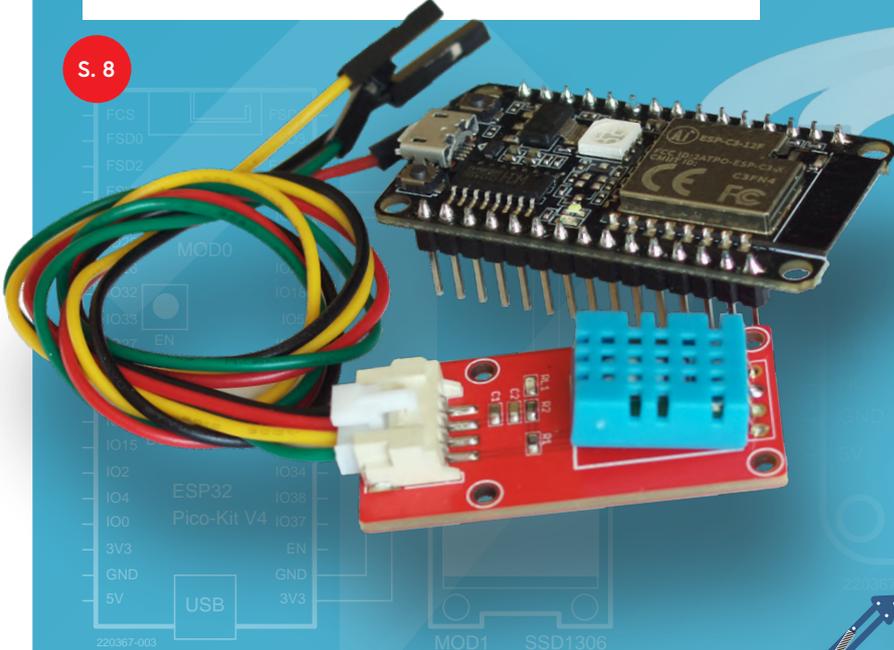
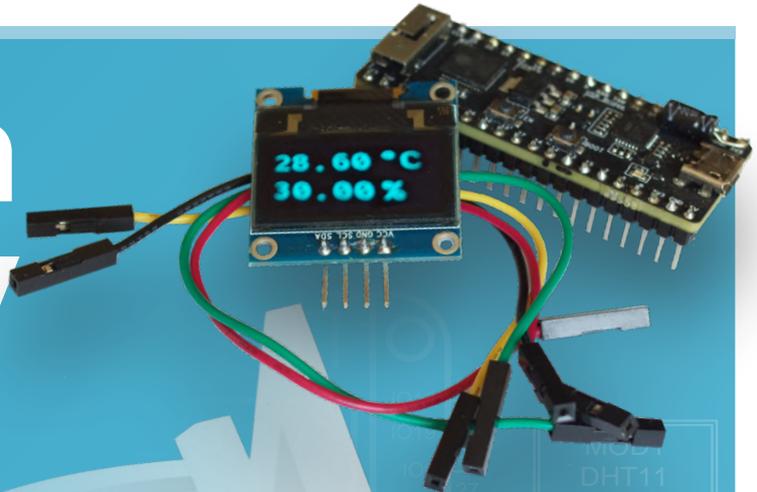


Bluetooth Low Energy

mit ESP32-C3 und ESP32



S. 8

S. 12

Bluetooth-LE-Sniffer

Mit dem makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle

S. 58

5G für mich allein

Vollständige Kontrolle im privaten Netz

S. 77

Senden von Daten an Telegram

Mit ESP32 und ein paar Bauteilen



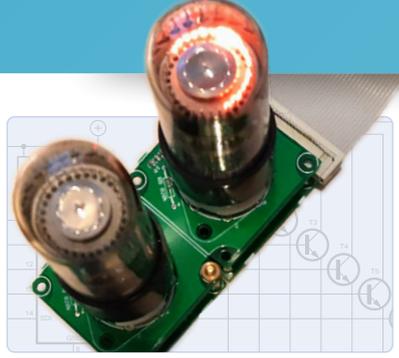
IM FOKUS

Drahtlose Applikationen



Fahrrad elektrifizieren
E-Bike-Nachrüstkit
in der Praxis

S. 26



Audio-Spektrum-Analysator
mit Dekatrons
Alte Röhren im neuen Einsatz

S. 70



Digitale UKW-Empfänger
Mit Arduino Nano und
TEA5767

S. 100



Elektor TV Shows



Elektor **Engineering Insights** (englische Show)

Elektor Industry Insights ist die erste Anlaufstelle für vielbeschäftigte Ingenieure und Hersteller, die sich über die Welt der Elektronik informieren möchten. In jeder Folge diskutiert Stuart Cording (Redakteur, Elektor) mit Experten aus der Elektronikbranche über echte technische Herausforderungen und Lösungen.

www.elektormagazine.com/elektor-engineering-insights



Elektor **LabTalk** (englische Show)

Haben Sie eine Leidenschaft für DIY-Elektronik, eingebettete Systeme oder technische Aufgaben? Diskutieren Sie mit! Unsere Ingenieure und Redakteure Jens Nickel und Mathias Claußen geben in jeder Folge technische Tipps, besprechen zukünftige Elektronikprojekte, geben Einblicke in die Elektor Ausgaben und beantworten Fragen aus der Community.

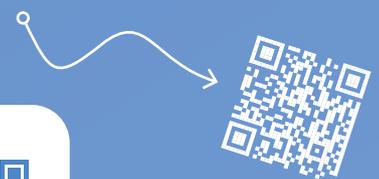
www.elektormagazine.com/elektor-lab-talk



elektor academy (englische Kurse)

Möchten Sie Ihre Elektronikkenntnisse verbessern? In der Elektor Academy finden Sie Kurse, um Ihre technischen Fähigkeiten zu verbessern. Unser Experte Stuart Cording führt Sie dabei durch die Kurse der Elektor Academy.

www.elektormagazine.com/elektor-academy



Bleiben Sie informiert und abonnieren Sie unseren YouTube-Kanal Elektor TV:

www.youtube.com/c/ElektorIM



Verlag

Elektor Verlag GmbH
Kackertstraße 10
52072 Aachen
Tel. 0241 95509190

Technische Fragen bitten wir per E-Mail an redaktion@elektor.de zu richten.

Hauptsitz des Verlags

Elektor International Media
Postbus 11, 6114 ZG Susteren
Niederlande

Anzeigen

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

Büsra Kas

Tel. 0241 95509178
E-Mail: busra.kas@elektor.com

Es gilt die Anzeigenpreisliste ab 01.01.2022.

Distribution

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

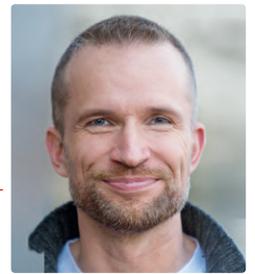
Druck

Senefelder Misset, Doetinchem (NL)

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

von Jens Nickel

Chefredakteur ElektorMag



Drahtlos praktisch

Die Zukunft ist drahtlos - eine nette persönliche Koinzidenz ist es, dass ich gerade auch mein Hobby auf „Wireless“ umgerüstet habe. Wenn meine Freunde und ich DJ-Videos auf der grünen Wiese aufnehmen, dann übertragen wir die Musik vom DJ-Pult zum Bildmischer über den Äther; und falls live gestreamt wird, geht es mit 4G ins Netz. Bei der Audio-Übertragung habe ich mich für ein System entschieden, das auch für „Silent Disco“ Partys zum Einsatz kommt. Ein Sender, viele Empfänger, Latenzen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle - was will man mehr. Damit auch ein Publikum in den Genuss des DJ-Sets kommt, kann ich skalierbar Boxen ins Feld nehmen, alle mit einem eigenen Empfänger und einer Batterie ausgerüstet (für die kleineren reichen handelsnormale USB-Powerbanks). Das Ganze wird eigentlich nur durch meinen Geldbeutel und das Kölner Ordnungsamt begrenzt. Kein Umstecken, kein Wust von Y-Adaptoren, und niemand stolpert mehr über Kabel - ich finde „Wireless“ wirklich sehr praktisch!

In diesem Heft beschäftigen wir uns mit drahtloser Datenübertragung - unter anderem über Bluetooth LE. Mein Kollege Mathias Claußen zeigt in der Titelgeschichte, wie einfach sich Sensorwerte von einem ESP32-C3 zu einem ESP32 übermitteln lassen. Mit den richtigen Bibliotheken ist das Programmieren einer kleinen BLE-Applikation kein Hexenwerk. Darüber hinaus finden Sie in dieser Ausgabe einen BLE-Sniffer und ein kleines Projekt, bei dem Mess-Daten zum Nachrichtendienst Telegram übermittelt werden. Und in unserer Industry-Rubrik beschäftigt sich Stuart Cording mit privat betriebenen 5G-Netzen.

Mehr zum Thema Wireless gibt es in unserem Webinar am 13. Oktober und natürlich auch in unserem regelmäßigen Elektor Lab Talk (siehe dazu Seite 24)!

Unser Team



Chefredakteur: Jens Nickel (v.i.S.d.P.) (redaktion@elektor.de)
Redaktion: Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer
Elektor-Labor: Mathias Claußen, Ton Giesberts, Luc Lemmens, Clemens Valens
Grafik & Layout: Harmen Heida, Patrick Wielders
Herausgeber: Erik Jansen



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



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



Rubriken

- 3 Impressum**
- 6 electronica Fast Forward Start- & Scale-Up Awards**
Die Vorbereitungen laufen auf Hochtouren!
- 34 Aller Anfang ...**
Multiplikation von Spannungen
- 38 Aus dem Leben gegriffen**
Nebenbeschäftigungen
- 57 Projekt 2.0**
Korrekturen, Updates und Leserbriefe
- 68 Retronik**
Rheinturmuhre
- 88 Von Entwicklern für Entwickler**
Spielereien mit PUTs
- 106 Zutritt für Unbefugte verboten!**
Ein Hobby geht nicht in Rente
- 112 Ethics**
Ein Jahrzehnt der Ethik in der Elektronik
- 114 Hexadoku**
Sudoku für Elektroniker
- 40 Teensy 4.0 - warum ist das Board so schnell?**
Oder: Geschwindigkeit ist keine Hexerei!
- 46 Simulation von Audio-Leistungsverstärkern mit TINA**
Der „Try-Before-You-Build“-Ansatz
FOCUS
- 50 LoRaWAN-Knoten im IoT**
Ein Beispiel-Kapitel: Die LoRaWAN-Module Dragino LHT65, LDS01 und LDS02
- 85 CO₂-Messgerät auseinandergenommen**
Ist das Gerät hackbar für Ihre Projekte?
- 94 HyperPixel Round**
Ein runder Touchscreen für den Raspberry Pi
- 105 OLED-Display**
Aus SPI mach I²C

Industry

- 58 5G für mich allein**
Vollständige Kontrolle über 5G-Implementierungen in privaten Mobilfunknetzen
FOCUS
- 62 Infografik**
Marktaussichten Wireless
FOCUS
- 64 Wie lernt mein Gerät funken?**
Applikationen mit WiFi-Schnittstellen ausrüsten

Hintergrund

- 24 Neue Elektor-Videos**
Livestreams, Webinare und Kurse für Ingenieure und Pro Maker
- 26 Fahrrad elektrifizieren**
E-Bike-Nachrüstkit in der Praxis



Audio-Spektrum-Analysator mit Dekatrons

70



CO₂-Messgerät auseinandergenommen

Ist das Gerät hackbar für Ihre Projekte?

85

Projekte

FOCUS

8 Bluetooth Low Energy mit dem ESP32-C3 und ESP32

Es muss nicht immer WLAN sein!

FOCUS

12 Bluetooth-LE-Sniffer

Mit dem makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle

16 Magischer RGB-LED-Würfel

Hardware-Design rund um einen RP2040

21 Automatischer Ein-/Ausschalter

Gedächtnisstütze für den Lötpastenkompressor

70 Audio-Spektrum-Analysator mit Dekatrons

Eine neue Art, alte Röhren zu verwenden

FOCUS

77 Senden von Daten an Telegram

Ein ESP32 und ein paar Bauteile erledigen den Job

80 Fliege-Bandsperre für Audio-Messungen

Besseres Messen durch Notch-Filterung

FOCUS

96 Fernwirken und die Erkennung von Verbindungsverlusten

Mit Hilfe von nRF24L01+ Modulen

FOCUS

100 Digitaler UKW-Empfänger

Mit Arduino Nano und TEA5767

Vorschau

Elektor November/Dezember 2022

Das nächste Heft ist wie immer randvoll gefüllt mit Schaltungsprojekten, Grundlagen sowie Tipps und Tricks für Elektroniker. Schwerpunkt der nächsten Ausgabe sind die Produktion und Bauteile.

Aus dem Inhalt:

- > High-End-Verstärker Fortissimo-100
- > DAB+-Radio
- > Tor fernsteuern mit Bluetooth
- > Tipps und Tricks für das Platinendesign
- > FreeRTOS steuert LED-Lichterkette
- > Luftqualität messen mit RP2040
- > Entwicklungstools für analoge Filter

Und vieles mehr!

Elektor November/Dezember 2022 erscheint am 10. November 2022. Änderungen vorbehalten.

Automatischer Ein-/Ausschalter für Lötpastenkompressor



E-FFWD

electronica fast forward 2022 Start- & Scale-Up Awards

15. bis 18. November 2022, München

Die Vorbereitungen laufen auf Hochtouren!

Von Udo Bormann und Erik Jansen (Elektor)

Nach einer internen Beratungsphase im Juni haben wir damit begonnen, die Kandidaten der Auswahlliste für die electronica Fast Forward Awards 2022 zu kontaktieren. Eine Jury aus Experten wurde sich bereits über neun der interessantesten Innovationen des Jahres einig. Das Spektrum reicht von Solarenergie über Robotik bis hin zu elektrischen Leichtfahrzeugen.

Wie bereits angekündigt [1] verspricht die Ausgabe 2022 der electronica Fast Forward Start- & Scale-Up Awards eine ganz besondere Show zu werden. Mit 273 m² an einem der besten Plätze der weltgrößten Veranstaltung für die Elektronikindustrie in München [2] kann das auch kaum anders sein.



Auswahl der Start- und Scale-ups

Aus der Vielzahl der Einreichungen wurde eine erste Liste von unserer Jury erstellt. Die Jury besteht aus einem Elektronik-Ingenieur, einem Redakteur, einem Marketingexperten und einem Wirtschaftsexperten. Sie haben jedes Start-up und jedes Scale-up nach unserem bewährten, speziell für diesen Wettbewerb entwickelten Ranking-System bewertet. Die ersten ausgesuchten Firmen/Institutionen wurden bereits kontaktiert und haben ihre Teilnahme bestätigt.

Nachfolgend präsentieren wir Ihnen die bisher ausgewählten Firmen dieses Jahres. Es handelt sich um Unternehmen bzw. Institutionen, die Erfolg versprechen oder bereits auf dem Weg dazu sind. Diese innovativen Firmen haben das Potential, ihr Marktsegment für immer zu verändern oder gar ein ganz neues Segment zu etablieren. Elektor und die Messe München wollen seit der ersten Auflage des Fast Forward Awards im Jahr 2016 [3] disruptiven, jungen Unternehmern eine Bühne bieten und sie den Key-Playern unserer Branche vorstellen. Auf der electronica in München sind fast alle großen Player der Elektronikbranche vertreten – einen besseren Start kann man sich als ambitionierter New Player nicht wünschen.

Natürlich gibt es auch darüber hinaus für die Teilnehmer viel zu gewinnen. Auch in diesem Jahr steht den Gewinnern ein Marketingbudget von nicht weniger als 150.000 € zur Verfügung.



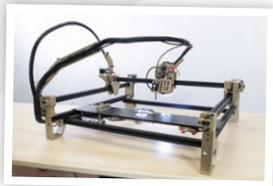


Die ausgewählten Firmen



Wheel.me integriert in das erste autonome Rad der Welt Robotikkomponenten samt einer Navigation für Innenräume. Damit ist es möglich, praktisch alles und jedes mühelos zu bewegen.
<https://wheel.me>

Energy Robotics hat es sich zur Aufgabe gemacht, Menschen von gefährlichen, sich wiederholenden und unerwünschten Aufgaben durch autonome Roboter auf der Basis von intelligenter Automatisierungssoftware zu entlasten. Die Ingenieure von Energy Robotics zielen auf optimierte Robotik-Software.
<https://www.energy-robotics.com>



Das Ziel von **LumenPnP** und künftiger Maschinen von **Opulo** ist es, die Lücke zwischen Prototyping und Massenproduktion zu schließen.
<https://opulo.io>

Treesense unterstützt das bessere Verständnis der Welt der Bäume. Die Firma setzt sich für die nachhaltige Nutzung der endlichen Ressourcen der Welt ein. Wichtige Themen sind Wasser, saubere Luft, Bodenfruchtbarkeit, Klima, Biotop- und Artenschutz sowie die Regeneration des Waldes. Entwickelt werden Technologien für Bäume als zentraler Bestandteil unseres Ökosystems auf der Grundlage neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse.
<https://treesense.net>

„Es ist immer ein toller und spannender Moment, die ersten Reaktionen der ausgewählten Unternehmen zu erleben. Manche sind sofort begeistert, andere können es noch nicht ganz glauben, aber alle sind natürlich stolz, zu den ersten Ausgewählten der Jury zu gehören. In diesem Jahr erweitert e-ffwd das Spektrum über Early-Stage-Start-ups hinaus und lädt auch Scale-ups ein, was die Attraktivität des Fast Forwards Awards sicherlich steigern wird.“

*Udo Bormann,
Event-Manager e-ffwd, Elektor*



Airhood ist die erste tragbare Dunstabszugshaube der Welt, die Fett, Rauch und Kochgerüche entfernt und die Bildung von Ölfilmen verhindert.
<https://the-airhood.myshopify.com>

V-Juice ist wohl das intelligenteste und beste Ladegerät, das man kaufen kann. Die besonders dünne und diskrete Ladestation kann überall an jeder Oberfläche installiert und wieder entfernt werden.
www.v-juice.xyz

Die kroatische Hardware-Schmiede **Include** hat sich zu einem der besten Hersteller von intelligenten Straßenmöbeln in Europa entwickelt. Schon jetzt ist die Firma Marktführer in der Produktion von solarbetriebenen Sitzbänken. Ihre Lösung ist die aktuell wohl fortschrittlichste Sitzbank überhaupt. Sie bietet kabelgebundenes und kabelloses Aufladen für Mobilgeräte und einen kostenlosen WLAN-Hotspot sowie abends eine Beleuchtung. Daneben sind 15 Sensoren zur Erfassung der Nutzung und von Umweltdaten sowie ein Dashboard integriert, wodurch per Webplattform die generierten Daten in Echtzeit inspiziert werden können.
<https://include.eu>

Das **Solar Team Eindhoven** beschäftigt sich mit nachhaltiger Zukunft, in der Leben von der Sonne versorgt wird. Das studentische Team hat naturgemäß die Freiheit, innovativ zu sein. Durch die Entwicklung energieeffizienter Solarfahrzeuge inspirieren sie Markt und Gesellschaft, den Übergang zu einer nachhaltigeren Zukunft zu beschleunigen - sowohl bezüglich Mobilität als auch Energie.
<https://solarteameindhoven.nl>



Laut **ElectricBrands** soll ihr XBUS schlicht das beste und innovativste elektrische Leichtfahrzeug der Welt sein.
<https://electricbrands.de> ◀

220386-0

Es noch nicht zu spät!

Soll Ihr Start-up, ein Scale-up oder Institution und für die kommenden Veranstaltungen berücksichtigt werden? Dann schicken Sie eine E-Mail an marketing@elektor.com und informieren Sie uns über Ihr Produkt/Ihre Dienstleistung/Ihre Innovation! Jede Bewerbung wird von unserem Team individuell begutachtet!

WEBLINKS

- [1] Erik Jansen, „E-FFWD: Der Blick wieder nach vorn gerichtet!“, ElektorMag 7-8/2022: www.elektormagazine.de/magazine/elektor-265/60594
- [2] electronica Website: <https://electronica.de/de/>
- [3] „Fast Forward Award: Und die Gewinner sind..“: www.elektormagazine.de/news/die-preisverleihung

Bluetooth Low Energy mit dem ESP32-C3 und ESP32

Es muss nicht immer WLAN sein!

Von Mathias Claußen (Elektor)

Der ESP32-C3 ist im Gegensatz zum ESP8266 mit Bluetooth Low Energy ausgerüstet. Für kleine Datenmengen bietet sich dieser Standard als stromsparende Alternative zu WLAN an. Wir demonstrieren dies mit einem kleinen Projekt: Ein Temperatursensor mit ESP32-C3 übermittelt seine Daten an eine Anzeige, die auf einem ESP32 basiert.

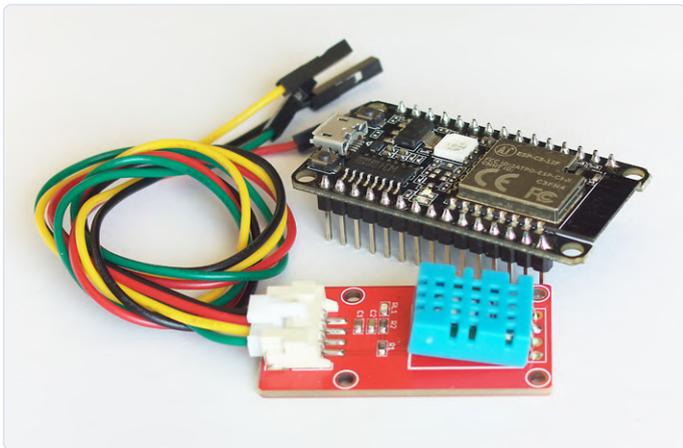


Bild 1. Alle Bauteile für den Sensorknoten.

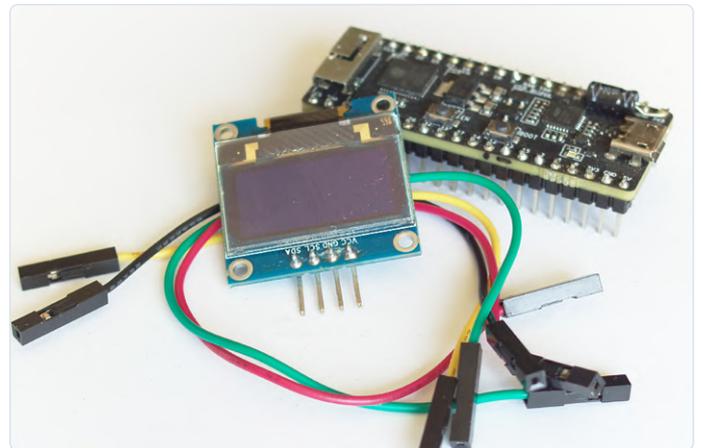


Bild 2. Alle Bauteile für die Anzeige.

Der ESP32-C3 [1] mit seinem RISC-V-Kern und dem besonders günstigen Preis wird als Nachfolger des ESP8266 betrachtet. Einer der Vorteile, die der neue Chip mitbringt, ist die Integration von Bluetooth Low Energy (BLE). Mit BLE können Daten energiesparend zwischen zwei Endgeräten ausgetauscht werden. Der Standard eignet sich für viele Anwendungen, bei denen kleinere Datenmengen zyklisch übertragen und keine großen Distanzen überbrückt werden müssen. Kopfhörer, Mikrofone, Headsets oder auch Uhren nutzen BLE, um an diverse Endgeräte (meistens Smartphones) angebunden zu werden. Doch warum BLE und nicht einfach WLAN? Wenn es um die zyklische Übertragung von Daten über kurze Distanzen geht, ist WLAN nicht gerade die energiesparendste Möglichkeit. Hinzu kommt, dass WLAN für den Betrieb mit einem Accesspoint innerhalb eines Ethernet-Netz-

werkes gedacht ist. Mit BLE ist es möglich, dass ein ESP32-C3-basiertes Gerät höhere Laufzeiten mit einer gegebenen Menge Energie erreicht.

Daher sollen in diesem Artikel die ersten Schritte mit BLE und einem ESP32-C3 aufgezeigt werden. Dazu wird ein Temperatur- und Luftfeuchtigkeit-Sensor mit einem ESP32-C3 verbunden und seine Werte drahtlos an einen ESP32 übertragen, der dann die Messwerte auf einem Display darstellt.

Verwendete Komponenten

Für den Artikel werden ein paar Komponenten aus dem Elektor-Shop verwendet, die sich vielleicht aber sowieso schon in manchen Bauteilkisten befinden. Der Sensorknoten selbst enthält nur wenig Bauteile:

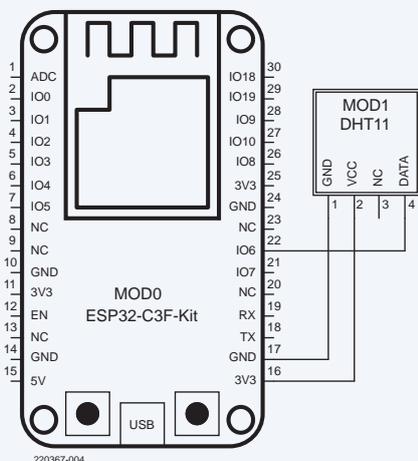


Bild 3. Schaltplan für den Sensorknoten.

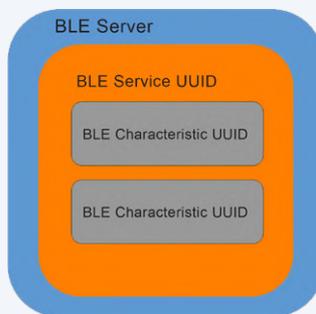


Bild 4. Aufbau des BLE-Servers und der UUIDs.

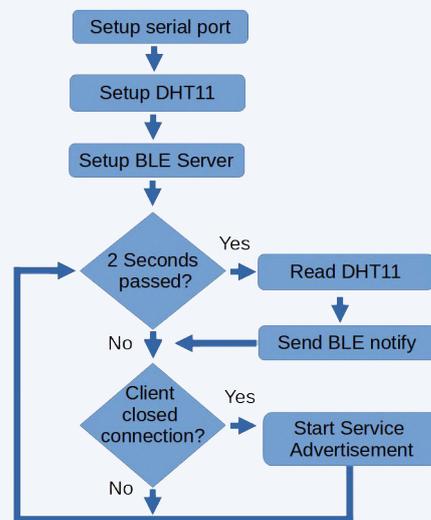


Bild 5. Ablauf der Software im Sensorknoten.

Als Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor wird ein DHT11 verwendet, wie er zum Beispiel im Raspberry Pi Pico Experimenting Kit zu finden ist. Der ESP32-C3 kommt in Form des ESP-C3-12F-Kit Development Board zum Einsatz (beides ist im Elektor-Shop erhältlich, siehe Kasten). Die benötigten Teile sind in **Bild 1** zu sehen.

Bei der Anzeige verwenden wir ein ESP32-PICO-Kit V4 mit einem kleinen 0,96"-OLED-Display (siehe Produkte-Kasten) und vier Steckbrücken als Verbindung. Alternativ kann auch ein WeMos LoLin ESP32 mit integriertem OLED-Display genutzt werden, jedoch ist dann die geänderte Pinbelegung des Displays zu beachten. Die Teile für die Anzeige sind in **Bild 2** zu sehen.

BLE-Infohappen

Bei Bluetooth Low Energy handelt es sich um eine Übertragungstechnik, die nicht zu Bluetooth Classic kompatibel ist. Bei BLE gibt es grundsätzlich Server und Clients, die beide per Attribute Protocol (ATT) und Generic Attribution Profile (GATT) in der Lage sind, Daten auszutauschen.

GATT stellt eine Liste von Services und Charakteristiken bereit, in denen Prozeduren und Attribute enthalten sind. Ein Attribut kann zum Beispiel für einen Sensorwert stehen. Jedes der Attribute wird durch eine UUID angesprochen, die vom Entwickler selbst festgelegt werden kann. Die Attribute werden wiederum in Services gepackt, einer oder mehrere pro Server, die wiederum eine UUID haben. Ein Beispiel für einen Service wäre zum Beispiel die Bereitstellung eines Datensatzes von Sensorwerten (Temperatur, Feuchte, ...).

Bei GATT erfolgt die Zugriffsberechtigung pro Verbindung, das heißt, es wird nicht unterschieden, welches Endgerät die Verbindung aufbaut, solange die Parameter und Schlüssel einen Verbindungsaufbau ermöglichen.

Diese sehr stark vereinfachte Darstellung von GATT soll für das hier vorgestellte Projekt reichen. Da dies ein kleiner Einstieg in BLE ist,

wird auch auf Sicherheitsmechanismen verzichtet. Weitere Informationen zu BLE lassen sich auf der Seite der Bluetooth SIG [2] oder im Elektor-Webinar zu BLE-Android-Apps [3] finden. Nun geht es an den Aufbau unseres BLE-Servers und BLE-Clients.

BLE-Server

Bevor wir mit der Software anfangen, erst einmal zur Hardware. Die Verbindung zwischen dem DHT11 und dem ESP32-C3 muss wie in **Bild 3** hergestellt werden. VCC wird mit 3,3 V verbunden, GND mit Masse und das DATA-Signal des Sensors mit IO06 des ESP32-C3. Der Aufbau des BLE-Servers kann **Bild 4** entnommen werden. Der Aufbau erfolgt in Schichten, die äußere Schicht bildet der Server selbst. Nachfolgend kommen die Services, in diesem Fall nur einer, mit der UUID `91bad492-b950-4226-aa2b-4ede9fa42f59`. Innerhalb des Service liegen die Charakteristiken, die bereitgestellt werden sollen. Einmal die UUID `cba1d466-344c-4be3-ab3f-189f80dd7518` für die Celsius-Temperatur und die UUID `ca73b3ba-39f6-4ab3-91ae-186dc9577d99` für die Luftfeuchtigkeit. Zu jeder dieser Charakteristiken gibt es einen Wert und eine Beschreibung. Diese Beschreibung hat wieder eine UUID und ist hier auf `0x2902` gesetzt - dieser Wert gibt an, dass es sich um eine Charakteristik-Beschreibung handelt. Wer sich ausführlich damit beschäftigen möchte, wie diese Dinge genau zusammenhängen, der sollte „Bluetooth low energy Characteristics, a beginner's tutorial“ von Nordicsemi [4] durchlesen.

In unserer Software werden zuerst alle Teile des BLE-Servers konfiguriert. Dann wird alle zwei Sekunden ein neuer Messwert vom DHT11 eingelesen und als BLE-Benachrichtigung (*Notify*) an verbundene Geräte versendet. Es handelt sich dabei um eine Push-Nachricht, der Client muss nicht bestätigen, dass die Nachricht angekommen ist. Der Ablauf der Software ist in **Bild 5** zu sehen.

Etwas das im Quelltext auffällt, sind die Aufrufe von `delay(5)`; nach einem Aufruf von `notify()`; , zum Beispiel:

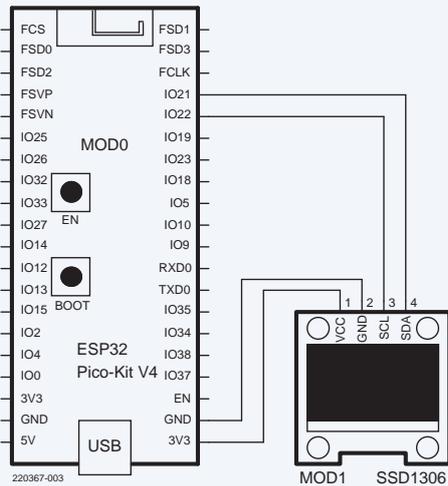


Bild 6. Schaltplan der Anzeige.

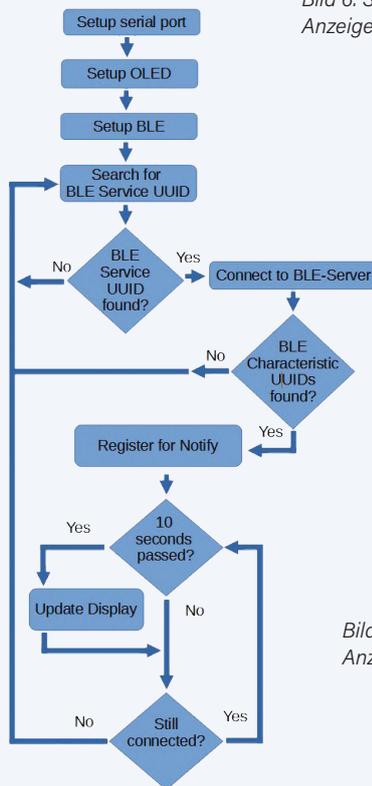


Bild 7. Software der Anzeige.

BLE-Client

Wie auch beim Server gilt: erst einmal die Hardware, dann die Software. Es wird hier ein ESP32-PICO-Kit V4 verwendet, auf dem ein ESP32 seinen Dienst verrichtet. Der ESP32 ist, auch wenn es der Name vermuten lässt, kein direkter Verwandter des ESP32-C3. Der ESP32 besitzt zwei Prozessorkerne vom Type Xtensa LX6 [8] wohingegen beim ESP32-C3 ein einzelner RISC-V-basierter Kern (RV32IMC) zum Einsatz kommt.

Zwischen dem ESP32-PICO-Kit und dem OLED-Display müssen nur vier Verbindungen hergestellt werden. VCC des Displays wird mit 3,3 V und GND des Displays mit GND des ESP32-PICO-Kits verbunden. Dazu kommen die I²C-Verbindungen: SDA wird mit GPIO21 und SCL mit GPIO22 des ESP32-PICO-Kits verbunden. Den Schaltplan sieht man in **Bild 6**.

Ein Ablauf-Diagramm der Software ist in **Bild 7** gezeigt. Nach dem Start des ESP32 werden die serielle Schnittstelle sowie das OLED-Display initialisiert, danach noch der BLE-Stack. Dieser sucht für fünf Sekunden nach neuen BLE-Servern.

Wird ein Server gefunden, so sorgt das für den Aufruf der Funktion `onResult` in der Klasse `Configured_AdvertisedDeviceCallbacks`. Hier wird ermittelt, ob ein Server einen Service mit der UUID `91bad492-b950-4226-aa2b-4ede9fa42f59` anbietet. Hat der Server einen Service mit der passenden UUID, so wird die Suche nach BLE-Servern gestoppt und eine Verbindung zum BLE-Server hergestellt. Nach dem Verbindungsaufbau wird der Service des Servers auf zwei UUIDs für Charakteristika geprüft, `cba1d466-344c-4be3-ab3f-189f80dd7518` und `ca73b3ba-39f6-4ab3-91ae-186dc9577d99`. Dies sind die beiden UUIDs, die im Server für die Temperatur und Luftfeuchtigkeit genutzt werden. Sind die Bedingungen erfüllt, so wird die Verbindung beibehalten. Wird kein passender BLE-Server und -Service gefunden, so wird eine neue Suche gestartet.

Zuerst prüft der Client, ob die beiden UUIDs für die Temperatur und Luftfeuchtigkeit auch Benachrichtigungen (`notifies`) senden können. Dazu wird der folgende, hier exemplarisch für die Luftfeuchtigkeit gezeigte Code benutzt:

```
pRemoteHumCharacteristic =
pRemoteService->getCharacteristic(humUUID);
...
if (pRemoteHumCharacteristic != nullptr) {
    if(true==pRemoteHumCharacteristic->canNotify()){
        pRemoteHumCharacteristic->
        registerForNotify(NewHumNotify);
    }
}
...
}
```

Wenn Benachrichtigungen gesendet werden können, so wird für diese ein Callback eingerichtet. Jedes Mal, wenn eine neue Benachrichtigung eintrifft, wird ab dann für die Luftfeuchtigkeit die Funktion `NewHumNotify` aufgerufen. Eine Benachrichtigung kann bis zu 20 Byte Nutzdaten enthalten, für die ein beliebiges Format gewählt werden kann. In unserer Software sendet der BLE-Server die Werte in den Benachrichtigungen als fertig formatierte Strings. Für die Ausgabe müssen diese nur noch passend aufbereitet werden.

```
dht11HumidityCharacteristics.setValue(String(event.
    relative_humidity).c_str());
dht11HumidityCharacteristics.notify();
delay(5);
```

Damit soll verhindert werden, dass es zu einem Paketstau innerhalb des BLE-Stacks kommt. Je nach Version der Arduino-Umgebung für den ESP32 und ESP32-C3 kann so etwas leider immer noch dazu führen, dass der BLE-Stack ungewollt seinen Dienst quittiert.

Auch nach einem `Disconnect` wird dem BLE-Stack 500 ms Ruhe verordnet. Übrigens betrifft das (leider) sowohl den ESP32 als auch den ESP32-C3, da beide ab Werk den gleich BLE-Stack benutzen.

Eine Alternative zum mitgelieferten Bluetooth Classic und BLE-Stack (Bluedroid basierter Stack) [5] kann für reine BLE-Anwendungen auch Apache MyNewt NimBLE [6] für das Arduino-Framework [7] sein. Diesen Stack wollen wir nun auch beim Client, also hier dem ESP32 mit OLED, einsetzen.

Sobald eine Verbindung zum BLE-Server besteht, wird nun einfach stur alle 10 s das OLED-Display mit den zuletzt eingetroffenen Werten aktualisiert. Der fertige BLE-Server und der fertige BLE-Client sind in **Bild 8** zu sehen.

Zusammenfassung: BLE und der ESP32/ESP32-C3

Das hier vorgestellte Beispiel ist natürlich bei weitem nicht das Aufregendste, das man mit BLE und dem ESP32 oder ESP32-C3 entwickeln kann. Die Demo soll nur als Einladung verstanden werden, sich mit den Möglichkeiten vertraut zu machen. BLE bietet eine stromsparende Option für den Datentransport, bei der auf eine WLAN-Infrastruktur verzichtet werden kann. ◀

220267-02

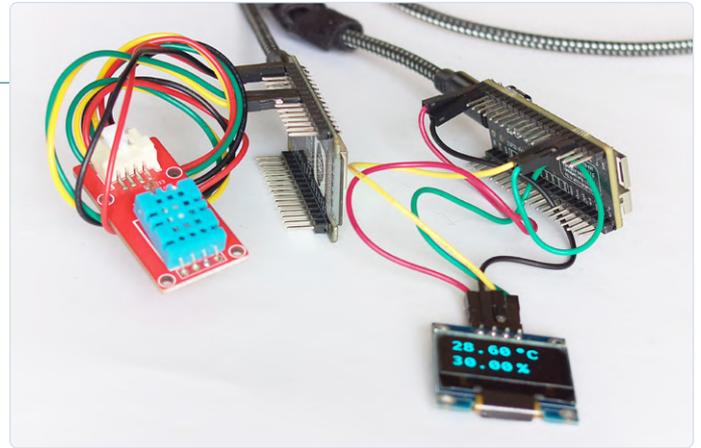


Bild 8. BLE-Server und BLE-Client in Aktion.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter mathias.claussen@elektor.com oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.



PASSENDE PRODUKTE

- **Raspberry Pi Pico Experimenting Kit**
www.elektor.de/19834
- **ESP32-PICO-Kit V4 (SKU 18423)**
www.elektor.de/18423
- **WeMos Lolin ESP32 OLED-Display-Modul für Arduino (SKU 18575)**
www.elektor.de/18575
- **ESP-C3-12F-Kit Development-Board mit 4 MB Flash (SKU 19855)**
www.elektor.de/19855
- **Seed Studio Grove DHT11 Temperatur und Feuchtesensor (SKU 20020)**
www.elektor.de/20020
- **0.96" OLED-Display (blau, I²C, 4 Pins) (SKU 18747)**
www.elektor.de/18747
- **Develop your own Bluetooth Low Energy Applications**
Buch (SKU 20200): www.elektor.de/20200
E-Buch (SKU 20201): www.elektor.de/20201

WEBLINKS

- [1] Mathias Claußen, „ESP32-C3: 32-Bit-RISC-Einkerner“, Elektormagazine.de: www.elektormagazine.de/news/esp32c3-32bitrisceinkerner
- [2] Bluetooth SIG: „Intro to Bluetooth GAP (GATT)“: www.bluetooth.com/bluetooth-resources/intro-to-bluetooth-gap-gatt/
- [3] C. Valens, „Rapid Prototyping Bluetooth Low Energy Android Apps Using MIT App Inventor“, Elektor.TV, Juni 2021: www.youtube.com/watch?v=Jxv9h0nHIBA&t=2930s
- [4] Nordic Semiconductor, „Bluetooth low energy Characteristics, a beginner’s tutorial“: <https://bit.ly/3sCEVzR>
- [5] ESP32 Bluetooth Classic und BLE Stack:
<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/bluetooth/index.html>
- [6] ESP32 NimBLE Stack: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/bluetooth/nimble/index.html>
- [7] NimBLE-Arduino: <https://github.com/h2zero/NimBLE-Arduino>
- [8] ESP32 LX6 Kern: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tensilica>

Bluetooth-LE-Sniffer

Mit dem makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle



Bild 1. makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle.



Bild 2. USB-Dongle im Gehäuse.



Bild 3. Blick auf die Platine.

Von Mathias Claußen (Elektor)

Manchmal reicht etwas Software, um aus einem Eval-Board ein kleines, aber praktisches Werkzeug zu machen. Der nRF52840 USB-Dongle von makerdiary lässt sich in einen Bluetooth-Sniffer verwandeln, der bei Entwicklung und Test von Bluetooth-Projekten eine große Hilfe ist.

Wer mit BLE (Bluetooth Low Energy) entwickelt, möchte sicherlich auch den Datenaustausch zwischen den Geräten beobachten können. Wie beim Mitschneiden von WLAN-Paketen ist auch für BLE passende Hardware erforderlich. Eine preiswerte Möglichkeit stellen Boards auf Basis des Bluetooth-SoC nRF52840 von Nordic dar; Beispiele sind der makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle [1] (**Bild 1**) und der Nordic nRF52840-Dongle [2]. Der Nordic nRF52840 wird auch noch in einer Reihe anderer Boards verwendet, etwa dem Arduino Nano 33 BLE [3], dem BBC micro:bit V2 [4] oder dem Adafruit CLUE [5].

Neben der reinen Hardware benötigen wir auch noch etwas Software und einen Rechner. Dieser Rechner kann ein AMD64/x86-basierter oder auch ein Raspberry Pi sein. Als Software soll hier Wireshark verwen-

det werden, ein Tool, das einige sicherlich schon kennen werden. Am Ende sollte es so möglich sein, BLE-Pakete aufzuzeichnen und sich den zeitlichen Verlauf anzusehen.

Schritt für Schritt

Für die Installation wird hier von Windows 10 und einem AMD64/x86-Rechner ausgegangen. Außerdem wird der makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle verwendet. Dieses kleine Board ist eigentlich als Development Kit für den Nordic nRF52840 gedacht und kommt in einem schützenden Gehäuse daher (**Bild 2** und **Bild 3**). Neben BLE 5.0 und Bluetooth Mesh unterstützt der Chip auch ZigBee und Thread. Die technischen Daten lassen sich der **Tabelle 1** entnehmen. Sollte das Mitschneiden von BLE-Paketen nicht mehr nötig sein, so bietet der Dongle noch weitere Optionen, mit drahtlosen Übertragungstechniken zu experimentieren.

Ab Werk ist der makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle mit der OpenThread-Firmware *Network Co-Processor* (NCP) ausgestattet. Da aber hier nicht Thread, sondern BLE von Interesse ist, bedeutet das, dass die Firmware und eventuell auch der Bootloader (je nach Alter des Boards) ausgetauscht werden muss. Das Aktualisieren des Bootloaders von Open-Bootloader auf den UF2-Bootloader sorgt später für ein einfaches Programmieren des makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongles, da dieser dann als USB-Massenspeicher im System erscheint (genau wie beim Raspberry Pi Pico). Wer die Firmware später abermals tauschen möchte, zum Beispiel gegen CircuitPython [6], kann das sehr einfach tun.

Update auf den uf2-Bootloader

Für die Aktualisierung des Bootloaders werden ein paar Hilfsmittel benötigt. Einmal das *nrfutil* [7] sowie das Update des Bootloaders [8]. Das *nrfutil* und der Bootloader sollten in einen Ordner kopiert werden (die .zip-Datei nicht entpacken).

Der makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle muss nun in den Bootloader-Modus gebracht werden. Dazu muss man vor dem Einstecken den Reset/User-Knopf drücken und dann mit gedrücktem Knopf den makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle in einen USB-Port des Rechners einstecken. Wenn nun die LED rot pulsiert, befindet sich der USB-Dongle im Bootloader-Modus;. Am Rechner sollte nun ein

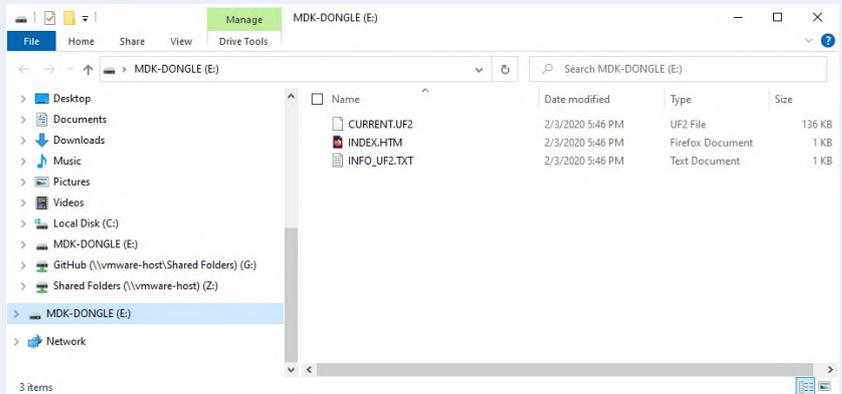


Bild 4. nRF52840 als Massenspeicher-Laufwerk.

Tabelle 1. makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle.

- | | |
|--|---|
| › Nordic nRF52840 System-on-Chip | › 1 MB FLASH |
| › ARM® Cortex®-M4F | › 256 kB RAM |
| › Optimierungen für Ultra-Low-Power | › Bis zu 12 GPIOs |
| › Bluetooth 5, Bluetooth Mesh | › Taster und RGB-LED |
| › Thread, IEEE 802.15.4, ANT | › On-board 2.4G-Antenne |
| › On-chip NFC-A-Tag | › 3,3-V-Regler mit max. 1 A |
| › On-chip USB 2.0 (Full speed) Controller | › VBUS & VIN Power-Path-Management |
| › ARM TrustZone® Cryptocell 310 Security Subsystem | › Handlicher USB-Dongle-Formfaktor |
| | › Breadboard-freundlich mit dualen 10-Pin-Headern |

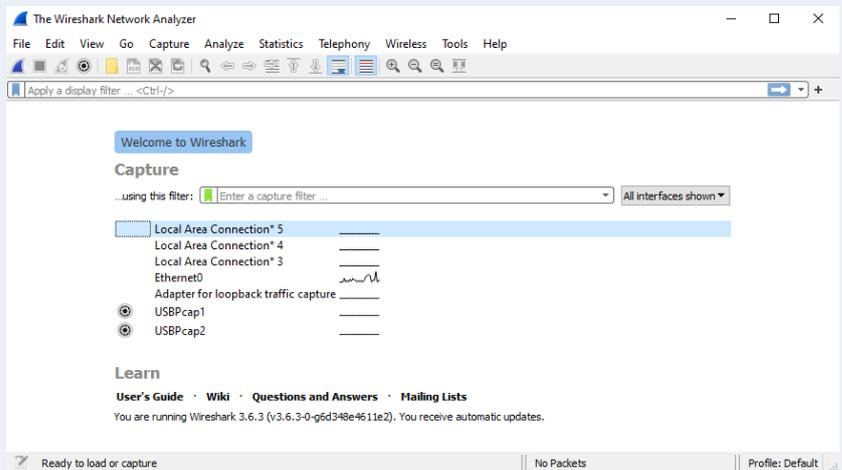


Bild 5. Wireshark-GUI.

neuer serieller Port erschienen sein. Nun muss ein Terminalfenster beziehungsweise eine Eingabeaufforderung geöffnet werden, um dort zu dem Ordner zu navigieren, in dem sich das *nrfutil* und der neue Bootloader befinden. Dort muss nun folgender Befehl ausgeführt werden:

```
nrfutil dfu usb-serial -pkg uf2_
bootloader-0.2.13-44-gb2b4284-
nosd_signed.zip -p <serial-port>
```

Hierbei muss *<serial-port>* durch den neuen seriellen Port des makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongles ersetzt werden. Ist alles erfolgreich abgeschlossen, so startet der USB-Dongle und ein neues Massenspeicher-Laufwerk erscheint (**Bild 4**).

BLE-Sniffer Firmware

Das Installieren der Firmware für den BLE-Sniffer ist recht simpel. Die passende Firmware [9] muss als *uf2*-Datei aus dem Adafruit-Repository heruntergeladen werden. Anschließend wird diese in das Massenspeicher-Laufwerk kopiert; danach startet der makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle mit der Bluetooth-LE-Sniffer-Firmware neu. Damit kann der USB-Dongle ab jetzt zum Beobachten von BLE-Datenpaketen verwendet werden. Doch es fehlt noch etwas Software zur Visualisierung.

Wireshark und Python 3

Als Vorbereitung müssen Wireshark [10] (**Bild 5**) und Python 3 [11] auf dem Rechner installiert sein. Bei der Installation von Python 3 sollte darauf geachtet werden, dass Python auch in den Umgebungsvariablen registriert wird (**Bild 6**) und dass auch der Python-Launcher (**Bild 7**) bereitsteht. Wenn die Installationsschritte abgeschlossen sind, muss noch *pyserial* installiert werden. Damit können Python-Anwendungen auf die seriellen Schnittstellen des Systems zugreifen. Dazu muss in einer Konsole nur `pip install pyserial` eingegeben werden (**Bild 8**).

Da Wireshark jedoch von Haus aus nicht mit der BLE-Sniffer-Firmware kommunizieren kann, ist eine Erweiterung zu installieren. Dazu ist es nötig, von Nordic Semiconductor die Datei *nrf_sniffer_for_bluetooth_le_4.1.0.zip* [12] oder neuer herunterzuladen. In dieser Zip-Datei sucht man den Ordner *extcap* (**Bild 9**). Im Installationsordner von Wireshark (unter Windows in der Regel *C:\Program Files\Wireshark*) muss man einen Ordner *extcap* generieren und in diesen den Inhalt des Ordner *extcap* aus der Zip-Datei

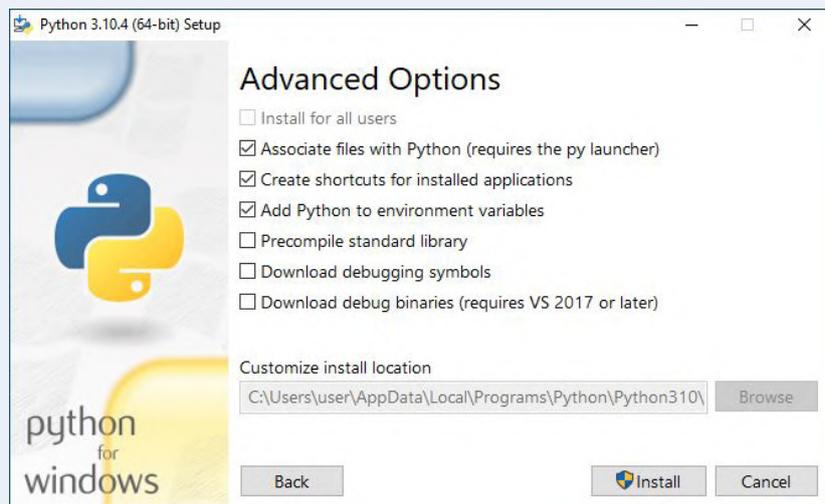


Bild 6. Einstellungen für Python.

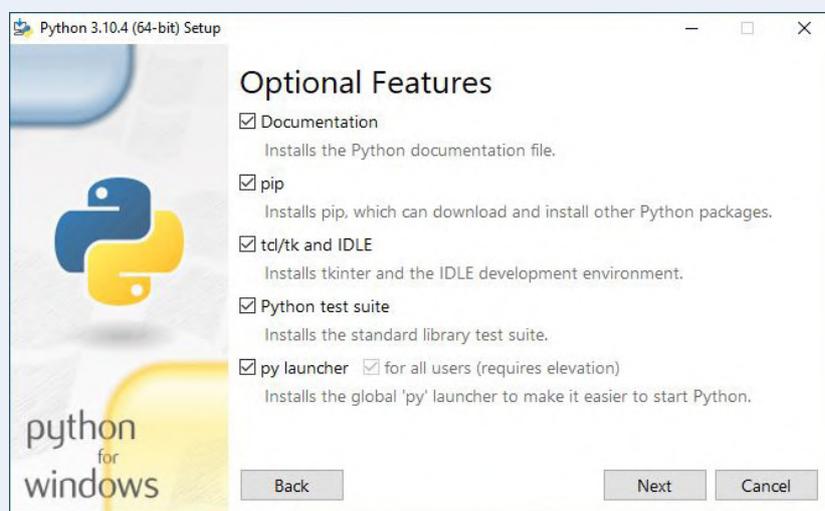


Bild 7. Der Python-Launcher sollte mitgenommen werden.

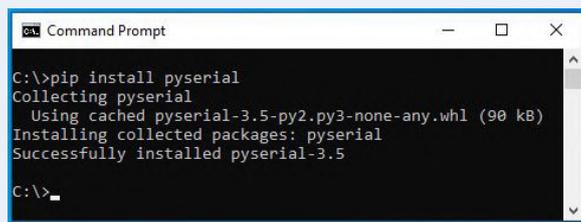


Bild 8. Installation von pyserial.

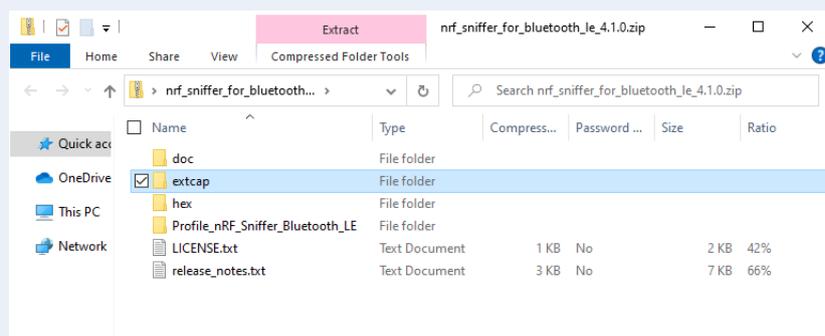


Bild 9. extcap-Ordner im Zip.

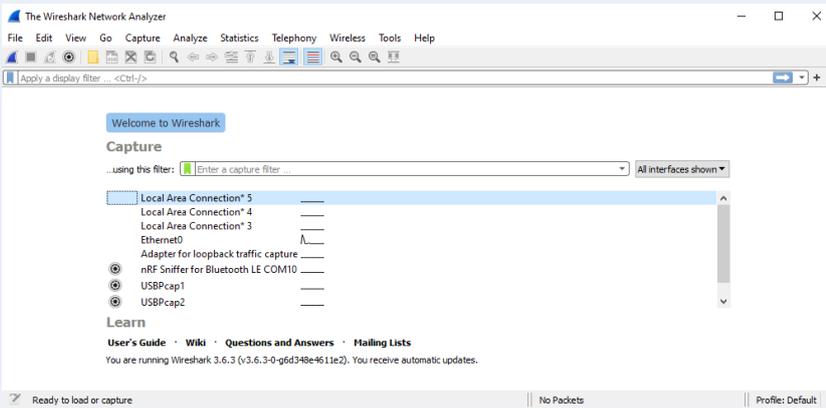


Bild 10. Neues Interface in Wireshark.

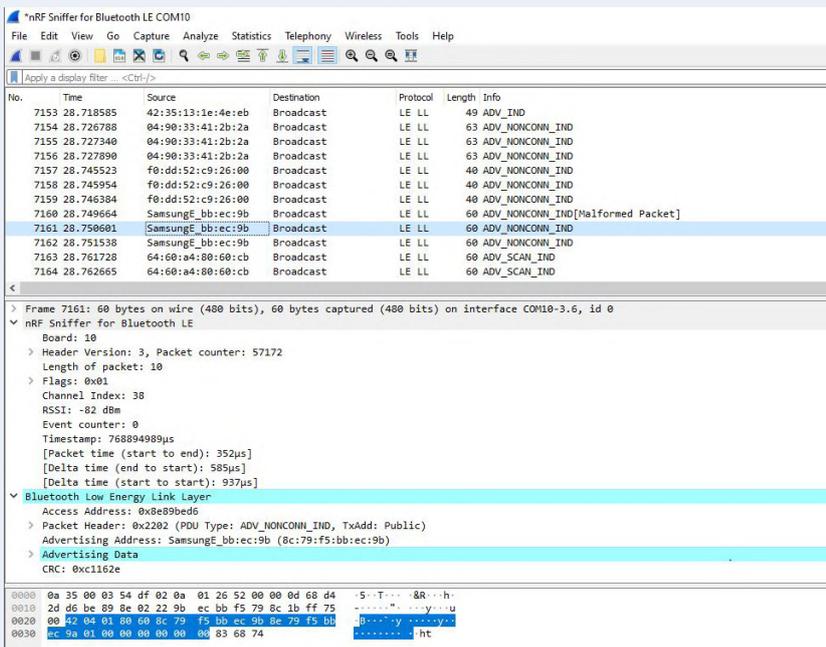


Bild 11. Aufzeichnung von BLE-Paketen.



PASSENDE
PRODUKTE

- **makerdiary nRF52840 MDK USB Dongle mit Gehäuse (SKU 19252)**
www.elektor.de/19252
- **Adafruit CLUE - nRF52840 Express mit Bluetooth LE (SKU 19512)**
www.elektor.de/19512
- **ESP-C3-12F-Kit Development Board mit 4 MB Flash (SKU 19855)**
www.elektor.de/19855
- **Adafruit Feather nRF52840 Express (SKU 20114)**
www.elektor.de/20114

kopieren. Damit steht dem Lauschen nach BLE-Paketen nichts mehr im Weg. Wird Wireshark nun gestartet, ist ein weiteres Interface zu sehen (**Bild 10**), das den Namen *nRF Sniffer for Bluetooth LE COMxx* trägt, wobei xx die Nummer des Com-Ports des makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongles angibt. Um Pakete mitzuschneiden, müssen nur das Interface ausgewählt und die Aufnahme gestartet werden. Wenn sich BLE-Geräte in der Nähe befinden, sollten jetzt Daten in Wireshark einlaufen (**Bild 11**).

Zusammenfassung

Mit ein paar kleinen Handgriffen lässt sich aus dem makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle ein BLE-Schnüffler machen, ein kleines, aber auch sehr nützliches Werkzeug, wenn man mit der Entwicklung von BLE-Applikationen beschäftigt ist! Vor allem beim Einrichten von ESP32 und Co. lässt sich so nicht nur sehen, ob überhaupt BLE-Daten gesendet werden, in Verbindung mit Wireshark kann man auch den Inhalt der BLE-Pakete prüfen. Und sollte am Ende des Projekts der BLE-Sniffer nicht mehr nötig sein, so bietet der makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle noch etliche weitere interessante Optionen. ◀

220248-02

WEBLINKS

- [1] makerdiary nRF52840 MDK USB-Dongle:
<https://wiki.makerdiary.com/nrf52840-mdk-usb-dongle/>
- [2] nRF52840 Dongle:
www.nordicsemi.com/Products/Development-hardware/nrf52840-dongle
- [3] Arduino Nano 33 BLE: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-33-ble>
- [4] BBC micro:bit V2: <https://microbit.org/new-microbit/>
- [5] Tam Hanna, „CLUE - ein Clou von Adafruit?“, Elektormagazine.de:
www.elektormagazine.de/news/clue-ein-clou-von-adafruit
- [6] CircuitPython:
https://circuitpython.org/board/makerdiary_nrf52840_mdk_usb_dongle/
- [7] Nordic nrfutil: <https://github.com/NordicSemiconductor/pc-nrfutil/releases>
- [8] UF2 Bootloader: <https://bit.ly/3atr9Jl>
- [9] BLE Sniffer Firmware: <https://bit.ly/3LTMEQP>
- [10] Wireshark Homepage: www.wireshark.org/
- [11] Python Homepage: www.python.org/
- [12] Wireshark-Interface in nrf_sniffer_for_bluetooth_le_4.1.0.zip:
<https://bit.ly/3Gq0yZQ>

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter mathias.claussen@elektor.com oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.

Magischer RGB-LED-Würfel

Hardware-Design rund um einen RP2040

Von Mohamed Belkhir Sayari (Tunesien)

Möchten Sie einen auffälligen RGB-LED-Würfel für Ihren Schreib- oder Labortisch? Würden Sie gerne Ihren eigenen „magischen“ Würfel bauen, dessen Schaltung auf einem Raspberry Pi RP2040 basiert? Dann ist dieser sechsstellige LED-Würfel mit jeweils 5×5 LEDs genau das Richtige für Sie.



Bild 1. Der RGB-LED-Würfel in seiner ganzen Pracht.



