenen Optionen wählen Sie *Tabs* für das Erzeugen der Registerkarten.
- **Pages:** Hier fügen Sie drei Seiten des Typs *Blank* hinzu und benennen diese mit *Home*, *Voltage* und *Constant*. Ergänzen Sie dies mit einer Seite des Typs *WebView* und nennen diese *Info*.

Damit sind alle Angaben vollständig und Sie können die App von Visual Studio erstellen lassen. Das kann eine Weile dauern. Danach landen Sie in der Entwicklungsumgebung und das Projekt ist geöffnet.

Ein Blick in die Projektstruktur (**Bild 10**) ergibt die folgenden Erkenntnisse:

- **Multi-Targeting:** Für alle Plattformen existiert nur ein Projekt. Für jedes Zielsystem ein eigener Ordner.
- **ViewModels:** Enthält die Klassen für die Programmlogik und stellt die Verbindung zum User Interface dar.
- **Views:** Klassen, bestehend aus C# und XAML-Dateien für das User Interface.
- **App.xaml, MauiProgram.cs:** Einstiegspunkte für die App.
- **Ressourcen:** Enthält die Bilder und andere Ressourcen für die App.

Ohne weitere Programmierung kann die App bereits ein erstes Mal gestartet werden (**Bild 11**). Gegebenenfalls werden Sie beim ersten Start dazu aufgefordert, einen Android-Emulator auf Ihrem System einzurichten.

Die Benutzeroberfläche erstellen

Das User-Interface wird in XAML deklariert, und zwar in den View-Dateien. Beispielhaft sehen wir uns die Seite für die zweite Registerkarte an. Zunächst ist das Layout der Seite zu definieren. Dazu gibt es unterschiedliche Layout-Container, beispielsweise ein Grid zur Definition von Zeilen und Spalten. In einem solchen Grid können dann die einzelnen Elemente des User-Interfaces, beispielsweise Bild, Button oder Eingabefeld, in die Zellen eingeordnet werden. Andere Layout-Container sorgen wahlweise für eine vertikale oder horizontale Anordnung der Elemente. Es gilt das Prinzip, so weit wie möglich den Aufbau der Seite mit relativen statt mit absoluten Angaben zu Positionen und Abständen umzusetzen. Das ist notwendig, damit das User-Interface auf einer großen Palette von unterschiedlichen Geräten mit verschiedenen Bildschirmgrößen und -auflösungen korrekt dargestellt wird. Die genannte Seite besteht beispielsweise auf oberster Ebene aus einem Grid mit zwei Zeilen, welche die Seite in zwei gleich große Bereiche (50:50) teilt. Im oberen Bereich ordnen wir das Bild

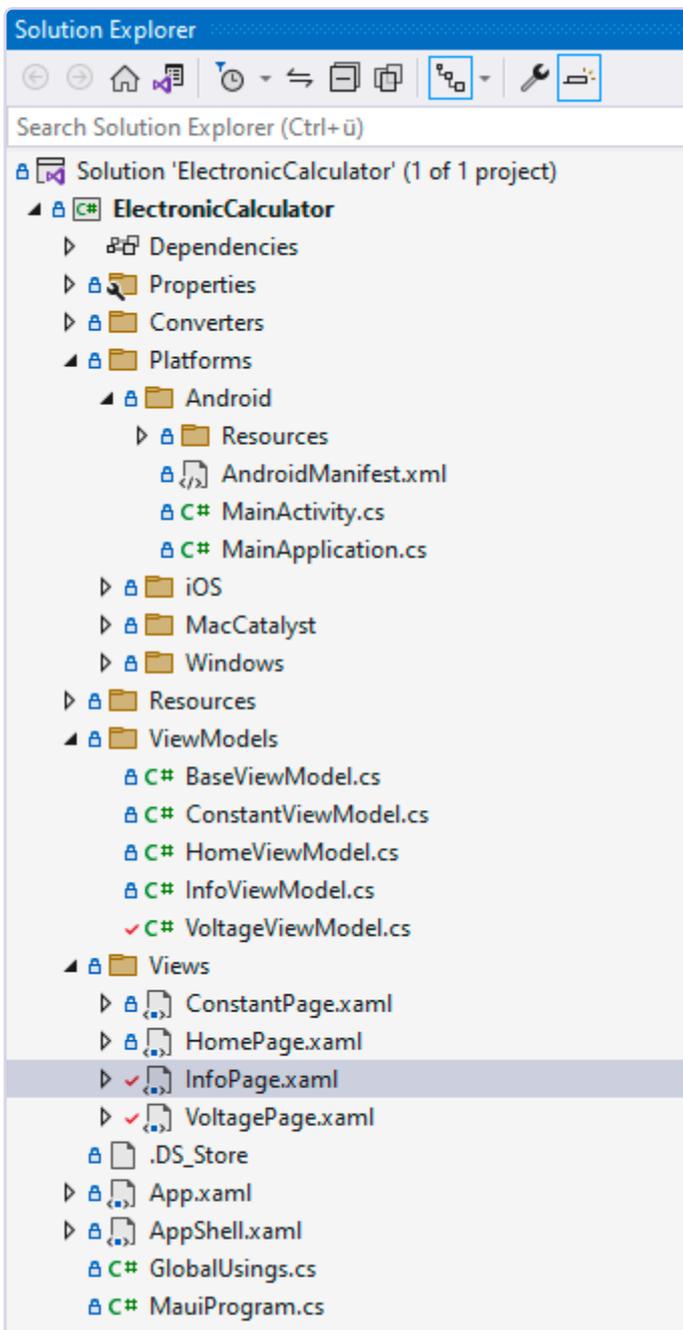


Bild 10. Projektstruktur einer MAUI-App.



Listing 1: Auszug aus dem Quellcode für die Seitendefinition.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<ContentPage
  <Grid BackgroundColor="LightGray">
    <Grid.RowDefinitions>
      <RowDefinition />
      <RowDefinition />
    </Grid.RowDefinitions>
    <VerticalStackLayout
      Grid.Row="1"
      HorizontalOptions="Center"
      VerticalOptions="Center">
      <Grid RowSpacing="20">
        <Grid.RowDefinitions>
          <RowDefinition />
          <RowDefinition />
          <RowDefinition />
          <RowDefinition />
        </Grid.RowDefinitions>
        <Grid.ColumnDefinitions>
          <ColumnDefinition />
          <ColumnDefinition />
        </Grid.ColumnDefinitions>
        <Label
          Margin="30,0"
          HorizontalOptions="Start"
          MaximumWidthRequest="100"
          Text="Resistor R1 (240 Ohm):"
          VerticalOptions="Center" />
        <Entry
          Grid.Column="1"
          HorizontalTextAlignment="Center"
          Text=""
          VerticalOptions="Center" />
        ...
        <Button
          Grid.Row="3"
          Grid.Column="1"
          Command=""
          Text="Calculation" />
      </Grid>
    </VerticalStackLayout>
    <VerticalStackLayout Margin="20"
      VerticalOptions="Center">
      <Border>
        <Border.StrokeShape>
          <RoundRectangle CornerRadius="20" />
        </Border.StrokeShape>
        <Image Aspect="AspectFit" Source="lm317c.jpg" />
      </Border>
    </VerticalStackLayout>
  </Grid>
</ContentPage>
```

(Typ *Image*) für den Schaltplan an. Im unteren Bereich werden die Textfelder (Typ *Entry*) für die Eingabe, die Beschriftungsfelder (Typ *Label*), die Radiobuttons und ein Button in einem untergeordneten Gitter platziert. Die einzelnen Elemente lassen sich dann noch bei Bedarf in Größe, Ausrichtung und Design anpassen. Einen Auszug aus dem Quellcode zur Seite zeigt **Listing 1**.

Für ein besseres Verständnis kann man die App auf einem Emulator starten und daneben den

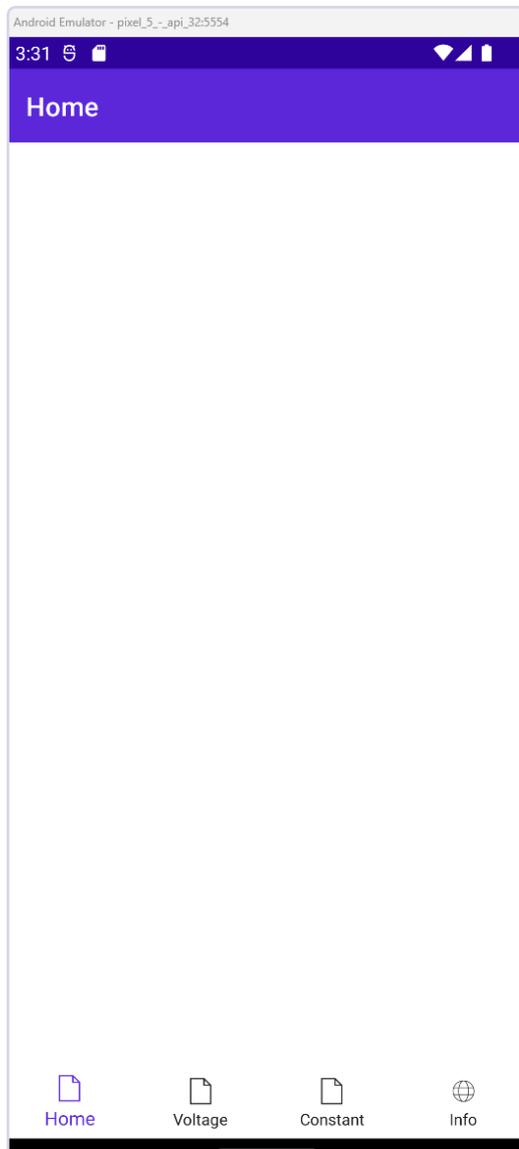


Bild 11. Erster Entwurf der App, ausgeführt auf einem Android-Emulator.

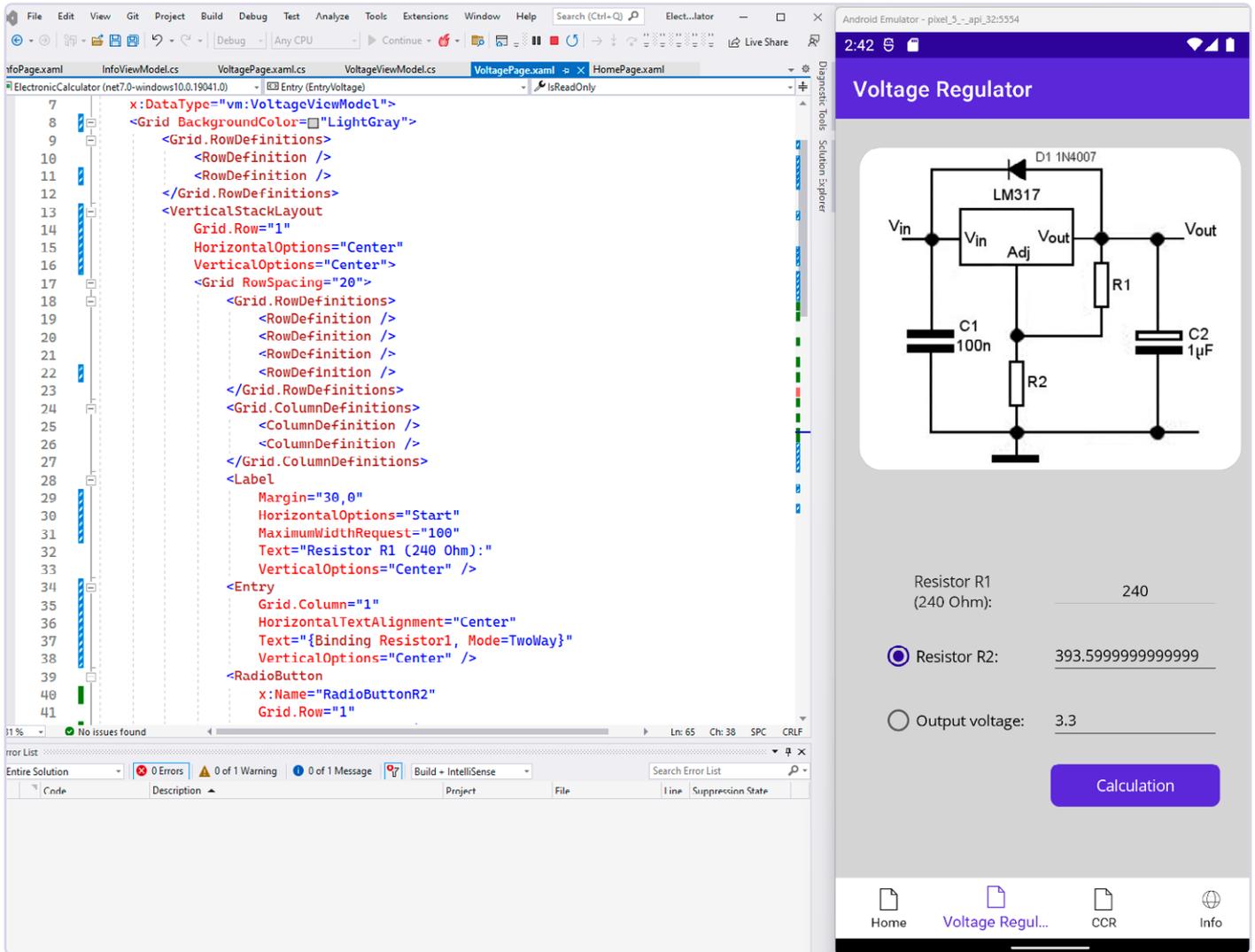


Bild 12. Hot-Reload für ein effizientes Erstellen des User-Interfaces.

Quellcode zu dieser Seite in Visual Studio auf dem Bildschirm anordnen. Nimmt man Änderungen am XAML-Code vor, dann werden diese unmittelbar in die laufende App, das heißt nach dem Speichern und ohne Neustart (!), übernommen. Das Feature nennt sich *Hot-Reload*. Es funktioniert auch auf einem echten mobilen Gerät und ersetzt einen grafischen Designer (Bild 12). So lassen sich Elemente im XAML-Code auskommentieren oder Eigenschaften anpassen und die Auswirkungen an der App unmittelbar nachvollziehen. Auf diese Weise werden alle Seiten der App erstellt. Sehen Sie sich dazu den Quellcode der View-Dateien (XAML) an. Die Seite *InfoPage* enthält lediglich ein *WebView*-Element. Hier können wir eine HTML-Datei anzeigen. Dazu haben wir einen statischen Link zu einer Webseite mit dem Datenblatt zum Spannungsregler hinterlegt. Alternativ wäre es möglich gewesen, ein Steuerelement zur Anzeige einer PDF-Datei zu integrieren.

Die Programmlogik erstellen

Hierbei geht es darum, die gewünschten Werte für den Widerstand, die Ausgangsspannung und so weiter zu berechnen. Die Kernkonzepte bestehen aus den folgenden Elementen:

➤ **Variablen:** Es erfolgt eine Definition von Variablen für die Speicherung der Eingabewerte. Das geschieht in den zugehörigen *ViewModel*-Dateien. Beispielsweise in der Datei (Klasse) *VoltageViewModel*:

```
[ObservableProperty]
private double voltage;

[ObservableProperty]
private double resistor1=240;

[ObservableProperty]
private double resistor2;

[ObservableProperty]
private bool voltageMode = true;
```

Man definiert die Variable mit Angabe der Sichtbarkeit (*private*), den Datentyp (*double*) und den Namen (*resistor1*). Durch den vorangestellten Zusatz *[ObservableProperty]* wird die Entwicklungsumgebung angewiesen, die lokale Variable automatisch in eine öffentliche Property zu überführen. Auf diesen Wert kann man dann auch von außerhalb der Klasse zugreifen.

➤ **Datenbindung:** Die Elemente des User-Interfaces, zum Beispiel die Dateneingabefelder (*Entry*) werden an die Properties im C#-Code gebunden. Das erfolgt direkt in der zugehörigen XAML-Datei. Ein Beispiel:



```
<Entry
x:Name="EntryR2"
Grid.Row="1"
Grid.Column="1"
MinimumWidthRequest="150"
Text="{Binding Resistor2, Mode=TwoWay}"
VerticalOptions="Center" />
```

Dabei handelt es sich um die Definition des Texteingabefeldes (Entry) für den Widerstandswert R2. Die Eigenschaft `Text` wird mittels Binding an die definierte Property (siehe eben erfolgte Ausführungen) gebunden. Der Zusatz `Mode = TwoWay` besagt, dass Änderungen im Eingabefeld an die Variable (nach einer Eingabe des Nutzers) und Änderungen an der Variable (nach einer Berechnung) jeweils automatisch an die andere Seite weitergereicht werden.

- > **Befehle:** Dazu wird im Quellcode eine Methode zur Berechnung definiert, zum Beispiel für die Ausgangsspannung oder den Wert des Widerstandes:

```
[RelayCommand]
private void Calculate()
{
    if (voltageMode)
    {
        Voltage = 1.25 * (1 + Resistor2 / Resistor1);
    }
    else
```

```
{
    Resistor2 = Resistor1 * (Voltage / 1.25 - 1);
}
}
```

Durch den vorangestellten Zusatz `[RelayCommand]` kann die Methode als so genanntes *Command* direkt aus der XAML-Datei, in diesem Fall über den Button, aufgerufen werden. Dazu wird die Eigenschaft `Command` gebunden.

```
<Button
Grid.Row="3"
Grid.Column="1"
Command="{Binding CalculateCommand}"
Text="Calculation" />
```

Damit haben wir die wesentlichen Funktionen der App beschrieben. Studieren Sie für ein besseres Verständnis auch den Quellcode in Visual Studio und experimentieren Sie.

Das Ergebnis

Das Ergebnis ist eine App für die mobilen Systeme, zunächst dargestellt für Android. Man kann zwischen den Registerkarten umschalten und die Berechnung nachvollziehen. Ebenso lässt sich das Datenblatt anzeigen. Zunächst startet man die App auf einem Emulator, dann kann man ein echtes Smartphone über USB oder WLAN an den Entwicklungsrechner anschließen, den Entwicklermodus freischalten und die App auf diesem Gerät ausführen.

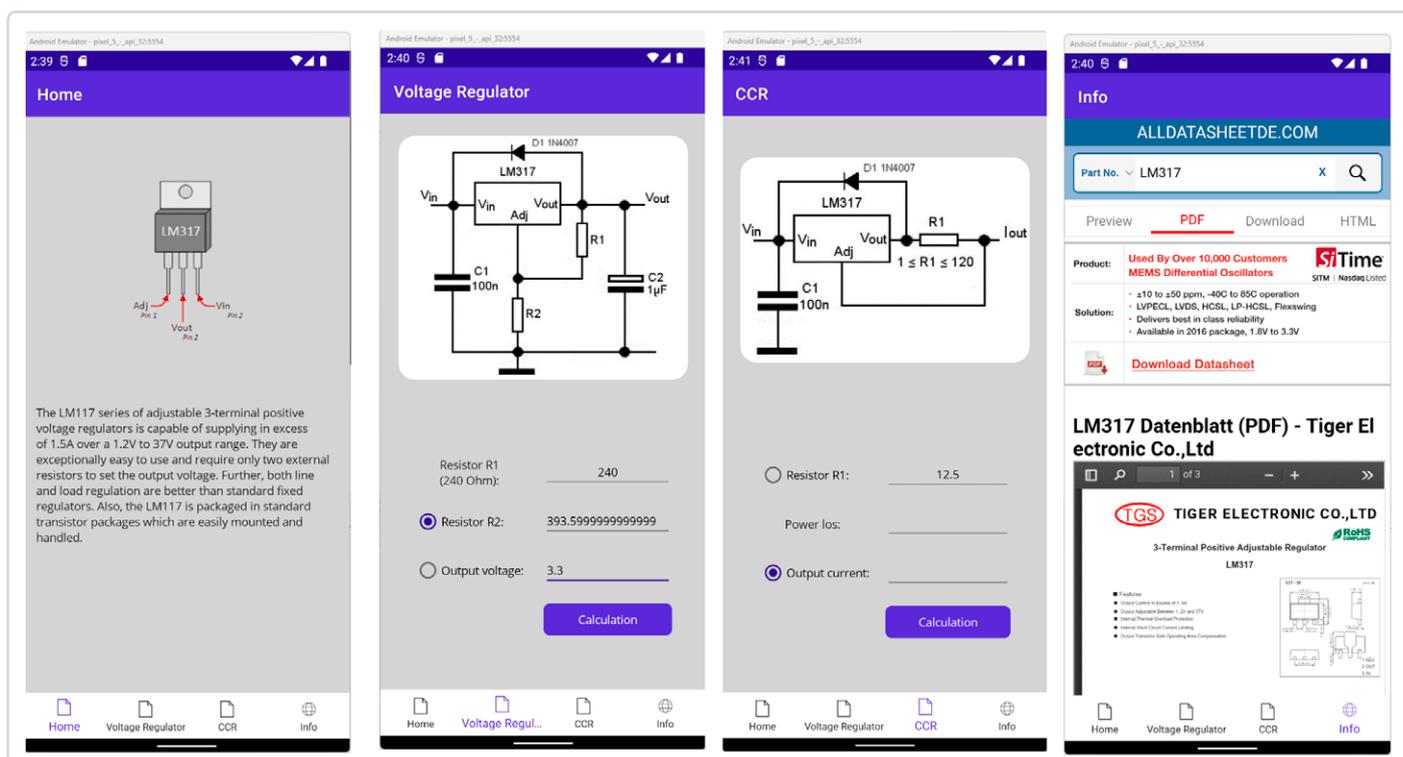


Bild 13. Die erste Version der App mit implementierter Rechenfunktion.

Andere Plattformen

Mit .NET MAUI erstellt man native Apps für die unterschiedlichen Plattformen. Das hier vorgestellte Layout ist auf eine mobile App zugeschnitten (Registerkarten mit begrenzten Inhalten). Wenn Sie eine Verbindung zu einem Mac-PC, inklusive einer aktuellen Version der Entwicklungsumgebung Xcode herstellen, dann können Sie direkt aus Visual Studio die App für iOS kompilieren und auf einem iPhone beziehungsweise iOS-Simulator ausführen. Vielleicht werden Sie dabei feststellen, dass kleinere Anpassungen am Design notwendig sind, zum Beispiel bezüglich der Farben. Hier gibt es dann zwei Ansatzpunkte: Definieren Sie so wenig statische und absolute Elemente wie möglich, das heißt, überlassen Sie dem System die Ausrichtung und das Design gemäß den Design-Richtlinien; oder definieren Sie Besonderheiten für jedes Zielsystem nach Bedarf.

Wenn Sie den Hintergrund einer Seite explizit einfärben und auf diesem Texteingabefelder platzieren, dann kann das auf einer Plattform gut aussehen, auf einer anderen Plattform hat das Textfeld jedoch gegebenenfalls ein anderes Styling, so dass es nicht passt. Daher gilt: Wir belassen es besser beim Standard oder nehmen Anpassungen für ausgewählte Plattformen vor. Dennoch können wir den gesamten Quellcode für das User-Interface und die Businesslogik teilen und ersparen uns in der Regel viel Arbeit.

Ergänzungen

Die App ist lediglich ein funktionierender Entwurf. Folgende Punkte müsste man ergänzen, bevor man die App an die Nutzerinnen und Nutzer verteilen kann:

- › Austausch aller Grafiken gegen skalierbare Vektor-Grafiken (.svg), die je nach Zielsystem automatisch ohne Verluste skalieren.
- › Festlegung aller Icons für die Tab-Bar am unteren Bildschirmrand. Die dafür notwendigen Grafiken werden im Ordner *Resources/Images* gespeichert und in der Datei *AppShell.xaml* zugewiesen.
- › Validierung der Eingabe für die Widerstände, Ausgangspannung und so weiter auf sinnvolle Werte (Wertebereich) und Implementierung einer Fehlerbehandlung bei Falscheingaben. Dieses erfolgt in den ViewModel-Dateien.
- › Durchführung von umfassenden Tests auf unterschiedlichen Geräten mit Emulatoren und physischen Geräten.
- › Erstellen der App-Packages für die Zielplattformen, zum Beispiel Android und iOS.
- › Anmeldung der Apps in den Stores.

Weitere Features von .NET MAUI

Mit diesem Beispiel haben wir nur einen kleinen Teil der Möglichkeiten beschrieben, welche .NET MAUI bietet, um eine App für mehrere Systeme zu erstellen. Auf folgende – durchaus auch gerade im Umfeld von Elektronik-Projekten interessante Möglichkeiten – soll noch explizit hingewiesen werden:

- › **Zugriff auf Gerätefunktionen und Sensoren:** .NET MAUI bietet von Haus aus einen Zugriff auf eine Vielzahl von Hardwarefunktionen. Dazu muss man in der Regel in den Plattformdateien die notwendigen Berechtigungen anfordern und kann auf die Gerätefunktionen dann mit einer universellen Schnittstelle zugreifen.
- › **Bibliotheken für Systemfunktionen:** Über externe Bibliotheken für .NET können weitere Funktionen bereitgestellt werden, beispielsweise ein Zugriff auf spezielle Hardware, Sensoren und so weiter. Die Bibliotheken werden von Drittanbietern und der Community bereitgestellt. Es lohnt sich, nach diesen zu suchen.
- › **Komponenten für die Benutzeroberfläche:** Eine Reihe von visuellen Komponenten wird standardmäßig von .NET MAUI angeboten, aber diese Auswahl wird laufend durch Drittanbieter und die Community erweitert.
- › **Bereitstellung:** Apps für die allgemeine Nutzung stellt man heute über die Stores der Betriebssystemhersteller zur Verfügung. Die Anwendungspakete lassen sich direkt aus Visual Studio erstellen. Beachten Sie dazu, dass man die App zunächst signieren muss, wenn man diese in den Store einstellen möchte. Für iOS und macOS ist dazu ein Mac-PC notwendig.

Ebenso vorteilhaft ist die Verbreitung von .NET als Basis dieses Entwicklungsansatzes. Viele Dienste, Services, APIs usw. welche man heute für die Entwicklung von moderner Software benötigt, unterstützen .NET direkt, indem beispielsweise eigene Bibliotheken, so genannte Software-Development-Kits, für dieses Framework zur Verfügung gestellt werden. Möchte man seine Daten beispielsweise in der Cloud speichern, dann ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass es dafür eine Bibliothek für .NET gibt.

Fazit

Mit .NET MAUI steht ein interessanter Ansatz zur Verfügung, um eine App für alle relevanten Zielsysteme zu erstellen. Dabei entstehen native Apps, die keinen Webbrowser zur Ausführung benötigen und einen Zugriff auf die Systemfunktionen ermöglichen. Gerade

WEBLINKS

[1] .NET MAUI : <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/maui>

[2] Visual Studio : <https://visualstudio.microsoft.com/>

[3] MVVM-Toolkit: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/maui/mvvm>

[4] GitHub-Repository des Autors: <https://github.com/veikkoEF/ElectronicCalculator>

[5] Video-Tutorials: <https://youtube.com/playlist?list=PLdo4fOcmZ0oUBAdL2NwBpDs32zwGqb9DY>



die Kombination aus nativer App und plattformübergreifender Programmierung, sowohl für den Desktop als auch für Mobilgeräte, macht den Ansatz für Elektronik-Projekte interessant. Etwas wehmütig macht die Tatsache, dass .NET MAUI im Moment noch nicht für Linux zur Verfügung steht, was auch den Raspberry Pi einschließen würde. Hier hat Microsoft die Verantwortung für die Unterstützung an die Community weitergegeben. Es braucht dazu wahrscheinlich noch etwas Geduld.

Wenn Ihr Interesse an .NET MAUI durch diesen Artikel geweckt wurde: Eine Einführung mit Hilfe von Video-Tutorials finden Sie unter [5]! [👉](#)

220442-02

Über den Autor

Dr. Veikko Krypczyk ist Softwareentwickler, Trainer und Fachautor und unter anderem auf die Themen WinUI 3 und .NET MAUI spezialisiert. In seiner Freizeit greift er auch immer wieder zum Lötkolben und baut die eine oder andere elektronische Schaltung. Er ist fasziniert von der Verbindung von Elektronik und Software, was ungeahnte Möglichkeiten eröffnet. Trainings und Workshops zum Thema .NET MAUI können Sie unter <http://larinet.com> anfragen und die Agenda vorab einsehen.

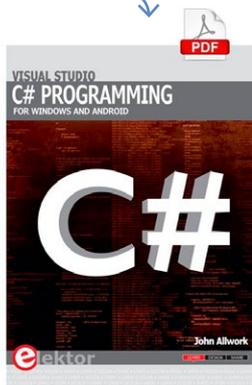
Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Dann senden Sie eine E-Mail an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.



Passendes Produkt

➤ John Allwork, *C# Programming for Windows and Android*, Elektor
E-Buch, PDF: www.elektor.de/18220



Anzeige


ELOPRINT
IHR SPEZIALIST FÜR
ADDITIV GEFERTIGTE PRÜFADAPTER







 **SCHNELL**

 **FLEXIBEL**

 **PREISWERT**

 **KOMPAKT**

 **WARTUNGS FREI**

 **ESD-SCHUTZ**

 **ELOPRINT**

Fabrikstraße 3 | 73728 Esslingen
 0711 50480481

info@eloprint.com
 www.eloprint.com

ChatMagLev

Der KI-
Weg der
Levitation



Bild 1. Die Hardware des MagLev-Projekts.

Von Peter Neufeld (Deutschland)

Der neue hilfreiche Hammer im Werkzeugkasten des Software-Bastlers ist ChatGPT. Diese KI kann nicht nur völlig neuen Code schreiben, sondern auch handgeschriebene Software erweitern und verbessern. In diesem Artikel probiert Elektor-Autor Peter Neufeld dies aus und kommt zu einigen Verbesserungen an seinen beliebten Projekten mit magnetischer Levitation.

Jeder, der Hard- und Softwareprojekte entwickelt, weiß, dass sie noch lange nach der Fertigstellung nachhallen. Auch wenn der Bau- und Programmierprozess Spaß macht und das resultierende Projekt recht gut funktioniert, gibt es in der Regel Funktionen, die man gerne ändern oder der Software hinzufügen möchte, doch scheint es, dass man aufgrund anderer Verpflichtungen nie die Zeit dafür findet.

Dies war auch beim Arduino-C++-Code für mein Projekt *Magnetische Levitation, die digitale Art* der Fall, das ich in Elektor [1], auf Elektor Labs [2] und auf meiner eigenen Website [3] beschrieben habe. Die Hardware funktioniert einwandfrei, aber der Arduino-Code war nur ein Schnellschuss, um zu zeigen, dass das Prinzip funktioniert. Aber „funktioniert“ und „schön“ sind zwei verschiedene Dinge!

Als ich anfing, mich ein wenig mit den Möglichkeiten der KI zu beschäftigen, kam schnell der Gedanke auf, ob ChatGPT [4] mir bei meinen Hobby-Softwareprojekten helfen könnte. In ersten Experimenten konnte ich sehr schnell kleine Codeschnipsel und auch komplette Arduino C++ Programme von ChatGPT generieren lassen, die meinen groben, in einfacher Fachsprache formulierten Vorgaben entsprachen. Am Ende kristallisierten sich zwei Ansätze heraus, mein Hobby mit KI zu unterstützen:

1. Erweiterung bestehender Programme: Ist es möglich, bereits laufenden Arduino C++ Code mit zusätzlichen Softwarefunktionen zu erweitern, indem man den alten Code und spezifische Fragen an ChatGPT übergibt?
2. Völlig neuer Code: Kann ein komplett neues ausführbares Arduino C++ Programm von ChatGPT generiert werden, indem eine Aufgabe als beinahe konversationelle Funktionsbeschreibung an die KI übergeben wird?

Ich habe beide Ansätze an meinem ESP32-basierten Projekten „Magnetische Levitation“ getestet. **Bild 1** zeigt zur Erinnerung den Hardwareaufbau und **Bild 2** die damalige Schaltung.

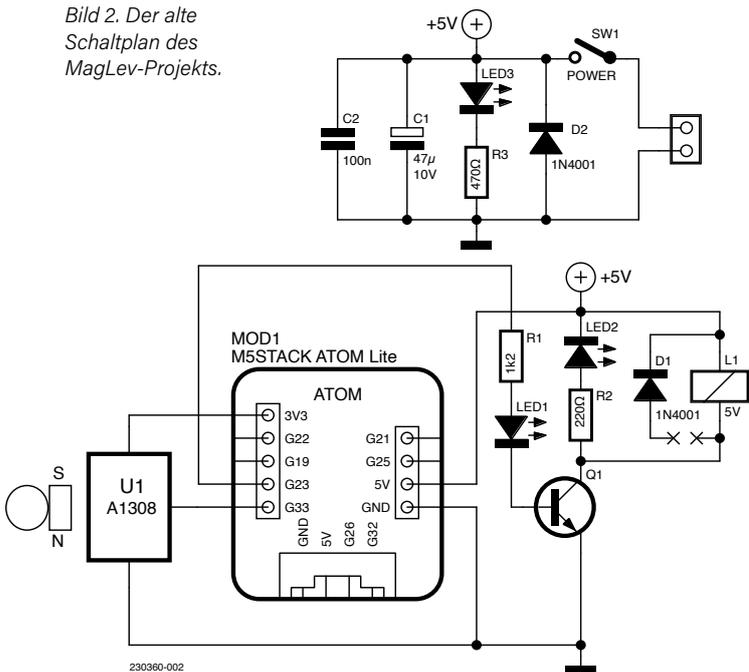
Um mein Ergebnis vorwegzunehmen: Für mich als Gelegenheits- und Hobbyprogrammierer öffnen sich plötzlich einige Türen, die vorher nur halb offen oder sogar ganz geschlossen waren. Das lässt die zweifelsohne dunklen Seiten des Einsatzes von KI-Systemen fast vergessen. Das gut funktionierende MagLev-System im Titelbild ist ein sichtbares Ergebnis von KI-gestützter Arbeit.

Ansatz 1: Erweiterungen des alten Programmcodes

Mein alter Code erfüllte die Aufgabe, war aber eher ein nacktes Skelett eines Programms, das noch auf einige nützliche Erweiterungen wartete. Ich habe versucht, meine Gedanken in einer einzigen, etwas umfangreicheren Frage und Aufgabe zusammenzufassen. Grundsätzlich aber erlaubt ChatGPT auch den Aufbau von Dialogen und die Bearbeitung von aufeinander folgenden Fragen. Hier ist meine halb-komplexe Frage an ChatGPT:

Der folgende Arduino C++ Code für einen ESP32 soll erweitert werden. Die Triggerwerte sollen nun mit dem Zeichen „T“ beziehungsweise „t“, gefolgt von CR und LF auf der seriellen Leitung jeweils für den Hysteresewert um 1 erhöht beziehungsweise verringert werden. Ein vierter Befehl speichert alle aktuellen Werte im nichtflüchtigen RAM. Sie werden beim Start verwendet, wenn sie vorhanden sind. Verwende die Preferences-Bibliothek. Die neuen Werte werden an der seriellen Schnittstelle angezeigt. Fügen Sie den notwendigen Programmcode ein und geben Sie das komplette Programm aus.

Bild 2. Der alte Schaltplan des MagLev-Projekts.



```

/*****
Magnetic Levitation object:
Lets a LEGO man, glued together with
a neobodymium magnet, float under a modified 5V relay
- SoC:      ESP32, very good:
M5Stack's ATOM LITE or ATOM MATRIX
- Electromagnet: Modified 5V-Relais HW-482
with 3V3/5V transistor input
- Sensor:   HALL-sensor A1302 or A1308
*****/

```

```

// int TRIGGER = 2740;
// Triggerlevel is set to a level where
// weight of payload is equal to the force
// between magnet and electromagnet
int TRIGGER = 2740;
// good for payload =
// 2 Neobdym-Magnets and a LEGO-Man
int HYST = 35;
// Hysteresis for trigger level
int HALL_PIN = 33;
// analog Signal from HALL-sensor at GPIO33
int HALL_VAL = 0;
int RELAIS_PIN = 23;
// GPIO23 to drive the transistor input of
// the modified 5V-relais that is used as electromagnet
int X = 0;

```

```

void setup(){
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAIS_PIN, OUTPUT);
  Serial.print("Magnetic Levitation: START ");
}

```

```

void loop(){
  HALL_VAL = analogRead(HALL_PIN);
  //read HALL-Sensor with
  //default 0-3.9V input >> 12bit
  if (HALL_VAL < (TRIGGER + X) ){
    digitalWrite(RELAIS_PIN, HIGH);
    // lift the payload
    X = HYST;
  }
  else{
    digitalWrite(RELAIS_PIN, LOW);
    // drop the payload
    X = 0 - HYST;
  }
}

```

Sie können meinen alten Code und die Antwort von ChatGPT mit dem verbesserten Code in **Listing 1** sehen.



Listing 1: Erweiterung des handgeschriebenen Codes.

Hier ist der erweiterte Code für das von Ihnen bereitgestellte Arduino C++ Programm:

```
#include <Preferences.h>
Preferences preferences;

int TRIGGER = 2740;
int HYST = 35;
int HALL_PIN = 33;
int HALL_VAL = 0;
int RELAIS_PIN = 23;
int X = 0;

void setup() {

  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAIS_PIN, OUTPUT);
  Serial.print("Magnetic Levitation: START ");

  // Load values from non-volatile RAM
  // Initialize preferences with a namespace
  preferences.begin("levitation", false);

  if (preferences.getBytesLength("config") > 0) {
    preferences.getBytes("config", &TRIGGER,
      sizeof(TRIGGER));
    preferences.getBytes("config", &HYST,
      sizeof(HYST));
  }

  preferences.end();
}

void loop() {

  if (Serial.available() >= 3) {
    String command = Serial.readStringUntil('\r');
    // Read the command until a
    // carriage return (\r) is encountered

    if (command.startsWith("T")) {
      TRIGGER++;
      Serial.println("Trigger increased: "
        + String(TRIGGER));
    }
    else if (command.startsWith("t")) {
      TRIGGER--;
      Serial.println("Trigger decreased: "
        + String(TRIGGER));
    }
    else if (command.startsWith("H")) {
      HYST++;
```

```
      Serial.println("Hysteresis increased: "
        + String(HYST));
    }
    else if (command.startsWith("h")) {
      HYST--;
      Serial.println("Hysteresis decreased: "
        + String(HYST));
    }
    else if (command.startsWith("S")) {
      // Store current values in non-volatile RAM
      // Initialize preferences with a namespace
      preferences.begin("levitation", false);
      preferences.putBytes("config", &TRIGGER,
        sizeof(TRIGGER));
      preferences.putBytes("config", &HYST,
        sizeof(HYST));
      preferences.end();
      Serial.println(
        "Values stored in non-volatile RAM.");
    }
  }

  HALL_VAL = analogRead(HALL_PIN);

  if (HALL_VAL < (TRIGGER + X)) {
    digitalWrite(RELAIS_PIN, HIGH);
    X = HYST;
  } else {
    digitalWrite(RELAIS_PIN, LOW);
    X = 0 - HYST;
  }
}
```

In diesem Code wird die Preferences-Bibliothek zum Speichern und Laden der Trigger- und Hysteresewerte in nichtflüchtigem RAM verwendet. Die neuen Befehle „T“, „t“, „H“ und „h“ werden verwendet, um den Auslöser zu erhöhen, den Auslöser zu verringern, die Hysterese zu erhöhen beziehungsweise die Hysteresewerte zu verringern. Der Befehl „S“ speichert die aktuellen Werte im nichtflüchtigen RAM. Diese Werte werden beim Start verwendet, wenn sie vorhanden sind. Bitte beachten Sie, dass Sie die Preferences-Bibliothek installieren müssen, damit dieser Code korrekt funktioniert. Sie finden die Bibliothek im Arduino Library Manager oder können sie von der Arduino-Website herunterladen.

Meine erste Reaktion: Wow! Das war einfach! Es scheint ein korrekter und logischer Code zu sein, der meine Anforderungen erfüllt und beim Testen super läuft! Ich hätte es vielleicht genauso geschrieben, aber nur, wenn ich mich mit der C++-Programmierung besser auskennen würde und/oder viel Beispielcode gesucht und angepasst hätte - und zweifellos hätte ich dafür einige Zeit gebraucht. Gut so! Lassen wir jetzt den alten Code weg und versuchen es mit ein paar klaren Sätzen ganz von vorne.

Ansatz 2: Völlig neuer Arduino C++ Code

Ermutig ging ich dann zu einer dialogischen Beschreibung meines verbesserungsbedürftigen Levitation-Aufbaus und der gewünschten Softwarefunktionen über ... und war sehr erstaunt, wie gut das Ergebnis war. Hier ist mein Dialog mit ChatGPT:

- *Der folgende Aufbau einer magnetischen Levitation soll mit einem ESP32 und einem C++ Arduino-Programm gesteuert werden. Pin 23 steuert einen Elektromagneten mit Eisenkern, Pin 33 ist der ADC-Eingang, an den ein analoger Hall-Sensor angeschlossen ist.*
- *Unterhalb des Elektromagneten befindet sich der analoge Hall-Sensor. Der Elektromagnet ist zunächst eingeschaltet. Ein Permanentmagnet nähert sich dem Elektromagneten und seinem Eisenkern sowie dem Hallsensor von unten. Der Magnet wird von dem Kern angezogen. Er soll jedoch in der Schwebe gehalten werden. Dazu soll der Elektromagnet kurzzeitig abgeschaltet werden.*
- *Der Hallsensor erzeugt im schwebenden Zustand eine Spannung von circa 2,4 V und ohne Dauermagnet etwa 1,5 V. Kommt der Magnet sehr nahe an den Sensor heran, steigt die Spannung auf maximal 3 V an.*
- *Während des Programmablaufs sollte der Triggerwert für den Schwebezustand über die serielle Schnittstelle (115200Baud, 8N1) in kleinen Schritten nach oben korrigiert werden, wenn „T“ empfangen wird. Mit „t“ wird er nach unten korrigiert.*
- *Zusätzlich sollte, wie der Triggerwert, auch ein Hysteresewert von ungefähr 50 mV eingestellt und per Tastaturbefehl entsprechend korrigiert werden.*
- *Die manuell korrigierten Werte von Trigger und Hysterese sollen beide ausgegeben werden, wenn sie verändert wurden. Beide Werte sollen bei Eingabe von „S“ oder „s“ sicher im nichtflüchtigen Speicher des ESP32 abgelegt werden. Nur wenn bereits alte Werte im nicht-flüchtigen Speicher vorhanden sind, sollten diese als Programmstartwerte verwendet werden.*
- *Beim Start sollte eine sehr kurze Beschreibung des Vorgangs angezeigt werden.*
- *Schreibe das Arduino-Programm sehr kompakt und mit möglichst wenig Kommentaren, damit es vollständig in der Antwort ausgegeben werden kann.*

In **Listing 2** ist die Antwort von ChatGPT zu sehen, die mich immer noch verblüfft und sogar ein wenig erschreckt.



Listing 2: Erstellter Code und Antwort von ChatGPT.