Dieses Projekt erlaubt es Ihnen, Ihr eigenes, professionell aussehendes Gadget mit selbst entworfenen Platinen herzustellen. Es genügt, nur einige Tipps zu befolgen. Lassen Sie uns direkt in medias res gehen! Ich werde erzählen, wie ich einen RGB-LED-Würfel gebaut habe, der von einem Raspberry Pi RP2040-Mikrocontroller gesteuert wird (**Bild 1**) und dabei erläutern, wie man einen RP2040 in Betrieb nimmt und wie dieser phantastische Controller zum Hirn unserer Geräte werden kann.

RP2040-basierter RGB-LED-Würfel

Seit Anfang 2021 ist es aufgrund der weltweiten Knappheit an elektronischen Bauteilen schwierig, preiswerte und dennoch effiziente Mikrocontroller zu kaufen. Doch ich habe festgestellt, dass der gut erhältliche RP2040 dank seiner kompakten Größe, seiner einfachen Handhabung, seiner hohen Leistung und seines günstigen Preises Ingenieuren in diesen schwierigen Zeiten aus der Patsche helfen kann. Als ich mit dem RGB-LED-Würfel begann, war der Controller noch relativ neu und es gab noch nicht viele detaillierte Projekte, die mit ihm gebaut wurden, so dass der LED-Würfel mir die erste Gelegenheit bot, mich mit einer solchen MCU zu beschäftigen [1].

Ich wollte die geeignetste Stromversorgungs- und Programmierkonfiguration für meinen RP2040 finden, also entschied ich mich eher zufällig für den Bau einer 5×5-LED-Matrix, die von dem Controller gesteuert werden sollte. Aber schon bald wurde aus der Idee einer einzigen Matrix eine sechsteilige, zusammenhängende Matrix in Form eines Würfels.

Es ist wichtig zu wissen, wie man mit diesem Controller umgeht und seine Anforderungen verstehen. Sehen Sie sich dazu den detaillierten Schaltplan an (**Bild 2**). Der Schaltplan ist in vier Blöcke unterteilt: der Controller, die Stromversorgung, USB-C und der Speicher. Betrachten wir nun jeden Block.

Der Aufbau des Mikrocontrollers

Der erste Block mit der Bezeichnung RP2040 in **Bild 2** zeigt die grundlegenden elektronischen Komponenten, die rund um den Controller benötigt werden. Sie können sehen, dass es viele Kondensatoren gibt! Ich empfehle Ihnen, jedes Bauteil dieser Schaltung ernst zu nehmen, um Überraschungen zu vermeiden, wenn Sie Ihren Hardware-Entwurf in Betrieb nehmen. Bei den Kondensatoren handelt es sich hauptsächlich um 100-nF-Entkopplungskondensatoren, und sie müssen an jeder Stromversorgungsleitung des Controllers angebracht werden. Diese Bypass-Kondensatoren leiten das von den anderen Schaltungselementen verursachte (höherfrequente) Rauschen auf den Stromver-

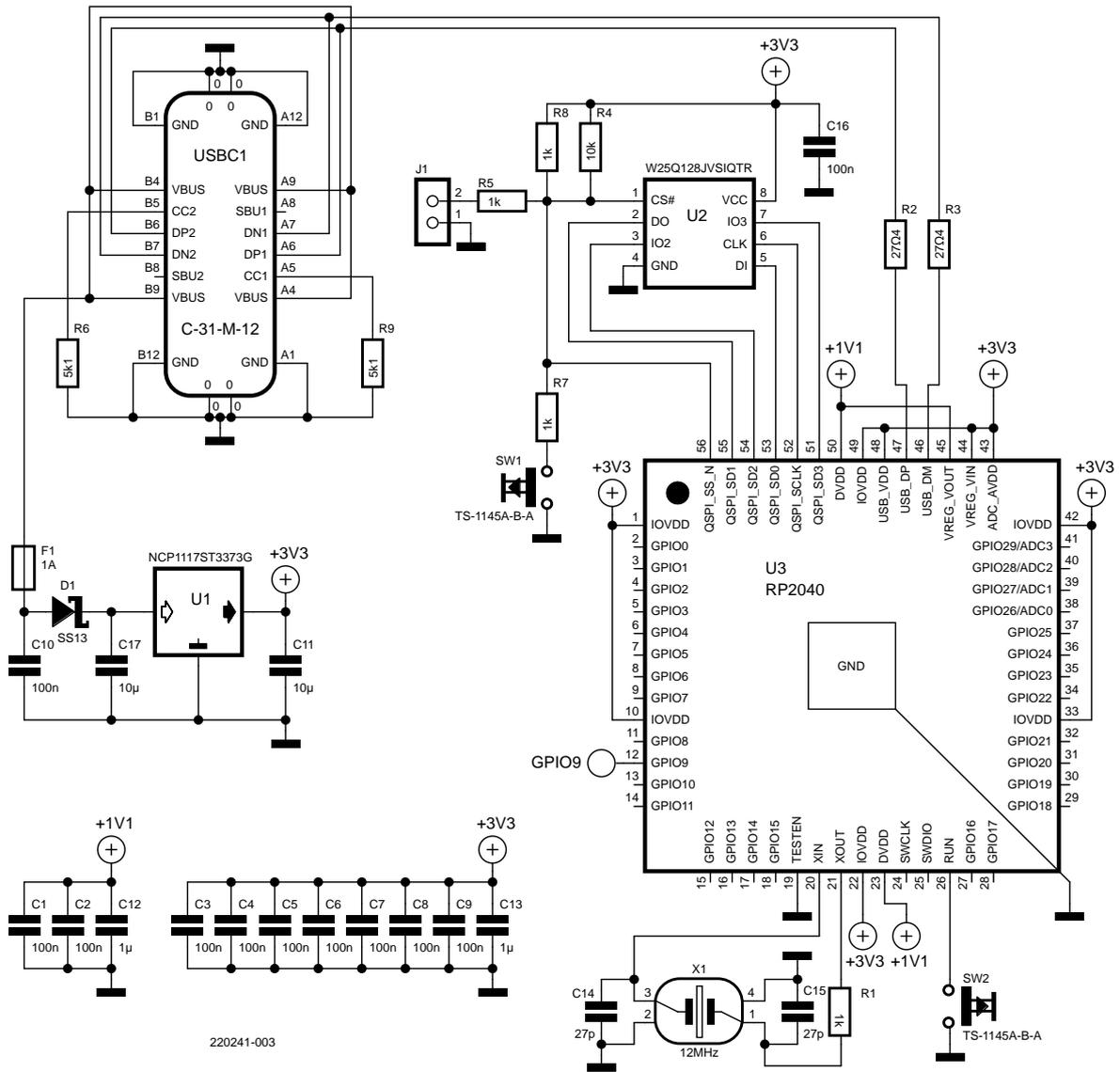


Bild 2. Der RP2040 und der Hardware-Aufbau des Würfels.

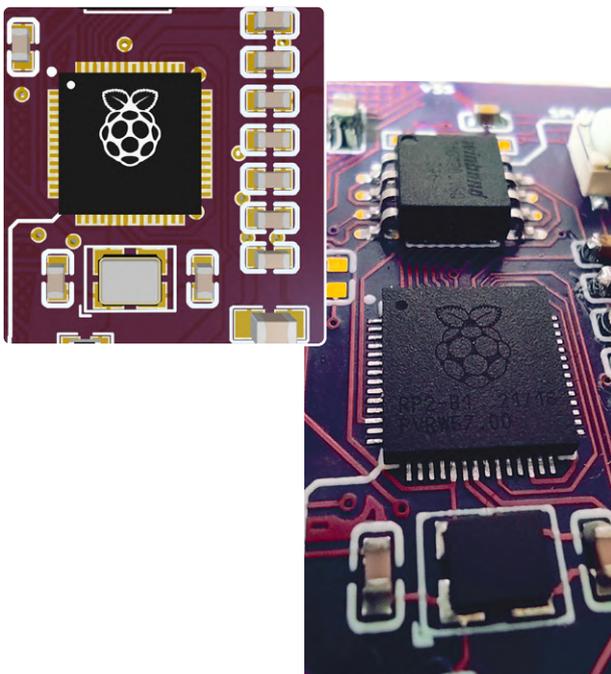


Bild 3. Positionierung des Quarzes und seiner Lastkondensatoren.

sorgungsleitungen nach Masse ab. Außerdem fungieren sie als eine Art lokaler Ladungsversorgung. Ohne sie würden die inneren Schaltkreise des RP2040 bei einem plötzlichen Anstiegs des Strombedarfs erhebliche Spannungseinbrüche erleiden. Verstehen Sie Sinn und Zweck der Entkopplungskondensatoren? Aber das ist noch nicht alles! Achten Sie beim Entwurf der Platine (**Bild 3**) darauf, dass diese Kondensatoren so nah wie möglich an den Stromversorgungspins des Controllers liegen. Dadurch wird eine hohe Filterwirkung gewährleistet.

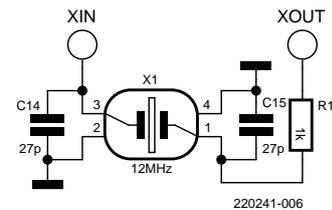


Bild 4. Aufbau des Quarzresonators.

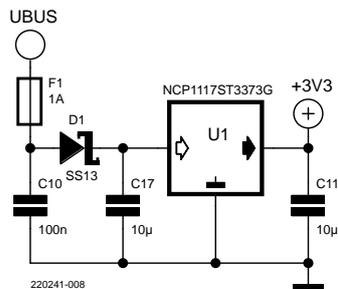


Bild 5. Beschaltung des 3,3-V-Spannungsreglers.

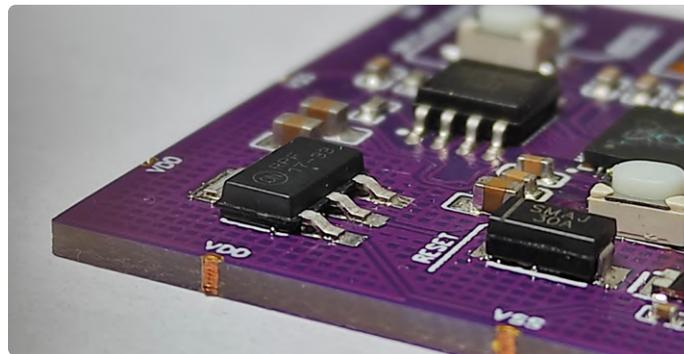


Bild 6. Der Spannungsregler NCP111733T3G in der Platinecke.

Der RP2040 verfügt über einen eigenen internen Oszillator, so dass er nicht unbedingt eine externe Oszillationsquelle benötigt. Da dieser interne Quarz jedoch nicht so stabil ist wie gewünscht, empfehle ich einen externen 12-MHz-Oszillator (**Bild 4**) wie den Quarzoszillator X322512MSB4SI. Ich habe damals Bauteile verwendet, die am Markt erhältlich waren; Sie können natürlich auch Ihre eigene Auswahl treffen. Die beiden wichtigsten Faktoren, die bei Quarzen zu berücksichtigen sind, sind die Lastkapazität (LC) und der äquivalente Serienwiderstand (ESR). Diese Parameter können Sie dem Datenblatt des Bauteils entnehmen. Der von mir verwendete Oszillator sollte eine Lastkapazität von 20 pF aufweisen. Um diese Anforderung zu erfüllen, habe ich die beiden Kondensatoren C15 und C14 parallel zu XIN und XOUT des Quarzes geschaltet. Ich sehe, dass Sie hier eine Frage stellen wollen! Wie können Sie den geeigneten Kondensatorwert bestimmen? Der gewünschte Wert der Lastkapazität (LC) kombiniert C15 und C14 durch eine einfache Formel:

$$LC = \frac{C14 \times C15}{C14 + C15}$$

Da C14 und C15 den gleichen Wert besitzen, ist $LC = C14/2$, so dass wir einen Wert von 27 pF für C14 und C15 in Betracht ziehen. Ja, ich weiß, dass $27/2 = 13,5$ pF weniger als 20 pF sind, aber vergessen Sie nicht, dass Sie eine Platine verwenden, die durch ihre Leiterbahnen zusätzliche Kapazitäten hinzufügt, die bis zu 7 pF erreichen können. Insgesamt beträgt die Kapazität 20,5 pF, was nahe genug an 20 pF ist. Der ESR-Faktor ist auch auf dem Datenblatt des Herstellers angegeben, in unserem Fall beträgt er 80 Ω. Ich habe festgestellt, dass dieser Wert zusammen mit einem 1-kΩ-Serienwiderstand (R1) ausreicht, um zu verhindern, dass der Quarz übersteuert wird.

Energieverwaltung

Dies war das erste Mal, dass ich mit einem Mikrocontroller zu tun hatte, der eine Spannung von 1,1 V benötigt. Aber ich hatte keine Bedenken wegen dieser Anforderung, da die MCU einen speziellen internen Low-Dropout-Spannungsregler besitzt, der 1,1 V für den Controller bereitstellt. Als Eingangsspannung für diesen Regler gibt das Datenblatt des RP2040 1,8...3,3 V an, also habe ich einen externen Spannungsregler für 3,3 V verwendet (**Bild 5**).

Der NCP1117 ist ein häufig verwendeter Spannungsregler, der mit verschiedenen Ausgangsspannungen erhältlich ist. Vergewissern Sie sich also, dass Sie den Typ ...33T3G (für 3,3 V) verwenden. Ich habe eine rücksetzende Sicherung (PTC) neben dem Stromversorgungseingang (UBUS) verwendet, um meine Schaltung zu hohen Strömen zu schützen.

Der Spannungsregler ist recht kompakt (**Bild 6**), so dass er ideal für unsere nur 45 mm × 45 mm kleine Platine ist, auf der all unsere elekt-

ronischen Bauteilen Platz finden müssen. Das ist der Hauptgrund, warum wir zu solch kleinen Bauteilgehäusen greifen. Wenn Sie für einen anderen Zweck Hardware rund um den RP2040 entwickeln wollen, können Sie natürlich auch handlichere (sprich: größere) Bauteile verwenden.

USB-C-Anschluss

Ein USB-zu-TTL-Konverter ist hier nicht erforderlich, da die RP2040-MCU eine interne Full-Speed-USB-Schnittstelle bietet. Sie brauchen also nur einen USB-Stecker Ihrer Wahl zu nehmen und die Leitungen USB_DP und USB_DM des RP2040 mit den D+ und D- Ihres USB-Steckers zu verbinden. Ich habe einen USB-C-Stecker verwendet (**Bild 7**). Sie könnten die Pull-Down-Widerstände (R9 und R6) auch weglassen, da der Controller keine externen Pull-Up- oder Pull-Down-Widerstände benötigt, aber da dies die geeignetste USB-C-Konfiguration für alle unsere Projekte ist, können wir sie (nicht zuletzt wegen ihres geringen Platzbedarfs) auch beibehalten. Ich habe eine Widerstandsgröße von 0402 gewählt, um eine Überfüllung und ein Durcheinander auf der Platine zu vermeiden, und auch die Leiterbahnführung ist natürlich einfacher. Mit diesem Anschluss kann die Leiterplatte je nach Boot-Modus als Host oder Device fungieren.

Der Steckverbinder muss etwas von der Kante der Platine entfernt platziert sein, da die Würfelteile an ihren Kanten miteinander verbunden werden. Grundsätzlich benötigen wir deshalb eine freie Fläche von etwa 1...2 mm um die Platinenränder herum.

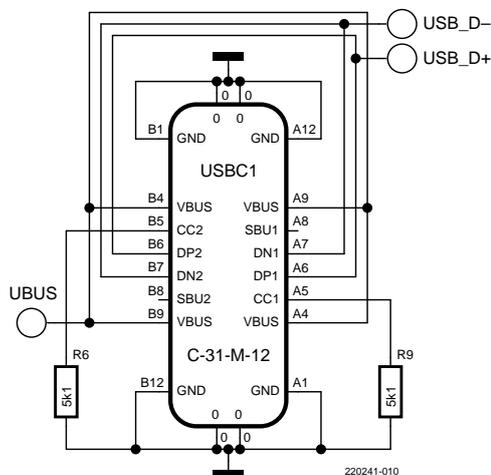


Bild 7. Schaltung der USB-C-Schnittstelle für den RP2040.



Flash-Programmspeicher

Im Vergleich zu den klassischen AVR- und ARM-Mikrocontrollern, mit denen ich bisher zu tun hatte, benötigt der RP2040 einen externen Speicher, in dem wir den Programmcode ablegen können, damit der RP2040 mit diesem Code booten und ihn ausführen kann. Wenn wir über das Booten und die Code-Ausführung sprechen, dann sprechen wir über eine sehr schnelle Datenübertragung vom Speicherchip zum Controller, und das ist der Grund für die Auswahl eines Flash-Speicherchips mit Quad Serial Peripheral Interface (QSPI) für den Programmcode (**Bild 8** und **Bild 9**). Diese Art von Flash-Speichern gibt es mit verschiedenen Speicherkapazitäten. In unserem Fall verwenden wir den W25Q128JVS1QTR mit einer Speicherkapazität von 128 Mbit (16 MB); und dies ist auch der maximale Speicherplatz, den der RP2040 über seinen Datenbus verwalten kann.

Die QSPI-Pins sollten auf der Platine direkt am RP2040 platziert werden, so dicht wie irgend möglich, um die Leiterbahnen zwischen ihnen so kurz wie möglich zu halten und Datenübertragungsfehler durch Störeinflüsse benachbarter Bauteile zu vermeiden.

Ich erinnere Sie daran, dass ich bei der Beschreibung des USB-C-Setups erwähnt habe, dass das RP2040 je nach Boot-Modus als Host oder als Device verwendet werden kann. Dies hängt insbesondere vom Pegel des QSPI_SS-Pins während des Speicher-Bootups ab (Bild 8). Und hier kommt der Widerstand R4 ins Spiel, der als Pull-up nach 3,3 V wirkt und den Chip-Select-Pin (CS#) beim Einschalten des Speichers auf dieselbe Spannung wie seine eigene 3,3-V-Versorgung zieht. Wenn wir unser Gerät einschalten, wird der QSPI_SS-Pin des RP2040 automatisch nach oben gezogen, aber der Pin-Status bleibt während des Umschaltvorgangs unbekannt. Der Widerstand R4 stellt den Zustand des Pins sicher und sorgt dafür, dass der Speicher ordnungsgemäß funktioniert, um den Programmcode zur Ausführung an das RP2040 zu übermitteln. Für den zweiten Bootmodus (Speichermodus) wird der Jumper (J1) verwendet, indem der QSPI_SS-Pin beim Einschalten der Platine nach low gezogen wird. Der Speicher wird dann als USB-Speicher erkannt und das Programm kann direkt dorthin kopiert werden. Ein Reset der Schaltung schaltet den Bootmodus um und der RP2040 führt das kopierte Programm aus.

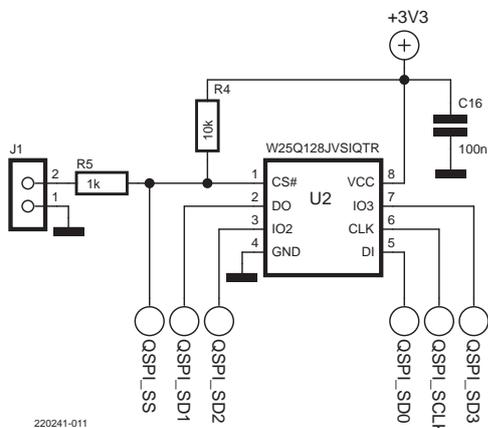


Bild 8. Der QSPI-Flash-Speicher am RP2040.

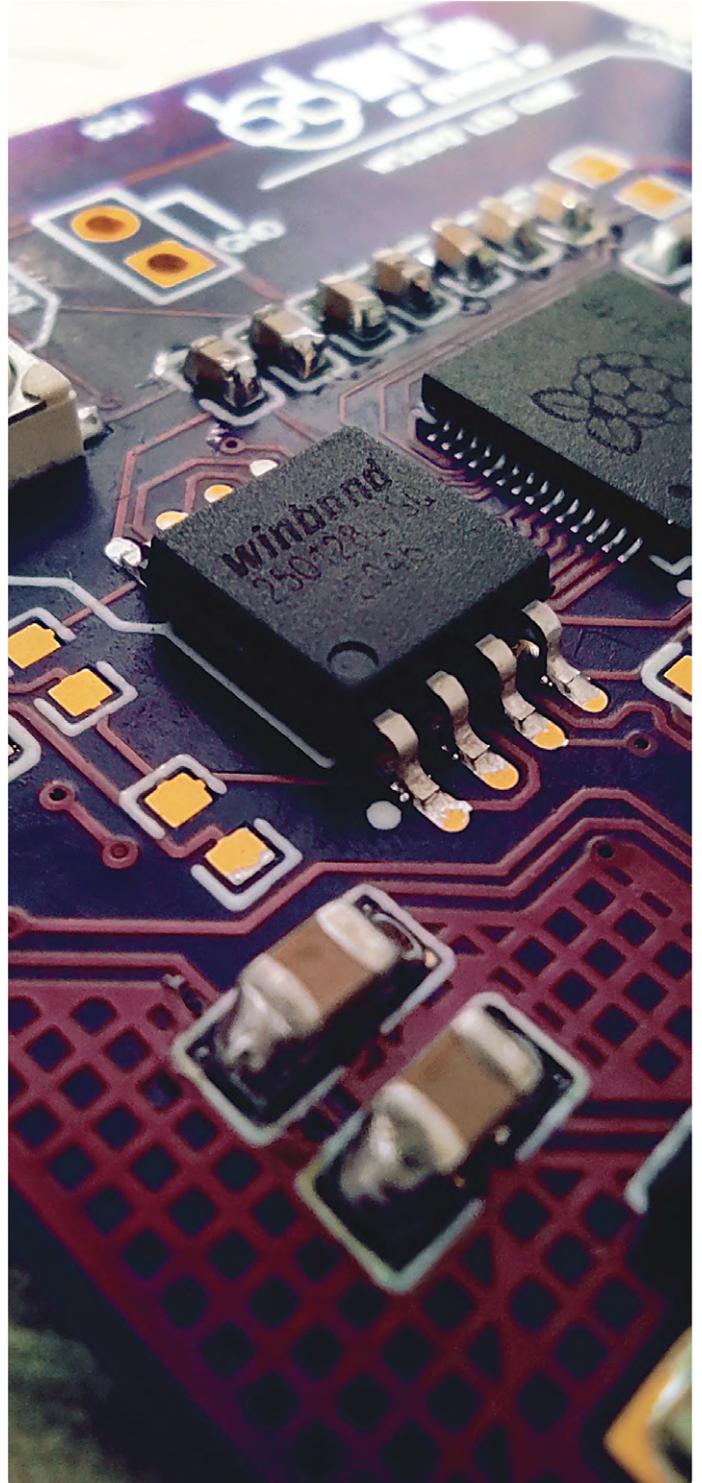


Bild 9. So groß beziehungsweise klein ist der W25Q128.

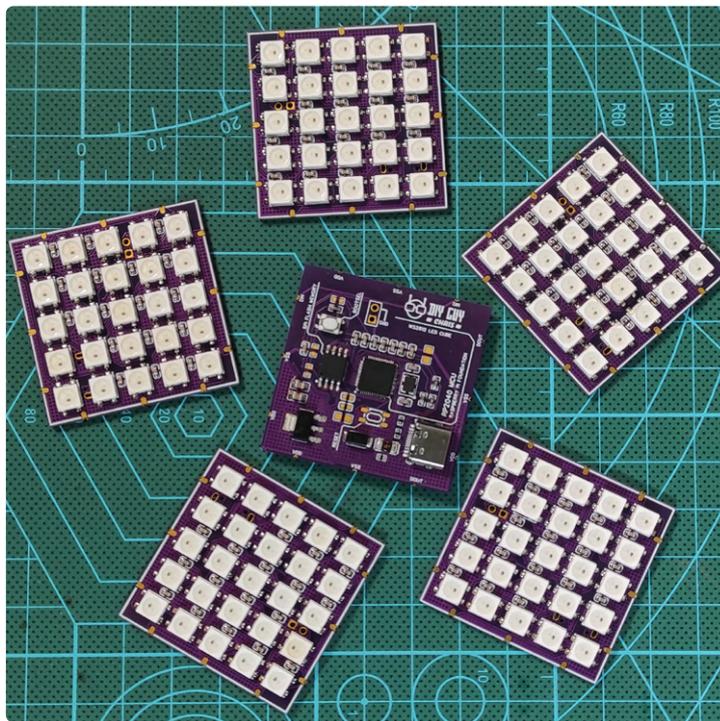
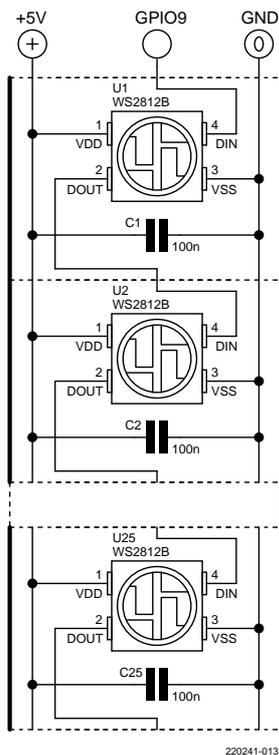


Bild 10. Sechs Platinen auf einen Streich: Die LED-Schaltungen auf den fertigen Platinen.

Viele LEDs an einem Strang

Auf der Unterseite dieser Platine befindet sich eine RGB-LED-Matrix mit 5x5 LEDs, die in Reihe geschaltet sind (Bild 10). Wenn wir also sechs solcher Platinen miteinander verbinden, kommen wir auf insgesamt 150 LEDs. Wie können wir sie alle mit diesem einen RP2040 steuern? Haben Sie sich schon einmal mit adressierbaren LEDs wie die WS2812B in unserem Projekt beschäftigt? Dabei handelt es sich um LEDs mit einer integrierten Steuerung und einer Schaltung zur Datenaufbereitung, und das alles in einem einzigen Gehäuse von 5 mm x 5 mm. Helligkeitsdaten und Lichtfarbe werden vom RP2040-Steuerpin über die gesamte LED-Verbindung übertragen, um den Controller der einzelnen LEDs zu aktualisieren.

Wir haben eine Platine gestaltet und aufgebaut, um unsere Hardware-Design-Fähigkeiten mit einer RP2040-MCU zu testen. Da es bei diesem Würfel-Projekt so gut funktioniert hat, dürfte diese Hardware in Ihren Projekten auch Ihnen sicherlich wenig Probleme bereiten. Nehmen Sie sich die Empfehlungen und Tipps zu den einzelnen Bauteilen zu Herzen, dann werden Sie Ihr Gerät ohne große negative Überraschungen zum Laufen bringen.

Alle zu diesem Projekt gehörenden Dateien (Schaltpläne, Gerber-Dateien, RP2040-Software und STL-Dateien für den 3D-Druck) können unter [1] heruntergeladen werden.

Machen Sie etwas daraus! ◀

220241-02

Über den Autor

Mohamed Belkhir Sayari – „DIY GUY Chris“ auf YouTube (www.youtube.com/MEGADAS/) - ist ein tunesischer Elektronik-Ingenieur aus der Forschung und Entwicklung mit dem Geist eines echten Innovators. Er betrachtet jedes Projekt als ein Lernabenteuer und eine Gelegenheit, seine Fähigkeiten zu demonstrieren.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Nehmen Sie Kontakt auf mit dem Autor unter megadasfirstgate@gmail.com oder schreiben Sie ein E-Mail an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.



Passende Produkte

- > D. Ibrahim, *Raspberry Pi Pico for Radio Amateurs (Elektor 2021) (SKU 20041)* www.elektor.de/20041
- > **Mikrocontroller Raspberry Pi RP2040 (SKU 19742)** www.elektor.de/19742

WEBLINK

- [1] DIY GUY Chris, „How to Build Magic RGB LED Cube (With Code and Files)“, 23. März 2022: www.youtube.com/watch?v=A00tHySzadk

Automatischer Ein/Ausschalter für Lötpastenkompressor

Von Luc Lemmens (Elektor)

Vergessen Sie manchmal, den Luftkompressor Ihres Lötpasten-Dispensers abzuschalten? Dieses einfache Projekt könnte genau das sein, was Sie brauchen.

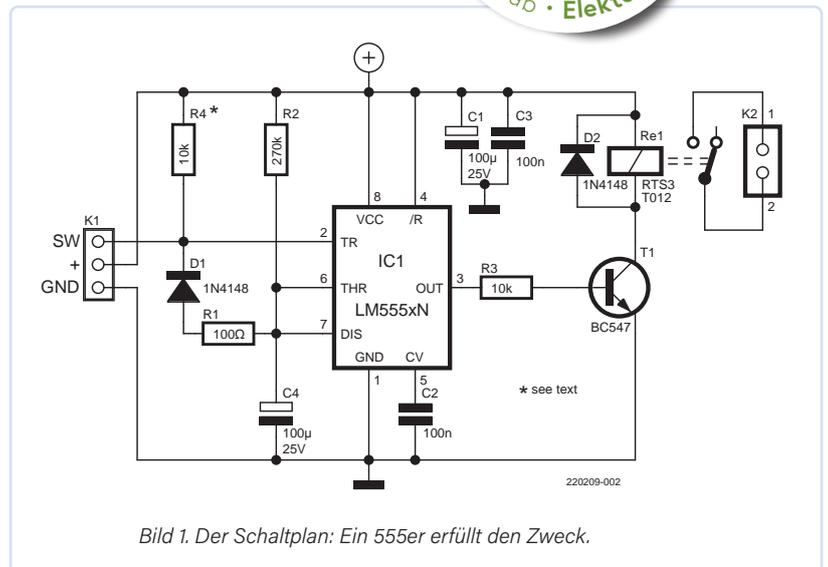


Bild 1. Der Schaltplan: Ein 555er erfüllt den Zweck.

In meinem Heimlabor verwende ich seit mehreren Jahren einen Dispenser zum Auftragen von Lötpaste. Das Foto oben zeigt die Art von Gerät, die ich meine. Es regelt die Druckluft aus einem kleinen 130-W-Airbrush-Kompressor so, dass genau genug Paste auf die Lötinseln einer Platine kommt, um SMD-Bauteile richtig zu löten. Der Kompressor hat einen eigenen Druckschalter, der ihn bei einem voreingestellten Luftdruckniveau automatisch ein- und ausschaltet.

Warum dieses Projekt?

Wenn Sie den Dispenser gerade nicht brauchen, sollte der Kompressor eigentlich ruhig bleiben: Mit perfekten Luftschläuchen, Kupplungen und Ventilen bleibt das System unter Druck. Aber in der Praxis gibt es immer irgendwo ein Leck - also schaltet sich der Kompressor ab und zu wieder ein. Das Gute daran ist, dass man dadurch daran erinnert wird, den Kompressor abzuschalten. Der Nachteil ist, dass selbst der leiseste Kompressor laut ist, so dass man sich gedrängt fühlt, aufzustehen und ihn auszuschalten. Aber wenn der Dispenser schon die

Leistung des Kompressors steuern kann, sollte er doch auch in der Lage sein, seine Stromversorgung ein- und auszuschalten, also den Anschluss des Kompressors an das Stromnetz abzuschalten.

Die Kombination aus Kompressor und Dispenser funktioniert sehr einfach: Jedes Mal, wenn der Benutzer den Hand- oder Fußschalter betätigt, wird ein elektromechanisches Luftventil geöffnet. Dies ermöglicht einen Luftstrom vom Kompressor zu einer Spritze, die die Lötpaste enthält, und dosiert die Pastenmenge, die aus der Nadel kommt. In dem hier vorgestellten Projekt löst der Schalter gleichzeitig einen monostabilen Multivibrator aus, der ein Relais steuert, das den Kompressor mit Strom versorgt. Das Monoflop ist retriggerbar und seine Einschaltzeit ist länger als das „normale“ Intervall zwischen zwei Tastendrücken, das man benötigt, um Lötpaste auf die Platine aufzutragen. Es bleibt etwa 30 Sekunden lang eingeschaltet, nachdem der Dispenser betätigt wurde. Nach dieser Zeit wird der Kompressor ausgeschaltet, aber sofort wieder eingeschaltet, sobald der Hand- oder Fußschalter erneut gedrückt wird.

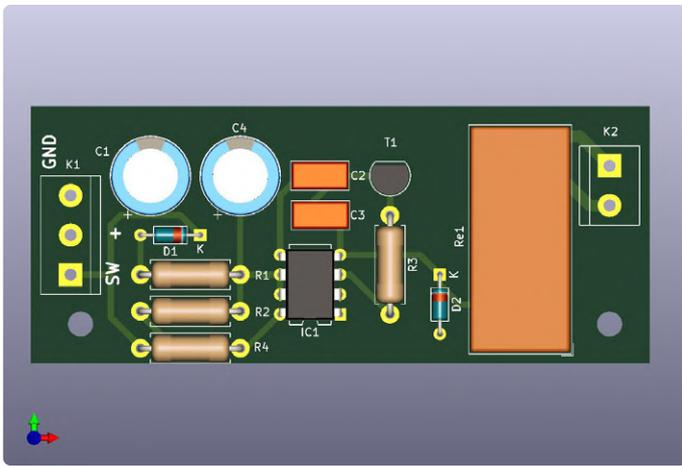


Bild 2. 3D-Ansicht der virtuell aufgebauten Platine.

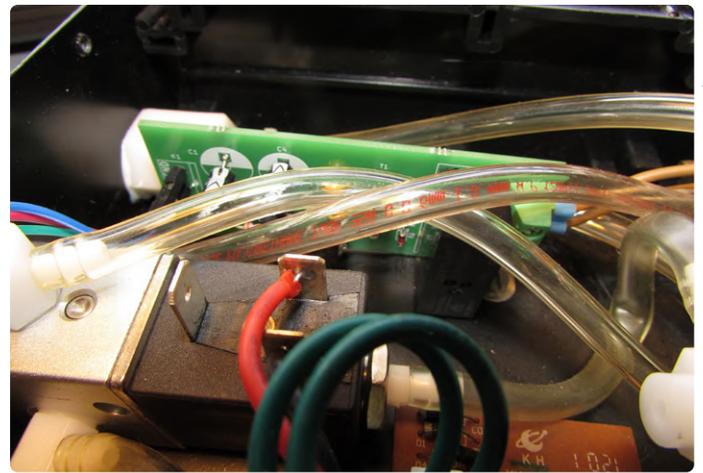


Bild 3. Die Platine wird zwischen den Luftschläuchen des Spenders montiert.

Klassische 555-Schaltung

Mein Dispenser ist einfach und sicher zu modifizieren: Im Inneren befindet sich ein Transformator, so dass die gesamte Elektronik nur unter Niederspannung steht und galvanisch vom Stromnetz getrennt ist. Ich habe die interne Elektronik nicht erforscht. Für dieses Projekt waren nur der integrierte 7812-Spannungsregler (der auch zur Versorgung zusätzlicher Hardware verwendet werden kann) und der Schaltereingang wichtig, der offenbar einen Pull-up-Widerstand gegen +12 V besitzt (der Auslöseschalter zieht ihn gegen GND). Die in **Bild 1** gezeigte einfache Schaltung, eine Standardanwendung eines 555-Timers als retriggerbarer Monoflop, lässt sich leicht anschließen. Wenn der Triggereingang (Pin 2) auf low gezogen wird, geht der Ausgang (Pin 3) für etwa $1,1 \times R2 \times C4$ Sekunden auf high - in diesem Projekt eine halbe Minute. Ein erneuter Trigger entlädt, bevor der 555er ausläuft, über R1/D1 den Kondensator C4 und startet das Zeitintervall neu. Der Widerstand R4 ist ein optionaler Pull-up-Widerstand zum Tests an dieser Schaltung oder zum Experimentieren mit anderen Anwendungen; er wird nicht benötigt, wenn die Schaltung im Dispenser eingebaut ist.

Aufbau der Schaltung

Ziehen Sie das Netzkabel ab, bevor es in das Gehäuse des Spenders geht! Die Platine (**Bild 2**) habe ich schnell und einfach aus Standard-KiCad-Bibliotheken erstellt, nichts Ausgefallenes. Das Layout und die Gerber-Dateien können Sie von [1] herunterladen. Die aufgebaute Platine ist so bemessen, dass sie in das Gehäuse meines Spenders passt. Der Platz ist dort zwar etwas knapp, aber die Platine ist auch

relativ klein. **Bild 3** zeigt die bestückte, eingebaute und angeschlossene Platine. Die Anschlüsse GND und SW (K1, Pin 3 beziehungsweise Pin 1) sind mit der Klinkenbuchse für den Hand-/Fußschalter auf der Rückseite verbunden. +12 V (K1, Pin 2) ist direkt mit dem Ausgangspin des Spannungsreglers 7812 verlötet (**Bild 4**). Die Hardware im Inneren des Spenders kann bei anderen Typen oder Marken anders aussehen und ich kann nicht garantieren, dass meine Lösung bei allen funktioniert.

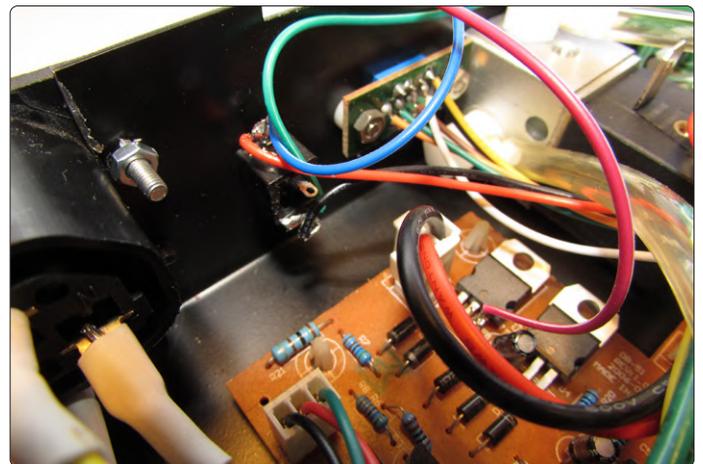


Bild 4. Spannungsversorgung und Schalter sind angeschlossen.

3D-Drucken Sie Ihren eigenen Handdosierkopf

Wenn Sie einen Lötpastenspender wie den meinen kaufen, werden Sie wahrscheinlich sowohl einen Hand- als auch einen Fußschalter als Zubehör erhalten. Ich bevorzuge den Handschalter, aber er ist Teil eines Dosierkopfes, der für 150-cm³-Spritzen ausgelegt ist, und zu groß für die 30-cm³-Behältnisse, in denen die meiste Lötpaste verkauft wird. Auf der Website von Adafruit [2] fand ich Dateien für den 3D-Druck eines eigenen Handdosierkopfes für diese kleineren Spritzen, aber meiner Meinung nach ist dieses Design zu fragil. Glücklicherweise war die Rhino-Entwurfsdatei ebenfalls im Download enthalten, die ich in eine stabilere Version verwandelt habe. Ich habe nicht allzu viel Zeit darauf verwendet, aber sie erfüllt ihren Zweck. Sie kann aber noch optimiert werden, damit der Schalter und der Stecker besser in das Gehäuse passen. Das originale weiß-transparente Handstück auf dem Bild sieht ungefähr gleich groß aus, ist aber tatsächlich viel breiter.



Die schwarze 3D-gedruckte Version, die zur 30-cm³-Spritze in schwarz passt.

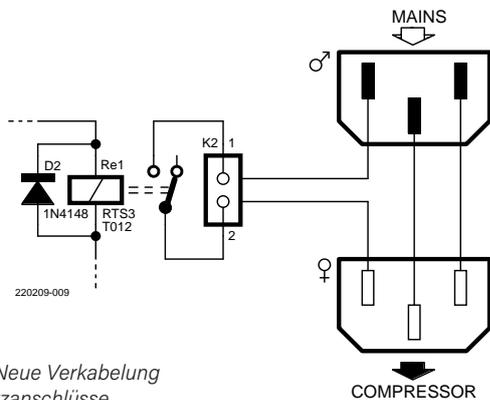


Bild 5. Neue Verkabelung der Netzanschlüsse.



Bild 6. Der neue Netzanschluss des Kompressors.

Um den Kompressor anzuschließen, wurde eine zusätzliche IEC-C13-Steckdose (Kaltgeräte-Buchse) an der Rückseite des Dispensers angebracht; die Verkabelung ist in **Bild 5** dargestellt. Die ursprünglichen Verbindungen am Netzanschluss bleiben intakt, in Bild 5 sind lediglich die Leitungen eingezeichnet, die neu verlegt werden müssen. Der ursprüngliche Netzanschluss wird passenderweise durch einen passenden C14-Stecker ersetzt werden, der unter der Kaltgeräte-Buchse angeordnet wird. **Bild 6** zeigt den installierten Netzstecker für den Kompressor.

Das hier verwendete Relais ist nur für kleine Airbrush-Kompressoren wie den, den ich habe, geeignet. Der enorme Einschaltstrom von schwereren Kompressoren „tötet“ die Kontakte fast aller Standardrelais oder schweißt sie zusammen. Ich hatte die Idee für diese Schaltung schon lange, und jetzt, wo sie fertig ist, frage ich mich, warum ich so lange damit gewartet habe. Es ist so viel einfacher, wenn ich den Kompressor nicht immer separat ein- und ausschalten muss. Das spart eine Steckdose und - vor allem – Ärger! 

220209-02

Über den Autor



Luc Lemmens begann im März 1990 nach seinem Studium an der Technischen Universität Eindhoven bei Elektor zu arbeiten. Er hat viele Interessen, was bedeutet, dass er sich mit vielen Themen der Elektronik auskennt. Natürlich hat er auch Software in einer Vielzahl von Programmiersprachen geschrieben oder bearbeitet - und, vor allem in seiner Anfangszeit bei Elektor, in Assembler. Heute beschränkt er sich meist auf die Arduino-IDE, die für die meisten einfachen Projekte perfekt ist. In seiner Freizeit spielt Luc gerne mit Flipperautomaten, insbesondere repariert und restauriert er sowohl moderne elektronische als auch elektromechanische Automaten (mit Relais und Schrittschaltwerken).

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter luc.lemmens@elektor.com oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.

Vorsicht Hochspannung!

Ziehen Sie den Netzstecker, bevor Sie das Gehäuse öffnen. Elektor und der Autor übernehmen keine Verantwortung für Schäden, die durch den Gebrauch oder die Installation dieser Schaltung entstehen. Das Öffnen des Gehäuses des Dispensers führt zum Erlöschen der Garantie!



Widerstände:

R1 = 100 Ω
R2 = 270 k
R3,R4* = 10 k

Kondensatoren:

C1,C4 = 100 µ/25 V radial
C2,C3 = 100 n

Halbleiter:

D1,D2 = 1N4148
T1 = BC547
IC1 = NE555

Außerdem:

K1 = 3-Wege-Klemmleiste, Raster 5 mm
K2 = 2-Wege-Klemmleiste, Raster 5 mm
Re1 = Relais 12V DPDT (Schrack RTS3T012)
IEC-C13-Steckdose (z. B. Bulgin Limited PX0675/63)
IEC-C14-Stecker (z. B. Bulgin Limited PX0686/WH)

* = siehe Text



Passende Produkte

- > Velleman VTSS210 Multifunktionale SMD-Reparaturstation (SKU 19948) www.elektor.de/19948
- > Velleman VTSS230 – 2-in-1 SMD-Heißluft-Rework-Station (SKU 19833) www.elektor.de/19833

WEBLINKS

- [1] Downloads zu diesem Projekt: www.elektormagazine.de/summer-circuits-22
- [2] Originale 3D-Designdateien Handdosierkopf: <https://learn.adafruit.com/3d-printed-solder-paste-dispenser-hand-switch>

Elektor - live und in Farbe

Livestreams, Webinare und Kurse für Ingenieure und Maker

Von der Elektor-Redaktion

Die Elektor-Community ist immer auf der Suche nach Projekten, Hintergrundwissen und Einblicken in neue Technologien. Aus diesem Grund produzieren wir zusätzlich zu unseren regelmäßigen Zeitschriften eine Vielzahl von Videoinhalten. Nehmen Sie an unseren Livestreams, Webinaren und Kursen teil!



Elektor Engineering Insights

Seit sechs Jahrzehnten ist Elektor für seine gedruckte Zeitschrift rund um die Elektronik berühmt. Für noch mehr und aktuelle Inhalte sorgen die Webseite www.elektormagazine.de und der wöchentliche E-Zine-Newsletter (zu abonnieren unter www.elektormagazine.de/elektor-newsletter). Texte und Bilder sind eines, aber nicht alles - wir machen auch viele Videos für Sie, zum Beispiel auf Messen und Veranstaltungen wie der embedded world 2022: Zwei Kameraleute und drei Redakteure waren im Einsatz, um über die neusten Produkte und Entwicklungen zu berichten und Experten zu interviewen. Besuchen Sie unseren Elektor YouTube-

Kanal (youtube.com/elektorim)!

Seit dem Frühjahr haben wir einige weitere Quellen der Inspiration für Sie: redaktionelle Webinare, Kurse (www.elektormagazine.com/elektor-academy) und zwei monatliche Live-Shows auf YouTube. All das wird direkt auf Ihren PC, Ihr Tablet oder Ihr Smartphone gesendet. Über eine Chatfunktion können Sie Fragen an die Moderatoren und Experten stellen.

Elektor-Webinare

Zu den redaktionellen Webinaren und Kursen können Sie sich über www.elektormagazine.com/webinars anmelden. Die Elektor-Redaktion führt zu jedem

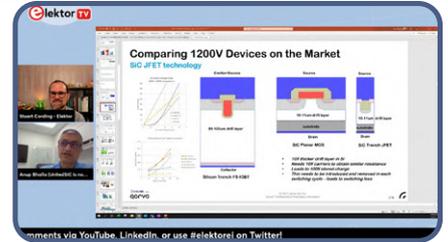
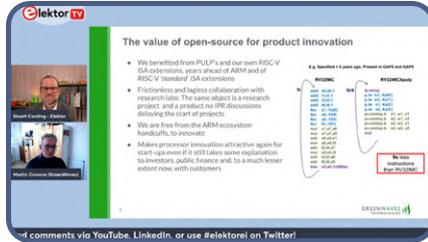
der regelmäßig alle zwei Monate erscheinenden Elektor-Hefte ein Webinar durch, das sich mit dem Schwerpunktthema der jeweiligen Ausgabe beschäftigt. So hat zum Beispiel die Ausgabe, die Sie gerade in Händen halten, das Schwerpunktthema „Wireless“. Halten Sie Ausschau nach dem Webinar, das am 13. Oktober um 16:00 Uhr stattfinden wird.

Für die beiden YouTube-Live-Shows (siehe unten) müssen Sie sich nicht bei Elektor anmelden, aber der Live-Charakter und die Chat-Option sind gleich. Für die Nutzung der Chat-Funktion müssen Sie bei YouTube eingeloggt sein.

Elektor Engineering Insights

Stuart Cording von Elektor saß während der zwei langen Covid-Jahre zu Hause fest und auch die Messen fielen aus. Daher wollte er einen Weg finden, die technischen Diskussionen, die er normalerweise auf Messen und Kongressen führte, wieder aufleben zu lassen. Mit einer Fülle von Branchenkontakten und der Unterstützung des Elektor-Teams beschloss er, seine Sendung **Engineering Insights** ins Leben zu rufen. Stuarts Gäste der Sendung, die jeden Monat live auf YouTube, LinkedIn und Twitter gesendet wird, teilen ihr Wissen über jedes erdenkliche Elektronikthema!

Bisher hat Elektor Engineering Insights Menschen interviewt, die neue stromsparende Geräte auf Basis von RISC-V-Prozessoren entwickeln, sowie ein Unternehmen, das die erforderlichen Tools für die Simulation benutzerdefinierter Befehle für diesen Kern herstellt. Wir haben uns auch mit der Technologie der Wide-Bandgap-Halbleiter befasst und die Vorteile von Bauteilen auf Galliumnitrid- (GaN) und Siliziumkarbid-Basis (SiC) gegenüber herkömmlichen Silizium-MOSFETs untersucht. Und



für diejenigen, die sich fragen, ob ihre Erfindung patentiert werden könnte, hat Stuart mit dem Europäischen Patentamt gesprochen, um das Anmeldeverfahren besser zu verstehen, und mit einem portugiesischen Entwickler aus dem Bereich der Solarenergie, um von dessen Erfahrungen bei der Anmeldung eines Patents zu lernen.

„Im Laufe der Jahre habe ich so viel von meinen Kollegen aus der Branche gelernt, indem ich ihre Büros und Labors besucht und sie auf Messen getroffen habe“, sagt Stuart. „Die von Covid auferlegten Beschränkungen waren verheerend und haben den Wissens- und Ideenaustausch, den Messen und Kongresse bieten, im Wesentlichen unterbunden. Ich hoffe wirklich, dass meine Engineering Insights dazu beitragen, Messen und Kongresse zu ergänzen. Es wäre schön, wenn die Sendung von der Ingenieur-Community als wertvolle Ressource angesehen wird, um sich über die neusten Technologien, Software und Entwicklungsansätze zu informieren.“

Mehr Infos unter:
www.elektormagazine.com/eei

Elektor Lab Talk

Mathias Claußen und Jens Nickel sind Elektor-Redakteure - Mathias ist unser Software-Experte im Elektor-Labor, Jens ist der Chefredakteur der Zeitschrift. Beide begeistern sich beruflich wie privat für Elektronik und Programmierung. Sie interessieren sich immer für die neuesten Gadgets, neue elektronische Technologien und Highlights aus der Software-Welt. Verpassen Sie nicht die Sendungen, in denen sie über die neuesten Elektor-Projekte und „heiße“ Produkte sprechen oder einfach nur über die Welt der Elektronik fachsimpeln. Von Zeit zu Zeit laden sie auch

Experten aus verschiedenen Bereichen der Elektronik als Gäste ein. In jeder Sendung können die Zuschauer Entwicklungsboards, Bücher oder andere Produkte aus dem Elektor-Shop gewinnen! Der *Elektor Lab Talk* findet jeden letzten Donnerstag im Monat statt. Eine Liste der kommenden und aller vergangenen Sendungen finden Sie unter <https://youtu.be/a1OJrB1mdp8>. Natürlich können Sie die Sendungen auch im Nachhinein „on demand“ anschauen, aber dann

natürlich nicht mehr mit Mathias und Jens chatten. Vergessen Sie also nicht, live dabei zu sein! Wenn Sie bei YouTube eingeloggt sind, können Sie die kleine Glocke drücken, um an die nächste Sendung erinnert zu werden!

Mehr Infos unter:
www.elektormagazine.com/elt

220357-02



LabTalk



Fahrrad

elektrifizieren

E-Bike-Nachrüstkit in der Praxis

Von Dr Thomas Scherer

Ein steiler Hügel, mein Selbstverständnis als Elektroniker und das Älterwerden motivierten mich zur Elektrifizierung meines bewährten Fahrrads. Nach einer ersten Variante mit Frontmotor, die ich vor Jahren gebaut hatte, habe ich jetzt auf das richtige Pferd für meinen Drahtesel gesetzt: einen Mittelmotor. Lesen Sie, was ich für Erfahrungen mit diesem Umbau gemacht habe...



Bild 1. Vorher: Mein Fahrrad noch mit Nabenmotor vorne und provisorischer Verkabelung.

Früher lebte ich in Frankfurt. Damals war das Fahrradleben noch in Ordnung: Alles ist da weitgehend flach, fast wie in der deutschen Fahrrad-Hauptstadt Münster oder in den Niederlanden, deren höchster Berg mit 322,4 m NAP (Normaal Amsterdams Peil) Alpenbewohner eher zum Schmunzeln motiviert. Mit dem Rad konnte ich fast alles im Stadtgebiet schneller und bequemer als mit dem Auto erreichen. Doch dann kam vor 15 Jahren ein Umzug ins 6 km entfernte Bad Vilbel. Frankfurt war zwar immer noch in Fahrrad-Reichweite; aber zwischen mir und der Großstadt lag ein Hügel, der mich bei der ersten „Ersteigung“ ziemlich außer Puste brachte.

Auf Flüche und ein erstes „never again“ folgte sofort der Gedanke an unterstützende elektrische Energie. Es stellte sich die Frage nach einem Neukauf eines Pedelec. Da ich mir

aber erst kurz zuvor ein besonderes bequemes Fahrrad mit Federung vorne und hinten sowie mit Riemen- statt Kettenantrieb gekauft hatte, war eine Nachrüstung die naheliegendere Alternative. Außerdem kam das meinem Basteltrieb zugute. Kaum wieder zuhause klemmte ich mich vor eBay und orderte die zur Elektrifizierung nötigen Teile. Damals hatte man die Wahl zwischen Vorder- oder Hinterradantrieb. Da ich den Riemenantrieb nicht opfern wollte, blieb nur ein Motor im Vorderrad. **Bild 1** zeigt mein Rad samt provisorischer Umrüstung mit einem dicken, fetten 36-V-Nabenmotor aus China, den ich mitsamt Controller, Bremsgriffen und Gepäckträgerakku geordert hatte.

Gründe für Mittelmotoren

Der Umbau meines Fahrrads war mit dem schon fertig eingespeicherten Vorderrad schnell erledigt. Erste Fahrversuche zeigten, dass a)

der Bad Vilbeler Hügel seinen Schrecken verloren hatte und b) der Hersteller des Controllers sich nicht so wirklich Gedanken über die deutsche StVO gemacht hatte. Der Motor hatte Kraft ohne Ende, saugte aber schwer am Akku und das Ganze war letztlich so in Deutschland nicht legal (siehe **Kasten „250 W und 25 km/h“**). Es gelang mir aber, den Controller zu identifizieren und im Internet ein Tool aufzustöbern, mit dem ich die Leistungsaufnahme begrenzen und gesetzeskompatibel machen konnte. Die vorgeschriebene Limitierung auf 25 km/h erfüllte ich durch einen Hallsensor, der von Magneten in der vorderen Riemenscheibe getriggert wurde. Über etwas Elektronik wurde der Motor nur freigegeben, solange ich unter 25 km/h blieb. Sogar eine sanfte Reduzierung der Leistung zwischen 20 km/h und 25 km/h hatte ich realisiert.

Eigentlich hätte ich zufrieden sein können. Aber das Bessere ist bekanntlich des Guten Feind. Ich war mir nämlich unsicher, ob die Vordergabel wegen der Belastung durch das Drehmoment des Motors mit der Zeit nicht durch Materialermüdung zu Bruch gehen würde. Den Ausschlag aber brachte neulich ein gemeinsamer Radelausflug mit meiner Freundin. Das von ihr gefahrenere ältere Fertig-Pedelec hatte nicht nur einen Mittelmotor, sondern trotz schon 48.500 km auf dem Tacho eine deutlich bessere Akkulaufzeit. Ergo war der Wirkungsgrad meines Motors nicht so besonders. Außerdem läuft ein Mittelmotor über die Schaltung, bietet also bei niedrigen Gängen deutlich mehr Kraft. Dass der Nabenmotor rekuperiert, kann die Vorteile von Mittelmotoren nicht aufwiegen, da Rekuperation beim Fahrrad eine eher untergeordnete Rolle spielt.

Bestellt & geliefert

Eine Internet-Recherche machte klar, dass ein Pedelec nach meinen Wünschen leicht mehrere tausend Euro kostet – und mich um viel Bastelspaß bringt. Als Alternative blieb wieder die Nachrüstung. Hierfür gibt es neben wenigen kleineren nur einen Hersteller mit breitem Angebot, großer Anwenderbasis und akzeptablen Preisen: Bafang. Die Motoren dieses fernöstlichen Herstellers sind mit verschiedenen Leistungsangaben und Betriebsspannungen erhältlich. Der Typ BBS01 ist ein 250-W-Motor für eine Spannung von 36 V und damit eigentlich der ideale Motor für deutsche Verhältnisse. Allerdings ist HTML geduldig: Dieser Typ wird auch für 48 V angeboten und mit Leistungen von 250 W, 350 W und gar 500 W. Ein Kit mit nahezu allen Teilen - Motor, Display, Pedale, Kettenblatt, Bremsgriffe, Kabel, sonstige Kleinteile und weißen Handschuhen ;-)- ist ohne Akku aus sehr vielen Quellen für unter 500 € erhältlich. Hinzu kämen also noch ein passender Akku (ab 150 € aufwärts) plus etwas Werkzeug, und schon ist man dabei. Es gibt aber auch die Typen BBS02 mit 750 W und 48 V (der gelegentlich mit 500 W gelabelt ist) und BBS03 aka BBSHD mit glatten 1 kW! Muss man davon in Europa die Finger lassen? Die Antwort ist erstaunlicherweise nein. Die Gesetze beziehen sich nämlich nicht auf potenzielle Leistung, sondern auf reale. Und die reale mittlere Leistung wird durch

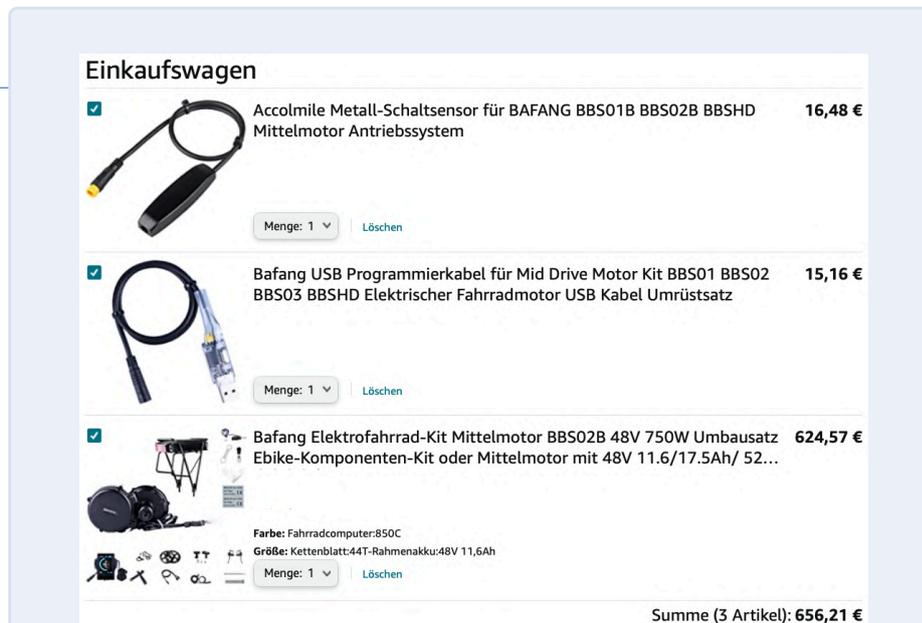


Bild 2. Screenshot der Bestellung der wichtigsten Komponenten.



Bild 3. Der Lieferumfang ohne Akku. a: Display mit Halterung, b: Kettenblatt, c: Kurbelabzieher, e: Daumengas, d: Motor, f: Lenker-Distanzringe, g: USB/TTL-Interface, h: Schaltunterbrecher, i: Handschuhe, j: Kabelbaum, k: LED-Scheinwerfer vorne, h: Anleitung und Kleinkram, l: Akkuanschluss, m: Bremsgriffe, n: Kettenblattabdeckung, o: Radlagerschlüssel, p: Pedalkurbel links, s: Motorbefestigung, r: Pedalkurbel rechts.

den Controller im Motor bestimmt, der mit Hilfe eines Tools einstellbar ist. Die „größeren“ Motoren haben vor allen Dingen eines: einen leistungsfähigeren Controller, der mehr (Spitzen-)Strom aushält. Meine Entscheidung fiel daher zugunsten des BBS02 aus. Dessen Spitzenleistung sollte locker ausreichen, um käuflichen Pedelecs Paroli bieten zu können. Um die Parameter des Motor-Controllers einstellen zu können, braucht es einen seriellen USB/TTL-Konverter. Geeignet sind nahezu alle Modelle mit CH340- und etliche mit FTDI-Chip. Da CH340-Typen mit passen-

dem Ministecker nicht viel kosten, bestellte ich gleich einen mit.

Weitere Zutat war ein „Schaltungsunterbrechersensor“, denn es tut einer Schaltung nicht gut, wenn unter viel Drehmoment geschaltet wird. Dank dieses Sensors wird der Motor während des Schaltvorgangs kurz deaktiviert. Blieb nur noch die Frage nach der Akkukapazität. Mir schienen 550 Wh genug, denn mein bisheriger 36-V-Akku hatte lediglich 400 Wh. Die letzte Entscheidung betraf das Display. Die Lieferanten haben Kits im Angebot, bei denen man aus verschiedenen



Bild 4. Der 48-V-Rahmenakku. a: Ladegerät, Anleitung, Schlüssel und Akku, b: Akku von der linken Seite, c: Akku von unten und Rahmenhalterung.



Bild 5. Der Kurbelabzieher oben und der Schlüssel unten waren im Lieferumfang enthalten, der Lockringschlüssel in der Mitte musste nachbestellt werden.



Bild 6. Innenleben einer Siebengang-Nabenschaltung, nach entferntem Rücktritt neu gefettet.



Displays mit unterschiedlichen Eigenschaften zu unterschiedlichen Preisen wählen kann. Ich entschied mich für das gebräuchliche Modell 850C, da es ein Farb-LCD und fünf Unterstufungsstufen bot.

Bild 2 zeigt einen Screenshot meiner Bestellung bei einem größeren Händler. Dank eines gerade verfügbaren Rabatts kam ich inklusive Porto auf eine Gesamtsumme von knapp 630 €. Ich war zufrieden. **Bild 3** zeigt, was geliefert wurde. In **Bild 4** sieht man den Rahmenakku samt Ladegerät und Halterung für die Trinkflaschenbefestigung.

Passt alles?

Falls Sie auch so eine Nachrüstung vorhaben, sollten Sie eine Voraussetzung checken, bevor Sie auf den Bestellknopf drücken: Ein Bafang-Mittelmotor wird von rechts in das Tretlager gesteckt und links festgeschraubt. Daher sollte die Breite beziehungsweise Länge des Tretlagers bei ihrem Fahrrad zwischen 68 mm und 77 mm betragen. Ist es etwas schmaler als 68 mm, kann man das mit großen U-Scheiben ausgleichen. Ist es etwas breiter als 68 mm, braucht die Motorbefestigung links zusätzliche 6-mm-U-Scheiben. Der Innendurchmesser muss zudem mindestens 33,5 mm betragen und darf nur minimal größer sein. Also vorher messen. Bei mir passte es fast perfekt.

Wichtig ist auch, die passenden Bremsgriffe mitzubestellen, denn sie schalten den

Motor beim Bremsen ab. Man hat häufig die kostenlose Wahl zwischen Hebeln für Felgenbremsen oder für hydraulische Scheibenbremsen.

Beim Filtern der immensen Internet-Lektüre zu Bafang-Motoren stieß ich auf mehr als einen Bericht über die Risiken des Betriebs von 48-V-Motoren mit leicht erhöhter Spannung. Es gibt Akkus mit einer Zelle mehr, also 14 Zellen statt 13 Zellen in Serie und daher mit einer Nominalspannung von 52 V. Voll geladen kommt ein 48-V-Akku ohne Last schon auf bis zu 54,5 V. Ein 52-V-Akku bringt dann schon fast 59 V an die Klemmen des Motorcontrollers – und das scheinen die Controller auf die Dauer übelzunehmen. Merke: 48 V sind genug!

Eigentlich bin ich werkzeugmäßig gut ausgestattet, aber da ich kein passionierter Fahrradschrauber bin, fehlte mir doch noch ein sogenannter Lockringschlüssel (Mitte von **Bild 5**), den ich nachträglich für wenige Euro bezog, um die Muttern meines Radlagers aufzubekommen. Der notwendige Kurbelabzieher war schon im Lieferumfang.

Ein letzter Aspekt: Bei Bafang-Mittelmotoren hat man die Wahl zwischen Zahnkränzen von 42...46 Zähnen, was Einfluss auf die Übersetzung hat. Ich habe mich für den Standard mit 44 Zähnen entschieden. Im Zubehörhandel gibt es auch noch gekröpfte Versionen mit weniger Zähnen, falls man vorhat, ein Mountainbike mit besonders viel Kraft auszustatten.

Einbau

Vorab: Die Details des Einbaus zu beschreiben würde einerseits den Rahmen dieses Artikels sprengen und wäre andererseits mehr als redundant. Es gibt massenhaft Berichte im Internet und auch viele Youtube-Videos zu diesem Thema, die sich um alle mechanischen Aspekte kümmern. Außerdem liegt eine (englischsprachige) Anleitung bei, mit der ich gut klarkam. Ich kann nicht mal bestimmte Quellen im Internet empfehlen, da es sich wirklich rentiert, sich vorher breiter einzulesen. Die verschiedenen Berichte und Anleitungen haben nämlich Stärken und Schwächen sowie manchmal eigenwillige Interpretationen. Das prinzipielle Vorgehen: Linke und rechte Tretkurbel abmontieren und Radlager samt Zahnkranz entfernen. Motor von rechts einschieben und links befestigen und festschrauben sowie Zahnkranz rechts samt Abdeckung befestigen. Dann neue Kurbeln und alte Pedale wieder anbringen sowie Kette auflegen. Nun Bremsgriffe austauschen, Display und Daumengas am Lenker montieren. Zum Schluss den Akku befestigen und die Verkabelung zusammenstecken. Wo nötig, verhilft etwas Loctite den Verschraubungen zur Haltbarkeit. Geübte Hände bekommen das an einem Nachmittag hin, wenn alles passt.

Mein Fahrrad aber stellte mich vor einige Hürden, sodass ich bei sorgfältigem Vorgehen ein paar Tage basteln durfte. Zunächst dachte ich, dass die vordere Riemenscheibe

meines Antriebs schon irgendwie passend gemacht werden könnte. Aber Pustekuchen, das wollte einfach nicht klappen. Also rüstete ich von Riemen- auf Kettenantrieb um. Das ist einfacher gesagt als getan. Meine bisherige Achtgang-Shimano-Schaltung kann man nicht gut auf Kette umbauen. Also musste eine neue Schaltung her. Erster Versuch war eine billige Siebengang-Version aus einem Schrottrrad. Die hatte einen Rücktritt – ein Sicherheitsrisiko und Komfortmangel. So kam ich dazu, eine Nabenschaltung zu zerlegen und den Rücktritt auszubauen (**Bild 6**). Das geht wirklich und ich bekam es mit Hilfe des Internets gebackert, auch wenn es eine arge Zumutung für meine nicht an Fett gewöhnten Elektronikerhände war...

Das Vorderrad mit Nabemotor musste raus und durch das alte Vorderrad ersetzt werden. Doch das hatte einen modernen Nabendynamo, den ich nicht brauchte. Mittlerweile ist es ja erlaubt, die Fahrradbeleuchtung direkt vom Akku zu speisen. Es gibt dafür auch einen extra Anschluss des Kabelbaums, der 6 V mit 3 W bietet. Also wurde das Vorderrad mit Nabendynamo vererbt und ein passendes ohne Dynamo geerbt.

Ein guter Freund, Sohn eines Fahrradmechanikermeisters und Bruder eines Fahrradladenbesitzers, warnte mich, dass eine „normale“ Nabenschaltung den Belastungen

250 W und 25 km/h

Die juristische Situation eines selbstgebautes Pedelecs (oder E-Bike25) ist lokal durchaus unterschiedlich. Während man in den USA quasi machen kann, was man will, sind Europäer mehr oder minder an Vorschriften gebunden. Besonders streng reglementiert ist man – wen wundert das? – in Deutschland [1]. Hier gibt es vier Kriterien, an die man sich unbedingt halten sollte, möchte man Konflikte mit dem Gesetz vermeiden:

1. Begrenzung der Leistung auf 250 W
2. Begrenzung der Geschwindigkeit auf 25 km/h
3. Fahren nur unterstützend zum Treten – kein „Mopedbetrieb“
4. Anfahrhilfen nur bis 6 km/h ohne Treten

Diese Kriterien sind alles andere als präzise. Das Gesetz bezieht sich auf Dauerleistung und verliert kein Wort über die Spitzenleistung. Deshalb bieten selbst E-Bikes namhafter Hersteller situativ (zum Beispiel bergauf bei niedrigem Tempo) einige hundert Watt mehr als der zulässige Mittelwert. Auch eine geschwindigkeitsabhängige Unterstützung bleibt unklar. Ist eine gleitende Abnahme von 250 W auf 0 W zwischen 20 km/h und 25 km/h notwendig, wie gelegentlich angenommen wird, oder reicht die abrupte Abnahme der Motorleistung „kurz vor 25 km/h“? Und: Wie hoch ist die Toleranz bei den 25 km/h? Kann man guten Gewissens mit 3 km/h tolerierter Übertretung rechnen, die Kraftfahrzeuge beim „Geblitzwerden“ zugutegehalten werden?

Halbwegs eindeutig sind lediglich die Punkte 3. und 4. Ein etwaiger montierter Daumengashebel darf ohne aktive Mithilfe des Fahrers definitiv nur bis 6 km/h beschleunigen – ist also zulässig.

Und für jedes in der EU in den Verkehr gebrachte Elektro-Fahrrad gilt: Es braucht eine EU-Konformitätsbescheinigung und eine CE-Kennzeichnung, die man sich aber auch selbst ausstellen kann.

des Motors auf Dauer nicht gewachsen sei. Also schaute ich, was für diese Zwecke so angeboten wird. Das Beste vom Besten ist sicherlich das Modell Speedhub von Rohloff [2]. 14 Gänge, hoher Wirkungsgrad, extreme Robustheit dank „deutscher Wertarbeit“ wären sicherlich nett, aber teurer als mein Rad samt Umbausatz. Außerdem brauche ich für meinen Bedarf keine 14 Gänge – weniger

scheint mir mehr. Daneben kommt noch die deutlich preiswertere, aber dennoch robuste Fünfgangschaltung Nexus 5E von Shimano [3] in Betracht, die speziell für Pedelecs ausgelegt wurde. Für mich war das akzeptabel und so besorgte ich ein Exemplar. Schon kam die nächste Hürde: Ich musste sie in eine Felge einspeichen. Da galt es ebenfalls zuerst zu lesen, und eine neue Welt tat sich auf. Die Bemerkung des besagten Freundes, dass das Einspeichen selbst für gelernte Fahrradmechaniker anspruchsvoll sei, spornte meinen Ehrgeiz an. **Bild 7** zeigt die neue Schaltung in neuer Felge mit neuen Speichen in meiner Auswuchtvorrichtung aus Einhandzwingen, Kabelbinder und historischem Schraubstock. Damit erreichte ich einen Schlag von etwa $\pm 0,05$ mm horizontal und $\pm 0,15$ mm vertikal. Wer eine Kettenschaltung hat, muss keine solchen Klimmzüge machen und kann getrost über meinen Aufwand lächeln.

Weitere Überlegungen betrafen die Positionierung des Akkus. Bisher hatte ich einen auf dem Gepäckträger verschraubt, aber das fand ich nicht mehr gut. Ein Rahmenakku kann man in der Regel an den beiden Gewinden im Rahmen für die Befestigung einer Trinkflasche montieren. Bei mir war die Position der Gewinde unglücklich. Also fertigte ich einen Zwischenträger aus einem 400 x 35 x 3 mm starken Edelstahlblech an, den ich mit Gummiunterlagen auf den Rahmen schraubte.

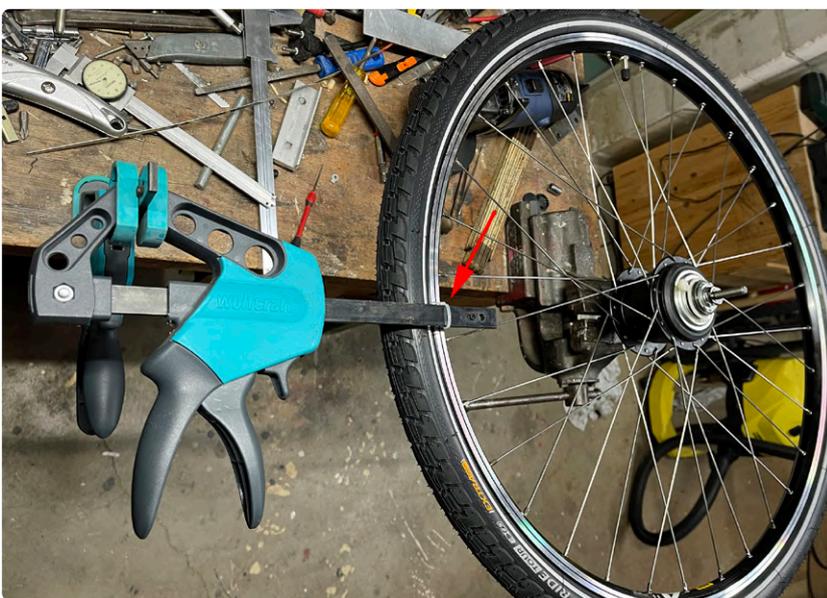


Bild 7. Subprofessionelle Einspeichvorrichtung. Der Schraubstock stammt von meinem Großvater.



Bild 8. Motor und Befestigung links. Da mein Tretlager 70 mm breit war, brauchte der Halter noch Edelstahl-U-Scheiben (Pfeil) mit 6-mm-Bohrung.



Bild 9. Neue Lenkerbestückung. a: Bedientastenfeld, b: Display, c: Daumengas (Anfahrhilfe), d: Schaltgriff vor Umbau auf Inter-5E.



Bild 10. Nachher: Das aufgerüstete Elektrofahrrad, noch mit alter Siebengang-Nabenschaltung. Aber es fährt!

Das waren alle meine Besonderheiten. Ich hoffe für Sie, dass Ihre Situation einfacher ist. **Bild 8** zeigt die linke Seite des eingebauten Motors. In **Bild 9** ist meine geänderte Lenkerbestückung zu sehen. Das fertige Gesamtkunstwerk kann man in **Bild 10** bewundern.

Einstellung

Da meine Pubertät schon etwas zurückliegt, finde ich das Fahren mit illegalen Gefährten nicht besonders reizvoll. Außerdem sind mir die erlaubten 25 km/h gerade im Stadtverkehr genug. Meine Erfahrung zeigt, dass meine mittlere Geschwindigkeit im Vergleich zu früher (ohne elektrische Unterstützung) merkbar höher liegt – vermutlich weil ich es kann. Aus diesen Gründen war der nächste Schritt das Setzen passender Parameter, damit mein Selbstbau-E-Bike den europäischen und deutschen Vorschriften entspricht. Zu diesem Zweck ist außer dem erwähnten USB-TTL-Konverter ein passendes Software-Tool erforderlich. Die modernste und fehlerärmste Variante ist das „Bafang Configuration Tool V2.0“ von Stefan Penov, das von seiner Webseite [4] inklusive Sources, Anleitung und Beispiel-Setups heruntergeladen werden kann. Leider ist zum Thema Programmierung des Bafang-Controllers sehr viel Widersprüchliches im Internet zu lesen und auch die Anleitung zum Tool ist nicht erschöpfend. Anhand meines Vorgehens dürften Sie aber leicht in der Lage sein, Ihren Motor nicht nur legal zu machen, sondern nach Ihren Bedürfnissen einzustellen. Als erstes stößelt man das USB/TTL-Interface in eine beliebige USB-Buchse seines PCs. Unter Windows 11 (wie bei mir) installiert sich automatisch der passende Treiber für den CH340-Chip. Falls nicht, kann man unter [5] einen aktuellen Treiber downloaden. Bei FTDI wird man auf der Herstellerseite fündig. Wie der Screenshot des Gerätemanagers von **Bild 11** zeigt, wurde eine virtuelle serielle Schnittstelle COM3 bei mir eingerichtet. Startet man das „Bafang Configuration Tool“, erscheint ein Fenster wie in **Bild 12**. Trennt man nun die Verbindung von Display und Motor, kann man den grünen Stecker des USB/TTL-Interface in die grüne Buchse (zum Motor führend) stecken und den Motor via Schalter am Akku mit Strom versorgen. Die LED am Interface sollte leuchten. Nach Auswahl der richtigen virtuellen Schnittstelle rechts im *Communication Interface* klickt



man auf *Connect* und dann als Allererstes auf *Read Flash*. Damit wird die Default-Konfiguration des Motor-Controllers ausgelesen. Es empfiehlt sich, diese mit dem File-Menü unter einem aussagekräftigen Namen zu sichern, damit man immer ein Backup hat, falls man sich gnadenlos verparametrisiert hat.

Basic

Das Fenster zeigt die Grundeinstellungen unter dem Reiter *Basic*. Ein Akku mit BMS schaltet normalerweise den Akku bei Unterspannung ab. Bei *Low Battery Protection* kann man zusätzlich einen Wert eintragen. Bei einem 48-V-Akku und einer Minimalspannung von 3 V pro Zelle ergibt sich ein Abschaltwert von 39 V. Bei einem 36-V-Akku sind hier 30 V angebracht.

Der Maximalstrom in *Current Limit* bestimmt die aufgenommene Spitzenleistung und über andere Parameter indirekt auch die Dauerleistung. Man darf hier keinesfalls mehr Strom einstellen, als der Controller verträgt. Seinen Maximalwert sieht man rechts unten angezeigt. Für einen 36-V-BBS01 mit 250 W ist bei 15 A Schluss. Das wären maximal 540 W aufgenommene Leistung. Abzüglich diverser Verluste kommen davon höchstens 70 % am Hinterrad an. Die abgegebene Spitzenleistung liegt daher bei etwa 380 W. Durch die Einstellung anderer Parameter liegt man damit auf der sicheren Seite. Beim BBS02 mit seinen 48 V sind 25 A möglich. Nach Adam Ries ergibt das eine Bruttospitzenleistung von fetten 1,2 kW, von denen bei einem Gesamtwirkungsgrad von 70 % immer noch 840 W übrigbleiben. Viel zu viel für meinen Geschmack. Deshalb habe ich den Spitzenstrom auf 15 A reduziert und begnüge mich daher mit einer realen Spitzenleistung von etwa 500 W am Hinterrad – mein Controller wird es mir danken. Manche Fertig-Pedelecs mit Bosch-Motor liegen da deutlich drüber. Über die Einstellung des Stroms für den BBSHD können Sie sich selbst einen Reim machen. Sein Controller verträgt 30 A, aber das muss auch der Akku mitmachen, wenn man die möglichen 1,5 kW Spitzenleistungsaufnahme ausreizen will. Legal ist das dann natürlich nicht mehr.

Als nächstes kommen die *Assist Levels*. Zusätzlich zur Stufe 0 erlaubt der Controller neun weitere Stufen. Die meisten Displays sind in Wahrheit kleine Fahrradcomputer

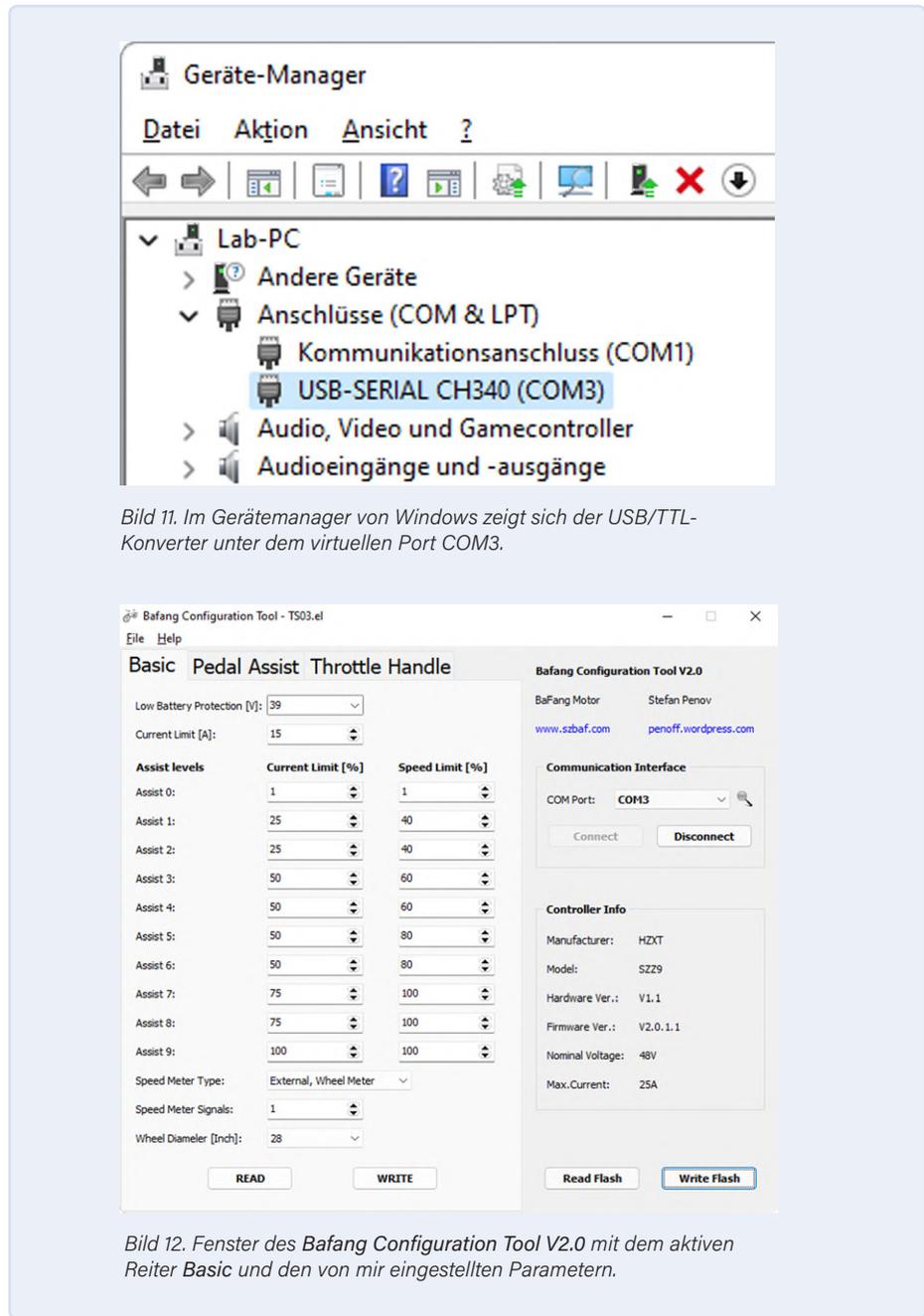


Bild 11. Im Gerätemanager von Windows zeigt sich der USB/TTL-Konverter unter dem virtuellen Port COM3.

Bild 12. Fenster des Bafang Configuration Tool V2.0 mit dem aktiven Reiter *Basic* und den von mir eingestellten Parametern.

und erlauben fünf zusätzliche Stufen. Manche bieten aber auch neun Stufen oder die Stufenzahl ist einstellbar. Für alle Displays gilt, dass man bei *Assist 0* bei *Current Limit* und *Speed Limit* den Wert „0“ eintragen sollte – außer man will eine Anfahrhilfe per Daumengas, dann empfiehlt sich wie abgebildet der Wert „1“. Mein Display unterstützt fünf Stufen. Leider sind sich die Anleitungen im Internet nicht wirklich einig, welche Level bei einem Display mit unter neun Stufen belegt werden sollen. Empfohlen werden bei fünf Stufen häufig die Level 1/3/5/7/9, aber ich habe auch schon von 1/2/4/6/9 und weiteren Varianten gelesen. Bei mir funktionierte das alles nicht richtig. Aber die Werte in Bild 12, die einfach jede Stufe außer der letzten doppeln, funktionierten. Die eingestellten Prozentwerte der Ströme bezie-

hen sich auf *Current Limit* oben und analog die Geschwindigkeitsprozente auf die unter dem nächsten Reiter eingestellte Spitzengeschwindigkeit. Bei der Stufe 3 (= Level 5|6) fahre ich also mit bis zu halber Leistung bis zu 20 km/h schnell, wenn mein absolutes Limit 25 km/h beträgt. Diese Werte sind natürlich nicht in Stein gemeißelt, sondern können angepasst werden. Auf Stufe 1 (= Level 1|2) stützt sich übrigens die Anfahrhilfe, weshalb hier nur 40 % eingestellt sind. Bei *Speed Meter Type* sollte zwingend „*External, Wheel Meter*“ stehen. Bei *Speed Meter Signals* steht eine „1“, wenn man einen einzigen Magneten an die Speichen geklemmt hat, der den Umdrehungssensor triggert. Der Parameter *Wheel Diameter* benötigt die Radgröße in Zoll.

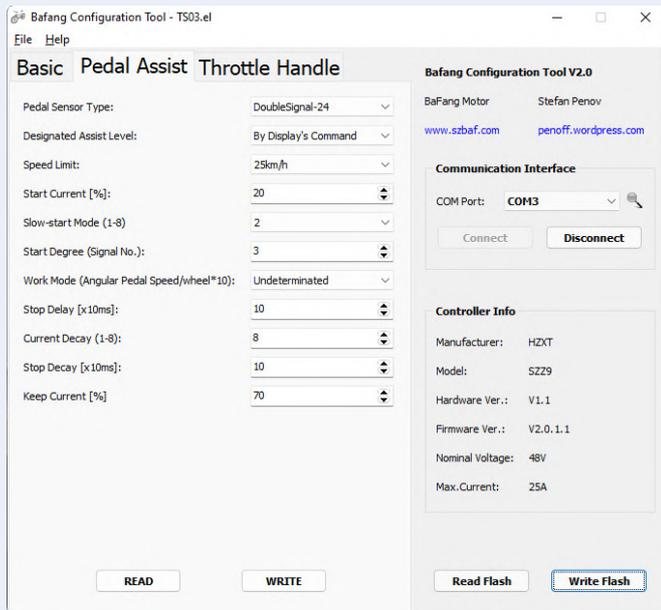


Bild 13. Tool-Fenster mit aktivem Reiter Pedal Assist. Unbedingt hier das Speed Limit setzen!

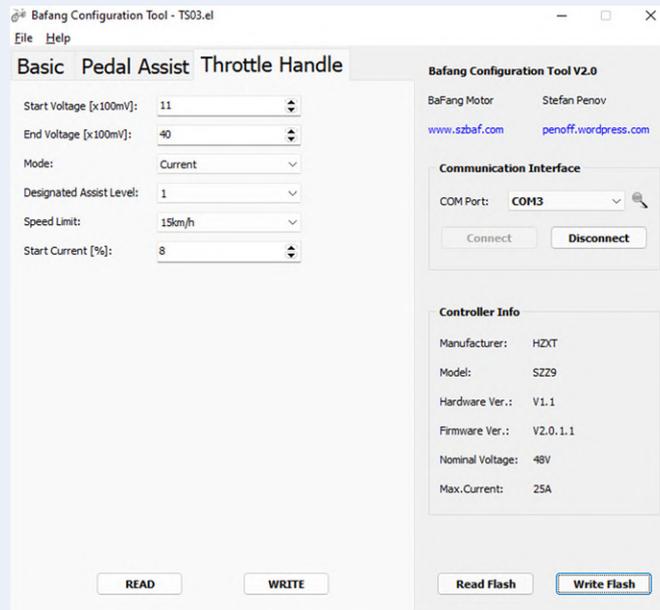


Bild 14. Unter dem Reiter Throttle Handle werden die Parameter für die Anfahrhilfe gesetzt.

Pedal Assist

Unter diesem Reiter (Bild 13) finden sich weitere wichtige Parameter: Bei *Pedal Sensor Type* sollte genau das stehen, was abgebildet ist. Bei *Designated Assist Level* ist die Steuerung durch das Display eingestellt – nur so kann man die Stufen mit den Tastern am Lenker umschalten. Nun wird es spannend: Bei *Speed Limit* sollte man unbedingt fest die Maximalgeschwindigkeit von 25 km/h eintragen. Es ist auch möglich, dass dieser Wert vom Display geholt wird, aber das erlaubt die beliebige Manipulation beim Fahren. Dass solche Tricks von der Polizei nicht erlaubt sind, darf man getrost glauben. Und Polizisten von heute wissen durchaus, wie man die Menüs eines solchen Displays bedient. Also besser den Wert wie abgebildet fest in den Controller schreiben. *Start Current* legt den Anfahrstrom fest. Werte über 30 % sorgen für eine abrupte Leistungsentfaltung bei Anfahren. Bei hohen Gängen kann es dann zur Überlastung des Controllers kommen. 20 % (= 3 A oder 150 W) ergeben einen sanften Anlauf. *Slow-start Mode* definiert

die Anlaufcharakteristik; größere Werte sind weniger sanft. *Start Degree* beschreibt die Anzahl interner Signale beim Treten, die nötig sind, damit der Motor startet. Geringere Werte sorgen für schnelleres Starten, aber ein Wert von „1“ sollte vermieden werden, sonst startet der Motor vielleicht sogar rückwärts. Beim Parameter *Work Mode* hat wohl niemand so recht eine Ahnung, wofür er gut ist: daher so lassen.

Stop Delay ist die Verzögerungszeit in 10-ms-Einheiten, nach der der Motor abschaltet, wenn man aufhört zu treten. Der Parameter *Current Decay* bestimmt, wie stark der Strom reduziert wird, wenn eine bestimmte höhere Kadenz beziehungsweise Trittschwindigkeit erreicht wird. Auf diese Weise kann man auch bei 25 km/h und ausreichend schnellem Treten nicht über 250 W Dauerleistung kommen. Ich habe einen hohen Wert gewählt. *Current Decay* stellt ein, wann die Leistungsreduktion eintritt und mit *Keep Current* legt man den Prozentsatz des residualen Stroms fest, auf den reduziert wird. Es ist

mir noch nicht ganz klar, welcher Wert hier für mich passt.

Throttle Handle

Dieser Reiter ist nur interessant, wenn man einen Gasgriff oder einen Daumengas-Einsteller montiert hat. Hier muss (in Deutschland) dafür gesorgt werden, dass bei Betätigung ohne Treten nicht mehr als 6 km/h erreicht werden. Zunächst werden Minimal- und Maximalwert der Spannung mit *Start Voltage* und *End Voltage* eingestellt. Ein geringerer Spannungshub sorgt für eine abruptere Reaktion auf den Gashebel. Der nächste Parameter ist *Mode* mit den Optionen *Current* und *Speed*. Ich finde *Current* natürlicher und sanfter.

Nun wird unter *Designated Assist Level* die Stufe eingestellt, auf die sich die Anfahrhilfe bezieht. Bei mir ist Stufe 1 eingestellt. Ich habe ein neues *Speed Limit* von 15 km/h vorgegeben. Sie erinnern sich, dass bei Level 1 eine Geschwindigkeit von maximal 40 % eingestellt war? Bezogen auf 15 km/h ergibt das genau

WEBLINKS

- [1] Deutsches Pedelec-Gesetz: www.gesetze-im-internet.de/stvg/_1.html
- [2] Rohloff Speedhub: www.rohloff.de/de/produkte/speedhub
- [3] Shimano Nexus Inter-5E: <https://tinyurl.com/bdzkh48k>
- [4] Bafang Configuration Tool V2.0: <https://penoff.me/2016/01/13/e-bike-conversion-software>
- [5] Treiber für CH340-Chip (USB/TTL): www.wch.cn/downloads/CH341SER_ZIP.html



Anzeige



PASSENDE PRODUKTE

- **JOY-iT VAX-1030 Drahtloses Multifunktionsmessgerät (SKU 19199)**
www.elektor.de/19199
- **PeakTech 6227 DC-Schaltnetzgerät (0-60 V, 0-6 A) mit Farb-LCD und 2x USB (SKU 19323)**
www.elektor.de/19323
- **Velleman VTSS220 Lötstation mit Temperaturregelung (SKU 19865)**
www.elektor.de/19865

die zulässigen 6 km/h. In Ländern, in denen mehr erlaubt ist, kann man auch andere Stufen und Geschwindigkeiten eintragen. Der letzte Parameter ist *Start Current*. Dieser Wert bezieht sich ebenfalls nur auf die Anfahrhilfe und sollte recht klein sein. 10 % des unter *Basic* eingestellten Maximalstroms ziehen schon ganz ordentlich los.

Speichern

Die Werte unter jedem Reiter schreibt man per Klick auf *Write* in den Controller. Ein Klick auf *Write Flash* schreibt alle Werte auf einmal in den Controller. Anschließend kann man direkt ausprobieren, wie sich geänderte Einstellungen auswirken.

Zum Schluss

Wenn Sie sich durch meine Erfahrungen anregen lassen und planen, selbst ein Fahrrad auf diese Weise zu elektrifizieren, sollten Sie die ersten Fahrten nur mit Helm unternehmen und den Helm auch bei späteren Parameteränderungen verwenden. Bei mir ist zwar nie etwas Ungewöhnliches passiert, aber man weiß ja nie. So ein Mittelmotor kann in niedrigen Gängen ganz schön viel Kraft entwickeln. Anders als die Mittelmotoren etwa von Bosch verfügen die Modelle von Bafang über keinen Drehmomentsensor in der Tretkurbel. Die Unterstützung ist also nicht proportional zur aufgewendeten Kraft, sondern von der Stufe und der Kadenz abhängig. Ich habe mich schnell daran gewöhnt. Bezüglich Leistungsentfaltung und Drehmoment braucht sich mein Rad nicht vor Markenprodukten zu verstecken.

Sind Sie bei Ihrer Aufrüstung soweit gekommen wie hier beschrieben, bleibt nur noch die Probefahrt. Ich wünsche Ihnen viel Spaß damit! ◀

210726-02

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Bei technischen Fragen können Sie sich gern an die Elektor-Redaktion wenden unter der E-Mail-Adresse: redaktion@elektor.de.



UNSER SORTIMENT VON TECHNIKERN FÜR TECHNIKER

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.

ESSENZIELL UND VIELSEITIG
**THE BEST CONNECTIONS
FOR YOUR PROJECT**

Gleich entdecken ▶ <https://rch.lt/con>

TAGESPREISE! Preisstand: 28. 7. 2022

- Top Preis-Leistungs-Verhältnis
- über 120.000 ausgesuchte Produkte
- zuverlässige Lieferung – aus Deutschland in alle Welt

reichelt
elektronik – The best part of your project

www.reichelt.de

Bestellhotline: +49 (0)4422 955-333

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 & Co. KG, Elektronikring 1, 26452 Sande, Tel.: +49 (0)4422 955-333

Aller Anfang...

Muss nicht schwer sein: Multiplikation von Spannungen



Von Eric Bogers (Elektor)

In der vorigen Folge haben wir eine einfache Gleichrichterschaltung kennengelernt, mit der wir eine symmetrische Versorgungsspannung erzeugen konnten (das heißt, positive und negative Spannung sind gleich groß). Eine schöne Eigenschaft dieser Schaltung ist, dass wir sie auch als Spannungsverdoppler verwenden können.

In **Bild 1** sehen wir den Schaltplan für den Gleichrichter, der eine symmetrische Versorgungsspannung erzeugt. Am oberen Widerstand entsteht eine positive Spannung, am unteren Widerstand eine negative Spannung derselben Größenordnung - gemessen gegen den gemeinsamen Knotenpunkt der beiden Widerstände. Das ist natürlich äußerst nützlich, wenn man (zum Beispiel) ein paar Operationsverstärker versorgen muss.

Aber warten Sie einen Moment! Wir sind keineswegs verpflichtet, die Spannungen gegen diesen Knoten der beiden Widerstände zu messen! Wenn wir das nicht tun, dann haben wir über den beiden Widerständen (ungefähr) die doppelte Spannung des Transformators. Diese Schaltung ist also ein Spannungsverdoppler. Ordnen wir die Bauteile der Schaltung von Bild 1 ein wenig anders wie in **Bild 2** an. Auch dies ist ein Spannungsverdoppler. Während der negativen Halbwelle der Eingangswchselspannung wird der Kondensator C1 auf den Spitzenwert der Wechselspannung aufgeladen. Während der positiven Halbwelle wird dann die Ausgangsspannung des Transformators zu dieser Spannung an C1 addiert, so dass der Kondensator C2 über die Diode D2 auf den doppelten Spitzenwert der Wechselspannung aufgeladen wird.

In der Realität wird die Spannung an C2 natürlich niemals genau gleich dem doppelten Spitzenwert der Wechselspannung sein können, denn erstens müssen wir die Durchlassspannungen der beiden Dioden abziehen, und zweitens wird C2 durch den Widerstand (die Last) entladen.

Eine solche Schaltung kann unter anderem dazu verwendet werden, einen Kondensator auf eine sehr hohe Spannung aufzuladen und damit (wie in der Bühnentechnik) ein Feuerwerk zu zünden.

Bild 3 zeigt eine Schaltung, die die Spannung verdreifacht. Während der positiven Halbwelle wird der Kondensator C1 auf die Spitzenspannung aufgeladen. Dies schafft die Möglichkeit, C2 während der negativen Halbperiode auf den doppelten Spitzenwert aufzuladen. Während der positiven Halbwelle wird der Spitzenwert ebenfalls zur doppelten Spitzenspannung von C2 addiert. Und diese wird dann schließlich dazu verwendet, den Kondensator C3 über D3 aufzuladen.

In **Bild 4** schließlich ist das Schema eines Spannungsvervierachers eingezeichnet. Während der negativen Halbperiode wird C1 über D1 auf den Spitzenwert der Wechselspannung aufgeladen. Während der positiven Halbperiode wird der Spitzenwert der Trafo-Wechselspannung zur Spannung an C1 addiert und damit der Kondensator C3 über D2 auf den doppelten Spitzenwert aufgeladen. Während der negativen Halbwelle wird dann der Kondensator C2 über D3 auf den dreifachen Scheitelwert aufgeladen, und schließlich (wieder während der positiven Halbwelle) wird der Kondensator C4 über D4 auf den vierfachen Spitzenwert aufgeladen.

Dieses Spielchen ließe sich fortsetzen - theoretisch könnte man einen Spannungsver-x-facher beliebiger Länge konstruieren, doch dazu ist nicht nur eine beträchtliche Anzahl von Bauteilen erforderlich, sondern auch der Wirkungsgrad der Schaltung nimmt schnell ab. Diodenvervielfacher sind mit einem beträchtlichen Innenwiderstand behaftet und unter der Last bricht die Spannung sehr schnell in sich zusammen. Wenn wir eine einigermaßen belastbare Hochspannung benötigen, dann ist es besser, eine Wechselspannung mit einem Transformator hochzutransformieren und die Hochspannung anschließend gleichzurichten.

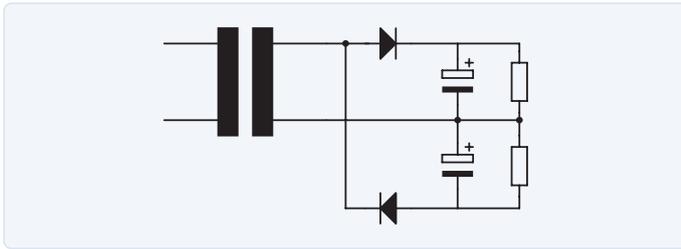


Bild 1. So erzeugen wir eine symmetrische Versorgungsspannung.

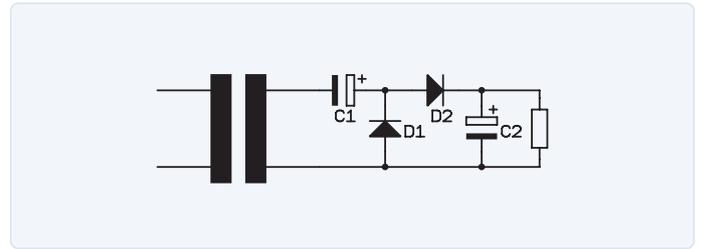


Bild 2. Die Schaltung arbeitet auch als Spannungsverdoppler,

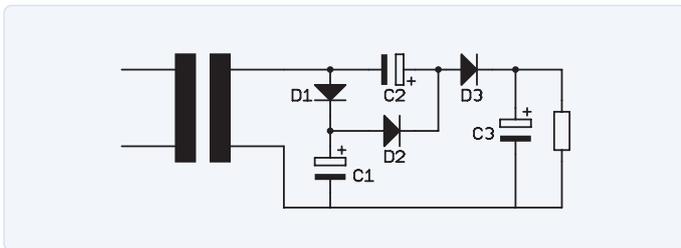


Bild 3. als Spannungsverdreifacher

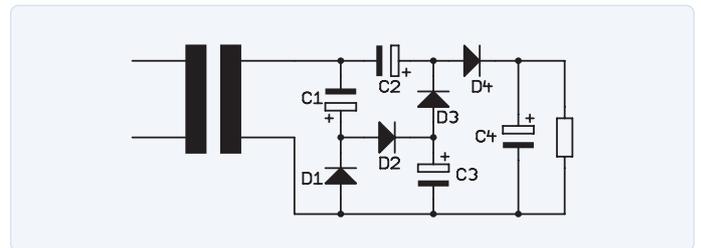


Bild 4. und als Spannungsvervierfacher.

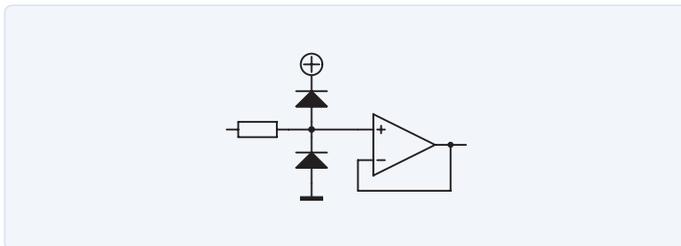


Bild 5. Begrenzung der Eingangsspannung eines Opamps.

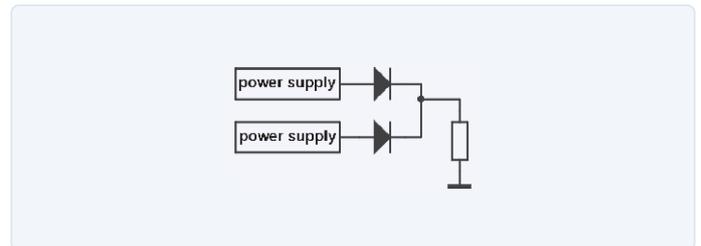


Bild 6. Parallelschaltung von zwei Spannungsversorgungen.

Andere Diodenschaltungen

Bevor wir uns auf Z-Dioden und andere interessante Diodenvarianten stürzen, werfen wir zunächst einen kurzen Blick auf ein paar andere häufig vorkommende Schaltungen mit „normalen“ Dioden.

Das Schaltbild-Symbol auf der rechten Seite von **Bild 5** ist ein Operationsverstärker oder kurz Opamp. Auf diese werden wir später in dieser Reihe noch ausführlich eingehen. Für den Moment müssen wir nur wissen, dass Operationsverstärker versagen oder sogar zerstört werden, wenn die angelegten Eingangsspannungen (erheblich) höher als die positive oder niedriger als die negative Versorgungsspannung sind. Um solche Missgeschicke zu verhindern, können wir Dioden vom Eingang zu den positiven und negativen Stromversorgungsschienen schalten (wie in Bild 5 dargestellt), die dann zu große Eingangsspannungen in die Stromversorgung ableiten.

Bei dieser Schaltung ist es wichtig, dass der Strom durch die Dioden von einem Vorwiderstand (links in Bild 5) begrenzt wird. Die Schaltung in Bild 5 ist für eine asymmetrische Versorgungsspannung

geeignet, bei einer symmetrischen Versorgung des Opamps wird die Anode der unteren Diode nicht mit Masse, sondern mit der negativen Versorgungsspannung verbunden.

In der Bühnentechnik werden Mischpulte in der Regel von zwei Netzteilen versorgt. Fällt eines aus, steht ein zweites bereit, um die Stromversorgung zu übernehmen - the show must go on! Diese Netzteile können an verschiedene, separat abgesicherte Stromkreise des Stromnetzes angeschlossen sein.

Nun ist es keine besonders gute Idee, zwei Gleichspannungsquellen „so einfach“ parallel zu schalten; es ist notwendig, dies über Dioden zu tun. Die Quelle mit der höheren Spannung liefert den Strom für die Last, während die andere Spannungsquelle (die Ersatzversorgung) nicht belastet wird. Wenn beide Stromversorgungen in Betrieb sind und die gleiche Spannung liefern (was der Fall sein sollte - schließlich sind sie geregelt und gleichen unterschiedliche Eingangsspannungen aus), dann wird der von der Last benötigte Gesamtstrom einigermaßen gleichmäßig auf die beiden Netzteile aufgeteilt.

Stromversorgungsschaltungen für Mischpulte liefern in der Regel

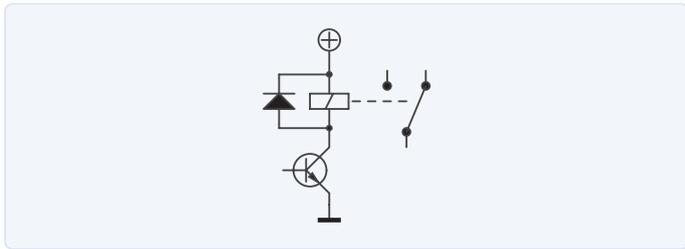


Bild 7. Freilaufdiode an einer Relaisspule.

mehrere verschiedene Spannungen, von denen jede mit einem eigenen Diodennetzwerk kombiniert werden muss (wie in **Bild 6** dargestellt).

Eine Induktivität erzeugt beim Abschalten des Stroms eine Spannungsspitze, die leicht einen Wert von einigen hundert Volt erreichen kann - und das ist mehr als ausreichend, um Halbleitern den Garaus zu machen. Die Polarität dieser Spannungsspitze ist der normalen Versorgungsspannung entgegengesetzt, so dass wir sie problemlos mit einer so genannten Freilaufdiode kurzschließen können.

In **Bild 7** ist die Induktivität die Spule eines Relais, das Bauteil unten ist der Transistor, der das Relais ein- und ausschaltet. Dieser Transistor wird durch die Freilaufdiode vor zu hohen Spannungen geschützt.

Die Z-Diode

Wenn eine gewöhnliche Diode in umgekehrter Richtung verwendet wird, beginnt sie oberhalb der maximal zulässigen Durchbruchspannung zu leiten (und gibt im Allgemeinen den Geist auf). Die Spannung, bei der eine normale Diode durchbricht, beträgt typischerweise einige hundert Volt und variiert von Typ zu Typ stark.

Eine Zener-Diode hingegen hat eine genau bestimmte Durchbruchspannung, die (normalerweise) irgendwo zwischen 1 V und 100 V liegt. Aufgrund dieser Eigenschaft eignet sich eine Z-Diode für die Begrenzung höherer Spannungen, ... doch halt, zunächst eine Erläuterung: In Elektor wird eine Zenerdiode traditionell Z-Diode genannt. Das ist zwar unüblich, aber richtig, denn der Durchbruch einer solchen Diode lässt sich auf zwei verschiedene, aber täuschend ähnliche Effekte zurückführen. Der Zenereffekt findet nur bei Spannungen unter etwa 3 V statt, darüber kommt der Lawinen- oder englisch Avalanche-Effekt zum Tragen. Da Z-Dioden unter 3 V in der Praxis fast nie vorkommen, sollten Zenerdioden besser Avalanche-Dioden genannt werden – oder Z-Dioden, was beide Effekte zusammenfassen soll.

Im Vergleich zu einer gewöhnlichen Diode fällt eine Z-Diode nicht aus, wenn sie beginnt, in umgekehrter Richtung zu leiten. Natürlich muss der Strom, der in dieser umgekehrten Richtung fließt, auf einen vernünftigen Wert begrenzt werden. Eine Z-Diode muss deshalb immer - wie in **Bild 8** - in Kombination mit einem Vorwiderstand verwendet werden.

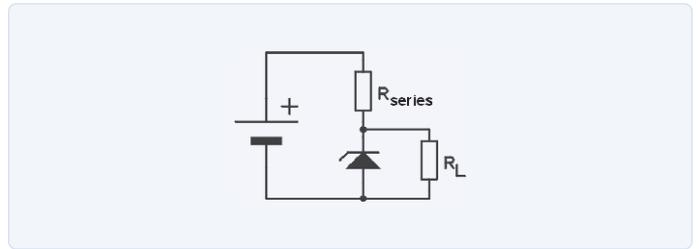


Bild 8. Grundlegende Anwendung einer Z-Diode.

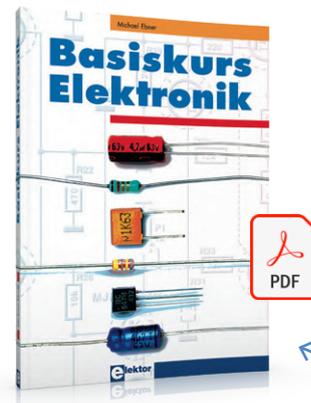
Das war es für heute; in der nächsten Folge geht es weiter mit der Z-Diode und einigen anderen interessanten Angehörigen der großen Familie der Dioden. ◀

220256-02

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

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel? Senden Sie eine E-Mail an die Elektor-Redaktion über redaktion@elektor.de.



PASSENDE PRODUKTE

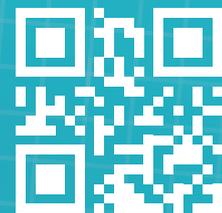
- > **Ebner, Michael, „Basiskurs Elektronik“**
www.elektor.de/basiskurs-elektronik-pdf
- > **B. Kainka, Elektronik-Grundlagen und Einsteiger-Projekte (E-Book), Elektor 2020**
www.elektor.de/elektronik-grundlagen-und-einsteiger-projekte-pdf

MagPi, das offizielle Raspberry Pi Magazin



12 Monate
100+ Projekte
1 Preis
54,95 €

- ✓ 6 X MAGPI :
GEDRUCKTE
AUSGABE
- ✓ ZUGANG ZUM
MAGPI ONLINE-
ARCHIV



JETZT BESTELLEN AUF
WWW.MAGPI.DE/ABO

Von Entwicklern für Entwickler

Tipps & Tricks, Best Practices und andere nützliche Infos

Aus dem Leben gegriffen

Nebenbeschäftigungen

Von Ilse Joostens (Belgien)

Wenn man beruflich mit Elektronik zu tun hat und auch den Schritt zur Produktentwicklung machen möchte, dann muss man ein Tausendsassa sein. Während für viele Elektronik-Enthusiasten der Fokus hauptsächlich auf der Elektronik selbst liegt, sehe ich Elektronik eher als Teil eines größeren Ganzen und als Mittel, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Ein eher ganzheitlicher Ansatz also.

Im Laufe der Jahre bin ich mit verschiedenen Technologien und Fachgebieten in Berührung gekommen und hatte unzählige interessante Begegnungen. Natürlich gab es darunter auch einige exzentrische Personen, und hin und wieder kamen spannende oder sogar esoterische Themen zur Sprache. E-Mails zu unchristlichen Zeiten über die Allotrope des Plutoniums zu schreiben, ist nichts, was den Normalsterblichen beschäftigt, um ein Beispiel

zu nennen. Bei mehr als einer Gelegenheit erwies sich ein wenig Wissen über Elektronik als äußerst nützlich, besonders in Disziplinen, die nicht unmittelbar mit Elektronik zu tun haben, und damit schließt sich der Kreis. Habe ich nicht gerade gesagt, dass alles mit allem zusammenhängt?

Radioactive Man

So kam es, dass die Elektor-Redaktion vor etwa einem Jahr einen dicken Leserbrief erhielt, der sich auf den im Januar 2020 veröffentlichten Artikel über das erweiterbare System zur Umweltüberwachung [1] bezog. Obwohl die Korrespondenz mit dem Verfasser des Briefes zunächst recht steif verlief, lernten wir uns in den folgenden Monaten besser kennen. Der Mann entpuppte sich nicht nur als pensionierter Luftfahrtingenieur, sondern auch als Abkömmling einer alten Adelsfamilie. Sein Vater war Kernphysiker und hatte nicht nur eine Reihe von Patenten, sondern in den 40er Jahren auch zu einer Doktorarbeit über „das Element mit Alphastrahlung mit einer Reichweite von 1,8 cm“ beigetragen - Plutonium also, für den aufmerksamen Leser. Auf der letzten Seite der Dissertation war eine Zeichnung einer Erfindung zu sehen, die teilweise aus Asbest gebaut war, um das betreffende „Element“ chemisch zu konzentrieren. Nun, Asbest und Plutonium, was könnte da schon schiefgehen? Das waren halt noch sorglose Zeiten, und im Vergleich dazu sind die Chemikalien auf der europäischen REACH SVHC-Liste [2] eher etwas für Weicheier. Wir tauschten einige E-Mails zu nuklea-

ren Themen aus, und so kam ich auf die Idee, die Rezeption eines Universitätsklinikums ab und zu mit einem kleinen Szintillationszähler zu überwachen. Fast jedes Mal traf ich auf radioaktive Patienten, und aus dem Gammaskpektrum ließ sich oft ablesen, welche Behandlung oder Untersuchung sie hinter sich hatten. Zum Beispiel die 511-keV-Emissionslinie (Positronenannihilation) aus einem PET-Scan. Welche ärztliche Schweigepflicht? Jedes Mal musste ich unwillkürlich an den Comic-Helden *Radioactive Man* von Morty Mann denken, und ich fragte mich, ob die Leute am Empfang und das Personal in der Cafeteria nicht versehentlich eine höhere Dosis als den für die Allgemeinheit geltenden Grenzwert von 1 mSv/Jahr erhielten.

Ein Szintillationszähler [3] ist etwas ganz anderes als das klassische Geiger-Müller-Zählrohr und reagiert nicht nur viel empfindlicher auf Gammastrahlung, sondern auch viel schneller. Leider kommen die kleineren Dosimeter mit Szintillationskristall hauptsächlich aus dem Land, das derzeit als nicht so freundlich gilt. Glücklicherweise kann man Silicium-Photomultiplier-Chips (SiPM) zu sehr günstigen Preisen bei allen bekannten Elektronik-Großhändlern kaufen, und mir juckt es schon in den Fingern, selbst etwas zusammenzuschustern. Ein Hindernis ist, dass ich nicht weiß, wo ich kleine und vor allem bezahlbare Szintillationskristalle in ausreichenden Mengen bekommen kann. Ich werde also vorerst weiter im Stillen träumen.

Psychotronik

Mein (nicht so radio-aktiver) Vater hatte früher eine analoge Spiegelreflexkamera, und ich muss gestehen, dass ich mich in jüngeren Jahren viel mehr mit Fotografie als Hobby beschäftigt habe als mit Elektronik. Auch jetzt fotografiere ich noch viel und das ist sehr praktisch, denn professionelle Produktfotos meiner elektronischen Kreationen verbessern einfach deren Verkauf. Umgekehrt gibt es unzählige Anwendungen von Elektronik in der Fotografie, und offenbar kann man mit Hochspannung fantastische Fotos machen. Deshalb habe ich mir das Buch *Psychotronica* von Matthijs van der Veer besorgt und werde mich ein wenig mit der Kirlianfotografie beschäftigen. Nur um das klarzustellen: Mir geht es einzig um die Herstellung schöner Fotos und nicht um die schwammigen Thesen, die in diesem Buch ebenfalls ausführlich behandelt werden. Der Amerikaner Gordon Kirkwood macht übrigens großartige Fotos mit einem Marx-Generator [4], und ich zittere vor Aufregung bei dem Gedanken, so etwas selbst zu versuchen. Ich befürchte aber, dass meine Nachbarn das ganze Geknalle und die Lichtblitze nicht sehr schätzen werden.

Hochspannung verwende ich bereits für die Holzbearbeitung, für die ich eine Maschine mit einem Zeilentransformator und

ZVS-Hochspannungsgenerator gebaut habe, mit der ich sicher Lichtenberg-Figuren in Holz brennen kann (**Bild 1**) [5], und bei all der Fotografie habe ich mich auch ein wenig mit dem Sublimations- oder Transferdruck für Wanddekorationen und natürlich bedruckbare Utensilien wie Untersetzer und Tassen beschäftigt. Jedes Mal, wenn ich Aluminiumplatten im Sublimationsdruckverfahren bedrucke, denke ich, dass dies eine fantastische Methode zur Herstellung von Frontplatten für Elektronikprojekte ist. Fräsen Sie vor dem Sublimationsdruck die Löcher und Aussparungen mit einer CNC-Fräse, und die Sache ist erledigt!



Bild 1: Lichtenberg-Generator (Foto: Ilse Joostens).

Krempeln Sie die Ärmel hoch!

Das Leben eines Elektronikliebhabers besteht aus mehr als nur Elektronik. Trauen Sie sich daher, neben der Elektronik mit verschiedenen „Nebenprodukten“ zu experimentieren und Ihrer Kreativität und Fantasie freien Lauf zu lassen. Denken Sie über den Tellerrand hinaus, wagen Sie es, die akzeptierten Werte und Regeln in Frage zu stellen, seien Sie ein wenig künstlerischer und wagen Sie es vor allem, verschiedene Technologien miteinander zu kombinieren. Das Endergebnis wird viel schöner und befriedigender sein als die x-te Schaltung auf einer Lochrasterplatine oder eine Platine, die herumliegt, aber nie in ein Gehäuse einziehen wird. Zögern Sie nicht, tun Sie es einfach! ◀

220294-02

WEBLINKS

- [1] Ilse Joostens, „Erweiterbares System zur Umweltüberwachung“, *Elektor* 1/2020: www.elektormagazine.de/magazine/elektor-138/56988
- [2] Wikipedia: Szintillationszähler: <https://de.wikipedia.org/wiki/Szintillationsz%C3%A4hler>
- [3] Gordon Kirkwood Photography: <http://gordonkirkwood.com/photography>
- [4] Lichtenberg-Figuren in Holz gebrannt: www.youtube.com/watch?v=xmZuidC5qUY

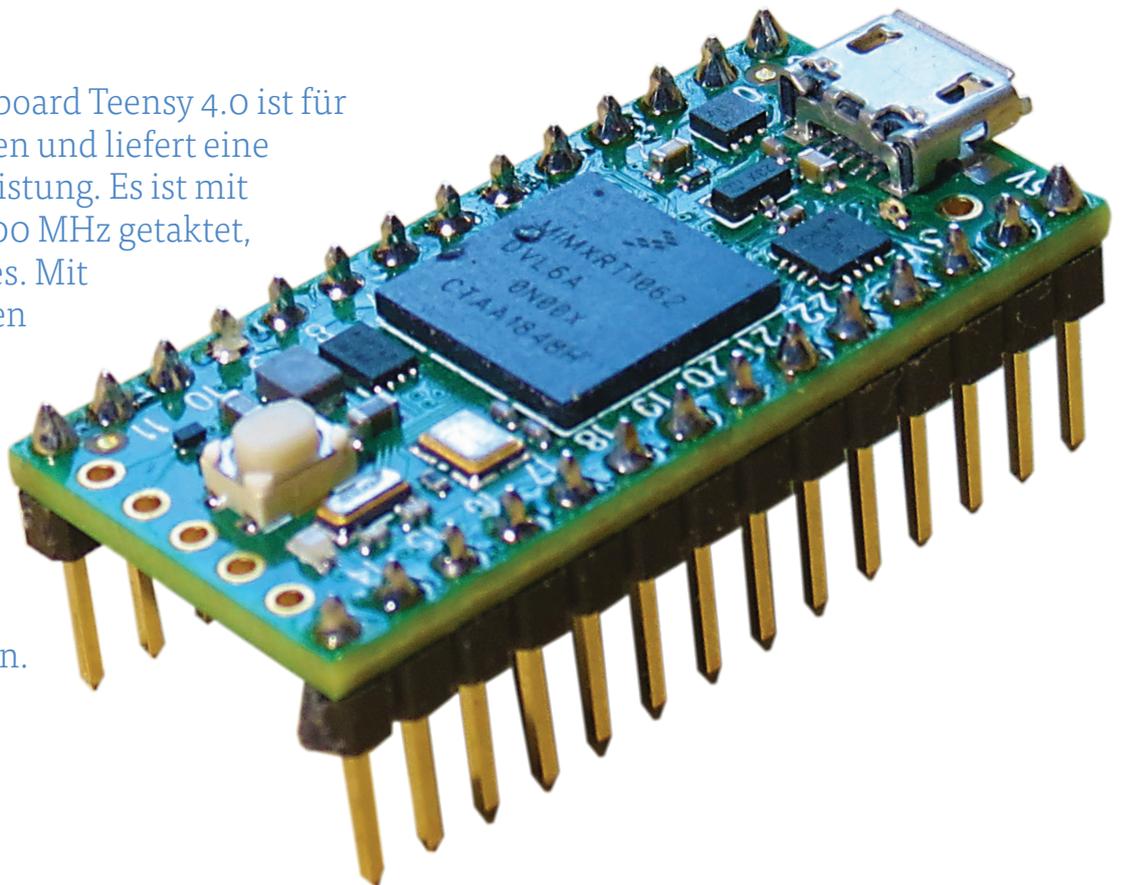
Teensy 4.0

- warum ist das Board so schnell?

Oder: Geschwindigkeit ist keine Hexerei!

Von Prof. Dr. Martin Oßmann

Das Mikrocontrollerboard Teensy 4.0 ist für circa 20 Euro zu haben und liefert eine außerordentliche Leistung. Es ist mit bemerkenswerten 600 MHz getaktet, aber das ist nicht alles. Mit einigen Experimenten wollen wir untersuchen, welche Eigenschaften und Maßnahmen zu der hohen Performance der Teensy-Boards führen.



Der eingesetzte Prozessor IMX-RT1062 von NXP ist eine ARM Cortex-M7 CPU, die von der Architektur her näher an PC-Prozessoren liegt als an AVR-Mikrocontrollern. Als Programmierumgebung verwenden wir Teensyduino, die weitgehend zu Arduino kompatibel ist. Teilweise programmieren wir in diesem Artikel aber auch mit C oder Inline-Assembler.

Pin toggeln

Als Erstes werden wir einfach einen Pin toggeln, und zwar so schnell wie möglich. Zum Aufwärmen und zum Vergleich machen wir das zuerst mit einem Arduino Nano, der mit 16 MHz getaktet

wird. Allein von der Taktrate her ist der Teensy 600 / 16 = 37,5 Mal so schnell. Um die LED an Pin 13 des Arduino zu toggeln, könnte man alles so wie in **Listing 1** programmieren.

Beabsichtigt war es, die LED jeweils für eine Mikrosekunde ein- und auszuschalten. Die LED ist allerdings für 3,5 µs an und für 3,9 µs aus. Das hat zwei Gründe. Zum einen benötigen die `digitalWrite()`-Befehle relativ viel Zeit (2,5 µs), zum anderen bearbeitet der Arduino zwischen den Aufrufen von Loop eigene Aufgaben, die etwa 0,4 µs beanspruchen. Um schneller zu toggeln kann und muss man wie in

Listing 2 hardware-nah programmieren. Mit diesem Programm dauert ein Schleifendurchlauf nur noch 2,66 µs, was bei einer Taktfrequenz von 16 MHz sechs Zyklen entspricht. Um zu erklären, wie diese 6 Zyklen entstehen, kann man sich das zugehörige Assembler-**Listing 3** ansehen. Die Schleife besteht aus drei Befehlen. Die Befehle `sbi` und `cbi` setzen beziehungsweise löschen das LED-Bit. Der `rjmp`-Befehl führt zur gewünschten unendlichen Schleife. In der Befehlsdokumentation des AVR-Controllers kann man die Befehlszeiten der einzelnen Befehle nachlesen. Jeder Befehl dauert zwei Taktzyklen, was zu dem beobachteten Timing führt.