```
#include <EEPROM.h>

const int magnetPin = 23;
const int hallSensorPin = 33;
const int triggerAddr = 0;
const int hysteresisAddr = 1;

float triggerValue = 2.4;
float hysteresisValue = 0.05;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(magnetPin, OUTPUT);
  pinMode(hallSensorPin, INPUT);

  // Load trigger and hysteresis values
  // from EEPROM if available
  EEPROM.begin(2);
  float storedTriggerValue =
    EEPROM.readFloat(triggerAddr);
  float storedHysteresisValue =
    EEPROM.readFloat(hysteresisAddr);

  if (storedTriggerValue != 0x00)
    triggerValue = storedTriggerValue;

  if (storedHysteresisValue != 0x00)
    hysteresisValue = storedHysteresisValue;

  Serial.println("Magnetic Levitation Setup");
  Serial.println("Commands:");
  Serial.println("T - Increase trigger value");
  Serial.println("t - Decrease trigger value");
  Serial.println("H - Increase hysteresis value");
  Serial.println("h - Decrease hysteresis value");
  Serial.println(
    "S or s - Save trigger and hysteresis values");
  Serial.println();
  Serial.print("Trigger Value: ");
  Serial.println(triggerValue);
  Serial.print("Hysteresis Value: ");
  Serial.println(hysteresisValue);
}

void loop() {
  // Read the analog value from the Hall sensor
  int hallSensorValue = analogRead(hallSensorPin);

  // Check if magnet is close to the sensor
  if (hallSensorValue >
    (triggerValue + hysteresisValue) * 1023) {
    // Magnet is close, turn off the electromagnet
```

```

    digitalWrite(magnetPin, LOW);
}
else {
    // Magnet is far, turn on the electromagnet
    digitalWrite(magnetPin, HIGH);
}

// Check for serial input
if (Serial.available() > 0) {
    char command = Serial.read();
    if (command == 'T') {
        triggerValue += 0.01;
    }
    else if (command == 't') {
        triggerValue -= 0.01;
    }
    else if (command == 'H') {
        hysteresisValue += 0.01;
    }
    else if (command == 'h') {
        hysteresisValue -= 0.01;
    }
    else if (command == 'S' || command == 's') {
        // Save trigger and hysteresis values
        // to EEPROM
        EEPROM.writeFloat(triggerAddr, triggerValue);
        EEPROM.writeFloat(hysteresisAddr,
            hysteresisValue);

        EEPROM.commit();
        Serial.println(
            "Trigger and hysteresis values saved.");
    }

    // Output trigger and hysteresis values
    Serial.print("Trigger Value: ");
    Serial.println(triggerValue);
    Serial.print("Hysteresis Value: ");
    Serial.println(hysteresisValue);
}
}

```

Hinweis: Dies ist eine kompakte Version des Codes ohne umfangreiche Kommentare. Er setzt voraus, dass Sie die notwendigen Bibliotheken installiert haben, einschließlich der EEPROM-Bibliothek. Binden Sie diese Bibliothek in Ihre Arduino-IDE ein, wenn dies bisher noch nicht geschehen ist.

Danach habe ich den Bot gebeten, eine kurze Beschreibung des Codes zu Dokumentationszwecken zu geben. ChatGPT antwortete:

- Der bereitgestellte Code ist ein kompaktes, in C++ geschriebenes Arduino-Programm zur Steuerung eines Aufbaus zur magnetischen Levitation mit einem ESP32-Mikrocontroller. Der Aufbau besteht aus einem Elektromagneten mit einem Eisenkern und einem analogen Hall-Sensor.

- Beim Starten initialisiert das Programm die serielle Kommunikation mit einer Baudrate von 115200. Pin 23 wird zur Steuerung des Elektromagneten verwendet und Pin 33 ist als Analogeingang konfiguriert, um die Ausgangsspannung des Hall-Sensors zu lesen.
- Das Programm ruft die Trigger- und Hysteresewerte aus dem nichtflüchtigen Speicher (EEPROM) ab, wenn sie zuvor gespeichert wurden. Werden keine Werte gefunden, verwendet es die Standardwerte. Der Triggerwert stellt die Spannungsschwelle für das Ausschalten des Elektromagneten dar, der Hysteresewert definiert den Spannungsbereich, innerhalb dessen der Elektromagnet ausgeschaltet bleibt, auch wenn der Magnet etwas vom Sensor entfernt ist.
- Das Programm zeigt dann eine kurze Beschreibung des Betriebs und die verfügbaren Befehle auf dem seriellen Monitor an. Die Befehle ermöglichen die Einstellung der Trigger- und Hysteresewerte durch Erhöhen oder Verringern. Die aktualisierten Werte werden sofort auf dem seriellen Monitor angezeigt. Um die Trigger- und Hysteresewerte im nichtflüchtigen Speicher zu speichern, kann der Benutzer den Befehl „S“ oder „s“ eingeben. In der Hauptschleife liest das Programm den Analogwert des Hallsensors und vergleicht ihn mit dem Auslösewert plus dem Hysteresewert. Liegt der Sensorwert über diesem Schwellenwert, was bedeutet, dass sich der Magnet in der Nähe befindet, wird der Elektromagnet ausgeschaltet, indem Pin 23 auf Low gesetzt wird. Andernfalls, wenn der Magnet weit entfernt ist, wird der Elektromagnet eingeschaltet, indem Pin 23 auf High gesetzt wird.
- Das Programm prüft ständig, ob Befehle vom seriellen Monitor eingehen. Wird ein Befehl empfangen, passt es den Trigger- oder Hysteresewert entsprechend an. Wenn der Befehl „S“ oder „s“ eingegeben wird, werden die Trigger- und Hysteresewerte im nichtflüchtigen Speicher gespeichert.
- Die aktuellen Trigger- und Hysteresewerte werden bei jeder Änderung oder beim Programmstart an den seriellen Monitor ausgegeben.
- Dieses Programm bietet eine einfache und kompakte Lösung für die Steuerung einer Magnetschwebeanlage mit einem ESP32-Mikrocontroller.

Verbesserungen

So weit, so gut, aber alles kann immer noch optimiert werden. Ich habe den Bot gebeten, mir drei kurze Vorschläge zur Verbesserung des Regelkreises zu machen. ChatGPT gab mir folgende Vorschläge zurück:

- 1. PID-Regelung implementieren: Erwägen Sie die Implementierung eines PID-Regelkreises (Proportional-Integral-Differential), um die Stabilität und Reaktionsfähigkeit des Magnetschwebesystems zu verbessern. Durch die Verwendung von Rückmeldungen des Hallsensors und die Anwendung geeigneter Regelverstärkungen kann der PID-Regler die Leistung des Elektromagneten dynamisch anpassen, um die gewünschte Schwebedistanz aufrechtzuerhalten. Dies verbessert die Fähigkeit des Systems, mit Störungen umzugehen, und sorgt für eine gleichmäßigere Steuerung.
- 2. Verwenden Sie ein gleitendes Durchschnittsfilter: Um Rauschen und Schwankungen in den Messwerten des Hallsen-

- sors zu reduzieren, sollten Sie ein Filter für den gleitenden Mittelwert anwenden. Anstatt sich nur auf einzelne Messwerte zu verlassen, berechnen Sie den Durchschnittswert über ein kleines Fenster der letzten Messwerte. Auf diese Weise erhalten Sie eine stabilere und zuverlässigere Messung, um die Position des Magneten zu bestimmen und die Leistung des Elektromagneten entsprechend anzupassen.
- 3. Integrieren Sie eine Sicherheitszeitüberschreitung: Fügen Sie einen Sicherheits-Timeout in den Regelkreis ein, um zu verhindern, dass der Elektromagnet ständig mit Strom versorgt wird, wenn der Magnet oder der Sensor abwesend ist oder ausfällt. Wenn das System innerhalb eines bestimmten Zeitraums keinen gültigen Wert des Hallsensors empfängt, kann es davon ausgehen, dass etwas nicht stimmt, und entsprechende Maßnahmen ergreifen, zum Beispiel den Elektromagneten abschalten oder einen Fehlerzustand auslösen.
- Wenn Sie diese Vorschläge umsetzen, können Sie die Leistung des Regelkreises, die Störfestigkeit und die Sicherheitsfunktionen verbessern, was zu einer präziseren und zuverlässigeren Steuerung der Magnetschwebetechnik führt.

Ich gebe zu, dass meine anfänglichen Fragen nach einigen längeren Dialogen entstanden sind, in denen ich auch lernen musste, wie ich meine Fragen in einer für die ChatGPT-KI verständliche Weise formulieren kann.

Im Übrigen: Die Antworten von ChatGPT wurden oft einfach abrupt abgebrochen. Eine konkrete Anfrage nach einer möglichen Begrenzung der Länge der Antwort führte zu einem sehr wortreichen und hier sehr verkürzten „Ja, 2048 Zeichen“. Deshalb habe ich auch Hinweise für eine geeignete Verkürzung der Antwort aufgenommen.

Wenn man sich aber ein wenig mit den Reaktionen des Systems vertraut gemacht hat, sind die Ergebnisse auch nach einem einzigen etwas komplexeren Block von Fragen, Anforderungen und Anweisungen sehr gut. Gezielte Abfragen fügen weitere, auch umfangreichere Funktionen hinzu.

Wenn das Ergebnis technisch falsch erscheint, ist es interessant zu sehen, dass dieselbe Frage, die mehrmals wiederholt wurde, jedes Mal anders beantwortet wird, was sich in einem manchmal völlig anders strukturierten, aber meist funktionalen Code manifestiert. Es ist dann äußerst hilfreich, vielleicht sogar notwendig, den generierten Code zumindest gut lesen zu können und zu überprüfen, ob alle Anforderungen eingehalten werden. ChatGPT lässt schnell den einen oder anderen Aspekt außer Acht!

Vorschläge der KI, die dem eigenen Fachwissen widersprechen, können gezielt in Frage gestellt werden. Dies führt oft zu entschuldigenden Formulierungen und verbesserten Vorschlägen. Manchmal aber vermittelt ChatGPT Ihnen neues technisches Wissen!

Alles in allem hat sich die Verwendung von ChatGPT zur Erstellung von Software auf der Grundlage einer Problembeschreibung in natürlicher Sprache als sehr nützlich erwiesen. Vielleicht nicht als Hammer, wie oben behauptet, sondern eher als ein fein abstimmbares und kontrollierbares Werkzeug.

Selbst ein weniger erfahrener C++-Programmierer wie ich kann jetzt schnell komplexere Programme (-teile) erstellen, für die ich früher zumindest deutlich länger gebraucht hätte. Die Dokumentation ist jetzt sehr einfach. Und man kann sogar eine Art tieferes Verständnis für die gestellte Aufgabe erwarten, was den Horizont für unerwartete,

technisch fundierte und detaillierte Randbereiche öffnet.

Dennoch: Derzeit ist KI, insbesondere ChatGPT, ein hilfreiches, aber keineswegs unfehlbares Werkzeug für den Gelegenheitsprogrammierer, und es braucht immer noch einen menschlichen Operator! Ich bin sehr gespannt auf weitere Projekte mit diesem neuen Toolset in meinem Werkzeugkasten.

Einige Probleme beheben

Nun, als ob meine Schlussfolgerungen noch eines weiteren Beweises bedürften: Beim Testen des generierten Codes habe ich festgestellt, dass es zwei Probleme im Code gibt. OK ... fragen wir die Maschine danach:

- *Korrigiere zwei Probleme:*
- *1. Der Wert des Hall-Sensors wird immer mit einem festen Wert ohne Hysterese verglichen.*
- *2. Dieser Code speichert die Werte nicht korrekt im NV-RAM meines ESP32. Verwende eine andere Methode zum Speichern und Lesen.*
- *Schreibe den obigen Code sehr kompakt und mit deutlich weniger Kommentaren, damit er vollständig in der Antwort ausgegeben werden kann.*

ChatGPT antwortete höflich „Entschuldigung für das Versehen“ (!) und gab mir den Code in **Listing 3** zurück.



Listing 3: Erweiterter Code.

```
#include <Preferences.h>

const int magnetPin = 23;
const int hallSensorPin = 33;
const char* prefNamespace = "levitation";
const char* triggerKey = "trigger";
const char* hysteresisKey = "hysteresis";

float triggerValue = 2.4;
float hysteresisValue = 0.05;

Preferences preferences;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(magnetPin, OUTPUT);
  pinMode(hallSensorPin, INPUT);

  preferences.begin(prefNamespace, false);
  if (preferences.getBool("initialized", false)) {
    triggerValue =
      preferences.
getFloat(triggerKey, triggerValue);
    hysteresisValue =
      preferences.getFloat(hysteresisKey,
                           hysteresisValue);
```

```

}
else {
  preferences.putBool("initialized", true);
}

Serial.println("Magnetic Levitation Setup");
Serial.println("Commands:");
Serial.println("T - Increase trigger value");
Serial.println("t - Decrease trigger value");
Serial.println("H - Increase hysteresis value");
Serial.println("h - Decrease hysteresis value");
Serial.println(
  "S or s - Save trigger and hysteresis values");
Serial.println();
Serial.print("Trigger Value: ");
Serial.println(triggerValue);
Serial.print("Hysteresis Value: ");
Serial.println(hysteresisValue);
}

void loop() {
  int hallSensorValue = analogRead(hallSensorPin);

  if (hallSensorValue > (triggerValue * 1023) &&
    digitalRead(magnetPin) == HIGH) {
    digitalWrite(magnetPin, LOW);
  }
  else if (hallSensorValue <
    ((triggerValue - hysteresisValue) *
    1023) && digitalRead(magnetPin) == LOW)
  {
    digitalWrite(magnetPin, HIGH);
  }

  if (Serial.available() > 0) {
    char command = Serial.read();
    if (command == 'T') {
      triggerValue += 0.01;
    } else if (command == 't') {
      triggerValue -= 0.01;
    } else if (command == 'H') {
      hysteresisValue += 0.01;
    } else if (command == 'h') {
      hysteresisValue -= 0.01;
    } else if (command == 'S' || command == 's') {
      preferences.putFloat(triggerKey,
        triggerValue);
      preferences.putFloat(hysteresisKey,
        hysteresisValue);
      preferences.end();
      Serial.println(
        "Trigger and hysteresis values saved.");
    }