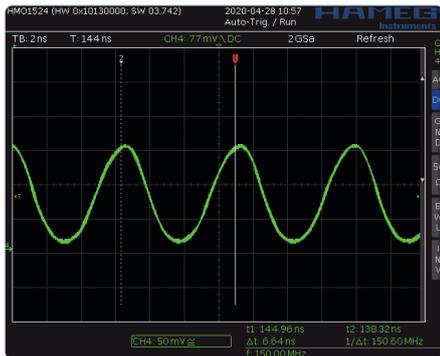


Bild 1. Pin-Toggle mit 150 MHz.

Schneller kann man das Toggeln nun kaum mehr programmieren, und wir werden sehen, welche Geschwindigkeit im Vergleich dazu ein Teensy 4.0 maximal erreicht.

Zuerst programmieren wir wieder im „Arduino-Style“ (**Listing 4**). Ein Zyklus der unendlichen Schleife dauert dann 135 ns. Das ist, verglichen mit dem Arduino, absolut gesehen zwar relativ schnell, aber die Zyklenzahl von 18 ist doch erheblich. Die Ausführung eines `digitalWrite` ist wiederum relativ langsam und auch der interne „Verlust“ zwischen den Aufrufen von `loop` scheint beträchtlich zu sein.

Wir programmieren das Ganze deswegen jetzt hardware-nah (**Listing 5**). Die Zykluszeit der `while`-Schleife dauert nun 6,66 ns, das sind vier Zyklen.

Die Spannung am LED-Ausgang sieht aus wie im Oszillogramm in **Bild 1**. Da das Signal eine Frequenz von 150 MHz besitzt, reizt es die Bandbreite des Oszilloskops voll aus und es sieht eher wie ein Sinus als wie ein Rechteck aus. Um die On- und Off-Zeit der LED genau zu messen, wurde deshalb der CPU-Takt auf 100 MHz reduziert. Die On-Time und die Off-Time der LED sind jeweils zwei Zyklen (entspricht 20 ns bei einem 100-MHz-Takt) lang.

Um zu erfahren, welche Befehle die CPU in dieser Schleife ausführt, schauen wir uns wieder das Assembler-**Listing 6** an. Die Schleife besteht (wie beim Arduino) aus drei Befehlen. Zwei Word-Store-Befehle (`str.w`) setzen beziehungsweise löschen das Bit 3. Die Schleife wird durch den Branch Befehl (`b.n`) geschlossen. Nun wäre es interessant zu wissen, wie viele Zyklen die einzelnen Befehle benötigen, doch die ARM-Dokumentation gibt diesbezüglich keine Auskunft. Und dies bewusst, denn die

Listing 1. Pin-Toggle im „Arduino Style“.

```
void setup() {
    pinMode(led, OUTPUT);
}

void loop() {
    digitalWrite(led, HIGH); //3.5 us high time
    delayMicroseconds(1);
    digitalWrite(led, LOW); // 3.9 us low time
    delayMicroseconds(1);
}
```

Listing 2. Pin-Toggle hardwarenah beim Arduino-AVR.

```
#define ledBit 5
#define ledDDR DDRB
#define ledPORT PORTB

void setup() {
    cli();
    ledDDR |= _BV(ledBit) ; set output
    while(1){ ; loop time 2.6648 MHz = 6 cycles
        ledPORT |= _BV(ledBit) ; 2 cycles on
        ledPORT &= ~_BV(ledBit); 4 cycles off
    }
}
```

Listing 3. Assembler-Listing für Pin-Toggle.

```
342: f8 94 cli ; cli();
344: 25 9a sbi 0x04, 5 ; ledDDR |= _BV(ledBit) ;
; while(1){ // 2.6648 MHz = 6 cycles
346: 2d 9a sbi 0x05, 5 ; ledPORT |= _BV(ledBit) ;
348: 2d 98 cbi 0x05, 5 ; ledPORT &= ~_BV(ledBit) ;
34a: fd cf rjmp .-6 ; jump to 0x346
```

Listing 4. Teensy-Programmierung im „Arduino Style“.

```
int led = 13;

void setup() {
    pinMode(led, OUTPUT);
}

void loop(){
    digitalWrite(led,1) ;
    digitalWrite(led,0) ;
}
```

Listing 5. Hardwarenahes Pin-Toggle auf dem Teensy.

```
void setup() {
    pinMode(13, OUTPUT);
    cli();
    while(1){ // cycleTime 150 MHz = 4 cycles
        CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK ; // on: 2 cycles
        CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK; // off 2 cycles
    }
}

void loop(){
}
```

Listing 6. Schnelles Toggeln als Assembler-Befehle.

```
8c: f8c2 3084 str.w r3, [r2, #132] ; set GPIO pin 13
90: f8c2 3088 str.w r3, [r2, #136] ; clear GPIO pin 13
94: e7fa b.n 8c <setup+0x10> ; branch endless loop
```

Listing 7. Längere Befehlssequenz.

```
void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
  cli();
  while(1){ // cycleTime 150 MHz = 4 cycles
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK ;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK ;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK ;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
    . . . jeweils ein set/clear Paar
  }
}
void loop(){
}
```

Listing 8. Endliche Toggle-Schleife.

```
while(1){
  for(int k=0 ; k<15 ; k++){
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
  }
  delay(100) ;
  Serial.println("test5\n") ;
}
```

Zyklanzahlen hängen von vielen Nebenbedingungen ab. Man sollte also eher die Gesamt-Performance betrachten. Wir sind aber hartnäckig und wollen es für dieses Beispiel trotzdem wissen. Es scheint so zu sein, dass eine Ausführung des str-Befehls hier zwei Zyklen kostet. Das kann man mit Listing 7 bestätigen.

Jedes zusätzliche set/clear-Paar ändert nichts an der Frequenz der Spannung an Pin 13. Das heißt, dass ein set/clear-Paar die Schleife um vier Zyklen verlängert. Im ursprünglichen Beispiel ergeben die beiden str-Befehle zusammen dann vier Zyklen, was die Gesamtdauer der While-Schleife ist. Für die Ausführung des Sprungbefehls scheint keine zusätzliche CPU-Zeit nötig zu sein. Das ist fürs erste erstaunlich, wir werden aber unten die Begründung dazu kennenlernen. Damit ist das Teensy-Board mit vier Zyklen tatsächlich noch schneller als der AVR mit sechs Zyklen. Wir wollen nun die Verwirrung noch etwas

steigern, indem wir die While-Schleife nach Listing 8 ausführen. Damit die Spannung am LED-Pin rechteckförmiger aussieht, lassen wir das Programm wieder mit einer Taktfrequenz von 100 MHz laufen. Das Programm toggelt den LED-Pin immer 15 Mal, macht dann eine Pause und gibt einen Text aus. Dann geht es von vorne los. Die Spannung am LED-Pin sieht dann aus wie in Bild 2. Erstaunlicherweise ist das Tastverhältnis zwischen On und Off nicht konstant. Am Anfang dauert die Schleife anscheinend manchmal länger und manchmal kürzer. Die Befehle haben anscheinend keine konstante Ausführungszeit. Gegen Ende ergibt sich eine Durchlaufzeit der Schleife von vier Zyklen, genau wie oben bei der unendlichen Schleife. Das ist umso erstaunlicher, enthält die Schleife jetzt doch einen Befehl mehr, nämlich k1--. Dieser scheint aber keine zusätzliche Zeit zu benötigen, so dass er die Durchlaufzeit der Schleife nicht beeinflusst.

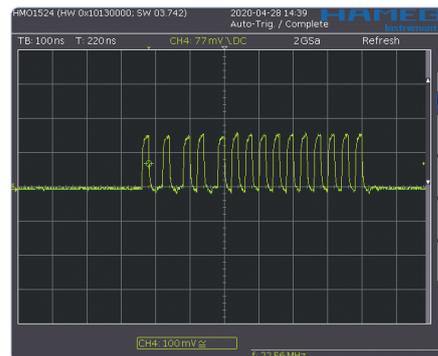


Bild 2. Der LED-Pin toggelt ungleichmäßig.

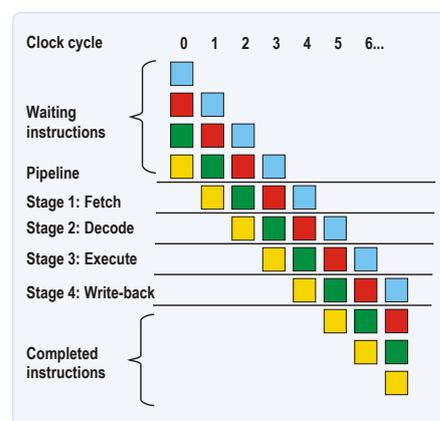


Bild 3. Vierstufige Pipeline.

Sprungvorhersage

Die sogenannte Sprungvorhersage mit spekulativer Befehlsausführung liefert eine erste Erklärung für die hohe Schleifengeschwindigkeit. Um das zu verstehen, muss man genau verstehen, wie eine CPU die Befehle ausführt. Eine erste Technik zur Steigerung der Geschwindigkeit ist der Einsatz von Instructions-Pipelines. In einer Pipeline befinden sich die Befehle, die gerade ausgeführt werden. Jeder Befehl wird in mehreren Stufen bearbeitet. Wenn zum Beispiel Befehl 1 die Stufe 4 ausführt, führt Befehl 2 gerade Stufe 3 aus, Befehl 3 Stufe 2 und Befehl 4 Stufe 1 (vierstufige Pipeline wie in Bild 3). Die Befehle gelangen aus dem Speicher in die Pipeline und die Leseinheit des Speichers muss dafür sorgen, dass die Pipeline immer gut gefüllt ist. Dazu holt sie immer die nächsten Befehle in die Pipeline. Nun gibt es Situationen, in denen die Inhalte der Pipeline „weggeschmissen“

werden müssen, weil sie falsch sind. Das ist zum Beispiel bei (bedingten) Sprüngen der Fall, wenn der lineare Befehlsablauf verlassen wird. Ein solcher so genannter *pipeline-stall* kann sich auch ergeben, wenn die Stufen einer Pipeline von einem Resultat abhängen, das eine andere Stufe erst berechnen muss. Damit bei bedingten Sprüngen die Pipeline korrekt gefüllt wird, müsste die CPU wissen, ob ein Sprung ausgeführt wird oder nicht. Das kann sie zwar nicht sicher wissen, aber die CPU kann versuchen, dies vorherzusagen. In unserem Beispiel (**Listing 9**) wird der Sprung 14 Mal ausgeführt und einmal nicht. Die CPU beobachtet nun bei den ersten Schleifendurchläufen, was der Sprung macht. Dabei merkt die CPU, dass der Sprung zunächst immer ausgeführt wird, und geht deshalb davon aus, dass auch der nächste Sprung immer ausgeführt wird.

Die Pipeline wird also nach dem Sprungbefehl immer mit den str-Befehlen geladen. Dann hat die CPU am Anfang immer Recht, aber nicht am Ende, wo ein Stall passiert. Diese Technik nennt man Sprungvorhersage mit spekulativer Befehlsausführung. Da die Pipeline meistens richtig gefüllt wird, kostet der Sprungbefehl sozusagen keine CPU-Zeit mehr. Wir haben damit das Verhalten des Programms nach Listing 9 erklärt. Am Anfang stimmt die Sprungvorhersage noch nicht, am Ende führt sie zu der extrem schnellen Schleifenausführung. Andererseits ist eine zyklengenaue Berechnung der Ausführungszeit eines Codestücks bei einer Sprungvorhersage sehr schwer, weil das Verhalten der Vorhersage von vielen Dingen abhängt. Hier wird schon klar, warum bei ARM-Prozessoren vom Typ M7 keine Zykluszeiten einzelner Befehle angegeben werden. Eine gute Sprungvorhersage ist ein entscheidendes Architekturmerkmal von Hochleistungs-CPU's. Da die modernen CPU's oft relativ umfangreiche Pipelines haben, ist ein Stall ziemlich „teuer“ und eine korrekte Sprungvorhersage essentiell. Heutige *branch-predictors* erreichen eine Trefferrate von über 98%! Kleinere Prozessoren und Mikrocontroller (zum Beispiel AVR-Controller) verfügen oft nicht über eine Sprungvorhersage, während eine Pipeline sozusagen zum Standard gehört.

Als Nächstes wollen wir uns das Timing von etwas komplizierteren Codestücken ansehen. Unser erstes Programm berechnet in einer Schleife ein Skalarprodukt

Listing 9. Assemblercode der endlichen Toggle-Schleife.

```
ca: 230f      movs     r3, #15           ; k1=15
cc: 3b01      subs     r3, #1           ; k1--
ce: f8c5 4084 str.w    r4, [r5, #132]      ; set pin 13
d2: f8c5 4088 str.w    r4, [r5, #136]      ; clear pin 13
d6: d1f9      bne.n   cc <test5()+0x10> ; if !=0 springe nach cc
```

Listing 10. Skalarprodukt als Testsequenz.

```
cyclesStart = ARM_DWT_CYCCNT ;
skp=0 ;
for(int k=0 ; k<nn ; k++){
    CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK;
    skp += x[k]*y[k] ;
    CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;
}
cyclesStop = ARM_DWT_CYCCNT ;
```

Listing 11. Assembler-Listing für das Skalarprodukt.

```
for(int k=0 ; k<nn ; k++){
a0: ecf3 6a01 vldmia   r3!,           ; x[k1++]
a4: ecb1 7a01 vldmia   r1!,           ; y[k2++]
a8: 42a3      cmp      r3, r4             ; k1==1000 ?
aa: f8c2 0084 str.w    r0, [r2, #132] ; set pin 13
ae: eee6 7a87 vdma.f32 s15, s13, s14 ; skp += x[k]*y[k] ;
b2: f8c2 0088 str.w    r0, [r2, #136] ; clear pin13
b6: d1f3      bne.n   a0                  ; branch on not equal
```

Listing 12. Addition von 100 Funktionswerten.

```
int NN=100 ;
CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK;
sum=0 ;
for(int k=0 ; k<NN ; k++){
    sum += fun1(k) ;
}
CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK;

int fun1(int x){
    return 100*x+x*x+32 ;
}
```

(**Listing 10**). Die eigentliche Berechnung geschieht durch das Statement `skp += x[k]*y[k]` ;. Vor diesem Statement setzen wir den LED-Pin 13. Danach setzen wir den Pin wieder zurück. Die On-Time von Pin 13 sollte also genau die Ausführungszeit unseres Test-Statements sein.

Erstaunlicherweise messen wir aber, dass die On-Time gerade einmal zwei Zyklen lang ist. Diese Zeit wird aber alleine für das Setzen des GPIO-Pins benötigt, so dass für unser Test-Statement nichts mehr übrig bleibt. Irgendetwas muss da anders ablaufen,

als wir denken.

Um der Ursache auf den Grund zu gehen schauen wir uns wieder das zugehörige Assemblerlisting an (**Listing 11**).

Interessanterweise befindet sich zwischen den Port-Befehlen nur eine einzige Instruktion. Die Variablenzugriffe `x[k1++]` und `y[k2++]` hat der Compiler vor den Port-set-Befehl geschoben. Wir können also durch Zeitmessung des LED-Signals nicht das uns interessierende Timing messen. Der Compiler erzeugt halt nicht immer den Code, den wir uns denken. Mitunter werden

Listing 13. Assemblercode der Additionsschleife.

```
1ea: f8c6 3084 str.w r3, [r6, #132] ; set pin13
1ee: 4602 mov r2, r0
1f0: f8c5 9000 str.w r9, [r5]
1f4: f8c6 3088 str.w r3, [r6, #136] ; clear pin13
```

Listing 14. Komplexere Schleife.

```
void loop(){
    int xx=42 ;
    int nn=256 ;
    int k ;
    int m=0 ;
    int vv=0 ;
    while(1){ // 5 cycles, 9 cycles if dualIssueDisabled
        cyclesStart = ARM_DWT_CYCCNT ;
        for( k=0 ; k<nn ; k++){
            CORE_PIN13_PORTSET = CORE_PIN13_BITMASK; // led-1
            CORE_PIN13_PORTCLEAR = CORE_PIN13_BITMASK; // led-2
            xx *= 105529 ;
            vv += m & 0x1234 ;
            m +=17 ;
        }
        cyclesStop = ARM_DWT_CYCCNT ;
        ...
    }
}
```

Listing 15. Assemblercode zu Listing 14.

```
// r9=105529 ; r3=m ; r5=vv ; r6=xx
1d8: f241 2234 movw r2, #4660 ; r2=0x1234
1dc: f8c8 7084 str.w r7, [r8, #132] ; set pin 13
1e0: fb09 f606 mul.w r6, r9, r6 ; xx *= 105529 ;
1e4: 401a ands r2, r3 ; r2= m & 0x1234 ; r2=1234h r3=m
1e6: 3311 adds r3, #17 ; m +=17 ;
1e8: f8c8 7088 str.w r7, [r8, #136] ; clear pin 13
1ec: 4299 cmp r1, r3 ; abbruchbedingung r1 <> m
1ee: 4415 add r5, r2 ; r5 += m & 0x1234 ; r5=vv
1f0: d1f2 bne.n 1d8 <loop+0x1c> ; loop weitermachen
```

Listing 16. Dynamisch allozierter Speicher im RAM2-Bereich des Teensy.

```
uint8_t *RAM2buffer ;
RAM2buffer=(uint8_t *)malloc(NN) ;
cyclesStart = ARM_DWT_CYCCNT ;
int sum=0 ;
for(int k=0 ; k<NN ; k++){
    sum += RAM2buffer[k] ;
}
cyclesStop = ARM_DWT_CYCCNT ;
```

auch Statements umgeordnet, wenn das im C-Sinne korrekt ist und eine höhere Performance liefert. Bei der Zeitmessung muss man sich also vergewissern, dass der Compiler keine unerwünschten Umordnungen oder ähnliches vorgenommen hat.

Man kann übrigens die insgesamt vergangenen Zyklen in der Variablen `ARM_DWT_CYCCNT` einsehen und damit das Timing messen. In unserem Beispiel messe ich so

die Gesamtzeit für die Schleife (0...1000). Die erhaltene Zykluszahl/1000 ist dann die Zykluszahl pro Schleife. In diesem Fall ist die Schleife sieben Zyklen lang. Als Nächstes wollen wir die Gesamtzeit messen, die zur Ausführung der Schleife ($k = 0 \dots 100$) im Programm gemäß **Listing 12** gebraucht wird. Dazu haben wir vor und hinter die Schleife wieder Portset-Befehle positioniert. In der Schleife werden die Funktionswerte

`fun1(k)` summiert.

Erstaunlicherweise messen wir für die gesamte Schleife eine Zeit von 5 ns (entspricht 3 Zyklen). Das kann aber nicht sein. Aufklärung liefert wieder der Blick ins Assembler-**Listing 13**.

Compiler optimiert

Zwischen die beiden Port-set-Befehle hat der Compiler nur zwei einfache Statements positioniert, und keine ganze Schleife. Die Schleife findet sich nirgendwo im Assemblercode wieder. Wenn man das genauer analysiert, stellt man fest, dass der Compiler die Schleife eliminiert hat. Sie wurde ersetzt durch die Zuweisung `sum=826550 (= 0x000C9CB6H)`. Der Compiler hat den Wert im Voraus berechnet und damit 100 Schleifendurchläufe durch eine Zuweisung ersetzt. Das zeigt, dass optimierende Compiler inzwischen auch relativ komplexen Code wirksam optimieren können. Der ausgeführte Code kann sich also punktuell vom Quellcode unterscheiden. Auch hier muss man bei der Zeitmessung sorgfältig vorgehen, damit man nicht Äpfel mit Birnen vergleicht.

Nun lassen wir die in **Listing 14** dargestellte Schleife laufen. Pro Schleifendurchlauf benötigt das Teensy-Board fünf Zyklen. Das erscheint relativ kurz. Wir schauen uns daher wieder das Assembler-**Listing 15** an. Dort sehen wir, dass die Schleife neun Instruktionen lang ist. Das Teensy-Board schafft die neun Instruktionen in fünf Zyklen, was erst einmal erstaunlich wirkt. Diese Eigenschaft wird dadurch erreicht, dass es sich beim Teensy-Prozessor um eine „superskalare CPU mit dual issue“ handelt. Bei einer superskalaren CPU sind eine Reihe funktioneller Einheiten (Addierer,...) mehrfach vorhanden, so dass die CPU mehrere Teilaufgaben von mehreren Instruktionen gleichzeitig bearbeiten kann. „Dual issue“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass aus dem ersten Teil der FIFO zwei Instruktionen gleichzeitig an die superskalaren Einheiten übergeben werden.

Die Pipeline sieht damit aus wie in **Bild 4**. Aus der Issue-Einheit können gleichzeitig zwei Instruktionen in die nachfolgenden Einheiten gelangen. Schalten wir die „dual issue“ Technik aus, braucht unsere obige Schleife neun Zyklen für neun Instruktionen, was fast doppelt so lange ist wie mit „dual issue“. Das Beispiel zeigt, wie erfolgreich und wichtig solche Optimierungstechniken sind.

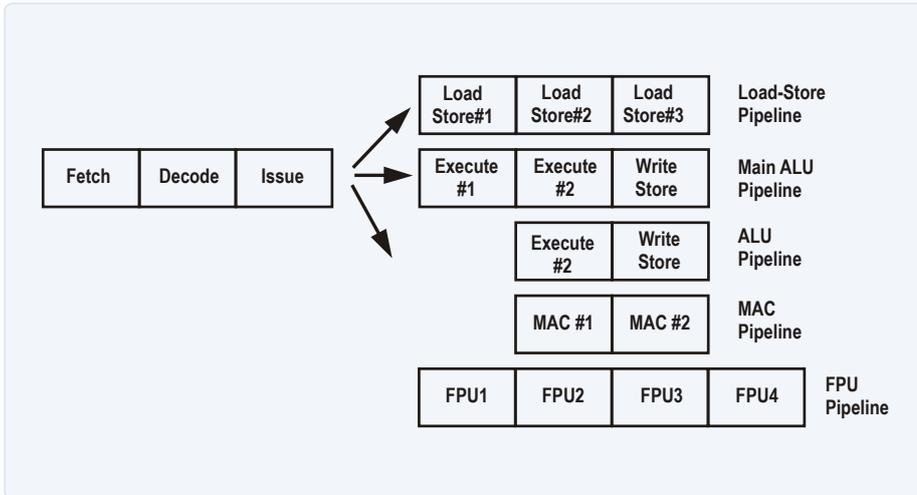


Bild 4. Dual-issue-Pipeline.

Jetzt werden wir einmal die Performance bei einer realistischen Anwendung untersuchen, nämlich der schnellen Fourier-Transformation FFT. Zuerst nehmen wir eine 128-Punkte-FFT. Auf dem Arduino dauert diese Routine etwa 50 ms, auf dem Teensy 4.0 nur 23 μ s. Das ist um den Faktor 50000 μ s / 23 μ s = 2200 Mal schneller! Davon verursacht die Taktrate nur einen Faktor von 600 MHz / 16 MHz = 37, der verbleibende Faktor 2200 / 37 = 60 wird von der beim Teensy vorhandenen Floating Point Unit und anderen Architektur-Eigenschaften verursacht. Da man die verschiedenen Architektur-Tricks (Sprungvorhersage, Dual Issue,...) auch ausschalten kann, lässt sich noch genauer bestimmen, wie viel Einfluss diese haben.

Die Sprungvorhersage bringt eine Beschleunigung um 21 %, das Dual-Issue-Konzept 41 %. Das zeigt, dass relativ häufig zwei Instruktionen superskalar bearbeitet werden. Der Instruction Cache bringt in unserem Beispiel keine Beschleunigung. Das liegt aber daran, dass der Code im schnellen Speicher liegt. Legt man den Code ins Flash-Memory und schaltet das Caching aus, so ist die Routine um den Faktor 7 langsamer. Wenn Code im Flash liegt, bringt der Instruction Cache also den Faktor 7. Da die Daten aber im schnellen RAM liegen, bringt der Daten-Cache keine zusätzliche Verbesserung. Dynamisch per `malloc()` allokierte Speicherbereiche liegen in einem langsameren Speicherbereich (RAM2). Benutzt man Daten dort und schaltet den Cache ab, wird das Programm (Listing 16) um den Faktor 7 langsamer, weil RAM2 von einem langsameren Bus versorgt wird.

KONZEPTE IN DER IMXRT1062-CPU

- › Hohe Taktrate
- › Optimierender Compiler
- › spekulative Befehlsausführung
- › Sprungvorhersage
- › RISC Struktur
- › Pipeline
- › superskalare Architektur
- › dual Issue
- › Instruction Cache
- › Data Cache
- › Floating Point Unit

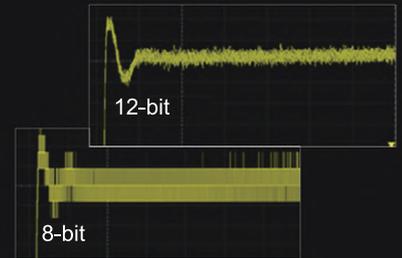
Damit beenden wir unsere Rundreise durch die Konzepte zur Performance-Steigerung. Im **Textkasten** sind die beim Teensy umgesetzten Konzepte noch einmal aufgelistet. Vielleicht untersucht einmal jemand das Gleiche für den Raspberry Pi, dessen neue Varianten ja mit 1,5 GHz getaktet werden. Es gibt noch einige Konzepte wie *out of order execution*, *Paging memory management unit*, *L2- und L3-Caches*, *simultaneous multithreading* oder *register renaming*, die man in PC-artigen CPUs findet, um eine weitere Leistungssteigerung zu erreichen. ◀

200190-01

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Gerne können Sie sich an den Autor des Artikels wenden unter der E-Mail-Adresse ossmann@fh-aachen.de.

16x höhere Auflösung



SDS2000X HD

12-bit Oszilloskop



- ♦ Höhere Genauigkeit
- ♦ Mehr Details
- ♦ Mehr Dynamik
- ♦ Weniger Rauschen

SIGLENT[®]

www.siglenteu.com
Info-eu@siglent.com

Simulation von Audio-Leistungsverstärkern mit **TINA**

Der „Try-Before-You-Build“-Ansatz

Von **Dogan Ibrahim** (Großbritannien)

Die Elektor-Sommerschaltungen (siehe letzte Ausgabe) sind traditionell kleine Projekte, die immer auch zum Experimentieren und Verbessern einladen. Während Sie die meisten Schaltungen mit dem Lötcolben oder auf einem Breadboard zusammensetzen und an einem Sonntagnachmittag testen können, sollten Sie bei gewissen Schaltungen doch eine vorherige virtuelle Simulation in Betracht ziehen. Hier zeigen wir, wie man mit TINA oder TINACloud eine einfache Audioendstufe besser verstehen, testen und analysieren kann, ohne das Risiko von Lötdämpfen, Rauch oder durchgebrannten Sicherungen (oder gar teuren Bauteilen) einzugehen.

Audio-Leistungsverstärker sind im Wesentlichen die Endstufen von Audio-Verstärkern. Sie sind darauf ausgelegt, die Leistung P möglichst originalgetreu zu verstärken. Im Gegensatz dazu ist ein Spannungsverstärker auf eine optimale und maximale Verstärkung der Spannung U ausgelegt. Die Ausgänge von Audio-Leistungsverstärkern werden in der Regel mit Lautsprechern verbunden. **Tabelle 1** zeigt die Hauptunterschiede zwischen einem Spannungsverstärker und einem Leistungsverstärker.

Audio-Leistungsverstärker gibt es in verschiedenen Konfigurationen, die üblicherweise als Klasse A, Klasse B, Klasse AB, Klasse C und so weiter bezeichnet werden und speziell dafür ausgelegt sind:

Klasse A: Hier liegt der Arbeitspunkt des Transistors nahe der Mitte der Versorgungsspannung. Der Transistor ist während des gesamten 360°-Phasenzyklus des Audiosignals leitend. Der Hauptvorteil der Klasse-A-Verstärkung ist, dass das Ausgangssignal praktisch verzerrungsfrei ist. Dies erkauft man sich mit einem schlechten Wirkungsgrad der Schaltung.

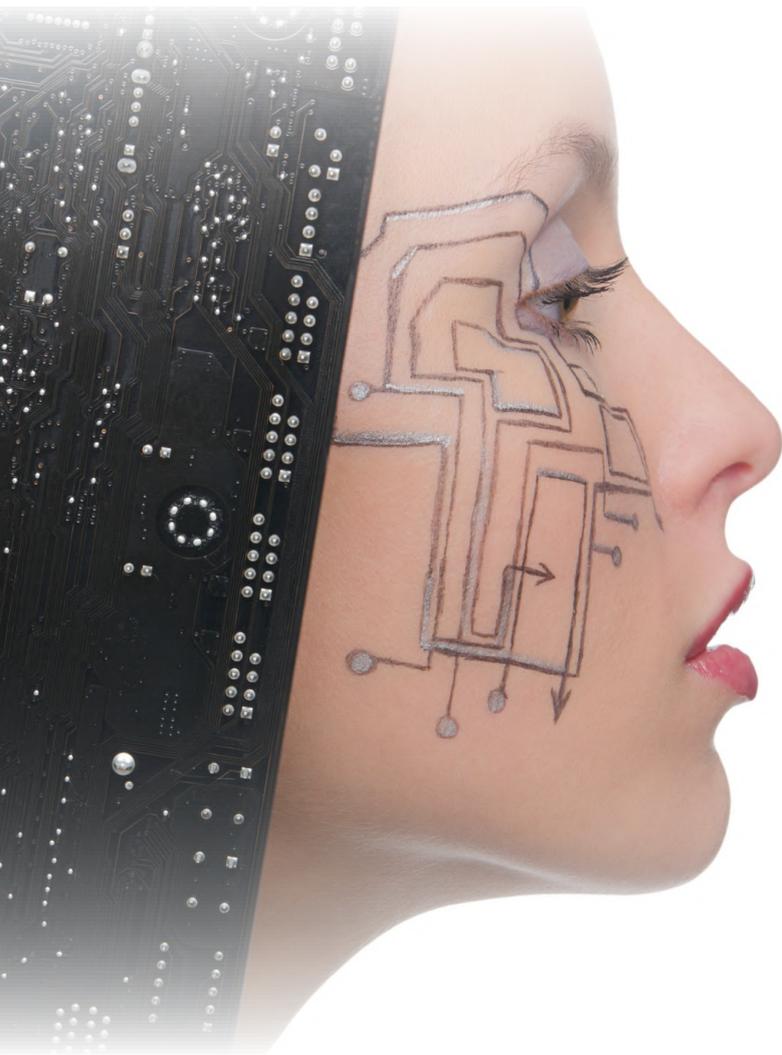


Tabelle 1. Unterschiede zwischen Spannungs- und Leistungsverstärkern.

Parameter	Spannungsverstärker	Leistungsverstärker
Kopplung	Normalerweise R-C	Normalerweise Transformator
Eingangsspannung	Einige Millivolt	Normalerweise 2...4 V
Kollektorstrom	Einige Milliampere	Mehr als 100 mA
Lastwiderstand	Einige Kiloohm	4...20 Ω
β	Mehr als 100	4...30
Spannungsverstärkung	hoch	niedrig
Ausgangsleistung	niedrig	hoch

Klasse B: Bei der Klasse-B-Verstärkung werden zwei Transistoren verwendet, deren Arbeitspunkte am Cut-Off-Punkt liegen. Dies hat zur Folge, dass ein Transistor das Signal eine Hälfte der Audiowelle verstärkt und der andere Transistor die anderen Hälfte. Aufgrund der Cut-Off-Vorspannung ist der Ruhestrom gleich Null, wenn kein Eingangssignal anliegt, so dass in dieser Situation keine Leistung abgeführt wird. Die Klasse-B-Konfiguration leidet unter inhärenten Verzerrungen, insbesondere am Nulldurchgang des Eingangssignals.

Klasse AB: Diese Konfiguration ist ähnlich wie Klasse B, aber die Verzerrung wird durch Anlegen einer kleinen Vorspannung oberhalb der Durchlassspannungen der Transistoren verbessert. Die Klasse AB ist als Kompromiss zwischen Klasse A und Klasse B die am häufigsten verwendete Konfiguration bei Audio-Leistungsverstärkern.

Simulation eines Klasse-AB-Audio-Leistungsverstärkers

Bild 1 zeigt das Schaltbild eines typischen Klasse-AB-Verstärkers, der aus einem Paar komplementärer NPN- und PNP-Transistoren besteht. Der Schaltplan wurde für die Simulation mit TINA oder TINACloud erstellt. Vorausgesetzt, Sie haben TINA oder TINACloud installiert, können Sie den Schaltplan selbst zeichnen oder die Datei *sim14* aus dem Programm-Download [1] importieren. Wenn Sie auf dieser Webseite sind, sehen Sie zunächst das (E-) Buch des Autors und scrollen dann hinab zu *Downloads*. Klicken Sie dann auf *Software_Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (767,94 kB). Speichern Sie die Datei lokal, entpacken Sie sie, speichern Sie das Ergebnis in einem entsprechend benannten Ordner und suchen Sie dann die Simulationsdatei mit dem Namen *sim14*.

Ein virtueller 4- Ω -Lautsprecher wird an den Ausgang der Schaltung angeschlossen. Zwei virtuelle Strommeter werden angeschlossen, um den Strom (effektiv, oder RMS (root-mean-square), wie es in Englisch heißt) am Eingang beziehungsweise am Ausgang der Schaltung zu messen. Die verwendeten Komponenten - auch sie sind natürlich virtuell - sind in **Tabelle 2** aufgeführt.

Die Schaltung funktioniert wie folgt: Zwei Dioden versorgen die Transistoren mit einer Gleichstromvorspannung. T3 liefert den Strom durch diese Dioden. Die Ruheausgangsspannung ist auf etwa $V_{CC}/2$ eingestellt. T3 wirkt wie ein Kleinsignal-Emitter-Verstärker und -Puffer und steuert die Basen von T1 und T2. Bei der positiven Hälfte des Eingangssignals wird T1 angesteuert, während T2 sperrt. In ähnlicher Weise wird bei der negativen Hälfte des Eingangssignals T2 angesteuert, während T1 ausgeschaltet bleibt.

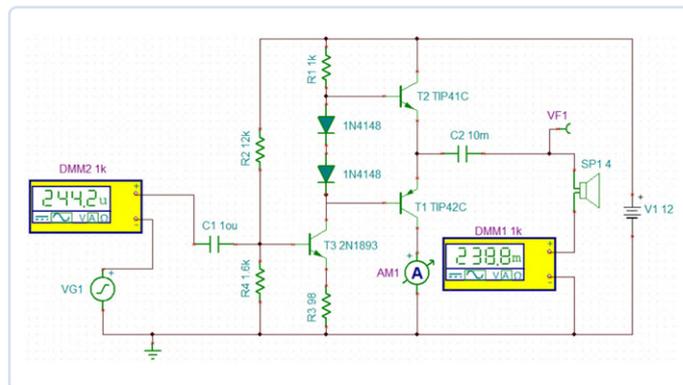


Bild 1. Ein von TINA generierter Schaltplan des Klasse-AB-Audio-Leistungsverstärkers.

Tabelle 2. Verwendete Komponenten für: sim14 – Class AB amplifier simulation

Komponente	Wert (TIN-Einheiten)
VG1	400 m Sinuswelle, f = 1k
C1	10 μ
C2	10 m
R1	1 k
R2	12 k
R3	98
R4	1k6
D1, D2	1N4148
T1	TIP41C (NPN)
T2	TIP42C (PNP)
SP1	4- Ω -Lautsprecher
V1	12-V-Batterie

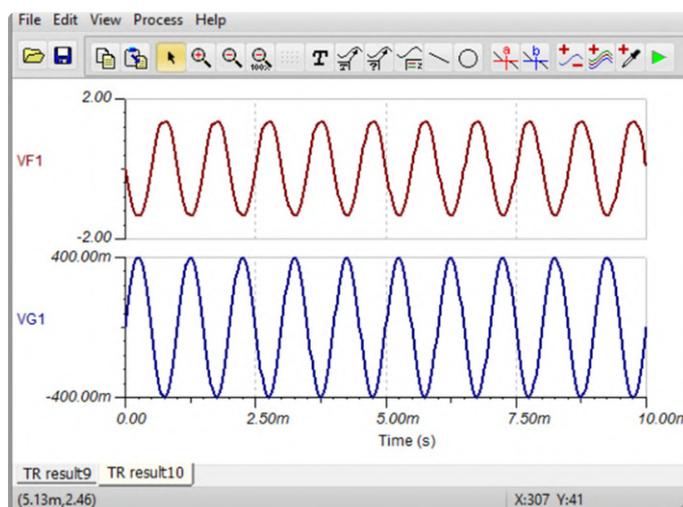


Bild 2. Eingangs- und Ausgangsspannungen auf dem virtuellen Dual-Trace-Oszilloskop von TINA.

Die TINA-Simulation

Schauen wir uns zunächst die Eingangs- und Ausgangswellenformen an. Klicken Sie auf *Analysis Transient*. Setzen Sie das *Start-* und *End-*Display auf 0 respektive 10m. **Bild 2** zeigt die Wellenformen auf dem virtuellen Oszilloskop, wobei die Anzeigen des Strommessers gelöscht wurden. Die Eingangsspannung (untere Kurve) beträgt 800 mV Spitze-Spitze und die Ausgangsspannung (obere Kurve) etwa 3 V Spitze-Spitze, was eine Spannungsverstärkung von weniger als 4 bedeutet. Schauen wir uns nun die Gleichströme in der Schaltung an. Klicken Sie auf *Analysis DC Analysis Table of DC results*. **Bild 3** zeigt die Gleichspannungen und -ströme in der Schaltung, wie sie von der TINA-Software „gemessen“ wurden.

Interessanter ist es jedoch, die Wechselspannungen und -ströme in der Schaltung zu kennen. Klicken Sie im interaktiven Modus auf *AC*. Die beiden in Bild 1 dargestellten Strommesser zeigen den Eingangsstrom ($244,2 \mu A_{rms}$) und den Ausgangsstrom ($238,8 mA_{rms}$).

Eine tabellarische Darstellung der Wechselströme und -spannungen erhalten Sie, indem Sie auf *Analysis AC Analysis Table of AC results* klicken. **Bild 4** zeigt die AC-Ergebnisse.

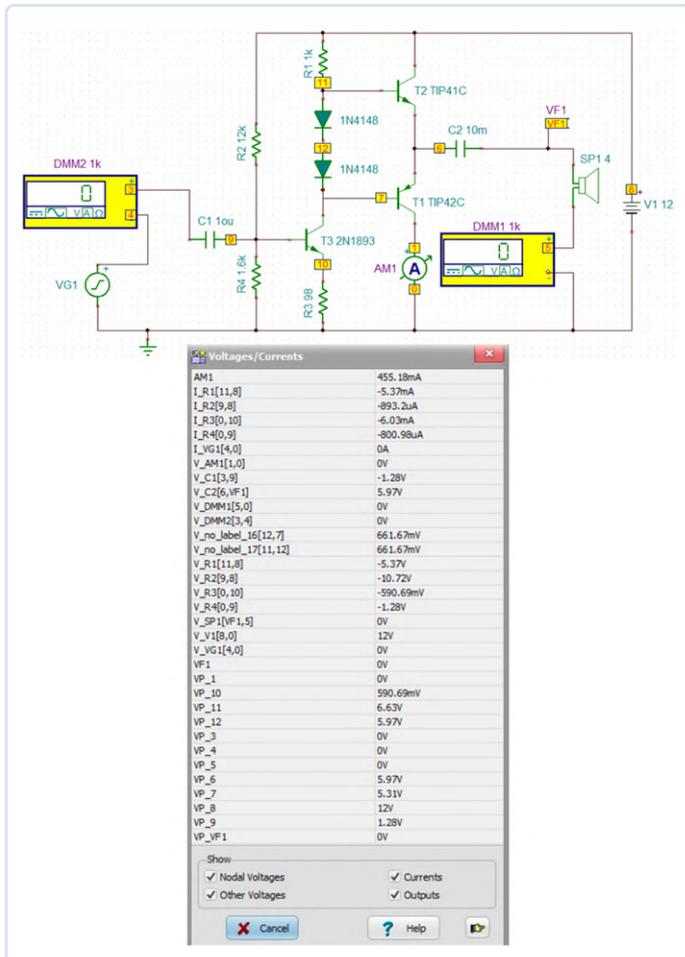
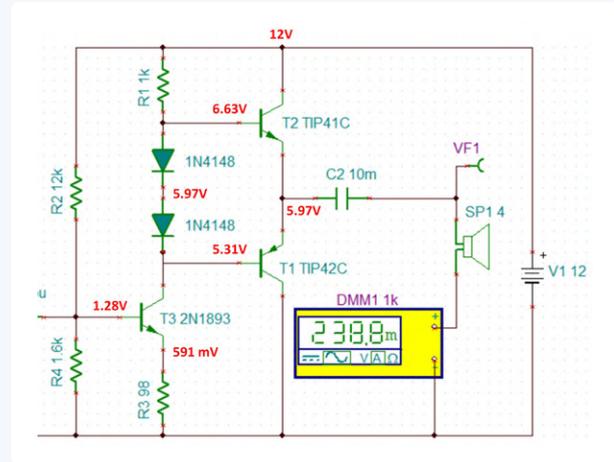


Bild 3. Gleichspannungen und -ströme in der Verstärkerschaltung.

Ein wenig Theorie



Von TINA berechnete Gleichspannungen der Schaltung.

1. DC-Analyse

Die Gleichspannungen an verschiedenen Punkten der Schaltung werden von TINA wie in der Abbildung gezeigt berechnet. Die Spannung an der Basis von T3 ist gegeben durch:

$$V_{B2} = \frac{R4}{R4 + R2}(V_{cc} - 1,4) = \frac{1,6}{1,6 + 12}(12 - 1,4) = 1,24 \text{ [V]}$$

Übersicht über die Spannungen in den Schaltkreisen:

T2-Emitterspannung, $V_{E2} = 1,24 - 0,7 = 540 \text{ mV}$

T2-Emitterstrom, $I_{E2} = 0,540 / 98 = 5,5 \text{ mA}$

T1-Basisspannung, $V_{B2} = V_{CC} - (I_{E2} \times R1 + 1,4 + V_{E2}) = 4,56 \text{ V}$

T2-Basisspannung, $V_{B2} = V_{CC} - I_{E2} \times R1 = 6,5 \text{ V}$

T1 und T2 Emitterspannungen, $V_{E1} = V_{B2} - 0,7 = 5,93 \text{ V}$

Beachten Sie, dass die Spannung an den Emittoren von T1 und T2 fast gleich $V_{CC}/2$ ist. Die theoretischen Ergebnisse kommen den von TINA berechneten sehr nahe.

2. AC-Analyse

Die AC-Ausgangsleistung P_O des Verstärkers ist gegeben durch:

$$P_O = \frac{V_L^2}{R_L} \text{ [W]}$$

wobei V_L der Effektivwert der Lastspannungen ist. Aus der AC-Analyse ergeben sich $V_L = 0,955 \text{ V}$ und $R_L = 4 \Omega$. Daher ist $P_O = 228 \text{ mW}$.

Die AC-Eingangsleistung P_I wird wie folgt berechnet:

$$P_I = 0,4 \times 0,244 = 0,0976 \text{ [mW]}$$

Die Leistungsverstärkung beläuft sich auf $228 / 0,0976 = 2333$ oder $33,6 \text{ dB}$.

Testen, bevor Sie bauen!

Sowohl TINA als auch TINACloud eignen sich perfekt für eine schnelle Tests vieler elektronischer Schaltungen. Beide Programme sind sehr lehrreich und intuitiv und können beim Jonglieren mit realen Bauteilen viel Zeit und Geld sparen, auch wenn diese natürlich in einer richtig zusammengebauten Schaltung das „echte Leben“ bestimmen. Die Simulation mit TINA ist in Bezug auf die Effekte sehr verlässlich, die nach dem Betätigen des Einschaltknopfes auftreten. Ein weiteres, ausführlicheres Beispiel für den Einsatz von TINA oder TINACloud hat der Autor in einem früheren Artikel [2] beschrieben. ◀

220215-02



Über den Autor

Prof. Dr. Dogan Ibrahim hat einen BSc, Hons. in Elektrotechnik, einen MSc in automatischer Steuerungstechnik und einen PhD in digitaler Signalverarbeitung. Dogan Ibrahim arbeitete in vielen Industrieunternehmen, bevor er in die akademische Welt zurückkehrte. Er ist Autor von über 70 Fachbüchern und hat über 200 Fachartikel über Elektronik, Mikroprozessoren, Mikrocontroller und verwandte Gebiete veröffentlicht.

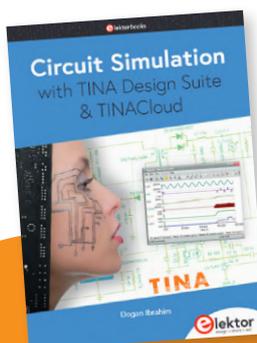
Haben Sie Fragen oder Kommentare?

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

Component	Value
I_R1[10,7]	5.46mA rms
I_R2[8,7]	893.51uA rms
I_R3[0,9]	6.62mA rms
I_R4[0,8]	820.26uA rms
I_VG1[3,0]	244.17uA rms
V_C1[2,8]	1.28V rms
V_C2[5,VF1]	5.97V rms
V_DMM1[4,0]	0V rms
V_DMM2[2,3]	0V rms
V_no_label_15[11,6]	661.89mV rms
V_no_label_16[10,11]	661.89mV rms
V_R1[10,7]	5.46V rms
V_R2[8,7]	10.72V rms
V_R3[0,9]	649.12mV rms
V_R4[0,8]	1.31V rms
V_SP1[VF1,4]	955mV rms
V_V1[7,0]	12V rms
V_VG1[3,0]	282.84mV rms
VF1	955mV
VP_10	6.7V rms
VP_11	6.05V rms
VP_2	282.84mV rms
VP_3	282.84mV rms
VP_4	0V rms
VP_5	6.04V rms
VP_6	5.4V rms
VP_7	12V rms
VP_8	1.31V rms
VP_9	649.12mV rms
VP_VF1	955mV rms

Buttons: Show, Nodal Voltages, Currents, Other Voltages, Outputs, Cancel, Help

Bild 4. Wechselspannungen und -ströme in der Schaltung.



Zu beiden Büchern gibt es eine kostenlose 1-Jahres-Lizenz der TINACloud Basic Edition dazu (solange Vorrat reicht).



Passende Produkte

- > D. Ibrahim, *Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (SKU 19977) www.elektor.de/19977
- > D. Ibrahim, *Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (E-Book, SKU 19978) www.elektor.de/19978

WEBLINKS

- [1] TINA/TINACloud-Simulationsdateien: <http://www.elektor.de/circuit-simulation-with-tina-design-suite-tinacloud>
- [2] D. Ibrahim, „Schaltungssimulation mit TINA Design Suite und TINACloud“, Elektor 5-6/2022: <http://www.elektormagazine.de/220025-02>

LoRaWAN-Knoten im IoT

Ein Beispiel-Kapitel: Die LoRaWAN-Module Dragino LHT65, LDS01 und LDS02

Von Dr. Claus Kühnel (Schweiz)

Aus schaltungstechnischer Sicht verbindet ein LoRaWAN-Knoten einen Mikrocontroller mit einem LoRa-Transceiver. Zwar gibt es zahlreiche kommerzielle LoRaWAN-Sensorknoten für den „industriellen Einsatz“, aber das sollte den experimentierfreudigen Anwender eher ermutigen als abschrecken. Elektor-Buchautor Claus Kühnel zeigt in diesem Artikel anhand dreier Dragino-Sensormodule



Anmerkung der Redaktion: Dieser Artikel ist ein Auszug aus dem 224-seitigen Buch **LoRaWAN-Knoten im IoT** (Elektor, 2021). Der Auszug wurde formatiert und leicht bearbeitet, um den redaktionellen Standards und dem Seitenlayout von Elektor zu entsprechen. Da es sich um einen Auszug aus einer größeren Veröffentlichung handelt, können sich einige Begriffe in diesem Artikel auf Diskussionen an anderer Stelle im Buch beziehen. Der Autor und der Herausgeber haben ihr Bestes getan, um solche Fälle auszuschießen, und sind gerne bereit, bei Rückfragen zu helfen. Kontaktinformationen finden Sie im Kasten **Fragen oder Kommentare?**

Kommerziell verfügbare LoRaWAN-Endgeräte gibt es von zahlreichen Herstellern in einer nahezu unübersehbaren Vielfalt und zu sehr unterschiedlichen Preisen. Einen guten Überblick über das Angebot von LoRaWAN-Endgeräten finden Sie bei den bekannten Distributoren und auf verschiedenen Websites, von denen ich hier einige willkürlich ausgewählt habe:

- › <https://www.thethingsnetwork.org/marketplace/products/devices>
- › <https://iot-shops.com/product-category/lora/lorawan-devices/>

- › <https://market.thingpark.com/devices.html>
- › <https://www.lora-shop.ch/>
- › <https://lorawan-webshop.com/shop/10-lorawan-devices/>
- › <https://smartmakers.io/iot-sensoren-uebersicht/>

Bei den hier vorgestellten Fertiggeräten habe ich darauf geachtet, dass diese in einem für Maker akzeptablen Preissegment liegen, so dass einem experimentellen Erschließen dieser Sensoren nichts im Wege steht.

Dragino LHT65 Temperatur- und Feuchtigkeitsensor

Der Dragino LHT65 Temperatur- und Feuchtigkeitsensor ist ein LoRaWAN-Sensor mit großer Reichweite. Er enthält einen eingebauten SHT20-Temperatur- und Feuchtigkeitsensor von Sensirion und einen Anschluss für externe Sensoren wie Temperatursensor, Bodenfeuchtesensor, Kippsensor usw. Über den externen Anschluss kann beispielsweise ein wasserdichter DS18B20 mit Anschlusskabel zur Messung der Außentemperatur angeschlossen werden (**Bild 1**). Im Handbuch zum Dragino LHT65 [1] sind alle notwendigen Informationen zu diesem Sensorknoten zu finden und der Anschluss weiterer externer Sensoren beschrieben.

Der LHT65 verfügt über eine eingebaute, nicht aufladbare 2400-mAh-Batterie, die länger als 10 Jahre verwendet werden können soll. Der Knoten ist vollständig kompatibel mit dem LoRaWAN v1.0.2 Protokoll und kann mit jedem Standard-LoRa-



Bild 1. Dragino LHT65-EU868-E1 mit einem externen DS18B20.



Bild 2. EUIs und Softwareschlüssel für den LHT65.

WAN-Gateway betrieben werden. Die messtechnischen Daten des Dragino LHT65-EU868-E1 sind in **Tabelle 1** zusammengefasst. Zum Lieferumfang des Dragino LHT65 gehören ein Aufkleber mit den notwendigen Daten für die Registrierung des Endgerätes beim LoRaWAN-Server (**Bild 2**) und ein spezielles Programmierkabel (**Bild 3**). Heben Sie beides gut auf! Die EUIs und Keys benötigen Sie für die Registrierung und für spätere Anpassungen.

Das Programmierkabel wird über die Flächen an der Rückseite des LHT65 mit dem LHT65 verbunden und dient dem Firmware-Update sowie der Konfiguration des LHT65 über AT-Kommandos. Das Firmware-Update unter Verwendung eines *ST-LINK/V2 in-circuit debugger/programmer for STM8 and STM32* ist detailliert im LHT65 User Manual beschrieben, weshalb ich hier nicht darauf eingehe. [2] Wichtig hier ist die Konfiguration über AT-Kommandos, zu der das Programmierkabel über einen FTDI-USB-UART-Programmer (**Bild 4**) mit dem PC verbunden wird. Ein Terminalprogramm dient zur Verbindungsaufnahme. Zwischen Programmierkabel und FTDIUSB-UART-Programmer sind dann nur die Leitungen Rx, Tx und GND zu verbinden.

Ich verwende hier PuTTY als Terminalprogramm und verbinde dieses mit COM43 und 9600 Baud. Den aktuellen COM-Port sehen Sie im Geräte-Manager beim Verbinden des FTDI-Programmers mit einem USB-Port.



Bild 3. LHT65-Programmierkabel.

Tabelle 1. Dragino LHT65-EU868-E1 - Technische Daten

Temperatursensor (intern)	Auflösung	0,01 K
	Fehler	± 0,8 K
	Langzeitdrift	< 0,02 K/a
	Messbereich	-40 °C - +80 °C
Feuchtesensor (intern)	Auflösung	0,04% rH
	Fehler	±10% rH
	Messbereich	0 - 99,9% rH
	Ansprechzeit	< 5 s
Externer DS18B20 Temperatursensor	Auflösung	0,0625 K
	Fehler (-10 °C - +85 °C)	±0,5 K
	Fehler (-55 °C - +125 °C)	±2 K
	Messbereich	-55 °C - +125 °C

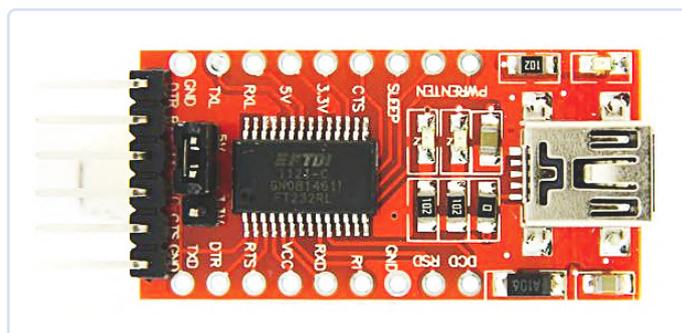


Bild 4. FTDI-ähnlicher USB-UART-Wandler.

```

COM43 - PuTTY
Correct Password
AT+DEUI=a8 40 41 ac c1 02 d2 bea11 configurations to print
AT+DADDR=0182D2BE
AT+APPKKEY=61 ac 44 77 2a b4 61 6d 86 c3 a6 d2 c4 3d f9 b7
AT+NWKSKEY=17 54 3c 67 2d 52 9c 9a 3d 29 6a dd b5 03 22 2b
AT+APPSKEY=fd b1 3f 2c b3 6d 95 b8 67 bb ac f2 45 1d 87 21
AT+APPEUI=a0 00 00 00 00 01 01
AT+ADR=1
AT+TXP=0
AT+DR=4
AT+DCS=0
AT+PMM=1
AT+RX2FQ=869525000
AT+RX2DR=3
AT+RX1IDL=5000
AT+RX2IDL=6000
AT+JN1IDL=5000
AT+JN2DL=6000
AT+NJM=1
AT+NWKID=00 00 00 13
AT+FCU=1
AT+FCD=0
AT+CLASS=A
AT+NJS=1

```

Bild 5. Abfrage der LHT65-Konfiguration.

PuTTY zeigt die Ausgaben des LHT65, und um in den Konfigurationsmode zu kommen, bedarf es der Eingabe eines Passwords, gefolgt vom Kommando ATZ zum Reset des internen Mikrocontrollers. Jedes Kommando ist durch ↵(CR/LF) abzuschließen.

123456 ↵

ATZ ↵

Danach kann mit dem Kommando AT+CFG die aktuelle Konfiguration abgefragt werden (Bild 5).

Die oberen Zeilen der Ausgabe beinhalten die für die Registrierung bei TTS (CE) wichtigen Parameter. Wurden keine Änderungen vorgenommen, dann sollten diese mit den Daten auf dem mitgelieferten Aufkleber übereinstimmen. Die Registrierung in der TTS (CE) erfolgt nun in etwas veränderter Form, da in der TTS (CE) der Dragino LHT65 Sensor bereits bekannt ist und entsprechende Daten hinterlegt sind (Bild 6).

Die Eingabe der EUIs und der Keys erfolgt aber in gewohnter Weise (Bild 7).

Nach einem Klick auf den Button Register end device wird das neue Endgerät bei TTS (CE) registriert. Wenn alles fehlerfrei erfolgt ist, dann meldet sich der LHT65-Sensorknoten nach kurzer Zeit mit seinen Livedaten (Bild 8).

Um in der TTS (CE) Console lesbare Mitteilungen zu erhalten, habe ich zum Decodieren der Payload das JavaScript (Tabelle 1) in den Payload formatter eingetragen. Es werden die Daten für Batteriespannung, die durch den SHT20 gemessene Temperatur und relative Luftfeuchte sowie die durch den externen DS18B20 gemessene Temperatur decodiert.

Bild 9 zeigt einen Ausschnitt des TTS (CE) Konsolenfensters mit den decodierten Messages des LHT65. Zu Beginn ist das Sendeintervall default auf 20 Minuten eingestellt.

Über eine Downlink-Messung kann der LHT65 konfiguriert werden. Im bereits zitierten Dragino LHT65 Handbuch finden Sie die Beschreibung der Konfiguration über AT-Kommandos und Downlinks. Die Intervallzeit kann über das Downlink-Kommando 01 xx xx xx konfiguriert werden. Wie Ihnen Bild 10 zeigt, habe ich hier die Intervallzeit mit Hilfe des Kommandos 01 00 00 3C auf 60 (0x3C = 60D) Sekunden gesetzt, weshalb die folgenden Ausgaben dann auch in diesem Raster erscheinen. Durch das Kommando 01 00 02 58 (0x0258 = 600D) ist die Intervallzeit schließlich auf 10 Minuten gesetzt.

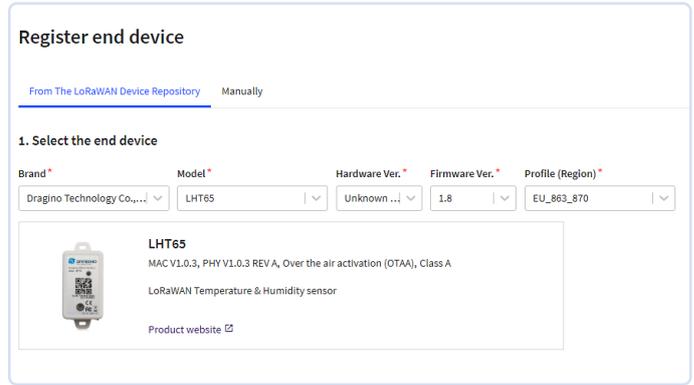


Bild 6. LHT65-Registrierung, Teil 1.

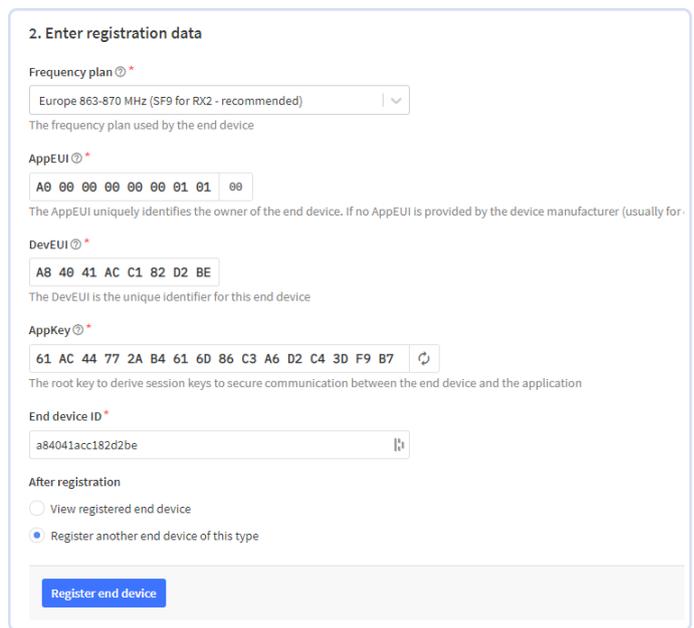


Bild 7. LHT65-Registrierung, Teil 2.

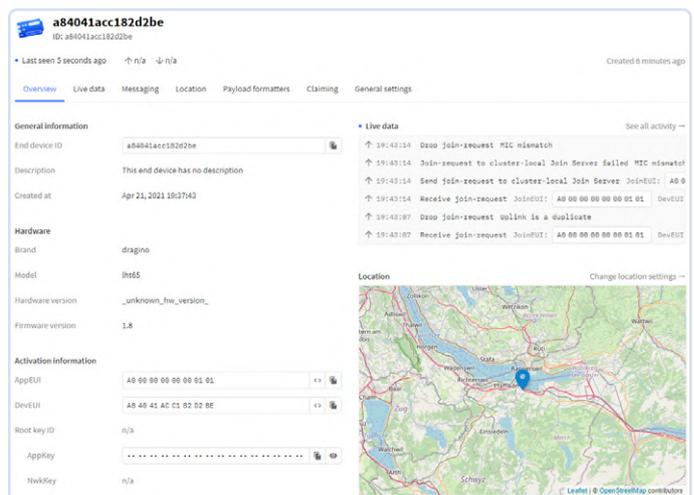


Bild 8. Vom LHT65 gelieferte Live-Daten.