    Serial.print("Trigger Value: ");

```

```

Serial.println(triggerValue);
Serial.print("Hysteresis Value: ");
Serial.println(hysteresisValue);
}
}

```

Diese Version behebt die beiden genannten Probleme: Der Code bezieht nun die Hysterese in den Vergleich ein, indem er den Zustand des magnetPin in beiden Bedingungen überprüft. Wenn sich der Elektromagnet bereits im gewünschten Zustand befindet, wird die Bedingung zum Ein- oder Ausschalten nicht ausgewertet. Anstatt die EEPROM-Bibliothek zu verwenden, nutzt dieser Code die vom ESP32-Kern bereitgestellte Preferences-Bibliothek. Die Einstellungen werden im nichtflüchtigen Speicher des ESP32 mit Hilfe der Preferences-API gespeichert. Die Werte werden gespeichert, wenn der Befehl „S“ oder „s“ empfangen wird und während des Setups aus dem Speicher gelesen. Der Preferences-Namensraum und die Tasten werden für das Levitations-Setup festgelegt, um Konflikte mit anderen Voreinstellungen zu vermeiden.

Nun, das hat jetzt sehr gut funktioniert. Beim Testen entdeckte mein menschliches Gehirn allerdings noch ein weiteres, eher kleines Problem! Aber jetzt, in diesem verbesserten Zustand, bin ich zu dem Schluss gekommen, dass dies auch ein unvollendetes Softwareprojekt bleiben sollte. Also beendete ich den Chat und ging mit meiner Frau einen Kaffee trinken. ◀

RG – 230360-02

Über den Autor

Mehr als 40 Jahre lang durfte sich Peter Neufeld um die Datenverarbeitungs-, Elektro- und Gebäudeleittechnik sowie die Kommunikations- und Medientechnik anderer Leute kümmern. Jetzt findet er wieder Zeit, sich der praktischen Anwendung von klassischer Elektronik und modernen Mikrocontrollern in Hobbyprojekten zu widmen. Einige dieser Projekte hat er in Elektor Labs oder in seinem Blog beschrieben.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Dann wenden Sie sich bitte per E-Mail an den Autor unter peter.neufeld@gmx.de oder an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.

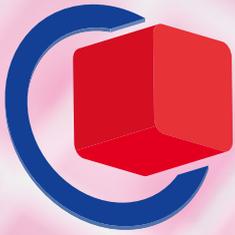


Passendes Produkt

> **Elektor 37-in-1-Sensor-Kit**
www.elektor.de/16843

WEBLINKS

- [1] Peter Neufeld, „Magnetische Levitation, die digitale Art“, Elektor 9-10/2021: www.elektormagazine.de/magazine/elektor-182/59856
- [2] „Magnetic Levitation - The Digital Way“, Elektor Labs: <https://elektormagazine.de/labs/magnetic-levitation-the-digital-way>
- [3] MagLev auf PeterNeufeld.wordpress.com: <https://peterneufeld.wordpress.com/category/magnetic-levitation>
- [4] ChatGPT: <https://chat.openai.com>



embeddedworld

Exhibition & Conference



CONNECTING THE
EMBEDDED COMMUNITY

9. – 11.4.2024



Get your
free ticket now!

embedded-world.de/code

Use the voucher code **ew24ELE**

Medienpartner

Markt & Technik
Die unabhängige Wochenzeitschrift für Elektronik

Elektronik

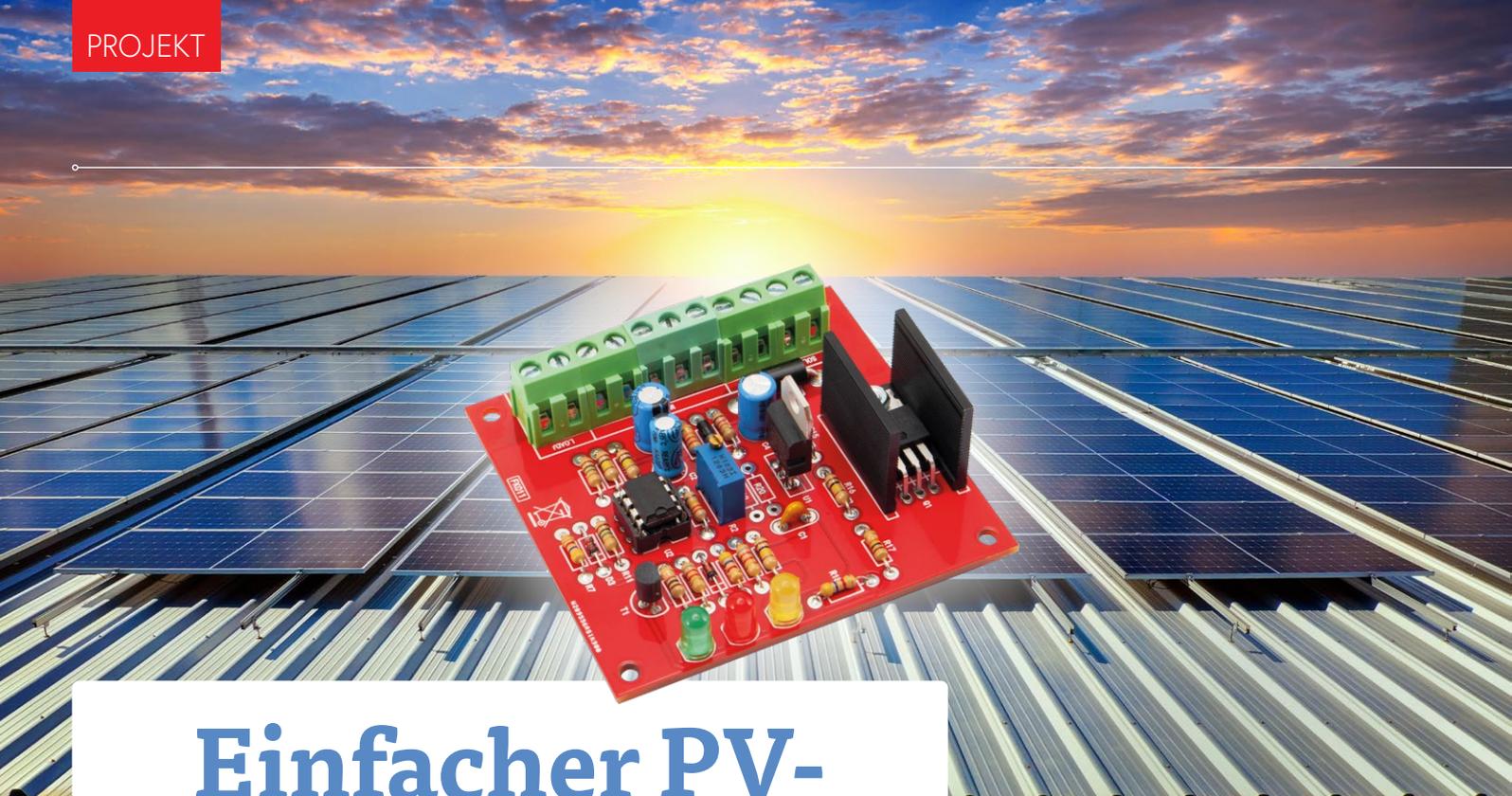
computer &
automation

Elektronik
automotive

Elektronik
•medical

elektroniknet.de

NÜRNBERG / MESSE



Einfacher PV-Energieregler

Bauen Sie ein voll funktionsfähiges PV-Energiemanagement-System

Quelle: Freepik/tawatchai07

Electronica In
WWW.ELETRONICA.IT

Von Boris Landoni (Italien)

Wenn Sie schon lange einmal ein komplettes Energiemanagementsystem ausprobieren wollten, dies aber aufgrund der überkomplizierten Natur der bestehenden Entwürfe nicht getan haben, finden Sie hier ein solches System, mit dem Sie beginnen können. Es ist einfach, aber komplett mit allem, was Sie brauchen. Dazu gehören ein Batterieladeregler und ein Spannungsregler auf der Lastseite.

Für ein gutes solarbetriebenes elektrisches Inselsystem reicht es nicht aus, nur ein Photovoltaik-Panel (PV) und einen Spannungsregler (wenn überhaupt) zu haben, sondern es werden auch eine oder mehrere Batterien benötigt, um die Energie während des Tageslichts zu speichern und sie bei geringem Sonnenlicht oder bei Dunkelheit zurückzugeben. Die meisten mit Photovoltaik-Panels betriebenen Geräte müssen unabhängig von der Sonneneinstrahlung und der Höhe der Bestrahlungsstärke stabil arbeiten können, so dass die Batterie, die wir heute üblicherweise

als Akku bezeichnen, auf jeden Fall benötigt wird, um Strom zu liefern, wenn das Panel dies nicht mehr tut. Darüber hinaus werden Batterien oft auch aus einem etwas weniger intuitiven, aber greifbaren Grund benötigt: Sie können sie weitaus höhere Ströme liefern als Solarmodule (und dabei gleichzeitig von den Modulen geladen werden).

Um ein Beispiel zu nennen: Ein Solarmodul, das einen Strom von 1 A liefern kann, ist allein nicht in der Lage, ein Gerät zu versorgen, das einen höheren Strom benötigt, sagen wir, 2 A. Wenn jedoch eine Pufferbatterie, die höhere

Ströme liefern kann, an diesen Stromkreis angeschlossen wird, stellt sich das Problem nicht: Das PV-Panel liefert weiterhin einen Strom von 1 A, während die Batterie (während der Entladung) das „fehlende“ 1 A ergänzt, so dass die angeschlossene Last korrekt mit 2 A versorgt wird. In diesem Fall kann man natürlich nicht erwarten, dass das versorgte Gerät unbegrenzt funktioniert, da der vom Solarpanel erzeugte Strom geringer ist als der von der Last aufgenommene Strom. Unter diesen Bedingungen hängt die Autonomie des Systems von der Batteriekapazität ab. Um auf das vorherige Beispiel zurückzukommen: Unter den beschriebenen Betriebsbedingungen hält eine 13-Ah-Batterie das System für eine (theoretische) Dauer von 13 Stunden am Laufen. Damit ein solches Steuersystem stabil und in der Lage ist, eine Last konstant zu versorgen, müssen in der Entwurfsphase die Größe des PV-Panels, die Batteriekapazität, die Stromaufnahme der Last und die von der Sonneneinstrahlung abhängigen Parameter sorgfältig bewertet werden. Dieses Projekt, dessen grundlegender Schalt-

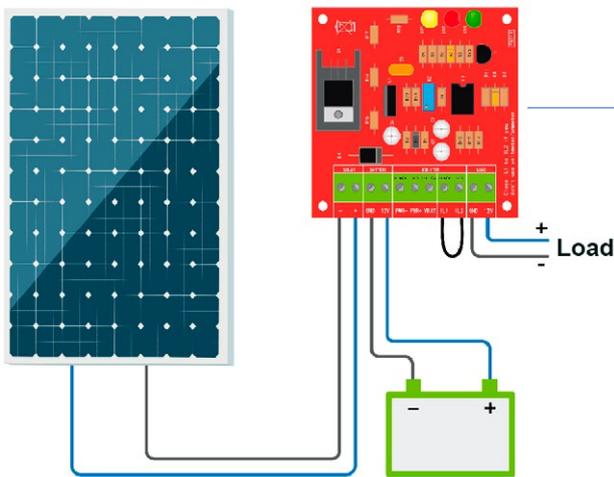


Bild 1. Gesamte Verdrahtung des PV-Leistungsreglers. Der Regler stoppt den Ladevorgang, wenn die Batterie vollständig geladen ist.

Technische Eigenschaften

Eingangsspannung (Solarmodul): max. 12...28 V	Stromaufnahme des Reglers: max. 20 mA
Max. Eingangsstrom (Solarmodul): 5 A	Signal-LEDs zur Anzeige von Ladezustand, unzureichender Sonneneinstrahlung und leerer Batterie
Max. Ausgangsstrom: 25 A	Ein externer Energiezähler kann angeschlossen werden

plan in **Bild 1** dargestellt ist, regelt nicht nur die Ladung der Batterie und hält sie, wenn diese ihre Ladeschlussspannung erreicht, sondern steuert auch die Last, indem es die Batterie zuschaltet, wenn ihre Spannung hoch genug ist, um die nachgeschaltete Last am Laufen zu halten, und sie abschaltet, wenn die Spannung zu niedrig wird. Kurz gesagt, unser Laderegler ist ein kompletter Energiemanager für den Betrieb einer Insel-Photovoltaikanlage und kann Lasten steuern, deren Gesamtstromaufnahme 5 A nicht übersteigt. Es ist jedoch

jederzeit möglich, diesen Wert zu erhöhen, indem man einfach die Diode D4 durch einen anderen Typ mit höheren Stromwerten ersetzt. Die in **Bild 2** gezeigte Schaltung besteht kurz gesagt aus einem Stromregler mit einem Komparator und einem MOSFET (Q1), der den überschüssigen Strom „absorbiert“. Das Ganze wird durch einen Komparator ergänzt, der es ermöglicht, das Panel an die Batterie anzuschließen und von ihr zu trennen, wenn diese ihren vollen Ladezustand erreicht.

Die Schaltung

Damit der MOSFET leitet, muss eine positive Spannung an sein Gate angelegt werden. Dies geschieht, indem der Transistor T1 durchgeschaltet wird, der am Gate von Q1 angeschlossen ist. Wenn T1 und der MOSFET leiten, leuchtet die gelbe LED LD1, die damit anzeigt, dass das Solarpanel die Batterie lädt. Der PNP-Transistor T1 (ein BC557) ist im Normalfall durchgeschaltet, da seine Basis über die Widerstände R8 und R9 mit Masse verbunden ist. Um den leitenden Zustand zu beenden,

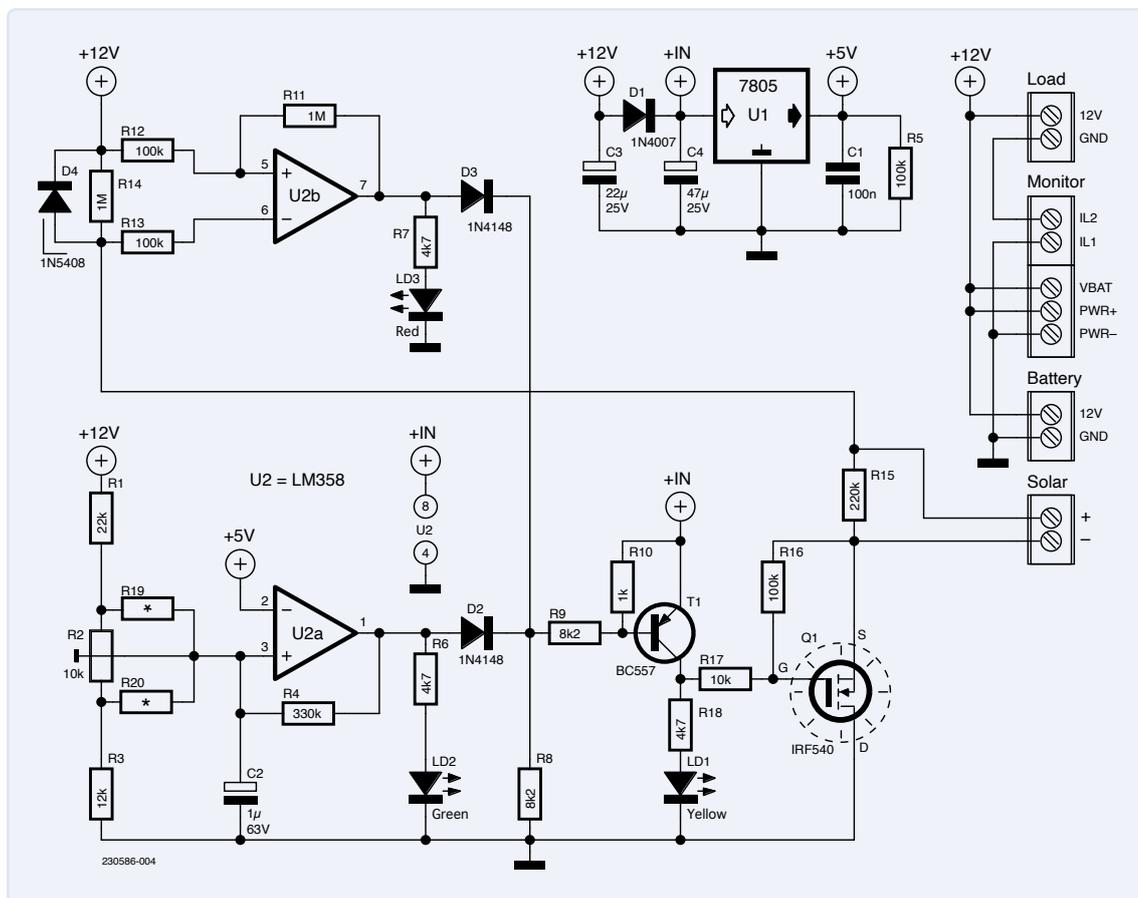


Bild 2. Schaltbild der Schaltung.

muss mindestens einer der Ausgänge der beiden Operationsverstärker einen hohen Pegel einnehmen. Die Ausgänge sind über die Dioden D2 und D3 auf die Basis von T1 geschaltet. Um zu sehen, wann dies der Fall ist, betrachten wir zunächst die Schaltung des ersten Operationsverstärkers (U2a). Die vom Spannungsregler U1 gelieferten 5 V sind mit dem invertierenden Eingang (Pin 2) verbunden, während ein Teil der an den Batteriekabeln anliegenden Spannung über das Trimpoti R2 an den nichtinvertierenden Eingang (Pin 3) angelegt wird. Wenn diese Spannung die an Pin 2 anliegende übersteigt, geht der Ausgang des Operationsverstärkers (der normalerweise low ist) auf high, wodurch T1 sperrt und der MOSFET abgeschaltet wird. Als Nebeneffekt wird gleichzeitig die grüne LED LD2 aktiviert. Offensichtlich sollte das Trimpoti R2 so eingestellt werden, dass der Opamp umschaltet, wenn die Batteriespannung einen Wert von 14,2...14,4 V erreicht (typisch für eine voll geladene Bleibatterie).

Der Widerstand R4 sorgt für eine leichte Hysterese, um unterschiedliche Schaltschwellen (von high auf low und von low auf high) zu erreichen und damit zu verhindern, dass der Operationsverstärker schwingt. In der Praxis muss die Batterie ein Potenzial von 14,4 V erreichen, damit der Operationsverstärker von low auf high umschaltet, während die Batteriespannung bei einem hohen Ausgangspegel auf 13,5 V fallen muss, damit der Operationsverstärker von high auf low kippt. Dieser Komparator stoppt also den Ladestrom, wenn die Batterie vollständig geladen ist.

Sehen wir uns nun an, was beim anderen Operationsverstärker passiert, dessen Ausgang high ist, wenn die Spannung des Solarpanels niedriger ist als die Batteriespannung. In diesem Fall wird der MOSFET ausgeschaltet und die rote LED LD3 leuchtet. Umgekehrt wird der MOSFET eingeschaltet und die LED ist dunkel, wenn Sonnenlicht auf das PV-Panel trifft und seine Spannung hoch genug ist, um die Batterie zu laden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die gelbe LED (LD1) anzeigt, dass das PV-Panel die Batterie lädt, und die rote LED (LD3) signalisiert, dass die Sonneneinstrahlung nicht ausreicht, um die Ladeschaltung zu aktivieren. Die grüne LED (LD2) leuchtet, wenn die Batterie vollständig geladen ist. Dieser Laderegler kann mit PV-Panels verwendet werden, die einen maximalen Strom von 3...5 A liefern. Es ist möglich, den Bereich zu erhöhen, indem für D4 eine Diode mit höherem Vorwärts-

strom von bis zu 10...20 A montiert wird. Der Tripode U1, der vom Filterkondensator C1 und der Verpolschutz-Diode D1 unterstützt wird, liefert eine ausreichend stabile Spannung für den invertierenden Eingang des Operationsverstärkers U2a, so dass der Ladezustand der Batterie sicher erkannt wird.

An dieser Stelle ist es angebracht, den Zweck der beiden MONITOR-Klemmen auf der rechten Seite des Schaltplans zu erläutern. An dieser Stelle kann ein handelsübliches Energiemessgerät eingeschleift werden, um die von der Batterie an die Last abgegebene Spannung und den Strom auf einem Display anzuzeigen. In diesem speziellen Fall haben wir uns nach mehreren Versuchen für den EPT33V3AOLED [1] entschieden, einen kleinen Panelzähler mit blauem OLED-Display. Er ist in der Lage, eine Reihe von elektrischen Parametern wie Spannung, Strom, Leistung, Stromverbrauch, Kapazität, Umgebungstemperatur und Zeit anzuzeigen. Dieses Modul wird mit Kabeln geliefert, die in **Bild 3** bereits von hinten in die Klemmblöcke auf der Platine eingesteckt sind (siehe **Tabelle 1**).

Das Energiemessgerät ist nicht unbedingt erforderlich, aber ein sehr nützliches Zubehör. Je nachdem, ob es angeschlossen ist oder nicht, ändern sich die Anschlüsse der MONITOR-Klemmen. Wenn Sie das Panelmeter einbauen, schließen Sie die Kontakte gemäß des in Bild 2 dargestellten Schaltplans wie folgt an:

- 2: (PWR+) mit dem dünnen, roten Draht (+Vcc) des Messgeräts
- 3: (VBAT, das mit PWR+ verbunden ist) an die gelbe Leitung des Messgeräts
- 4: (IL1) an das dicke, schwarze Kabel des Messgeräts (Shunt)
- 5: (IL2) an das dicke, rote Kabel des Zählers (Shunt)

Wenn Sie hingegen keinen Energiezähler hinzufügen möchten, müssen Sie der in

Bild 1 dargestellten Grundinstallation folgen und die Klemmen IL1 und IL2 überbrücken, um den Lastanschluss (Load) auf der Masse-seite zu schließen. Als Alternative zu dem hier vorgeschlagenen Gerät können Sie auch jedes handelsübliche DC-Energiemessmodul verwenden.

Praktischer Aufbau

Wir wenden uns nun dem Aufbau der Schaltung zu, für die eine besonders kleine Platine entworfen wurde und deren Designdateien von [1] heruntergeladen werden können. Wenn Sie die Platine in Ihren Händen halten, montieren Sie zunächst die Widerstände und Dioden. Beim Einsetzen der Leuchtdioden kann die Kathode bei (neuen) LEDs in der Regel durch den längeren Anschlussdraht und die Abflachung am Bund des Gehäusesockels identifiziert werden. Löten Sie dann die 8-polige Fassung für den Doppel-Opamp ein, dann die beiden Trimpotis und den Transistor T1, wobei Sie darauf achten müssen, dass letzterer wie in Bild 1 ausgerichtet ist: Die flache Seite muss dem Widerstand R10 zugewandt sein. Dann sind die Kondensatoren an der Reihe, beginnend mit den nicht gepolten Kondensatoren und abschließend mit den Elkos, bei denen die Polarität beachtet werden muss.

Stecken Sie dann den Leistungs-MOSFET mit passend vorgebogenen Anschlüssen in die entsprechenden Löcher, der mit seiner Metalllasche auf einem kleinen, ganz gewöhnlichen U-förmigen Kühlkörper des Typs ML-026 liegen sollte - nachdem Sie ein wenig Wärmeleitpaste aufgetragen haben - und befestigen Sie Transistor und Kühlkörper mit einer M3-Schraube und einer Mutter an der Platine. Erst danach sollte man den Transistor verlöten, so dass mechanische Spannungen vermieden werden. Der Spannungsregler kann hingegen aufrecht montiert werden, wobei er mit der Metallseite zum MOSFET zeigt.

Damit ist die Schaltung fertig aufgebaut.

Tabelle 1: Verdrahtung des Energiezähler-Anzeigemoduls.

Leitung	Platinen-Anschlussklemme	Funktion
Rot (dünn)	+Vcc	Positive Versorgung des Moduls
Schwarz (dünn)	GND	Negative Versorgung des Moduls
Gelb	Vin	Spannungsmesseingang
Rot (dick)	I+	Strommesseingang
Black (thick)	I-	Strommessausgang

Systemdimensionierung

Es müssen einige Überlegungen angestellt werden, um Solarmodule und Batterien an die Schaltung anzupassen.. Zunächst ist es notwendig, den gesamten Energiebedarf der Last zu kennen. Nehmen wir als Beispiel an, dass wir einen Raum mit vier LED-Lampen (12 V / 10 W) bei einem Dauerbetrieb von 4 h beleuchten, was eine Momentanleistung von 40 W und in 4 h eine Energieaufnahme von 0,16 kWh bedeutet. An diesem Punkt können wir schon einmal die Größe der 12-V-Batterie wählen, die in diesem Fall eine Kapazität von mindestens $160 \text{ Wh} / 12 \text{ V} = 13,3 \text{ Ah}$ haben sollte. In der Praxis ist es ratsam, eine Batterie mit mindestens der doppelten Kapazität zu verwenden, um eine Leistungsreserve zu haben.

Nun müssen wir die Art der Panels auswählen, die unsere Batterie aufladen sollen: Hier kommt ein Parameter namens ESH (Equivalent Sun Hours) ins Spiel. Dieser Parameter gibt die durchschnittliche Anzahl der Sonnenstunden an, in denen die örtliche maximale Einstrahlung erreicht wird. In der Regel bezieht sich diese Zahl auf die Winterperiode; für den Sommer erhält man sie durch Verdoppelung. In Italien liegt der ESH-Wert zwischen 1,5 und 3; das bedeutet, dass unsere Panels in Norditalien im Winter durchschnittlich 1,5 h und im Sommer 3 h pro Tag mit voller Leistung arbeiten. In Süditalien liegen diese Werte im Winter bei 3 h und im Sommer bei 6 h. Wenn man einen Durchschnittswert von 3 h für sieben Tage annimmt und davon ausgeht, dass wir für jedes Wochenende etwa 180 Wh benötigen, sollte das Panel eine maximale Leistung von etwa 8,5 W liefern können ($180 \text{ Wh} / 7 \text{ d} \times 3 \text{ h ESH}$). Es ist ratsam, die maximale Leistung mindestens doppelt so hoch anzusetzen. In unserem Fall haben wir zwei Panels mit je 12 W verwendet, also insgesamt 24 W. Wenn Sie diese Berechnungen für Ihren Standort durchführen wollen, liefert [2] sehr nützliche Hinweise.

Jetzt muss nur noch der Typ des Photovoltaikmoduls ausgewählt werden: amorph oder kristallin. Panels des ersten Typs haben einen deutlich geringeren Wirkungsgrad (etwa 5...6 %), funktionieren aber auch bei schwachem Licht gut, während kristalline Panels, wenn sie nicht gut beleuchtet sind, nicht einmal ein einziges Milliampere liefern! Letztere weisen aber einen besseren Wirkungsgrad auf und sind auch bei Platzproblemen zu empfehlen. Da die Kosten pro Watt ähnlich sind, scheint es ratsam, im Norden amorphe und im Süden mono- oder polykristalline Panels einzusetzen.

Wenn man diese einfachen Konzepte in die Praxis umsetzt, kann man die Eigenschaften des Systems nach Belieben verändern. An dieser Stelle müssen wir nach den Panels und der Batterie ein paar Worte über eine weitere Komponente verlieren, die für den Aufbau eines echten Systems unerlässlich ist: den Laderegler. Diese Schaltung überwacht den Ladezustand der Batterie und unterbricht die Verbindung zu den Panels, wenn diese voll geladen ist. Dadurch werden eine Überhitzung des Akkumulators und damit eine Verringerung der Anzahl seiner Arbeitszyklen verhindert. Natürlich stellt die Schaltung die Verbindung zu den Panels wieder her, sobald der Ladezustand der Batterie unter einen bestimmten Wert sinkt.

Stecken Sie noch U2 in seine Fassung, wobei Sie darauf achten müssen, dass der Opamp so wie in den Bilder gezeigt ausgerichtet ist und auch keine Anschlussdrähte verbogen wurden. Werfen Sie noch einen kritischen und intensiven Blick auf die Schaltung, um zu prüfen, ob alles in Ordnung ist. Danach ist das Gerät einsatzbereit.

Die Platine verfügt über eine Klemmenleiste, an der alle Anschlüsse zusammenlaufen; Sie sollten Wert auf mechanisch stabile Klemmterminals legen, da die angeschlossenen Kabel recht dick sind und die Klemmen mechanisch entsprechend belasten können. Der Kabel-Querschnitt sollte mindestens 1 mm^2 pro 2,5 A betragen, und zwar für den Anschluss des Solarpanels, der Batterie und auch der Last. Da der gesamte Laststrom auch durch die IL1-IL2-Verbindung fließt, wenn kein Energiezähler angeschlossen ist, sollte das Überbrückungskabel ebenso stark sein. **Bild 4** zeigt die vollständige Verdrahtung des Systems.

Die Funktion der Schaltung und ihr Abgleich kann auf dem Labortisch erfolgen, zunächst ohne die Batterie und das Photovoltaik-Panel. An Stelle der Batterie schließt man ein Netzgerät an, das eine Gleichspannung von genau 14,4 V liefert. In diesem Zustand muss die rote LED LD3 leuchten, da die Spannung des nicht vorhandenen Panels gleich null ist. Die entsprechende Stufe sperrt den MOSFETs, so dass die gelbe LED LD1 definitiv aus ist. Die grüne LED hingegen kann ein- oder ausgeschaltet sein, je nachdem, wie das Trimpoti R2 eingestellt ist. Wenn die LED leuchtet, drehen Sie die Schraube des (Mehrgang-) Trimpotis, bis die LED erlischt, und dann langsam in die entgegengesetzte Richtung, bis LD2 wieder leuchtet. Wenn die LED jedoch bereits aus ist, drehen Sie die Schraube von R2, bis die LED leuchtet.

Schließen Sie nun die Batterie an und verwenden Sie das Netzteil anstelle des Solarpanels, indem Sie den Plus- und Minuspol an die Klemmen SOLAR+ und SOLAR- anschließen. Erhöhen Sie die Spannung allmählich, bis die rote LED verlöscht und die gelbe LED aufleuchtet. Letztere leuchtet nicht, wenn die grüne LED ebenfalls eingeschaltet ist. Beim verwendeten Netzgerät die Strombegrenzung auf 1 A bis 2 A eingestellt sein, um einen zu hohen Ladestrom zu vermeiden. Schließlich ist darauf zu achten, dass die Kabel einen für die Stromstärke angemessenen Durchmesser haben, um die Verluste durch die elektrische Verkabelung zu minimieren.

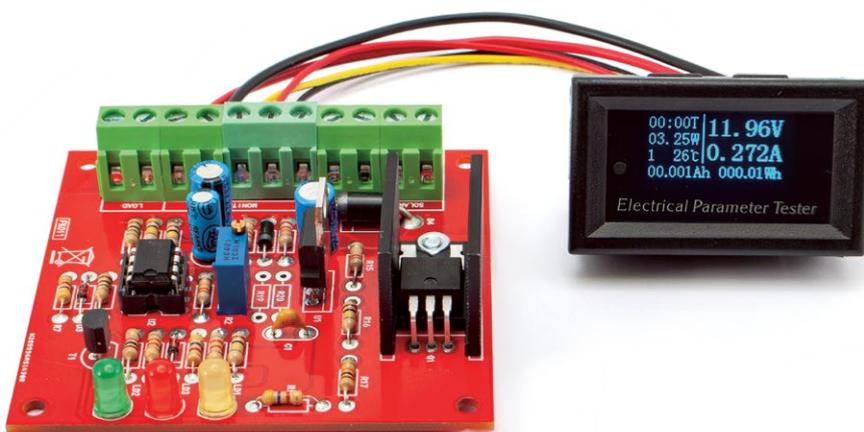
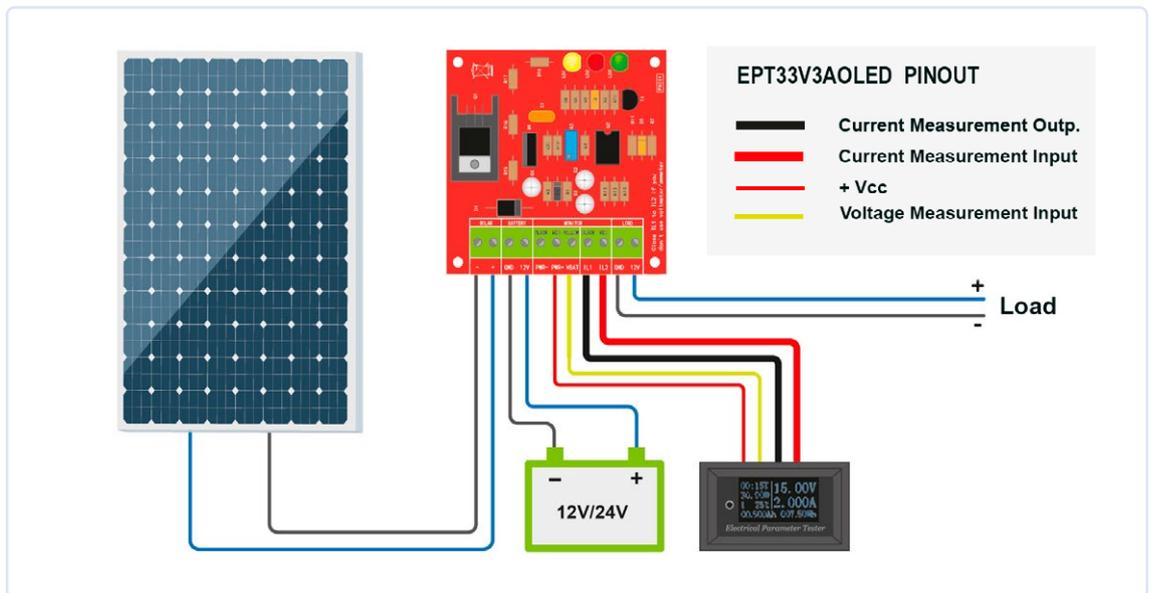
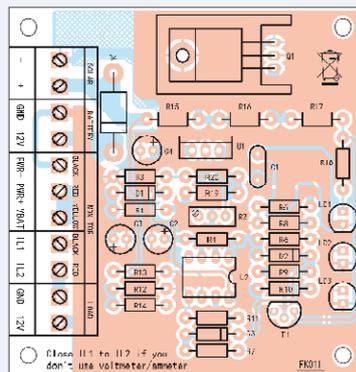
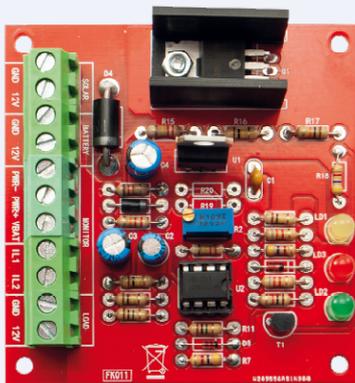


Bild 3. Der Prototyp mit dem Energiemeter.

Bild 4. Verbindung des PV-Leistungsreglers mit dem Energiemessmodul.



Stückliste



Widerstände:

- R1 = 22 k
- R2 = 10 k Mehrgang-Trimpoti
- R3 = 12 k
- R4 = 330 k
- R5, R12, R13, R16 = 100 k
- R6, R7, R18 = 4k7
- R8, R9 = 8k2
- R10 = 1 k
- R11, R14 = 1 M
- R15 = 220 k
- R17 = 10 k
- R19, R20 = siehe Text

Kondensatoren:

- C1 = 100 n, keramisch
- C2 = 1 μ , 63 V, Elko
- C3 = 22 μ , 25 V, Elko
- C4 = 47 μ , 25 V, Elko

Halbleiter:

- D1 = 1N4007
- D2, D3 = 1N4148
- D4 = 1N5408
- LD1 = LED, gelb, 5 mm
- LD2 = LED, grün, 5 mm
- LD3 = LED, rot, 5 mm
- U1 = 7805
- U2 = LM358
- T1 = BC557
- Q1 = IRF540

Außerdem:

- 2x4-polige DIL IC-Fassung
- Kühlkörper ML26
- 1x Schraube M3 x 10
- 1x Mutter M3
- 4x 2-polige Schraubklemme, Raster 5 mm
- 1x 3-polige Schraubklemme, Raster 5 mm
- Platine (69 mm x 72 mm)

Einige abschließende Hinweise

Diese Schaltung kann die Aufladung einer Batterie durch ein Photovoltaik-Panel regeln und gleichzeitig die Versorgung aller Geräte, die mit einer Gleichspannung von 12 V betrieben werden, übernehmen. Benötigen Geräten jedoch 230-V-Wechselstrom, muss ein Wechselrichter eingesetzt werden. Für den Fall, dass Ihre Geräte empfindlich auf die Wellenform oder auf Funkstörungen reagieren, empfehlen wir Ihnen, einen echten Sinus-Wechselrichter anstelle der traditionellen (und heute etwas veralteten) Geräte mit einem einfachen Rechteckausgang zu wählen. Wir möchten Sie daran erinnern, dass die Batterie und das Solarpanel in Bezug auf ihre Spannung kompatibel sein müssen. Wenn das Panel 12...20 V liefert (die typische Klemmenspannung eines nominellen 12-V-Panels), sollten Sie eine 12-V-Batterie verwenden. Die Kapazität der Batterie sollte sich nach der Stromstärke richten, die das Panel liefern kann, und nach der Zeit, in der es dazu in der Lage sein dürfte, denn es hat keinen Sinn, Batterien mit hoher Kapazität zu verwenden, wenn sie im Betrieb nie vollständig geladen werden können. Bei dem hier vorgeschlagenen Projekt handelt es sich um ein komplettes Energiemanagementsystem für eine kleine Insel-Photovoltaikanlage mit Energiespeicherung durch eine 12-V-Batterie. Die Kombination mit einem oder mehreren Photovoltaikmodulen und einer Batterie bietet es Energieautonomie für ein kleines elektrisches Gleichstromsystem oder, durch Hinzufügen eines Wechselrichters auch Wechselstrom. Wenn man zwei oder mehr Solarmodule parallel schalten möchte, sollte

man zum Ausgleich der Spannungsunterschiede zwischen den Modulen Leistungsdioden in Reihe mit jedem Modul schalten, deren Vorwärtsstrom (I_f) über dem von jedem Modul maximal lieferbaren Wert liegt. Es wird empfohlen, die Diode an den Pluspol jedes

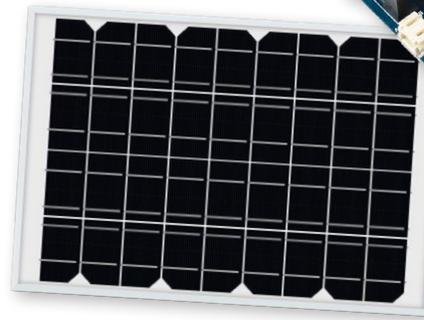
Panels anzuschließen, wobei die Anode in Richtung des Pluspols und die Kathode in Richtung der Klemme SOLAR+ zeigt. Die Minusleitungen sollten dann parallel an die Klemme SOLAR- angeschlossen werden. ◀

RG – 230586-02



Passende Produkte

- > **Waveshare polykristallines Solarmodul (18 V, 10 W)**
www.elektor.de/20489
- > **Waveshare Solarenergie-Management-Modul**
www.elektor.de/20488



Über den Autor

Boris Landoni ist Elektronikexperte und ein echter Enthusiast auf diesem Gebiet. Sein Engagement hat ihn zum Geschäftsführer von Elettronica In gemacht, der populärsten Elektronikzeitschrift Italiens. Er ist auch der Kurator von open-electronics.org, einer Plattform für Open-Source-Projekte, die Enthusiasten und Fachleute zusammenbringt. Außerdem ist er technischer Leiter von Futura Elettronica, einem führenden Unternehmen für die Lieferung elektronischer Komponenten für die Welt der Maker und der Profis.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schreiben Sie bitte an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.

WEBLINKS

- [1] Downloads für diesen Artikel: <https://elektormagazine.de/230586-02>
- [2] Solar-Atlas: <https://globalsolaratlas.info/>

YOUR KEY TO CELLULAR TECHNOLOGY



**WÜRTH
ELEKTRONIK**
MORE THAN
YOU EXPECT

WE are here for you!

Nehmen Sie teil an unseren kostenlosen Webinaren: www.we-online.com/webinars

Adrastea-I ist ein Cellular-Modul mit hoher Leistung, extrem niedrigem Stromverbrauch, Multi-Band LTE-M und NB-IoT-Modul.

Trotz seiner kompakten Größe verfügt das Modul über integriertes GNSS, integrierten ARM Cortex M4 und 1 MB Flash-Speicher für die Entwicklung von Benutzeranwendungen. Das Modul basiert auf dem leistungsstarken Sony Altair ALT1250 Chipsatz. Das von Deutsche Telekom zertifizierte Adrastea-I-Modul ermöglicht eine schnelle Integration in Endprodukte ohne zusätzliche branchenspezifische Zertifizierung (GCF oder Betreiberzulassung, sofern eine Deutsche Telekom IoT-Konnektivität (SIM-Karte) verwendet wird. Für alle anderen Betreiber bietet das Modul bereits die branchenspezifische Zertifizierung (GCF) an.

www.we-online.com/gocellular

- Kompakte Größe
- Lange Reichweite/weltweite Abdeckung
- Sicherheit und Verschlüsselung
- Multiband Unterstützung

© eiSmart

Kaltkathoden-Röhren

Bemerkenswerte Bauteile

Von David Ashton (Australien)

Kaltkathodengeräte gehören zur Spezies der Gasentladungsröhren, die ein Gas mit niedrigem Druck zur Lichterzeugung verwenden. Das einfachste Kaltkathodengerät ist die Neon- oder Glimmlampe, die häufig als Anzeigelampe verwendet wird. Andere gängige Kaltkathodengeräte sind Neonreklamen, Spannungsreglerrohre und Gasentladungsröhren zum Überspannungsschutz.

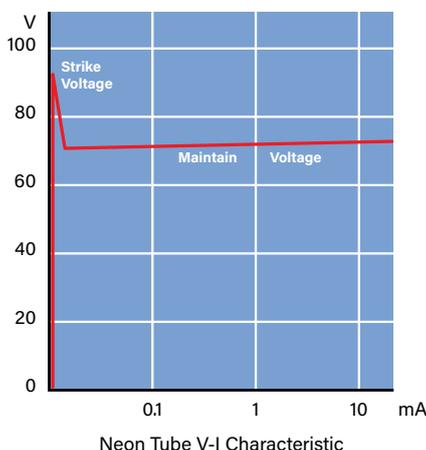


Bild 1. Typische U-I-Kennlinie einer Neonröhre.

Wenn zwei Elektroden in einem mit Neon oder einem anderen Gas unter niedrigem Druck gefüllten Glaskolben angebracht sind und eine ausreichende Spannung an die Elektroden angelegt wird, ionisiert das Gas irgendwann und leuchtet um die negative Elektrode (Kathode) herum - orange bei Neon, andersfarbig bei anderen Gasen. Diese Bauteile werden „Kaltkathoden“-Geräte genannt, weil die Kathode nicht erhitzt wird, im Gegensatz zu thermionischen Röhren. Auf der Grundlage dieses Effekts wurde eine Vielzahl von Bauteilen entwickelt, von denen ich Ihnen hier einige vorstellen möchte.

Das einfachste Kaltkathodengerät ist eine Neonlampe vulgo Glimmlampe. Diese (und Glühbirnen für niedrigere Spannungen) waren in der Zeit vor den LEDs die bevorzugten Betriebsanzeigen. Sie werden bei etwa 90 V ionisiert (die Zünd- oder Durchbruch-Spannung) und leuchten nach der Ionisierung bei einer Spannung von mindestens etwa 65 V weiter (die Haltespannung). Dieser Unterschied führt zu einem negativen Widerstandsbereich in der U/I-Kennlinie des

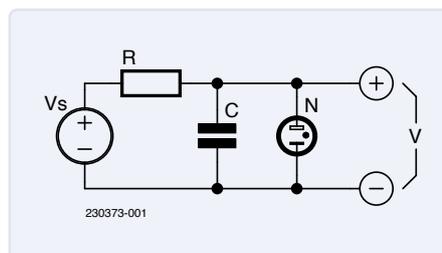


Bild 2. Relaxationsoszillator mit einer Neonlampe.

Bauelements (**Bild 1**), so dass ein Relaxationsoszillator mit einer Neonlampe, einem Widerstand und einem Kondensator gebaut werden kann (**Bild 2**). Wenn Sie eine Glimmlampe als Einschaltanzeige für Wechselspannung verwenden wollen, müssen Sie aufgrund dieses negativen Widerstands einen Festwiderstand in Reihe schalten - üblicherweise werden für 230 V Netzspannung 220 k Ω genommen. Neonlampen besitzen symmetrische Elektroden, und wenn man sie mit Wechselspannung betreibt, leuchten beide Elektroden (**Bild 3**).

Die bekannten Neonreklamen an Orten wie dem Piccadilly Circus und dem Times Square nutzen den gleichen Effekt. Dabei werden geformte Röhren mit Neon oder einem anderen Gas gefüllt, manchmal mit einer kleinen Menge Quecksilber, und es können verschiedene Farben erzeugt werden. Noch mehr Farben sind möglich, wenn man eine fluoreszierende Phosphorbeschichtung auf der Innenseite des Glases aufdampft. Diese langen Röhren benötigen etwa 30.000 V, um zu leuchten!

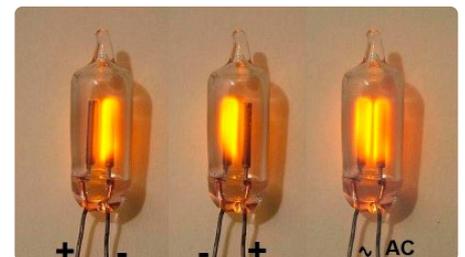


Bild 3. Glimmlampen, Betrieb an Gleichspannung unterschiedlicher Polarität (links, Mitte) und an Wechselspannung (rechts). Quelle: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neonlamp3.JPG>, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>



Bild 4. Nixie-Röhre, bei der die Kathode „4“ leuchtet. Normalerweise wird ein rotes oder oranges Filter verwendet, um den Kontrast zu erhöhen. Quelle: Georg-Johann Lay mit einer leichten Bearbeitung durch Richard Bartz (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ZM1210-operating_edit2.jpg), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>



Bild 5. Blitzröhre. Die Auslöseelektrode ist der mittlere Draht, der zu zwei Bändern an der Außenseite des Glases führt. Quelle: Jaycar Electronics (Australien). Verwendung mit Genehmigung.

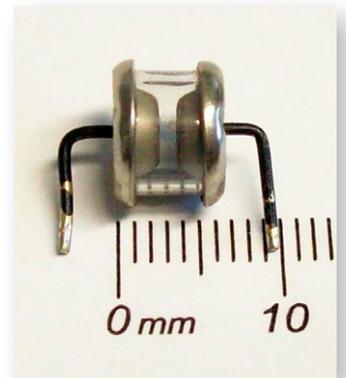


Bild 6. Gasentladungs-Überspannungsableiter. Quelle: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gasableiter.jpg>

Ebenfalls aus der alten Röhrenzeit stammen die Spannungsregleröhren. Dabei handelt es sich um speziell konstruierte Neonröhren (in der Regel aber mit anderen Gasen gefüllt), die nach dem „Anzünden“ eine sehr konstante Spannung aufrechterhalten. Beliebte Modelle waren die OA2 (150 V), OB2 (106 V) und 85A2 (85 V). Diese Geräte waren die Äquivalente der heutigen Zener- beziehungsweise Avalanche-Dioden. Die Betriebsströme reichten von 1 mA bis etwa 40 mA.

Heutzutage immer noch beliebt sind Nixie-Röhren (Bild 4). Diese Vorläufer der nun allgegenwärtigen Siebensegmentanzeigen waren nichts anderes als Neonröhren mit zehn Kathoden, die jeweils die Form einer Ziffer hatten. Sie lieferten sehr natürlich aussehende Anzeigen, und es gibt Leute (mich eingeschlossen), die sie schön finden und den modernen Displays vorziehen.

Heute noch weit verbreitet sind Blitzröhren (Bild 5), die in Kamerablitzern und Stroboskopen zum Einsatz kommen. Als Füllgas wird in der Regel Xenon verwendet. Sie haben zwei Hauptelektroden und eine kleinere Auslöseelektrode in der Nähe einer oder beider Hauptelektroden. Wenn einige hundert Volt an den Hauptelektroden anliegen, führt ein Hochspannungsimpuls an der Auslöseelektrode dazu, dass das Gas zwischen den beiden Hauptelektroden ebenfalls ionisiert

wird, wodurch der helle weiße Blitz entsteht, den wir alle kennen und lieben...

Ein weiteres weit verbreitetes Gerät sind Gasentladungs-Überspannungsableiter (Bild 6). Dabei handelt es sich um Bauteile mit zwei oder drei Anschlüssen, die jeweils aus einem Glas- oder Keramikrohr mit einer Elektrode an jedem Ende und einer in der Mitte bestehen.

Die mittlere Elektrode ist in der Regel geerdet, und die beiden äußeren Elektroden sind zum Beispiel mit einer Telefonleitung verbunden. Jede Spannung, die über der Durchbruchspannung liegt, führt dazu, dass das Gerät anschlägt und die Spannung im Falle einer Überspannung begrenzt.

Es gibt noch eine ganze Reihe anderer Kaltkathodengeräte. Leuchtstofflampen verwenden zwar in der Regel eine beheizte Kathode, es gibt aber auch Kaltkathoden-Typen, vor allem für die Hintergrundbeleuchtung von Handy-Displays. Quecksilberlichtbogen-Gleichrichter wurden früher zur Stromgleichrichtung verwendet, und Thyatronen sind der Vorläufer der heutigen SCRs. Dekatronen waren Zählrohre, die für die Zehnerteilung verwendet wurden, lange bevor 7490 und 4017 auch nur flüchtige Gedanken in den Köpfen ihrer späteren Erfinder waren. Aber diese Bauteile könnten (und werden hoffentlich) einen eigenen Artikel rechtfertigen. ◀

RG - 230373-02

Über den Autor

David Ashton wurde in London geboren, wuchs in Rhodesien (heute Simbabwe) auf, lebte und arbeitete erst in Simbabwe und heute in Australien. Er interessiert sich für Elektronik, seit er „kniehoch zu einem Grashüpfer“ war. Rhodesien war nicht das Zentrum des Elektronikuniversums, so dass das Anpassen, Ersetzen und Schnorren von Bauteilen zu den Fähigkeiten gehörte, die er sich früh aneignete (und auf die er immer noch stolz ist). Er leitete ein Elektroniklabor, arbeitete aber hauptsächlich im Telekommunikationsbereich.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Beitrag? Bitte schreiben Sie an das Elektor-Team unter redaktion@elektor.de.

Aus dem Leben gegriffen



Nostalgie

Von Ilse Joostens (Belgien)

In seinem Buch über die Titanic-Katastrophe schrieb Jack Thayer, dass sich die Welt seither immer schneller verändert hat, mit immer weniger Frieden, Zufriedenheit und Glück. In der heutigen schnellen und komplexen Gesellschaft fühlt es sich an, als säßen wir alle in einem riesigen Mixer, der ständig auf eine höhere Geschwindigkeit eingestellt wird. Wir alle arbeiten hart, erledigen mehr in weniger Zeit und versuchen, mehr Ergebnisse zu erzielen. Wenn Sie nicht ständig beschäftigt sind und einen übervollen Terminkalender haben, sind Sie entweder verdächtig oder faul, oder vielleicht beides. Es geht immer um mehr, mehr, mehr - und das bedeutet, dass wir dazu neigen, weniger freundlich zueinander zu sein.



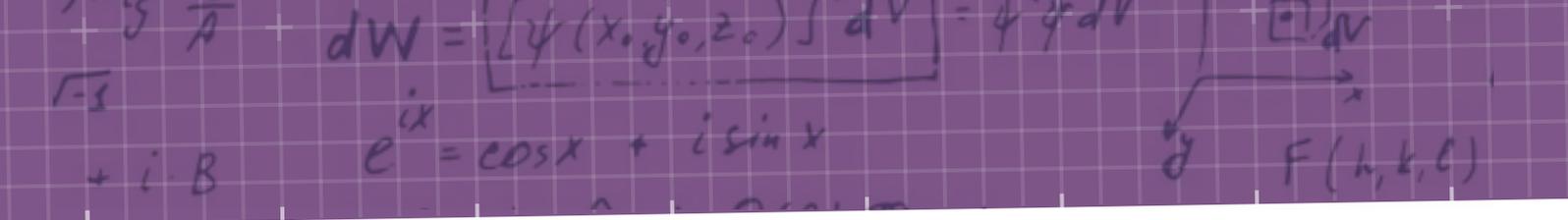
Quelle: Shutterstock /
Miljan Zivkovic

Gelegentlich komme ich aber an Orte, an denen die Zeit stehen geblieben zu sein scheint, und in einer Welle der Nostalgie denke ich daran, wie es früher einmal war. Nicht, dass es damals so viel besser gewesen wäre, aber jedes Mal, wenn man dem Hamsterrad für einen Moment entfliehen kann, ist es eine kleine Erleichterung.

Bokkenpootjes

Einmal erregte eine Online-Anzeige für eine Reihe von Nixie-Röhren meine Aufmerksamkeit, und ich suchte sofort begeistert den Kontakt mit dem Verkäufer. Er hatte offensichtlich kein Vertrauen in den Postdienst, und nach einer kurzen E-Mail-Korrespondenz vereinbarten wir, dass ich die Röhren persönlich abholen würde. Als ich nach einer langen, nervenaufreibenden Fahrt ankam, wurde ich von einem älteren Mann, nennen wir ihn Robert [1], und seiner Ehefrau begrüßt. Sofort führten sie mich durch eine Einrichtung aus den 1980er Jahren zum Küchentisch, wo die Kaffeekanne und eine Schachtel mit „Bokkenpootjes“ (typisch niederländisches Gebäck) warteten. Nach ein wenig Smalltalk tauchten plötzlich zwei Blech-Keksdosen auf dem Tisch auf, die bis zum Rand mit japanischen Nixie-Röhren in ordentlich beschrifteten Plastiktüten gefüllt waren - eine wahre Fundgrube für Fans alter Elektronik. Einige der Tüten enthielten sogar einen Zettel mit Werbung für Salzlecksteine für Kühe und Pferde, auf dessen Rückseite die Anschlussbelegung des entsprechenden Bauteils skizziert war. Es stellte sich heraus, dass Robert aufgrund einer Augenerkrankung gezwungen war, sein Hobby aufzugeben, und dass er alle seine Teile zum Verkauf anbot.

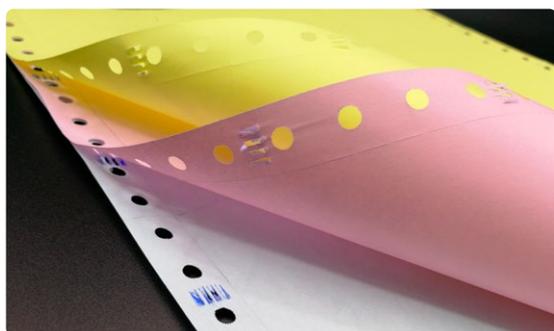
Nach dem Kaffee nahm Robert mich mit in sein Heimlabor in einem Schuppen hinter dem Haus - sehr typisch für Belgien, das Land der Eintöpfe und der Schuppen [2]. In dem Schuppen gab es neben einem Schrank mit selbstgebaute Messinstrumenten auch einen Schrank mit mehreren Jahresausgaben der früheren Zeitschriften *Elektuur* und *Elex* und natürlich viele weitere Keksdosen mit allen möglichen Bauteilen. Die Abwesenheit von Mikrocontrollern, SMD-Bauteilen und anderen modernen Bauteilen fiel deutlich auf, und die Platinen waren einfach von Hand mit Laserausdrucken auf Klarsichtfolie geätzt worden, so wie ich es vor fast dreißig Jahren auch gemacht habe. Es sah aus, als ob die Zeit dort stehen geblieben wäre. Stolz zeigte Robert auf einen Frequenzzähler in einem Metallgehäuse, den er selbst gebaut hatte. Er schaltete das



Gerät ein, und sofort erschien eine Reihe von Nullen auf dem Display, das - wie sollte es anders sein - aus japanischen Nixieröhren bestand. „Ich will Ihnen mal was zeigen“, sagte er und steckte ein Stück loses Kabel in den BNC-Anschluss des Geräts. Die Nixie-Röhren fingen fröhlich an, zufällige Ziffern anzuzeigen, die vom Rauschen herrührten, das von dem Draht aufgenommen wurde. Er hatte noch zwei weitere dieser Geräte für andere Hobbyelektroniker gebaut, aber dieses wollte er so lange wie möglich aufbewahren. Als wir den Schuppen verließen, gab er mir noch zwei weitere Keksdosen mit Sieben-Segment-Anzeigen und mehrere Schuhkartons voller Röhren. Die Dame des Hauses schaute mitleidig zu, und als es Zeit war zu gehen, vertraute sie mir an, dass Robert den ganzen Tag in seinem Schuppen verbrachte, mit einem Ton in der Stimme, der vermuten ließ, dass sie das nicht guthieß.

Kleine Schubladen und Luftkissenfolie

Traditionelle Elektronikgeschäfte sind eine aussterbende Art, und die Geschäfte, die es noch gibt, verkaufen weniger Einzelteile und mehr fertige Produkte. Sie können sich vorstellen, wie überrascht ich war, als ich bei der Vorbereitung eines Pakets für einen Kunden in der Slowakei auf Google Maps einen Elektronikmarkt fand und entdeckte, dass er eine Wand mit Hunderten von kleinen Schubladen hatte. Das erinnerte mich an einen Laden in meiner Geburtsstadt, den ich bis Ende 2011 regelmäßig besuchte. Kurze Zeit später wurde das Geschäft nach einer Übernahme an einen anderen Standort verlegt und modernisiert. Auch dort schien die Zeit stehen geblieben zu sein. Nicht nur die Einrichtung verströmte ein Ambiente der 1970er Jahre-, auch die Arbeitsweise war etwas Besonderes. Wenn man einem Angestellten hinter dem Tresen seinen Einkaufszettel gab, konnte er ohne Probleme die richtigen kleinen Schubladen finden und schrieb dann die Teilenummern auf die Liste. Sobald die Liste vollständig abgearbeitet war, wurde alles in kleine Tüten (eigentlich aufgeschnittene Luftkissenfolie) gepackt und zugetackert. In Sachen Recycling ist das unschlagbar. Dann wurden die Teilenummern eine nach der anderen in einen Computer eingegeben, und ein Nadeldrucker erwachte scheppernd



Quelle: Shutterstock / YoONSpY

zum Leben und druckte alles auf Endlospapier aus [3]. Das Original wurde fein säuberlich in einem alten, abgenutzten Ordner abgeheftet, und als Kunde bekam man die rosa Kopie als Quittung. Und natürlich bezahlte man mit Bargeld - elektronische Bezahlung war dort gänzlich unbekannt. In der Praxis war das alles quälend langsam, und die Schlange vor dem Schalter war meist lang. In einer nahe gelegenen Stadt gab es einen obskuren kleinen Laden, der möglicherweise noch langsamer war. Der Besitzer war ein älterer Mann, der gerne unerwünschte Ratschläge zu allem gab, was man kaufte. Einmal erhielt ich sogar eine ausführliche Erklärung über Styroflex-Folienkondensatoren, die fast eine halbe Stunde dauerte. Ich nehme an, der gute Mann hatte manchmal das Bedürfnis, mit jemandem zu plaudern.

Plotter-Wahn

Neben der Elektronik beschäftige ich mich gerne mit generativer Kunst, und Plotterkunst stand schon lange auf meiner Wunschliste. Ich hatte noch einen alten Stiftplotter, aber die Software war ein Problem, und ich wollte nicht zu viel Zeit investieren. Kürzlich fand ich ein schönes und erschwingliches Programm [4], und nachdem ich ein RS-232-Kabel zusammengelötet hatte, war ich sehr glücklich, den Plotter nach fast dreißig Jahren im Lager fleißig zeichnen und die Stifte wechseln zu sehen, als ob die 1990er Jahre zu Besuch gekommen wären. Glücklicherweise ist der ganze frühere Ärger mit DB9/DB25-Adaptern, Datenschaltern und RS-232-Monitorboxen mit blinkenden Lichtern nicht mehr nötig. ◀

SG - 230532-02

Foto: Ilse Joostens



WEBLINKS

- [1] Seinfeld: Rabbi mit lockerer Zunge: <https://youtu.be/szAjGEoPtY4>
- [2] De Wereld van Sofie: De 10 vuistregels van de koterijen volgens Bert Kruismans: <https://tinyurl.com/berkruismans>
- [3] Epson-Nadeldrucker T-1000: <https://youtu.be/qlEUrEVqDbo>
- [4] DrawingBotV3 - Eine Open-Source-Software zur Erstellung von Stiftplotter-Kunst: <https://drawingbotv3.com>



Aller Anfang ...

... muss nicht schwer sein: Vom FET zum Opamp

Von Eric Bogers (Elektor)

Die meisten Elektronik-Enthusiasten und Elektronik-Ingenieure greifen heute zu einem Mikrocontroller, wenn die Dinge etwas komplizierter zu werden drohen, und ebenso verwenden die meisten von uns keine diskreten Transistoren mehr. Wo immer es möglich ist, kommen Operationsverstärker (Opamps) zum Einsatz, und das aus gutem Grund: Moderne Operationsverstärker bieten eine unschlagbare Leistung, so dass es keinen Grund gibt, sie nicht zu verwenden. Deshalb geben wir in dieser Folge eine kurze Einführung in dieses Arbeitspferd der Elektronik. Zunächst werfen wir jedoch einen letzten Blick auf eine spezielle Art von Transistoren, und zwar die Feldeffekttransistoren (FETs), die wir schon im letzten Teil erwähnt hatten.

Beginnen wir mit einer kleinen Ergänzung zu dem Beitrag aus der September/Okttober-Ausgabe des letzten Jahres [1]. Dort schrieben wir unter der Überschrift „Die Emitterschaltung“: „Es ist möglich, mit dieser Schaltung ein Signal viel stärker zu verstärken, aber dann sollte ein kleinerer Emittterwiderstand und/oder eine höhere Versorgungsspannung gewählt werden.“ Das stimmt natürlich, aber das ist nicht die ganze Wahrheit. Wenn Sie in dieser Schaltung einen Kondensator parallel zum Emittterwiderstand schalten, bleibt die Gleichstromverstärkung der Transistorstufe gleich, aber die Impedanz des parallelen Netzwerks sinkt für Wechselstromsignale. Dies bedeutet, dass die Verstärkung bei Wechselstromsignalen höher ist. Die notwendigen Berechnungen sind eine Übung für den interessierten Leser. Unser Dank geht an Elektor-Leser (und Autor) Dogan Ibrahim, der uns auf das Versäumnis hingewiesen hat.

Der Feldeffekttransistor (FET)

Im Gegensatz zum Bipolartransistor, der in unseren bisherigen Folgen des Basiskurs die Hauptrolle gespielt hat, wird ein Feldeffekttransistor nicht durch Strom, sondern durch Spannung gesteuert. Der Eingang eines FET hat eine besonders hohe Impedanz, so dass nur sehr wenig Strom benötigt wird, um ihn zu steuern (zumindest unter Gleichstrombedingungen). Mit steigender Frequenz wird jedoch die interne Kapazität eines FETs immer wichtiger. Kleine FETs werden in der Regel nicht in Schaltungen für Theater und öffentliche Veranstaltungen eingesetzt. Das liegt daran, dass die in diesen Anwendungen verwendeten Schaltungen eine niedrige Impedanz haben müssen, um den Einfluss von Störungen zu vermeiden. Leistungs-MOSFETs werden jedoch häufig in solchen Anwendungen eingesetzt, allerdings nur in den Ausgangsstufen von Leistungsverstärkern.

Bild 1 zeigt das Schaltsymbol eines n-Kanal-FETs mit dem Pfeil vom Gate zur Drain-Source-Verbindung. Zeigt der Pfeil in die andere Richtung, handelt es sich um einen p-Kanal-FET, der die entgegengesetzte Polarität aufweist. Die drei Anschlüsse werden also als Gate, Source und Drain bezeichnet. Sie entsprechen von ihrer Funktion her in etwa der Basis, dem Emittter und dem Kollektor eines bipolaren Transistors.

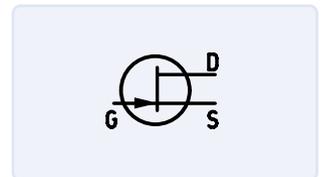


Bild 1. Schaltsymbol eines n-Kanal-JFET.

Der Source-Folger

Der Source-Folger ist das FET-Äquivalent eines Emittter-Folgers und hat daher eine Spannungsverstärkung von 1. In der Schaltung in **Bild 2** wird das Gate einfach über einen hochohmigen Widerstand mit Masse verbunden. Bei einem BF245-FET ergibt sich daraus ein Drain-Strom von etwa 4 mA, mit einem entsprechenden Arbeitspunkt von etwa 4 V. Da das Gate eine besonders hohe Impedanz aufweist, sind

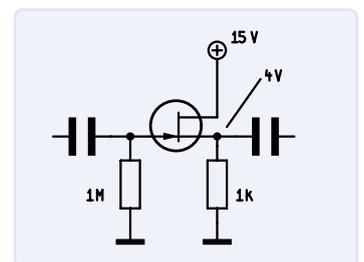


Bild 2. Ein Source-Folger.

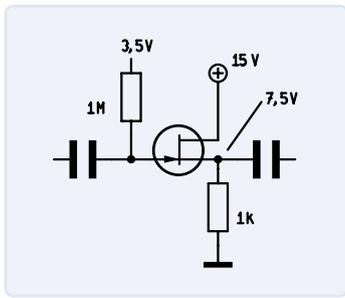


Bild 3. Optimale Einstellung des Arbeitspunktes.

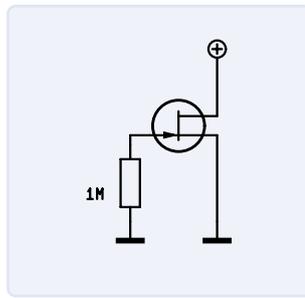


Bild 4. Eine Konstantstromquelle mit einem FET.

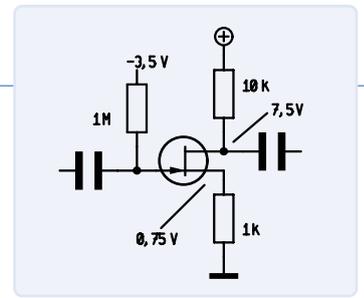


Bild 6. Eine Common-Source-Schaltung.

die Ströme durch die Source und den Drain nahezu gleich; die Eingangsimpedanz wird durch den Wert des Widerstands zwischen Gate und Masse bestimmt. Der Wert des Koppelkondensators lässt sich anhand der gewünschten unteren Eckfrequenz berechnen. Er kann relativ klein sein, verglichen mit der Situation bei einem Emitterfolger mit bipolarem Transistor.

Ein Nachteil der Schaltung in Bild 2 ist, dass der Arbeitspunkt nicht bei der Hälfte der Versorgungsspannung liegt, so dass die Signalamplitude des Schaltungsausgangs begrenzt ist. Um dies zu ändern, muss man aber nur das Gate auf die entsprechende Spannung vorspannen, wie in **Bild 3** gezeigt. Diese Vorspannung kann durch einen einfachen Spannungsteiler bereitgestellt werden. Mit einem Feldeffekttransistor lässt sich mühelos eine recht gute Konstantstromquelle bauen, wie sie in **Bild 4** dargestellt ist. Wenn Sie das Diagramm in **Bild 5** betrachten, werden Sie wahrscheinlich feststellen, dass ein FET in dieser Funktion besser abschneidet als ein entsprechender Bipolartransistor. Stromquellen wie diese werden häufig verwendet, um konstante Ströme für LEDs zu liefern.

Die Common-Source-Schaltung

Wenn Sie einen FET entsprechend verdrahten, kann er natürlich auch zur Spannungsverstärkung eingesetzt werden. Die dafür verwendete Schaltung ist der Common-Emitter-Schaltung mit einem Bipolartransistor sehr ähnlich. Auch bei der FET-Schaltung wird die Verstärkung durch das Verhältnis der Widerstände an Drain und Source bestimmt.

Die Source-Folger-Schaltung in **Bild 6** hat jedoch einen Nachteil:

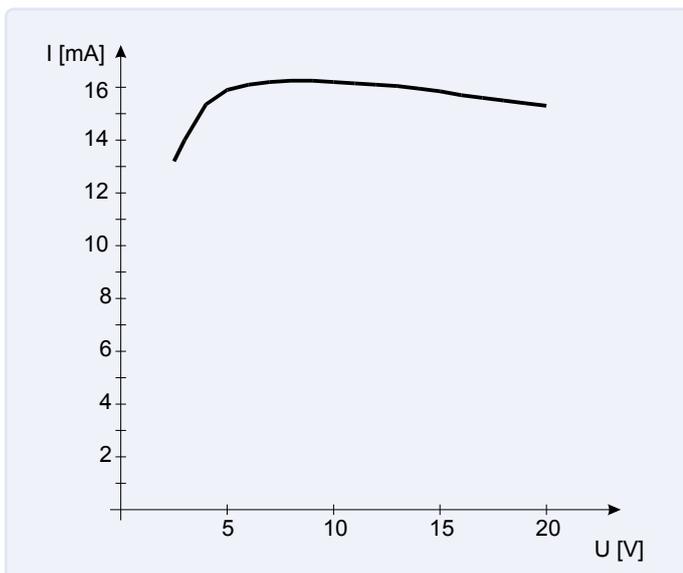


Bild 5. Kennlinie einer FET-Konstantstromquelle.

Man benötigt eine negative Spannung, damit der Arbeitspunkt auf einen vernünftigen Wert eingestellt werden kann. Aus diesem Grund werden FETs nur selten auf diese Weise zur Spannungsverstärkung eingesetzt. Stattdessen finden sich FET-Verstärker meist nur in der Eingangsstufe mehrstufiger Verstärker, und für die weitere Signalverstärkung werden normale bipolare Transistoren verwendet.

Dieser Ansatz findet sich auch im TL072-Dual-Opamp (dual bedeutet, dass sich zwei Opamps im gleichen Gehäuse befinden) und im TL074-Quad-Opamp mit vier Opamps, die sehr häufig in Audioanwendungen eingesetzt werden. Eine FET-Eingangsstufe sorgt für eine sehr hohe Eingangsimpedanz ($10^{12} \Omega$), während das Rauschen in der weiteren Signalverarbeitung durch bipolare Transistoren in Grenzen gehalten wird.

Operationsverstärker

Der Name „Operationsverstärker“ hat nichts mit chirurgischen Eingriffen zu tun, sondern ist eng mit mathematischen Operationen verbunden. In nicht allzu ferner Vergangenheit, als die Digitaltechnik noch nicht weit genug fortgeschritten war, um komplexe mathematische Berechnungen durchführen zu können, wurden Analogrechner eingesetzt, wenn es ums Integrieren oder Differenzieren ging. Analogrechner beruhen auf analogen Schaltungen, genauer gesagt auf Operationsverstärkern.

Eines der größten Probleme bei herkömmlichen Transistorschaltungen ist die Temperaturdrift: Wenn sich der Arbeitspunkt dadurch ständig ändert, ist die Genauigkeit der Schaltungen, die komplexe Operationen durchführen sollen, nicht sehr beeindruckend. Aus diesem Grund griffen die Halbleiter-Konstrukteure seinerzeit schnell auf Differenzverstärker zurück, die die wünschenswerte Eigenschaft haben, dass sich bei einer Änderung des Arbeitspunktes des einen Eingangs (zum Beispiel des nichtinvertierenden Eingangs) der Arbeitspunkt des anderen Eingangs in genau derselben Weise ändert, so dass sich die Änderungen gegenseitig aufheben. Durch die Kombination eines Differenzverstärkers mit einer sehr hohen offenen Schleifenverstärkung entstand eine besonders universell einsetzbare Schaltung, die den Namen „Operationsverstärker“ (kurz: Opamp) erhielt.

Zunächst wurden Operationsverstärker mit einzelnen (diskreten) Transistoren gebaut. Man erkannte jedoch schnell, dass der Einsatz integrierter Schaltungen viel Zeit und Mühe spart. Da die Rauscheigenschaften der frühen ICs nicht besonders gut waren, wurden diskrete Operationsverstärker noch einige Jahre lang in Audiogeräten verwendet, aber diese Zeit liegt nun weit hinter uns. Viele moderne Operationsverstärker haben unbestreitbar hervorragende Audioeigenschaften und sich ihren unersetzbaren Platz in der Kleinsignalelektronik erobert.



Operationsverstärkern von innen besehen

Die genaue Anzahl der Transistoren in einer integrierten Schaltung wirkt sich nicht wesentlich auf die Herstellungskosten aus, so dass Operationsverstärkerschaltungen mit 40...50 Transistoren heute gängige Praxis sind. Die detaillierte Schaltung eines typischen Operationsverstärkers ist jedoch zu kompliziert für eine einführende Erläuterung, so dass wir uns hier stattdessen auf eine stark vereinfachte Innenschaltung eines Operationsverstärkers konzentrieren (**Bild 7**). Natürlich ist diese Schaltung in keinem echten Operationsverstärker zu finden, aber wenn Sie wollen, können Sie sie selbst bauen (obwohl die Kosten für die erforderlichen Bauteile wahrscheinlich viel höher wären als bei einem entsprechenden IC). Die Transistoren T1 und T2 bilden hier einen Differenzverstärker, wie in einer früheren Folge beschrieben. In diesem Fall haben wir die Emittterwiderstände weggelassen, da sie für den Betrieb der Schaltung eigentlich nicht wichtig sind. Der Transistor T3 und die zugehörigen Bauteile stellen eine Konstantstromquelle dar. Die Transistoren T5 und T6 arbeiten als Gegentakt-Ausgangsstufe der Klasse B. Der Ausgang ist dank der relativ großen Werte der Emittterwiderstände kurzschlussfest. Dies ist möglich, weil die Gegenkopplung - wenn die Schaltung als Operationsverstärker verwendet wird - die Ausgangsimpedanz stark reduziert, so dass die Werte der Emittterwiderstände nicht wichtig sind. Die Gegenkopplung minimiert auch die für einen Class-B-Verstärker typische Crossover-Verzerrung, so dass wir uns nicht um das Problem des Ruhestroms kümmern müssen.

Transistor T4 arbeitet als gemeinsamer Emittterverstärker und damit als Treiberstufe für die Ausgangstransistoren. Trotz aller vorherigen Warnungen gibt es hier keinen Emittterwiderstand, denn Operationsverstärker werden durch eine Gesamtgegenkopplung (vom Ausgang zum Eingang) stabilisiert. Das bedeutet, dass die größtmögliche Verstärkung im offenen Regelkreis wichtiger ist als der genaue Arbeitspunkt einer internen Verstärkungsstufe.

Genug der Operationsverstärker für diese Folge; für einen ersten Eindruck soll es reichen. Beim nächsten Mal werden wir sie aber verwenden, um echte Verstärkerschaltungen zu bauen. ◀

RG - 230608-02

Anmerkung des Herausgebers: Diese Artikelserie „Einstieg in die Elektronik“ basiert auf dem Buch „Basiskurs Elektronik“ von Michael Ebner, das auf Deutsch und Niederländisch bei Elektor erschienen ist.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel haben, wenden Sie sich bitte an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.

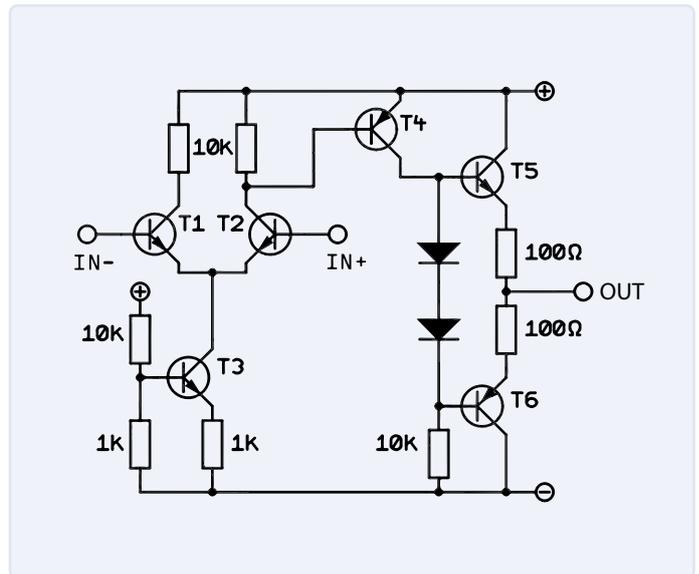


Bild 7. Stark vereinfachte Darstellung des inneren Aufbaus eines Operationsverstärkers.



Passende Produkte

> **B. Kainka, Elektronik-Grundlagen und Einsteiger-Projekte (Elektor, 2019)**

Buch, kartoniert, deutsch: www.elektor.de/19035
E-Buch, PDF, deutsch: www.elektor.de/19036



WEBLINK

[1] „Aller Anfang ... Spannungsverstärkung“, Elektor 9-10/2023: www.elektormagazine.de/magazine/elektor-313/62132

CAN-Bus-Tutorial für den Arduino UNO R4

Zwei UNO R4 nehmen den Bus!

Von Dogan Ibrahim (Großbritannien)

Der Arduino UNO R4, der letztes Jahr in zwei Versionen auf den Markt gekommen ist, unterstützt den CAN-Bus sowohl in der Hardware als auch in der Software. In diesem Artikel sehen wir uns einige praktische CAN-Module, eine experimentelle Schaltung und die Grundlagen an, um den Datenverkehr zwischen CAN-Knoten im Seriellen Monitor der Arduino-IDE sichtbar zu machen.

*Anmerkung der Redaktion: Dieser Artikel ist ein Auszug aus dem 326-seitigen Buch Mastering the Arduino Uno R4 (Elektor 2023), der formatiert und leicht bearbeitet wurde, um den redaktionellen Standards und dem Seitenlayout von Elektor zu entsprechen. Der Autor und die Redaktion haben bei der Bearbeitung ihr Möglichstes getan und stehen bei Rückfragen gerne zur Verfügung. Die Kontaktdaten finden Sie im Kasten **Fragen oder Kommentare?***

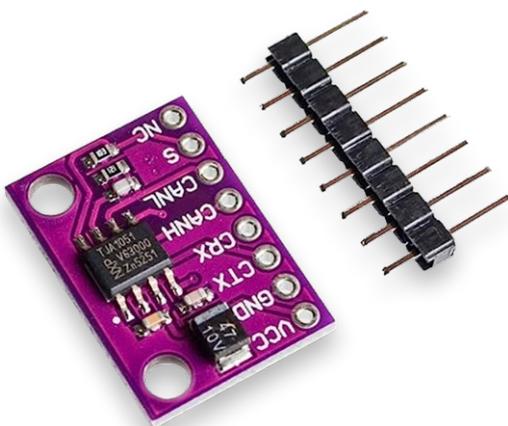
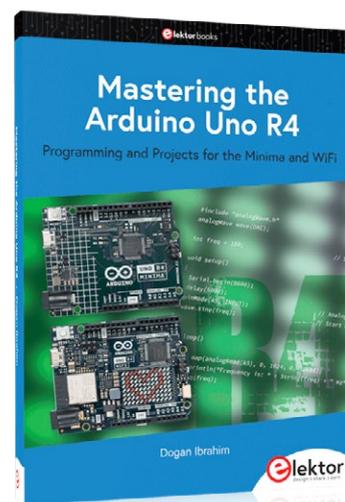


Bild 1. Das Transceivermodul TJA1051.



Der Arduino UNO R4 Minima hat die folgenden zwei Pins, die für das Controller Area Network beziehungsweise die CAN-Bus-Schnittstelle verwendet werden können: D5 (RX) und D4 (TX). Bei der Version Arduino UNO R4 WiFi sind die CAN-Bus-Pins D13 (RX) und D10 (TX). Obwohl es beim Arduino einige CAN-Bus-Schnittstellensignale gibt, ist es notwendig, CAN-Bus-Transceiver-Module an diese Pins anzuschließen, bevor sie mit dem physischen CAN-Bus verbunden werden.

CAN-Bus-Transceiver

Ein CAN-Bus-Transceivermodul ist eine physikalische Schnittstelle zwischen den CAN-Bus-Pins des Arduino UNO R4 und dem eigentlichen physikalischen CAN-Bus-Kabel. Auf dem Markt sind verschiedene Transceivermodule erhältlich. Das im oben genannten Buch verwendete Modul ist der TJA1051 (**Bild 1**), ein Hochgeschwindigkeits-CAN-Transceivermodul, das eine Schnittstelle zwischen einem CAN-Protokoll-Controller und dem physikalischen Zweidraht-CAN-Bus bildet. Die wesentlichen Merkmale des TJA1051 sind:

- › Versorgungsspannung 4,5...5,5 V
- › Konform zu ISO 11898-2:2016 und SAE J2284-1 bis SAE J2284-5
- › Geeignet für 12-V- und 24-V-Systeme
- › Geringe elektromagnetische Emission
- › Stromaufnahme: 1 mA im stillen Modus, 5 mA im busrezessiven Modus; 50 mA im busdominanten Modus

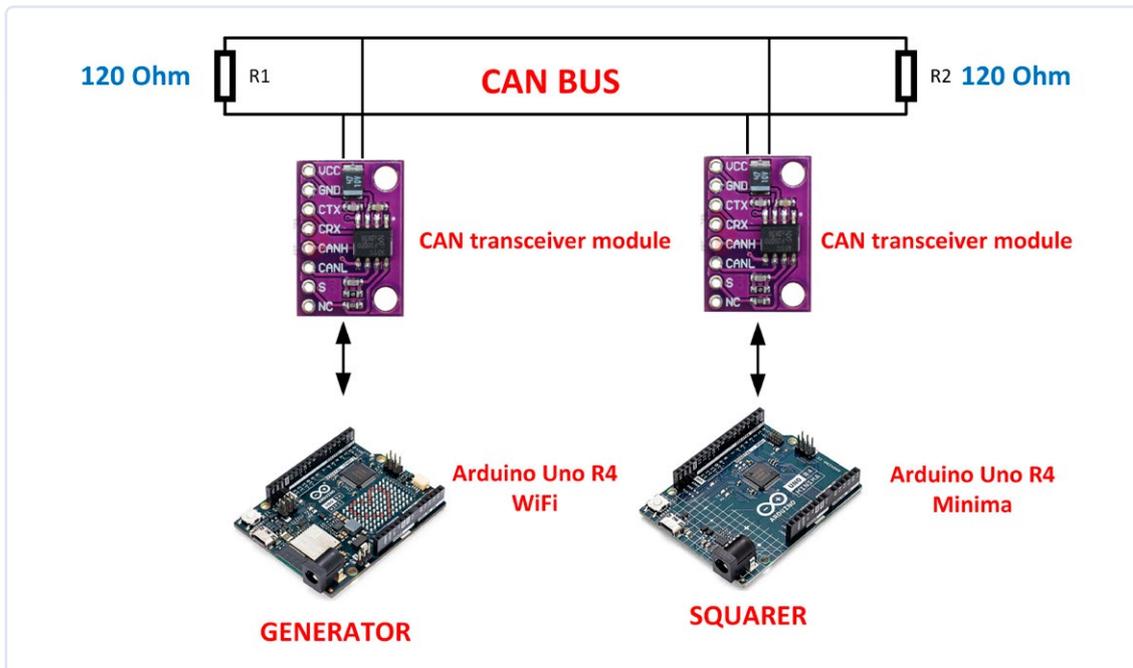


Bild 2. Blockdiagramm des Demoprojekts.

Die Pinbelegung des Transceivermoduls TJA1052 ist wie folgt:

- > CANH CAN_H: Bus-Interface
- > CANL CAN_L: Bus-Interface
- > VCC: +5 V
- > GND: Masse
- > CTX: Eingang Sendedaten
- > CRX: Ausgang Empfangsdaten (liest Daten vom Bus)
- > S: Silent-Mode-Steuerung (LOW = normaler Modus, HIGH = Silent-Modus)

Im folgenden Abschnitt wird ein Demoprojekt mit dem CAN-Bus vorgestellt, um zu zeigen, wie die CAN-Bus-Funktion des Arduino UNO R4 genutzt werden kann. Die *Arduino_CAN*-Bibliothek in der Arduino-IDE wird für die Kommunikation mit anderen CAN-Geräten verwendet.

CAN-Bus-Kommunikation UNO R4 WiFi zu UNO R4 Minima

Um dieses Projekt nachzubauen, benötigen Sie zwei Arduino UNO R4 Boards. Das Board *Arduino UNO R4 WiFi* wird als *GENERATOR* bezeichnet, das *Arduino UNO R4 Minima* als *SQUARER*. Beide Boards sind über einen CAN-Bus verbunden, was bedeutet, dass es zwei Knoten gibt, die *GENERATOR* und *SQUARER* heißen. Der *GENERATOR*-Knoten ist so programmiert, dass er zufällige ganze Zahlen zwischen 1 und 20 erzeugt und sie an den *SQUARER*-Knoten sendet, wo die empfangenen Zahlen quadriert und im Seriellen Monitor der IDE angezeigt werden. Dieser Vorgang wird nach einer Verzögerung von 3 s wiederholt. Das Ziel dieses Projekts ist es, zu zeigen, wie zwei verbundene Arduino UNO R4 über einen CAN-Bus kommunizieren.

Bild 2 zeigt das Blockdiagramm des Projekts. Der *Arduino UNO R4 WiFi* ist hier der *GENERATOR*-Knoten und ein *Arduino UNO R4 Minima* der *SQUARER*-Knoten. Zwei CAN-Bus-Transceiver-Module und die CAN-Bus-Verkabelung sind ebenfalls abgebildet.

Hinweis: Das Elektor-Produktpaket (siehe Kasten **Passende Produkte**) enthält das Buch und ein *Arduino R4 Minima*-Entwicklungsboard. Der *Arduino UNO R4 WiFi*, die CAN-Bus-Transceivermodule TJA1051 und die Abschlusswiderstände müssen separat beschafft werden.

Bild 3 zeigt den Schaltplan des Projekts. Beachten Sie, dass das Buskabel mit zwei 120-Ω-Widerständen abgeschlossen ist. Die Anschlüsse CANH und CANL der beiden Transceiver sind mit dem Buskabel verbunden. Die Pins CTX und CRX des einen Transceivermoduls sind mit den Pins D10 und D13 des *Arduino UNO R4 WiFi* verbunden, genauso wie die Pins CTX und CRX des anderen Transceivers

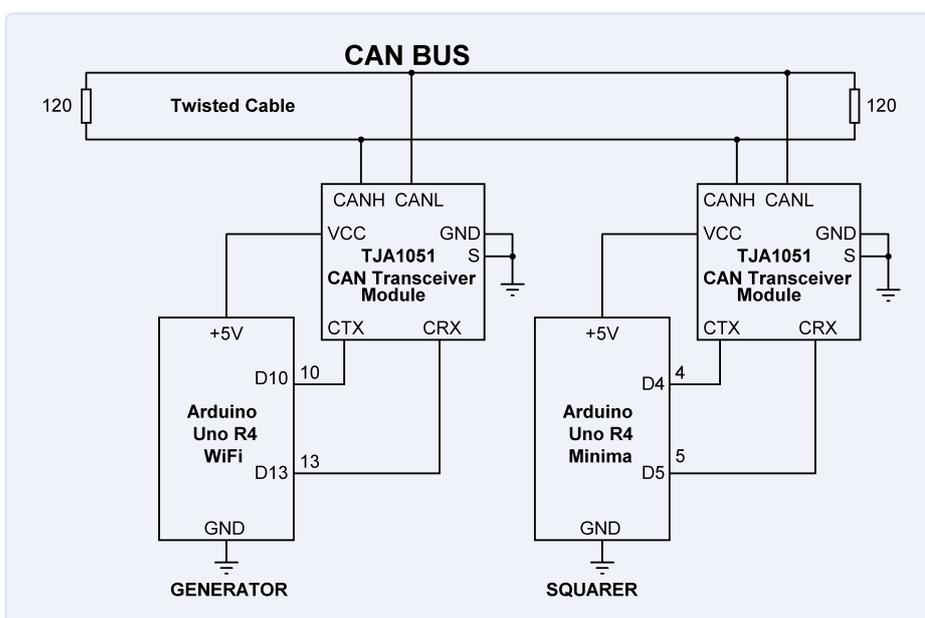


Bild 3. Schaltplan des Demoprojekts.



Listing 1: Das Programm für den GENERATOR-Knoten.