Time	Entity ID	Type	Data preview
↑ 16:02:20	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 28.4, Temp_DS: 31.81, TempC_SHT: 31.43 } CC 18
↑ 15:52:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 27.2, Temp_DS: 31.75, TempC_SHT: 31.21 } CC 18
↓ 15:51:29	a84041acc182d2be	Forward downlink data message	FPort: 1 Payload: 01 00 02 88
↑ 15:51:15	a84041acc182d2be	Decode uplink data message failure	Unknown FPort
↑ 15:51:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 28, Temp_DS: 31.81, TempC_SHT: 31.2 } CC 18
↑ 15:50:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 26.6, Temp_DS: 31.75, TempC_SHT: 31.17 } CC 18
↑ 15:49:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 26.5, Temp_DS: 31.81, TempC_SHT: 31.13 } CC 18
↑ 15:48:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.098, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 27.6, Temp_DS: 31.56, TempC_SHT: 31.08 } CC 1A
↑ 15:47:15	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 24.9, Temp_DS: 31.56, TempC_SHT: 31.05 } CC 18
↑ 15:46:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 25.5, Temp_DS: 31.68, TempC_SHT: 31.01 } CC 18
↑ 15:45:14	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.098, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 27.3, Temp_DS: 31.68, TempC_SHT: 30.98 } CC 1A
● 15:44:14		Console: Stream reconnected	The stream connection has been re-established
↑ 15:44:08	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 27.8, Temp_DS: 31.62, TempC_SHT: 30.94 } CC 18
● 15:44:08		Console: Stream connection closed	The connection was closed by the stream provider
↓ 15:26:04	a84041acc182d2be	Forward downlink data message	FPort: 1 Payload: 01 00 00 3C
↑ 15:24:08	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.098, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 33.3, Temp_DS: 30.87, TempC_SHT: 30.39 } CC 1A
↑ 15:04:13	a84041acc182d2be	Forward uplink data message	Payload: { BatV: 3.096, Bat_status: 3, Ext_sensor: "Temperatur Sensor", Hum_SHT: 29.8, Temp_DS: 29.87, TempC_SHT: 30.38 } CC 18

Bild 9. LHT65 - Live-Daten und Downlink-Konfiguration.

Wie Sie aus Bild 9 ersehen können, wird der Downlink erst beim nächsten Uplink wirksam. Bei einem Class A Gerät öffnet erst nach erfolgreichem Upload ein Receive Window (Empfangsfenster), weshalb erst dann Messages empfangen werden können. In Bild 10 war also bewusst von *Scheduling Downlink* (Planung Downlink) die Rede. Hier kann noch entschieden werden, ob der Downlink einen bereits geplanten überschreiben soll, oder ob dieser an den geplanten angehängt wird (append). Diese Art der Konfiguration über einen Downlink ist sehr komfortabel.

Dragino LDS01 Tür- & Fenstersensor

Dragino LDS01 ist ein LoRaWAN-Tür- & Fenstersensor. Der Sensor erkennt den Status Offen oder Geschlossen und sendet diese Information an den LoRaWAN-Server. Durch die kompakten Abmessungen von 64 mm x 30 mm x 14 mm kann der Sensor nahezu beliebig positioniert werden. **Bild 11** zeigt den geschlossenen Sensor und **Bild 12** den geöffneten. Diese beiden Zustände werden primär über einen Reedkontakt detektiert. Außerdem werden einige Daten davon abgeleitet, die dann in der Payload mit verankert werden.



Listing 1: Javascript für Vbatt-, RH- und Temperatursensoren

```
function decodeUplink(input) {
  var data = {};
  //Battery,units:V
  data.vbat = ((input.bytes[0]<< 8 | input.bytes[1]) & 0x3FFF)/1000;
  //SHT20,temperature,units:
  data.temp = ((input.bytes[2]<< 24 >> 16 | input.bytes[3])/100);
  //SHT20,Humidity,units:%
  data.humi = ((input.bytes[4]<< 8 | input.bytes[5])/10);
  //DS18B20,temperature,units:
  data.extTemp = ((input.bytes[7]<<24>>16 | input.bytes[8])/100);
  return {
    data: data
  };
}
```

LHT65
ID: a84041acc182d2be

Last seen 5 minutes ago ↑ 3,501 ↓ 349

Overview Live data **Messaging** Location Payload formatters Claiming General settings

Uplink **Downlink**

Schedule downlink

Insert Mode

Replace downlink queue
 Push to downlink queue (append)

FPort*

1

Payload

01 00 00 3C

The desired payload bytes of the downlink message

Confirmed downlink

Schedule downlink

Bild 10. LHT65-Konfiguration über Downlink.



Bild 11. Dragino LDS01, geschlossen.



Bild 12. Dragino LDS01, geöffnet.

Der LDS01 wird von einer CR2032-Knopfbatterie gespeist, bei guter Netzwerkabdeckung (Basis SF7, 14 dB) können bis zu 12.000 Uplink-Pakete übertragen werden. Bei schlechter Netzabdeckung (Basis SF10, 18,5 dB) reduziert sich das auf ca. 1.300 Uplink-Pakete. Laut Hersteller beträgt das Designziel für die Batterielaufzeit bis zu 1 Jahr. Der Benutzer kann die CR2032-Batterie zur Wiederverwendung einfach austauschen.

Zum Lieferumfang des Dragino LDS01 gehört wie schon beim LHT65 ein Aufkleber mit den notwendigen Daten für die Registrierung des Endgerätes beim LoRaWAN-Server (Bild 13). Ich wiederhole mich hier: Heben Sie den Aufkleber gut auf! Die EUIs und Keys benötigen Sie für die Registrierung und für spätere Anpassungen. Zur Konfiguration verwendet der LDS01 eine serielle Schnittstelle,

die im Inneren des Geräts über eine Pfostenleiste zugänglich ist. Es wird wieder ein FTDI-USB-UART-Programmer für den Anschluss von RX, TX und GND benötigt (Bild 14).

Mit einem Terminalprogramm (z.B. PuTTY) kann nun der Zugriff mit 115200 bps erfolgen. Das erforderliche Passwort lautet 123456. Die Registrierung des Dragino LDS01 in der TTS (CE) erfolgt in vergleichbarer Weise, wie beim Dragino LHT65 (Bild 15). Das Device ist in der TTS (CE) bereits bekannt.

Nach einem Klick auf den Button *Register end device* wird das neue Endgerät bei TTS (CE) registriert. Wenn alles fehlerfrei erfolgt ist, dann meldet sich der LDS01-Sensorknoten nach kurzer Zeit mit seinen Livedaten (Bild 16).

Um wieder lesbare Daten in der TTS (CE) Console vorzufinden,

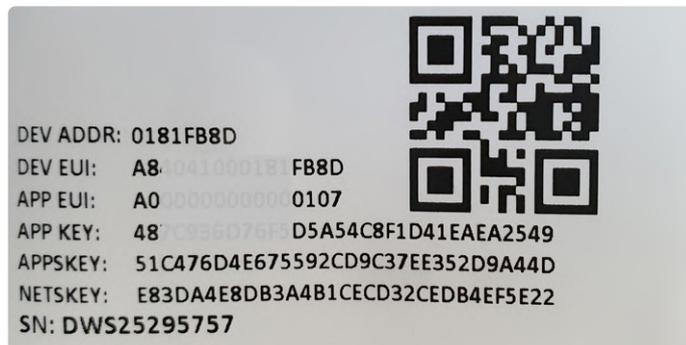


Bild 13. Dragino LDS01 EUIs und Softwareschlüssel.



Bild 14. Dragino LDS01 mit geöffnetem Gehäuse.

Register end device

From The LoRaWAN Device Repository | Manually

1. Select the end device

Brand: Dragino Technology Co.,... | Model: LDS01 | Hardware Ver.: Unknown... | Firmware Ver.: 1.3.0 | Profile (Region): EU_863_870

LDS01
 MAC V1.0.3, PHY V1.0.3 REV A, Over the air activation (OTAA), Class A
 LoRaWAN Door Sensor
[Product website](#)

2. Enter registration data

Frequency plan: Europe 863-870 MHz (SF9 for RX2 - recommended)

AppEUI: A8 00 00 00 00 00 01 07 00

DevEUI: A8 40 41 00 01 81 FB 8D

AppKey: 48 7C 93 6D 76 F5 D5 A5 4C 8F 1D 41 EA EA 25 49

End device ID: lds01

After registration
 View registered end device
 Register another end device of this type

[Register end device](#)

Bild 15. LDS01 Registrierung.

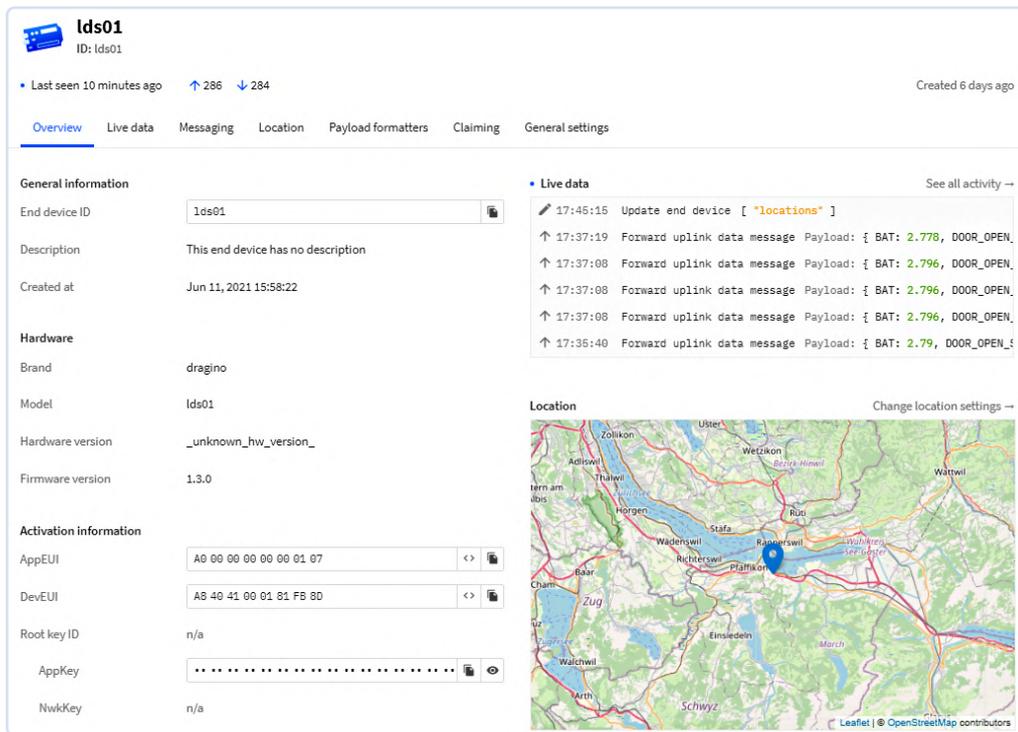


Bild 16. Vom LDS01 gelieferte Live-Daten.

habe ich zum Decodieren der Payload das JavaScript aus **Tabelle 2** in den Payload formatter eingetragen. Es werden die Daten für Batteriespannung, den Schaltstatus, die Anzahl der Öffnungen und die Dauer der letzten Öffnung sowie ein Alarmbit (hier nicht ausgewertet) decodiert.



Listing 2: Javascript für LDS01

```
function decodeUplink(input) {
    var state = input.bytes[0] & 0x80 ? 1:0;
    // 1:open,0:close
    var voltage = ((input.bytes[0]<< 8 | input.
        bytes[1]) & 0x3FFF)/1000;
    var alarm = input.bytes[9]& 0x01;
    var open_times = input.bytes[3]<<16 | input.
        bytes[4]<<8 | input.bytes[5];
    var open_duration = input.bytes[6]<<16 |
        input.bytes[7]<<8 | input.bytes[8];
    //units:min

    return {
        data: {
            BAT: voltage,
            DOOR_OPEN_STATUS: state,
            DOOR_OPEN_TIMES: open_times,
            LAST_DOOR_OPEN_DURATION: open_duration,
        },
        warnings: [],
        errors: []
    };
}
```

Neben der Möglichkeit über AT-Kommandos kann der LDS01 auch über eine Downlink-MESSAGE konfiguriert werden. Im Dragino LDS01 Handbuch finden Sie die Beschreibung der Konfiguration über AT-Kommandos und Downlinks für die Konfiguration des Dragino LDS01, die Sie in [2] finden können.

So kann beispielsweise die Datenrate über das Downlink-Kommando `A8 xx xx` konfiguriert werden. Wie Ihnen **Bild 17** zeigt, habe ich hier die Datenrate mit Hilfe des Kommandos `A8 00 05` auf DR5 gesetzt, um die Air Time und damit auch den Stromverbrauch zu senken.

Sollte die Programmierung des LDS01 über Download nicht funktionieren, können Sie über die AT-Kommandos einen Bugfix der Firmware vornehmen. Durch das Kommando `AT+CRX1DELAY=5`

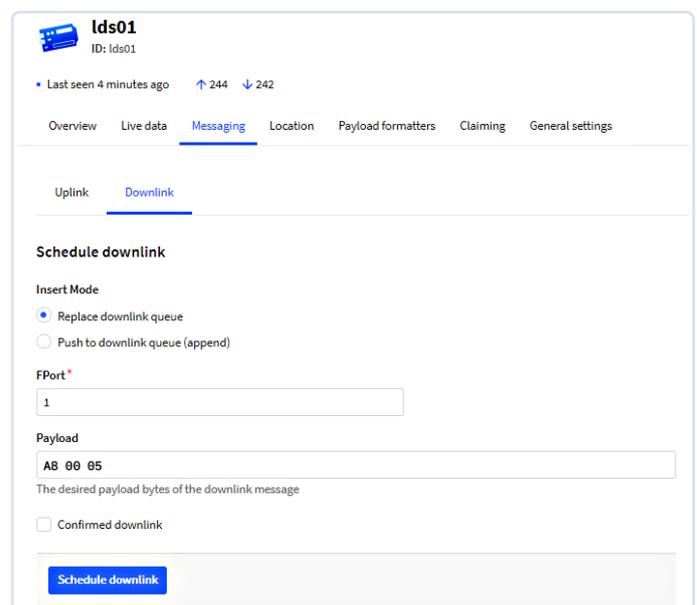


Bild 17. LDS01-Konfiguration über Downlink.



Bild 18. Der Dragino LDS02.

wird die Firmware an die Bedingungen von TTS (CE) angepasst. In der LoRaWAN-Bibliothek, auf welcher der LDS01- und LWL01-Sensorcode von Dragino basiert, scheint es einen schwerwiegenden Fehler in einem binären Teil der Bibliothek zu geben. Ein Quick-and-Dirty-Test mit Version 4.4 der Bibliothek zeigt, dass das Problem durch Dragino offenbar behoben ist. Über andere Versionen kann derzeit keine Aussage getroffen werden. Es sieht so aus, als müsste Dragino aktualisierte Firmware für seine ASR650x-basierten Produkte veröffentlichen, um sie mit TTS (CE) kompatibel zu machen, siehe Problembereich [4].

Dragino LDS02 Tür- & Fenstersensor

Dragino LDS01 ist ein weiterer LoRaWAN-Tür- & Fenstersensor. Der Sensor erkennt wie der LDS01 den Status Offen oder Geschlossen und sendet diese Information an den LoRaWAN-Server. Durch den Einsatz von zwei AAA-Batterien sind die Abmessungen von 69 mm x 29 mm x 54 mm etwas weniger kompakt (**Bild 18**).

Diese beiden Batterien reichen für etwa 16.000...70.000 Uplink-Pakete. Wenn die Batterien leer sind, kann der Benutzer sie durch zwei handelsübliche AAA-Batterien ersetzen. Jedes LDS02 ist mit einem Satz eindeutiger Schlüssel für die LoRaWAN-Registrierung vorgeladen. Die Registrierung bei TTS (CE) erfolgt wie beim LDS01 und die Verbindung erfolgt nach dem Einschalten automatisch. ◀

(220296-02)



PASSENDE PRODUKTE



- > **C. Kühnel, LoRaWAN-Knoten im IoT, Elektor 2021**
Buch (SKU 19950): www.elektor.de/19950
E-Buch (SKU 19951): www.elektor.de/19951

- > **Dragino LDS02 LoRaWAN-Türsensor (EU868, SKU 20004)**
www.elektor.de/20004

- > **Andere LoRa- und LoRaWAN-Produkte**
www.elektor.de/catalogsearch/result/?q=LoRA



Über den Autor

Dr. Claus Kühnel studierte Informationstechnologie an der Technischen Universität Dresden. Er hat unter anderem eingebettete Systeme für Labor-diagnosegeräte entwickelt. In diesem interdisziplinären Bereich kam er mit der Maker-Szene in Berührung. Als leidenschaftlicher Anhänger neuer Technologien rund um Mikrocontroller ist er Autor zahlreicher Artikel und Bücher über Mikrocontroller-Hardware und -Software im In- und Ausland.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Senden Sie eine E-Mail an den Autor unter info@cksript.ch oder an Elektor unter redaktion@elektor.de.

WEBLINKS

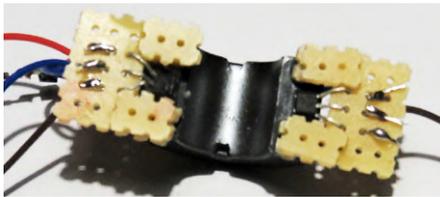
- [1] Dragino LHT65 Handbuch: <https://bit.ly/35cHPiP>
- [2] Dragino LHT65 Beschreibung Firmware-Update: <https://bit.ly/3MWw5oC>
- [3] Handbuch zum Dragino LDS01: <https://bit.ly/3a34ovG>
- [4] Dragino ARS650x Firmware-Fehler: www.thethingsnetwork.org/forum/t/new-application-v3-otaanotworking/43338/30

Projekt 2.0

Korrekturen, Updates und Leserbriefe

Redaktion: Jens Nickel

DC-Stromzange selbst gebaut Elektor 5-6/2021, S. 26 (200595)



Auf der zweiten Seite des Artikels wird $U = I \times 38,92 \text{ mV/A}$ und danach $U = I \times 39,26 \text{ mV/A}$ angegeben. Die Ergebnisse sind für eine angenommene Windungszahl von $n = 1$ um den Faktor 10 zu groß. Für $n = 1$ ergibt sich $U = I \times 3,892 \text{ mV/A}$ beziehungsweise $U = I \times 3,926 \text{ mV/A}$.

DC-Stromzange selbst gebaut

Elektor 5-6/2021, S. 26 (200595)

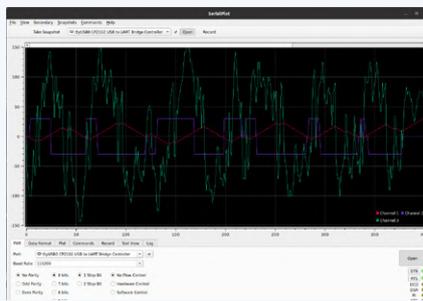
Mit Interesse habe ich den Artikel über die Gleichstromzange mit Hall-Sensor gelesen. Das brachte mich auf die Idee, einen Ferritkern mit Hall-Sensor als „Abnehmer“ für Spannungsimpulse im Zündkerzenkabel von Oldtimer-Motorrädern zu verwenden. Auf Veranstaltungen unseres Oldtimerclubs wollen wir Schallmessungen an den Auspuffanlagen durchführen. Es ist eine feste Drehzahl von 2000 U/min erforderlich. Die Motorräder haben Magnetzündung, so dass ein Impuls von 6 V oder 12 V nicht vorhanden ist. Es können keine Einstellungen an den Motoren vorgenommen werden. Eine „Spannungszange“ scheint für unseren Zweck ideal zu sein. Der Artikel ist jedoch für die Messung von Stromwerten gedacht. In einem Zündkerzenkabel treten hohe Spannungen (10.000 V bis 20.000 V) bei einem geringen Strom auf. Kann ein Ferritkern mit A1324LUA auch für diesen Zweck verwendet werden?

Ardy Notenboom

Ich denke, dass ein Ferritring nicht geeignet ist, um den Impuls von Ihrem Zündka-

bel abzunehmen. Vermutlich wird es zu einer Kopplung des Hochspannungsimpulses mit der Spule kommen, was das Signal stören würde. Aber Sie können es versuchen. Eine kapazitive Kopplung wäre wahrscheinlich besser geeignet, so etwas lässt sich für die Ansteuerung von Stroboskoplampen verwenden. Schauen Sie sich vielleicht einmal die Schaltpläne solcher Stroboskoplampen an.
Martin Ossmann (Autor des Artikels)

Wie man den Seriellen Plotter der Arduino-IDE nutzt Elektor 3-4/2022, S. 15 (200540)



Im Märzheft haben Sie den Seriellen Plotter der Arduino-IDE vorgestellt. Leider wurde nicht auf bessere Alternativen hingewiesen. Ich nutze bei meinen Projekten SerialPlot. Den Download für Windows und Linux findet man unter <https://hackaday.io/project/5334-serialplot-realtime-plotting-software/log/192838-serialplot-v012-release>
Abgebildet ist ein Beispielplot.
Walter Trojan

ESP32-C3: 32-Bit-RISC-Einkerner

Elektor 1-2/2022, S. 59 (210466)

Ich habe eine kurze Frage, bevor ich eine Bestellung absetze: Handelt es sich beim ESP-C3-12F-Kit im Elektor-Shop (www.elektor.de/esp-c3-12f-kit-development-board-with-built-in-4-mb-flash) bereits um die

Version 3 des ESP32-C3, ohne die Bugs, welche im Artikel beschrieben wurden?
Michael Kasper

Bei dem Produkt handelt es sich mindestens um eine Revision 3 des Chips. Die in dem Artikel beschriebenen Bugs der Revision 2 sind hier nicht vorhanden.
Mathias Claußen (Elektor)

Erste Schritte ins IoT - mit dem ESP32-C3

Elektor 5-6/2022, S. 6 (220017)



Als Elektor-Abonnent habe ich Ihren Artikel gelesen, und hatte dann die Idee, meinen Raspberry Pi 3B mit Node-RED zu versehen, um damit MQTT zu fahren. Grün, wie ich bin, habe ich prompt das erste Problem: Braucht mein Raspberry Pi dafür ein eigenes Display und eine Tastatur, oder kann ich ihn vom PC aus steuern? Ist SSH ausreichend dafür, oder brauche ich eine andere Verbindung, um die Node-RED-Grafik sehen zu können?
Hans Kast

Node-RED wird komplett über einen Browser gesteuert / programmiert, der nicht auf dem Raspberry Pi laufen muss. Es ist also ausreichend, einen Raspberry Pi mit Node-RED zu versehen, ohne dass ein Monitor oder Eingabegeräte angeschlossen sind; eine SSH-Verbindung für die Installation reicht aus. Hinweise zur Installation und zum Betrieb erhält man im Artikel www.elektormagazine.de/articles/einstieg-in-nodered.

Mathias Claußen (Elektor) ◀

5G für mich allein

Vollständige Kontrolle über 5G-Implementierungen in privaten Mobilfunknetzen



Von Stuart Cording (Elektor)

Während die breite Öffentlichkeit 5G als kürzere Ladezeiten für Videoinhalte wahrnimmt, sind kommerzielle Nutzer meist an anderen Vorteilen interessiert: niedrige Latenzzeiten, hohe Zuverlässigkeit und massive Konnektivität. Allerdings möchten sie nicht immer ihre sensiblen Daten in öffentlichen Mobilfunknetzen speichern. Glücklicherweise gibt es Alternativen. Es stehen Funkfrequenzen zur Verfügung, um private 5G-Mobilfunknetze einzurichten, so dass Fabriken, Stadien, Ausstellungszentren und Flughäfen die Vorteile von 5G nutzen und doch die volle Kontrolle über ihre Daten behalten können.

Wie so oft ist die Marketing-Maschinerie hinter 5G der Einführung der Technologie weit vorausgeeilt. Wer gerne Fernsehwerbung schaut, könnte fast glauben, dass der Rapper Nitro [1] den Kunden persönlich ihre neuen 5G-Smartphones nach Hause bringt. Aber auch abseits des Consumerbereichs findet 5G seine Anwendung und zeigt die unglaubliche Leistung, die in den Spezifikationen steckt.

Als wir von 2G zu 3G und dann zu 4G übergangen, konzentrierten sich frühere Verbesserungen der Mobilfunktechnologie auf den Datendurchsatz und die Verbesse-

rung der Nutzererfahrung. 5G ist da etwas anders. Ja, der Datendurchsatz, bekannt als Enhanced Mobile Broadband (eMBB), wurde erheblich verbessert und bietet Datenraten, die 100 Mal schneller sind als bei 4G, aber es gibt noch mehr. Es ist auch eine massive maschinelle Kommunikation (mMTC) spezifiziert, die es ermöglicht, bis zu eine Million Geräte auf einem Quadratmeter einzusetzen, und eine 10-jährige Batterielebensdauer für drahtlose Modems, die auf solche Anwendungen ausgerichtet sind. Dann gibt es noch die *Ultra-Reliable and Low-Latency Communication* (URLLC), die eine Latenzzeit der Funkschnittstelle

von weniger als 1 ms und eine Verfügbarkeit von 99,9999 % garantiert.

Die Rolle von 5G-Spezifikationen bei Anwendungen

Auch wenn die Leistungsmerkmale beeindruckend sind, sollte klar sein, dass sie nicht alle gleichzeitig in vollem Umfang verfügbar sind. Sie zielen jeweils auf die Bedürfnisse unterschiedlicher Märkte und Branchen ab. **eMBB** kommt natürlich dem Wunsch der Verbraucher nach mehr Bandbreite für Videostreaming entgegen. Aber es ist auch für die Unterhaltungsindustrie von Interesse. In die Helme von Sportlern könnten Kameras integriert werden (und werden schon), die Aufnahmen von Rennfahrern oder American-Football-Spielern aus erster Hand liefern. **mMTC** ermöglicht die Verfolgung von Schiffscontainern von einem Land zum anderen oder die Überwachung der Luftqualität mit Sensoren, die in Städten aufgestellt werden. **URLLC** kann in Fabriken eingesetzt werden, so dass 5G Teil des Regelkreises für Industrie- und kollaborierende Roboter werden kann (**Bild 1**). In der Automobilindustrie werden sowohl mMTC als auch URLLC in Fahrzeugen zum Einsatz kommen. Dadurch können sie Fahrdaten mit anderen Fahrzeugen und fester Infrastruktur austauschen, von Telemetriedaten

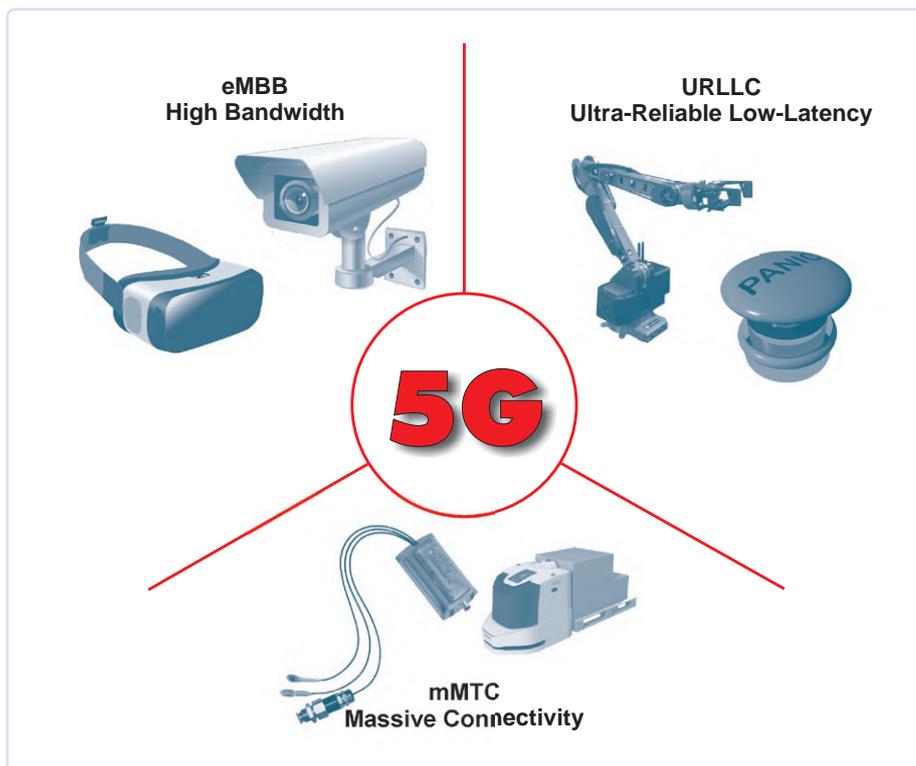


Bild 1. Bei 5G geht es nicht nur um schnellere mobile Breitbandverbindungen. Die Spezifikationen zielen auf ein breites Spektrum kommerzieller, automobil- und industrieller Anforderungen mit niedrigen Latenzzeiten, hoher Zuverlässigkeit und ultrahoher Bandbreite.

mit geringer Bandbreite bis hin zu zeitkritischen Daten für Notbremsungen. Einige Anwendungen, zum Beispiel in der Automobilindustrie, werden darauf angewiesen sein, dass 5G seine Leistungsfähigkeit über die von den Mobilfunknetzbetreibern (MNO) installierte Infrastruktur entfaltet. Betreiber von Fabriken, Häfen, Flughäfen und Sportstadien dagegen haben andere Möglichkeiten. So bietet eMBB beispielsweise zwar viel Bandbreite für Videos, aber die Netze rund um ein Fußballstadion könnten dennoch überlastet werden, wenn viele Fans gleichzeitig Clips des letzten Tores austauschen. Dies könnte bedeuten, dass Fernsehproduzenten bei der gemeinsamen Nutzung derselben 5G-Infrastruktur an Videoqualität verlieren. In einer Fabrik könnten Tausende von IIoT-Sensoren (Industrial Internet of Things), die regelmäßig Daten senden, zu hohen monatlichen Datenrechnungen führen, selbst wenn es sich nur um kleine Datenpakete handelt.

Installation der eigenen 5G-Infrastruktur

Um solchen Problemsituationen Herr zu werden, besteht eine Möglichkeit darin,

eine eigene 5G-Infrastruktur als privates Mobilfunknetz (Private Cellular Network, PCN) zu installieren. Dabei besteht der Zweck nicht darin, Einnahmen zu erzielen, indem man 5G für jeden in der Umgebung anbietet, sondern die Kontrolle über die Bereitstellung zu erlangen, um die Anforderungen des Unternehmens zu gewährleisten. Dies kann von sicherer Verfügbarkeit oder ausreichender Bandbreite bis hin zur Kontrolle der Betriebskosten und der Erhöhung der Sicherheit durch die Aufbewahrung aller Daten vor Ort reichen. Darüber hinaus kann Hardware eingesetzt werden, um eine vollständige Abdeckung des gesamten Standorts zu gewährleisten, sowohl innerhalb als auch außerhalb des Gebäudes.

PCNs sind nicht neu. Einige Industriezweige wie der Bergbau setzen bereits seit vielen Jahren 4G-LTE-PCNs (hier allerdings *Private Communications Networks*) ein. Nach Angaben von *Analysis Mason* sind weltweit mehr als 1.000 private LTE/5G-Netze im Einsatz, die Echtzeitüberwachungen in Fahrzeugwerken und die Fernüberwachung von Kränen in Häfen ermöglichen und in Sicherheitsanwendungen in Öltraffinerien integriert sind [2].

Eine der größten Herausforderungen ist die Beschaffung der Funkfrequenzen. Öffentliche Frequenzen wurden weltweit an Mobilfunknetzbetreiber versteigert. Wenn eine Einigung erzielt werden kann, könnten Unternehmen, die ein PCN einführen wollen, einen Teil dieses Spektrums leasen, sofern es verfügbar ist. Dann gibt es noch die industriellen Frequenzen, die in Ländern wie Japan und Deutschland von den Regulierungsbehörden ausdrücklich reserviert wurden, damit industrielle und andere Nutzer unabhängig von Mobilfunknetzbetreibern von den Vorteilen von 5G profitieren können, wenn sie bereit sind, in die erforderliche Infrastruktur zu investieren. In einigen Ländern sind gemeinsam genutzte Frequenzen verfügbar. Die Ofcom, die für die Regulierung des Zugangs zu den Funkfrequenzen in Großbritannien zuständig ist, bietet Lizenzen für den gemeinsamen Zugang zu vier Frequenzbändern für den Betrieb mit niedriger und mittlerer Leistung an. Ihr Ziel ist es, Innovationen zu ermöglichen, die die Mobilfunkabdeckung verbessern, vernetzte und autonome Verkehrslösungen erproben und intelligente Verbrauchsmesssysteme einführen [3]. In den Vereinigten Staaten wurde das Band n48 (3550...3700 MHz mit Kanalbandbreiten von 5...100 MHz) von der Federal Communications Commission (FCC) in ähnlicher Weise zur Verfügung gestellt. Es ist als *Citizens Broadband Radio Service* (CBRS) bekannt und wird von der OnGo-Allianz gefördert [4].

Schritte zur Einrichtung eines PCN

Unabhängig davon, ob der Betrieb in einem lizenzierten oder unlizenzierten Band geplant ist, sind vor dem Einsatz der Hardware zahlreiche Arbeiten erforderlich. Gemäß der von Rohde & Schwarz erstellten Anleitung beginnt dies mit der Vorbereitung des Rollouts [5]. In den relevanten Frequenzbändern muss mit einer Reihe von Geräten wie Spektrumanalysatoren, Hand- und Scanning-Empfängern auf Störungssuche gegangen werden. Dies kann eine einfache Begehung des Standorts oder sogar den Einsatz von Drohnen erfordern. Störquellen müssen ausgeschaltet oder den örtlichen Regulierungsbehörden gemeldet werden. Wenn alle Fragen geklärt sind, kann die PCN-Hardware eingesetzt werden. Bevor sie in Betrieb genommen wird, muss ein Abnahmetest vor Ort durchgeführt werden.



Bild 2. Eingebettete SIMs, so genannte eSIMs, werden direkt auf die Platine des elektronischen Geräts gelötet. eSIM-Controller wie der SML 97 von Infineon sind 30 Mal kleiner als eine entsprechende Nano-SIM-Karte. (Quelle: Infineon)

Signaldekodierungstests stellen sicher, dass das 5G-System auf Protokollebene korrekt funktioniert und dass das Signal-Störungs-Rausch-Verhältnis (SINR) innerhalb der zulässigen Grenzen liegt. Anhand der Download- und Upload-Geschwindigkeit und der Paketumlaufgeschwindigkeiten (Round Trip Time, RTT) kann das Team die zu erwartende Leistungsfähigkeit für die Anwender beurteilen.

Weitere Tests und die Überwachung des Standorts sollten ebenfalls geplant werden, um die kontinuierliche Leistung und Abdeckung zu gewährleisten, vor allem, wenn die Umgebung, beispielsweise in einer Fabrik, mit Geräten und Maschinen angefüllt ist. Ein für diese Aufgabe geeignetes Tool ist *QualiPoc Android* [6], eine App von Rohde & Schwarz. Sie bietet, auf einem geeigneten Mobiltelefon installiert, ein umfassendes Spektrum an Tests, von der Sprach- und Datenqualität bis hin zur HF-Optimierung über alle Trägerfrequenzen. Für IoT-Anwendungen kann sie auch mit NB-IoT-Modulen kombiniert werden, die an die USB-Schnittstelle des Smartphones angeschlossen werden, um die Abdeckung und Funktionalität in Gebäuden und Kellern zu überprüfen.

Weg mit der SIM-Karte!

Es ist davon auszugehen, dass viele Geräte sowohl in PCN- als auch in öffentlichen Netzen betrieben werden. Darüber hinaus werden einige Netze möglicherweise nur zur Unterstützung einer Veranstaltung wie bei einem Festival, einer Messe oder einem Sportturnier installiert. Es wäre absurd, wenn jeder, der das PCN vorübergehend nutzen möchte, eine zusätzliche SIM-Karte installieren müsste. Hier kommt die eingebettete SIM-Karte (eSIM) ins Spiel, die ohne fummelige SIM-Träger und umständliche Kartenfächer auskommt.

Bei der eSIM handelt es sich nicht um eine Karte, sondern um ein Bauteil, das direkt auf die Platine des elektronischen Geräts gelötet wird. Durch etablierte Sicherheitsprotokolle geschützt ermöglicht *Remote SIM Provisioning* (RSP) durch Over-the-Air-Updates der eSIM-Karte den Zugang von Mobilfunkgeräten zu den Netzen.

Auch wenn SIMs von außen unscheinbar aussehen mögen, verfügen sie im Inneren über leistungsstarke 32-Bit-Prozessoren mit einer breiten Palette von Sicherheitsfunktionen, die elektrische und physische Angriffe verhindern. Außerdem sind Beschleuniger enthalten, um die Verschlüsselung mit modernen Algorithmen wie der symmetrischen DES/AES- und der asymmetrischen RSA- und ECC-Kryptografie sowie Hash-Engines für die Nachrichtenauthentifizierung so effizient wie möglich zu gestalten. Die Anwendung, die auf einer SIM-Karte läuft, verwendet eine verkürzte Java-Implementierung, die als JavaCard bekannt ist.

Die SLM-Produktreihe von Infineon ist eine Möglichkeit, SIM-Karten zu ersetzen, wobei der SLI 97 und der SLM 97 [7] auf industrielle und automobilen Machine-to-Machine-Anwendungen (M2M) abzielen (Bild 2). Diese SMD-Bauteile werden auch in M2M-Standard-MFF2-Gehäusen mit einer Größe von

5 × 6 mm oder in Chip-Scale-Gehäusen mit einer Größe von nur 2,5 × 2,7 mm angeboten, was eine erhebliche Verkleinerung selbst gegenüber den Nano-SIMs darstellt. Eine weitere Möglichkeit bietet STMicroelectronics mit der ST4SIM-200-Familie [8]. Neben Standardbauteilen für Smart-Geräte bietet STMicroelectronics auch Produkte für industrielle Anwendungen und für die Automobilindustrie (AEC-Q100 Grade 2) an.

Alternativen zu 5G-PCNs

Ein vollständig ausgebautes PCN kann für einige Unternehmen zu umfangreich sein. In solchen Situationen sind Hybridmodelle verfügbar. Ein Unternehmen kann private Funklösungen verwenden, die mit dem *Public Core* eines Mobilfunkbetreibers verbunden sind. Dies könnte die Abdeckung innerhalb von Gebäuden oder die erforderliche Datenlatenz in einer Fabrik gewährleisten, ohne dass das gesamte Netz implementiert werden müsste (Bild 3).

Eines der Probleme von 4G ist die fehlende Möglichkeit, einen Teil der drahtlosen Verbindung zu reservieren, um niedrige Latenzzeiten, Zuverlässigkeit oder Bandbreite zu garantieren. Jeder, der mit dem Netz verbunden ist, wird gleich behandelt. Mit dem Konzept des *Network Slicing*

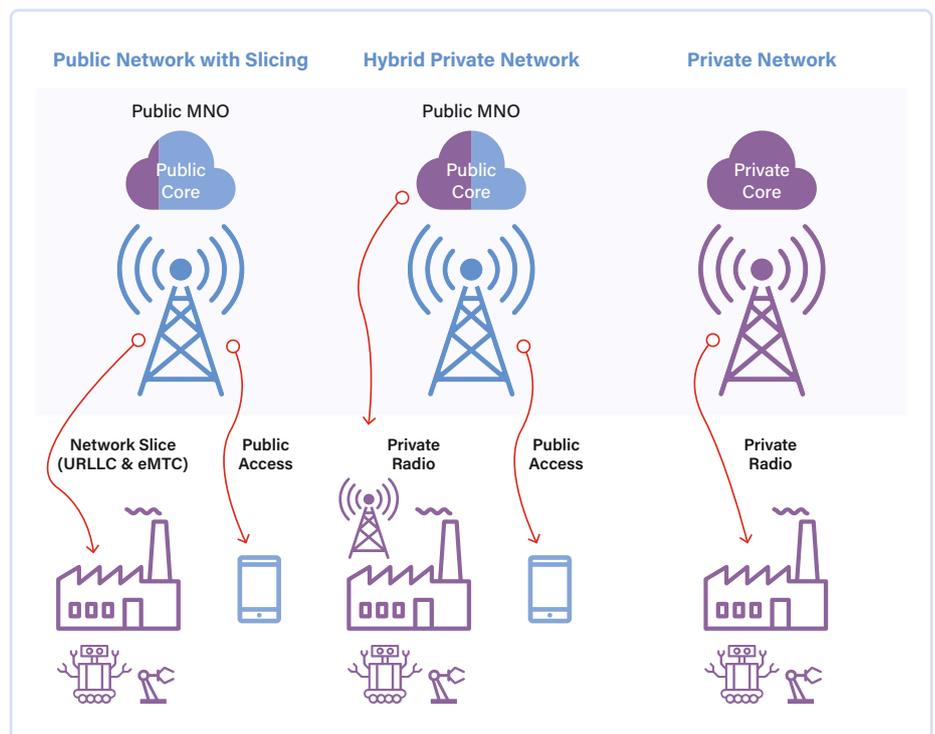


Bild 3. Wenn die für ein komplettes privates Mobilfunknetz erforderlichen Investitionen zu hoch sind, kann ein hybrider Ansatz verfolgt werden, bei dem privates 5G-Equipment an einen öffentlichen Mobilfunknetzbetreiber angeschlossen wird.

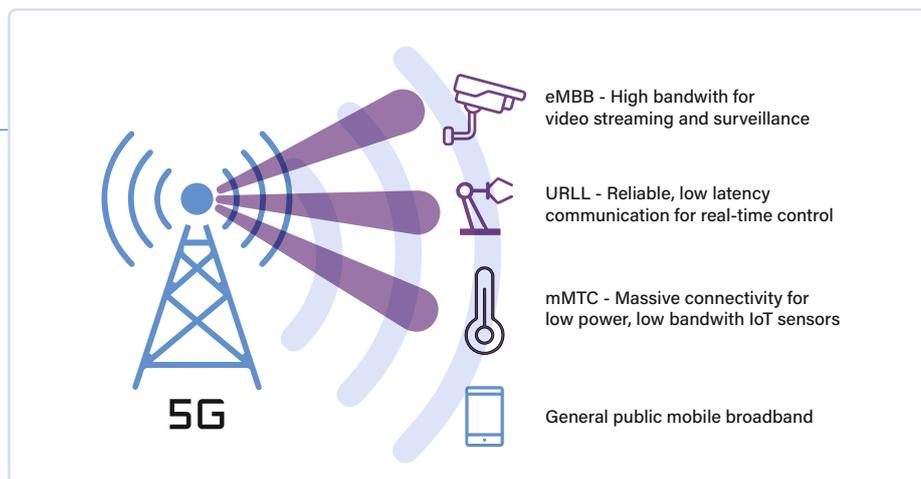


Bild 4. Mit der Einführung von Network Slicing können Mobilfunknetzbetreiber die spezifischen 5G-Funktionen bereitstellen, die einzelne Unternehmen benötigen, und gleichzeitig öffentliche Nutzer mit einer ausgezeichneten mobilen Breitbandverbindung versorgen.

bei 5G ändert sich dies (**Bild 4**). Netzbetreiber können ihren Datenverkehr virtualisieren und Verbindungen mit unterschiedlichen Leistungsprofilen schaffen.

Ein Slice könnte beispielsweise für die Kommunikation mit geringer Latenz bestimmt sein, wie sie für die Echtzeitsteuerung von Robotern benötigt wird, ein anderer Abschnitt kann eine hohe Bandbreite für Videokameras bereitstellen, die Daten an ein Bildverarbeitungssystem für künstliche Intelligenz (KI) liefern. Mobilfunknetzbetreiber können ihre Netze so aufteilen, dass sie den Anforderungen ihrer Kunden an die Qualität des Dienstes gerecht werden. Falls gewünscht, können auch PCNs Netzwerk-Slicing implementieren, um sicherzustellen, dass bestimmte Geräte ihrem Bedarf gemäß über 5G betrieben werden. Wie bei jeder Ressource ist die Anzahl der verfügbaren Slices jedoch begrenzt.

Eine andere Technologie, die sich ins Rampenlicht drängt, ist Wi-Fi 6 (802.11ax). Im Vergleich zu Wi-Fi 5 [9] (802.11ac) bietet sie zwar einen nur 37 % höheren Durchsatz, doch dank Beamforming sorgt Wi-Fi 6 dafür, dass alle Nutzer bessere Datenraten erhalten, da die Signale zielgerichtet

zum Nutzer gelenkt werden, statt in alle Richtungen zu senden. Dadurch dürfte sich der Durchsatz pro Gerät im Vergleich zu früheren Generationen des Standards über die 37 % hinaus erheblich verbessern. Das Beamforming ist auch einer der Ansätze, die bei 5G zur Verbesserung des Datendurchsatzes pro Nutzer verwendet werden. Außerdem gibt es Wi-Fi 6E, das im unlicenzierten 6-GHz-Band arbeitet. In den Vereinigten Staaten bietet dieses Band eine Bandbreite von 1200 MHz. In anderen Regionen ist die Situation anders. China hat das 6-GHz-Band für 5G reserviert, während Europa nur 500 MHz des Bandes für Wi-Fi reserviert hat und den oberen Teil für 5G frei lässt [10]. Wi-Fi wird weiterhin eine wichtige Rolle bei IoT-Implementierungen spielen, doch wurde es nicht für Objekte konzipiert, die sich bewegen und dabei einen reibungslosen Übergang

zwischen Zugangspunkten benötigen, wie zum Beispiel autonome fahrerlose Transportsysteme (AGV). Außerdem entsprechen die Standards in punkto Sicherheit und die Zuverlässigkeit des Netzes nicht denen von 5G. Obwohl Wi-Fi 6 kurzfristig Vorteile bieten kann, bevor 5G vollständig etabliert ist, wird 5G in Zukunft wahrscheinlich die erste Wahl in kommerziellen und industriellen Anwendungen sein.

5G ist auf dem Weg

Auch wenn man über die Werbung, mit der versucht wird, Verbraucher zu 5G-Nutzern zu machen, lachen kann, so ist sie doch ein wichtiger Hinweis auf die Anstrengungen, die die Mobilfunkbetreiber in diese neue Technologie stecken. Verbraucher und Geschäftskunden werden von den angebotenen höheren Datenraten profitieren, MNOs von energieeffizienteren, konfigurierbaren Netzen und der Möglichkeit, den Kunden differenzierte Dienste anzubieten. Der bei weitem aufregendste Aspekt sind jedoch die PCNs, die es großen gewerblichen Nutzern ermöglichen, die niedrigen Latenzzeiten, die massive Konnektivität und den hohen Durchsatz von 5G wirklich zu nutzen. Und obwohl diese Netze privat sind, hält dies traditionelle Mobilfunknetzbetreiber und neue Akteure wie Amazon Web Services [11] (AWS) nicht davon ab, auch in diesem Bereich mitzumischen, indem sie Hardware, Software und Backend-Technologie bereitstellen. ◀

220297-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

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

WEBLINKS

- [1] Telekom-Werbespot „Komm ma bitte klar ihr Schnecken seid zu lahm“: <https://bit.ly/3AEfW4a>
- [2] M. Mackenzie, C. Chappell, „What are private LTE/5G networks and why are they important?“, Analysys Mason, Februar 2021: <https://bit.ly/3sY1T4B>
- [3] „How Ofcom has enabled innovation through spectrum sharing“, Ofcom, August 2020: <https://bit.ly/3MOJQuq>
- [4] Webseite der OnGo Alliance: <https://bit.ly/3MLcbNu>
- [5] „Netzwerktests in privaten Netzen“, Rohde & Schwarz: <https://bit.ly/3AAO3tH>
- [6] „QualiPoc Android“, Rohde & Schwarz: <https://bit.ly/3nU7B4F>
- [7] „SLM security controllers optimized for industrial applications“, Infineon: <https://bit.ly/3yxzIAK>
- [8] „ST4SIM: SIM & eSIM cellular connectivity portfolio“, STMicroelectronics: <https://bit.ly/3wKK8Ik>
- [9] E. Khorov et al., „A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs“, IEEE, 2019: <https://bit.ly/3MQpE6A>
- [10] „The Importance of 6 GHz for 5G's Future“, GSMA, Mai 2021: <https://bit.ly/3sZFLqy>
- [11] Webseite AWS Private 5G: <https://go.aws/3yAvh34>

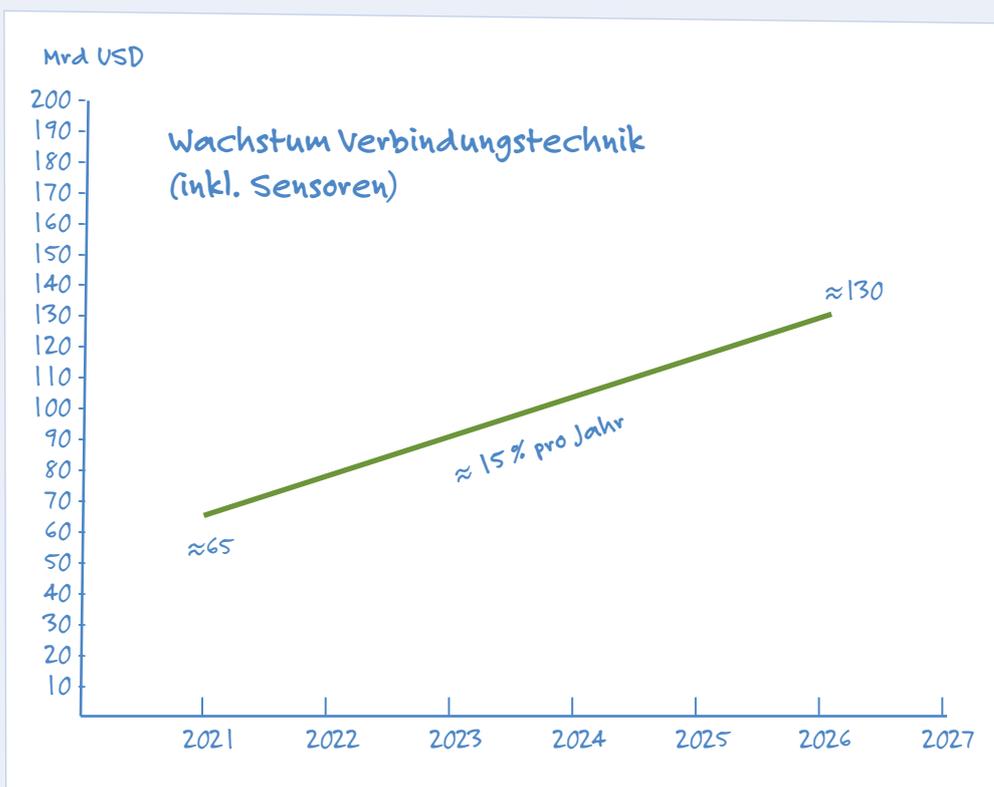
Kabelloses Laden: Kleiner Markt, großes Wachstum

Drahtlose Kommunikation und drahtloses Laden sind aus zwei Gründen ein heißes Thema. Der eine hat mit der Marktgröße zu tun, der andere mit dem Marktwachstum. Das drahtlose Laden ist besonders beeindruckend, wenn es um Wachstum geht. Zwar sprechen wir hier von der Größe her nicht von Hunderten von Milliarden Dollar, wie es bei der drahtlosen Kommunikation der Fall ist, sondern „nur“ von Dutzenden, doch werfen wir einen Blick auf die jährliche Wachstumsrate für das kabellose Laden im weiteren Sinne (einschließlich Automobile): Diese Rate beträgt 24,6 % zwischen 2021 und 2026, das heißt, sie steigt von 4,5 Mrd. USD im Jahr 2021 auf 13,4 Mrd. USD im Jahr 2026. Die drahtlose Kommunikation wächst langsamer, obwohl auch sie zweistellige Werte aufweist.



(Quellen: Allied Market Research; MarketsandMarkets)

Der Drohnenblick bestätigt: Alles zeigt in dieselbe Richtung



Betrachtet man aus der Perspektive einer Drohne all die notwendige drahtlose Verbindungstechnik in mobilen Geräten (einschließlich Sensoren), wird deutlich, dass alle Teile der Gesellschaft die drahtlose Technologie nutzen wollen. Der globale Markt umfasst so viel mehr als nur den Wunsch der Verbraucher, auch unterwegs ständig in Kontakt zu bleiben. Kommunen wollen intelligente Städte aufbauen und Unternehmen ein zuverlässiges 24/7-IoT. Insgesamt wird das Wachstum für Verbindungstechnik in der Tat zweistellig sein. Marktforschungsunternehmen wie BCC Research und MarketsandMarkets prognostizieren für die kommenden fünf Jahre ein Wachstum von 15 %. Und ja, das schließt einen völlig neuen Markt ein: Drohnen.

(Quellen: BCC Research; Global Market Insights; MarketsandMarkets)

Infrastruktur: Vieles ist schon da, aber...

Ein Piktogramm für drahtlose Kommunikation enthält oft ein paar Funkwellen, die eine Art Antenne darstellen. Und Antennen sind nicht nur das Rückgrat des Wachstums, sie stehen auch selbst für Wachstum. So sind beispielsweise mehr Antennenmasten erforderlich, um die 5G-Technologie auszubreiten, die ja mit höheren Frequenzen viel höhere Geschwindigkeiten als 4G zu ermöglichen. Aus diesem Grund könnte der Markt für drahtlose Infrastruktur laut Data Bridge Market Research bis 2028 auf 286 Mrd. US-Dollar anwachsen. Zwischen 2021 und 2028 bedeutet dies

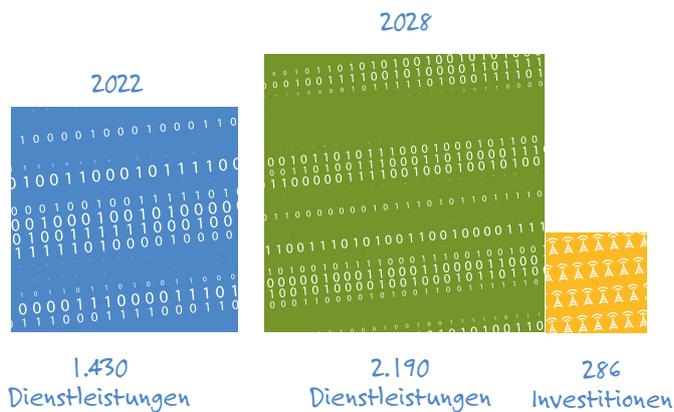


ein jährliches Wachstum von 7 %. Und wir sprechen hier nicht nur von Antennenmasten, sondern auch von Basisstationen und zentralen Knotenpunkten.

(Quellen: Data Bridge Market Research; Global Market Insights)

Investitionen? Die Marktgröße wird es schon richten!

Globale drahtlose Dienstleistungen 2022 vs. globale drahtlose Investitionen 2028 (Mrd. USD)



Riesige Investitionen in die drahtlose Infrastruktur stellen für die Anbieter von Telekommunikationsdiensten ein großes Risiko dar. Werden sie in der Lage sein, eine angemessene Rendite für ihre Investitionen zu erzielen? Die Antwort ist ein unbestreitbares Ja. Das hat nicht so sehr mit der Wachstumsrate der drahtlosen Dienste zu tun, da diese in etwa der Investitionsrate in die drahtlose Infrastruktur entsprechen wird, das heißt, etwa +7 % zwischen 2020 und 2030, entscheidend ist vielmehr die Marktgröße. Während die Infrastrukturinvestitionen im Jahr 2028 fast 300 Milliarden US-Dollar erreichen werden, übersteigt der globale Dienstleistungsmarkt 1,4 Billionen USD, schon im Jahr 2022.

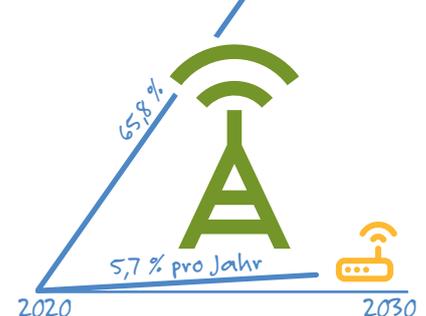
(Quellen: Data Bridge Market Research; Future Market Insights; Market Research Future)

Auf lange Sicht ist es die große Reichweite

Es ist immer schwierig, zwischen drahtloser Kommunikation mit großer Reichweite und drahtlosen Verbindungen mit geringer Reichweite zu unterscheiden. Wo hört die kurze Reichweite auf und wo beginnt die große? Nehmen wir der Einfachheit halber an, dass WLANs für Kurzstreckennetze auf der Grundlage von Wi-Fi 802.11 stehen. Nehmen wir weiter an, dass Langstreckennetze durch den 5G-Standard vorangetrieben werden. So ergibt sich ein interessantes Bild, wenn man alle Hardware, Software und Dienste zusammenrechnet (ohne Telekommunikationsinfrastruktur). Während WLANs zwischen 2021 und 2028 um 5,7 % wachsen werden, werden 5G-Netzwerke zwischen 2020 und 2030 um atemberaubende 65,8 % wachsen. Nebenbei bemerkt: 5G kann auch für WLANs genutzt werden.

(Quellen: Allied Market Research; Digi; Fortune Business Insights)

Marktwachstum WLANs und 5G innerhalb dieses Jahrzehnts



Wie lernt mein Gerät funkten?

Applikationen mit WiFi-Schnittstellen ausrüsten

Von Dr. Heinz Zenkner
(Freier Berater bei Würth Elektronik)

Die zunehmende Vernetzung von Consumer- und Industriegeräten befördert den Wunsch nach einfacher Drahtlosanbindung. Realisiert wird das häufig durch die Implementierung einer WiFi-Schnittstelle. Doch wie geht man dabei vor und welche Fallstricke lauern? Dieser Artikel erläutert, wie ein HF-gerechtes Schaltungsdesign, Leiterplattendesign und -layout umgesetzt werden kann, wie sich die Antenne anpassen lässt und welche Bauelemente sich eignen.

Die gewaltigen Wachstumszahlen von IoT-Anwendungen (Internet of Things) und die Dezentralisierung von Steuerungen stellt viele Entwickler vor die Herausforderung, drahtlose Verbindungen zur Datenkommunikation zwischen dem peripheren Gerät wie einem Sensor und der zentralen Steuerung zu integrieren. Die Vorteile sind offensichtlich: Über galvanische Isolierung und die Verlegung von Kabeln muss man sich keine Gedanken machen. Erforderlich ist allerdings, dass die drahtlose Verbindung eine hohe Zuverlässigkeit aufweist, um auch in störintensiven Umgebungen eine sichere Kommunikation zu gewähr-

leisten. Eine hohe Zuverlässigkeit der WiFi-Verbindung bedeutet, dass ein HF-gerechtes Design realisiert werden muss, das sowohl den EMV-Anforderungen als auch der Signalintegrität gerecht wird. Im Folgenden geht es um das Design der Antennenschnittstelle, bestehend aus Schaltung, Bauelementen, Layout und der Systemintegration.

Reflexionen an der Antenne verhindern

WiFi-Controller arbeiten auf digitaler Basis und erzeugen an ihrem Sendeausgang (Tx-Port) nicht nur erwünschte Signale, sondern auch harmonische Störsignale. Des Weiteren entstehen Störungen durch Fehlanpassung im Sendepfad, der idealerweise von der Sendeendstufe bis einschließlich der Antenne eine Impedanz von 50 Ω aufweisen sollte. Deshalb werden häufig Filter und Anpassungsnetzwerke im Sende- und Empfangspfad der WiFi-Schnittstelle verwendet, um harmonische Störungen zu dämpfen und die Anpassung an 50 Ω zu verbessern. Im Nutzfrequenzbereich muss das Übertragungssystem angepasst sein, um das Signal über seine komplette Bandbreite möglichst unbeeinflusst übertragen zu können.

HF-taugliche Filterbauelemente auswählen

Bauelemente, wie Kondensatoren, Induktivitäten und Widerstände bringen in einer Schaltung eine Kombination aus verschiedenen Impedanzen mit sich. Diese Erscheinung nimmt mit steigender Frequenz zu. Somit ergibt sich für den Einsatz von Bauelementen in Filtern im Frequenzbereich über 500 MHz die Notwendigkeit, sich mit den wichtigsten Parametern der Bauelemente auseinanderzusetzen.