```
//-----  
//          CAN BUS PROGRAM  
//          =====  
//  
// This program generates random numbers between 1 and 20 and sends them  
// over the CAN bus to a node called SQUARER. The SQUARER node takes the  
// square of these numbers and displays them on the Serial Monitor. CAN  
// baud rate is set to 250 K. The process is repeated every 3 seconds  
//  
// Author: Dogan Ibrahim  
// File  : GENERATOR  
// Date  : July, 2023  
//-----  
#include <Arduino_CAN.h>  
static uint32_t const CAN_ID = 0x20;  
uint8_t RandomNumber;  
uint8_t msg_data[8];  
void setup()  
{  
    Serial.begin(9600);  
    delay(5000);  
    if (!CAN.begin(CanBitRate::BR_250k))  
    {  
        Serial.println("CAN begin failed...");  
        while(1);  
    }  
    else  
        Serial.println("CAN begin success...");  
}  
void loop()  
{  
    RandomNumber = random(1, 21);                // Random number  
    Serial.print("Random number is: ");  
    Serial.println(RandomNumber);  
    msg_data[0] = RandomNumber;  
    msg_data[1] = 0x00;  
    msg_data[2] = 0x00;  
    msg_data[3] = 0x00;  
    msg_data[4] = 0x00;  
    msg_data[5] = 0x00;  
    msg_data[6] = 0x00;  
    msg_data[7] = 0x00;  
    CanMsg msg(CAN_ID, sizeof(msg_data), msg_data);  
    int const rc = CAN.write(msg);  
    if(rc < 0)  
    {  
        Serial.print("CAN write failed. Error code is: ");  
        Serial.println(rc);  
        while(1);  
    }  
    delay(3000);                                // Wait 3 secs and repeat  
}
```



Listing 2: Das Programm für den SQUARER-Knoten.

```
//-----  
//          CAN BUS PROGRAM  
//          =====  
//  
// This program receives random numbers between 1 and 20 over the CAN bus  
// and takes the square of these numbers and then displays the numbers on  
// the Serial monitor  
//  
// Author: Dogan Ibrahim  
// File  : SQUARER  
// Date  : July, 2023  
//-----  
#include <Arduino_CAN.h>  
static uint32_t const CAN_ID = 0x20;  
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600);  
  delay(5000);  
  if (!CAN.begin(CanBitRate::BR_250k))  
  {  
    Serial.println("CAN begin failed...");  
    while(1);  
  }  
  else  
    Serial.println("CAN begin success...");  
}  
  
void loop()  
{  
  if(CAN.available())  
  
  }  
}
```

mit den Pins D4 und D5 des *Arduino UNO R4 Minima*. In diesem Projekt wurde ein etwa ein Meter langes Twisted-Pair-Kabel als CAN-Bus-Kabel verwendet.

Die Bibliothek *Arduino_CAN* unterstützt die Baudratenkonstanten *BR_125k*, *BR_250k*, *BR_500k*, *BR_1000k*. Die gewünschte Baudrate muss bei der Initialisierung angegeben werden. Für die Baudrate 250 kbit/s lautet der erforderliche Funktionsaufruf zum Beispiel `CAN.begin(CanBitRate::BR_250k)`.

Senden von Daten: Es wird ein `CanMsg`-Message-Objekt mit der `CAN_ID`, der Größe und den Daten erstellt und mit der Funktion `CAN.write()` über den Bus gesendet.

Empfangen von Daten: Mit `CAN.available()` wird geprüft, ob Daten vorhanden sind, und wenn dies der Fall ist, werden sie mit der Funktion `CAN.read()` gelesen.

Listing 1 zeigt den Code für das Programm GENERATOR. Zu Beginn des Programms werden die erforderlichen Header-Dateien eingebunden. Anschließend wird das Array `msg_data` mit acht Elementen

initialisiert. In diesem Array werden die Daten gespeichert, die über den CAN-Bus gesendet werden sollen. `CAN_ID` wird auf `0x20` gesetzt. In der Funktion `setup()` wird die CAN-Bus-Baudrate auf 250 kbit/s eingestellt. Damit wird die CAN-Bus-Kommunikation effektiv gestartet.

Innerhalb der Hauptprogrammschleife wird zunächst eine Zufallszahl zwischen 1 und 20 erzeugt und dann über den CAN-Bus gesendet. Beachten Sie, dass nur das erste Byte des 8-Byte-Datenarrays `msg_data` initialisiert wird. Dieser Vorgang wird nach einer Verzögerung von drei Sekunden wiederholt: Eine neue Zufallszahl wird generiert und an den SQUARER-Knoten gesendet.

Listing 2 zeigt den Code für das SQUARER-Programm. Der Beginn und die `setup()`-Funktion dieses Programms sind ähnlich wie die Abschnitte in Listing 1. Innerhalb der Hauptprogrammschleife prüft das Programm, ob Nachrichten auf dem CAN-Bus vorhanden sind, und liest diese anschließend aus. In diesem Programm ist eine Nachricht eine ganzzahlige Zahl zwischen 1 und 20. Die empfangene Zahl wird in der Variablen `Num` gespeichert, und ihr Quadrat wird im Seriellen Monitor angezeigt.

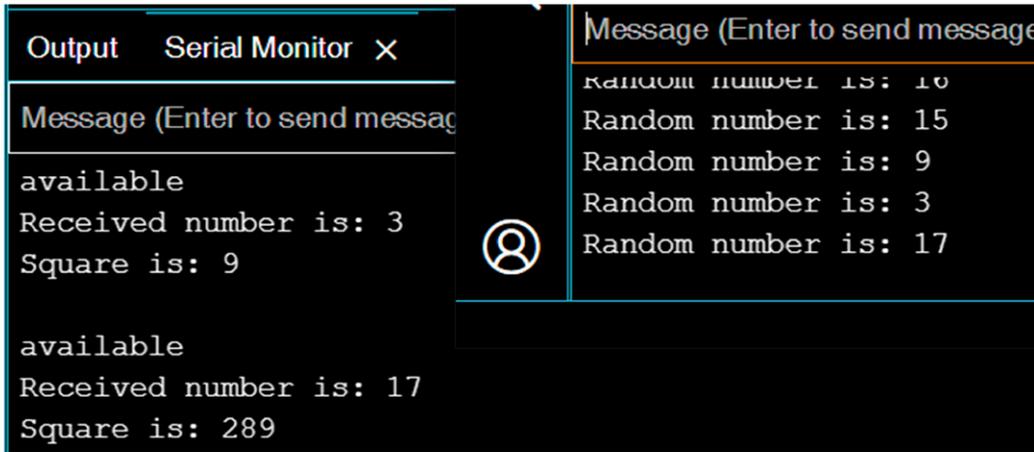


Bild 4. Beispiel der Ausgangsdaten, wie sie im Seriellen Monitor erscheinen.

Node: SQUARER

Node: GENERATOR

Beide hier gezeigten Programme sind in dem Software-Archiv enthalten, das zur Unterstützung von *Mastering the Arduino R4* veröffentlicht wurde. Das Archiv kann kostenlos von der Bücher-Sektion der Website Elektor-Store heruntergeladen werden [1]. Scrollen Sie auf der Webseite nach unten zu Downloads und suchen Sie die Zip-Datei *Software_Mastering the Arduino UNO R4* (161,84 MB), laden Sie sie herunter und speichern Sie sie auf Ihrem System. Entpacken Sie die Archivdatei und suchen Sie die beispielhaften Programmdateien für Buchkapitel 18.

Test des Projekts

Bauen Sie das Projekt wie im Schaltplan gezeigt auf und schalten Sie beide Arduino-Boards ein. Starten Sie den Seriellen Monitor auf dem SQUARER-Knoten und sehen Sie, wie alle drei Sekunden die empfangenen Zahlen und ihre Quadrate angezeigt werden. Ein Beispiel für die Ausgabe ist in **Bild 4** zu sehen. Sehen Sie ein ähnliches Bild? Herzlichen Glückwunsch! Sie sind im richtigen Bus auf dem Weg zur CAN-Station, und noch dazu in guter Gesellschaft! ◀

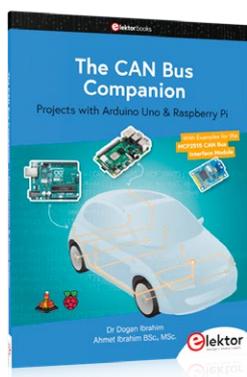
RG – 230622-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Senden Sie eine E-Mail an den Autor unter d.ibrahim@btinternet.com oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.

Über den Autor

Dogan Ibrahim hat einen BSc (Hons) in Elektrotechnik, einen MSc in Automatisierte Steuerungstechnik und einen PhD in digitaler Signalverarbeitung und Mikroprozessoren. Dogan Ibrahim hat in vielen Organisationen gearbeitet und ist ein Fellow der Institution of Engineering and Technology (IET) im Großbritannien und ein geprüfter Elektroingenieur. Dogan hat über 100 Fachbücher und mehr als 200 Fachartikel über Elektronik, Mikroprozessoren, Mikrocontroller und verwandte Bereiche verfasst. Dogan ist ein zertifizierter Arduino-Experte und verfügt über langjährige Erfahrung mit fast allen Arten von Mikroprozessoren und Mikrocontrollern.



Passende Produkte

- > **Mastering the Arduino Uno R4 (Bundle)**
Buch, englisch und Arduino Uno R4 Minima:
www.elektor.de/mastering-the-arduino-uno-r4-bundle
- > **The CAN Bus Companion (+ kostenloses CAN-Bus-Modul)**
Buch, englisch und MCP2515-Modul:
www.elektor.de/20405
E-Buch, PDF, englisch:
www.elektor.de/the-can-bus-companion-e-book

WEBLINK

[1] Software-Archiv für Mastering the Arduino Uno R4: <https://elektor.de/mastering-the-arduino-uno-r4>

Leistungselektronik: ein wachsender Markt

In der Leistungselektronikbranche haben sich die Dinge im Laufe der Jahre sicherlich verändert, da das Voranstreben grüner Energie und das Bedürfnis nach verbesserter Effizienz nicht mehr zu ignorieren sind. Im Jahr 2022 wird der Gesamtmarkt für Leistungselektronik ein Volumen von 20,9 Milliarden US-Dollar erreichen, wobei sowohl diskrete Komponenten als auch Module berücksichtigt sind. Und wissen Sie was? Die Wachstumsrate wird sich bis 2028 fortsetzen, wenn der Markt voraussichtlich 33,3 Milliarden Dollar erreichen wird.

8,1%
Jährliche Wachstumsrate
zwischen 2022 und 2028. [1]

4,4%
Jährliche Wachstumsrate
für die Marktsegmente
diskreter Bauelemente. [1]

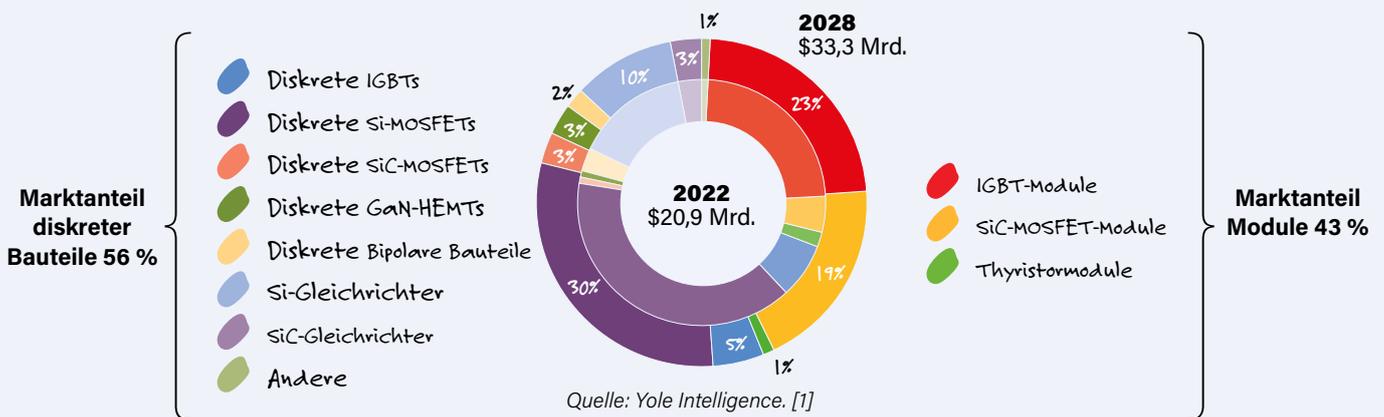
14,4%
Jährliche Wachstumsrate
für die Marktsegmente
der Module. [1]

elektor TV
Möchten Sie mehr über SiC und GaN erfahren?
Sehen Sie sich dieses Elektor-Video an.
<https://youtube.com/live/ks3Gf0lnZFk>



Laut Ana Villamor, *Team Lead Analyst, Power Electronics* bei Yole Intelligence [1], geht es bei Leistungsbauerelementen um drei große Akteure im Spiel der Materialien: Silizium, Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN). Silizium ist nach wie vor das Maß aller Dinge auf diesem Markt, aber SiC gewinnt an Fahrt, insbesondere durch die steigende Nachfrage nach Modulen für Elektrofahrzeuge. Was GaN betrifft, so ist es hauptsächlich in der Welt der Stromversorgungen für uns, die normalen Verbraucher, zu finden.

2022-2028 Leistungselektronikmarkt in Umsatz - Diskrete Bauteile und Module aufgeteilt nach Typ



Elektrizitätsnachfrage: Es werden Maßnahmen ergriffen

Im nächsten Jahrzehnt könnte die Erhöhung der Elektrizitätsnachfrage trotz wirtschaftlicher Risiken die Gewinne durch die Erhöhung der Energieeffizienz übertreffen. Ein einzelner Haushalt, der ein Elektroauto kauft, kann die Stromnachfrage stärker erhöhen als viele Familien, die ihre Kühlschränke erneuern. Die Auswirkung der Elektrifizierung könnte durch das

wachsende Interesse an Wasserstoff verstärkt werden, der fossile Brennstoffe in schweren Lastwagen und Heizungen ersetzen könnte. Der EU-Wasserstoffplan, der bis 2030 10 Millionen Tonnen anstrebt, benötigt über 10 % des derzeitigen Strombedarfs, was dem Wachstum von 2000 bis 2010 entspricht, obwohl die Stromnachfrage in letzter Zeit stagnierte. [6]

Ausblick auf den Energiebedarf: Sind wir auf dem absteigenden Ast?

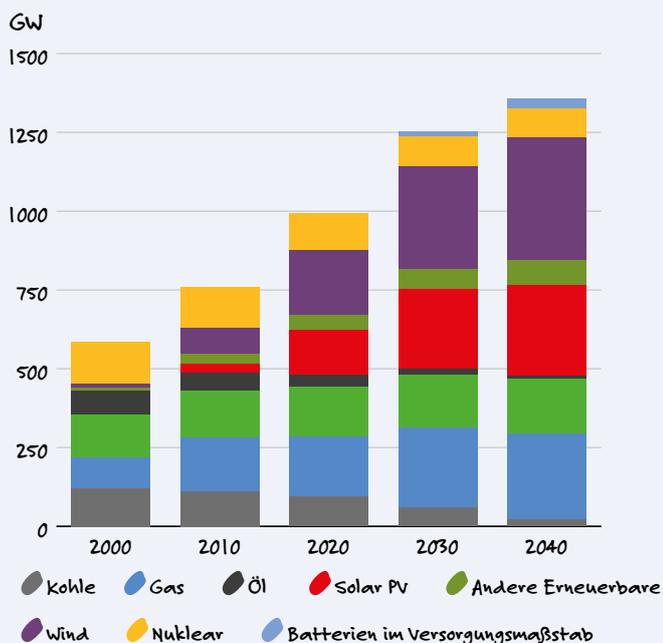
Die Internationale Energieagentur (IEA) [2] gab bekannt, dass die Wachstumsrate des weltweiten Energiebedarfs für das Jahr 2024 im Vergleich zu 2023 und früher auf 3,3 % steigen wird, da sich die wirtschaftliche Lage verbessert. Die Daten der IEA zeigen, dass die Europäische Union für 40 % des gesamten Rückgangs der Emissionen aus der Stromerzeugung verantwortlich ist.

Ein Szenario für die Zukunft

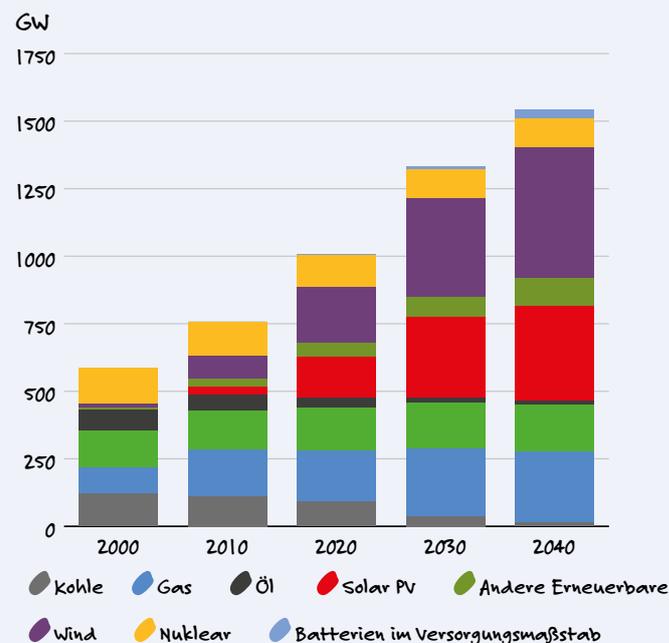
Das *Stated Policies Scenario* (STEPS) berücksichtigt Maßnahmen, die bereits laufen oder geplant sind, um die von den Regierungen angekündigten Energie- und Klimaziele zu erreichen [3]. Das *Sustainable Development Scenario* (Szenario

für nachhaltige Entwicklung) hingegen ist ein Plan dafür, wie wir die Welt verbessern können, indem wir unsere Energienutzung ändern. Dies bedeutet, dass sich bis 2030 alle Menschen sich Energie leisten und Zugang zu ihr haben können, und dass die Umweltbelastung verringert wird. Was die klimaschädlichen Gase angeht, so streben die fortgeschrittenen Volkswirtschaften an, bis 2050 keine Nettoemissionen mehr zu verursachen, China bis 2060 und alle anderen Länder bis spätestens 2070. In diesem Szenario wird angestrebt, den globalen Temperaturanstieg bis 2050 auf maximal 1,7 °C zu begrenzen. Die Chancen stehen gut, dass dies gelingt, wenn wir nach 2070 kein CO₂ mehr in die Atmosphäre emittieren [3].

Daten zu geplanten/laufenden Richtlinienzenarien



Daten des Szenarios für nachhaltige Entwicklung



Quelle: IEA. Lizenz: CC BY 4.0 [4] [5]

RG -- 230626-02

WEBLINKS

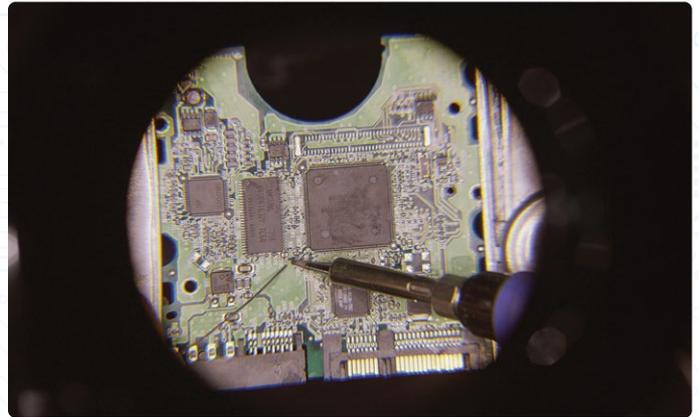
- [1] Yole Intelligence, „Status of the Power Electronics Industry 2023“, August 2023: <https://t1p.de/2c8a9>
- [2] Forrest Crellin, „Global power demand growth to rebound in 2024 after slowdown, IEA says“, 2023: <https://t1p.de/o7xnt>
- [3] H.W. Schiffer, „The exploratory and normative scenarios of the IEA“, 2022: <https://t1p.de/tonn3>
- [4] IEA, „Installed capacity in the European Union, 2000-2010, and projections up to 2040 in the Stated Policies Scenario“, 2020: <https://t1p.de/84zm4>
- [5] IEA, „Installed capacity in the European Union, 2000-2010, and projections up to 2040 in the Sustainable Development Scenario“, 2020: <https://t1p.de/ym5d8>
- [6] IEA, „Power Systems in Transition“, 2020: <https://t1p.de/1dl6r>

Umfangreiche Unterstützung bei Design und Entwicklung

Arrow Engineering Services

Ein Beitrag von Arrow Electronics

Arrow Electronics bietet umfassende technische Komplettlösungen, die das gesamte Technologiespektrum abdecken – von elektronischen Komponenten, wie Halbleitern, passiven Bauteilen, Steckverbindern sowie elektromechanischen und Embedded-Lösungen bis hin zu Enterprise-IT, Sicherheit und Cloud.



Im Laufe der Zeit hat sich die technologische Entwicklung rapide beschleunigt und mit zunehmender Akzeptanz werden auch die Designs der Kunden immer komplexer. Das hat dazu geführt, dass sich der Aufgabenbereich der Field Application Engineers (FAE) von Arrow, von denen viele eine fundierte Ausbildung für bestimmte Hersteller oder Lösungsarchitekturen mitbringen, im Laufe der Zeit ebenfalls verändert hat – sie wurden zu „Trusted Advisors“, die Kunden in Fragen der Lösungsarchitektur und des Systemdesigns unterstützen. Darüber hinaus bieten FAEs natürlich weiterhin die gesamte technische Unterstützung, die notwendig ist, um Produkte so schnell wie möglich auf den Markt zu bringen. Spezialisierte Bereiche sind unter anderem Analog-, Embedded-, FPGA-, Stromversorgungs-, Drahtlos-, IP&E- und RF-Lösungen, die über Richardson RFPD, einem Unternehmen von Arrow, angeboten werden.

Verwaltung von Software-gesteuertem Design

Neben technischen Vertriebs- und Support-Ressourcen verfügt Arrow über eine breit aufgestellte Engineering-Services-Abteilung, die im Auftrag der Kunden entwickelt und Designs entwirft. Die Techniker von Arrow arbeiten eng mit den Forschungs- und Entwicklungsteams der OEMs zusammen, um

die Einführung neuer Produkte zu beschleunigen, wichtige Funktionen zu verbessern oder digitale Innovationen in den Bereichen KI, cloud-basierte Analysen oder IoT-Gerätesicherheit zu unterstützen.

Die Designkomplexität hat sich erheblich erhöht, insbesondere bei Hochgeschwindigkeits-MCUs und Multimediaprozessoren, FPGAs, IoT und Edge Computing, künstlicher Intelligenz und Cloud – um nur einige Beispiele zu nennen. Und Software wird immer öfter zum Zünglein an der Waage bei der Auswahl der richtigen Hardware. Digital Engineering, das von Embedded-Software über KI und Cloud bis hin zur IoT-Sicherheit und zu mobilen Anwendungen reicht, ist das am schnellsten wachsende Marktsegment. Allerdings verfügen Unternehmen nicht immer über die nötigen Ressourcen für diese hochkomplexen Bereiche. Also unterstützt Arrow seine Kunden bei der Planung und Entwicklung sowohl der Geräte als auch der nötigen Software, ergänzt ihre Fähigkeiten und übernimmt in ihrem Auftrag die Entwicklungsarbeit.

Mit der Bereitstellung von Engineering-Services hilft Arrow Unternehmen, diese Herausforderungen zu bewältigen und ihre Ideen von der ersten Vision bis zur tatsächlichen Realisierung zu bringen. Die Halbleiterbranche ist stark umkämpft und entwickelt sich rasant weiter. Hersteller von heute müssen

Forschung und Entwicklung Priorität einräumen, Risiken eingehen und in neue Technologien investieren, um wettbewerbsfähig zu bleiben und die Anforderungen der Kunden zu erfüllen. Aber angesichts miteinander konkurrierender Prioritäten, des Fachkräftemangels und einer sich rasend schnell weiterentwickelnden Landschaft ist es ein enormer Kraftakt, immer einen Schritt voraus zu bleiben. An dieser Stelle kommt das Engineering-Services-Portfolio von Arrow ins Spiel. Arrow arbeitet intensiv unter anderem mit OEMs in der Automobil-, Pharma-, Medizin- und Industriebranche zusammen. FAEs bieten in diesen Partnerschaften dank ihrer hervorragenden Herstellerbeziehungen einen einzigartigen Zugang zu neuen Produkteinführungen. Die Teams von Arrow erleichtern die Durchführung strategischer Designprüfungen, sprechen Technologieempfehlungen aus und helfen bei der Beschleunigung der Designprozesse. Unternehmen schätzen diesen One-Stop-Shop-Ansatz, da Arrow sowohl das Produktdesign als auch die Lieferkette unterstützen kann. So wird sichergestellt, dass das Unternehmen die entwickelten Produkte liefern kann und die Lieferkette funktioniert, sobald die Produktion anläuft. Dieses Serviceangebot hilft Kunden dabei, eigene Ideen in die Tat umzusetzen und Technologien effizienter und effektiver zu entwickeln, herzustellen und zu verwalten.



Engineering-Services über Elnfochips

Gerade im Bereich der Engineering-Services ist Elnfochips eine der wichtigsten Triebfedern auf dem Markt. Elnfochips, ein Unternehmen von Arrow Electronics, ist ein weithin anerkannter Marktführer im Bereich der digitalen Transformation und produkttechnischen Serviceleistungen. Ein kompetenter Engineering- und Innovationspartner in allen Belangen der Produktentwicklung, der seine Kunden schneller auf den Markt bringt und sie mit seinem Know-how in den Bereichen IoT, KI/ML, Sicherheit, Sensoren, Silizium, drahtlose Technologien, Cloud und Energiemanagement unterstützt. Mit mehr als 500 entwickelten Produkten und 40 Millionen Anwendungsfällen in 140 Ländern treibt Elnfochips die technologische Innovation in den unterschiedlichen Branchen maßgeblich voran. Diese Serviceleistungen erleichtern den Kunden die Entwicklung über den gesamten Produkt-Stack hinweg, einschließlich Geräteentwicklung, Digital Engineering sowie Halbleiterentwicklung. Das Serviceangebot umfasst Design-to-Manufacturing, maschinelles Lernen, Produkttests und die Entwicklung von Embedded-Systemen. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal für Elnfochips auf dem Service-Markt sind seine hervorragenden Fähigkeiten der Produktentwicklung. Das Unternehmen arbeitet eng mit seinen Kunden bei der Ausarbeitung einer klar definierten Produktstrategie zusammen, die mit den langfristigen Zielen übereinstimmt, definiert die wichtigsten Erfolgskennzahlen und entwirft und entwickelt dann das Produkt. Gleichzeitig kann Elnfochips das operative Konzept auf die Produktziele des Kunden abstimmen und die Geschäftsprozesse und Systeme optimieren. Werfen wir einen genaueren Blick auf die wichtigsten Serviceleistungen:

Geräteentwicklung – Die Geräte- und Systementwicklung hat einen enormen Wachstumsschub erlebt – von der frühen Ära der Mikrocontroller bis hin zu den neuesten technologischen Innovationen auf dem Gebiet der Prozessoren, Sensoren, Konnektivität, Protokollen und Embedded-Software. Daraus ist ein riesiger Markt für anspruchsvolle Endan-

wendungen wie tragbare Geräte, intelligente Haushaltsgeräte, 3D-Drucker, selbstfahrende Autos, Virtual- und Augmented-Reality-Anwendungen und vieles mehr entstanden. Der knallharte Wettbewerb und die Kommodifizierung zwingen Marktteilnehmer dazu, immer neue, innovative Produkte und Lösungen zu entwickeln und auf den Markt zu bringen. Elnfochips ist Mitentwicklungspartner zahlreicher Produktunternehmen aus verschiedenen Branchen, die auf maßgeschneiderte Dienstleistungen für die Entwicklung von Embedded-Systemen setzen. Ein großer Fokus auf technische Innovation und Exzellenz schuf die Grundlagen für zahlreiche revolutionäre Produktdesigns und -lösungen.

Digital Engineering & digitale Transformation – Durch den kontinuierlichen Fokus auf Kundenerfahrung und datengesteuerte Produktverbesserungen hat sich der digitale Transformationsbedarf in Unternehmen quer durch alle Branchen rapide erhöht. Elnfochips hat mehrere IPs und „Lösungsbeschleuniger“ in den Bereichen IoT, maschinelles Lernen, Cloud Enablement, Videoverwaltung, Testautomatisierung und Themengebieten entwickelt, mit denen seine Kunden ihre Pläne zur digitalen Transformation erfolgreich umsetzen können.

Hochwertige Engineering Services – Mit dem Einzug der digitalen Transformation und neuerer Technologien wie IoT, Cloud, DevOps, Big Data und künstlicher Intelligenz in den verschiedenen Industrie- und Verbraucheranwendungen ist die Benutzererfahrung verstärkt in den Mittelpunkt gerückt. Unternehmen versuchen ständig, Produkte schneller zu entwickeln, um auf dem Markt wettbewerbsfähig zu bleiben. Daher ist eine effektive Qualitätssicherung ein entscheidender Faktor, der es ihnen ermöglicht, qualitativ hochwertige Produkte schneller auf den Markt zu bringen. Elnfochips bietet Qualitätssicherungsdienste für den gesamten Lebenszyklus vernetzter Produkte, von der Testberatung und -implementierung bis hin zur Testbetreuung am Ende des Lebenszyklus, und sorgt so für hohe Produktqualität, operative Exzellenz und Agilität auf dem Weg zum Erfolg. Zudem

bietet Elnfochips dank seiner Erfahrung mit Open-Source-Tools, DevOps und dem Shift-Link-Testing-Ansatz schnellere Resultate in zentralen Unternehmensanwendungen und Softwaretests.

Silizium- und VLSI Engineering – Unsere Welt ist auf dem Sprung in eine Zeit, in der überall, auf jedem Gerät und zu jederzeit Daten verarbeitet werden können. Die Halbleiterindustrie und auch die Anbieter von Embedded-Lösungen stecken mitten in diesem Wandel und bereiten den Weg für die IoT-Innovationen der nächsten Generation. Die Nachfrage nach Mikrocontrollern, Sensoren und Speicherlösungen in der Halbleiterindustrie (VLSI-Chipdesign) wird aufgrund der wachsenden Verbreitung innovativer Geräte wie Smartphones, Tablets, Mobiltelefone, Elektroautos und tragbarer Geräte signifikant ansteigen. Gleichzeitig hat diese Entwicklung auch eine größere Nachfrage nach leistungsstarken, robusten und zuverlässigen On-Chip-Produkten, niedrigeren Geometrien, VLSI-Design-Services, Testdesigns, DFM, Prä-/Post-Silizium-Validierung und andere Lösungen ausgelöst. Elnfochips überzeugt mit durchdachtem, schlüsselfertigem Produktdesign und Silizium-Engineering-Services für Halbleiterunternehmen.

Ihr Partner bei der Produkttransformation

Mit seinen Engineering Services positioniert sich Arrow Electronics somit als zuverlässiger Partner für die Produkttransformation. Unternehmen sind gefordert, ihre Geschäftsabläufe flexibler und effizienter zu gestalten. Gleichzeitig zwingen disruptive Technologien, eine sich stetig verändernde Benutzerbasis, kürzere Produktzyklen und -varianten sowie immer neue Geschäftsmöglichkeiten die Unternehmen dazu, sich weiterzuentwickeln, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Arrow begleitet seine Kunden durch alle Höhen und Tiefen dieser komplexen Geschäftslandschaft, die von einer schnelleren Produkteinführung, einer höheren Investitionsrendite bei der Produktentwicklung und gesteigerter Rentabilität im gesamten Unternehmen profitieren.

Mehr Infos: [1]

230707-02

WEBLINK

[1] Design Engineering : <https://www.arrow.com/company/de/expertise/design-engineering>

Leistungsdichte vs. Wirkungsgrad

Von Mark Patrick, Mouser Electronics

Häufig wird die Auswahl eines Netzteils auf der Grundlage einer einzigen Wirkungsgradangabe auf dem Datenblatt getroffen, und die Hersteller tun alles, um diese Zahl in die Höhe zu treiben, unter anderem, indem sie die Messbedingungen immer sorgfältiger definieren. Designer entwerfen immer ausgefeiltere Topologien, zum Beispiel phasenverschobene Vollbrücken (PSFBs) und LLC-Wandler. Und auf Komponentenebene kommen MOSFETs anstelle von Dioden zum Einsatz, um Verluste zu reduzieren. Sogar Silizium wird in Frage gestellt, da Materialien mit breiter Bandlücke (Wide Bandgap, WBG) wie Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) eine bessere Leistung versprechen, selbst bei hohen Schaltgeschwindigkeiten.

Der genaue Wirkungsgrad auf dem Datenblatt eines Netzteils ist für die meisten Benutzer relativ unbedeutend. Ihnen geht es mehr um den System- oder Prozesswirkungsgrad sowie um die Erfüllung (oder Übererfüllung) ihrer Umweltauflagen und finanziellen Zielvorgaben. Zunehmend setzt sich die Erkenntnis durch, dass der Umweltschutz (und die Kostenkontrolle) über die Lebensdauer eines Systems gesehen wichtiger sind als der auf dem Datenblatt angegebene Wirkungsgrad eines Netzteils. Da jedoch Immobilien in der Anschaffung und im Unterhalt Geld kosten, konzentrieren sich die Unternehmen darauf, so viel rentable Geräte wie möglich in ihren Räumlichkeiten unterzubringen. Daher ist

für sie die Leistungsdichte oft wichtiger als der Wirkungsgrad.

Dieser Artikel befasst sich eingehend mit Leistungsdichte und Wirkungsgrad und untersucht dabei, welche Kosten entstehen, wenn man einen höheren Wirkungsgrad anstrebt, leistungsstarke Stromversorgungslösungen kauft und diese schließlich verantwortungsvoll entsorgt. Im Vergleich dazu steht ein Ansatz, der sich auf die Erhöhung der Leistungsdichte konzentriert und die Verbesserung der Systemeffizienz zum Ziel hat. Der Artikel untersucht auch, ob das Wärmemanagement anstelle der Gesamteffizienz der Energieumwandlung im Mittelpunkt stehen sollte.

Der Begriff „Wirkungsgrad“

Der Wirkungsgrad ist ein Konzept, das leicht zu verstehen ist: Je näher er an 100 % liegt, desto besser – oder etwa doch nicht? In einem Büro oder einem Rechenzentrum wird (physikalisch gesehen) keine nützliche Arbeit verrichtet – es werden keine großen Maschinen bewegt. Daher könnten wir diese Orte als 0 % effizient betrachten, da die gesamte eingesetzte Energie letztendlich in Wärme in den Computern, Servern, der Speicherung und der Leistungsumwandlung umgewandelt wird.

Vergleicht man jedoch die Einnahmefizienz, das heißt, den Wert des verbrauchten Stroms in Euro im Vergleich zu den Einnahmen in Euro, dann kann die Effizienz (beziehungsweise der Wirkungsgrad) 1000 % erreichen. Für die Leistungsfähigkeit und den Erfolg eines Unternehmens sollte es also das Ziel sein, die Stromkosten so niedrig wie möglich zu halten, indem der Stromverbrauch pro Leistungseinheit reduziert wird.

Jeder Leiter eines Rechenzentrums steht vor der Herausforderung, die Verarbeitungs- und Speicherkapazität zu erhöhen und gleichzeitig den Umsatz und den Gewinn zu steigern. Dazu müssen die Stromkosten unter Kontrolle gehalten werden und die Anschaffungen müssen sich schnell amortisieren. Je mehr Server hinzukommen, desto mehr steigen die Stromkosten (und damit auch die Möglichkeit, Einnahmen zu erzielen), und dieses Verhältnis von Einnahmen und Kosten wird zum Teil durch die Auswahl der Geräte bestimmt.

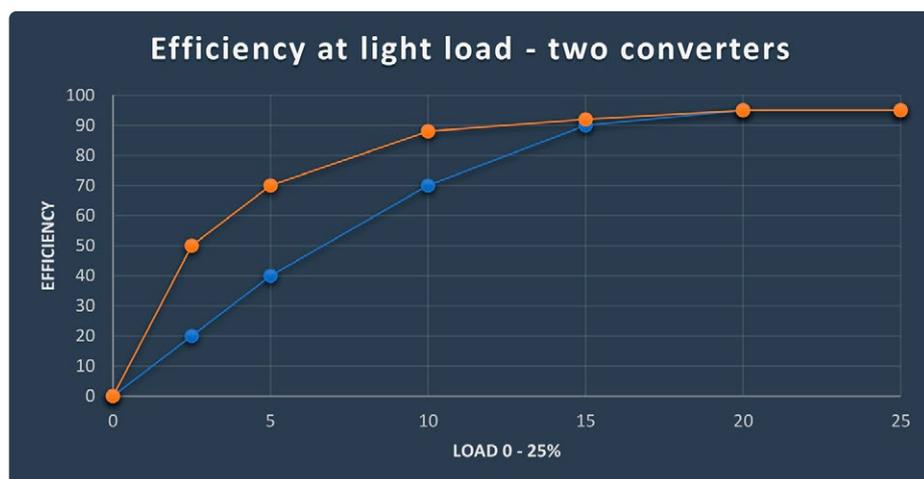


Bild 1. Verschiedene Netzteile weisen sehr unterschiedliche Wirkungsgrade bei geringer Last auf.

In einer Fertigungsanlage besteht der einzige triftige Grund für den Einbau eines weiteren leistungsstarken Motors darin, eine höhere Produktion zu erzielen, sodass der Motorantrieb und die zugehörige Stromversorgung lediglich Gemeinkosten sind, die keinen zusätzlichen wirtschaftlichen Wert darstellen. Alle Betriebskosten (einschließlich der Stromkosten), die mit dem Betrieb des Motors verbunden sind, werden daher als Belastung für das Geschäftsergebnis angesehen. Die Effizienz ist also wichtig, aber nur im Zusammenhang mit der Erledigung der notwendigen Arbeit bei möglichst geringem Stromverbrauch.

Verluste sind immer ein wichtiger Faktor

Im Bereich der Elektronikentwicklung gibt es viele Formeln (zum Beispiel ist der Wirkungsgrad gleich der abgegebenen Leistung geteilt durch die aufgenommene Leistung in Prozent, und die Verluste sind gleich der aufgenommenen Leistung minus der abgegebenen Leistung). Damit diese Formeln jedoch aussagekräftig sind, muss der Kontext berücksichtigt werden, etwa die Leistungsstufen und die Betriebs- und Umgebungsbedingungen. Selbst mit einer festgelegten Formel können Hersteller von Stromversorgungen die optimalen Bedingungen auswählen, sodass der Wirkungsgrad besser erscheint, als er unter realen Bedingungen ist.

Häufig wird der Wirkungsgrad in der Nähe der Volllast angegeben, aber nur wenige Systeme (insbesondere bei redundanten Anwendungen) laufen über einen längeren Zeitraum auf diesem Niveau. Außerhalb des sogenannten „Sweet Spot“ kann der

Wirkungsgrad jedoch viel niedriger sein. In der Regel sinkt der Wirkungsgrad bei Nulllast erheblich, und die Art und Weise dieses Rückgangs ist bei jedem Netzteil unterschiedlich. So kann der Energieverbrauch eines Servers im Leerlauf um eine (oder mehrere) Größenordnungen abweichen.

Der in **Bild 1** durch die blaue Linie dargestellte Wandler nimmt bei 5 % Last mehr als dreimal so viel Energie auf wie der durch die orangefarbene Linie dargestellte Wandler. Die Verluste bei geringer Last sollten bei der Auswahl im Mittelpunkt stehen, da sie einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtenergieaufnahme haben.

Da der Wirkungsgrad bei niedriger Last so wichtig ist, wurden Standards wie die

„80 PLUS“-Initiative (**Tabelle 1**) entwickelt, die Mindestwirkungsgrade über den gesamten Lastbereich vorgeben. 80 PLUS Titanium ist die strengste Spezifikation, die einen Wirkungsgrad von mindestens 94 % bei 50 % Last und 90 % bei 10 % Last fordert (basierend auf einem 115-V-System). Bei einem 230-Volt-System erhöht sich die Anforderung bei 50 % Last auf 96 %, während bei 10 % Last immer noch 90 % verlangt werden.

Die Erfüllung der 80-PLUS-Anforderungen ist anspruchsvoll, insbesondere in den höheren Leistungsstufen, die nach der Entwicklung des Zertifizierungssystems im Jahr 2004 eingeführt wurden. Die Basisstufe verlangt einen Wirkungsgrad von 80 % bei 50 % Last, während für die Titanium-Stufe (94 %) eine Reduzierung der Verluste um drei Viertel erreicht werden muss.

Dies entspricht einer Steigerung des Wirkungsgrads um 14 %, wobei ein 1-kW-Wandler die Verluste von 250 W auf 64 W reduzieren müsste. Es liegt auf der Hand, dass sich dies nicht durch die Optimierung einer bestehenden Topologie oder eines Designs erreichen lässt. Die Industrie hat darauf mit innovativen Ansätzen reagiert. So wurden beispielsweise Dioden durch synchron gesteuerte MOSFETs ersetzt. Zudem wurden PSFB- und LLC-Resonanztopologien eingeführt, um die Schaltverluste zu begrenzen. Darüber hinaus sorgen neue WBG-Materialien für geringere Verluste, wenn die Schaltfrequenz erhöht wird.

Tabelle 1: Zusammenfassung der 80-PLUS-Anforderungen für 115-V-Systeme. (Quelle: Mouser)

80-PLUS-Zertifizierung	115 V Intern, nicht-redundant				115 V Industrie			
	10%	20%	50%	100%	10%	20%	50%	100%
80 PLUS	---	80%	80%	80%/ PFC 0,9	---			
80 PLUS Bronze	---	82%	85%/ PFC 0,9	82%	---			
80 PLUS Silber	---	85%	88%/ PFC 0,9	85%	80%	85%/ PFC 0,9	88%	85%
80 PLUS Gold	---	87%	90%/ PFC 0,9	87%	82%	87%/ PFC 0,9	90%	87%
80 PLUS Platin	---	90%	92%/ PFC 0,95	89%	85%	90%/ PFC 0,95	92%	90%
80 PLUS Titan	90%	92%/ PFC 0,95	94%	90%	---			

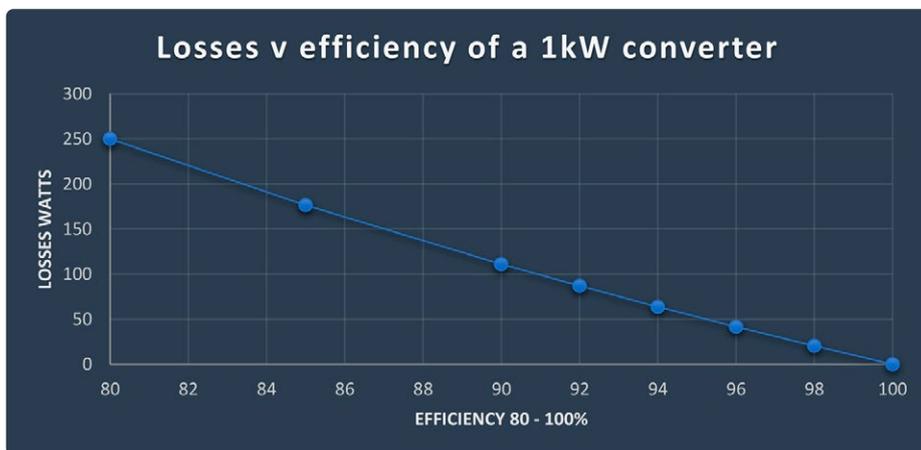


Bild 2. Verluste im Vergleich zum Wirkungsgrad in einem 1-kW-Wandler.

Da bei vielen Wandlern eine zweistufige Umwandlung notwendig ist, beispielsweise Leistungsfaktorkorrektur (PFC) und DC-DC, muss der Wirkungsgrad in jedem Abschnitt noch höher sein. Der Brückengleichrichter für das Eingangsnetz wurde von vier Dioden auf ein MOSFET-Netzwerk umgestellt, das den Wirkungsgrad der PFC-Stufe verbessert. Diese Technologien sind neu und können teuer sein. Hinzu kommt das Risiko, das mit allem verbunden ist, was sich (noch) nicht über Jahre hinweg in der Praxis bewährt hat. Dennoch besteht eine ungebrochene Nachfrage nach immer höheren Wirkungsgraden, die in Richtung 99 % und darüber hinaus gehen.

1 %: Ist das wenig oder viel?

Je höher der Wirkungsgrad, desto schwieriger wird jede kleine Steigerung. Um von 97 % auf 98 % zu kommen, müssen die Verluste um ein Drittel reduziert werden. Noch schwieriger ist es, von 98 % auf 99 % zu kommen, was eine weitere Reduzierung der Verluste um die Hälfte erfordert.

Diese Reduzierung um 50 % würde mit großer Wahrscheinlichkeit eine völlige Neukonstruktion mit komplexeren Technologien und hochpreisigen Bauelementen notwendig machen, was mit einem erheblichen Zeitaufwand und Risiko verbunden ist. Ein 1-kW-Netzteil setzt bei einem Wirkungsgrad von 98 % 20,4 W in Wärme um; bei einem Wirkungsgrad von 99 % reduziert sich der Verlust auf 10,1 W (**Bild 2**). Die Kosten, die durch die Einsparung von nur 10,3 W entstehen, sind über die Zeit betrachtet und in Bezug auf die letztendlichen Stücklistenkosten sehr hoch.

Man könnte zwar sagen, dass sich Energieeinsparungen immer lohnen, aber diese Aussage ist nicht ganz richtig, wenn man das Gesamtbild betrachtet. In den USA zahlt die Industrie etwa 0,165 US-Dollar pro Kilowattstunde [1]. Bei einer Lebensdauer von fünf Jahren für eine 1-kW-Stromver-

sorgung bei 100 % Betriebszeit spart eine Reduzierung um 10,1 W etwa 73 US-Dollar, während die Lastleistung über 7.300 US-Dollar kostet.

Die Anschaffung, der Kauf und die Qualifizierung eines neuen Netzteils sind mit hohen Verwaltungskosten verbunden, hinzu kommen die Kosten für die Entsorgung veralteter Geräte. Auch die Risiken, die mit der Umstellung verbunden sind, müssen berücksichtigt werden. Es ist äußerst zweifelhaft, dass die Einsparung von 73 US-Dollar all diese Kosten auch nur annähernd deckt – es sei denn, es handelt sich um Anlagen, in denen viele Tausend solcher Netzteile zum Einsatz kommen. „Effizienz um der Effizienz willen“ ist selten eine solide Geschäftsstrategie.

Ist Abwärme ein Thema?

Die Frage, inwieweit ein Unternehmen die Abwärme einer Stromversorgung berücksichtigen muss, hängt von der Quelle der elektrischen Energie ab. Handelt es sich um Energie aus fossilen Brennstoffen wie Kohle oder Gas, die von Endgeräten und HLK-Systemen aufgenommen wird, so hat dies Auswirkungen auf die globale Erderwärmung und die Umweltverschmutzung. Analysen zufolge geben selbst „saubere“ Kernkraftwerke Wärme an die Umgebungsluft ab, da ihr thermischer Wirkungsgrad im Allgemeinen bei etwa 33 % [2] liegt.