HF-Kondensatoren ab 500 MHz

Für den hochfrequenten Einsatz eignen sich nur bestimmte Kondensatortypen. Vertreter dieser Gattung sind die Kondensatoren aus der WCAP-CSRF-Serie (No. 885392005010), deren elektrische Parameter

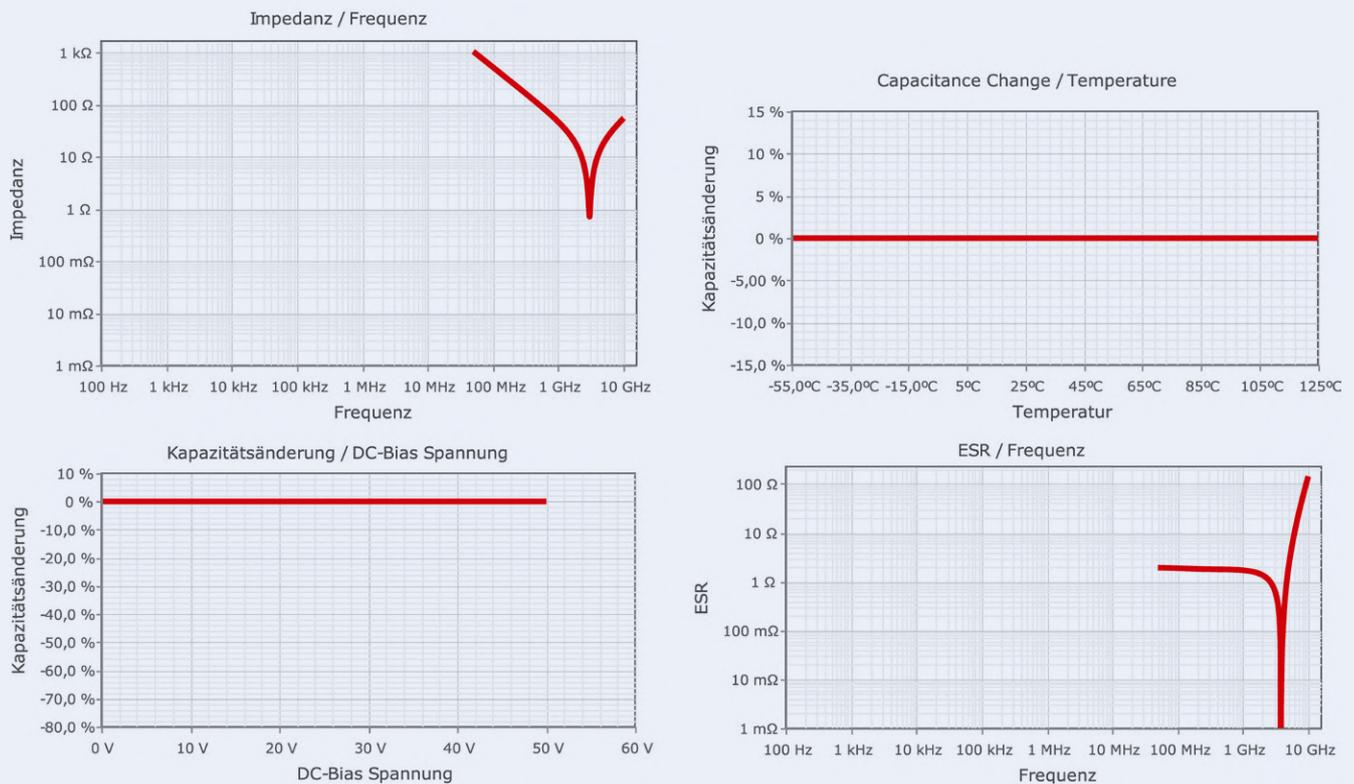


Bild 1. Elektrische Kenndaten des 3-pF-HF-Kondensators WCAP-CSRF 885392005010.

in **Bild 1** gemäß Datenblatt mit den zugehörigen Parametern Resonanzfrequenz, ESR, DC-Bias-Drift und Temperaturdrift dargestellt sind. Zur Simulation sind diese auch im Tool „RedExpert“ [1] verfügbar. Die Resonanzfrequenz dieses Kondensators liegt bei ca. 3 GHz, der äquivalente Serienwiderstand ESR ist bis zur Resonanzfrequenz klein und sowohl der DC-Bias-Drift als auch der Temperaturdrift sind vernachlässigbar. Neben einer hohen Güte von über 460 ergibt sich mit einer Resonanzfrequenz von 3 GHz eine parasitäre Induktivität von 0,3 nH, was für die allermeisten Applikationen tolerabel ist. Für WiFi, Bluetooth und andere Applikationen, die im GHz-Bereich arbeiten, sind solche Werte dringend erforderlich.

HF-Induktivitäten ab 500 MHz

Häufig finden für die Antennenanpassung Induktivitäten ohne Ferrit-Material und für die EMV-Filter Induktivitäten mit Ferritkern Einsatz. Handelt es sich um Induktivitäten mit Ferritkern, muss das Ferritmaterial sorgfältig anhand der Impedanzkurven ausgewählt werden.

Für die Anwendung des Filters als verlustarmes Antennen-Anpassungsnetzwerk, oder einer ähnlichen HF-Applikation, bieten sich Induktivitäten der WE-KI-Serie an. Die Drahtwindungen sind bei diesen Bauelementen auf Keramik gewickelt, um eine hohe Güte und hohe Resonanzfrequenzen zu erreichen (**Tabelle 1**).

WiFi-Schnittstelle implementieren

In **Bild 2** ist beispielhaft eine WiFi-Schnittstelle dargestellt, die Teil eines IoT-Interface-Boards ist. Die Funkreichweite, die ein Anwender mit einer begrenzten Strahlungsquelle wie dem Transceiver herausholt, hängt stark vom Antennendesign, dem Gehäuse und einem geeigneten Leiterplattenlayout ab. Es ist nicht ungewöhnlich, dass die HF-Leistungsdaten für Schaltungen, die den gleichen Chipsatz und die gleiche Leistung,

aber ein anderes Layout und ein anderes Antennendesign verwenden, stark variieren. In der Praxis haben die meisten Produkte einen kombinierten Sende-/Empfangsteil, den Transceiver-Chip. Das heißt natürlich auch, dass die Antennenanpassung, Zuleitungen und die Antenne selbst sowohl für den Sendebetrieb als auch für den Empfangsbetrieb genutzt werden. Der Empfangskanal zeigt im Allgemeinen eine hohe Dynamik, typischerweise eine Sensitivität von > 95 dB und eine 3 bis 4 dB geringere Empfindlichkeit an der Antenne. Verluste wegen Fehlanpassung können durch eine Verstärkungsnachregelung kompensiert werden. Kritisch ist jedoch der Sendebetrieb, da eine um 3 dB geringere Empfindlichkeit der Antenne, oder um 3 dB höhere Verluste auf der Strecke zwischen Sendendeinstufe und Antenne, eine doppelt so hohe Leistung des Senders erfordern. Das führt zwangsläufig, sofern der Tx-Chip die Sendeleistung erzeugen kann, zu hoher Stromaufnahme und höheren Anteilen von Harmonischen im Sendesignal und obendrein gegebenenfalls zu EMV-Problemen. Der maximal zulässige Sendepiegel nach den relevanten EMV-Richtlinien muss dabei jedoch eingehalten werden. Da der maximale Sendepiegel einer normativen beziehungsweise gesetzlichen Beschränkung unterworfen ist, ist es

Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Inductance	L	250 MHz	10	nH	±5%
Q-Factor	Q	250 MHz	30		min.
Q-Factor	Q	900 MHz	66		typ.
DC Resistance	R_{DC}	@ 20 °C	0.13	Ω	max.
Rated Current	I_R	$\Delta T = 15$ K	700	mA	max.
Self Resonant Frequency	f_{res}		4800	MHz	min.

Tabelle 1. Kenndaten der SMD-Induktivität 74476110A (Angaben aus dem Datenblatt).

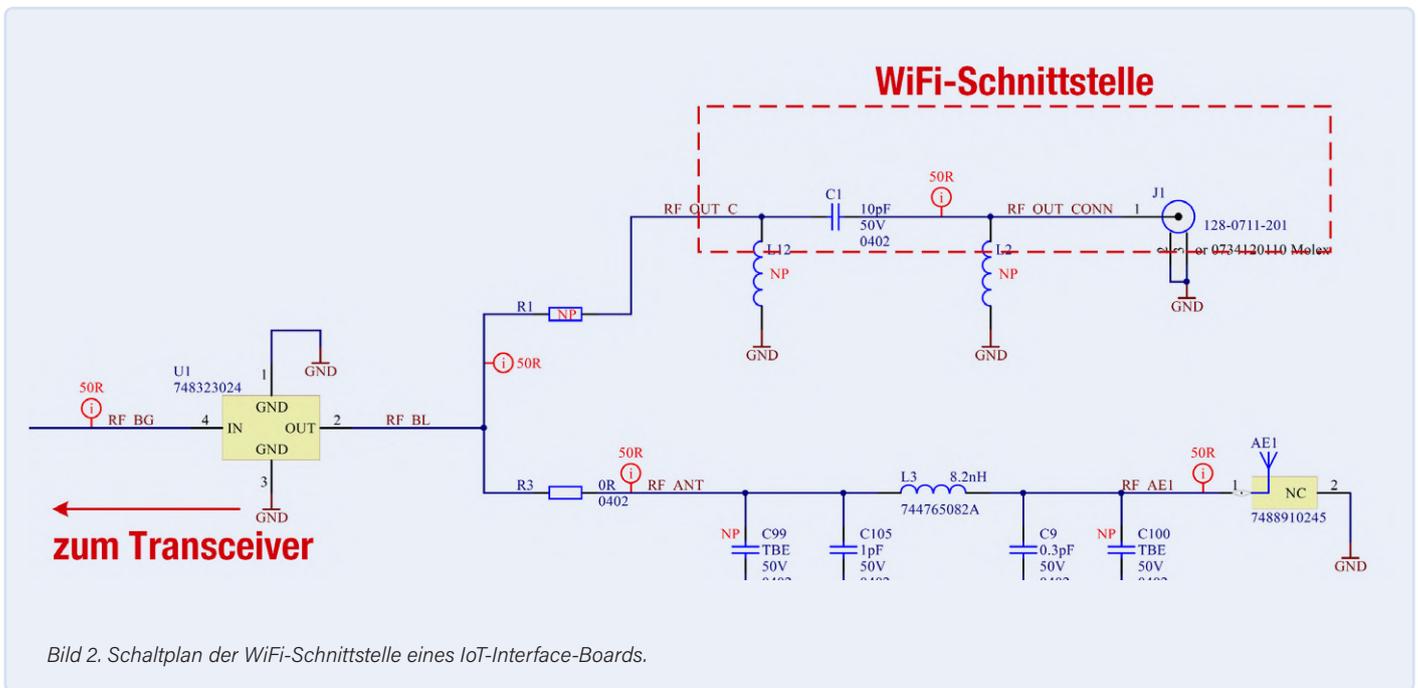


Bild 2. Schaltplan der WiFi-Schnittstelle eines IoT-Interface-Boards.

umso wichtiger, ein gut abgestimmtes System auf der Empfängerseite zu entwickeln, das mit minimaler Empfangsfeldstärke arbeitet. Es sei hier darauf verwiesen, dass normalerweise vom Hersteller des Transceiver-Chips, beziehungsweise des Kommunikationsmoduls, in der Spezifikation die passenden Antennen angegeben werden. Das stellt sicher, dass unter Beachtung der Applikation die entsprechenden normativen Anforderungen im Rahmen der RED – Richtlinie 2014/53/EU eingehalten werden. Werden andere Antennen eingesetzt, oder wird vom empfohlenen Aufbau abgewichen, sind andere HF-Eigenschaften zu erwarten.

Keramische Chip-Antennen

Keramische Chip-Antennen bieten mehrere Vorteile. Sie sind klein und nicht so empfindlich gegen elektromagnetische Einflüsse benachbarter Komponenten. Änderungen am Platinendesign oder Layout lassen sich leicht ohne Simulation vornehmen. Die Antenne kann leicht angepasst, oder sogar gegen eine andere ersetzt werden. Chipantennen werden häufig in mobilen und hochfrequenten Anwendungen wie GPS oder 2,4 GHz-Funkgeräten eingesetzt. Bild 3 zeigt verschiedene WE-MCA Multilayer-Chip-Antennen, die sich für WiFi-Schnittstellen eignen.

Impedanzanpassung des Übertragungspfad

Die maximale Leistung wird dann übertragen, wenn die Impedanz der Quelle gleich der Impedanz der Last ist. Das heißt, dass der Transmitter (Ausgang des Senders) mit seiner Impedanz Z_T die Quelle ist, der eine Leiterbahn mit einer Impedanz $Z_L = Z_T$ speist. Diese wiederum überträgt die Leistung an die Antenne mit der Impedanz Z_A , die im Idealfall die gleiche Impedanz wie die Leiterbahn und die Quelle aufweisen sollte. Die maximale Leistung wird also dann übertragen, wenn alle Impedanzen den gleichen Wert haben. Bei nicht idealer Anpassung wird ein Signal mit der Amplitude V_{IN} vom Transceiver in die Leiterbahn eingekoppelt und nur ein Teil des Signals kommt an der Antenne an. Der Rest des Signals wird an den Übergängen zum einen zwischen Quelle und Leitung und zum anderen zwischen Leitung und Antenne reflektiert.

Eine solche Fehlanpassung lässt sich durch Einfügen eines Anpassungsnetzwerkes, in der Regel ein π -, T-, LL- oder LC-Netzwerk, stark reduzieren. Die Kapazitäts- und Induktivitätswerte im Netzwerk bewegen sich im Bereich von pF und nH. Es ist sinnvoll, Mustersets in den Bereichen von 0,5 pF bis 20 pF und 0,5 nH bis 20 nH zur Anpassung

zur Verfügung zu haben. So ist es erforderlich, im Layout der WiFi-Schnittstelle Bestückungsplätze für die Antennenanpassung vorzusehen. Bild 4 zeigt den Schaltplan und den entsprechenden Ausschnitt vom Board.

Das Layout und die Positionierung der L/C-Komponenten sowie der Chip-Antenne auf der Leiterplatte sind entscheidend: Die Komponenten zur Anpassung müssen so nah wie möglich an die Antenne, beziehungsweise den Antennenanschluss. Die Antennenposition, die Größe der ausgesparten Fläche um die Antenne und die Entfernung zwischen der Antenne und der Bezugsmasse-Ebene beeinflussen die Antennen-Resonanzfrequenz und die Antennenimpedanz.

Im vorliegenden Beispiel wurde die Antenne in die Ecke des Boards platziert. So ist die Antenne nicht von zusätzlichen Komponenten umgeben und damit ergibt sich eine gute Antennenleistung (Bild 5). Die Leiterbahn zur Antenne ist als Teil des Antennensystems zu betrachten. Der Randbereich um die Antennenaussparung, die Masseflächen, sind in allen vier Lagen durchkontaktiert. So wird sichergestellt, dass die Antenne eine stabile Bezugsmasse bekommt. Die Länge der Leiterbahn, die die Antenne speist, und die Länge und Breite der Masseebene bestimmen, ob das System wie ein Dipol oder wie ein Monopol wirkt. Wenn die Massefläche rund 3 bis 4 cm lang und etwa 1 bis 2 cm breit ist, wird das System als Dipol arbeiten, ist die Massefläche größer, arbeitet das System als Monopol-Antenne.

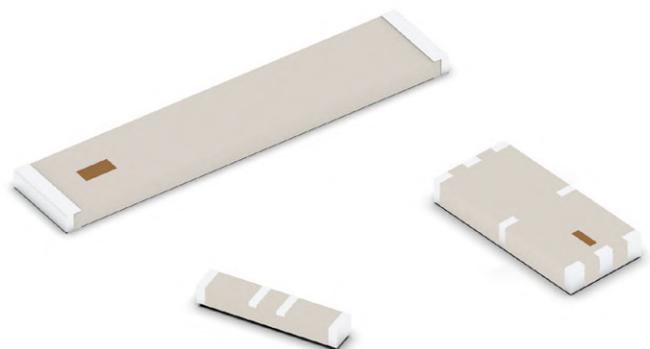
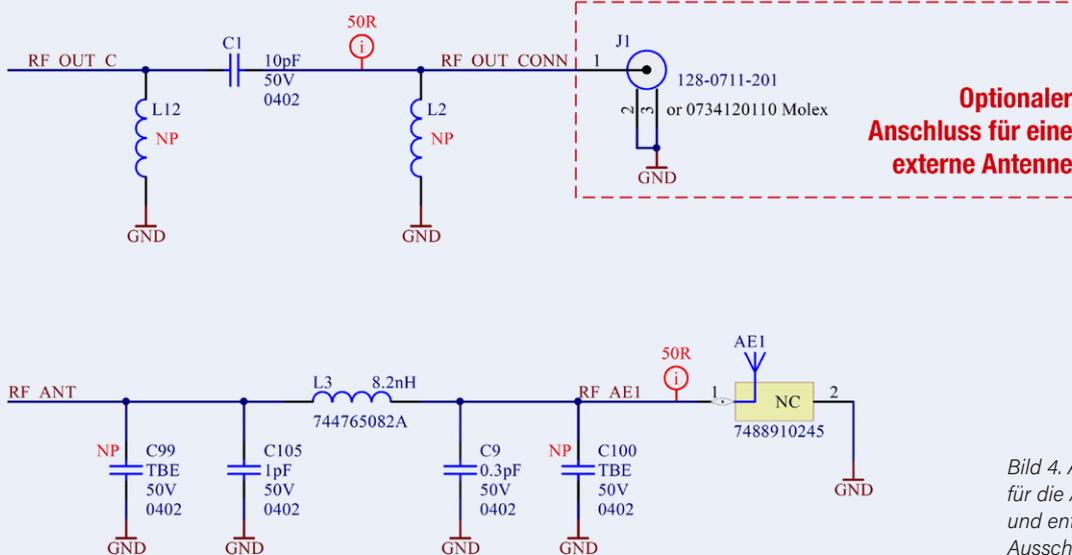


Bild 3. WE-MCA Multilayer-Chip-Antennen in verschiedenen Bauformen.



Optionaler Anschluss für eine externe Antenne

Bild 4. Anpassungsnetzwerke für die Antennen, Schaltplan und entsprechender Layout-Ausschnitt. C99 und C100 sind nicht bestückt.

Anpassung einer keramischen Chip-Antenne

Im Beispiel geht es um die Anpassung der WE-MCA Multilayer-Chip-Antenne (No. 7488910245) für eine maximale Leistungsübertragung. Die Messung der Anpassung erfolgt mit einem Netzwerkanalysator, wobei es sich bei dem gemessenen Signal um die Reflexionsdämpfung S_{11} handelt. Bei Reflexion im Signalweg wird ein Teil des vom Sender kommenden Signals aufgrund der unterschiedlichen Impedanzen zwischen Transceiver und Antenne reflektiert. Da die Impedanz des Signalweges im Allgemeinen frequenzabhängig ist, ist die Reflexion ebenfalls frequenzabhängig. Je kleiner die Impedanz-Unterschiede im Übertragungsbereich sind, desto geringer sind die Reflexionen. Mit den in der Schaltung (Bild 4) angegebenen Werten erreicht man eine Reflexionsdämpfung von 29 dB, d.h. ein VSWR (Spannungswellenverhältnis) von 1,06. Bild 6 zeigt die Reflexionsdämpfung über der Frequenz.

Für diejenigen, die sich nicht selbst mit der Antennenanpassung beschäftigen möchten, bietet Würth Elektronik neben den oben erwähnten Bauelementen auch einen Antennen-Anpassungsservice an. ◀

220369-21

Über den Autor

Dr.-Ing. Heinz Zenkner ist freier Mitarbeiter bei Würth Elektronik in den Bereichen Technical Marketing und Application Engineering und doziert im Bereich EMV an der technischen Akademie. Gleichzeitig ist er öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für EMV. Zenkner ist langjähriger Autor verschiedener Fachzeitschriften und Bücher. Zusätzlich hat er an verschiedenen Universitäten, an der IHK und bei zahlreichen Seminaren als Dozent gearbeitet.



WEBLINKS

- [1] Bauelemente-Simulations-Tool „RedExpert“: <https://redexpert.we-online.com/redexpert/#/>
- [2] Wireless Product Guide: we-online.de/wcs-product-guide

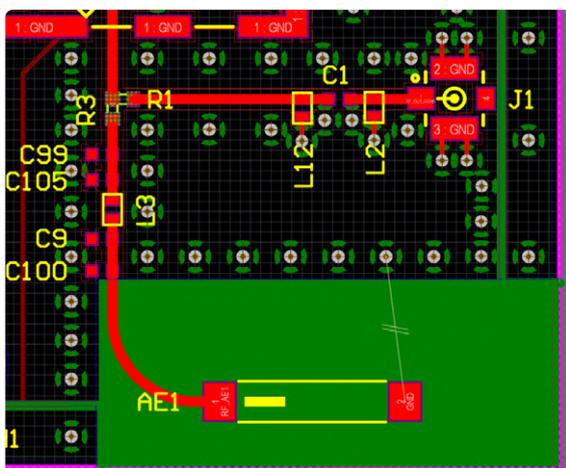


Bild 5. Layout-Ausschnitt vom WiFi-Interface-Board im Bereich der WiFi-Antenne.

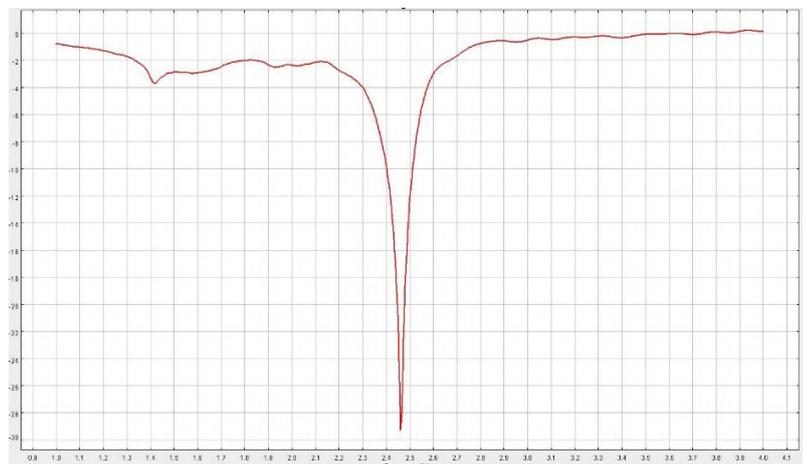


Bild 6. Reflexionsdämpfung des WiFi-Antennen-Ports mit Anpassungsnetzwerk und Hybridantenne über der Frequenz.

Rheinturmuhren – Wecker de luxe

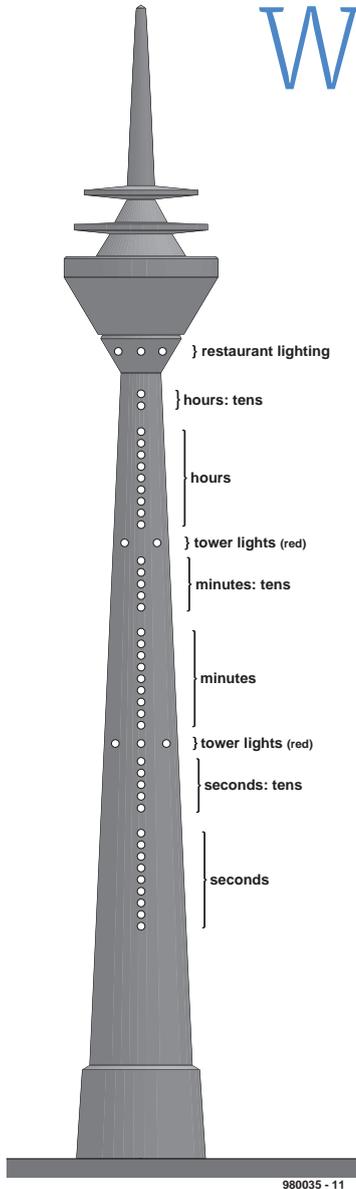


Bild 1. Umriss der Rheinturmuhren mit der beleuchteten Zeitanzeige mit LEDs in der Nachbildung.

Typisch für viele erfolgreiche Elektor-Projekte war die modifizierte Rheinturmuhren vom Januar 2000 als Ergebnis eines Reifeprozesses. Basierend auf seinem ursprünglichen Artikel vom Mai 1998 mit dem Untertitel „Alternative DCF-LED-Uhr“ [1] verbrachte der freie Mitarbeiter D. De Mülder etwa zwei Jahre damit, die Software zu perfektionieren und die Umriss einer gewaltigen Platine nach dem 240,5 m hohen Rheinturm in Düsseldorf zu

Von Jan Buiting (Elektor)

Dieses Projekt, ein Nachbau des Düsseldorfer Rheinturms, zeigt die gemeinsame Schaffenskraft eines freien Elektor-Autors und eines Ingenieurs im Elektor-Labor. Das Ergebnis ist nicht nur ein Hingucker, sondern auch eine der größten und sicherlich anspruchsvollsten Platinen, die der Elektor Platinen Service (EPS) je verkauft hat.

definieren. Das daraus resultierende Projekt [2] war ein großer Erfolg in der Geschichte von Elektor und wird bis heute von vielen Menschen sofort erkannt.

Von großen Lampen zu LEDs

Beim Elektor-Nachbau wurden die 39 weißen Lampen, die im echten Turm die Uhrzeit anzeigen, durch gelbe LEDs ersetzt, die Restaurant- und Bakenleuchten durch rote LEDs. Die Umriss des Rheinturms sind in **Bild 1** zu sehen, die auch das verwendete Kodierungssystem zeigt, das den Bankern und später den benachbarten Landespolitikern sowie den nahen und ferneren Bewohnern der Stadt anzeigt, was die Uhr geschlagen hat. Im Gegensatz zum ursprünglichen Elektor-Projekt von 1998 konnte die „neue“ Rheinturmuhren auch ohne den Empfang des Zeitzeichensenders DCF77 in vom Senderstandort Mainflingen weit entfernten Gegenden dieses Planeten funktionieren. Obwohl der am weitesten entfernte DCF77-Empfangsbericht, den ich per Post erhielt, von einem stolzen Laborbesitzer in Riad stammte, war der sichere Betrieb der



Elektor-Cover vom Januar 2000.

Rheinturmuhren damit auch in solch verlassen Gegenden wie Mittelengland oder Skandinavien möglich.

Von 240,5 m auf 49 cm geschrumpft

Die Intelligenz der Uhr lag in einem 89C2051-Mikrocontroller (**Bild 2**), auf dem ein vom Autor des Projekts entwickelter Code lief, während die 49 cm lange respektive hohe Platine, die die Leser kaufen konnten, unter der Aufsicht von Karel Walraven im Elektor-Labor entwickelt wurde. Die Platine bestand aus mehreren Teilen, um die Basis des Turms, die Steuerplatine, eine kleine Tastatur und den eigentlichen Turm zu bauen (**Bild 3**). Die Projekt-Firmware wurde damals nicht veröffentlicht, was bei den Elektor-Lesern, die über eigene Programmiergeräte verfügten und sich gegen die „geldgierige Black-Box-Technik“ von Elektor wehrten, zu einiger Frustration führte. Kein Wunder, dass bald illegale Kopien von „ESS996519-1“ auftauchten, besonders auf Amateurfunkmärkten. Buh-Rufe gab es auch aus Großbritannien, Irland und Portugal, wo

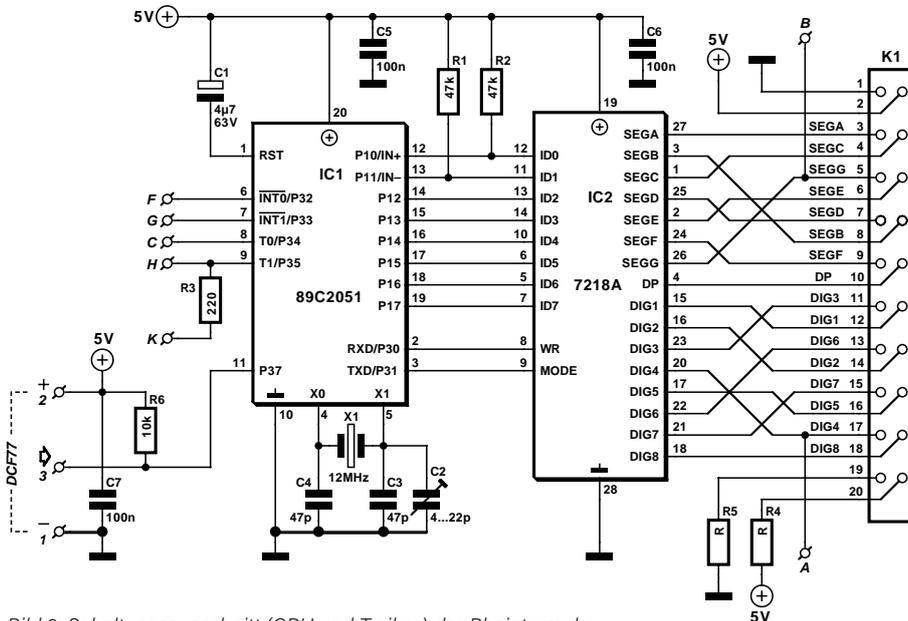


Bild 2. Schaltungsausschnitt (CPU und Treiber) der Rheinturmuh.

CET minus eine Stunde erforderlich war und Elektor keinen entsprechenden Patch lieferte. Positiv zu vermerken ist, dass der Platinenentwurf in dem Artikel mit 55 % der tatsächlichen Größe abgedruckt wurde, so dass der gesamte DIY-Weg besprochen werden konnte, einschließlich des „Aufblasens“ des Leiterbahnlayouts auf einem Fotokopierer, gefolgt von gewissen Aktivitäten in der Dunkelkammer und dann Ätzen, Schneiden, Sägen und Bohren!

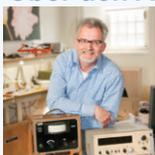
Der Erfolgsfaktor

Der Erfolg der neuen Rheinturmuh war eindeutig auf die großartige Software und die Suche nach den Grenzen des funktionalen und ästhetischen Platinendesigns und der Produktion für den Hobbymarkt im Jahr 2000 zurückzuführen. Kurz gesagt, es ging darum, einen ikonischen deutschen Turm zu „elektrifizieren“ und die exakte Zeit auf eine optisch ansprechende und herausfordernde Art und Weise an viele E-Arbeitsplätze und in das eine oder andere Wohnzimmer zu bringen. Kein Millennium-Bug hat jemals dieses großartige Projekt gebissen, aber um ehrlich zu sein, ist das vor allem der absoluten Zuverlässigkeit und atomaren Präzision von DCF77 zu verdanken. 

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

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

Über den Autor



Jan Buiting kam 1985 als Technischer Redakteur zur englisch-sprachigen Elektor-Redaktion und wurde 1999 zum Chefredakteur ernannt. Im Jahr 2004 rief Jan Buiting die Rubrik Retronics ins Leben, die am längsten laufende Artikelserie von Elektor wechselte, ist Jan weiterhin als Autor und Berater tätig. Jan arbeitet von zu Hause aus, wo er sein eigenes Labor hat und in dem er sich mit alten elektronischen Testgeräten und Amateurfunk beschäftigt. In seiner Freizeit liest er gerne, hält Vorträge, fährt Motorrad, gärt und wandert.

WEBLINKS

- [1] D. de Mülder, „Rheinturmuh – Alternative DCF-LED-Uhr“, Elektor 05/1998: <https://bit.ly/39DnEjD>
- [2] D. de Mülder, „Rheinturmuh – Wecker de luxe“, Elektor 01/2000: <https://bit.ly/3HtMfnH>



Bild 3. Elektors beeindruckendes Platinen-Kunstwerk für das Rheinturmuh-Projekt. Die tatsächliche Länge der Platine betrug 49 cm, im Gegensatz zu den 240,5 m des echten Rheinturms. Die modifizierte Schaltung war mit einer Weckerfunktion ausgestattet, der Grund, warum die Düsseldorfer viel aufgeweckter sind als ihre südliche Nachbarschaft.

Audio-Spektrum-Analysator mit Dekatrons

Eine neue Art, alte Röhren zu verwenden



Von Charles van den Ouweland (Niederlande)

Wir lieben es, neue Verwendungsmöglichkeiten für alte Teile und insbesondere für alte Displays zu finden. Sie sind oft zu schön, um sie in einer Schublade zu vergessen. Dieser Audioanalysator ist ein Beispiel, Dekatron-Zählröhren zu einem zweiten Leben zu verhelfen.

Dekatrons sind gasgefüllte Zählrohre aus den 1950er Jahren [1]. Für eine kurze Zeit wurden sie als Zähler und Speicherzellen in Computern wie dem Harwell Computer [2] verwendet. Jede Röhre konnte eine Ziffer von 1 bis 10 speichern, so dass man eine ziemliche Menge davon brauchte, um einen Computer zu bauen.

Ich hatte ein paar dieser Röhren herumliegen und dachte über ein Projekt nach, das sie einer neuen Verwendung zuführen könnte. Manchmal bauen Leute Dekatrons als Sekundenzähler in eine Nixie-Uhr ein, was ganz nett ist, aber ich wollte etwas Neues.

In diesem Artikel stelle ich Ihnen (m)einen 7-Band-Stereo-Audio-Spektrumanalysator mit Dekatron-Anzeige vor. Dies ist eine großartige Ergänzung für jeden Audiophilen mit einem Röhrenverstärker, der sein visuelles Spektakel aufwerten möchte!

Die Idee ist einfach: Anstatt das Audiospektrum in einem Balkendiagramm darzustellen, wird die Lautstärke des Audiosignals in jedem Frequenzband durch eine Anzahl von leuchtenden Punkten in einer der Dekatron-Röhren angezeigt. Jede Dekatron-Röhre besitzt einen Kreis aus Punkten. Die linke Hälfte der Punkte steht für den linken Teil des Stereosignals und die rechte Hälfte für das rechte Signal.

Die Hardware meines Audio-Spektrumanalysators (**Bild 1**) besteht aus einer Steuereinheit für die Signalverarbeitung und sieben identischen Dekatron-Einheiten als Anzeige. Und natürlich wird auch eine Stromversorgung benötigt.

Die Steuereinheit

Bild 2 zeigt den Schaltplan der Steuereinheit und der doppelten Stromversorgung für den Spektrumanalysator. Für diese Schaltung habe ich zunächst eine vorhandene

Platine aus einem anderen Projekt recycelt und modifiziert, um meinen ersten Prototyp zu bauen. Dann habe ich die Schaltplan-Entwurfsdatei erstellt und eine richtige Platine angefertigt. Beide Dateien stehen auf der GitHub-Seite dieses Projekts zum Download bereit [3].

Der Mikrocontroller (IC1) ist ein ATmega328P, bekannt aus dem Arduino. Hier wird er allerdings nicht als Arduino verwendet. Das kleine, nur 300 Zeilen umfassende Programm ist in C mit Atmel Studio geschrieben.

Zur Bestimmung des Audiospektrums wird ein spezieller Chip mit der Bezeichnung MSGEQ7 der amerikanischen Firma Mixed Signals verwendet, der das Audiosignal analysiert und in sieben Frequenzbänder unterteilt. Die sieben Pegel können dann vom Mikrocontroller durch digitale Befehle von dem Chip abgerufen werden. Der Chip antwortet mit einem analogen Spannungspegel an seinem Ausgang, der vom A/D-Wandler des Mikrocontrollers digitalisiert wird. In diesem Entwurf gibt es zwei dieser Analysator-ICs (IC2 und IC3), einen für jeden Audiokanal.

Warnung vor Hochspannung!

Dekatronen arbeiten mit Versorgungsspannungen von bis zu 450 V. Wenn Sie sich im Umgang mit solch hohen Spannungen nicht sicher fühlen, versuchen Sie erst gar nicht, dieses Projekt zu bauen oder mit diesen Röhren zu arbeiten. Auch nach dem Abschalten der Wechselstromversorgung kann am Hochspannungskondensator noch lange eine hohe Spannung anliegen. Vergewissern Sie sich vor Arbeiten an der Schaltung, dass der Kondensator entladen ist.

Weder der Entwickler noch Elektor übernehmen eine Haftung für Schäden jeglicher Art, die durch den Bau, das Testen und den Gebrauch (von Teilen) dieses Projekts entstehen!

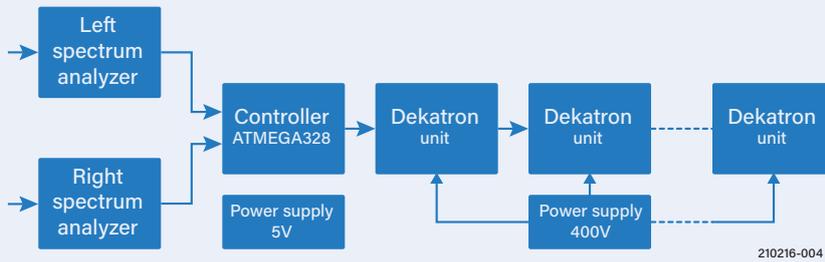


Bild 1. Blockdiagramm des Audioanalysators.

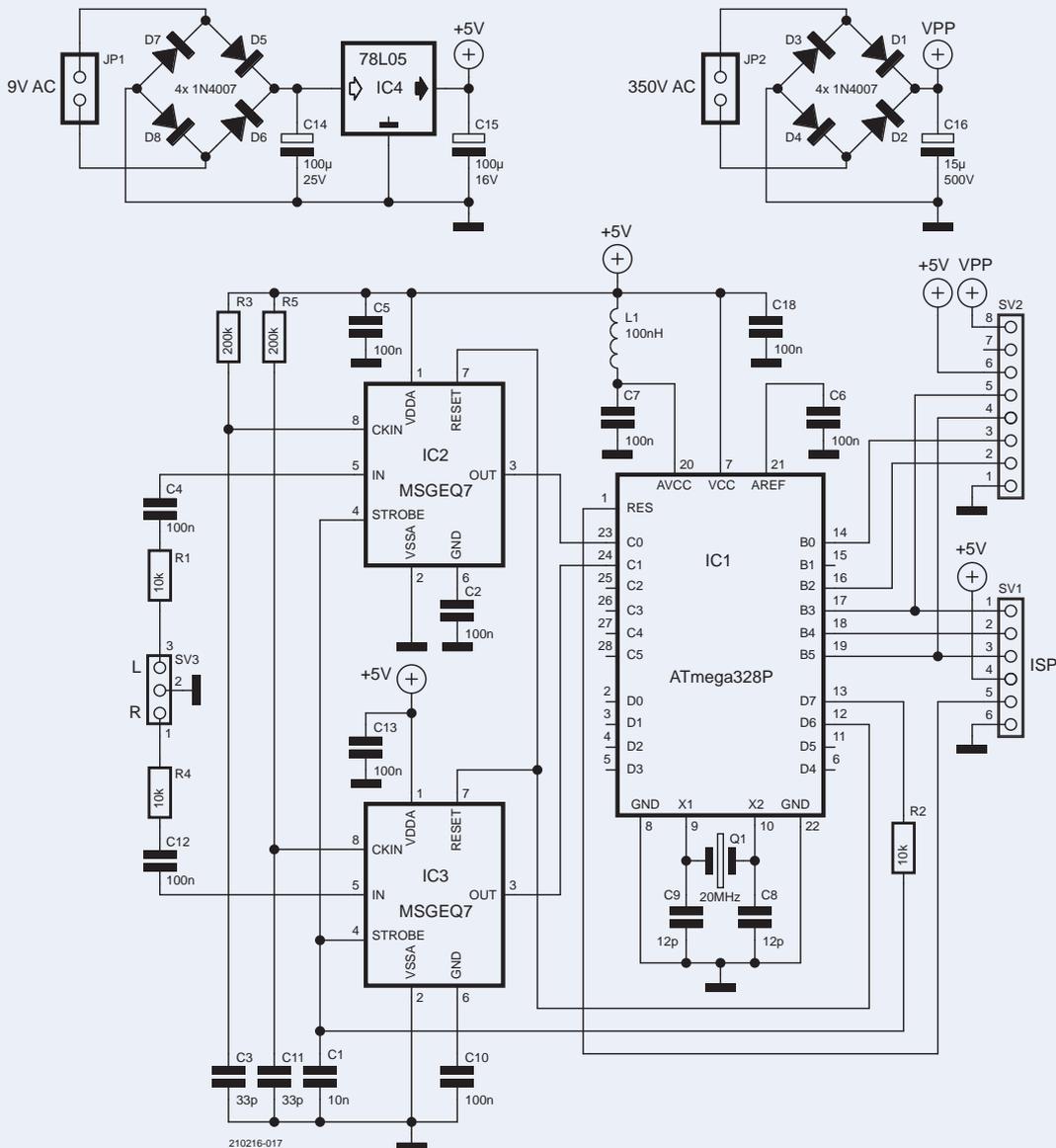


Bild 2. Schaltung des Steuerteils inklusive der Spannungsversorgung.

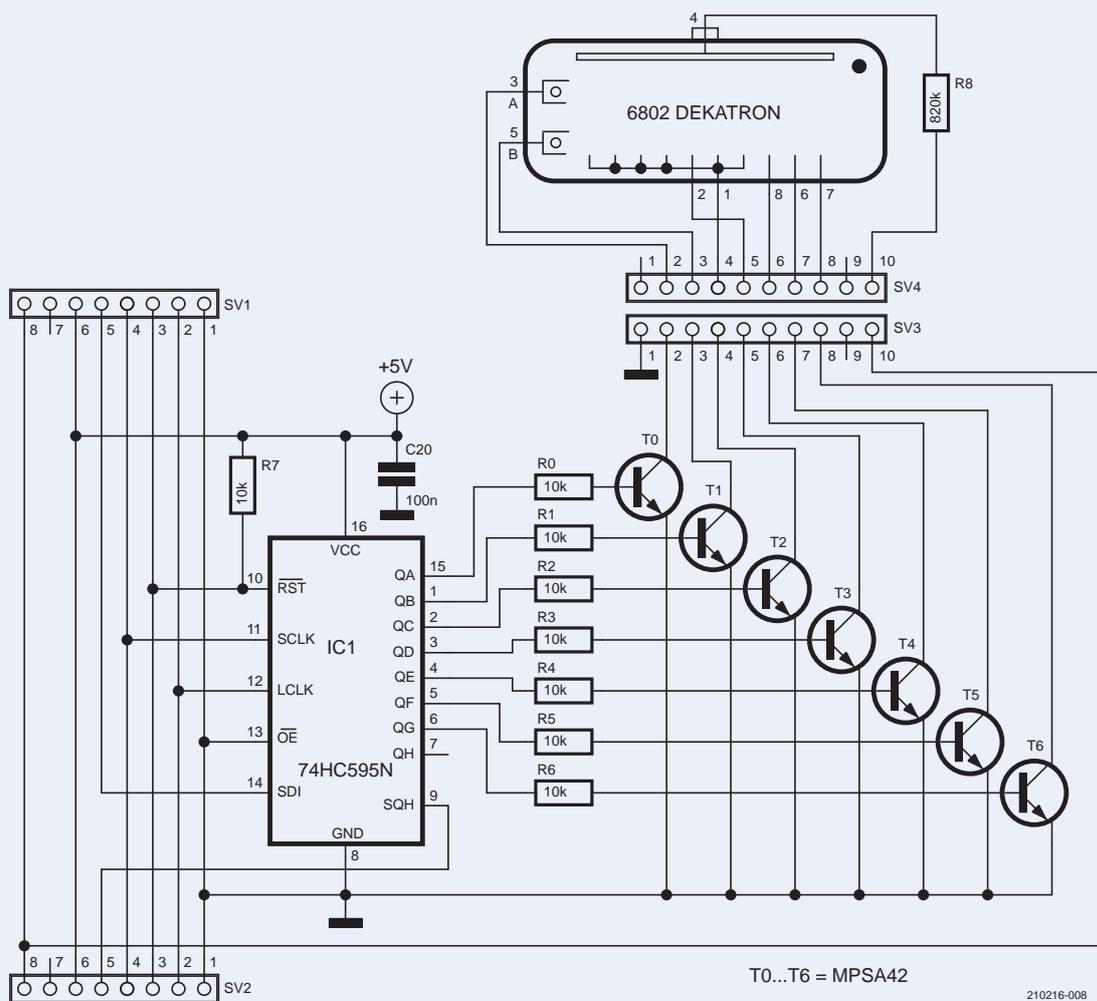


Bild 3. Schaltbild einer Dekatron-Einheit.

Die Dekatron-Einheit

Der Mikrocontroller ist mit den Dekatron-Einheiten über einen seriellen Dreidrahtbus (SPI) mit 5 Mbit/s verbunden. Jede Dekatron-Röhre verfügt über ein Schieberegister 74HC595 (serial-in, parallel-out) und eine Reihe von MPSA42-Transistoren, die als Hochspannungstreiber fungieren.

Für die Dekatron-Einheit habe ich eine kleine Platine mit den Abmessungen 4 cm × 4,5 cm entworfen, oder eigentlich zwei, denn eine Einheit besteht aus zwei übereinander gestapelten Platinchen. **Bild 3** zeigt das Schaltbild. Die obere Platine trägt den Dekatronsockel und den Anodenwiderstand, während die untere Platine alle anderen Bauteile enthält. Die Löcher für den Dekatronsockel sind für verschiedene Sockeltypen geeignet (sowohl Keramik als auch Metall/Kunststoff). Die unteren Platinen können dank der beiden durchgeschleiften Buchsenleisten SV1 und SV2 zu einer Kette beliebiger Länge zusammengeschaltet werden. **Bild 4** zeigt die Plati-

nen und die montierten Dekatron-Module, die zum Testen miteinander verbunden sind. Leiterplattenhersteller bieten oft einen Prototyping-Service mit zehn Platinen zu einem günstigen Preis an, so dass die Angelegenheit nicht allzu teuer werden sollte. Die Gerber- und Bohrdateien, die Sie zum Bestellen dieser Platinen benötigen, sind in *Unit6802_Elektor*. ZIP [3] enthalten.

Spannungsversorgung

Der Entwurf benötigt zwei Versorgungsspannungen: 5 V und 400 V. Die für die Versorgung benötigten elektronischen Bauteile sind ebenfalls in Bild 2 eingezeichnet. Die 5-V-Versorgung ist einfach: ein 9-V-Transformator mit einer Diodenbrücke, ein Spannungsregler 78L05 und zwei Kondensatoren.

In den Dekatrons findet eine Gasentladung statt. Damit diese Entladung zünden kann, ist eine relativ hohe V_{pp} -Spannung von etwa 400 V erforderlich. Meine erste Idee war ein Schaltnetzteil auf Basis eines MC34063 oder

sogar eines einfachen 555. Aber ich fand heraus, dass eine solche Versorgung die analogen Signale stark stört (insbesondere am Ausgang des MSGEQ7), so dass es fast unmöglich war, gute Ergebnisse zu erzielen. Dann fand ich einen Lieferanten, der in China Transformatoren nach Kundenspezifikationen herstellt, den Yollen Electrical Store. Ich bestellte dort ein paar kleine 50-Hz-Transformatoren (350 V, 1 VA) zu je 3 € (plus 6,50 € Versand) (**Bild 5**). Mit vier 1N4007-Dioden (D1 bis D4) und einem 10- μ F-Kondensator mit einer Spannungsfestigkeit von 500 V (C16) haben Sie alles, was Sie brauchen. Obwohl dieser Entwurf Röhren verwendet, hält sich der Strombedarf in Grenzen. Dekatrons sind nämlich so genannte Kaltkathodenröhren, das heißt, es gibt keine Heizung! Der einzige Strom, den die Röhre aufnimmt, ist ein Anodenstrom von 0,3 mA, was sich auf der Hochspannungsseite zu einer Leistung von etwa 1 W aufsummiert. Für beide Transformatoren reicht deshalb eine Nennleistung von

1 VA aus, und die Gesamtleistungsaufnahme des Geräts liegt unter 2 W!

Datenerfassung

Die Software für den ATmega328 ist in C in Atmel Studio geschrieben, der Quellcode und die HEX(adezimal)-Datei zur Programmierung des Mikrocontrollers können von der GitHub-Seite [3] heruntergeladen werden. Das Programm besteht aus einer Hauptschleife und Interrupt-Service-Routinen. Die Ansteuerung der Analysator-Chips einschließlich der Steuerung des ADC erfolgt in der Hauptschleife, während die Bedienung des SPI für die Dekatron-Einheiten in Interrupt-Routinen verlegt ist.

Die linken und rechten Audiosignale werden von zwei Analyzer-Chips zugeführt. Jedes dieser ICs enthält sieben Bandpassfilter (60 Hz, 150 Hz und so weiter, siehe **Bild 6**) mit Spitzenwertdetektoren. Diese Signale stehen über einen Multiplexer am Analogausgang des MSGEQ7 zur Verfügung. Die analogen Spannungen werden vom AD-Wandler des Controllers digitalisiert und die Dekatrons entsprechend angesteuert.

Um das Rauschen auf der Softwareebene zu reduzieren, wird jeder Wert 15 Mal gemessen, und die „besten“ Werte aus diesen Messungen werden übernommen. Da es sieben Frequenzbänder und zwei Kanäle (L und R) gibt, werden pro Zyklus 210 Analog-Digital-Wandlungen durchgeführt, bevor die Anzeige aktualisiert wird.

Dies funktioniert wie folgt: Beide Analyzerchips MSGEQ7 werden zurückgesetzt. Dann wird ein Strobe-Impuls an die Ausgangsmultiplexer beider Chips gegeben, so dass diese die Pegel des ersten Frequenzbandes an Pin 3 der Chips ausgeben. Eine Analog-Digital-Wandlung (ADC) wird für den linken Kanal und dann für den rechten Kanal durchgeführt. Beide Umwandlungen werden zweimal wiederholt, so dass sich je drei Werte für den linken und drei Werte für den rechten Kanal ergeben. Die niedrigsten und die höchsten Werte werden verworfen und nur die mittleren Werte beibehalten. Ein zweiter Strobe-Impuls wird an beide ICs gegeben, wodurch sie auf das zweite Frequenzband umschalten und der Abtastvorgang wiederholt wird. Das Gleiche gilt für das dritte und so weiter bis zum siebten Frequenzband. Dieser Datenerfassungszyklus wird fünfmal wiederholt, wobei nur die kleinsten Werte verwendet werden, da ich herausgefunden habe,

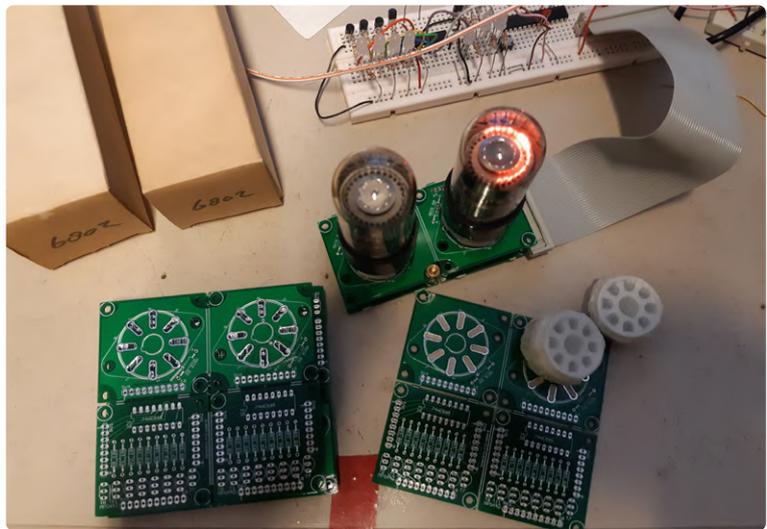


Bild 4. Dekatron-Platinen leer und im Probebetrieb.

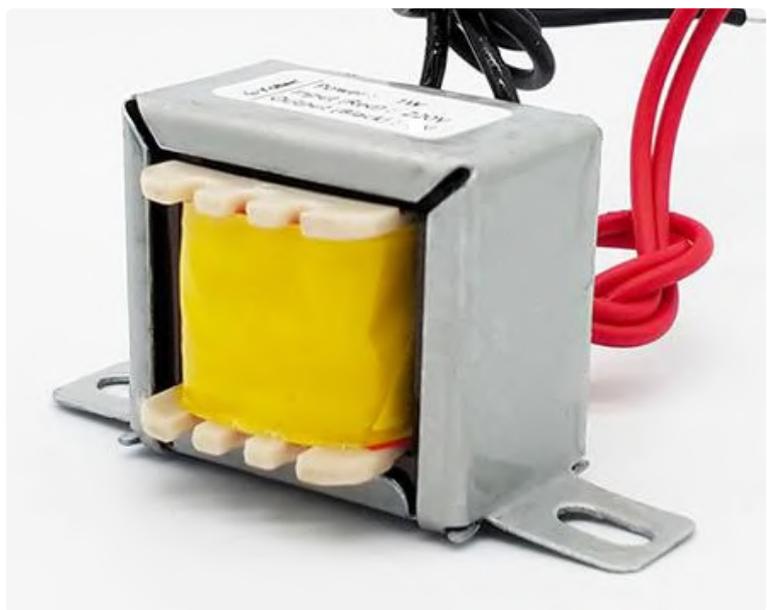


Bild 5. Der Transformator sorgt für eine Wechselspannung von 350 V_{AC}.

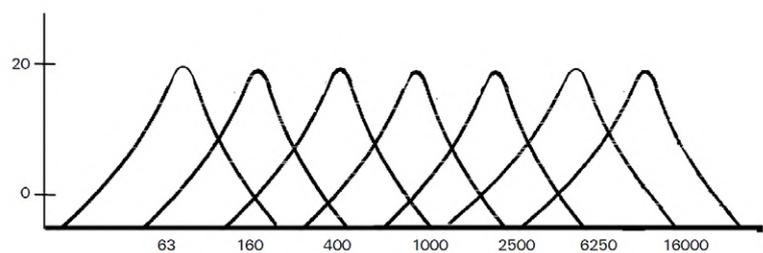
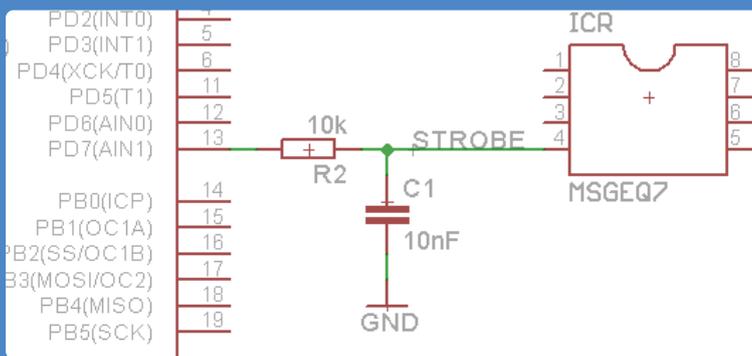


Bild 6. Die Frequenzbänder des MSGEQ7 (Quelle: Mixed Signal Integration).

MSGEQ7 ... Echt oder Fake?

Hüten Sie sich vor gefälschten Chips! Ich habe einige MSGEQ7 von einem Verkäufer auf Aliexpress und von einem Verkäufer auf Ebay gekauft, und bei beiden kamen gefälschte Chips an. Die Chips von Sparkfun dagegen, die ich für rund 7,50 € erworben habe, waren die echten. Es ist ziemlich einfach festzustellen, ob Sie einen echten oder einen gefälschten Chip haben. Schließen Sie einfach 5 V zwischen Pin 1 ($V_{DD} = +5 \text{ V}$) und Pin 2 ($V_{SS} = 0 \text{ V}$) an und messen Sie den Strom. Ein echter MSGEQ7 zieht weniger als 1 mA, die Fälschungen, die ich hatte, schluckten mehr als 10 mA.

MSGEQ7 ... Ausgangsrauschen



Über diesen Chip wurde bereits in Elektor 5/2019 berichtet [5], aber was nicht erwähnt wurde, ist, wie man mit dem Rauschen dieses Chips umgeht.

Meine ersten Versuche mit dem Chip waren wegen der Rauschprobleme nicht sehr erfolgreich. Einer von ungefähr zehn Werten des Chips war einfach völlig daneben. In Internetforen kann man lesen, dass auch andere Leute mit demselben Problem zu kämpfen haben. Ich habe eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um dieses Problem zu lösen, zunächst in der Software. Ich habe denselben Wert mehrmals abgetastet und so mehrere Messungen vom Chip erhalten. Ich habe den höchsten und den niedrigsten Wert verworfen und den Durchschnitt der restlichen Messwerte ermittelt. Das hat ein wenig geholfen.

Ich habe auch verschiedene Hardware-Maßnahmen ausprobiert. Zunächst versuchte ich es mit dem physischen Abstand zwischen dem Mikrocontroller und dem MSGEQ7. Das hat überhaupt nichts gebracht. Ich versuchte es mit getrennten Stromversorgungen für den Mikrocontroller und für den MSGEQ7, ebenfalls vergeblich. Dann habe ich das Schaltnetzteil abgeschafft und auf ein sehr einfaches Netzteil mit Netztransformatoren, Dioden, Kondensatoren und einem 7805-Spannungsregler zurückgegriffen. Das hat ein bisschen geholfen. In völliger Verzweiflung schaltete ich ein RC-Filter in den digitalen Pfad des STROBE-Signals. Zu meiner großen Überraschung war das Problem damit gelöst! Sie können es im Schaltplan finden: C1 und R2 bilden ein einfaches RC-Filter, das STROBE zugegebenermaßen zu einem schrecklichen digitalen Signal macht, aber der MSGEQ7 funktioniert immer noch und das Rauschen ist (größtenteils) verschwunden!

dass die höheren Werte normalerweise nur Rauschen sind.

Anzeige der Spektren

Jedes Dekatron hat, soweit es das Programm betrifft, 60 Zustände. Warum 60? Sollte ein Dekatron nicht, wie der Name sagt, nur zehn Zustände haben? Ja schon, das Dekatron hat zehn stabile Zählschritte, aber zwischen zwei solchen stabilen Zuständen liegen jeweils zwei Übergangszustände. Deshalb besitzt das Dekatron 30 Kathoden, zehn für jeden stabilen Zustand und jeweils zwei Hilfskathoden zwischen den stabilen Zuständen für den Übergang. Ursprünglich wurde das Dekatron als Zählrohr verwendet. Durch das Anlegen eines verschobenen Impulses an die erste und dann an die zweite Übergangskathode kann die Röhre „eins hoch“ oder „eins runter“ zählen. Das bedeutet auch, dass es mit einem Dekatron zwar einfach ist, den Punkt von einer Position zu einer benachbarten Position zu verschieben, aber nicht so einfach (und meistens gar nicht möglich), den Punkt direkt von einer Position zu einer beliebigen anderen

Position zu bewegen. Dies ist nur für einige wenige der stabilen Positionen möglich. Zwar haben manche Dekatrons bei allen zehn stabilen Positionen „random access“, bei anderen Dekatrons sind es weniger, und bei meiner 6802-Röhre sind nur die Positionen 0, 5, 8 und 9 auf den Sockel hinausgeführt. In diesem Entwurf wird zunächst die 0-Position als Startpunkt verwendet, und danach bewegt sich der Punkt nur noch zu benachbarten Positionen, entweder einen Schritt nach links oder einen Schritt nach rechts.

So verwendet das Gerät alle 30 Kathoden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, zwei benachbarte Kathoden gleichzeitig zu erregen, was als Übergang von einer Kathode zur nächsten genutzt wird. Auf diese Weise kommen wir auf 60 Zustände. Diese Anwendung beruht auf einem schnellen Wechsel zwischen den Zuständen, so schnell, dass es das Auge täuscht.

Der aktuelle Zustand von Dekatron *i* (eine Zahl zwischen 0 und 59) wird in `values[i]` gespeichert. Dieser wird wie ein Scheibenwischer schnell zwischen zwei Extremzustän-

den variiert (Bild 7). Die Extremzustände werden in `minima[i]` und `maxima[i]` gespeichert. Die aktuelle Bewegungsrichtung (in Richtung Minima oder in Richtung Maxima) wird in der booleschen Variable `orient[]` gespeichert. Der Zustand wird alle 150 μ s geändert. Nach Ablauf von 150 μ s wird die Interrupt-Service-Routine `TIMER0_COMPA_vect()` aufgerufen. Zu diesem Zeitpunkt sind die neuen Werte, die an die Dekatron-Schieberegister gesendet werden sollen, bereits in `buffer[]` vorbereitet. Der erste Wert aus `buffer[]` wird mit einer Rate von 5 Mbit/s über den SPI-Bus gesendet. Wenn diese SPI-Übertragung beendet ist, wird die Interrupt-Service-Routine `SPI_STC_vect()` aufgerufen, die das nächste Byte über den SPI-Bus sendet. Wenn alle sieben Bytes auf diese Weise gesendet wurden, berechnet `SPI_STC_vect()` die neuen `values[]`. Der Wert von `buffer[]` wird berechnet und muss das tatsächliche Bitmuster enthalten, das über den SPI-Bus gesendet werden soll. Das `map[]`-Array enthält die Übersetzung von `values[i]` zu `buffer[i]`. Falls erforderlich (wenn `values[i]` gleich `minima[i]` oder `maxima[i]` ist), wird `orient[i]` invertiert. Die Hauptschleife ändert `minima[i]` und `maxima[i]` auf der Grundlage der Werte aus dem ADC. Der „Scheibenwischer“ soll zwischen diesen beiden Werten hin und her wischen. Aber manchmal ist die aktuelle Position des Scheibenwischers (`values[i]`) niedriger als der neue `minima[i]`- oder höher als der neue `maxima[i]`-Wert. Wenn das passiert, erkennt die Funktion `checkRange()` dies und ändert die Richtung (`orient[i]`) des Wischers, so dass er automatisch in eine Position zwischen `minima[i]` und `maxima[i]` zurückkehrt.

Mechanische Konstruktion

Es gibt im Wesentlichen zwei Möglichkeiten, das Gerät mechanisch aufzubauen, nämlich wie bei einem Röhrenverstärker die Röhren vertikal zu platzieren oder sie horizontal zu montieren. Ich entschied mich für Letzteres, da so die Röhren besser „von oben“ zu sehen sind. Und ich wollte ein Gehäuse für das Projekt, das sich in einem Audiogeräte-Rack unterbringen lässt. Also nahm ich das Metallgehäuse eines alten Geräts (eines Kabelfernsehdekoders), drehte es um (die Front nach hinten, die Rückwand nach vorne) und fügte eine neue Frontplatte hinzu, die aus einem Stück Blech eines alten PC-Gehäuses stammt. Die Löcher für die Röhren habe ich zunächst

mit einer präzisen CNC-Fräse vorgebohrt, die ich normalerweise zum Fräsen von Platinen verwende, und dann mit einem so genannten Blechschälbohrer präzise geweitet. Bohren Sie niemals ein Loch in Blech mit einem normalen Bohrer, denn es wird nicht rund, sondern mehr oder weniger dreieckig!