Die Steigerung des Wirkungsgrads ist sicherlich eine gute Sache, aber selbst in heißen Regionen auf der Welt erzeugen die Menschen Wärme in Heizkesseln, Duschen, Bädern, Waschmaschinen, Wäschetrocknern und vielem mehr. Daher erscheint es unlogisch, dass Entwickler versuchen, ein paar Dutzend Watt einzusparen, während nebenan stundenlang ein Wäschetrockner mit mehreren Kilowatt betrieben wird. Kraft-Wärme-Kopplungssysteme (KWK) können diese Anomalie beheben, indem sie die Abwärme der Industrie nutzen und für

eine sinnvolle Verwendung in den lokalen Gemeinden einsetzen.

Eines der ältesten Beispiele hierfür war Thomas Edisons erstes Kraftwerk in der Pearl Street Station im Jahr 1882. Ein ähnliches Prinzip wird in dem von IBM gebauten Rechenzentrum [3] der Syracuse University in New York angewandt. Es ist zwar noch nicht so weit verbreitet, aber die Prinzipien könnten auch in der Industrie angewandt werden. Da die Betreiber dazu neigen, ihre Rechenzentren in kältere Klimazonen zu verlegen, wo die Umgebungsluft zur Kühlung genutzt werden kann, kann die Wärme (wenn sie richtig kanalisiert wird) sehr nützlich sein, und zwar insbesondere dort, wo Strom aus Wasserkraft oder geothermischen Quellen (wie in Norwegen oder Island) günstig ist.

Wärme wirkt sich auf die Zuverlässigkeit aus

Die Reduzierung der Stromversorgungsverluste ist lohnenswert, da dadurch die Temperaturen im Inneren der Geräte gesenkt und die voraussichtliche Lebensdauer und Zuverlässigkeit verbessert werden. Dies ist jedoch nur relevant, wenn das Gehäuse und die Kühlung unverändert bleiben. In verschiedenen Formeln ist definiert, dass sich die Lebensdauer von Elektronikgeräten pro 10°C Anstieg der Umgebungstemperatur halbiert. Darüber hinaus wird in vielen Handbüchern über die Zuverlässigkeit angegeben, dass die Ausfallrate bei Halbleitern um etwa 25 % und bei Kondensatoren um etwa 50 % steigt, wenn die Temperatur im gleichen Maße steigt. Moderne Technologien sind im Allgemeinen sehr zuverlässig und langlebig. Selbst mit diesen Zahlen bleibt die Zuverlässigkeit hoch, aber es gibt dennoch einen thermischen Effekt, den man erkennen und verstehen sollte. Die Industrie versucht zwar in der Regel, eine Eingangstemperatur von etwa 21°C in Rechenzentren aufrechtzuerhalten, aber Untersuchungen von Intel und anderen Unternehmen haben gezeigt, dass ein Anstieg keine signifikanten Auswirkungen auf die Systemzuverlässigkeit hat. Ein Bericht von APC [4], in dem die American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) zitiert wird, prognostiziert nur einen 1,5-fachen Anstieg der Gesamtausfallrate bei einem Anstieg der Luft Eintrittstemperatur um 20...32°C (**Bild 3**).

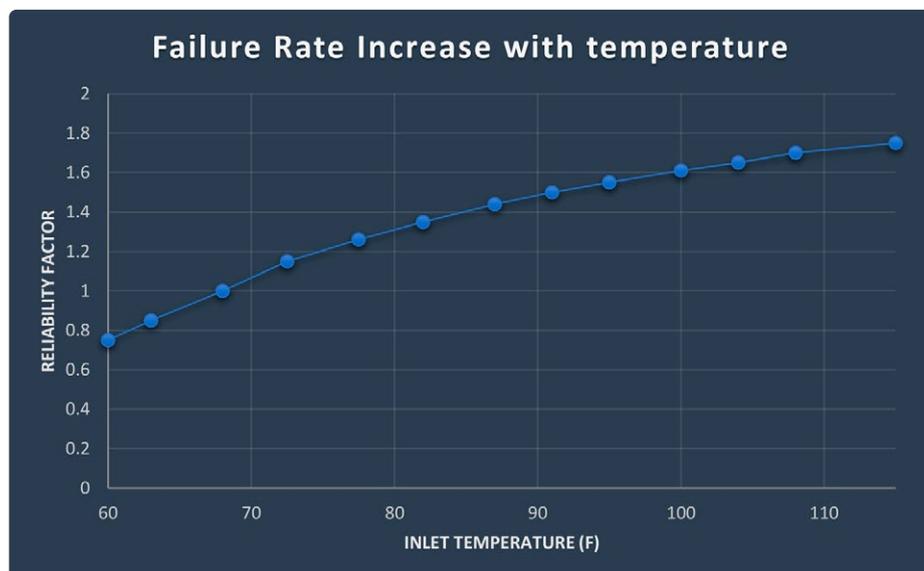


Bild 3. Der Einfluss der Eingangstemperatur auf die Zuverlässigkeit.

Mit jedem Grad Celsius, um das die Temperatur in Rechenzentren ansteigt, können die Kühlkosten um etwa 7 % gesenkt werden, da die Geräte (etwas) wärmer laufen können, was sich positiv auf die Betriebskosten auswirken kann.

Die neueren WBG-Materialien können mit höheren Sperrschichttemperaturen arbeiten als ihre Pendanten aus Silizium, sodass die Geräte (insbesondere Hochfrequenz-Netzteile) auch bei höheren Temperaturen betrieben werden können.

Auf die Leistungsdichte kommt es an

Der Wirkungsgrad kann oft durch eine Verlangsamung der Schaltgeschwindigkeiten verbessert werden, was jedoch größere passive Bauelemente und größere Leistungswandler voraussetzt. Dadurch erhöht sich zwar die Zuverlässigkeit, da die Temperatur niedriger ist, aber es geht auf Kosten des benötigten Platzes, was wiederum Herausforderungen auf Systemebene mit sich bringt.

Dank der höheren Betriebstemperatur können Systementwickler mehr Funktionen in einen bestimmten Schaltschrank integrieren, und zwar sowohl in Rechenzentren als auch in der Industrie, wo Gehäuse in Standardgröße fast immer mit Motorantrieben und Speicherprogrammierbaren Steuerungen vollgepackt sind.

Neue Hochleistungsstromwandler mit kleinerem Formfaktor können einen zusätzlichen Schrank überflüssig machen und so Kosten (und Platz) sparen, da sie in einem bereits vorhandenen Schrank untergebracht werden können. Da Stellfläche teuer ist, kann durch die Einsparung von Platz ein konkreter Gewinn erzielt werden, insbesondere wenn dieser Platz für Geräte genutzt werden kann, mit denen Einnahmen erzielt werden können.



Über den Autor

Als Direktor für technische Inhalte bei Mouser Electronics in der EMEA-Region ist Mark Patrick für die Erstellung und Verbreitung technischer Inhalte in der Region verantwortlich - Inhalte, die für die Strategie von Mouser zur Unterstützung, Information und Inspiration des technischen Publikums entscheidend sind. Bevor er die Leitung des Bereichs Technical Content übernahm, war Mark Patrick Teil des EMEA Supplier Marketing Teams von Mouser und spielte eine wichtige Rolle beim Aufbau und der Entwicklung von Beziehungen zu wichtigen Fertigungspartnern. Marks frühere Erfahrungen umfassen praktische Ingenieuraufgaben, technischen Support, technischen Halbleitervertrieb und verschiedene Marketingpositionen. Mark ist im Herzen ein „praktischer“ Ingenieur und hat einen erstklassigen Abschluss in Elektrotechnik von der Coventry University. Seine Leidenschaft gilt alten Synthesizern und britischen Motorrädern und er scheut auch nicht vor deren Wartung und Reparatur zurück.

Fazit

Die Auswahl eines Netzteils sollte nicht nur auf der Grundlage von Wirkungsgraden erfolgen. Faktoren wie System- oder Prozesseffizienz, Umweltauflagen und finanzielle Ziele sind wichtigere Überlegungen. Die Hersteller bemühen sich zwar, den Wirkungsgrad von Stromversorgungen durch fortschrittliche Topologien und Materialien zu verbessern, doch für die Benutzer hat die Leistungsdichte Vorrang vor dem Wirkungsgrad, da sie dadurch auf begrenztem Raum die Einnahmen der Geräte maximieren können. Der Wirkungsgrad bei niedriger Last ist entscheidend. Mit diesem Aspekt befassen sich Industrienormen wie die 80 PLUS-Initiative. Das Erreichen höherer Wirkungsgrade wird zunehmend schwieriger und kostspieliger, und die Erträge nehmen ab. Der Wirkungsgrad sollte in einem ausgewogenen Verhältnis zu den Gesamtkosten, der Zuverlässigkeit und den Umweltauswirkungen stehen, wobei Faktoren wie Anschaffung, Entsorgung und Wärmemanagement zu berücksichtigen sind. Die Leistungsdichte spielt eine wichtige Rolle, denn sie ermöglicht mehr Funktionalität auf begrenztem Raum und senkt die Kosten. Um fundierte Entscheidungen über die Stromversorgung treffen zu können, ist letztlich ein ganzheitlicher Ansatz erforderlich, der verschiedene Faktoren berücksichtigt. ◀

230708-02

WEBLINKS

[1] US BLS, „Average Energy Prices for the United States“: <https://t1p.de/u9kzk>

[2] Atomkraft, „Thermal Efficiency of Nuclear Power Plants“: <https://t1p.de/zg760>

[3] Data Knowledge Center, „Data Centers That Recycle Waste Heat“, 2010: <https://t1p.de/djg0q>

[4] Torell, W., Brown, K., & Avelar, V., „The Unexpected Impact of Raising Data Center Temperatures“, 2021: <https://t1p.de/gybfb>

Aluminium- Elektrolytkondensatoren

Störpotential in der Audiotechnik?

Von Dr. René Kalbitz (Würth Elektronik eiSos)

Aluminium-Elektrolytkondensatoren stehen im Verdacht, Quelle oder zumindest Mitverursacher von hochfrequenten Verzerrungen bei Audiosignalen zu sein. Ob dies zutrifft, wurde in einer Studie von Würth Elektronik detailliert untersucht.

In der Audiotechnik gibt es eine anhaltende Diskussion über die Klangqualität von Verstärkern hinsichtlich der Hörbarkeit von Signalverzerrungen. Offenbar stehen Kondensatoren im Verdacht, Quelle oder zumindest Mitverursacher von hochfrequenten Verzerrungen zu sein, die den Höreindruck beeinflussen. Eine Studie von Würth Elektronik soll den Diskurs über Kondensatoren und deren Einfluss auf Verzerrungen ergänzen [1]. Bei der Diskussion über die Hörbarkeit von Verzerrungen geht es nicht nur um die Messung elektrischer Eigenschaften, sondern auch um deren Interpretation im Hinblick auf die Wahrnehmung durch das menschliche Gehör.

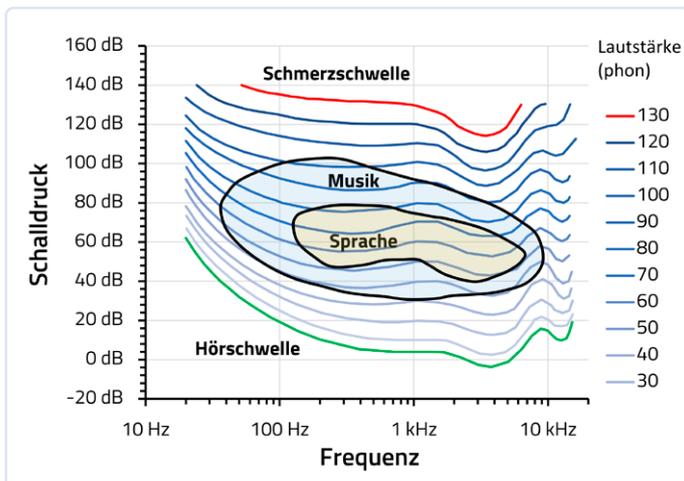
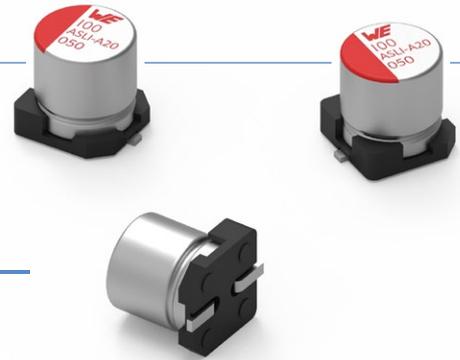


Bild 1. Auditiver Wahrnehmungsbereich nach DIN 45630.

Die Studie vergleicht die Oberschwingungsgesamtverzerrung (englisch Total Harmonic Distortion, THD) von handelsüblichen Elektrolytkondensatoren, so wie sie von Würth Elektronik eiSos hergestellt werden, sowie von speziell angefertigten Produkten. Um die Parameter zu ermitteln, welche die THD beeinflussen, wurden Kondensatoren mit unterschiedlichen Trennpapieren und Elektrolytzusammensetzungen untersucht. Diese Musterkondensatoren wurden unter Bedingungen, die der Massenproduktion nahekommen, in einer Produktionsstätte hergestellt und im Elektroniklabor von Würth Elektronik eiSos in Berlin analysiert. Um den Leser in die Lage zu versetzen, die Ergebnisse zu interpretieren, gibt es zunächst eine Einführung in das Gebiet des menschlichen Gehörs und der Psychoakustik, bevor auf die Untersuchung der harmonischen Verzerrungen in Kondensatoren eingegangen wird.

Menschliches Gehör

Das menschliche Ohr kann Schallwellen in einem Frequenzbereich zwischen etwa 20 Hz (untere Grenze) und 16 kHz (obere Grenze) wahrnehmen [2]. Schall in diesem Bereich (hörbares Fenster) wird daher als hörbarer Schall bezeichnet. Schall unter 20 Hz wird als Infraschall und Schall über 16 kHz als Ultraschall bezeichnet. Eine grafische Darstellung der Hörempfindung erhält man, wenn man den Schalldruckpegel über die gerade hörbare Frequenz aufträgt (Bild 1). Die in der Abbildung eingetragenen Kurven werden als Isophone bezeichnet und stellen Kurven gleicher Lautstärke dar, gemessen in der Einheit phon. Isophone setzen den Schalldruck, gemessen in dB, in Beziehung zu den Lautstärkepegeln. Ein Ton mit einem Lautstärkepegel von 50 phon wird als genauso laut empfunden wie ein 1-kHz-Ton mit einem Schalldruckpegel von 50 dB. Gleicher Lautstärkepegel bedeutet, dass unabhängig von der Frequenz jeder Ton im Verlauf einer Kurve als gleich laut wahrgenommen wird. Die Lautstärke ist also eine Wahrnehmungsgröße (psychoakustisch), im Gegensatz zum Schalldruck, der eine Anreizungsgröße darstellt (Quellenangaben in [1]). In Bild 1 zeigt die unterste Kurve die sogenannte Hörschwelle an. Diese Schwelle gilt für Messungen mit Sinustönen in einem freien Schallfeld binauralen Hörens. Der Schalldruckpegel ist auf den Schalldruck 20 µP bezogen. Nach dieser Definition beträgt der



Schalldruckpegel an der Hörschwelle bei 1 kHz 4 dB. Der Bereich für Sprache ist viel kleiner als der Hörbereich. Auch Musik umfasst nur ein Teilgebiet des gesamten Hörbereichs.

Die Hörschwelle ist stark frequenzabhängig. Im Bereich zwischen 2 kHz und 5 kHz ist die Hörempfindlichkeit am größten. In diesem Bereich reicht der niedrigste Schalldruck für eine Hörempfindung aus. Unterhalb und oberhalb dieses Bereichs nimmt die Hörempfindlichkeit schnell ab. Die obere Kurve stellt die Schmerzgrenze dar. In diesem Fall ist der Schalldruck groß genug, um Schmerzen zu verursachen. Er führt bei längerer Einwirkung sogar zu dauerhaften Hörschäden.

Das subjektive Maß der Lautstärke kann durch das in **Bild 2** dargestellte objektive Maß des gewichteten Schalldrucks ersetzt werden. Hier wird der Schalldruck als Funktion der Frequenz mit einer Filtercharakteristik gewichtet, die in ihrer normierten Form dargestellt ist und die annähernd invers zu den Isophonen (Kurven gleicher Lautstärke) in Bild 1 ist. Die normalisierte Gewichtungsfunktion in Bild 2 basiert auf der Empfehlung der International Telecommunication Union (ITU-R BS.468-4). Der Übersichtlichkeit halber enthält Bild 2 auch eine Kurve, die das ungewichtete hörbare Fenster angibt.

Der Dynamikbereich des menschlichen Gehörs ist groß und reicht von 130 dB (Schmerzgrenze) bis hinunter zu -9 dB (Hörschwelle). Dieser weite Bereich kann jedoch nicht gleichzeitig an beiden Extremen der Skala wahrgenommen werden. Die Fähigkeit, eine kleine Verzerrung wahrzunehmen, die einem Grund- oder Hauptsignal überlagert ist, hängt sehr stark vom Frequenzbereich und von der Komplexität des Hauptsignals ab. Untersuchungen zeigen, dass bei komplexen Sprach- und Musiksignalen Verzerrungen von 2 % bis 5 % auftreten können, ohne dass sie vom Hörer wahrgenommen werden. Für einzelne harmonische Frequenzen wurde festgestellt, dass das menschliche Gehör unter Laborbedingungen in der Lage ist, Verzerrungen durch einzelne Oberschwingungen (das heißt Obertöne oder harmonische Frequenzen) im Bereich von 0,3 % bis zu 0,01 % (bei 4 kHz, dem Bereich höchster Empfindlichkeit) relativ zur Grundfrequenz zu unterscheiden (Quellenangaben in [1]).

Die niedrigsten THDs für die ersten zehn Oberschwingungen aus dem oben erwähnten menschlichen Hörversuch liegen in der Größenordnung von etwa 10 % bis 7 %, abhängig von der Grundfrequenz. Unter bestimmten Bedingungen ist das Gehör also in der Lage, THDs bis zu 7 % zu erkennen, was einer Änderung des Schalldruckpegels von 20 dB entspricht [1].

Der THD ist ein geeignetes Mittel für Systeme mit geringen nichtlinearen Störungen, die erste Oberschwingungen unter oder um 1 % erzeugen und bei höheren Oberschwingungen gegen Null gehen. Bei größeren nichtlinearen Störungen mit nicht verschwindenden höheren Oberschwingungen ist die THD jedoch möglicherweise kein korrektes Maß für die Hörbarkeit von Störungen.

THD eines Kondensatormodells

Das gemessene Frequenzspektrum eines Kondensators mit der Grundfrequenz von 448,9 Hz in **Bild 3** zeigt einen steilen Abfall der Amplituden für höhere Oberwellen, was für alle untersuchten Kondensatoren und Anregungsfrequenzen typisch ist. Die Amplituden der ersten beiden Oberschwingungen sinken im Vergleich

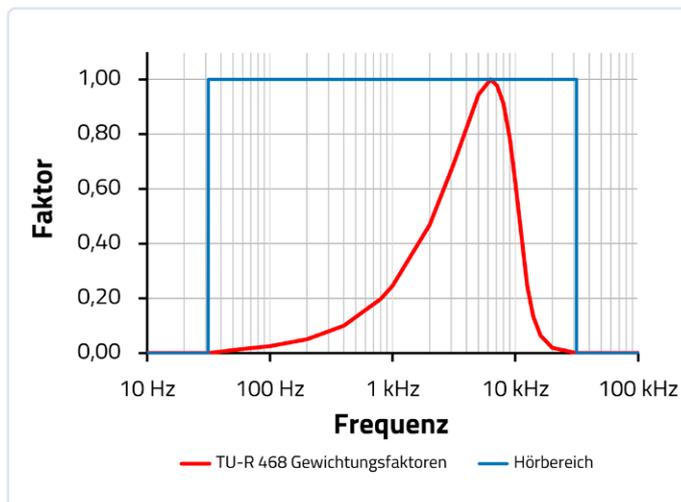


Bild 2. Grafische Darstellung der Filterfaktoren für den ungewichteten Hörbereich und der Gewichtungsfaktoren gemäß ITU-R 468.

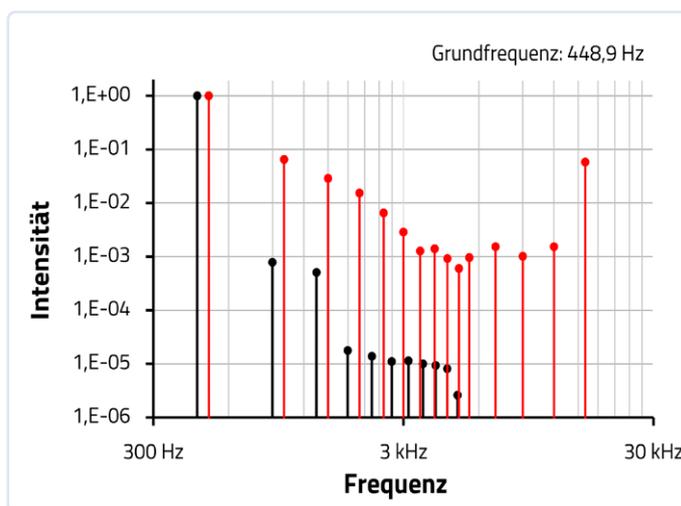


Bild 3. Gemessenes Frequenzspektrum eines 470-µF-Aluminium-Elektrolytkondensators (WCAP-ASLI, 865080253012) bei einer Grundfrequenz des Spannungssignals von 448,9 Hz. Ebenfalls dargestellt ist der Schwellenwert für hörbare Verzerrungen, der in einem psychoakustischen Experiment für eine Grundfrequenz von 500 Hz ermittelt wurde.

zum Grundschwingungssignal auf Werte deutlich unter 0,1 %. Die Oberschwingungen höherer Ordnung erreichen Werte in der Größenordnung von 0,001 % und darunter. Alle Oberwellenamplituden liegen deutlich unter der Hörschwelle, die ebenfalls in Bild 3 dargestellt ist und ergeben einen THD von 0,078 %. Die dargestellten Hörschwellenwerte wurden in einem separat durchgeführten psychoakustischen Experiment bei einer Grundfrequenz von 500 Hz ermittelt und ergeben einen THD von 7,3 %.

Wird die Messung der THDs für verschiedene Grundfrequenzen in Frequenzbereich von 1 Hz bis 1 MHz durchgeführt, ergibt sich der in **Bild 4** dargestellte Graph. Die hier dargestellten THDs liegen im Bereich von 0,001 % bis 0,4 %, was deutlich unterhalb der THD-Werte aus dem Hörschwellenexperiment liegt. Inner-

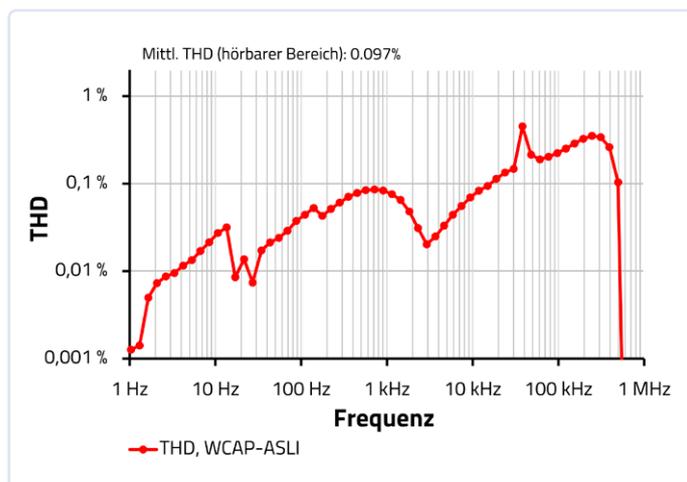


Bild 4. THD eines 470- μ F-Aluminium-Elektrolytkondensators (WCAP-ASLI, 865080253012), gemessen bei verschiedenen Grundfrequenzen in einem Bereich von 1 Hz bis 1 MHz.

halb des hörbaren Bereichs, der in Bild 4 dargestellt ist, liegen die Werte bei zum Teil weit unterhalb von 0,1 %. Um eine einfach handhabbare Kennzahl für die Frequenzverzerrung im gesamten hörbaren Bereich zu erhalten, kann der Mittelwert THD_{Mean} sowie der gewichtete Durchschnitt THD_{ITU} auf der Grundlage der menschlichen Hörempfindlichkeit aller einzelnen THD-Werte ermittelt werden [1].

Diese Art der Berechnungen wurde nun auf eine Reihe von kommerziell erhältlicher (865080253012, 860240275007) sowie eigens für diese Untersuchung angefertigte Kondensator-Prototypen (P1-P6) mit einer Kapazität von 470 μ F angewendet, die in **Bild 5** abgebildet sind. Die Prototypen stellen eine weitreichende Variation von Zusammensetzung, Dichte und Dicke des Trennpapiers sowie der Elektrolytleitfähigkeit dar (Details sind in [1] angegeben). Wie die Fehlerbalken zeigen, sind die Unterschiede zwischen den meisten Messungen von geringer statistischer Bedeutung. Somit haben die Variationen von Trennpapier und Elektrolyt die THDs nicht signifikant beeinflusst.

Halbleitereinfluss signifikanter

Die Untersuchungen deuten darauf hin, dass Materialvariationen vernachlässigbaren Einfluss auf Verzerrungen haben und diese unterhalb der Hörschwelle liegen. Elektrolytkondensatoren fügen bei der Übertragung von Signalen keine nennenswerten Oberschwingungen zu den Grundfrequenzen hinzu und können daher in guter Näherung als lineare Bauelemente betrachtet werden. Es ist wahrscheinlich, dass andere spannungsunab-

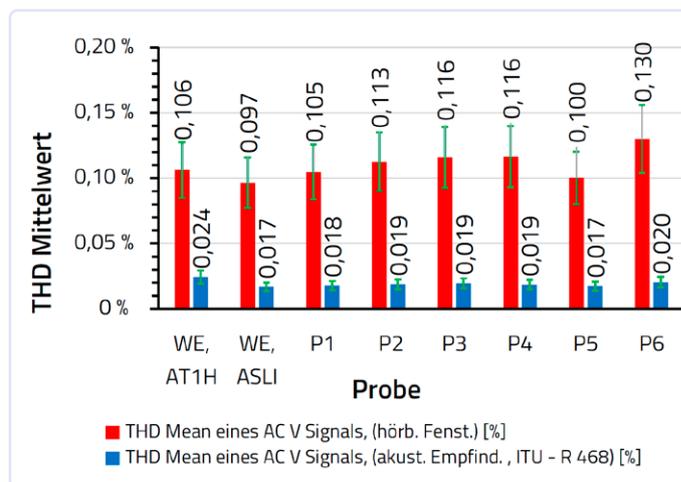


Bild 5. Gemessene Werte für THD_{Mean} (hörbares Fenster) und THD_{ITU} (akustische Empfindlichkeit). Die Fehlerbalken zeigen den mittleren Wertebereich an.

hängige Kondensatortypen und passive Bauteile im Allgemeinen ähnlich geringe Verzerrungsamplituden im Vergleich zur Hörbarkeitsschwelle erzeugen.

Folglich hat die Wahl der nichtlinearen Bauelemente wie Operationsverstärker und Dioden größere Auswirkungen auf die verzerrungsbedingte Audioqualität des Verstärkers, also die Gesamtverzerrungseigenschaften, als die Wahl des Elektrolytkondensators. **◀**

230702-02

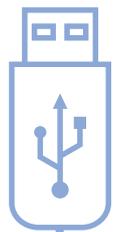


Über den Autor

Dr. René Kalbitz hat an der Universität Potsdam und an der Universität von Southampton (UK) Physik studiert. Nach absolviertem Diplom-Studium forschte und promovierte er über organische Halbleiter und Isolatoren an der Universität Potsdam. Weitere Erfahrungen im Bereich der angewandten Forschung konnte er am Fraunhofer Institut für angewandte Polymerforschung sammeln. Er ist seit 2018 bei Würth Elektronik als Produktmanager für Superkondensatoren tätig und betreut Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich Kondensatoren.

LINKS

- [1] Kalbitz, R., „Die akustischen Auswirkungen harmonischer Verzerrungen von Aluminium-Elektrolytkondensatoren“, AppNote ANP125: <https://we-online.de/ANP125>
- [2] Fellbaum, K., „Hörphysiologie und Psychoakustik. In: Sprachverarbeitung und Sprachübertragung“, pp 99-126, Springer, Berlin, Heidelberg (2012):



USB-Tester FNB58 von Fnirsi

Von Jean-François Simon (Elektor)

Entdecken Sie die Vielseitigkeit des USB-Testers FNB58 von Fnirsi. Messen Sie Spannung, Strom und Schnellladeprotokolle mit Leichtigkeit. Kein Auftrennen von USB-Kabeln mehr!

Das Fnirsi FNB58 ist ein mit rund 50 € recht preiswerter, vielseitiger, tragbarer USB-Tester, der eine Vielzahl von Spannungs-, Strom- und Energiemessungen sowie spezielle Diagnoseaufgaben im Zusammenhang mit den meisten Schnellladeprotokollen durchführen kann. Probieren wir ihn aus!

Ein Überblick

Das FNB58 in **Bild 1** verfügt über eine Vielzahl von Ein- und Ausgängen (USB C, USB A und Micro-USB). Er ist mit einem 2-Zoll-LC-Display zur Anzeige von Messergebnissen ausgestattet und bietet mehrere Tasten für die Navigation durch die Menüs. Darüber hinaus verfügt er über eine Micro-USB-Schnittstelle für den Anschluss an einen PC und die Anwendung mit der Fnirsi-Software. Zudem besitzt er eine Bluetooth-Option, die die Verwendung mit einer Android-Handy-App ermöglicht.

Was kann man damit machen?

Das FNB58 kann für eine Reihe von Aufgaben im Zusammenhang mit dem Messen und Testen von USB-Geräten verwendet werden. Er ermöglicht den Nutzern, Versorgungsspannungen und -ströme zu messen sowie die Stromaufnahme verschiedener USB-Lasten, einschließlich Handys und Laptops, zu bewerten. Es gibt auch

viele Spezialfunktionen, die sich auf verschiedene Schnellladeprotokolle konzentrieren.

Wenn Sie in der Vergangenheit die Stromaufnahme eines USB-Geräts während des Betriebs messen wollten, mussten Sie ein USB-Kabel auftrennen und sowohl ein Voltmeter als auch ein Amperemeter einsetzen. Dann musste man mühsam Daten in eine Tabelle eingeben, um den Strom oder die Akkukapazität abzuleiten. Heutzutage, da Geräte mit USB 3 und USB-C immer häufiger vorkommen, wird die Frickelei an den Kabeln zunehmend unpraktischer. Hier kommen Tools wie das FNB58 ins Spiel.

Eigenschaften des FNB58

Das FNB58 verfügt über ein 2,0 Zoll großes TFT-LC-Display mit weitem Blickwinkel. Der Anschluss an einen PC erfolgt über eine Micro-USB-Schnittstelle, zudem besteht auch die Möglichkeit, eine drahtlose Bluetooth-Verbindung aufzubauen.

Dieses Testgerät ermöglicht Spannungs-, Strom-, Kapazitäts-, Leistungs- und Zeitstatistiken. Es ist in der Lage, sowohl langsame Signalverläufe mit 2...100 Abtastungen pro Sekunde als auch sehr schnelle Welligkeiten von Strom und Spannung (bis zu 4 MSps) aufzuzeichnen und ermöglicht so eine umfassende Datenanalyse. Messungen erfolgen intern mit einem 16-Bit-DAC. Bemerkenswert ist die beeindruckende maximale Auflösung von 10 $\mu\text{V}/\mu\text{A}/\mu\text{W}$. Das ist großartig, aber wie wir wissen, ist Auflösung nicht dasselbe Genauigkeit! Wie immer entsteht auch hier Rauschen und die letzten Ziffern dürften daher nicht besonders aussagekräftig sein. Das Gerät verfügt über Trigger für verschiedene Schnellladeprotokolle und ist mit einem dedizierten USB-PD-Chip ausgestattet. Ein eigener PD-Schalter dient als entscheidendes Sicherheitskriterium, das die PD-Abstimmung (und andere Protokolle) direkt am FNB58 aktiviert oder deaktiviert.



Bild 1. Das USB-Messgerät FNB58.



Bild 2. Einige der Eingangs-/Ausgangsanschlüsse und der PD-Sicherheitsschalter.



Bild 3. Tasten und PC-Anschluss.



Bild 4. Ein 2,4-A-Ladegerät von Apple unter Last.

In **Bild 2** sind einige der Eingangs-/Ausgangsports sowie der PD-Schalter zu sehen. Wenn der Schalter ausgeschaltet ist, verhandelt das am Ausgang angeschlossene Gerät mit der Quelle. Wenn der Schalter eingeschaltet ist, kann das FNB58 die PD-Modi selbst bestimmen.

Vorsicht ist jedoch geboten, wenn Sie das FNB58 verwenden, um die Stromaufnahme einer reinen 5-V-Last zu messen, während Sie sie mit einem PD-Ladegerät betreiben. In diesem Fall würde das unbeabsichtigte Auslösen eines PD-Betriebs mit dem FNB58 dazu führen, dass das Ladegerät eine höhere Spannung ausgibt und die Last beschädigt!

Fnirsi empfiehlt daher, den Schalter ausgeschaltet zu lassen und ihn nur dann einzuschalten, wenn Sie wirklich PD-Operationen mit dem FNB58 beabsichtigen. Das FNB58 unterstützt eine Vielzahl von Schnellladeprotokollen, einschließlich QC2.0, QC3.0, Huawei FCP, SCP, Samsung AFC, PD2.0, PD3.0, VOOC/WARP, SuperVOOC 1.0/Super VOOC 2.0 und MTK-PE, wobei die automatische Erkennung die Arbeit erleichtert. Es identifiziert auch E-Marker-USB-Kabel oder OnePlus-Dash-Kabel.

Messbereiche

Das FNB58 hat als USB-Tester einen eingeschränkteren Messbereich als echte Multimeter:

- › Spannung: 4...28 V (kann bis auf 0 V sinken, wenn das FNB58 extern über den PC-Anschluss versorgt wird)
- › Stromstärke: 0...7 A
- › Leistung: 0...120 W
- › Kapazität: 0...9.999,99 Ah
- › Energie: 0...9999,99 Wh
- › Kabelwiderstand: 0...9999,9 Ω

Navigieren in den Menüs

Die Benutzeroberfläche verfügt über eine Drei-Wege-Taste (Links-Mitte-Rechts) und eine separate „BACK“-Taste für die Navigation in den Menüs (**Bild 3**). Fnirsi hat diese Menüs dicht gepackt, so dass die Navigation erst erlernt werden muss. Ein zusätzlicher Hinweis: Ein langer Druck auf die „BACK“-Taste schaltet die Hintergrundbeleuchtung des Bildschirms auf jeder Seite aus.

Wie bei vielen Geräten dieser Art gibt es ein „rollendes Menü“ mit vier Hauptseiten, die nacheinander mit der Links/Rechts-Taste aufgerufen werden. Die vier Hauptseiten sind:

- › Kompaktansicht
- › Detaillierte Ansicht
- › Wellenformen
- › Anwendungen

Es kann etwas verwirrend werden, da diese vier Hauptseiten viele Untermenüs haben. Hier ist eine Übersicht der Menüs, zusammen mit einigen Details zu möglichen Aktionen auf bestimmten Seiten.

Die **Kompaktansicht** enthält, wie der Name schon andeutet, nur Werte für Spannung, Strom und Leistung. Durch Drücken der mittleren Taste können Sie die Messung unterbrechen oder erneut starten.

Die **Detailansicht** zeigt das Gleiche sowie Informationen über die Datenleitungen D+/D- und die Schnelllademodi. Es gibt auch einen Bereich, der den Statistiken zur Energieaufzeichnung in Wh und Ah gewidmet ist. Drücken Sie die mittlere Taste, um auf das Menü für die Aufzeichnung zuzugreifen.

Die Seite **Wellenformen** hat drei Untermenüs. Die erste, **VBUS**, zeigt die hochfrequente Welligkeit der Spannungsversorgung an. V/A zeigt die Spannungs- und Stromwellenformen in einem rollierenden Anzeigeformat an. D+/D- schließlich gibt Auskunft über den Zustand der Datenleitungen. In diesen Modi wird die vertikale Skala automatisch eingestellt und ist nicht manuell einstellbar. Die horizontale Skala kann jedoch von 2,5 $\mu\text{s}/\text{div}$ bis 200 $\mu\text{s}/\text{div}$ im VBUS-Modus und von 0,1 s/div bis 5 s/div in anderen Modi geändert werden.

Die letzte Hauptseite heißt **Anwendungen**, die in vier Untermenüs unterteilt ist: **Schnellladung**, **Energiestatistik**, **Toolbox** und **Einstellungen**. Das erste Untermenü **Schnellladung** bietet eine automatische Erkennung der verfügbaren Protokolle sowie verschiedene Trigger-Modi. Die **Energiestatistik** umfasst die Berechnung der Batteriekapazität und Offline-Aufzeichnungen. Das **Toolbox**-Menü ist vollgepackt mit weniger häufig genutzten Funktionen, zum Beispiel Kabelwiderstandsmessung, PD-Listener, PD-Konverter, USB-C-Lesegerät für elektronische Labels, Dash-Kabel-Lesegerät, Dash-Simulator und Apple-2.4-A-Protokollsimulator. Schließlich können viele Parameter des Geräts im Untermenü **Einstellungen** geändert werden: Allgemein, Aufzeichnung, Trigger, System und Info.

Fallstudie 1: Bewertung der Leistung von USB-Ladegeräten

Nicht alle Ladegeräte sind gleich. Hier teste ich ein älteres Apple-Ladegerät, das angeblich 2,4 A bei 5 V liefert - und das tut es auch (**Bild 4**). Ein anderes Ladegerät hingegen fällt durch; es ist mit 1 A angegeben, aber beim Versuch, wirklich 1 A zu ziehen, fällt die Spannung deutlich unter den allgemein akzeptierten unteren Grenzwert von 4,75 V. Ich musste, wie Sie in **Bild 5** sehen können, ein weiteres Kabel anschließen, um das FNB58 über die Micro-USB-PC-Schnittstelle mit Strom zu versorgen, um das Foto zu machen; andernfalls hätte sich das USB-Messgerät abgeschaltet.



Bild 5. Ein billiges 1-A-Ladegerät... Ups!



Bild 6. Kalibrierung des Modus „Widerstandsmessung“.

Fallstudie 2: Testen des Widerstands von USB-Kabeln

Es ist allgemein bekannt, dass ein niedriger Widerstand in einem Kabel vorzuziehen ist. Die Verwendung eines Multimeters zur Messung des Widerstands eines USB-Kabels ist jedoch nicht so einfach, wie man denken könnte. Selbst ein minderwertiges Kabel weist in der Regel recht niedrige Widerstandswerte auf, in der Regel höchstens $1\ \Omega$ oder $2\ \Omega$. Daher spielt der Kontaktwiderstand Ihrer DMM-Messleitungen eine wichtige Rolle bei Ihrer Messung.

Das FNB58 kann den Widerstand von USB-Kabeln messen, aber der Weg dorthin ist nicht offensichtlich. Man könnte annehmen, dass ein einfaches Einstecken der beiden Enden des Kabels in die entsprechenden Ports des Testers ausreicht, aber das ist nicht der Fall. Das FNB58 misst den Spannungsabfall des Kabels unter Last, aber Sie müssen Ihre eigene Last bereitstellen.

Zunächst muss aber das Messgerät kalibriert werden. Dazu stecken Sie es direkt, ohne das zu prüfende Kabel, zwischen eine Stromquelle (in diesem Fall ein Handy-Ladegerät) und eine Last ein. Idealerweise sollte die Last konstant sein. Fnirsi empfiehlt einen Wert zwischen $0,5\ \text{A}$ und $1\ \text{A}$. Sie können ein spezielles DC-Lastmodul oder entsprechend dimensionierte Widerstände verwenden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Gerät anzuschließen, das einen gewissen Strom zieht, zum Beispiel ein Handy, das seinen Akku auflädt. In **Bild 6** sehen Sie, wie der Aufbau aussehen sollte. Ein kurzer Druck auf die mittlere Taste speichert den Wert der

Spannung am Eingang. Anschließend ändern Sie die Verkabelung und schließen das zu testende Kabel zwischen der Stromquelle und dem Messgerät an (siehe **Bild 7**).

Sobald Sie alles wieder zusammenstecken, startet das Messgerät die Messung, und wenn Sie jetzt zum Menü „Kabelwiderstandsmessung“ zurückkehren, zeigt das Messgerät den durch das Kabel eingeführten Widerstand an. In diesem Fall sind es $142\ \text{m}\Omega$. Das ist ein recht guter Wert, und auch die Kabel in **Bild 8** und **Bild 9** sind von hoher Qualität. Das brandneue USB-C-Kabel in **Bild 10** allerdings ist miserabel!

Da nimmt es kein Wunder, dass mein Telefon so langsam aufgeladen wurde! Ein Widerstand von $1\ \Omega$ bedeutet, dass selbst bei einem nach heutigen Maßstäben so niedrigem Strom von $1\ \text{A}$ ein Verlust von $1\ \text{V}$ im Kabel auftritt, so dass am Handy nur $4\ \text{V}$ statt $5\ \text{V}$ ankommen, was für die Akkuladeschaltung zu niedrig ist. Das Handy erkennt dies und ist gezwungen, die Stromaufnahme weit zu reduzieren, wodurch das Aufladen des Akkus viel länger dauert. Dieses Phänomen kann bei der Messung von Kabeln mit hohen Widerstandswerten eine Herausforderung darstellen, insbesondere wenn ein Telefon als Last verwendet wird. Wenn das Kabel von so schlechter Qualität ist, dass das Telefon seinen Ladestrom reduzieren muss, wird auch die Quellenspannung schwanken, so dass das FNB58 kein aussagekräftiges Ergebnis liefern kann. Fnirsi empfiehlt daher, zu diesem Zweck eine Konstantstromlast zu verwenden.



Bild 7. Hinzufügen eines Kabels zwischen dem Ladegerät und dem FNB58.



Bild 8. Ein gutes USB-Kabel.



Bild 9. Ein schöner, niedriger Widerstand.



Bild 10. Zu viel Widerstand in diesem Kabel.

PC-Software für das FNB58

Der Hersteller bietet auf seiner Website [1] einige Software an. Das Hauptfenster des PC-Programms ist in **Bild 11** dargestellt. Zu sehen sind Echtzeit-Messwerte sowie Spannungs- und Stromkurven. Die Benutzeroberfläche weist einige Besonderheiten auf, an die man sich vielleicht erst einmal gewöhnen muss. Besonders mühsam fand ich das Navigieren durch die Kurven.

Ich habe keinen nennenswerten Bedarf an einer PC-Software, außer vielleicht für die Durchführung längerer Messungen und die Protokollierung (zum Beispiel zum Vergleich verschiedener

Batterien). Sie können eine solche Messung einzurichten und über die PC-Anwendung starten. Anschließend können die Kurven in einem Fnirsi-spezifischen Binärformat mit der Erweiterung .CFN gespeichert werden.

Dies ist etwas enttäuschend; die Möglichkeit, im CSV-Format zu speichern, wäre für die weitere Datenverarbeitung entscheidend. Glücklicherweise hat der GitHubber *didim99* einige Python-Skripte geschrieben, die CFN-Dateien in CSV konvertieren, verfügbar unter [2]. Ausgezeichnet und ein dickes Dankeschön!

Es lohnt sich auch, ein anderes Projekt [3] des GitHub-Nutzers



Bild 11. Die PC-Software von Fnirsi.



Bild 12. Die Android-App von Fnirsi.

baryluk hervorzuheben. Dieses Projekt ermöglicht es einem Computer, Daten direkt und in Echtzeit aus dem FNB58 und anderen ähnlichen Geräten zu extrahieren, ohne dass die Windows-Software zur Aufzeichnung und anschließender Speicherung verwendet werden muss.

Android-App

Das FNB58 kann mit einer Bluetooth-Option erworben werden. Wenn Sie diese Version haben, können Sie die Android-App verwenden, die als .apk-Paket auf der Fnirsi-Website verfügbar ist. Um die App zu installieren, müssen Sie die Zip-Datei herunter-



geladen, entpacken, auf die apk-Datei tippen und die Installation autorisieren, indem Sie auf Ihrem Handy die Option „Von dieser Quelle zulassen“ wählen. Die App unterstützt mehrere Sprachen. Tippen Sie auf das Menü oben rechts, um von Chinesisch zu Ihrer bevorzugten Sprache zu wechseln. Sie gelangen dann zu dem in **Bild 12** dargestellten Bildschirm. Ich habe es ausprobiert, und obwohl es funktioniert, war ich nicht davon überzeugt, dass es wesentlich benutzerfreundlicher ist als das Standalone-Gerät oder die PC-Software.

Abschließende Überlegungen

Insgesamt ist das FNB58 ein Gerät mit ziemlich umfassenden Möglichkeiten, mit dem Sie zu Hause oder im Labor eine Vielzahl wertvoller Messungen durchführen können. Es verfügt über ein schlankes und robustes Design und bietet praktisch alle Funktionen, die man von einem USB-Tester dieser Art erwarten kann. Sie können damit mühelos Probleme mit Ladegeräten, Kabeln und Powerbanks diagnostizieren, aber auch Ihrer Kreativität freien Lauf lassen, indem Sie das Gerät für ziemlich präzise Gleichstrommessungen verwenden - vorausgesetzt, Sie bleiben innerhalb seiner Grenzen (0...28 V, 0...7 A). Solche Messungen sind mit Hilfe einiger USB-Adapter (zum Beispiel USB-auf-Schraubklemmen) möglich, die Sie entweder selbst herstellen oder einfach kaufen können. Viel Spaß damit! ◀

RG - 230674-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel haben, können Sie sich gerne per E-Mail an die Elektor-Redaktion wenden: redaktion@elektor.de.

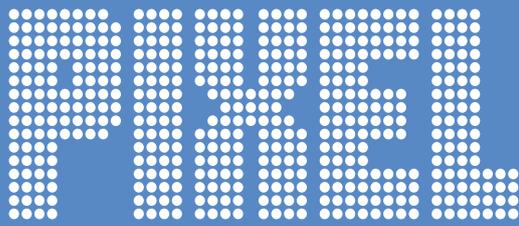


Passendes Produkt

> **USB-Tester (Spannungs- und Strommessgerät mit Bluetooth) FNB58 von Fnirsi**
www.elektor.de/20578

WEBLINKS

- [1] Website des Herstellers: <https://fnirsi.com.cn>
- [2] Skripte zur Konvertierung von CFN-Dateien in CSV: <https://github.com/didim99/usbmeter-utils>
- [3] Ein mit dem FNB58 kompatibles Datenlogger-Projekt: <https://github.com/baryluk/fnirsi-usb-power-data-logger>



Pump

Das Pick-and-Place Tool

Vereinfachung der manuellen SMD-Bestückung

Von Clemens Valens (Elektor)

Wenn Sie schon einmal versucht haben, eine Platine mit SMDs manuell mit einer Pinzette zu bestücken, wissen Sie, wie schwierig diese Aufgabe sein kann, besonders, wenn es um die korrekte Positionierung von Bauteilen mit mehr als zwei Anschlüssen geht. Auch wenn die geschmolzene Lötpaste im Ofen dazu neigt, die Bauteile in die richtige Richtung zu bewegen und zu drehen, ist beim Löteten von ICs oft Nacharbeit erforderlich. Das manuelle Bestückungswerkzeug Pixel Pump vereinfacht die manuelle Bestückung einer Platine und erzielt dabei bessere Ergebnisse.



verbesserter Präzision und Komfort. Anstatt Teile an der falschen Stelle loszulassen oder beim Öffnen oder Wegziehen der Pinzette versehentlich Paste von den Pads zu kratzen, können Sie mit der Pixel Pump ein Bauteil genau dort positionieren und ablegen, wo Sie es haben möchten.

Wer braucht eine Bestückungsmaschine?

Bestückungsautomaten arbeiten viel besser als Menschen, aber nicht jeder hat den Platz, das Budget und den Bedarf für einen solchen Automaten. Für die Montage von Prototypen und Kleinserien gibt es aber praktische, kostengünstige Bestückungsautomaten, die bis zu einem gewissen Grad automatisiert werden können. Aber so günstig sie auch sein mögen, die Investition in ein solches Gerät ist für Laien und Einsteiger nur schwer zu rechtfertigen.

Zwischen Pinzette und PnP-Maschine

Die Pixel Pump [1] ist ein Pick-and-Place-Werkzeug, das die Lücke zwischen der manuellen Bestückung einer Platine mit einer Pinzette und einer kostengünstigen PnP-Maschine schließen soll. Die Platzierung der Teile erfolgt weiterhin manuell, aber mit

Platzsparend auf dem Labortisch

Der Pixel Pump sieht aus wie eine kleine Lötstation, mit dem Unterschied, dass sich die Spitze des Lötkolbens nicht erhitzt, sondern Luft ansaugt. Dadurch kann sie kleine Objekte wie SMDs aufnehmen. Auch wenn uns dies hier am meisten interessiert, kann ich mir vorstellen, dass die Pixel Pump auch in anderen Anwendungen sehr nützlich sein kann, zum Beispiel bei der Vorbereitung von Objektträgern für Mikroskope oder bei der Herstellung von Schmuck und anderen Miniaturobjekten.

Steuerung mit Fußschalter

Das Aufnehmen und Ablegen von Objekten wird über einen Fußschalter gesteuert, von dem es sogar zwei gibt. Der zweite (nicht im Bausatz enthalten) wird in der Regel verwendet, um die

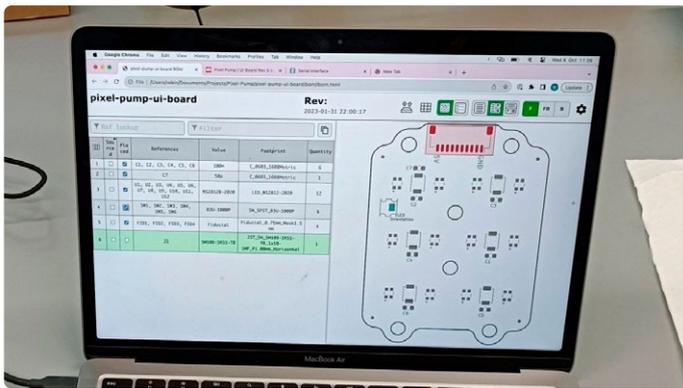


Bild 1. Mit dem zweiten Fußschalter der Pixel Pump können Sie zum Beispiel die Stückliste durchgehen.

Stückliste zu durchlaufen. Er ist mit dem KiCad-Plugin *Interactive HTML BoM* kompatibel, kann aber so konfiguriert werden, dass er jedes beliebige andere Programm steuert.

Neben der Pedalsteuerung zum Aufnehmen und Ablegen von Bauteilen können Sie mit den Drucktasten an der Pumpe das Gleiche tun. Die Funktionsweise des Pedals und der Drucktasten (auf/ab, langes oder kurzes Drücken) ist konfigurierbar.

Düsen

Der Luftstrom kann auf zwei Arten gesteuert werden: entweder durch den Wechsel der Düse oder durch die Einstellung ihrer Saugkraft mit den Drucktasten. Die Pixel Pump wird mit fünf verschiedenen Düsen geliefert, von denen Sie jeweils fünf erhalten. Warum so viele, werden Sie sich fragen? Nun, einige von ihnen sind sehr fein und können leicht beschädigt werden, daher ist es gut, einen Vorrat zu haben. Außerdem kann es passieren, dass man

versehentlich etwas Lötpaste aufsaugt und die Düse verstopft. Die Pixel Pump hat für solche Fälle eine spezielle Umkehrfunktion, mit der sie Luft ausbläst, anstatt sie anzuzugnen, was aber nicht immer von Erfolg gekrönt ist. Ein vom Nutzer säuberbarer Filter verhindert, dass Partikel in die Pumpe gelangen.

Aufnehmen ist einfach, Ablegen weniger

Das Aufnehmen von Komponenten ist einfach. Dies wird normalerweise durch Drücken und Halten des Fußschalters erreicht. Lassen Sie das Pedal los, um das Teil abzulegen. Ich fand das am Anfang etwas schwierig, da es etwas Übung braucht, bis dieser Vorgang perfekt verläuft. Die Funktionsweise des Pedals ist konfigurierbar, so dass Sie es an Ihre Vorlieben anpassen können. Bevor Sie ein Bauteil aufnehmen, müssen Sie die Düse anbringen, die am besten dazu passt. Die größte Düse kann leicht Teile der Größe 0102 verschlucken, seien Sie also vorsichtig!

Superflexibler Schlauch

Wenn Sie, wie ich, einen LötKolben wie einen Bleistift halten, werden Sie feststellen, dass der flexible Luftschlauch etwas im Weg ist, wenn Sie den „Bestückungskolben“ in die Hand nehmen wollen. Bei LötKolben ragt das Stromkabel meist oben aus dem Kolben heraus, so dass man leicht mit der Hand darunter durchfahren kann, um den Kolben zu greifen. Der Luftschlauch der Pixel Pump hingegen ist so flexibel, dass er gerade nach unten fällt. Dadurch muss man aufpassen, was man tut.

SMD-Magazinschienen

Das Kit, das ich für diese Review erhielt, enthielt acht SMD-Bauteilmagazine und eine Schiene zum Aufstecken. Zunächst mag man sich fragen, wozu man sie braucht, aber sie zeigen schnell ihr Potenzial. Die Magazine sind dazu gedacht, Streifen mit Bautei-

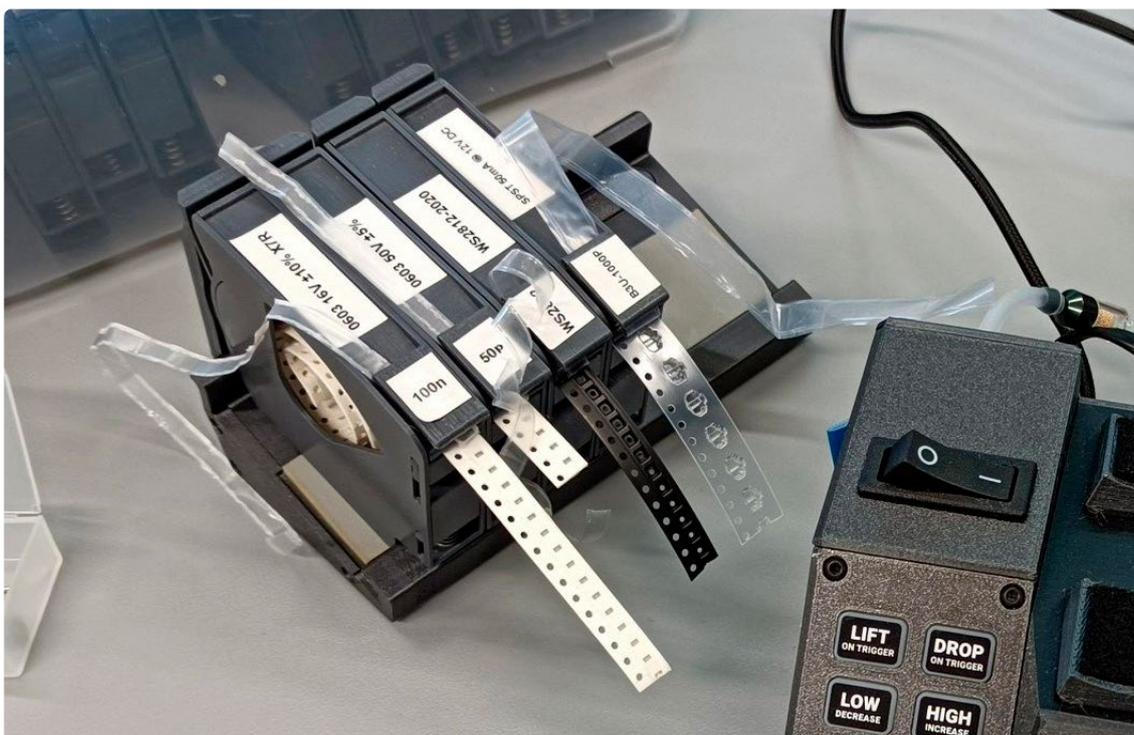


Bild 2. Superpraktisch: ein Regal mit SMD-Magazinen mit häufig verwendeten Bauteilen.

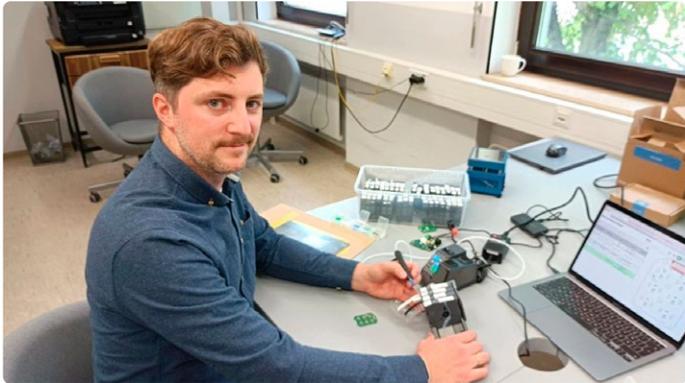


Bild 3. Die Pixel Pump wird von ihrem Erfinder Robin Reiter vorgeführt.

len zu halten, und sie ermöglichen es, Bauteile mit einer Hand auszupacken, während man sie mit dem Stift der Pixel Pump in der anderen Hand aufsaugt. Wenn Sie das einmal erlebt haben, werden Sie nicht mehr zu den Teilen zurückkehren wollen, die vorher verstreut auf Ihrer Werkbank lagen, oder zu der Methode, die Sie zuvor angewandt haben. Ein zweiter Vorteil ist, dass die Magazine eine großartige Möglichkeit zur Aufbewahrung Ihrer Teile bieten. Stellen Sie ein Regal mit häufig verwendeten Teilen zusammen, dann brauchen Sie nie mehr wieder auf Suche gehen. Das zwingt Sie auch dazu, Ihre Stücklisten kurz zu halten.

Die Pixel Pump ist Open Source

Ein interessanter Aspekt der Pixel Pump ist, dass sie modifizierbar ist. Dies wird durch die 3D-gedruckten Teile, aus denen das Gerät besteht, unterstrichen. Die Elektronik im Inneren der Pumpe basiert auf dem Mikrocontroller RP2040 von Raspberry Pi, auf dem MicroPython läuft. Der Quellcode und die Bauanleitung sind auf GitHub zu finden. Wenn die Pixel Pump in den Bootloader-Modus versetzt wird, können Sie die Firmware aktualisieren. Dies funktioniert genauso wie bei einem Raspberry-Pi-Pico-Board.

Serielle Schnittstelle

Wenn sich die Pixel Pump nicht im Bootloader-Modus befindet, verfügt sie über eine serielle Schnittstelle. Die Dokumentation dazu finden Sie auf der Website der Pixel Pump [2]. Die Befehle sind durch Doppelpunkte (:) getrennt (die Kommunikation ist JSON-basiert). Um also die aktuelle Firmware-Version zu erhalten, geben Sie `version:info` ein. Die Antwort ist eine lange Zeichenkette, die in meinem Fall mit V1.0.1 begann. Mit dem Befehl `settings:dump` können Sie eine Liste der aktuellen Einstellungen der Pixel Pump erhalten. Sie können diese auch ändern, wenn Sie die einzelnen Befehle herausgefunden haben. Sie können die Pixel Pump auch in den Bootloader-Modus versetzen, indem Sie den Befehl `bootloader` eingeben.



Demo-video auf YouTube
<https://youtu.be/SrzfkPQFn3o>



Beste Ergebnisse

Die Pixel Pump ist ein interessantes Werkzeug zur Verbesserung der manuellen Bestückungsgenauigkeit. Da ein Teil der Platzierung manuell erfolgt, ist es für Menschen mit zittrigen Händen aber keine allzugroße Hilfe. Andererseits wird die Positionierung der Teile präziser, da Sie die Teile aufnehmen können, ohne Ihre Hand zu belasten. Da man die Teile aus einer geringen Höhe über der Platine fallen lassen kann, ist das Risiko, die Lötpaste auf benachbarten Pads zu berühren oder abzuschaben, viel geringer.

Meistens brauchte ich zwei Hände, um ein Teil zu positionieren, bevor ich es fallen ließ. Obwohl ich eindeutig mehr Übung benötige, habe ich nach dem Reflow der bestückten Platine eines der besten Ergebnisse erzielt, die ich je mit manuell bestückten Platinen erzielt habe. Es war keine Nacharbeit erforderlich, nicht einmal bei dem 48-poligen LQFP-Bauteil mit seinem feinen Raster. ◀

RG – 230700-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Bei technischen Fragen können Sie sich an die Elektor-Redaktion wenden: redaktion@elektor.de.



Passende Produkte

- > **Pixel Pump - Bestückungsautomat für die manuelle SMD-Bestückung**
www.elektor.de/20575
- > **SMD-Magazin für Pixel Pump (Achter-Pack)**
www.elektor.de/20576
- > **SMD-Magazinschiene für Pixel Pump**
www.elektor.de/20577

WEBLINKS

- [1] Pixel Pump: <https://elektor.de/pixel-pump-pick-and-place-machine-for-manual-smt-assembly>
- [2] Dokumentation: <https://robins-tools.com/pixel-pump/docs/getting-started>
- [3] Demonstration der Pixel Pump im Video: <https://youtu.be/SrzfkPQFn3o>

WERDEN SIE MITGLIED UNSERER COMMUNITY



KOSTENLOSER
DOWNLOAD

Melden Sie sich heute an, elektormagazine.de/ezine-24





HomeLab Tours

Vor nicht allzu langer Zeit
in einem weit entfernten Land...

Von Eric Bogers (Elektor)

Vor kurzem genoss ich einen angenehmen zweimonatigen Aufenthalt in Almaty, der ehemaligen Hauptstadt von Kasachstan. Ich werde Sie nicht mit touristischem Blabla darüber langweilen, wie schön es dort ist und wie gut das Leben dort ist, obwohl beides wahr ist und das Land und die Stadt sicherlich einen Besuch wert sind. Ich möchte jedoch zwei „elektronische“ Erfahrungen mit Ihnen teilen.

Erinnern Sie sich noch an die Zeit, als es lokale Elektronikgeschäfte gab, in denen mindestens eine Wand komplett mit Sortierkästen mit kleinen Schubladen voller Bauteile bedeckt war? Dort konnte man so ziemlich alles finden, was man sich vorstellen konnte, oder man konnte es zumindest bestellen. Für mich war es immer ein kleines Wunder, dass die Inhaber ohne zu suchen sofort die richtige Schublade fanden.

Hierzulande konnten die meisten örtlichen Elektronikgeschäfte der Konkurrenz der großen Elektronikversandhändler nicht standhalten. Der Laden im niederländischen Breda, in dem ich so viele Stunden meiner Jugend und einen großen Teil meines Taschengeldes verbracht habe, musste, soweit ich mich erinnere, im Jahr 2016 seine Türen schließen. Das ist wirklich schade, denn dort konnte man nicht nur einen einzelnen 15-k Ω -Widerstand für ein paar Cent bekommen, wenn man zufällig gerade einen brauchte, sondern man konnte auch gute Tipps und/oder sich mit Gleichgesinnten austauschen. Ich glaube, ich bin nicht der Einzige, der das Verschwinden dieser Läden bedauert.

In Anbetracht dessen war es eine unerwartete Freude, bei einem meiner Spaziergänge durch Almaty auf genauso

Bild 1. Das Elektronikgeschäft in der Mughtar-Auesov-Straße in Almaty.



Bild 2. Viele kleine Schubladen...



Bild 3. ...und noch mehr kleine Schubladen.



Bild 4. Brauchen Sie einen Audio- oder Video-stecker?



Bild 5. Eine Vitrine mit einer Vielzahl von Gegenständen.

einen Laden mit dem höchst passenden Namen „LED“ zu stoßen (Bild 1). Die Besitzerin, eine freundliche Dame mittleren Alters, erlaubte mir, ein paar Fotos zu machen. Und jetzt möchte ich Sie auf eine Reise in die Vergangenheit mitnehmen... (Bilder 2...5).

Ich hoffe, dass es diesen Laden noch lange geben wird, aber bei all den Billigimporten aus China (die Grenze ist nur einen Katzensprung entfernt) ist das fraglich. Bei dem gelben Gegenstand in Bild 5 handelt es sich übrigens um ein Alkoholhydrometer - ein Messgerät, das definitiv nichts mit Elektronik zu tun hat, aber immer nützlich ist, um zu überprüfen, ob der Wodka verwässert wurde. Kasachstan ist seit dem Jahr 1991 eine unabhängige Republik [1]; davor war es Teil der Sowjetunion. Natürlich gab es auch damals schon viele Elektronikbastler.



Beim Ausräumen einiger Schränke in einer Wohnung, die wir vermieten wollten, stieß ich auf ein Maßband und ein paar „geheimnisvolle“ Dosen, die wahrscheinlich ursprünglich für 8-mm-Filme gedacht waren. Als ich sie

öffnete, stellte ich fest, dass sie unter anderem alte elektronische Bauteile enthielten, von denen einige unbenutzt und andere sorgfältig von den Leiterplatten abgelötet waren (**Bilder 6...7**). Eine der Dosen war komplett mit Kleinteilen gefüllt - kleine Schrauben, Muttern und ähnliche Dinge, von denen man als Bastler nie genug haben kann. Die meisten dieser Dinge waren gebraucht und wurden sorgfältig aufbewahrt, denn in der ehemaligen Sowjetunion konnte man nicht einfach in einen Baumarkt gehen, um eine Tüte M3-Maschinenschrauben zu kaufen. Die Dose mit den Transistoren erwies sich als sehr interessant (**Bild 8**). Einige der Transistoren waren offenbar sorgfältig vermessen worden, wobei die Stromverstärkung β auf einem kleinen Zettel notiert war (**Bild 9**). Bei allen Transistoren handelte es sich um Germanium-PNP-Typen, die in Russland hergestellt wurden (P401, P403 und P416). Die Datenblätter für diese Transistoren sind im Internet leicht zu finden, aber aus urheberrechtlichen Gründen können wir sie hier nicht wiedergeben. Der P401 (eigentlich П401) ist für den Einsatz in Mischern oder Oszillatoren von AM-Empfängern gedacht, während der P401 und der P403 (V)HF-Transistoren sind. Und damit fügten sich die Puzzleteile an ihren Platz. Die Dosen gehörten einem Bergbauingenieur, der zudem leidenschaftlicher Taucher und Amateurfilmer, aber vor allem ein begeisterter Funkamateur (Hörer) war, der ständig an seinen Empfängern herumbastelte. Sein Name war Marat Insanbayew, und er war mein Schwiegervater (**Bild 10**). Ich hatte nie die Gelegenheit, ihn kennenzulernen - er verstarb leider sechs Monate vor meinem ersten Besuch in Kasachstan. ◀

RG – 230431-02



Über den Autor

Eric Bogers ist freiberuflicher Übersetzer und Grafikdesigner und arbeitet unter anderem für Elektor, in den letzten Jahren auch als Redakteur. In den Anfängen seiner Karriere entwarf er auch eine Reihe von Schaltungen für die Zeitschrift Elex, die damals mit Elektor verbunden war. Geboren in Breda und aufgewachsen in Drenthe, lebt er seit 2006 mit seiner Ehefrau Gulnar und ihrer Katze Mimi in Deutschland.

WEBLINKS

[1] Kasachstan bei Wikipedia:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Kasachstan>



Bild 6. Gefunden in einer Kiste ganz hinten im Schrank...



Bild 7. Kleine Zeitkapseln...



Bild 8. Germaniumtransistoren aus russischer Produktion.



Bild 9. Gemessen und beschriftet.



Bild 10. Marat Insanbayew.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel haben, können Sie sich gerne per E-Mail an die Elektor-Redaktion wenden: redaktion@elektor.de.



„In der Welt der Ethik in der Elektronik können auch kleine Schritte eine große Wirkung haben.“

Doris Wagner
Direktorin für Public Policy & ESG

In diesem aufschlussreichen Interview lernen wir die Bedeutung von ethischem Verhalten und die Verantwortung von Unternehmen für ökologische Nachhaltigkeit kennen. Seien Sie dabei, wenn wir das Gleichgewicht zwischen Innovation, Profit und ethischer Verantwortung bei der Schaffung einer nachhaltigen Zukunft untersuchen.

Was ist Ihre Aufgabe bei der Messe München?

Als Direktorin der Abteilung *Public Policy & ESG* bin ich für die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nachhaltigkeitsstrategie des Unternehmens und des Nachhaltigkeitsprogramms zur Reduzierung des Ausstoßes klimaschädlicher Gase verantwortlich. Außerdem bin ich für die ESG-Berichterstattung zuständig, die durch die EU-Richtlinie CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) für die Messe München verpflichtend wird. Die zweite Säule meiner Aufgabe ist die politische Vernetzung des Unternehmens.

Auf welche Weise fördert die Messe München mit ihren Messen und Veranstaltungen ethische und nachhaltige Praktiken in der (Elektronik-) Industrie und stellt diese in den Vordergrund?

Als Weltleitmesse der Elektronikindustrie ist die *electronica* der internationale Treffpunkt der Branche, der die Akteure der Branche zusammenbringt und vernetzt. Die *electronica* 2022 stand unter dem Motto „Driving sustainable Progress“ und thematisierte den Einfluss der Branche auf aktuelle gesellschaftliche Themen wie Energiewende, Fachkräftemangel und ethisches Lieferketten-Management. Die Messe fördert insbesondere Lösungen für eine nachhaltige und ethische Ressourcenallokation und -nutzung, die sich aus E-Mobilität, Smart Energy und Automatisierung ergeben. Wie schon 2022 wird für die *electronica* 2024 das Zukunftsbild einer umfassend elektrischen Gesellschaft auf Basis CO₂-neutral erzeugter Energie ein Hauptthema sein.

Welche Maßnahmen ergreift die Messe München, um (Elektronik-) Unternehmen zu nachhaltigeren und ethischeren Praktiken zu ermutigen, zum Beispiel durch verantwortungsvolle Beschaffung und die Ziele der Kohlenstoffreduktion?

Wir wollen generell Anreize schaffen, dass sowohl Besucher als auch Aussteller Verantwortung für den CO₂-Fußabdruck ihres Messeauftritts übernehmen. Wir empfehlen den Ausstellern generell die Verwendung nachhaltiger Systeme zum Standaufbau. Für unsere eigenen Standflächen nutzen wir vor allem das Standsystem WOODĪ - ein Produkt unserer Tochtergesellschaft *meplan*. Dieser hochwertige modulare Systemstand wurde nach den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft entwickelt und wird ressourcenschonend produziert. Leider lassen sich nicht alle CO₂-Emissionen vermeiden. Deshalb haben wir eigene Produkte entwickelt, um Besuchern und Ausstellern die Möglichkeit zu geben, Verantwortung für den Rest zu übernehmen. Mit der GoGreen-Eintrittskarte können die Besucher auf Basis der CO₂-Emissionen, die bei der An- und Abreise zum Messegelände entstehen, Klimaschutzprojekte unterstützen. Mit dem GoGreen-Audit bieten wir unseren Ausstellern an, die CO₂-Emissionen ihres Messestandes zu berechnen und dafür einen entsprechenden Beitrag an Klimaschutzprojekte zu zahlen.

Auch für uns als Messegesellschaft ist das Thema Nachhaltigkeit eine der größten Herausforderungen unserer Zeit.

Bei den meisten unserer Messen und Veranstaltungen sind Themen zur Nachhaltigkeit in das allgemeine Programm integriert, oft indem wir ihnen bestimmte Foren, Bühnen und Sonderflächen widmen. So haben beispielsweise die ISPO und OutDoor by ISPO einen Nachhaltigkeits-Hub eingerichtet, in dem sie Unternehmen die Möglichkeit geben, ihre Bemühungen um nachhaltige Praktiken in der Sportbranche zu präsentieren. Die *electronica* veranstaltete 2022 das „World Ethical Electronic Forum“ und bot damit eine Plattform für unabhängige Ethikexperten, darunter Forscher, Pädagogen, Vertreter von NGOs und Unternehmen, um die Bedeutung und Rolle der Ethik in der Elektronikindustrie zu diskutieren.

Das vollständige Profil finden Sie unter ethicsinelectronics.com/profiles

Die Rolle der Messe München bei der Förderung von Ethik und Nachhaltigkeit in verschiedenen Branchen ist die einer treibenden Kraft für Wissenstransfer, Generierung von Ideen und Vernetzung. Wir sind eine wichtige Informationsquelle und Plattform sowohl für Fachleute als auch für Verbraucher.

Name	Doris Wagner
Land	Deutschland
Unternehmen	Messe München
Job Position	Director Public Policy & ESG
Gender, Age	Weiblich, 60
Lieblingszitat	„Der Klimawandel ist die größte Bedrohung für eine nachhaltige Zukunft, aber gleichzeitig bietet die Bewältigung der klimatischen Herausforderung die große Chance, Wohlstand, Sicherheit und eine bessere Zukunft für alle zu fördern.“ Ban Ki-Moon, ehemaliger Generalsekretär der UNO
Unternehmensgröße	941 Mitarbeiter (Konzernebene), 563 Mitarbeiter (Messe München)
E-mail	doris.wagner@messe-muenchen.de
Webseite	www.messe-muenchen.de



Dr. Reinhard Pfeiffer, Vorsitzender der Geschäftsführung der Messe München, überreichte Frank Stührenberg, Geschäftsführer von Phoenix Contact, die Auszeichnung auf dem WEEF 2022.

Ethik in der Elektronik

Die OECD-Leitsätze und das deutsche Lieferkettengesetz



Vom team Ethics in Electronics

Auf der productronica 2023 in München stellte die Lenthe-Stiftung das Konzept für den Ethics in Electronics Guide vor, der nach Brainstormings und auf Bitte von Ethik-, SDG- (Sustainable Development Goals) und PR-Teams und Unternehmern entstanden ist. Die neuen Gesetze und Verordnungen im Bereich des (ethisch) verantwortungsvollen Unternehmertums erfordern eine neue, einheitliche und objektive Unternehmenskommunikation.

Wie macht man das: ethisch verantwortungsvolles Unternehmertum?

Ethisch verantwortungsbewusste Unternehmerschaft bedeutet, dass Sie Ihr Unternehmen in einer Weise führen, die ethisch, ehrlich und verantwortungsvoll ist. Bei diesem Ansatz werden Strategien und Richtlinien mit ethischen Grundsätzen verknüpft, wobei ethisches Verhalten belohnt wird und ethische Standards in der täglichen Praxis gefördert werden. Zur Ethik gehören auch die Übernahme individueller Verantwortung, Fürsorge und Respekt (professioneller Umgang unter Kollegen), Ehrlichkeit und die Vermeidung von Konflikten.

Was sind die Vorteile eines ethisch verantwortlichen Unternehmertums?

Ethisch verantwortungsbewusstes Unternehmertum hat mehrere Vorteile, zum Beispiel den Aufbau von Kundentreue, die Verbesserung der Reputation, die Bindung guter Mitarbeiter, die Schaffung eines positiven Arbeitsumfelds, die Vermeidung von Rechtsproblemen und die Schaffung langfristiger Werte.

Gibt es internationale Standards für ethisch verantwortliches Unternehmertum?

Die wichtigsten Standards sind die Leitsätze für multinationale Unternehmen der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD. Dabei handelt es sich um Empfehlungen der OECD-Länder an Unternehmen, in Bereichen wie Menschenrechte, Arbeitsrecht, Umwelt, Korruption und Verbraucherinteressen verantwortungsvoll zu handeln. Diese Leitsätze wurden 1976 von der OECD aufgestellt und mehrfach aktualisiert, zuletzt im Juni 2023. 51 Länder haben die OECD-Leitsätze angenommen und sich damit verpflichtet, deren Umsetzung durch ihre Unternehmen zu fördern und zu überwachen.

Die Leitsätze enthalten einen Abschnitt mit dem Titel „OECD Due Diligence Guidance for Responsible Business Conduct“, ein Verfahren, das Unternehmen dabei hilft, Risiken und negative Auswirkungen in ihren Betrieben und Lieferketten zu erkennen und anzugehen. Die OECD hat auch einen allgemeinen Leitfaden zur Sorgfaltspflicht und mehrere sektorspezifische Leitfäden entwickelt, um Unternehmen bei der Anwendung der OECD-Leitsätze zu unterstützen. Außerdem gibt es eine sehr informative OECD-Website [1].

ASML gewinnt Preis für beste Berichterstattung im Jahresbericht

Das Unternehmen ASML hat kürzlich in den Niederlanden den *FD Henri Sijthoff-Preis* in der wichtigsten Kategorie AEX gewonnen. Dies ist die renommierteste Auszeichnung in den Niederlanden für Geschäftsberichte und Unternehmenskommunikation. Es ist das erste Mal, dass der niederländische Chipmaschinenhersteller mit dem Preis ausgezeichnet wurde.

„Das Unternehmen aus Veldhoven ist gut darin, genau zu erklären, was es tut“, so die Jury in ihrem Bericht. Außerdem gelingt es ASML, Markttrends klar zu umreißen. Auch den Themen Gesellschaft und Nachhaltigkeit, wie effiziente Energienutzung, CO₂-Fußabdruck und Kreislaufwirtschaft, wird viel Aufmerksamkeit geschenkt. Es werden Zeitpläne und ein Bericht über die Leistung geliefert.

Trend

Die Jury stellt fest, dass sich die Berichterstattung über Nachhaltigkeit verbessert. Alle Unternehmen achten neben den finanziellen Informationen auch auf nicht-finanzielle Informationen, zum Beispiel zu Klima und Umwelt, Kunden- und Mitarbeiterzufriedenheit. Diese Informationen werden zunehmend auf integrierte Weise dargestellt. Die Jury hält dies für eine positive Entwicklung. Zunehmend werden beispielsweise die Auswirkungen auf das Klima gemessen und berichtet; auch dem Thema Stickstoff wird zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt. Nicht alles ist eindeutig messbar, und damit tun sich die Unternehmen sichtlich schwer, doch fast alle Unternehmen berichten über ihren CO₂-Fußabdruck und haben sich Ziele für 2030 gesetzt.

Quelle: Bericht der Jury, *FD Henri Sijthoff-Preis 2023*

Für wen gelten die OECD-Leitsätze?

Alle Länder, die Mitglied der OECD sind (einschließlich Deutschland), haben die Leitsätze entwickelt und sich ihnen verpflichtet. Jedes Land, das die OECD-Leitsätze übernommen hat, verfügt über eine Nationale Kontaktstelle (NKS), die die Einhaltung der Leitsätze überwacht. Es ist wichtig zu beachten, dass die Einhaltung der OECD-Leitsätze durch Unternehmen freiwillig ist, aber die Regierung legt großen Wert darauf, dass die Unternehmer die Leitsätze befolgen.

Durchsetzung der OECD-Leitsätze

Die Einhaltung der OECD-Leitsätze wird in jedem Land von der NKS überwacht. Gleichzeitig leistet sie Aufklärungs- und Öffentlichkeitsarbeit bei Unternehmen, der Zivilgesellschaft und der NKS in anderen OECD-Ländern.

Darüber hinaus erhalten zivilgesellschaftliche Organisationen oder Gewerkschaften, die eine Fabrik inspizieren möchten, leichteren Zugang. Diese Organisationen können dann eine Beschwerde bei einer nationalen Kontaktstelle der OECD einreichen. Die Unternehmen müssen für diese Beschwerden empfänglich sein.

Es ist auch wichtig zu erwähnen, dass regelmäßig Untersuchungen über die Einhaltung der OECD-Leitsätze durchgeführt werden. Diese Studien tragen dazu bei, Bereiche zu ermitteln, in denen Verbesserungen erforderlich sind, und sorgen für Transparenz bei den Bemühungen der Unternehmen um die Leitsätze einzuhalten. Die deutsche NKS ist beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie in Berlin angesiedelt. Sie ist ein unabhängiges Gremium, das sich aus Vertretern der Bundesregierung, der Wirtschaft, der Gewerkschaften und der Zivilgesellschaft zusammensetzt.

Ist das deutsche Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz, das 2023 in Kraft trat, vergleichbar mit den OECD-Leitlinien für verantwortungsbewusstes unternehmerisches Handeln (Due Diligence Guidance for Responsible Business Conduct)?

Beide Leitsätze sollen Unternehmen dabei helfen und sie in die Verantwortung nehmen, tatsächliche und potenzielle negative Auswirkungen zu erkennen, zu verhindern oder zu begrenzen. Sie



fördern auch das Verständnis von Regierungen und Interessensvertretern in Bezug auf die Sorgfaltspflicht für verantwortungsbewusstes unternehmerisches Handeln. Aber es gibt auch wichtige Unterschiede zwischen den beiden:

- **Der Geltungsbereich:** Die OECD-Leitsätze gelten für alle Arten von Unternehmen, die in allen Ländern und Wirtschaftszweigen tätig sind. Das deutsche Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz hingegen gilt speziell für Unternehmen mit Sitz in Deutschland und deren Lieferketten.
- **Rechtlicher Status:** Die OECD-Leitsätze sind Empfehlungen der Regierungen an die Unternehmen, aber sie sind nicht rechtsverbindlich. Das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz ist jedoch ein deutsches Gesetz, und Unternehmen, die diesem Gesetz unterliegen, sind gesetzlich verpflichtet, seine Bestimmungen einzuhalten.
- **Umsetzung und Durchsetzung:** Die Umsetzung der OECD-Leitsätze wird durch praktische, klare Erläuterungen zur Durchführung der Sorgfaltspflicht unterstützt. Im Gegensatz zu den OECD-Leitsätzen, die in erster Linie der Selbstregulierung dienen, enthält das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz spezifische Durchsetzungsmechanismen, einschließlich möglicher Sanktionen für Unternehmen, die das Gesetz nicht einhalten.

Verpflichtungen nach dem Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz

Das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz, auch bekannt als Lieferkettengesetz, ist am 1. Januar 2023 in Kraft getreten. Es regelt die Verantwortung von Unternehmen für die Einhaltung von Menschenrechten in globalen Lieferketten. Dazu gehören zum Beispiel der Schutz vor Kinderarbeit, das Recht auf faire Löhne und der Umweltschutz. Deutsche Unternehmen müssen daher definierte Sorgfaltspflichten erfüllen. Diese Pflichten gelten für den eigenen Geschäftsbereich, für das Handeln eines Vertragspartners und für das Handeln weiterer (indirekter) Lieferanten.



SDGs als Leitlinie für The Great Reset

The Great Reset ist ein Vorschlag des Weltwirtschaftsforums (WEF) zum nachhaltigen Wiederaufbau der Weltwirtschaft nach der COVID-19-Pandemie. Klaus Schwab, der Gründer und geschäftsführender Vorsitzender des WEF, argumentiert, dass wir diesen Moment nutzen sollten, um die aktuelle Form des Kapitalismus zu verbessern.

Laut Schwab sollten die 17 SDGs der Agenda 2030, des Aktionsplans der Vereinten Nationen, diese Verbesserung leiten. Er glaubt, dass die Möglichkeiten der „Vierten Industriellen Revolution“ - moderne intelligente Technologien wie künstliche Intelligenz, 3D-Druck, 5G und das Internet der Dinge - dabei eine wichtige Rolle spielen werden.