Bild 8 zeigt die Draufsicht auf die Elektronik des Audio-Spektrumanalysators im geöffneten Gehäuse. Die Transformatoren und die Platinen wurden auf einem „Frühstücksbrettchen“ aus Kunststoff montiert, das dann am Gehäuseboden befestigt wurde. Die Dekatron-Einheiten wurden alle auf einem stabilen, gewinkelten Blech verschraubt, das ebenfalls am Gehäuse befestigt war. Zur Sicherheit habe ich das Metallgehäuse mit der Schutz-erde (PE) verbunden.

Mögliche Modifikationen

Es ist möglich, die Konstruktion zu vereinfachen, indem man nur ein Monosignal auswertet (was ein MSGEQ7 spart), oder die Anzahl der Frequenzbänder und damit die Anzahl der benötigten Dekatron-Röhren reduziert. Man kann zum Beispiel die sieben Bänder auf fünf reduzieren, indem man die beiden höchsten und die beiden niedrigsten Bereiche kombiniert. Es ist auch möglich, andere Dekatrons als die 6802 zu verwenden, es gibt keine besonderen Eigenschaften des 6802, die diese Röhre für diese Anwendung besser geeignet machen würde als andere Dekatrons.



Bild 7. Nahaufnahme der Dekatron-Punktanzeige.

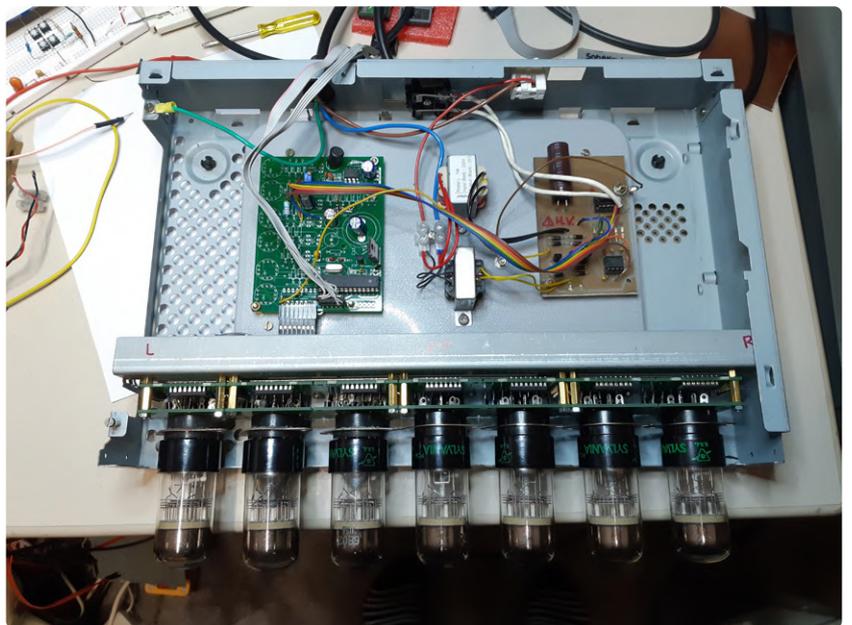


Bild 8. Ein Blick in das Gehäuse des Audio-Spektrumanalysators.



STÜCKLISTE

Steuerplatine

Widerstände:

R1,R2,R4 = 10 k
R3,R5 = 200 k

Induktivität:

L1 = 100 n

Kondensatoren:

C1 = 10 n
C2,C4...C7,C10,C12,C13,C18 = 100 n
C3,C11 = 33 p
C8,C9 = 12 p
C14 = 100 µ, 25 V radial
C15 = 100 µ, 16 V radial
C16 = 15 µ, 500 V radial

Halbleiter:

D1...D8 = 1N4007
IC1 = ATMEGA328P
IC2,IC3 = MSGEQ7
IC4 = 78L05

Außerdem:

JP1,JP2 = 2-polige Platinenanschlussklemme
Q1 = Quarz, 20 MHz
SV1 = 1x6-polige Buchsenleiste
SV2 = 1x8-polige Buchsenleiste
SV3 = 1x3-polige Buchsenleiste oder Stereo-Klinkenbuchse
Netztransformator 9 V, 1 VA
Netztransformator 350 V, 1 VA (siehe Text)

Dekatron-Platine

SIE BENÖTIGEN ALLES SIEBEN MAL!

Widerstände:

R0...R7 = 10 k
R8 = 820 k

Kondensator:

C20 = 100 nF

Halbleiter:

T0...T6 = MPSA42
IC1 = 74HC595N

Außerdem:

SV1 = 1x8-polige Stiftleiste
SV2 = 1x8-polige Buchsenleiste
6802 Dekatron mit Oktalsockel



Dieses Projekt zeigt, dass ein Dekatron auch für eine ganz andere Art von Anzeige verwendet werden kann, als es eigentlich gedacht war: ein Balken (oder eher ein Bogen) von Punkten, die die Signalstärke anzeigen. Natürlich kann dieses Prinzip auch für andere Anwendungen als Audio-Spektrum-Analysatoren verwendet werden. Aber der Retro-Look dieser Spektrumsanzeige ist großartig, besonders wenn sie mit einem Röhrenverstärker kombiniert wird! ◀

210216-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Entwickler unter labs@vanden.eu oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de. Weitere Informationen finden Sie auf der Seite zu diesem Projekt bei Elektor Labs [4].



PASSENDE PRODUKTE

- **6-stellige Nixie-Uhr mit IN-14 Röhren (SKU 20044)**
www.elektor.de/20044
- **Menno van der Veen, Moderne High-End-Röhrenverstärker E-Buch (SKU 16075)**
www.elektor.de/16075
- **Menno van der Veen, High-End-Röhrenverstärker E-Buch (SKU 16734)**
www.elektor.de/16734

WEBLINKS

- [1] Dekatron: <https://en.wikipedia.org/wiki/Dekatron>
- [2] Harwell-Dekatron-Computer: https://de.wikipedia.org/wiki/Harwell_Computer
- [3] Github-Seite mit Downloads: <https://github.com/CharlesVanDen/AudioSpectrumAnalyserWithDekatrons>
- [4] Dieses Projekt bei Elektor Labs: www.elektormagazine.de/labs/i-finally-found-a-useful-application-for-dekatrons
- [5] Sunil Malekar, „Einfacher 7-Band-Audio-Analyzer“, Elektor 5/2019: www.elektormagazine.de/magazine/elektor-95/42568

elektor e-zine

Your dose of electronics



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

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



elektor
design > share > sell

Senden von Daten an Telegram

Ein ESP32 und ein paar Bauteile erledigen den Job



Von Somnath Bera (Indien)

Es ist erstaunlich einfach, Daten an einen Telegram-Chat zu senden. Und nicht nur das, es geht auch ziemlich schnell: Bis zu zwölf Nachrichten pro Minute sind möglich. Hier erfahren Sie, wie Sie Ihren eigenen Telegram-Bot bauen können.

Die Veröffentlichung von Daten auf IoT-Plattformen wie ThingSpeak hat in den letzten Jahren enorm an Popularität gewonnen. Auf der ganzen Welt sind Millionen von Kanälen entstanden, die nützliche bis völlig unnütze Daten veröffentlichen. Ein Vorteil von ThingSpeak ist, dass Sie Ihre Daten als hübsche Trendkurve auf einer Zeitachse visualisieren können. In vielen Fällen ist das jedoch gar nicht notwendig, wenn die Rohdaten in schneller Folge alles aussagen, was man wissen muss. Hierfür ist ein Telegram-Bot-Kanal sehr nützlich.

Während ein kostenloses Konto bei ThingSpeak maximal vier Daten-Uploads pro Minute zulässt, können Sie an den Telegram-Kanal bis zu zwölf Rohdatenpakete pro Minute senden. Das bedeutet,

dass alle fünf Sekunden eine Abtastung oder ein Messwert veröffentlicht werden kann, also dreimal schneller als bei ThingSpeak. Natürlich muss Ihre Internetverbindung schnell genug sein, um eine solch hohe Rate zu erreichen.

Von der Idee zum Telegram-Bot

Wir können die Idee mit einem ESP32 in die Praxis umsetzen, an den wir lediglich eine LED, einen Sensor nach Wahl und zwei Widerstände anschließen. Der Sensor muss natürlich mit dem ESP32 kompatibel sein und sollte in der Lage sein, Messwerte schneller als alle fünf Sekunden zu liefern (>0,2 Hz). Ich habe einen Ein-Draht-Temperatursensor DS18B20 verwendet. Die LED zeigt an, wenn die Daten gerade hochgeladen werden. **Bild 1** zeigt meinen Prototyp, dessen Schaltung **Bild 2**.

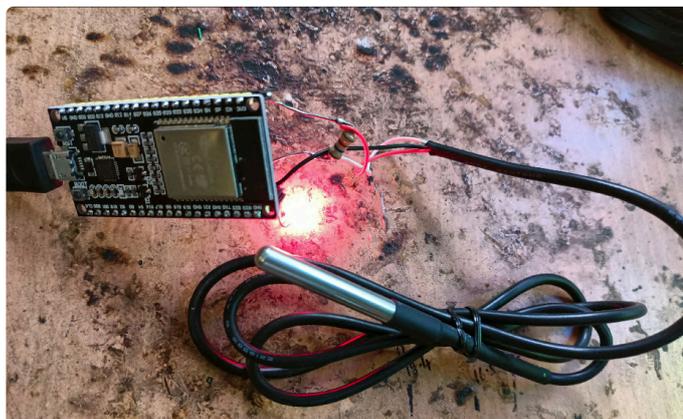


Bild 1. Dieser Telegram-Bot-Prototyp hilft bei meinen Experimenten.

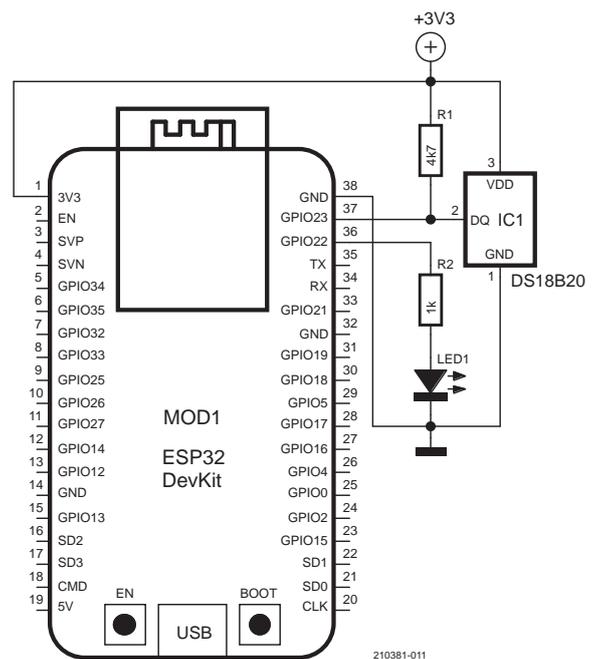


Bild 2. Der Telegram-Bot liest die von einem Ein-Draht-Sensor DS18B20 ermittelte Umgebungstemperatur ab.

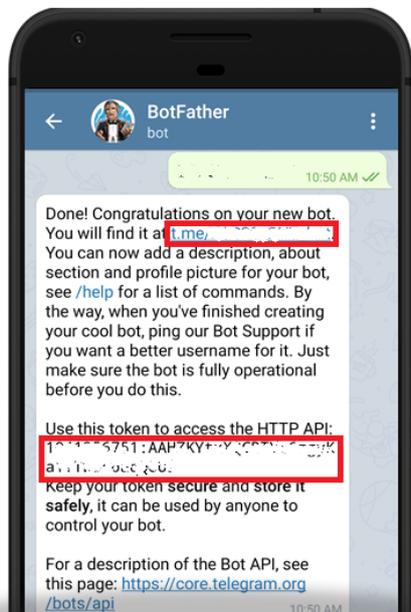


Bild 3. Verwenden Sie den BotFather von Telegram, um ein API-Token für Ihren Chat zu erhalten.

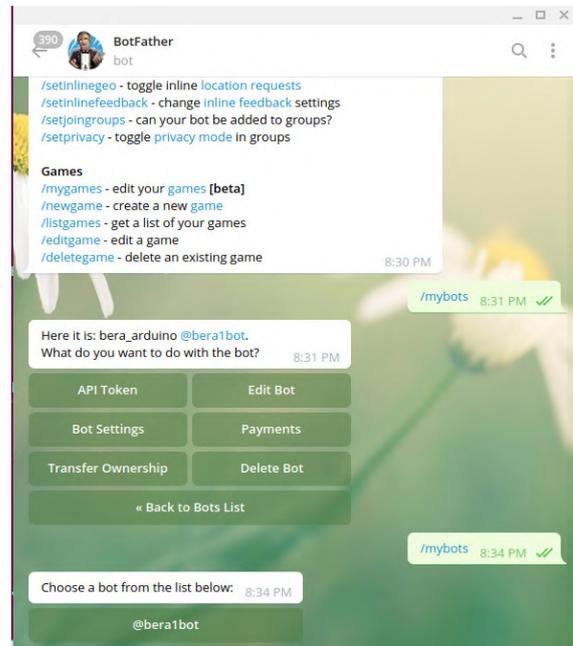


Bild 4. Verwenden Sie den Befehl /mybots, um die Liste all Ihrer Bots aufzurufen.

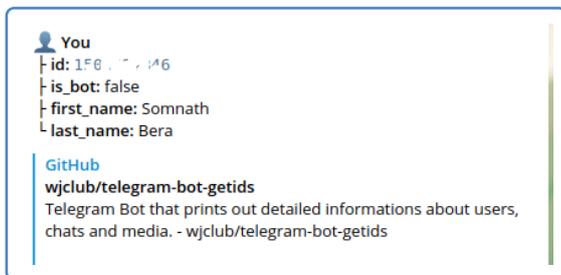


Bild 5. Die Chat-ID erhält man, indem man eine Nachricht an einen Chat-ID-Bot sendet. Es gibt mehrere von ihnen, dies ist die Antwort von @GetIDsBot.

Wenn Sie es noch nicht getan haben, müssen Sie zunächst die Telegram-App auf Ihrem Mobiltelefon, Tablet oder einem anderen Computer installieren. Sie können die kostenlose App ganz einfach über den Google Play Store, App Store und so weiter beziehen. Nachdem Sie die Telegram-App installiert und Ihr Konto eingerichtet haben, müssen Sie einen Kanal erstellen, der dann mit Ihrem ESP32 kommuniziert. Suchen Sie dazu in der App nach dem Bot BotFather. Wenn Sie BotFather öffnen, sehen Sie eine Schaltfläche Start oder Restart. Tippen oder klicken Sie darauf, um eine Liste der Befehle und ihrer Anwendungsmöglichkeiten zu öffnen. Tippen oder klicken Sie dann auf den Befehl /newbot und geben einen Namen für den Bot ein. Ich habe `bera_arduino` verwendet. Nachdem Sie dem Bot einen Namen verliehen haben, müssen Sie den Benutzernamen festlegen. Der Benutzernamen sollte eindeutig sein und mit `bot` enden, zum Beispiel `bera1bot`. Sobald Sie den Benutzernamen festgelegt haben, wird Ihr Bot erstellt und Sie sehen ein API-Token (Bild 3). Speichern Sie das Token irgendwo, da es später im ESP32-Programm eingetragen werden muss. Übrigens können Sie das API-Token auch durch Eingabe des Befehls /mybots erhalten. Wählen Sie den Bot aus, für den Sie das Token benötigen (Bild 4) und tippen Sie auf die Schaltfläche API Token. Schließlich benötigen Sie noch Ihre Chat-ID. Dazu suchen Sie

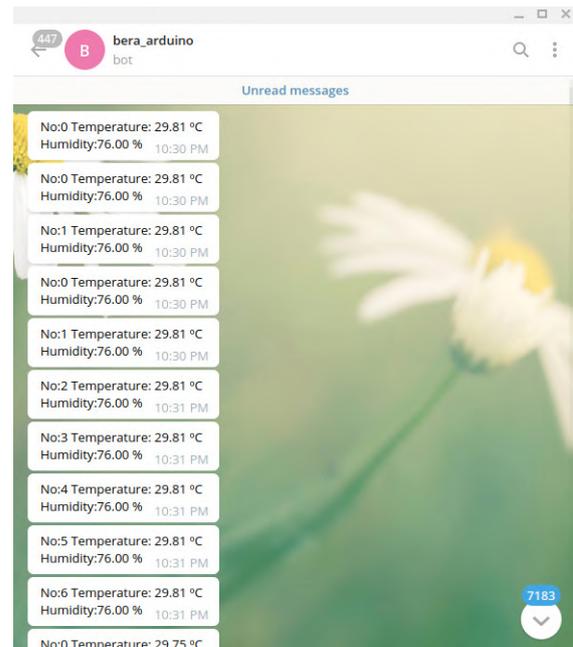


Bild 6. Und los geht's! Die Luftfeuchtigkeit in diesen Meldungen ist nur ein in der Software fest programmierter Wert. Mein Bot hat keinen Feuchtigkeitssensor.

nach einem Bot namens `@GetIDsBot` oder `@myidbot` (IDBot) und senden Sie ihm eine beliebige Nachricht. Als Antwort gibt dieser Bot einige Daten über Ihren Kanal aus, darunter auch die ID (Bild 5). Die Chat-ID wird ebenfalls notiert, weil auch sie vom ESP32-Programm benötigt wird. Jetzt sind Sie mit allen Anmeldeinformationen ausgestattet, um Ihren Chatbot in Telegram zu betreiben.

Software

Laden Sie das Beispielprogramm von [1] herunter und geben Sie dort Ihr API-Token (`BOTtoken`) und Ihre Chat-ID (`CHAT_ID`) an,



außerdem noch Ihre Netzwerk-Anmeldedaten. Das Programm unterstützt mehrere WLAN-Verbindungen, und wenn eine Verbindungsaufnahme misslingt, versucht der ESP32 automatisch eine andere. Auch wenn die Verbindung abbricht oder keine Daten an Telegram übertragen werden können, startet der ESP32 mit einer anderen Verbindung neu.

Die meiste Arbeit wird von der Bibliothek *UniversalTelegramBot* erledigt, die von Brian Lough [2] geschrieben wurde. Da hierfür JSON-Unterstützung erforderlich ist, muss auch die *ArduinoJson*-Bibliothek installiert werden. Beide Bibliotheken sind über den Bibliotheksmanager der Arduino-IDE verfügbar. Ich habe die Software so eingerichtet, dass man sie auch auf einem ESP8266 zum Laufen bringen kann.

Nachlese

Mit meiner Glasfaser-Internetverbindung erhalte ich zwölf Messwerte pro Minute (also einen Messwert pro fünf Sekunden), was sehr gut ist. Wenn das Netzwerk langsamer ist, reduziert sich

die Anzahl der Uploads. Jetzt wünsche ich mir nur noch, dass Telegram auch eine Trendaufzeichnung wie die von ThingSpeak ermöglicht. ◀

210381-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.



PASSENDE PRODUKTE

- Joy-IT NodeMCU ESP32-Entwicklungsboard (SKU 19973)
www.elektor.de/19973
- Elektor Ultimates Sensor-Kit (SKU 19104)
www.elektor.de/19104

WEBLINKS

[1] Dieses Projekt bei Elektor Labs: www.elektormagazine.de/labs/publish-by-telegram

[2] Universal Telegram Bot Library: <https://github.com/witnessmenow/Universal-Arduino-Telegram-Bot>

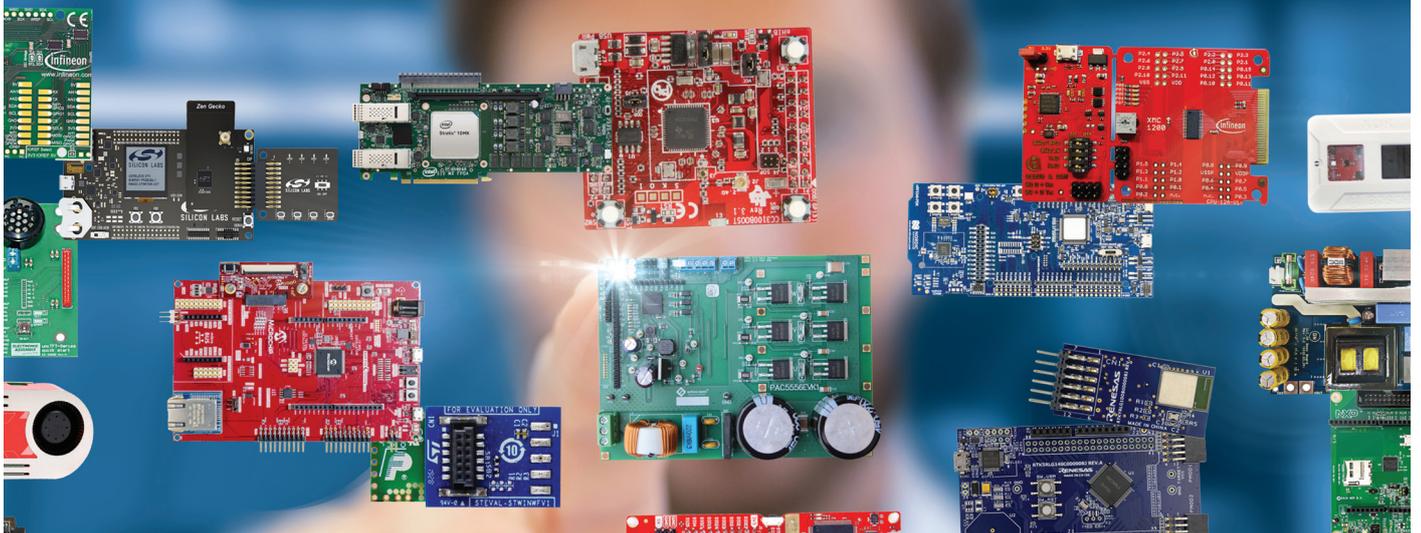
Anzeige

Development Tools alle an einem Ort

Tausende Tools von hunderten zuverlässigen Herstellern



Wählen Sie Ihr Produkt aus unserer breiten Palette auf mouser.de/dev-tools



Fliege- Bandsperr für Audio-Messungen

Besseres Messen durch Notch-Filterung

Von Alfred Rosenkränzer (Deutschland)

Beim Messen der wichtigsten Eigenschaften einer Audio-Schaltung ist es für die Erfassung etlicher Parameter sehr sinnvoll, die Testfrequenz aus dem Ausgangssignal der Schaltung zu entfernen, bevor dieses an den Eingang der Messanordnung gelangt. Genau darum geht es in diesem Beitrag.

Wie im Artikel „Preiswerter Audio-Messplatz“ [1] in Elektor 07-08/2022 schon erwähnt, fehlt einem USB-Audio-Interface, das mit Hilfe geeigneter Software zum Audio-Messplatz aufgerüstet wurde, ein schaltbares Notch-Filter vor dem Eingang. Dieses Filter unterdrückt das eigentliche Messsignal im Ausgangssignal des zu vermessenden Audio-Geräts. Doch warum ist ein Notch-Filter so wichtig?

Optimierung durch Notch

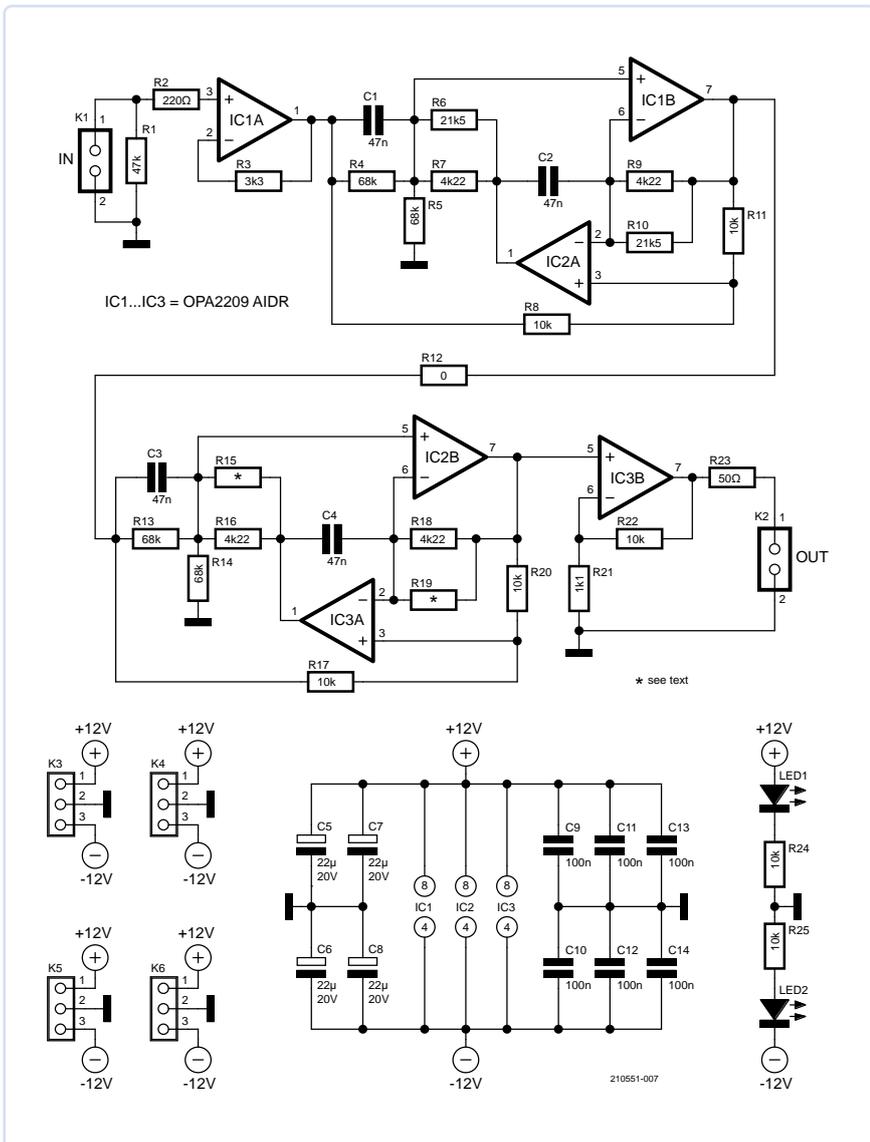
Am einfachsten wird der Sinn eines Notch-Filters klar, wenn man sich eine (im oben genannten Artikel beschriebene) Anordnung vergegenwärtigt, mit der die Qualität des Audio-Interfaces selbst erfasst wird: Verbindet man Ein- und Ausgang des Interfaces (Loopback) und erzeugt das typische Messsignal - in der Regel ein Sinussignal mit einer Frequenz von 1 kHz, kann man sich im resultierenden Frequenzspektrum die Oberwellen anschauen. Das Gemeine ist nun folgendes: Man kann so leider nicht unterscheiden, welcher Anteil schon im vom Generator erzeugten Signal

vorhanden ist und welcher Anteil erst im Messgerät (zum Beispiel in dessen Digitalisierungsstufe) hinzukommt.

Bei relativ hohen Pegeln der Oberwellen wie bei einer voll ausgesteuerten Endstufe stört das nicht so sehr, denn hier ist klar, dass der Löwenanteil von der zu messenden Schaltung und nicht etwa vom Messsignal oder vom Messgerät herrührt. Möchte man aber Verzerrungsparameter an guten Audio-Vorstufen messen, wird die Sache problematisch, denn dann liegen die Verzerrungen des zu messenden Geräts in der gleichen Größenordnung wie die des Messgeräts. Um diese Unklarheiten zu beseitigen, wird in professionellen Audio-Messgeräten ein Notch-Filter vor den eigentlichen Eingang geschaltet. Dieses Filter reduziert die Amplitude des hochpegeligen Messsignals (beziehungsweise dessen Grundwelle) sehr stark. Durch das fehlende Messsignal im Ausgangssignal des zu messenden Geräts wird verhindert, dass das Messgerät selbst durch seine Signalverarbeitung Oberwellen mit störender Amplitude erzeugt, denn es „sieht“ praktisch nur noch die Artefakte im Signal, die durch das zu messende Gerät hinzugefügt wurden, deren Pegel sehr viel geringer als die Grundwelle des Messsignals ist.

Ein Notch-Filter bietet darüber hinaus noch einen weiteren wichtigen Vorteil: Wegen der stark unterdrückten Grundwelle des Messsignals kann man die Empfindlichkeit beziehungsweise die Verstärkung des Messgeräts deutlich erhöhen und auf diese Weise auch Oberwellen und Störsignale sehr kleiner Amplitude messen, zu deren Erfassung das Messgerät etwa durch die begrenzte Auflösung seines A/D-Wandlers nicht in der Lage wäre. Nur ein Beispiel: Erhöht man bei per Notch gefiltertem Signal die Empfindlichkeit des Messgeräts um den Faktor 10 und beträgt dessen Signal-Rauschabstand knapp über 90 dB (typisch für 16-bit-A/D-Wandler), so kann man damit locker Oberwellen und Rauschen bis -110 dB erfassen. Nicht schlecht, oder?

In professionellen Audio-Messgeräten sind die integrierten Notch-Filter schaltbar; die Frequenz lässt sich also einstellen.



eine Zusatzfunktion, die für die Verwendung mit vielen USB-Audio-Interfaces ohne kalibrierte Verstärkungseinstellung unerlässlich ist. Das Ausgangssignal des Filters wird gleich um den Faktor 10 = 20 dB verstärkt, was auf einfache Weise die Erfassung kleiner Störpegel erlaubt.

Filterschaltung

Es gibt meines Wissens für diesen Zweck zwei geeignete Implementierungen, die Bandsperre nach Fliege und das sogenannte State Variable Filter. Ich habe mich aufgrund seiner Eigenschaften für die Variante nach Fliege entschieden. Um damit genügend Dämpfung zu erhalten, wurden zwei Fliege-Filter in Serie geschaltet.

Bild 1 zeigt die komplette Schaltung. IC1A dient als Puffer für das Eingangssignal. Das nachfolgende erste Fliege-Filter um IC1B und IC2A wird so von einem niederohmigen Signal mit definierten Bedingungen angesteuert. Über den 0-Ω-Widerstand R12 geht es zum zweiten Filter mit identischer Dimensionierung. IC3B verstärkt das gefilterte Signal um 20 dB. Falls dies nicht gewünscht ist, kann die Verstärkung durch Weglassen von R21 und Verminderung von R22 auf 3,3 kΩ auf 1 reduziert werden.

Berechnung und Abstimmung

Als Unterstützung zur Berechnung des Filters gibt es im Internet entsprechende Hinweise und Software [2]. Die Filtergüte sollte man auf Q = 10 einstellen, denn so wird die zweite Oberwelle ausreichend wenig gedämpft. Bei einer höheren Güte wird die praktische Dimensionierung schwieriger, denn dann muss man die begrenzte Verstärkungsbreite der Opamps berücksichtigen. Durch die Serienschaltung zweier Filter wird die Gesamtgüte natürlich entsprechend größer. R4 und R5 sowie R6||R7 (R13 und R14 sowie R15||R16 beim zweiten Filter) stellen die Güte des ersten Filters ein. Die Formel für die Güte Q beim ersten Filter lautet:

$$Q = R4 / (2 * R6 || R7)$$

Dies gilt unter der Bedingung, dass R4 = R5 und somit die Verstärkung = 1 ist. Da bei R6||R7 etwa 3,5 kΩ herauskommen, erreicht Q nahezu den Wert 10.

Die Werte von C1 und C2 sowie R6||R7 und R9||R10 sind identisch und definieren die Notch-Frequenz nach der Formel:

$$f = 1 / (2 \pi R C)$$

Die Werte von R8 und R11 sind ebenfalls identisch. Das zweite Notch-Filter ist genauso aufgebaut wie das erste. Die Kondensatoren für C1 bis C4 sollte man mit einem geeigneten LCR-Messgerät auf möglichst hohe Gleichheit ausmessen. Bei

Bild 1. Die Schaltung des doppelten Notch-Filters kommt mit nur drei (guten) Dual-Opamp-ICs aus.

Die Filter sind in der Regel so konzipiert, dass ihre Filterfrequenz automatisch der Generatorfrequenz folgt, damit sensible Messungen problemlos bei verschiedenen Frequenzen erfolgen können. Entsprechend aufwendig sind diese Schaltungen.

Anforderungen und Beschränkungen

Ein für Audio-Messungen geeignetes Notch-Filter soll logischerweise das Messsignal möglichst stark dämpfen (in der Praxis mit über 50 dB), aber die Oberwellen unverändert durchlassen. Da selbst die erste Oberwelle nicht nennenswert abgeschwächt werden soll und diese lediglich die doppelte Frequenz des Messsignals hat, benötigt man ein steiles Notch-Filter mit recht hoher Güte.

Selbstverständlich muss die Schaltung des Filters so hochwertig konzipiert sein, dass sie weder selbst Oberwellen erzeugt noch nennenswert rauscht. Für solche Filter muss man folglich sehr gute Opamps verwenden, die leider im Moment schwer zu beschaffen sind.

Um den Aufwand für ein selbst gebautes Notch-Filter im Rahmen zu halten, wird in der nachfolgend beschriebenen Schaltung auf eine einstellbare Frequenz verzichtet. Dafür bietet die Schaltung

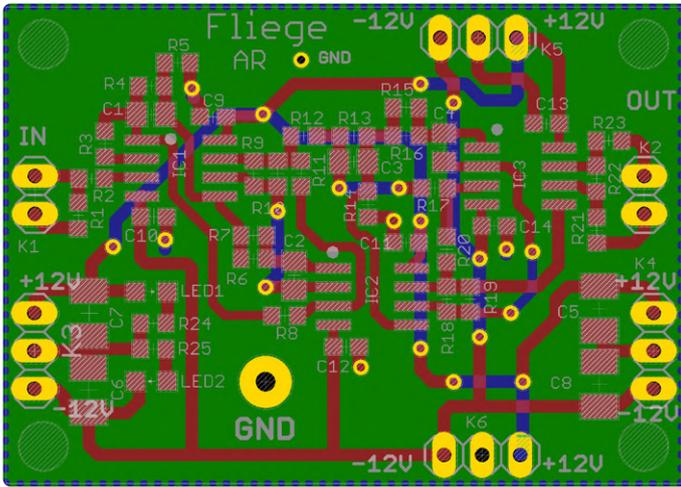


Bild 2. Das Platinen-Layout ist zwar für SMD-Bauteile konzipiert, doch sie fallen groß genug aus, um noch gut von Hand lötbar zu sein.

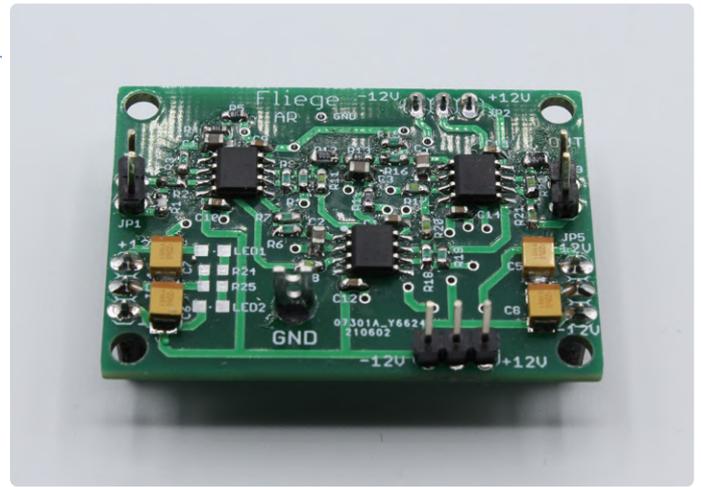


Bild 3. Der Prototyp meiner bestückten Filterplatine.

Abweichungen vom rechnerischen Wert kann die Feinstellung der Notch-Frequenz mit den parallel geschalteten Widerständen R6 und R10 beziehungsweise R15 und R19 erfolgen.

Außerdem sollen die beiden Filter nicht nur auf die Messfrequenz abgestimmt sein, sondern eine möglichst gleiche Notch-Frequenz aufweisen. Hier kommt R12 ins Spiel: Dieser Widerstand kann temporär entfernt (oder zunächst nicht bestückt) werden und ermöglicht so die unabhängige Feinabstimmung der beiden Filter. Das Ausgangssignal des ersten Filters wird dann am Ausgang von IC1B abgenommen und gemessen sowie mit R6 und R10 auf die gewünschte Frequenz abgestimmt. Hat man die richtigen Widerstandswerte durch Ausprobieren ermittelt, werden sie bestückt.

Nun wird das zweite Filter abgestimmt: Hierzu wird sein Eingang (die Verbindung von C3, R12 und R13) temporär mit dem Ausgang von IC1A verbunden und seine Frequenz durch geeignete Werte für R15 und R19 ebenfalls abgestimmt. Sind die Notch-Frequenzen beider Filter ausreichend gleich, wird diese Verbindung wieder rückgängig gemacht und R12 bestückt.

Die Notch-Frequenzen müssen jetzt noch nicht perfekt übereinstimmen, denn ein letzter Feinabgleich der Werte von R15 und R19 wird nun mit Hilfe eines Audio-Messgeräts durch minimales Verstellen der Generatorfrequenz vorgenommen. Eine hohe Unterdrückung

der Zielfrequenz ist der Indikator für eine hohe Gesamtgüte und eine weitgehende Übereinstimmung der Notch-Frequenzen der Teilfilter. Abschließend werden R15 und R19 bestückt.

Platine(n) und Filterqualität

Bild 2 zeigt das Platinen-Layout der Schaltung, deren Layout-Dateien im Eagle-Format von der Elektor-Webseite zu diesem Artikel kostenlos heruntergeladen werden können [4]. **Bild 3** zeigt meine bestückte Platine. An allen vier Seiten sind Stecker-Pads für die Stromversorgung von 12 V vorgesehen. Damit lassen sich Filter leicht anreihen oder aber eine Filterplatine auf eine passende Platine mit Spannungsreglern stecken. So ein Platinen-Sandwich ist in **Bild 4** dargestellt. Die Filterplatine passt übrigens mitsamt Versorgungsplatine genau in ein Alu-Gehäuse des Typs 1550Q von Hammond (siehe **Bild 5**). Die einfache Versorgungsplatine ist hier nicht abgebildet, aber die Dateien mit Schaltung und Platinen-Layout sind ebenfalls unter [4] im Eagle-Format verfügbar. Da ich noch über ein paar Leerplatinen verfüge, können sich Interessierte via Mail bei mir melden (siehe Kasten). In den Layoutdateien sind alle Schaltungen enthalten. Außerdem findet sich im verlinkten Archiv auch eine Version B der Versorgungsplatine, die ich aber selbst noch nicht getestet habe.

In **Bild 6** ist der Frequenzgang des Notch-Filters bei der gebräuch-



STÜCKLISTE

Widerstände:

(alle SMD 0603, 1 %)
 R1 = 47 k
 R2 = 220 Ω
 R3 = 3k3
 R4,R5,R13,R14 = 68 k
 R6,R10 = 21k5
 R7,R9,R16,R18 = 4k22
 R8,R11,R17,R20,R22,R24,R25 = 10 k
 R12 = 0 Ω
 R15,R19 = siehe Text
 R21 = 1k1
 R23 = 50 Ω

Kondensatoren:

C1...C4 = 47 n, SMD 0805
 C5...C8 = 22 μ, 20 V, Elko, SMC-B
 C9...C14 = 100 n, SMD 0603

Halbleiter:

LED1 = LED, rot, SMD 0805
 LED2 = LED, grün, SMD 0805
 IC1...IC3 = OPA2209 AIDR, SO08

Außerdem:

K1,K2 = 1x2-polige Stiftleiste, Raster 0,1"
 K3...K6 = 1x3-polige Stiftleiste, Raster 0,1"
 Platine *
 Versorgungsplatine *
 Alu-Gehäuse = Hammond 1550Q
 * siehe Text

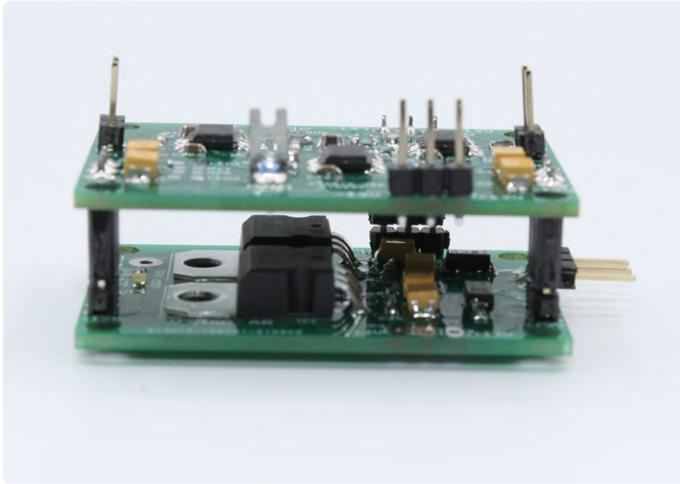


Bild 4. Die Filterplatine, aufgesteckt auf eine einfache Platine gleicher Größe mit Spannungsregler-ICs.



Bild 5. Platinen-Sandwich, eingebaut in ein Alu-Gehäuse.

lichen Mittenfrequenz von 1 kHz zu sehen. Knapp 70 dB Abschwächung bei 1 kHz sind gut für den gedachten Anwendungszweck. Mit einem Audio Precision APx555 wurde ein Spektrum generiert (Bild 7); so ließen sich die Verzerrungen beziehungsweise die Genese von Oberwellen durch das Notch-Filter überprüfen. Gemessen am Aufwand können sich die Ergebnisse mit über 90 dB S/N durchaus sehen lassen!

Anwendung

Um einen Ausgangspunkt zu haben, wird zunächst der Pegel des zu messenden Signals ohne Notch-Filter mittels Pegelsteller in einen günstigen Arbeitsbereich wie etwa -5 dBFS oder -10 dBFS (= dB relative to full scale) des verwendeten Audio-Messgeräts oder USB-Audio-Interfaces gebracht und notiert. Danach wird das Notch-Filter vor den Eingang des Messgeräts geschaltet. Durch

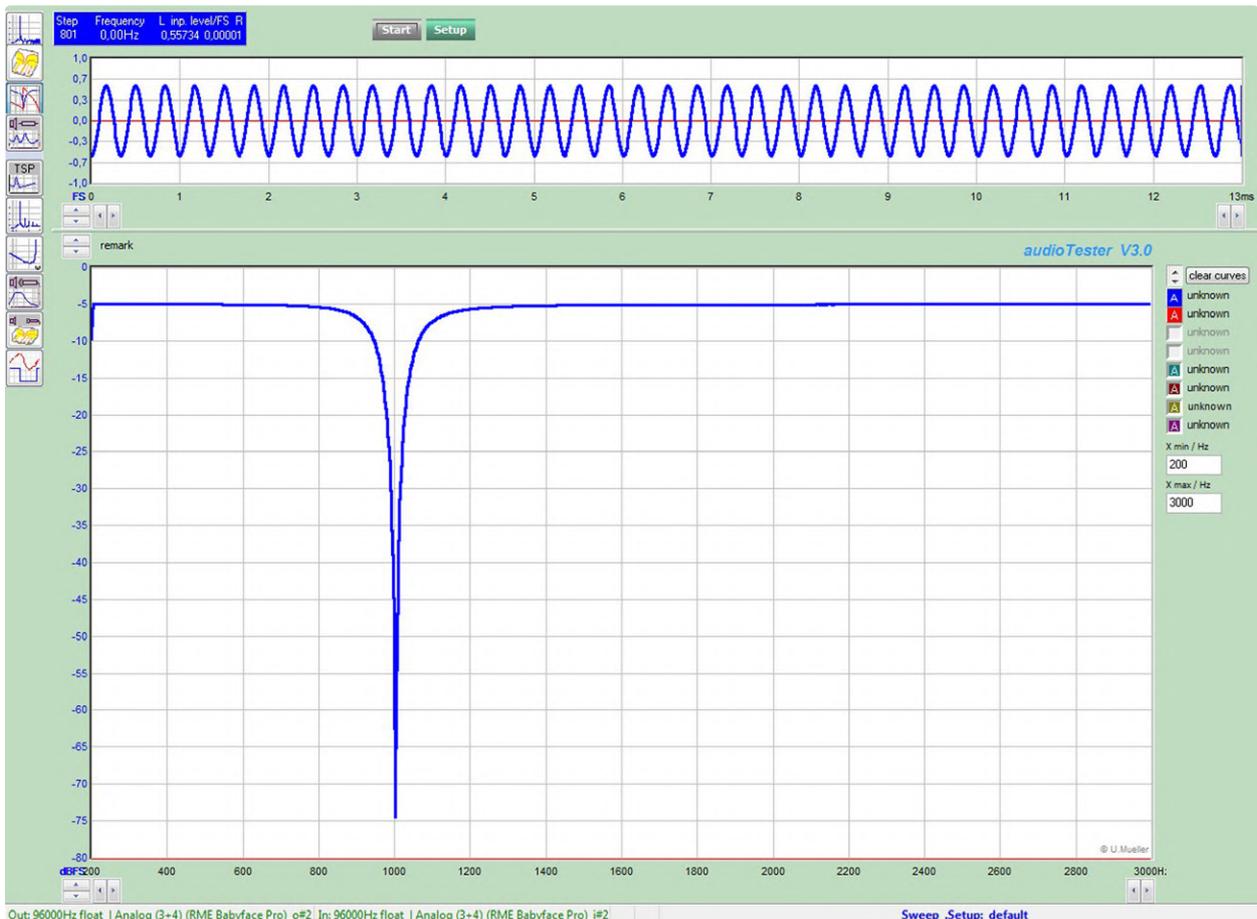


Bild 6. Der Frequenzgang des doppelten Notch-Filters nach Fliege. Die Unterdrückung des Messsignals um fast -70 dB ist richtig gut.

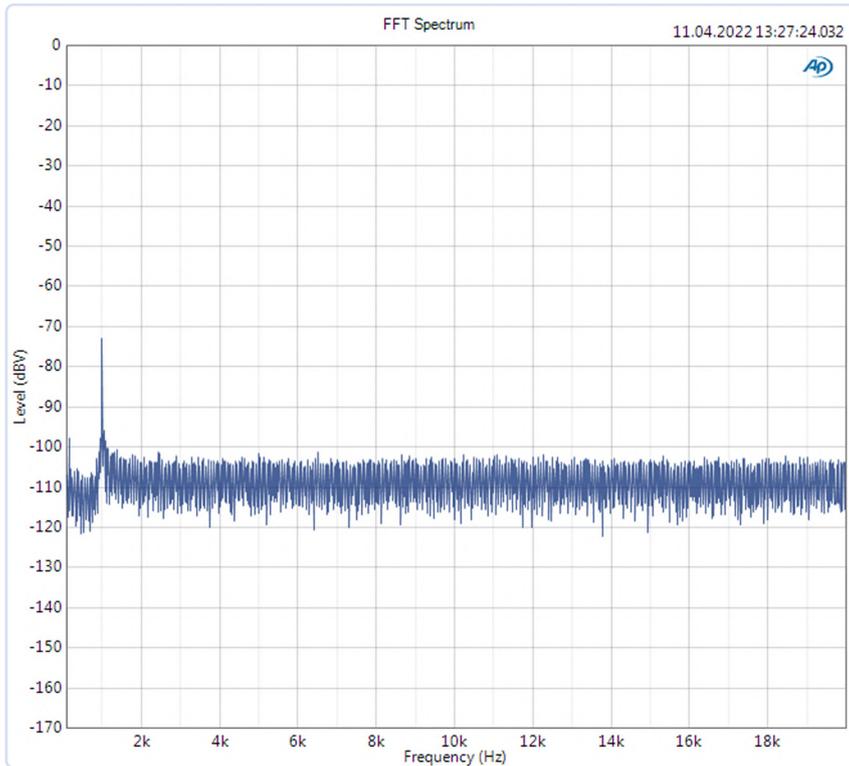


Bild 7. Das Spektrum des Notch-Filters. Seine Oberwellen versinken im Rauschteppich unter -100 dB.

Feineinstellung der Generatorfrequenz wird der im Messgerät registrierte Pegel der Grundwelle dieses Signals auf ein Minimum gestellt. Jetzt werden die Pegel der Oberwellen gemessen. Von den Pegeln der Oberwellen dieses Spektrums muss man dann die Verstärkung von IC3B abziehen. Aus -80 dB werden so bei zehnfacher Verstärkung -100 dB. Falls das Messgerät beziehungsweise das Audio-Interface über eine kalibrierte oder kalibrierbare Verstärkungseinstellung verfügt, kann man für spezielle Zwecke die Gesamtverstärkung noch weiter erhöhen und so auch extrem niedrige Pegel erfassen.

Damit man aber auch trotz Notch-Filter keinen Mist misst, sollte folgendes klar sein: Jede gute Messung setzt voraus, dass das vom Generator erzeugte Signal möglichst verzerrungs- und rauscharm ist. Gegebenenfalls muss man zur Erzeugung eines wirklich gutes Messsignals nach dem Generator noch ein schmalbandiges Tiefpassfilter schalten. ◀

210551-02

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter alfred_rosenkraenzer@gmx.de oder kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.

Über den Autor

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



PASSENDE PRODUKTE

- Joy-IT JDS2915 Signal-Generator (15 MHz)
www.elektor.de/19169
- Elektor Audio Collection (USB-Stick)
www.elektor.de/19892
- Douglas Self, Small Signal Audio Design (2. Auflage)
www.elektor.de/180466

WEBLINKS

- [1] Alfred Rosenkränzer, „Preiswerter Audio-Messplatz“, Elektor 7-8/2022: www.elektormagazine.de/200604-02
- [2] Notch Filter Calculator 1: <https://earmark.net/gesr/opamp/notch.htm>
- [3] Notch Filter Calculator 2: <https://tinyurl.com/yc2wj73v>
- [4] Download der Platinen-Layouts: www.elektormagazine.de/210551-02

CO₂-Messgerät auseinandergenommen

Ist das Gerät hackbar für Ihre Projekte?

Von **Luc Lemmens** (Elektor)

Die Messung der Luftqualität ist heutzutage ein sehr beliebtes Thema in der Elektronik, und CO₂-Meter sind eines der heißesten Themen in der DIY- und Maker-Szene, gemessen an der Anzahl der CO₂-Projekte, die Elektor zur Veröffentlichung angeboten werden. Aber es gibt auch erschwingliche CO₂-Messgeräte in einem schönen Gehäuse mit einem farbigen Grafik-LCD im Handel. Wir haben uns gefragt, was in ihnen steckt und ob man diese Geräte oder ihre Komponenten für eigene Entwicklungen nutzen kann. Eine Möglichkeit, das herauszufinden, ist, ein solches Gerät zu kaufen, zu öffnen und ein wenig Reverse-Engineering zu betreiben!



Uns ist bei Amazon ein Gerät namens „ETE ETEMATE CO2 meter“ aufgefallen, das neben der CO₂-Konzentration auch die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit misst und anzeigt. Dasselbe Gerät gibt es bei Aliexpress (ohne Markennamen), aber auch andere Modelle in etwas anderen Gehäusen oder mit mehr oder anderen Anzeigen auf dem Display. Das deutet darauf hin, dass es eine Standardplattform für eine Reihe von Messgeräten gibt, abhängig von der Software auf der Prozessorplatine und - natürlich - von den angeschlossenen Sensoren. Das Messgerät wurde in einem weißen Karton geliefert, der neben dem Gerät ein kurzes Micro-USB-Ladekabel und eine mehrsprachige Gebrauchsanweisung enthielt. Weder das Etikett auf der Schachtel

noch die Anleitung geben Aufschluss über die Originalmarke oder einen Hersteller. Das Gerät enthält eine wiederaufladbare 1200-mAh-Lithiumbatterie, die offenbar völlig entladen war: Das Messgerät schaltete sich nicht ein, als der Betriebsschalter gedrückt wurde. Der Anschluss eines Micro-USB-Ladegeräts schaffte Abhilfe: Auf der LCD-Anzeige erschien ein Ladesymbol, und schließlich wurden die CO₂-Konzentration, die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit angezeigt. Ich war etwas überrascht, als ich sah, dass 25°C für die Raumtemperatur angezeigt wurden (und ich war mir sicher, dass es kälter war!), aber in diesem Moment schenkte ich dem keine große Aufmerksamkeit. Schließlich war die Batterie völlig entladen, und die meisten dieser

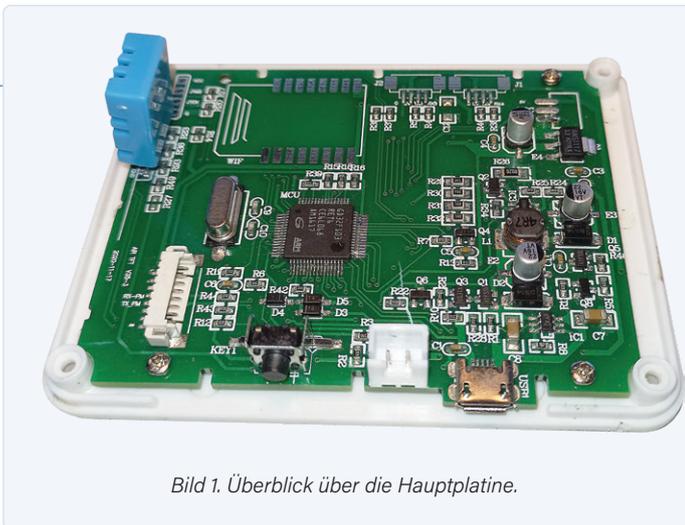


Bild 1. Überblick über die Hauptplatine.



Bild 2. Der CO₂-Sensor - ein Klon des MH-Z19?

Geräte brauchen eine gewisse Einlaufzeit, um genaue Messungen anzuzeigen. Ich beschloss, das Gerät über Nacht am Ladegerät zu lassen. Am nächsten Tag sah ich immer noch die schöne grafische LCD-Anzeige, die eine leicht schwankende CO₂-Konzentration anzeigte, aber felsenfeste 60% relative Luftfeuchtigkeit und (immer noch!) 25°C. Das sah nicht gut aus... Ich zog den Stecker des Ladekabels ab, im Vertrauen darauf, dass die Batterie voll geladen wäre, aber die Anzeige wurde sofort komplett dunkel. Das erneute Anschließen des Ladegeräts half diesmal nicht, das Ding ließ sich partout nicht wieder einschalten. Normalerweise wäre dies der Zeitpunkt, an dem man das Gerät an den Lieferanten zurückschicken und um Ersatz oder eine Rückerstattung bitten würde. Aber in diesem Fall wurde die Zeit knapp, um diesen Artikel zu schreiben, und für dieses Ziel war ein funktionierendes CO₂-Messgerät ohnehin nicht wirklich erforderlich, denn schließlich wollen wir nur wissen, was in dem Gehäuse steckt. Und mal ehrlich: Wäre es nicht schön, ein Gerät (vielleicht) zu reparieren, das sonst dazu verdammt wäre, auf dem gigantischen Haufen des weltweiten Elektronikschrotts zu landen? Selbst wenn ich es nicht reparieren könnte, hätte es doch zumindest einen Zweck erfüllt und wäre für diesen Artikel lehrreich gewesen.

Sesam öffne dich!

Die Rückseite des Kunststoffgehäuses ist in einem Stück gefertigt, das Display ist am Deckel befestigt, der auf irgendeine Weise (mit Schrauben oder Laschen oder verklebt?) mit dem Gehäuse verbunden ist. Den Deckel abzuhebeln könnte problematisch sein, denn Displays sind mitunter sehr empfindlich und können leicht brechen, wenn zu viel Kraft angewendet wird. Ich habe zunächst mein bewährtes Schweizer Taschenmesser benutzt, um vorsichtig zwischen der Displayabdeckung und dem Gehäuse herumzuwerkeln, und es war einfach, eine dünne Plastikfolie zu entfernen, die das Display und den Deckel bedeckt. Und siehe da: Vier kleine Kreuzschlitzschrauben kamen zum Vorschein. Die gute Nachricht war also zunächst, dass das Gerät sich ohne Beschädigung öffnen und schließen ließ!

Am Deckel war eine Platine mit dem Großteil der Elektronik und das LCD befestigt, nur die Batterie und der CO₂-Sensor waren an der Rückseite des Gehäuses angebracht.

Temperatur-/Luftfeuchtigkeitssensor

Die meisten Komponenten auf der Hauptplatine (**Bild 1**) ließen sich leicht identifizieren, wobei der blaue Kunststoffsensor DHT-11 für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit [1] das auffälligste Bauteil ist. Dieser ist sicherlich nicht der genaueste Sensor, aber für ein relativ einfaches CO₂-Messgerät erfüllt er seine Aufgabe; er ist preiswert und weithin verfügbar.

Der Mikrocontroller

Der Controller war wahrscheinlich das wichtigste zu untersuchende Bauteil. Wenn es schwierig oder unmöglich wäre, neue Firmware zu entwickeln und zu programmieren, können wir die Idee einfach vergessen, dieses Gerät für neue Designs verwenden zu können. Glücklicherweise war es kein Problem, den Controller als ARM Cortex M3 32-Bit-MCU mit der Bezeichnung GD32F103-RET6 [2] von GigaDevice Semiconductor Inc. zu identifizieren. Als einziger Controller auf dem Board kümmert er sich um alle Funktionen: Messwerte der Sensoren zu empfangen, umzurechnen und sie auf dem TFT-Display anzuzeigen. Der GD32F103 ist pin-kompatibel mit STM32-Mikrocontrollern in 64-poligen PLCC-Gehäusen. Wenn Sie also letztere bevorzugen, können Sie diese MCU mit einem kleinen, normalen Lötcolben ersetzen, auch wenn Sie keine SMD-Werkzeuge haben.

Die Platine hat einen 4-poligen TH-Footprint für die SWD-Debug-/Programmierschnittstelle, gekennzeichnet mit SWD1, in der Ecke neben dem Temperatur-/Feuchtesensor.

Stromversorgung und Ladegerät

Etwa ein Drittel der Platine wird von der Stromversorgung und der Lithiumbatterie-Ladeschaltung eingenommen. Nice to have, sicherlich, aber für Neu- oder Eigenentwicklungen nicht wirklich von Bedeutung. Die schlechte Nachricht zu diesen Funktionen ist, dass es einige SMD-ICs gibt, die ich nicht identifizieren konnte. Nach den ersten Messungen auf der Platine sieht es so aus, als ob das Gerät eingeschaltet wird, wenn der Einschaltknopf gedrückt wird, und dass ein Ausgang der MCU im aktiven Zustand hält, sobald das Gerät erfolgreich gebootet hat. Das würde auch die Angabe im Handbuch erklären, dass der Knopf etwa drei Sekunden lang gedrückt werden muss, um das CO₂-Messgerät einzuschalten, was darauf schließen lässt, dass es eine Interaktion oder Rückkopplung zwischen dem Mikrocontroller und der Stromversorgung gibt. Es könnte zum Beispiel sein, dass die Spannung der Lithiumbatterie gemessen wird (Tiefentladeschutz) oder dass das Vorhandensein und die Funktion der Sensoren und/oder des Displays überprüft werden, bevor das Messgerät vollständig eingeschaltet wird. Schwer zu sagen, ohne zu wissen, was Firmware und Stromversorgungs- und Ladeschaltung genau machen.

Der CO₂-Sensor

Ein CO₂-Messgerät braucht natürlich einen CO₂-Sensor. Genau wie das Messgerät selbst ist auch auf diesem Sensormodul keine Typennummer oder Marke zu finden (**Bild 2**). Wenn man sich Bilder anderer Sensoren im Internet ansieht, ähnelt er dem MH-Z19 [3] von Winsen Electronics Technology am meisten, aber es ist sicher nicht derselbe Typ. Die Unterseite des

unbekannten Sensors wird von einer Breakout-Platine verdeckt, die die beiden SIL-Pin-Header des Sensors zu einem Anschluss für die Verkabelung mit der Hauptplatine führt. Wenn man diese kleine Platine entfernt, sieht man, dass nur die Stromversorgung und Rx/Tx belegt sind, und dass das Pinning identisch ist mit dem des MH-Z19. Auch ein PWM-Ausgang ist vorhanden, so dass man wohl sagen kann, dass es sich um einen Klon des bekannten CO₂-Sensors von Winsen handelt.

Das LCD

Bleibt noch ein sehr wichtiger Teil: das Display. Die Hauptplatine ist mit vier Schrauben am Deckel des Gehäuses und das Display ist mit doppelseitigem Klebeband an dieser Platine befestigt. Seien Sie bei der Demontage vorsichtig! Display und Prozessorplatine sind durch ein flexibles Folienkabel verbunden, das leicht beschädigt werden kann und schwer (wenn nicht gar unmöglich) zu reparieren oder zu ersetzen ist. Glücklicherweise gibt es kaum einen Grund, das Gerät zu zerlegen. Wir haben dies trotzdem getan, um herauszufinden, um welchen Displaytyp es sich handelt. Die Kennzeichnung „CL028-04“ auf der Flexfolie deutet auf ein 2,4"-TFT-Display mit 240 x 320 Pixeln hin, mit einem ILI9341-basierten Treiber [4] und einem 37-poligen Parallelport.

Not connected ...