Verschörung: Weltherrschaft...

Es gibt Verschwörungsmythen über den Great Reset. Diese Theorien besagen, dass der WEF die COVID-19-Pandemie ausnutzt, um eine vom Sozialismus inspirierte Dystopie zu installieren, in der eine globale (Finanz-)Elite alle Macht auf Kosten der nationalen Souveränität, der Demokratie und der Privatsphäre der Bürger an sich reißt. Diese Verschwörungstheorien beruhen nicht auf Fakten und werden in der Regel von Personen mit bestimmten politischen oder ideologischen Absichten verbreitet.

Das bedeutet, dass die Verantwortung der Unternehmen nicht mehr am eigenen Werkstor endet, sondern entlang der gesamten Lieferkette besteht.

Die Unternehmen müssen zunächst die Risiken in ihrer Lieferkette erkennen, bewerten und priorisieren. Auf der Grundlage der Ergebnisse veröffentlichen sie eine Grundsatzerklärung und ergreifen Maßnahmen, um Menschenrechtsverletzungen und Umweltschäden zu verhindern oder zu minimieren. Das Gesetz erläutert, welche Präventions- und Abhilfemaßnahmen erforderlich sind. Zu den weiteren Verpflichtungen gehören die Einrichtung eines Beschwerdeverfahrens für Menschen in den Lieferketten und die regelmäßige Berichterstattung über das Management der Lieferketten. Menschen in den Lieferketten, Unternehmen und Verbraucher erhalten durch das Gesetz Rechtssicherheit und eine verlässliche Grundlage für das Management nachhaltiger Lieferketten mit belastbaren Beschaffungswegen.

Das Lieferkettengesetz gilt ab 2023 für Unternehmen mit mindestens 3000 Beschäftigten, ab 2024 auch für Unternehmen mit mindestens 1000 Beschäftigten in Deutschland. Es stärkt den Menschenrechts- und Umweltschutz, einschließlich des Schutzes vor Kinderarbeit, Zwangsarbeit und Diskriminierung, des Schutzes vor Landraub, des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, des Rechts auf faire Löhne, des Rechts auf Bildung von Gewerkschaften und des Schutzes vor Umweltrechtsverstößen.

Die Einhaltung des Gesetzes wird vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) überwacht, das mit Eingriffsbefugnissen ausgestattet ist und Bußgelder verhängen kann.

Werbung ist die neue Front für Klimaaktivisten

Untersuchungen haben ergeben, dass mehr als die Hälfte der Nachhaltigkeitsangaben in der EU irreführend sind. Neue EU-Vorschriften machen dieses Greenwashing schwieriger. Klimaaktivisten plädieren für ein zusätzliches Verbot von Werbung: „Fossile Werbung halten fossile Normen aufrecht“. Heuchelei in der Werbung ist schwer zu bekämpfen, aber die EU wird versuchen, es den Unternehmen schwerer zu machen, „grüne“ Behauptungen auf die Verbraucher loszulassen. Unternehmen können momentan fast ungehindert mit Aussagen zur Nachhaltigkeit werben. Dies ist nachteilig für Verbraucher und Unternehmen, die tatsächlich nachhaltig produzieren. Europa führt neue Rechtsvorschriften ein, um dieses Greenwashing zu bekämpfen. Klimaaktivisten würden es vorziehen, wenn einige Unternehmen überhaupt nicht mehr werben dürften.

Der Verhaltenswissenschaftler und Professor für Marketing und Nachhaltigkeit Jan Willem Bolderdijk von der Universität Amsterdam sagt: „Was Ihnen leicht in den Sinn kommt, bestimmt Ihre Meinung. Dies ist auch als Verfügbarkeitsheuristik bekannt. Ein Beispiel: Wenn Sie die Aktivitäten eines Unternehmens nicht genau verfolgen, stützen Sie Ihre Wahrnehmung seiner Nachhaltigkeitspolitik eher auf Werbung. Dies kann dazu führen, dass man das Unternehmen positiver beurteilt als dies es eigentlich verdient.

Mit der Richtlinie über die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen (Corporate Sustainability Reporting Directive, CSRD), die Unternehmen dazu verpflichtet, über ihren gesellschaftlichen Impact zu berichten, erzwingt der Gesetzgeber Transparenz. Infolgedessen wird es viel einfacher sein, Unternehmen für das, was sie wirklich tun, zur Verantwortung zu ziehen.

Die CSRD-Richtlinie (die Mitgliedstaaten haben bis Anfang Juli 2024 Zeit, die Bestimmungen der CSRD in ihr nationales Recht zu übernehmen) und insbesondere die Green Claims Directive, die Richtlinie über Umweltaussagen (von der Europäischen Kommission im März 2023 vorgeschlagen), übertragen die Verantwortung für den Nachweis von Angaben künftig den Unternehmen und nicht den Verbrauchern.

Die neue Richtlinie über Umweltaussagen soll es den Verbrauchern und den Aufsichtsbehörden erleichtern, nachzuweisen, dass eine Angabe falsch und irreführend ist. Nach Ansicht Europas wird der Begriff „grün“ nur noch bis 2026 vage sein. Die Unternehmen müssen dann ihre Behauptungen („klimaneutral“, „öko“, „grün“) spezifizieren und sachlich begründen.

Die CSRD- und die Green-Claims-Richtlinie werden die Verantwortung für den Nachweis von Behauptungen den Unternehmen und nicht den Verbrauchern auferlegen. Die konkreten Sanktionen und Bußgelder für die Nichteinhaltung der CSRD werden davon abhängen, wie die EU-Mitgliedstaaten die CSRD-Vorschriften umsetzen. Jeder EU-Mitgliedstaat kann bei der Umsetzung der CSRD in nationales Recht seine eigenen Sanktionen für Verstöße einführen. Es ist wahrscheinlich, dass die eingeführten Sanktionen auf den aktuellen Sanktionen basieren werden, die bei der Umsetzung der Richtlinie über die nicht-finanzielle Angaben (Non-Financial Reporting Directive, NFRD) durch die Mitgliedsstaaten eingeführt wurden.

Quelle: Marceline Bresson, Het Financieele Dagblad

In welchem Zusammenhang stehen die OECD-Leitsätze mit den 17 SDGs der UN?

Die OECD-Leitsätze und die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs) der Vereinten Nationen zielen beide auf die Förderung von Nachhaltigkeit und verantwortungsvollem Unternehmertum ab, haben aber unterschiedliche Schwerpunkte.

Die OECD-Leitsätze sind Empfehlungen für Unternehmen, wie sie in Bereichen wie Beschäftigung, Menschenrechte, Verantwortung in der Lieferkette, Umwelt, Verbraucherinteressen und Wettbewerb verantwortungsvoll handeln können. Sie bieten Unternehmen eine Anleitung für den Umgang mit diesen Themen.

Die SDGs sind 17 globale Ziele, die von den Vereinten Nationen festgelegt wurden, um Armut, Ungleichheit, Ungerechtigkeit und den Klimawandel zu beenden. Diese Ziele sind viel weiter gefasst und umfassen Themen wie die Beendigung der Armut, die Förderung von Gesundheit und Wohlbefinden, die Gewährleistung einer hochwertigen Bildung und die Förderung der Gleichstellung der Geschlechter.

Die OECD-Leitsätze und die SDGs befassen sich zwar mit unterschiedlichen Aspekten der Nachhaltigkeit und des verantwortungsvollen Unternehmertums, sie können sich jedoch gegenseitig ergänzen. Durch die Einhaltung der OECD-Leitsätze und die ordnungsgemäße Durchführung des damit verbundenen Sorgfaltspflicht-Prozesses machen Unternehmen einen großen Schritt in Richtung der SDGs. Damit tragen die Unternehmen beispielsweise zu verantwortungsvollen Arbeitsbedingungen in ihrer Produktionskette und zur Bekämpfung des Klimawandels bei: Themen, die auch für die SDGs zentral sind.

In diesem Zusammenhang ist oft vom WEF die Rede. Was ist die Verbindung zur UNO?

Das Weltwirtschaftsforum (WEF) und die Vereinten Nationen (UNO) arbeiten in verschiedenen Bereichen zusammen, insbesondere im Bereich der nachhaltigen Entwicklung. Seit 2017 organisiert das WEF im Rahmen der Agenda 2030 parallel zur Generalversammlung der UNO jährliche Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung. Im Juni 2019 begannen die UNO und das WEF offiziell ihre Zusammenarbeit, um die Umsetzung der SDGs zu beschleunigen. Es ist wichtig zu erwähnen, dass das WEF zwar wie viele andere Organisationen Lobbyarbeit bei der UNO leisten kann, aber keinen direkten Einfluss auf die Erstellung dieser Agenden hat. Die Zusammenarbeit zwischen der UNO und dem WEF kann jedoch dazu beitragen, die Ziele der Agenda 2030 zu fördern und weltweit eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen. ◀

SG – 230706-02

WEBLINK

[1] Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung OECD: <https://oecd.org>

Intelligentes Ni-MH-Ladegerät/Entladegerät

Das Leserprojekt „Chadèche“ in Kürze

Von Jacques Ehrlich (Frankreich)
Text von Jean-François Simon (Elektor)

Chadèche ist ein kundenspezifisches Ni-MH-Akku-Lade- und Entladegerät mit erweiterten Protokollierungs- und Zyklusoptionen. Es basiert auf einem Raspberry Pi und verfügt über eine spezielle Software sowie zahlreiche softwarekonfigurierbare Optionen. Werfen wir einen Blick darauf!



Bild 1. Ein Aufbau mit drei Chadèche-Platinen und einem Raspberry Pi.

Dieses Projekt wurde „Chadèche“ genannt, nach den französischen Wörtern Chargeur (Lader) und Déchargeur (Entlader). Das Gerät ist für AA- und AAA-Nickel-Metallhydrid-Akkus (Ni-MH) konzipiert. Das ursprüngliche Ziel war es, die Leistungsfähigkeit einiger dieser Akkus zu bestimmen, um die besten davon in einem tragbaren Flugzeug-GPS zu verwenden. Was als einfaches Konstantstrom-Entladegerät begann, wurde zu einem kompletten Universitätsprojekt. Die Dokumentation ist sehr ausführlich: zwölf Seiten mit Erklärungen und Diagrammen sowie eine eigene Wiki-Seite. In **Bild 1** ist ein Prototyp zu sehen.

Das Gerät ist in der Lage, einzelne Zellen mit einem konstanten, bis zu 400 mA einstellbaren Strom zu laden oder zu entladen, und basiert auf einem Raspberry Pi. Es überwacht und protokolliert die Spannung einer Zelle. Der modulare Aufbau ermöglicht die gleichzeitige und unabhängige Verarbeitung von bis zu vier Akkus. Die Software ist sehr fortschrittlich und ermöglicht Lade- und Entladezyklen, die sich aus Sequenzen zusammensetzen. Diese Sequenzen verfügen über Möglichkeiten zur feinen Einstellung von Parametern und zur Verwaltung von Ereignissen, zum Beispiel Spannungslimit, Zeitlimit und Ladelimit in mAh, um nur einige zu nennen.

Was Chadèche leisten kann

Das Gerät ist sowohl ein operationales als auch ein Forschungsinstrument und bietet allen, die es nachbauen möchten, viele Möglichkeiten.

Es kann Ni-MH-Akkus für den allgemeinen Gebrauch zu Hause oder in der Werkstatt aufladen. Es kann die Leistungsfähigkeit der Batterien bewerten und ihre Kapazität testen. Außerdem lässt sich die Rest-Lebensdauer der Batterien durch wiederholte Lade- und Entladezyklen abschätzen. Es besteht auch die Möglichkeit, mit verschiedenen Arten des Ladens und Entladens zu experimentieren, indem man die Werte für Stromstärke, Dauer und so weiter variiert.

Neben all diesen technischen Merkmalen bietet dieses Projekt die Erfahrung, ein komplettes, nützliches, zu 100 % individuell einstellbares Gerät von Anfang bis Ende zu bauen. Für alle, die daran interessiert sind: Das gesamte Projekt steht unter einer GNU-Lizenz als Open-Source zur Verfügung.

Ein modularer Aufbau

Dieses Projekt besteht aus mehreren Einzelplatinen, die über ein Flachbandkabel mit 40 Adern mit dem Raspberry Pi verbunden sind. Jede Chadèche-Platine verwaltet eine Batterie. Für die Vollversion, die vier Batterien verwaltet, müssen Sie also vier dieser Boards bauen und stapeln.

Die Architektur der Platinen ist in der Blockschaltung in **Bild 2** dargestellt. Das System ist in fünf Funktionsblöcke unterteilt. Der erste Block ist eine spannungsgesteuerte Konstantstromquelle, die aus einem klassischen IRF540N-MOSFET und einem 10-Ω-Widerstand besteht,

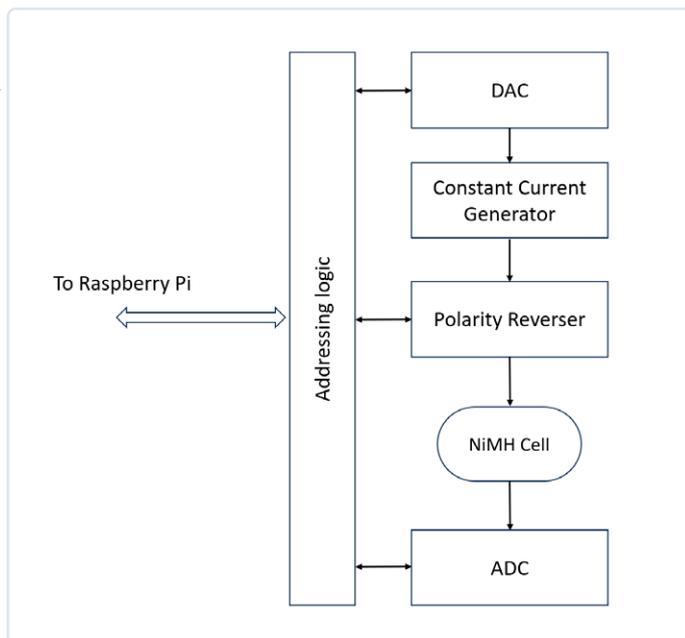


Bild 2. Blockschaltbild des Systems.

die alle in Reihe mit der Zelle angeordnet sind. Der Ladestrom erzeugt eine Spannung über dem Widerstand, die dann von einem Operationsverstärker mit einer Sollspannung verglichen wird. Der Ausgang des Operationsverstärkers steuert das Gate des MOSFET, das in seinem ohmschen Bereich verwendet wird.

Dann gibt es einen Digital-Analog-Wandler (DAC), einen MCP4922 von Microchip, der die Sollspannung erzeugt, die von der zuvor erwähnten Stromquelle verwendet wird. Ein Analog-Digital-Wandler (ADC) ist für die genaue Messung der Zellenspannung zuständig. In diesem Fall wurde ein MCP3201 Microchip eingesetzt. Der vierte Block umfasst einen Polaritätsumschalter, in dem ein zweipoliges Relais zwischen Lade- und Entlademodus umschaltet.

Der letzte Teil ist die Adressierungslogik. Sie sorgt dafür, dass der Raspberry Pi mit jeder der (bis zu vier) Platinen unabhängig voneinander kommunizieren kann, ohne dass es zu Konflikten kommt. Der Nutzer stellt die Adresse jedes Boards an DIP-Schaltern ein. Um vier Adressen binär zu kodieren, werden zwei Bits benötigt, die durch zwei I/O-Pins des Raspberry Pi repräsentiert werden: A0 und A1 (GPIO 17 und GPIO 27 auf dem Raspberry-Pi-Board). Diese Pins des Raspberry Pi wählen also die gewünschte Tochterplatine aus.

Der vollständige Schaltplan ist auf der Elektor-Labs-Projektseite [1] und auf der Website des Autors [2] verfügbar.

Vom Konzept zur Schaltung

Zusätzlich zu den gerade erwähnten Hauptblöcken gibt es einige interessante Designdetails: Der DAC und der ADC werden vom Raspberry Pi über den SPI-Bus gesteuert. Sie teilen sich die MISO-, MOSI- und CLK-Leitungen, wobei der Raspberry Pi zwischen beiden Wandlern umschaltet, indem er deren Chip-Select-Pins aktiviert.

Da die SPI-Pins von allen Tochterplatinen gemeinsam genutzt werden, ist die Adressierungslogik auch für die Weiterleitung der Chip-Select-Signale an die richtige Platine verantwortlich. Diese Logik besteht aus den vier UND-Gattern in einem 74HC00 sowie vier der sechs Inverter in einem 74HC04.

Außerdem benötigen der DAC und der ADC eine Spannungsreferenz. Dafür sorgt ein MAX6241 von Analog Devices mit einer viel besseren Genauigkeit, als dies bei einer Nutzung einer der Versorgungsschienen als Referenz der Fall wäre.

Ein interessanter Aspekt dieses ADCs ist sein Pseudo-Differenz-Eingang. Im Gegensatz zu einem vollständig erdfreien negativen Eingang ist er auf einen Bereich von ± 100 mV in Hinsicht auf Masse beschränkt. Aufgrund des $10\text{-}\Omega$ -Vorwiderstands schwankt die Batteriespannung jedoch relativ zur Masse. Um dieses Problem zu lösen, befindet sich zwischen der Batterie und dem ADC ein Differenzverstärker mit Einfachverstärkung.

Das Relais, das seine Position während der Lade- oder Entladephase halten soll, muss auch in einer stabilen Position bleiben, wenn der Raspberry Pi mit einem anderen Board verbunden ist. Die Steuerung der Relaispule wird daher einem 74HC74 als Latch zugewiesen, das wiederum von zwei GPIOs des Raspberry Pi gesteuert wird.

In der Schaltung finden sich auch drei LEDs, die (natürlich) bestimmte Zwecke erfüllen. Die erste LED zeigt einfach an, ob ein Netzteil vorhanden ist. Die zweite, eine zweifarbige LED, informiert darüber, ob sich das System im Lade- oder Entlademodus befindet. Die dritte LED arbeitet in einem EIN/AUS-Muster (oder einfacher gesagt, sie blinkt), das von einem 555er-Timer gesteuert wird. Interessanterweise wird das Tastverhältnis des 555-Ausgangs durch den sonst ungenutzten Sekundärkanal des DAC bestimmt. Auf diese Weise kann die LED mit variablen Frequenzen blinken, die über die Software fein abgestimmt werden können. Dies mag wie eine recht komplexe Lösung sein, um eine LED blinken zu lassen, aber der Vorteil ist, dass die Blinkfrequenz der LED gleich bleibt, auch wenn der Raspberry Pi mit anderen Dingen beschäftigt ist.

Diese Blinkanzeige kann zum Beispiel den tatsächlichen Laststrom angeben. Im Gegensatz zu einer bloßen Veränderung der LED-Helligkeit, die sehr unlinear wäre, bietet dieses Blinken einen intuitiveren visuellen Ansatz.

Diskussion der Systemarchitektur

Bei dieser Art von Projekt sind die zeitlichen und finanziellen Beschränkungen im Allgemeinen flexibler als in der Unternehmenswelt, was eine großartige Sache ist! Es ist immer eine schöne Herausforderung, einen Kompromiss zwischen dem Wunsch nach einem flexiblen, aufrüstbaren System einerseits und der Einfachheit andererseits zu finden. Chadèche verwendet für jede zu testende Ni-MH-Zelle eine eigene Tochterplatine. Es wäre interessant, eine Einplatinenlösung zu entwickeln, die die Verkabelung und die mechanische Montage vereinfacht. Diese Platine könnte möglicherweise etwas größer sein und ein Raspberry Pi Zero darauf montiert werden.

Während ein MOSFET und eine Gate-Treiber-Schaltung pro Ni-MH-Zelle ziemlich obligatorisch zu sein scheinen, könnte es interessant sein, über andere Ansätze nachzudenken, die ein einziges DAC-ADC-Paar für das gesamte System verwenden. Dies würde die Anzahl der erforderlichen Kalibrierungen von vier auf eine reduzieren. Wie wäre es, verschiedene Adressierungsschemata zwischen den Komponenten zu erforschen, um das System auf mehr als vier Batterien zu erweitern? Es ist auch verlockend, darüber nachzudenken, wie man das System an verschiedene Akkutypen anpassen kann, zum Beispiel Lithium- oder Bleibatterien.

Wie hätten Sie es gemacht? Teilen Sie Ihre Gedanken mit der Community auf Elektor Labs [1].

Jean-François Simon (Ingenieur, Elektor)

ADR	C/D	mA	SD	TL	TH	LmAh	HmAh	TRUE	CTRLZ	COMMENT
1	D	0	60						S	Cell at rest
2	D	200	90000	S		S			S	200 mA discharge
3	D	0	30						S	Cell at rest
4	C	300	300		6		6		S	300 mA charge until max capacity
5	C	0	5					3	S	NOP and unconditional jump
6	C	50	300						S	Topping off
7	C	10	3600						I	Trickle charge
8	C	0	0					20:00	S	Waking up at 20:00
9	C	0	0						S	End of cycle

Bild 3. Konfigurationstabelle für einen Zyklus.

Software

Um das Potenzial des Projekts voll auszuschöpfen, wurde ein umfassendes Softwarepaket geschrieben. Der Quellcode (in C) und kompilierte Versionen für den Raspberry Pi sind auf Github [3] verfügbar. Der Code ist übersichtlich in fünf Quelldateien mit insgesamt rund 1.300 Codezeilen unterteilt.

Um auf die GPIOs des Pi zuzugreifen, wird die *WiringPi*-Bibliothek von Gordon Henderson eingesetzt. Die letzte stabile Version, die auf Gordons Website verfügbar ist, sollte funktionieren.

Die ausführbare Datei *chadeche* kann zur Steuerung eines Tochterboards verwendet werden, dessen Adresse bei der Ausführung in der Shell als Parameter übergeben wird. Auf diese Weise macht sich das System das Linux-eigene Multitasking zunutze. Um mehrere Ni-MH-Zellen gleichzeitig zu analysieren, starten wir mehrere Instanzen von *chadeche*. Dies kann entweder durch das Öffnen mehrerer Shell-Fenster geschehen oder durch das Ausführen der Befehle im Hintergrund mit *&*, oder durch die Verwendung der Befehle *screen*, *nohup*, und so weiter.

Die Software ermöglicht Lade- und Entladezyklen, wobei jeder Zyklus aus Sequenzen besteht. Verzögerungen sind möglich, ebenso wie bedingte Sprünge von einer Sequenz zur nächsten, wenn (voreingestellte) Bedingungen erreicht werden. Zum Beispiel: Laden mit Strom X für Y Sekunden, Wechsel zur nächsten Sequenz, wenn Spannung Z erreicht wird und vieles andere mehr.

Um all dies zu konfigurieren, stellt der Benutzer der Software Konfigurationsdateien mit beliebig vielen Details (eine Sequenz pro Zeile) im CSV-Format zur Verfügung, wie in **Bild 3** dargestellt. Zusätzlich zu diesen Konfigurationsdateien erlaubt *chadeche* auch die Verwendung von Parameterdateien, um kartenspezifische Werte zu speichern, zum Beispiel Kalibrierkoeffizienten.

Die Messergebnisse werden ebenfalls im CSV-Format gespeichert und ermöglichen eine weitere Verarbeitung wie das Zeichnen einer Entlade- und Aufladekurve wie in **Bild 4**. ◀

RG – 230624-02

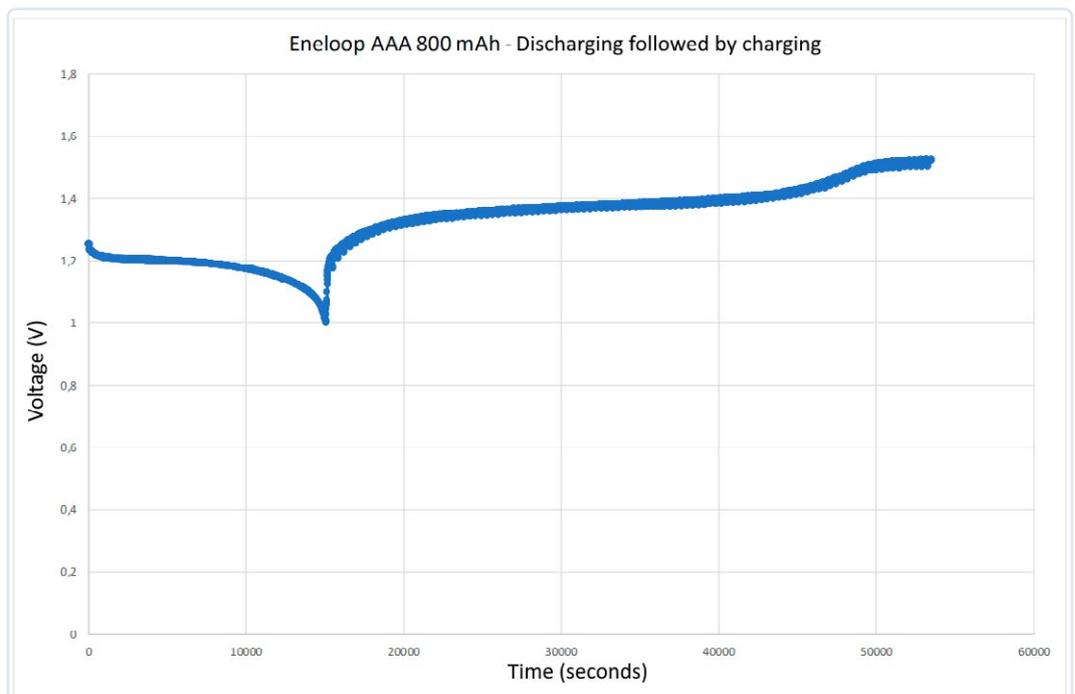


Bild 4. Spannungsverlauf einer Ni-MH-Zelle beim Entladen und Laden.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel haben, wenden Sie sich bitte per E-Mail an den Autor unter support.chadeche@orange.fr oder an das Elektor-Redaktionsteam unter redaktion@elektor.de.

Über den Autor

Jacques Ehrlich ist emeritierter Forschungsdirektor der Universität Gustave Eiffel und Berater auf dem Gebiet der intelligenten Verkehrssysteme (ITS). Er war zunächst stellvertretender Direktor, dann Direktor des LIVIC (Laboratory on Vehicle Infrastructure and Drivers Interactions) am IFSTTAR, einem international renommierten Forschungslabor im Bereich der Verkehrssicherheit, fortschrittlicher Fahrassistenzsysteme und autonomer Fahrzeuge. Seine Leidenschaft gilt der Elektronik, dem Computerwesen und dem Segelflug.

Teilen Sie Ihre Projekte mit Elektor!

Chadèche ist uns als ein interessantes Projekt aufgefallen. Es ist ein schönes Beispiel für eine hundertprozentig kundenspezifische Umsetzung: Entwerfen, bauen, testen, Code schreiben und Dokumentation erstellen. Wir loben den erheblichen Aufwand, den dieses Projekt erfordert. Ein Projekt wie dieses kann nur mit viel Ausdauer und nach vielen Wochen Arbeit verwirklicht werden. Dies ist die Arbeit eines wahren Enthusiasten, und das ist es, was wir bei Elektor so gerne sehen! Zögern Sie nicht, Ihre eigenen Projekte mit dem Redaktionsteam und der Elektor-Community zu teilen. Präsentieren Sie Ihre Arbeit auf Elektor Labs und senden Sie Ihre Projekt- oder Artikelideen an redaktion@elektor.de.



Passendes Produkt

➤ **Raspberry Pi 4 B (2 GB RAM)**
www.elektor.de/18965



WEBLINKS

- [1] Projektseite bei Elektor Labs: <https://elektormagazine.de/labs/chadeche-un-chargeur-dechargeur-tres-intelligent-pour-accus-nimh>
- [2] Website des Autors: <http://yadalo.no-ip.org/dokuwiki/doku.php?id=projets:projets:chadeche:chadeche>
- [3] Chadèche-Software auf GitHub: <https://github.com/duodiscus92/chadeche>

Treten Sie unserer Community bei



www.elektormagazine.de/community

elektor
design > share > earn

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.de).

Elektor Super Servo Tester Kit

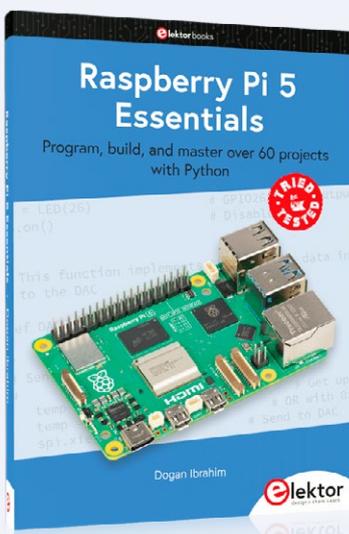
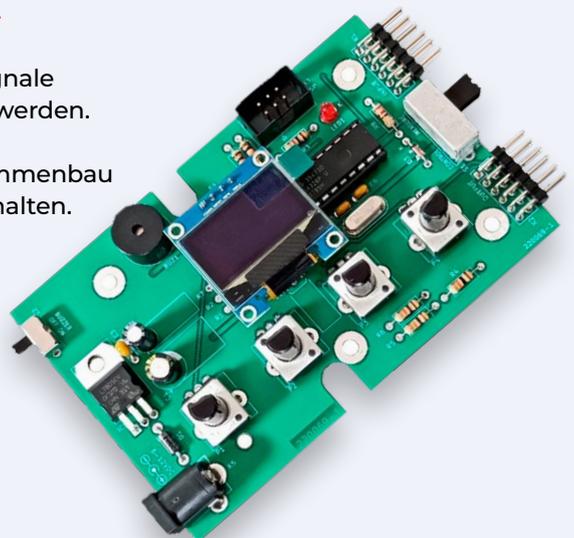
Der Elektor Super Servo Tester kann Servos steuern und Servosignale messen. Es können bis zu vier Servokanäle gleichzeitig getestet werden.

Der Super Servo Tester wird als Bausatz geliefert. Alle zum Zusammenbau des Super Servo Testers erforderlichen Teile sind im Bausatz enthalten. Für den Zusammenbau des Bausatzes sind grundlegende Lötkenntnisse erforderlich. Der Mikrocontroller ist bereits programmiert.

Preis: ~~49,95 €~~

Sonderpreis: 42,95 €

 www.elektor.de/20624



Raspberry Pi 5 Essentials

Programmieren und bauen Sie über 60 Projekte mit Python

Das Buch beginnt mit einer Einführung in den Raspberry Pi 5 und behandelt die wichtigen Themen des lokalen und Fernzugriffs auf den Computer. Die Verwendung von Befehlen an der Konsole sowie der Zugriff und die Verwendung der Desktop-GUI werden anhand von Arbeitsbeispielen beschrieben. Die restlichen Teile des Buches behandeln viele Hardwareprojekte auf Basis des Raspberry Pi 5.

Preis: 34,95 €

Mitgliederpreis: 31,46 €

 www.elektor.de/20703



FNIRSI S1 Smart Multimeter



Preis: 34,95 €

Mitgliederpreis: 31,46 €

www.elektor.de/20645

DER EE DE-5000 LCR-Meter (100 kHz)



Preis: 219,00 €

Mitgliederpreis: 197,10 €

www.elektor.de/20675

RTL-SDR V4 (Software Defined Radio) mit Dipolantennenkit

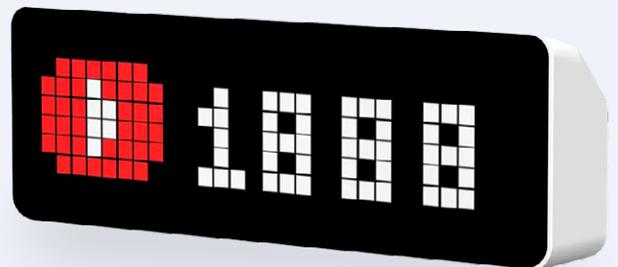


Preis: 59,95 €

Mitgliederpreis: 53,96 €

www.elektor.de/20680

Ulanzi TC001 ESP32-basierte Smart Pixeluhr



Preis: 79,95 €

Mitgliederpreis: 71,96 €

www.elektor.de/20719

Projekt 2.0

Korrekturen, Updates und Leserbriefe

Zusammengestellt von Roberto Armani (Elektor)

Cloc 2.0

Elektor 3-4/2023, S. 6 (220564)

Die Software für das Cloc-Projekt ist auf die Version 2.10 aktualisiert worden. Diese Version behebt ein Problem, das durch Sonderzeichen (wie &) in der SSID und dem Passwort verursacht wird. Wenn ein solches Zeichen in einer dieser Strings stand, wurde die Zeichenkette abgeschnitten, was eine Netzwerkverbindung unmöglich machte. Die neue Software kann von der Projektseite bei Elektor Labs heruntergeladen werden: elektormagazine.de/labs/cloc-le-reveil-20
Clemens Valens (Artikelredakteur)



Winziger DCF77-Simulator

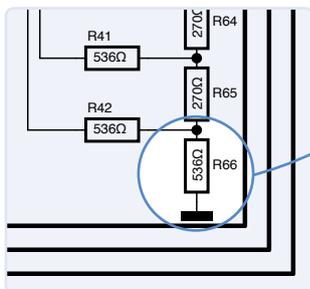
Elektor Circuit Special 2023, S. 126 (230307)

Im Text des Winzigen DCF77-Simulators ist ein Zahlendreher aufgetaucht. Der richtige Controller ist ein PIC12F683, nicht ein PIC12F638. Der Schaltplan ist korrekt.

Programmierbarer Video-DAC

Elektor Circuit Special 2023, S. 44 (220674)

Es gibt einen Fehler im Schaltplan: Der Widerstand R66 (roter Farbkanal) muss den Wert 536 Ω und nicht 270 Ω haben (siehe Bild). R74 und R82 (nicht abgebildet) haben den gleichen Wert von 536 Ω . Die Stückliste ist korrekt.



Winzige Solarversorgung

Elektor Circuit Spezial 2023, S.6 (220321)

Es gibt weder eine Leiterplatte noch eine SMD-bestückte Bastelplatine für dieses Projekt im Handel. Hunderte von Wettersensoren in hunderten von Gärten warten sicher auf ein solches Teil für die Energieversorgung ihrer ESPs. Ist da noch etwas zu erwarten?

Gustav I.

Herzlichen Dank für dein Interesse, Gustav. Die Gerber- (und KiCad-) Dateien stehen auf elektormagazine.de/labs/tiny-solar-supply zum Download bereit. Mit diesen Dateien können Sie die Platine bei PCB-Pooling-Diensten wie Eurocircuits oder JLCPCB bestellen. Bitte beachten Sie jedoch, dass die Schaltung nicht für die Stromversorgung von ESPs geeignet ist, auf denen Standardsoftware (zur HF-Kalibrierung) läuft, da diese beim Einschalten viel mehr Strom zieht, als diese Schaltung liefern kann. Für weitere Informationen siehe hier: ondrovo.com/a/20170207-esp-consumption

Clemens Valens (Entwickler des Projekts)

Audio-Kondensatoren

Elektor 11/1991, S. 32 (902004)

Als treues Mitglied Ihrer Zeitschrift habe ich den Artikel „Audio-Kondensatoren“ (elektormagazine.de/magazine/elektor-199111/29739) gelesen und habe eine Frage zu Seite 28, wo der Autor schreibt:

Beim Netzteil spielen zwar andere Faktoren eine Rolle, aber dennoch ist es sinnvoll, die Elkos mit einem Folienkondensator in der Größenordnung 470 n bis 1 μ F zu überbrücken, um deren Hochfrequenzverhalten zu verbessern.

Bedeutet dies wirklich, die Elektrolytkondensatoren zu belassen und einfach einen Folienkondensator parallel zu schalten? Oder ist es besser, die Elkos durch Folienkondensatoren zu ersetzen?

Thibaut

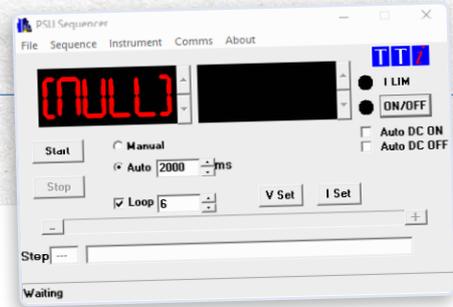
Danke für Ihre Frage, Thibaut, die trotz des Alters der Ausgabe, auf die Sie sich beziehen, immer noch sehr aktuell ist!

Das Netzteil eines Audio-Leistungsverstärkers wird mit Strömen belastet, die proportional zum Ausgangspegel und von einer Frequenz sind, die (natürlich) der des verstärkten Signals entspricht. Elektrolyt- und Folienkondensatoren haben verschiedene, sich widersprechende Eigenschaften. Im Einzelnen geht es um die Kapazitätsdichte und den ESR-Wert in Abhängigkeit von der Frequenz:

- Elektrolytkondensatoren bieten eine große Kapazität bei begrenztem Volumen.
- Elektrolytkondensatoren reagieren eher „langsam“ auf hochfrequente Lastsprünge, weil sie höhere ESR-Werte aufweisen.
- Folienkondensatoren bieten eine geringere Kapazität auf einem Footprint beziehungsweise in einem Volumen, weisen aber bei hohen Frequenzen wesentlich niedrigere ESR-Werte auf und gleichen damit das nicht ideale Ansprechverhalten der Elektrolytkondensatoren bei der Entladung aus.

Die parallele Kombination eines Elektrolytkondensators mit einem Folienkondensator mittlerer Kapazität in einer Audio-Stromversorgung (wie im Artikel vorgeschlagen) verbindet die Vorteile beider Typen, also geringer Platzbedarf und dennoch gutes ESR-Verhalten über die gesamte Audiobandbreite.

Roberto Armani (leitender Elektor-Redakteur)



Automatisierung der Prüf- und Messtechnik

Elektor 5-6/2023, S. 56 (230046)

Ich bin ein begeisterter Leser von Elektor und habe ein paar Fragen an Sie zu diesem Artikel.

- Welche Python-IDE benutzen Sie oder welche empfehlen Sie mir? Ich bin ein Anfänger und arbeite mit Windows.
- Können Sie mir bitte ein Beispielprogramm mit GUI und einer USB- oder LAN-Funktion nennen? Ich würde gerne eine Verbindung zu Messgeräten herstellen und Messergebnisse ausgeben.

Vielen Dank für Ihre E-Mail und Ihre Treue als Elektor-Leser. Wir freuen uns immer sehr über Rückmeldungen und Fragen. Ich muss zugeben, dass ich selbst noch ganz am Anfang mit Python stehe und noch keine Python in einer GUI programmiert habe. Ich verwende Thonny (thonny.org) als IDE, die für Anfänger sehr gut geeignet ist. Nach einigen Recherchen scheint PySimpleGUI sehr geeignet für GUIs für Anfänger zu sein (pysimplegui.org/de/latest/). Ein einfaches Beispiel für die Erstellung eines Balkendiagramms finden Sie hier: github.com/PySimpleGUI/PySimpleGUI/blob/master/DemoPrograms/Demo_Bar_Chart.py Sie müssen nur das PySimpleGUI-Paket in Thonny installieren. Wenn es um die Steuerung von Test- und Messgeräten geht, ist USBTMC eine mögliche Software-Schnittstelle. Mit ihr lassen sich viele Netzteile oder Oszilloskope ansprechen. Das USBTMC-Python-Paket ist verfügbar unter: github.com/python-ivi/python-usbTMC. Ansonsten gibt es noch PyVISA: pyvisa.readthedocs.io/de/latest und ein Beispiel hier: core-electronics.com.au/guides/automating-test-equipment-with-python

Ich hoffe, dass diese Informationen Ihnen helfen werden. Ich wünsche Ihnen viel Glück und wenn Sie etwas gebaut oder ausprobiert haben, lassen Sie es uns bitte wissen - vielleicht können wir darüber berichten!

Stuart Cording (Elektor)

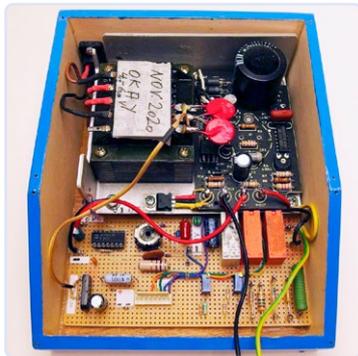


Milliohm-Meter

Elektor Summer Circuits 2022, S. 114 (220167)

Ich habe mal wieder gebastelt, aber diesmal habe ich nichts Eigenes entwickelt, sondern das Milliohm-Meter-Projekt aus dem Schaltungs-Special 2022 nachgebaut. Die Schaltung von Stefano Purchiaroni habe ich nach meinen Vorstellungen und dem verfügbaren Material leicht angepasst. Schließlich bin ich stolz auf mein Gehäuse und seine Frontplatte. Aber schauen Sie doch bitte selbst!

Peter Grundmann



Diese Umsetzung sieht wirklich gut aus und verdient die Veröffentlichung einiger Bilder. Wir möchten Sie ermutigen, das gesamte Projekt auf der Plattform Elektor Labs (elektormagazine.de/labs) zu veröffentlichen, damit wir es mit allen unseren Lesern teilen können!

Jens Nickel (Chefredakteur Elektor)



Mini-Reflowplatte

Elektor 11-12/2023, S. 120 (230456)

Der obige Artikel ist sehr interessant und ermutigt Sie, Ihr eigenes Gerät zu bauen. Leider fehlt jedoch eine Information (zumindest konnte ich sie nicht finden): Was ist das für eine Heizplatte, und wo kann man sie bekommen?

Hans Schneider

Danke für Ihre Anfrage an Elektor, Hans. Bei dem Bauteil, das Sie suchen, handelt es sich um eine maßgeschneiderte 230 V_{AC} / 400 W Heizplatte, die von unseren Partnern bei der Zeitschrift Eletttronica In vertrieben wird. Sie können alle Details hier finden: furanet.it/prodotto/piastra-riscaldante-400-watt-230-vac

Roberto Armani (Elektor)



Elektor Circuit Special 2023

Ich bin seit über 40 Jahren treuer Leser und freue mich immer wieder über die Sommerausgabe mit den vielen kleinen und großen Projekten! Ich bin zwar eher ein analoger Bastler und meine Hände/Augen haben ein Problem mit der kleinen SMD-Technik, aber ich finde es schön, dass es Sie noch gibt und Sie nicht den Weg von Elrad & Co. gegangen sind.

Martin Vogl

Hallo Herr Vogl, herzlichen Dank für das unterstützende Kompliment. Das freut uns sehr!

Jens Nickel (Chefredakteur Elektor)



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

Die größte Auswahl elektronischer Bauelemente™

Auf Lager und versandfertig



[mouser.de](https://www.mouser.de)