Und dann gibt es noch einige leere Footprints für Bauteile und Komponenten auf der Hauptplatine, wahrscheinlich für andere Anwendungen oder zukünftige Entwicklungen. Zunächst einmal gibt es einen mit WiFi gekennzeichneten Footprint, der wahrscheinlich für ein ESP12-Modul (ESP8266-basiert) reserviert ist (siehe **Bild 3**). Auf diesem Footprint sind nur VCC, GND, RxD und TxD geroutet, was ausreicht, um ein einfaches WLAN-Interface zu realisieren.

Schließlich gibt es noch zwei leere Footprints, die mit J1 und J2 gekennzeichnet sind, wahrscheinlich für Mini-USB-Anschlüsse und einen 3-poligen Stromanschluss. Diese können immer nützlich sein, wenn Sie weitere Hardware hinzufügen möchten.

Ohne Garantie

Wie bereits erwähnt, wird dieses Gerät überall im Internet unter verschiedenen oder gar keinen Handelsnamen, in verschiedenen Gehäusen und zu Preisen von etwa 20...80 € verkauft. Für das Geld erhalten Sie immerhin eine ARM Cortex M3 32-Bit-MCU, ein grafisches Farb-LCD, zwei Sensoren und eine Lithiumbatterie mit Mikro-USB-Ladestromversorgung. Das Gehäuse kann wiederverwendet werden, und im Inneren ist noch genügend Platz für zusätzliche Hardware. Es gibt einige freie (I/O-) Pads, so dass, selbst wenn die Sensoren angeschlossen bleiben, noch einige I/Os frei verfügbar sind. Aber natürlich muss noch mehr Reverse Engineering betrieben werden. Ein kompletter Schaltplan könnte dann erforderlich sein, wenn Sie Ihre eigenen Anwendungen mit dieser Hardware entwickeln wollen. Und werden Sie genau die gleiche Hardware erhalten, wenn Sie ein CO₂-Messgerät kaufen, das wie das hier beschriebene aussieht? Höchstwahrscheinlich schon, aber leider kann ich das nicht garantieren! ◀

210180-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an die Redaktion unter luc.lemmens@elektor.com!

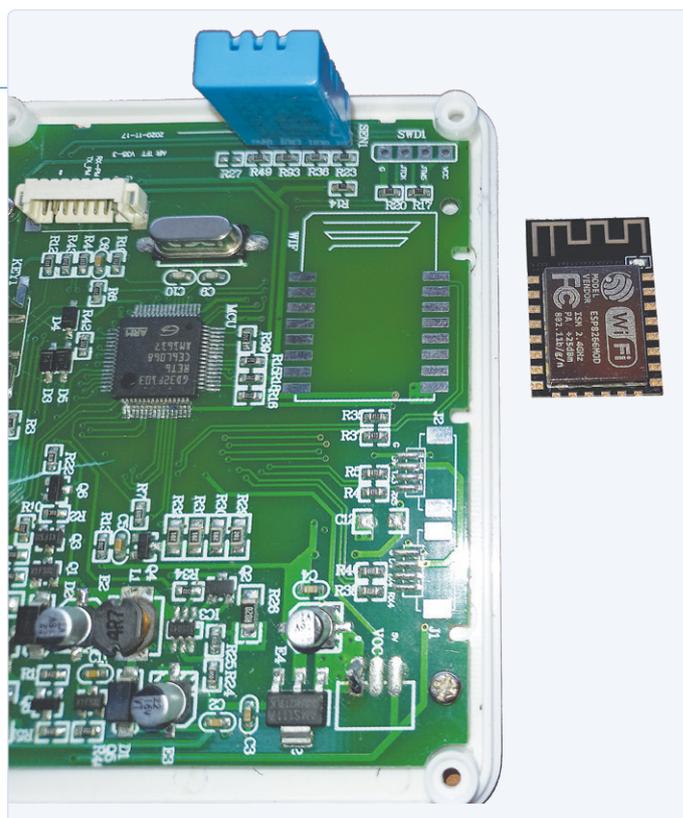


Bild 3. Das ESP12F-Modul ist ein wahrscheinlicher Kandidat für den WiFi-Footprint.



PASSENDE PRODUKTE

- ▶ D. Ibrahim, *The Ultimate Compendium of Sensor Projects*, Elektor 2019 (SKU 19103) www.elektor.de/19103
- ▶ M. Pakdel, *Advanced Programming with STM32 Microcontrollers*, Elektor 2020 (SKU 19520) www.elektor.de/19520

WEBLINKS

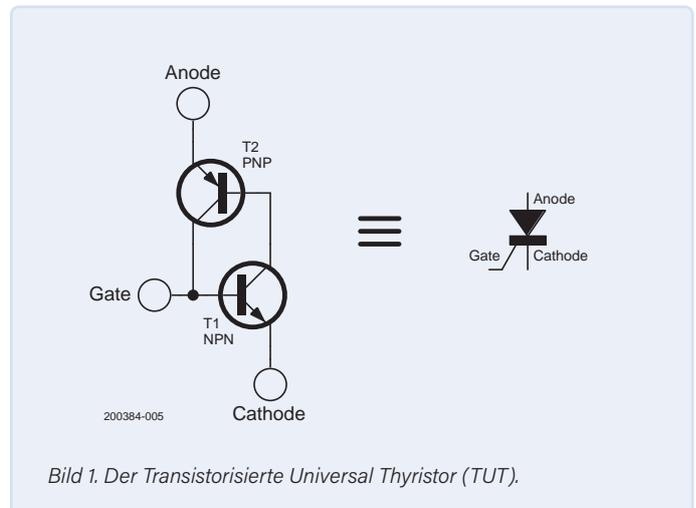
- [1] **Sensor für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit DHT-11:** <https://bit.ly/3jLfUPp>
- [2] **Datenblatt GD32F103-RET6:** <https://bit.ly/3hiMF4M>
- [3] **CO₂-Sensor MH-Z19:** <https://bit.ly/3wf1B8g>
- [4] **LCD-Treiber ILI9341:** <https://bit.ly/3dNbOm0>

Spielereien mit PUTs

Analoge Entwürfe mit dem Programmierbaren Unijunction-Transistor

Von Roel Arits (Niederlande)

Kennen Sie (oder erinnern Sie sich vielleicht an) den Programmierbaren Unijunction Transistor (PUT)? Er war in den 70er Jahren ein oft verwendetes, bemerkenswertes Bauteil. In diesem Artikel erklären wir nicht nur, wie er funktioniert, sondern erwecken ihn auch mit einer kleinen Schaltungssammlung wieder zum Leben.



Ein Willkommen dem PUT!

Tauchen wir ein in die Welt der analogen Elektronik alter Schule und sehen wir uns an, was für interessante Dinge mit der recht einfachen Transistorkombination in **Bild 1** erreicht werden können. Diese beiden komplementären Transistoren zeigen ein selbsthaltendes Verhalten, ähnlich wie der Thyristor (SCR) und der Unijunction Transistor (UJT). Wenn wir in der Schaltung von Bild 1 ein zweites Gate hinzufügen, erhalten wir den programmierbaren Unijunction Transistor (PUT) von **Bild 2**. Beachten Sie, dass das Gate des „normalen“ Thyristorsymbols hier zur Anode verschoben wurde.

Der UJT und der PUT waren in den siebziger Jahren sehr beliebt, weil man mit ihnen leicht Sägezahn- und Impulsgeneratoren bauen konnte. Sie werden immer noch hergestellt, aber man sieht sie selten in modernen Schaltungsentwürfen. In diesem Artikel werden wir einige Schaltungen vorstellen, die mit einem PUT realisiert werden können.

Unser alter Freund, der Thyristor

Die Schaltung in Bild 1 verhält sich wie ein Thyristor, aber sie ist kein direkter Ersatz für ihn. Daher wird die Schaltung auch als *Transistorized Universal Thyristor* (TUT) bezeichnet. Erinnern wir uns zunächst an die Funktionsweise eines Thyristors.

Wenn ein kleiner Strom (einige Milliampere) in das Gate fließt, beginnt der Thyristor zu leiten, sofern der Strom von Anode zu Kathode über einem bestimmten Schwellwert, dem Verriegelungsstrom, liegt. Sobald der Thyristor leitend ist, kann das Gate abgeschaltet werden. Die einzige Möglichkeit, den Thyristor stoppen, besteht darin, den Strom zwischen Anode und Kathode unter den Haltestrom zu senken, zum Beispiel durch eine kurzzeitige Unterbrechung der Stromzufuhr.

Ein PUT als Thyristor

Bild 3 zeigt, wie ein PUT funktioniert: Es gibt zwei Gatter, G- und G+, aber wenn wir uns auf G+ beschränken, dann gilt die Beschreibung auch für den UJT. Beim Einschalten sind S1 und S2 offen. T2 blockiert, weil seine Basis von R1 hochgezogen wird, und T1 blockiert, weil seine Basis schwebt. Da T2 nicht leitet, wird der Ausgang von R2 hochgezogen.

Wenn nun S1 gedrückt wird, wird die Basis von T1 hochgezogen und T1 beginnt zu leiten. Dadurch wird die Basis von T2 nach unten gezogen, so dass T2 ebenfalls leitet und der Ausgang nach Masse geht. Jetzt wird die Basis von T1 auch über R2 und T2 mit Strom versorgt, so dass S1 losgelassen werden kann, und beide Transistoren leiten weiter. Wenn also S1 einmal kurz gedrückt wird, geht der Ausgang auf low und bleibt auf low. Die einzige Möglichkeit, die Schaltung zurückzusetzen, besteht darin, sie kurz von der Stromversorgung zu trennen. Dies ist das gleiche selbstsichernde Verhalten wie bei einem Thyristor.

Und jetzt mit dem anderen Gate

Die Betätigung von S2 anstelle von S1 führt zum gleichen Ergebnis, allerdings auf eine etwas andere Art. In diesem Fall wird die Basis von T2 auf Masse gezogen, wodurch der Transistor leitet. Der Ausgang geht auf low und die Basis von T1 erhält Strom über R2 und T2. T1 beginnt zu leiten, was wiederum die Basis von T2 nach unten zieht, so dass S2 losgelassen werden kann. Wie zuvor ist die Schaltung mit dem Ausgang auf low verriegelt.

Ein UJT hat ein Gatter, ein PUT zwei (siehe Bild 2). Der Unterschied zwischen den beiden Gates eines PUTs besteht darin, dass bei Verwen-

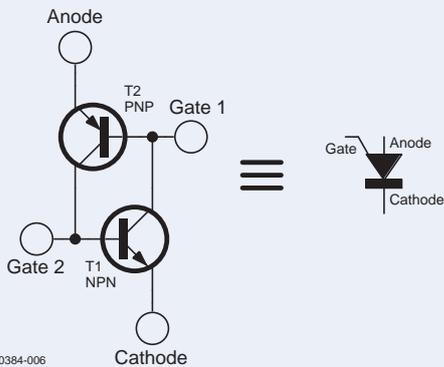


Bild 2. Zwei Gates machen den TUT programmierbar und verwandelt ihn in einen PUT.

derung von Gate 1 (G-) der PUT leitet, wenn die Anodenspannung die Spannung an Gate 1 um 0,7 V übersteigt (Basis-Emitter-Spannungsabfall). Bei Verwendung von Gate 2 (G+) leitet der PUT, wenn die Kathodenspannung um 0,7 V niedriger ist als die Spannung an Gate 2. Das ist der Grund für das „P“ in PUT: Die Auslösespannung, bei der der Transistor zu leiten beginnt, kann durch Anlegen einer Referenzspannung an das Gate des PUTs quasi programmiert werden.

Eine einfache PUT-Schaltung

Die Schaltung in **Bild 4** veranschaulicht das Verhalten des diskreten PUTs. Da R1 und R2 identische Werte aufweisen, beträgt die Spannung an Knoten 1 die Hälfte der Versorgungsspannung, also 2,5 V. Die Spannung an Knoten 2 kann mit einem Potentiometer eingestellt werden.

Wenn die Spannung an Knoten 2 auf eine Spannung eingestellt wird, die mindestens 0,7 V unter der Spannung an Knoten 1 liegt, beginnt T1 zu leiten. Nun kann über T1 Strom zur die Basis von T2 fließen, und T2 wird ebenfalls leitend. T2 zieht die Basis von T1 an die positive Schiene und sorgt dafür, dass T1 weiterhin leitet. Die Transistorkombination ist verriegelt und bleibt auch dann verriegelt, wenn die Spannung an Knoten 2 ansteigt und höher wird als die Spannung an Knoten 1. Die Schaltung hebt die Verriegelung auf, wenn sich die Spannung an Knoten 2 der Versorgungsschiene nähert, da sie verhindert, dass Strom durch T1 fließt.

Die Schaltung in **Bild 5** ist die umgekehrte Version der Schaltung aus Bild 4. Sie funktioniert nämlich ähnlich, nur dass die Spannung an Knoten 2 jetzt 0,7 V *über* der Spannung an Knoten 1 liegen muss, damit die Transistorkombination einrastet.

Natürlich wird der PUT in beiden Fällen entriegelt, wenn die Stromversorgung kurz unterbrochen wird.

Ein selbsthaltender Schalter

Die Schaltung in **Bild 6** ist eine praktische Anwendung von Bild 3. Wenn die Stromversorgung eingeschaltet ist, leuchtet die LED, weil sie ihren Strom von der Stromversorgung über R1 erhält. Der von T1 und T2 gebildete PUT ist nicht aktiv, da die Basis von T1 durch R4 auf Masse gezogen wird und die Basis von T2 auf die Spannung über der

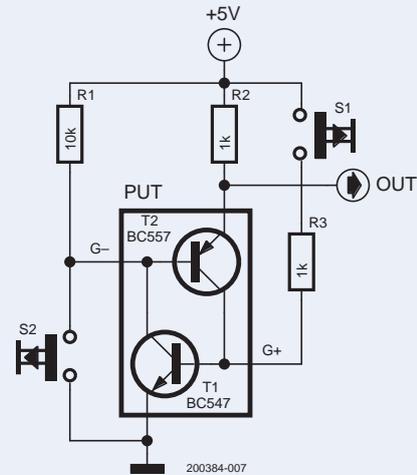


Bild 3. Drücken Sie entweder S1 oder S2, um den Ausgang auf Low zu stellen.

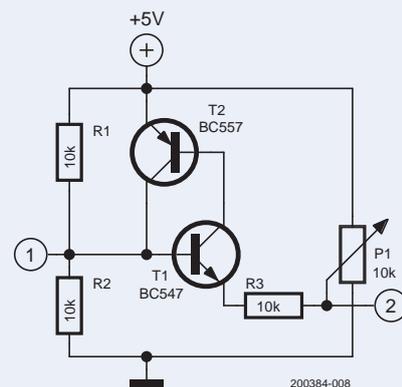


Bild 4. Drehen Sie das Potentiometer P1 „nach unten“, um die Schaltung zu verriegeln.

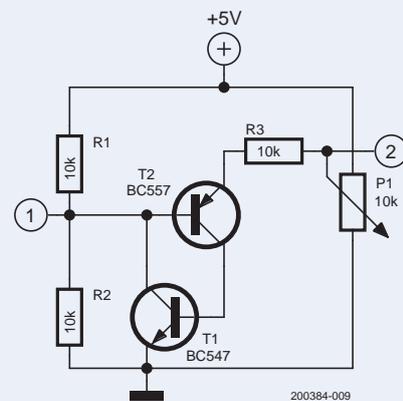


Bild 5. Bild 4 auf den Kopf gestellt: Jetzt muss P1 „nach oben“ gedreht werden, damit die Schaltung einrastet.

Von Entwicklern für Entwickler

Tipps & Tricks, Best Practices und andere nützliche Infos

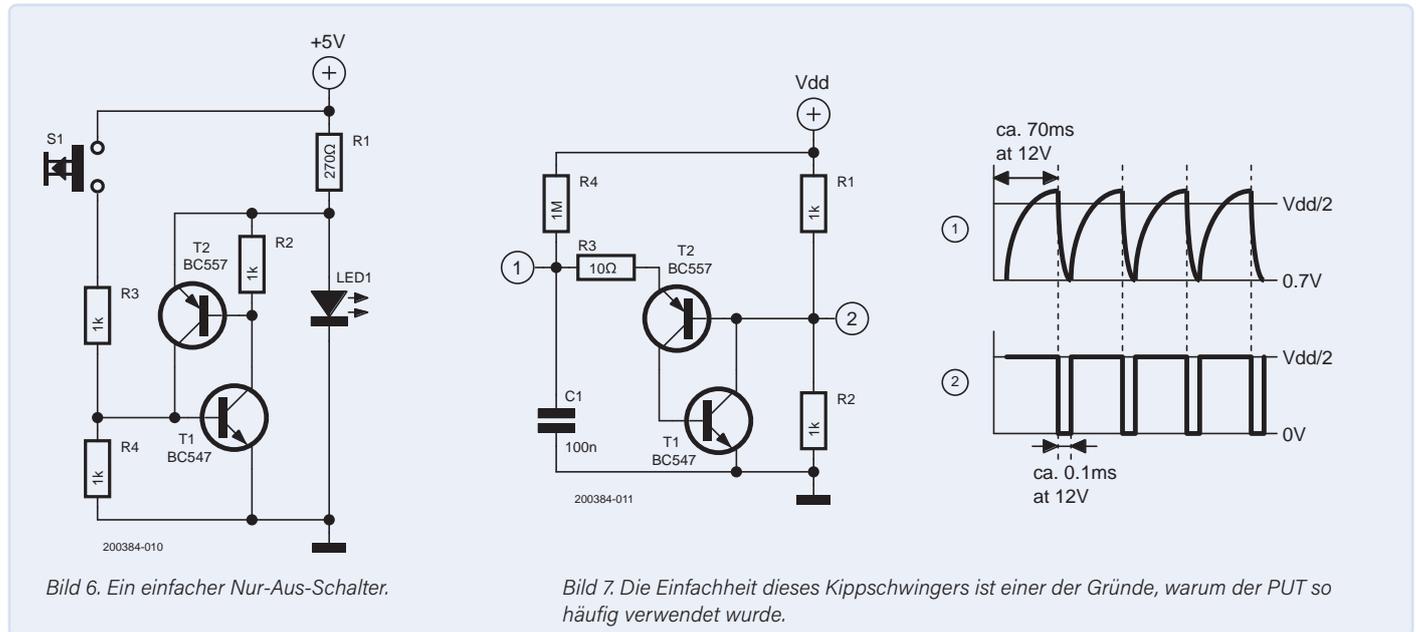


Bild 6. Ein einfacher Nur-Aus-Schalter.

Bild 7. Die Einfachheit dieses Kippschwingers ist einer der Gründe, warum der PUT so häufig verwendet wurde.

LED. Keiner der beiden Transistoren ist also leitend. Wenn aber S1 gedrückt wird, wird die Schaltung leitend (siehe oben) und überbrückt die LED, die daraufhin erlischt. Nach dem Loslassen des Schalters bleibt die PUT-Kombination verriegelt und die LED bleibt aus. Unterbrechen Sie kurz die Stromversorgung, wird die LED wieder aufleuchten.

Sägezahnoszillator

Bild 7 zeigt einen Relaxations- oder Sägezahnoszillator oder Kippschwinger (im Gegensatz zu einem harmonischen Oszillator) mit einer PUT-Schaltung. Diese Schaltung arbeitet in einem weiten Versorgungsspannungsbereich und erzeugt eine nichtlineare Sägezahnschwingung mit einer ansteigenden Rampe an Knoten 1. Am Knoten 2 liegt ein Impulsignal an. Die Steigung der Rampe und damit die Frequenz des Ausgangssignals wird durch R4, C1 und die Versorgungsspannung bestimmt. Eine Erhöhung des Werts von R4 oder C1 führt zu einer Verringerung der Frequenz, ebenso wie eine Erhöhung der Versorgungsspannung. Die Breite der Impulse, die beim Neustart der Rampe erzeugt werden, wird von R3 bestimmt.

Wie funktioniert es?

Zu Beginn ist C1 entladen, so dass der Knoten 1 auf 0 V liegt. Die Basis-Emitter-Strecke von T2 ist umgekehrt vorgespannt (die Basis von T2 liegt auf $V_{dd}/2$, während der Emitter auf 0 V liegt), so dass T2 nicht leitet. Da T2 also sperrt, erhält T1 keinen Basisstrom und leitet ebenfalls nicht. Die Spannung an C1 (Knoten 1) steigt an, während der Kondensator über R4 geladen wird. Wenn die Spannung über C1 den Punkt erreicht, an dem der Emitter-Basis-Übergang von T2 in Durchlassrichtung vorgespannt wird (bei etwa $V_{dd}/2 + 0,7$ V), beginnt T2 zu leiten, und die Schaltung verriegelt wie zuvor beschrieben. Die Spannung an Knoten 2 fällt auf 0 V.

Da T2 nun jedoch leitend ist, entlädt sich C1 schnell über R3. Wenn die Spannung über C1 unter 0,7 V sinkt, beginnt T2 zu sperren und die Schaltung wird wieder entriegelt. Die Spannung an Knoten 2 springt zurück auf $V_{dd}/2$ und C1 kann sich über R4 wieder aufladen. Dieser

Vorgang wiederholt sich immer wieder. Die Breite des Low-Impulses an Knoten 2 kann (in gewissen Grenzen) durch Veränderung des Werts von R3 eingestellt werden.

Wenn man die Schaltung ähnlich wie in Bild 4 anordnet und C1 und R4 vertauscht, werden die Ausgangssignale invertiert.

Einige Fallstricke

Der Wert von R4 sollte immer hoch genug sein, damit der PUT entriegelt werden kann. Um die Schwingungsfrequenz einzustellen, sollte man also besser mit dem Wert von C1 statt mit R4 spielen.

Wenn die Werte von R1 und R2 zu hoch sind, erhält der PUT nicht genug Gatestrom, um fest zu verriegeln, und C1 wird nicht tief genug entladen, um den PUT wieder zu entriegeln. Es ist also besser, diese Werte niedrig zu halten. Wenn der Wert von R4 verringert wird, sollten auch die Werte von R1 und R2 verringert werden, damit der PUT C1 tief genug entladen kann, um wieder zu entriegeln.

Der Wert von R3 kann nicht unbegrenzt erhöht werden. Wenn er zu hoch ist, erhält der PUT nicht genug Strom, um fest zu verriegeln, und kann C1 nicht weit genug entladen, um wieder zu entriegeln. Folglich startet der Oszillator nicht, wenn R3 zu hoch ist.

Symmetrischer Rechteckgenerator

Durch Hinzufügen eines Widerstands und einer Diode zu der Schaltung aus Bild 7 lässt sich ein symmetrisches Rechtecksignal erzeugen (**Bild 8**). Durch D1 ist die untere Seite von C1 nicht mehr fest mit Masse verbunden, sondern kann unter den Nullpunkt gedrückt werden und somit negativ werden.

Wenn C1 aufgeladen wird, ist D1 in Durchlassrichtung vorgespannt und der Knoten 3 zwischen C1 und D1 liegt bei +0,7 V. Wenn T2 anfängt zu leiten, zieht es den Knoten 1 auf 0 V. Wenn dies geschieht, wird die Spannung am Knoten 3 negativ, da C1 immer noch geladen ist. D1 ist nun in Sperrrichtung vorgespannt und leitet nicht mehr, und C1 entlädt sich über R5. Aufgrund der negativen Spannung an Knoten 3 ist die Spannung über R5 etwa doppelt so hoch wie die Spannung über R4. Um gleiche Lade- und Entladezeiten und damit ein symme-

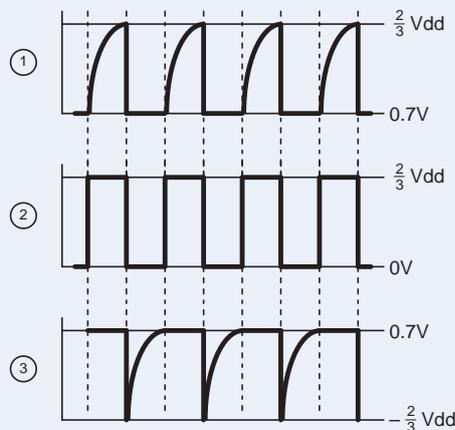
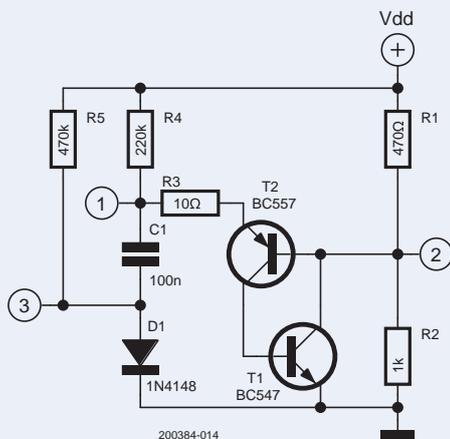
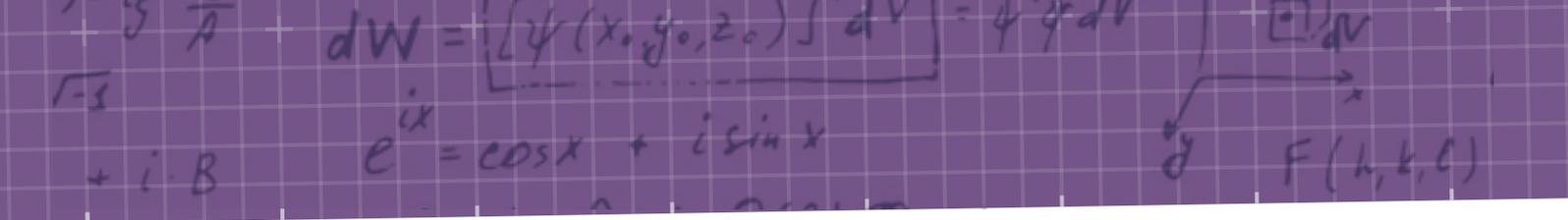


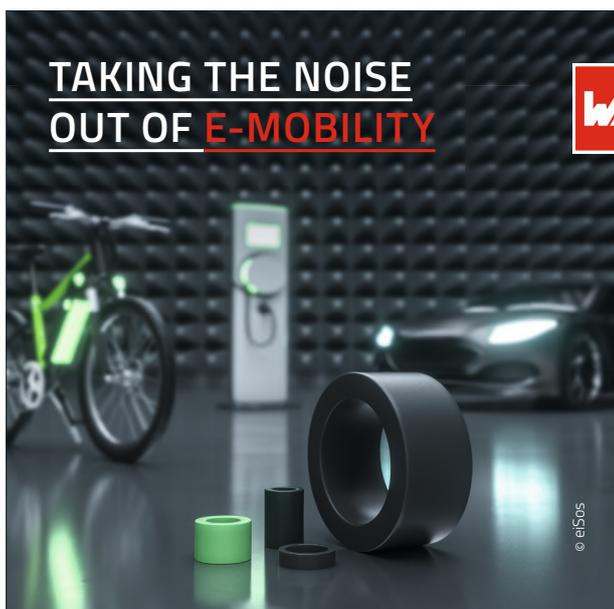
Bild 8. Ein einfacher Rechteckoszillator.

trisches Signal an Knoten 2 zu gewährleisten, ist der Wert von R5 etwa doppelt so hoch wie der von R4. R3 hat keine Funktion mehr und kann weggelassen werden.

LED-Blinker und Blinker

Ersetzt man in der Schaltung von Bild 8 R2 durch eine LED, so erhält man einen LED-Blinker (Bild 9). Mit den angegebenen Bauteilwerten

Anzeige



WÜRTH ELEKTRONIK
MORE THAN YOU EXPECT

WE meet @ electronica
Halle A4, Stand 406

Störungsfreie E-Mobilität

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

www.we-online.com/emobility

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

Von Entwicklern für Entwickler

Tipps & Tricks, Best Practices und andere nützliche Infos

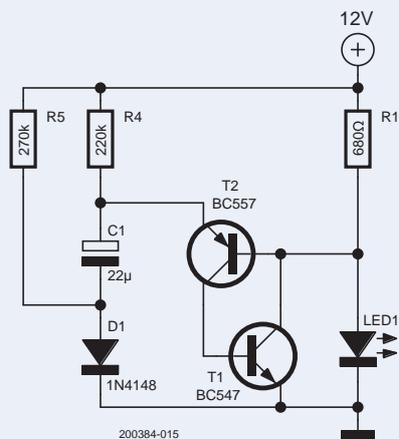


Bild 9. Ein 1-Hz-LED-Blinker.

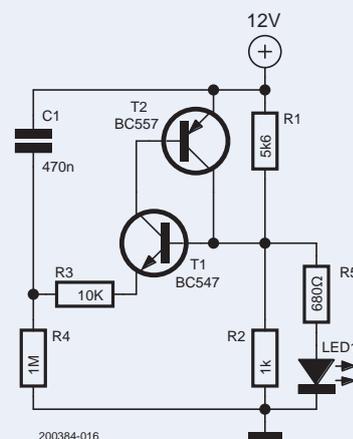


Bild 10. Umgedrehter 1-Hz-LED-Blinker.

blinkt die LED mit etwa 1 Hz. Da R3 keine Aufgabe mehr hatte, wurde der Widerstand aus der Schaltung entfernt.

Bild 10 zeigt eine „umgedrehte“ Version des LED-Blinkers mit einer Frequenz von etwa 1 Hz. R3 bestimmt die Impulsbreite und damit die Dauer des Blitzes. Mit den angegebenen Werten beträgt die Impulsbreite etwa 11 ms.

Ähnlich wie in Bild 10, aber mit der LED an einer anderen Position, wird der Strombegrenzungswiderstand R5 überflüssig und kann entfernt werden (**Bild 11**). Seine Rolle wird von R2 übernommen, der mit der LED in Reihe geschaltet ist, wenn der PUT leitet.

Das alles und noch viel mehr!

Die in diesem Artikel vorgestellten Schaltungen zeigen einige grundlegende Anwendungen und erklären, wie die Dinge funktionieren. Obwohl es noch so viel mehr über PUTs und ihre Anwendungen zu sagen gäbe, wollen wir jetzt aufhören, denn die Absicht war ja nicht, das Thema erschöpfend zu erläutern, sondern Sie zu inspirieren und gleichzeitig

etwas analoge Schaltungsanalyse zu lehren. Weitere Schaltungen, die auf dem PUT basieren, finden Sie beispielsweise unter [1] und [2].

200384-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Bitte kontaktieren Sie Elektor unter redaktion@elektor.de.



PASSENDE PRODUKTE

- > P. Horowitz, W. Hill: **The Art of Electronics (SKU 17167)**
www.elektor.de/17167
- > P. Scherz, S. Monk: **Practical Electronics for Inventors (SKU 17685)**
www.elektor.de/17685

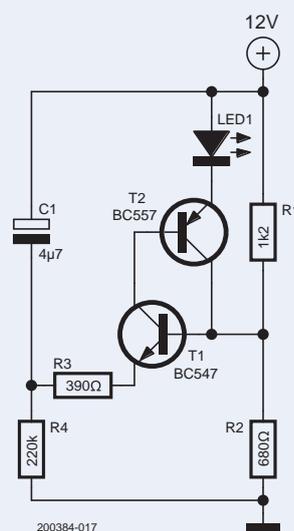


Bild 11. Dieser „optimierte“ LED-Blinker verwendet einen größeren Kondensator, spart aber einen Widerstand.

WEBLINKS

- [1] Weitere PUT-Schaltungen bei Elektor Labs: www.elektormagazine.de/labs/put-ting-it-all-together
- [2] Roel Arits, „LED-Dimmer (1)“, Elektor 9/2018: www.elektormagazine.de/170404-02

15.–18. November 2022

Driving sustainable progress.

Die Zukunft schon heute erleben.
Auf der electronica 2022.

Jetzt Ticket sichern!

electronica.de/ticket

Ein runder Touchscreen für den Raspberry Pi

HyperPixel 2.1 Round von Pimoroni



Von Clemens Valens
(Elektor)

Der runde kapazitive Touchscreen mit einem Durchmesser von 53 mm ist für den Raspberry Pi Zero und Zero 2W optimiert und eignet sich hervorragend, um cool aussehende Geräte zu entwerfen, zum Beispiel in der Messtechnik oder für Heimautomatisierungsanwendungen.

Der HyperPixel 2.1 Round von Pimoroni [1] ist ein runder kapazitiver 2,1-Zoll-IPS-Touchscreen (In-Plane Switching) mit High-Speed-DPI (Display Pixel Interface). Wie seine quadratischen und rechteckigen Brüder HyperPixel 4 ist der 2.1 Round für den Raspberry Pi gedacht. Eigentlich ist die Größe optimal für den Raspberry Pi Zero und den Zero 2W, aber da er über einen standardmäßigen 40-poligen HAT-Anschluss (Hardware Attached on Top) verfügt, kann er an jeden Raspberry Pi mit einem solchen Anschluss angeschlossen werden, solange man ihn mechanisch sicher befestigt.

Spezifikationen

Die Auflösung des Displays beträgt 480 x 480 Pixel, aber da es rund ist, muss man natürlich die Ecken abziehen. Es weist eine Farbtiefe von 18 Bit, also 262.144 Farben auf, und unterstützt bis zu 60 Bilder pro Sekunde. Das Sichtfeld hat einen Durchmesser von 2,1 Zoll beziehungsweise 53,3 mm, das man in einem Winkel von 175° betrachten kann. Der volle Durchmesser beträgt 72 mm (2,83") bei einer Höhe

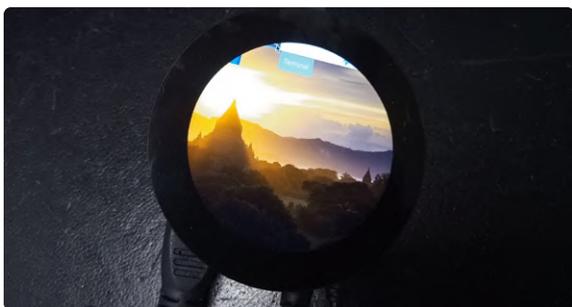


Bild 1. Der HyperPixel 2.1 Round mit dem Buster-Desktop.

von 11 mm (0,43"). Mit einem angeschlossenen Pi Zero beträgt die Gesamthöhe (oder Tiefe, je nachdem) 17 mm (0,67").

F: Wie viele Pixel gehen durch die abgerundeten Ecken verloren? *

Da das Display fast alle Pins des HAT-Anschlusses verwendet, können Sie keine weiteren Erweiterungsplatinen hinzufügen. Als Alternative verfügt das Display über einen I²C-Anschluss, an den Sie Dinge anschließen können. Die Stromaufnahme eines HyperPixel plus Raspberry Pi Zero 2W-Systems liegt bei etwa 300 mA im normalen Desktop-Betriebsmodus. Beim Booten habe ich Spitzenwerte von über 500 mA beobachtet, so dass Sie, um auf der sicheren Seite zu sein, eine 5-V-Stromversorgung mit 5 W Leistung benötigen.

Treiber und Bibliotheken

Um den HyperPixel 2.1 Round auf einem Raspberry Pi zu verwenden, müssen Sie zunächst einen Treiber installieren. Eine ausführliche Anleitung dazu finden Sie auf der Website von Pimoroni [1] und in der GitHub-Ecke [2] der Firma. Die Treiber sind nur für Raspberry Pi OS Buster geeignet, aber an der Unterstützung für Bullseye wird gearbeitet. Auch wenn Bullseye noch nicht unterstützt wird, habe ich es ausprobiert. Mein Demoprogramm (siehe unten) funktionierte genauso, nur dass das Menü des Desktops am oberen Rand des Bildschirms überlagert wurde (**Bild 1**). Ich schloss den HyperPixel 2.1 Round an einen Raspberry Pi Zero 2W mit Buster an und aktivierte SSH, um mir das Leben später etwas zu erleichtern. Nach der Installation des Treibers und dem Neustart zeigte der Bildschirm eine winzige Version des Desktops an, und ich konnte ein Terminalfenster öffnen. Jetzt funktioniert der HDMI-Anschluss nicht mehr und der HyperPixel ist zum einzigen Bildschirm geworden. Da er ziemlich klein ist, habe ich die meiste Arbeit auf meinem Windows-Laptop über SSH erledigt. Um das Display in eigenen Anwendungen zu verwenden, braucht man die Python3-Bibliothek von Pimoroni [3]. Sie enthält ein paar Beispiele, die bei mir aber nicht gut funktionierten. Nach einigem Suchen fand ich heraus, dass die Aktualisierung der Pygame-Bibliothek auf die neueste Version (2.1.0, als ich dies schrieb) meine Probleme löste. Danach funktionierten alle Demos einwandfrei. Die Demos funktionieren mit Touch, also berühren Sie das Display, um die Farben zu ändern. Die Touchfläche benötigt einen eigenen Treiber, damit sie wie eine Maus auf dem Desktop funktioniert. Leider scheint ein solcher Treiber noch nicht zu existieren, aber man kann stattdessen das „daemon“-Beispiel `uinput-touch.py` aus der Bibliothek verwenden. Das funktioniert recht gut.

* A: $480 \times 480 \times (1 - 0,25 \pi) = 49.444$ (das heißt, fast 21,5 %)



Bild 2. Der Zählwert des YouTube-Abonnentenzählers kann über die Touchfläche gezogen werden.



Bild 3. Das Display HyperPixel 2.1 Round hat den gleichen Durchmesser wie das Innere einer Pringles-Dose.

Meine erste Anwendung

Nachdem ich das Display zum Laufen gebracht hatte, wollte ich herausfinden, ob ich es auch sinnvoll einsetzen könnte. Meine Idee war, es für meinen YouTube-Abonnentenzähler [4] zu verwenden, um die 7-Segment-Anzeige durch etwas Attraktiveres zu ersetzen. Die Uhrendemo schien ein guter Ausgangspunkt zu sein. Ich musste nur die YouTube-API-Abfrage hinzuzufügen, um die Abonnentenzahl zu ermitteln und dann die Zahl auf dem Bildschirm auszugeben. Zuerst installierte ich die Bibliothek `httplib2` für das YouTube-Abonnentenzähler-Snippet. Beim Ausführen des Programms stellte sich heraus, dass ich auch `libsd12-ttf` benötigte, um Text auf dem Bildschirm auszugeben. Denken Sie daran, dass Ihre Anwendung `pygame.init` aufrufen muss, wenn Sie mit Text und Schriftarten arbeiten wollen, und dass Sie eine Schriftart laden müssen. Das Laden einer Schriftart dauert auf einem Raspberry Pi Zero ziemlich lange, daher habe ich dies an den Anfang des Programms gestellt. Mit Hilfe der Schriftart wird der Text zu einem Bild gerendert, das man in den Bildschirmpuffer kopiert, um es sichtbar zu machen (Bild 2). Dann habe ich eine Funktion für die Touchfläche hinzugefügt, mit der Sie die Abonnentenzahl durch einfaches Ziehen an eine beliebige Stelle auf dem Bildschirm positionieren können. Wie bei der Uhr hängt die Farbe davon ab, wo Sie den Bildschirm berühren. Um sie hervorzuheben, verwendet sie eine andere Farbe als die Uhr, es sei denn, Sie berühren die Mitte, um alles weiß zu machen.

Mein Code ist unter ClemensAtElektor auf GitHub [5] zu finden.

Weitere Anmerkungen

Ein Wort zum Drehen des Bildschirms. Ich wollte, dass der Bildschirm so gedreht wird, dass die USB- und HDMI-Anschlüsse des Raspberry Pi Zero nach oben zeigen. Das entspricht 180° oder „invertiert“. Der Pimoroni-Treiber bietet dafür Hilfsprogramme, die bei mir aber nicht funktionierten. Was jedoch funktionierte, war das Hinzufügen der Zeile `display_lcd_rotate=2` in der Datei `/boot/config.txt` und ein anschließender Neustart des Systems.

Aus irgendeinem Grund liegt die Mitte des Bildschirmpuffers nicht genau in der Mitte des Displays, sondern um einige Pixel in vertikaler Richtung abweichen kann. Sie können dies korrigieren, indem Sie einen Offset hinzufügen, wobei das Vorzeichen des Versatzes von der Drehung des Bildschirms abhängt. Sie können in meinem Code sehen, wie ich das gemacht habe.

Alternativer I²C-Anschluss

Ich habe den alternativen I²C-Anschluss des Displays nur kurz ausprobiert. Laut der Pimoroni-Website wäre es der I²C-Port 3, aber bei mir war es Port 11. Sie können leicht herausfinden, wo bei Ihnen der I²C-Port liegt, nämlich mit dem Befehl `i2cdetect -l` oder indem Sie im `/dev`-Verzeichnis nach Dateien suchen, die mit `i2c` beginnen. Ich habe ein Beschleunigungsmesser-Modul [6] MPU6050 von Mabee

angeschlossen, um zu sehen, ob es von `i2cdetect` erkannt wird. Es wurde ein Gerät an der hexadezimalen Adresse 68 angezeigt, was tatsächlich die auf dem Modul aufgedruckte Adresse ist, also schien es zu funktionieren. Nachdem ich die `mpu6050-raspberrypi`-Bibliothek installiert hatte, konnte ich den Sensor auch auslesen.

In der Pringles-Dose

Ich habe zufällig festgestellt, dass das Display genau in eine Pringles-Dose passt. Daher beschloss ich, meine YouTube-Abonnentenzähler-Uhr in eine leere Pringles-Dose einzubauen. Ich schnitt den oberen und unteren Teil der Dose ab und befestigte die Display-mit-dem-Raspberry-Pi-Baugruppe mit Abstandhaltern am unteren Teil, so dass das Display bündig mit der Innenseite des Rings am oberen Teil abschloss. So ist das Display geschützt, wenn der Deckel aufgesetzt ist, während der Touch weiterhin funktioniert (Bild 3).

Kleines Fazit

Zusammenfassend denke ich, dass das Display HyperPixel 2.1 Round eine wirklich schöne Erweiterung für einen Raspberry Pi Zero (2W) ist. Die Bildqualität ist sehr gut, und die Touchfläche funktioniert gut in eigenen Anwendungen. Es wäre eine ziemlich coole Ergänzung für (m)ein Heimautomatisierungssystem.

Offiziell gibt es nur Unterstützung für Buster, aber ich habe es mit Bullseye ausprobiert. Mein Programm funktionierte genauso, außer dass das Menü des Desktops am oberen Rand des Bildschirms überlagert wurde. ◀

220358-02



PASSENDE PRODUKTE

> **HyperPixel 2.1 Round (SKU 19870)**
www.elektor.de/19870

WEB LINKS

- [1] Pimoroni-Webseite:
<https://shop.pimoroni.com/products/hyperpixel-round>
- [2] Pimoroni auf GitHub:
<https://github.com/pimoroni/hyperpixel2r>
- [3] Python3-Bibliothek:
<https://github.com/pimoroni/hyperpixel2r-python>
- [4] Mein YouTube-Abonnentenzähler:
<https://youtu.be/PuCCMZFNqQE>
- [5] ClemensAtElektor at GitHub:
<https://github.com/ClemensAtElektor/HyperPixel2r>
- [6] Beschleunigungsmesser-Modul MPU6050 von Mabee:
www.makerfabs.com/mabee-6aixs-imu-mpu6050.html

Fernwirken und die Erkennung von Verbindungsverlusten

mit Hilfe von nRF24L01+ Modulen

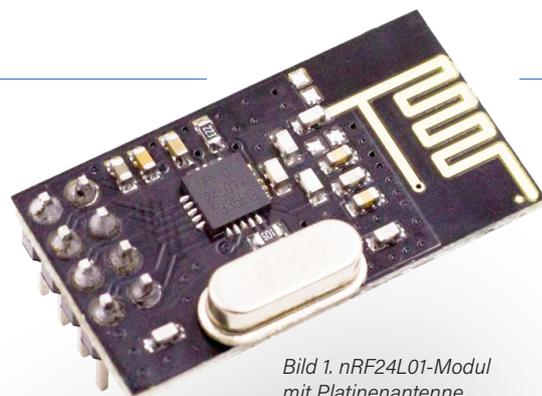


Bild 1. nRF24L01-Modul mit Platinenantenne.



Von Roel Arits (Niederlande)

Die drahtlose Datenübertragung ermöglicht viele Anwendungen, zum Beispiel im Bereich der Hausautomatisierung. Allerdings muss diese Kommunikation robust und zuverlässig sein. An diesem PIR-Sensor-Projekt soll grundlegend das Problem eines Verbindungsverlusts beschrieben und mit bidirektionalen Kommunikationsmodulen gelöst werden.

Das HF-Modul nRF24L01+ (**Bild 1**) bietet eine interessante, kostengünstige Lösung für drahtlose bidirektionale Kommunikation [1]. Das Modul verfügt über einen SPI-Bus (Serial Peripheral Interface), der die Konfiguration und Steuerung über einen Mikrocontroller ermöglicht. Im Internet finden sich zahllose Beispiele für Projekte, bei denen Arduino-Boards in Kombination mit diesen HF-Modulen eingesetzt werden.

Mit dem hier beschriebenen Projekt mit zwei nRF24L01+ möchte ich einer (Heim-) Automatisierungsvorrichtung eine zusätzliche Funktion hinzufügen, die die Zwei-Wege-Kommunikation nutzt, um den Verlust der Kommunikationsstrecke zwischen Sender und Empfänger zu erkennen. Es ist zwar etwas seltsam, bei einer Zwei-Wege-Kommunikation von einem Sender und einem Empfänger zu sprechen, da die Module doch gleichzeitig als Sender und als Empfänger fungieren, doch der Klarheit halber bezeichnen wir das Modul als Sender, dessen Hauptaufgabe darin besteht, den Zustand eines (PIR-) Sensors an ein anderes Modul zu übertragen, den Empfänger, der die Daten weiter verarbeitet.

Die Fähigkeit, den Verlust der Kommunikationsstrecke zu erkennen, ist für entfernte Sensoren sehr nützlich, denn wenn es keine Kommunikation gibt, könnten Daten unbemerkt verloren gehen oder sinnlos wertvolle Batteriekapazität „verbraten“ werden. Es ist auch nützlich, bei der Installation des Sensors zu prüfen, ob sich die beiden nRF24L01 RF-Module tatsächlich gegenseitig „sehen“ können und nicht außerhalb ihrer Reichweite sind.

In **Bild 2** sehen Sie einen Überblick über das Projekt und wie die beiden nRF24L01-Module miteinander kommunizieren - und wie die Erkennung von Kommunikationsverlusten implementiert ist.

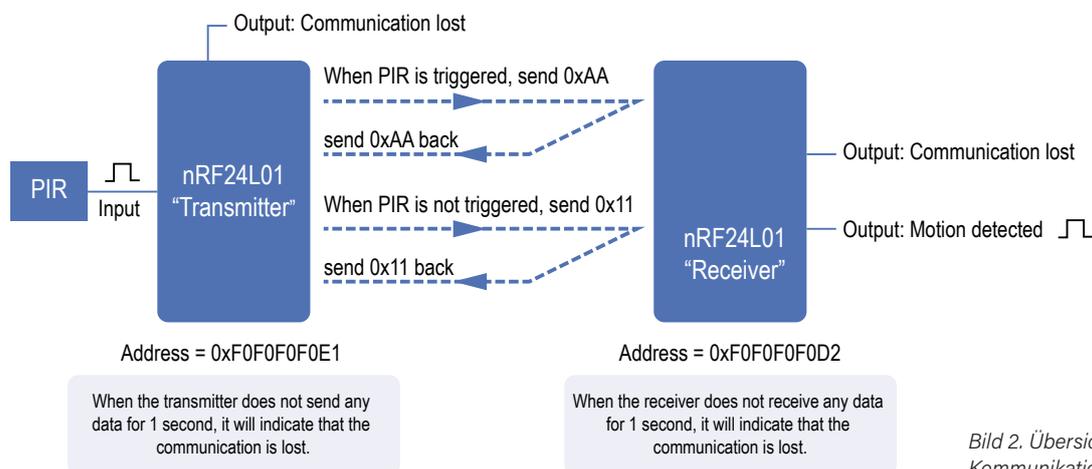
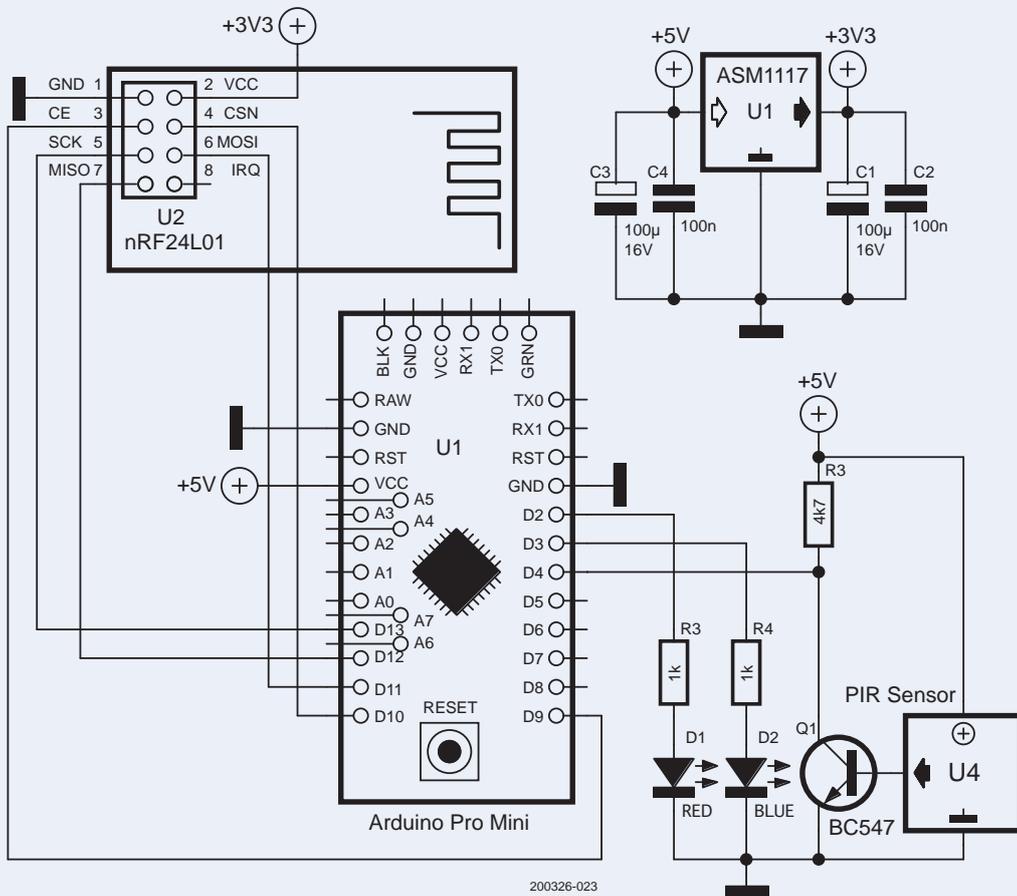


Bild 2. Übersicht über die Kommunikationsschritte.



The red LED flashes when the connection is lost
The blue LED indicates when motion was detected.

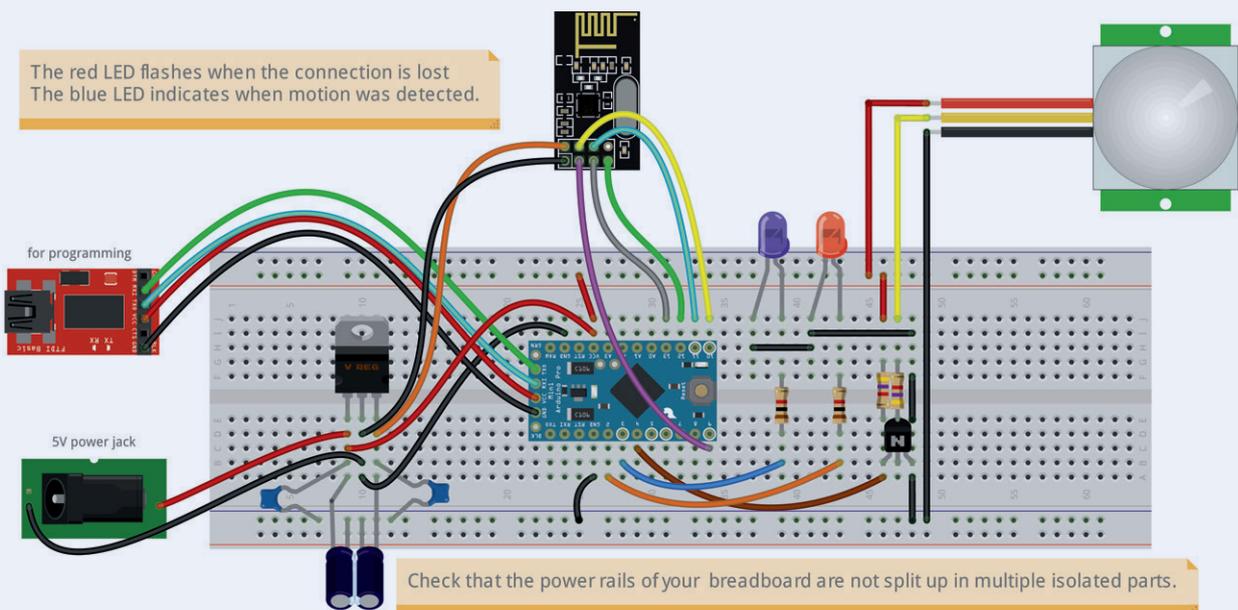


Bild 3. Schaltplan für die Senderabteilung.



Bild 4. Das PIR-Sensormodul.

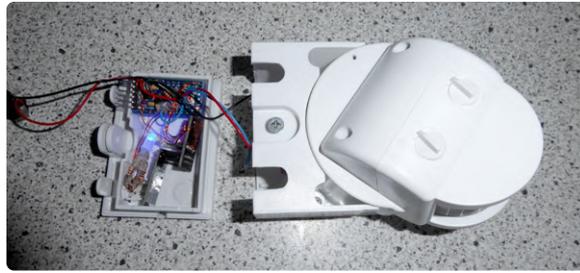


Bild 5. Der Sender mit PIR-Sensor.



Bild 6. Die Empfangseinheit.

Schaltpläne

Beginnen wir mit dem Schaltplan des Senders (**Bild 3**). Der nRF24L01 muss zwar mit 3,3 V versorgt werden, aber die I/O-Pins des Moduls sind 5-V-tolerant. Es ist also kein Problem, den SPI-Bus des nRF24L01 direkt an einen 5-V-Arduino Pro Mini anzuschließen. Die Entkopplungskondensatoren für die Stromversorgung sollten so nah wie möglich am Arduino beziehungsweise am nRF24L01-Modul platziert werden, um alle „Schaltgeräusche“ zu unterdrücken, die von diesen Chips ausgehen. Dies wird bei Arduino-Projekten oft übersehen und kann zu allen möglichen unerwarteten Problemen führen. Es ist auch sinnvoll, mehrere Bypass-Kondensatoren mit unterschiedlichen Werten parallel zu schalten, zum Beispiel $C_1 = 100 \mu\text{F}$ und $C_2 = 100 \text{nF}$, weil Elektrolytkondensatoren zwar viel Energie aufnehmen können, aber bei höheren Frequenzen nicht so wirksam wie Keramik-kondensatoren oder Polypropylen-Folienkondensatoren sind. Durch die Parallelschaltung verschiedener Kondensatortypen wird so ein wirksames Filter über einen breiteren Frequenzbereich geschaffen. Der PIR-Sensor (**Bild 4**) ist an D4 des Arduino angeschlossen. Die Schaltung lässt auch PIR-Sensoren mit einer anderen Spannung als 5 V zu: Q1 fungiert als (invertierender) Pegelwandler für den Fall, dass Sensoren mit einer Ausgangsspannung von 3,3 V oder weniger verwendet werden. Auf diese Weise können Sie andere Sensortypen anschließen, ohne die Hardware ändern. Wenn der PIR-Sensor einen 5-V-Ausgang hat, können Q1, R4 und R3 natürlich weggelassen und der PIR-Sensorausgang direkt an Pin 4 des Arduino angeschlossen werden. In diesem Fall muss aber der Arduino-Sketch angepasst werden, so dass der Trigger-Eingang high aktiv statt low aktiv ist: `#define TRIGGER_ACTIVE_LEVEL 0` `/* 0 = low active, 1 = high active */`.

Die rote LED D1 blinkt, wenn die Verbindung zwischen dem Sender und dem Empfänger unterbrochen ist. Wenn die Verbindung wiederhergestellt ist, stellt die rote LED diese Tätigkeit ein und alles funktioniert wieder wie gewohnt.

Die blaue LED D2 zeigt an, dass der PIR-Sensor eine Bewegung erkennt. Dieses Triggerereignis wird als Triggercode-Byte an den Empfänger gesendet. Wenn der PIR-Sensor keine Bewegung erkennt, wird ein „Livebeat“-Code, eine Art Lebenszeichen an den Empfänger gesendet. Auf diese Weise weiß der Empfänger immer zuverlässig, ob ein Triggerereignis vorliegt oder nicht. Der folgende Code zeigt die Definitionen des Livebeat- und des Trigger-Codes.

```
#define LIVE_BEAT_CODE 0x11 /* code that is transmitted
as a live beat signal from transmitter to receiver */
#define TRIGGER_CODE 0xAA /* code that is transmitted
when transmitter detects activity at the trigger input */
```

Bild 5 zeigt die Sendeeinheit mit dem PIR-Sensor.

Der Empfänger

Der Empfänger (**Bild 6**) sendet denselben Code, den er vom Sender erhalten hat, als Bestätigung zurück. Aufgrund dieser kontinuierlichen Kommunikation zwischen Sender und Empfänger können beide leicht feststellen, ob die Verbindung steht oder unterbrochen ist. Die Empfängerschaltung (**Bild 7**) ist fast identisch mit der Senderschaltung. Die rote LED D1 blinkt, wenn die Verbindung unterbrochen ist, und der Arduino sendet mit dem Befehl `tone(x,y)` einen Ton an den Lautsprecher, wobei x die Frequenz und y die Dauer angibt. Der Lautsprecher sollte ein 8- Ω -Typ sein und über einen Elektrolytkondensator an den Arduino angeschlossen werden. Je höher der Wert des Kondensators ist, desto höher ist auch die Lautstärke des Lautsprechers. Für einen 50-Hz-Ton mit einer Dauer von 150 ms wird der folgende Code verwendet:

```
tone(SPEAKER_PIN, 50, 150); /* output a tone of 50Hz for
a duration of 150ms on the speaker output */
```

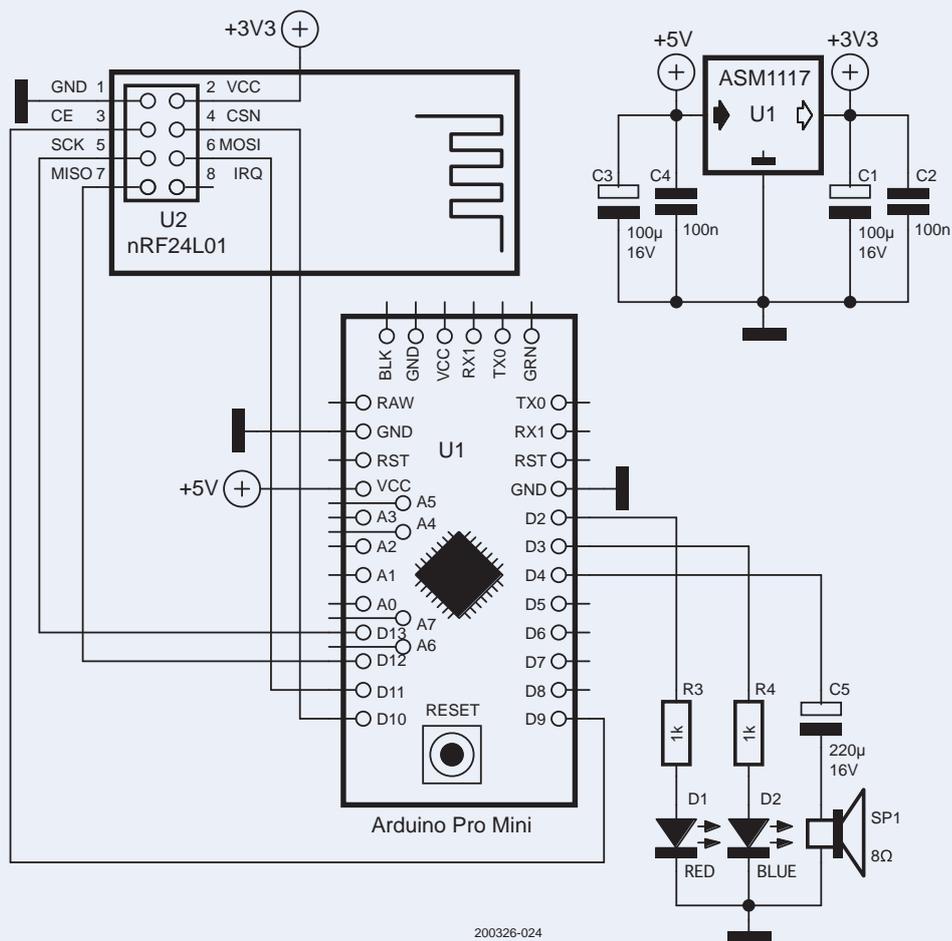
Ich habe mich für diesen niederfrequenten Ton entschieden, da er weniger nervend ist als höhere Töne. Die blaue LED D2 leuchtet auf an, wenn eine Bewegung erkannt wird. An diesen Ausgang kann man auch über einen Transistor ein Relais anschließen, um ein anderes Gerät einzuschalten/zu steuern, wenn eine Bewegung erkannt wird. ◀

200326-02



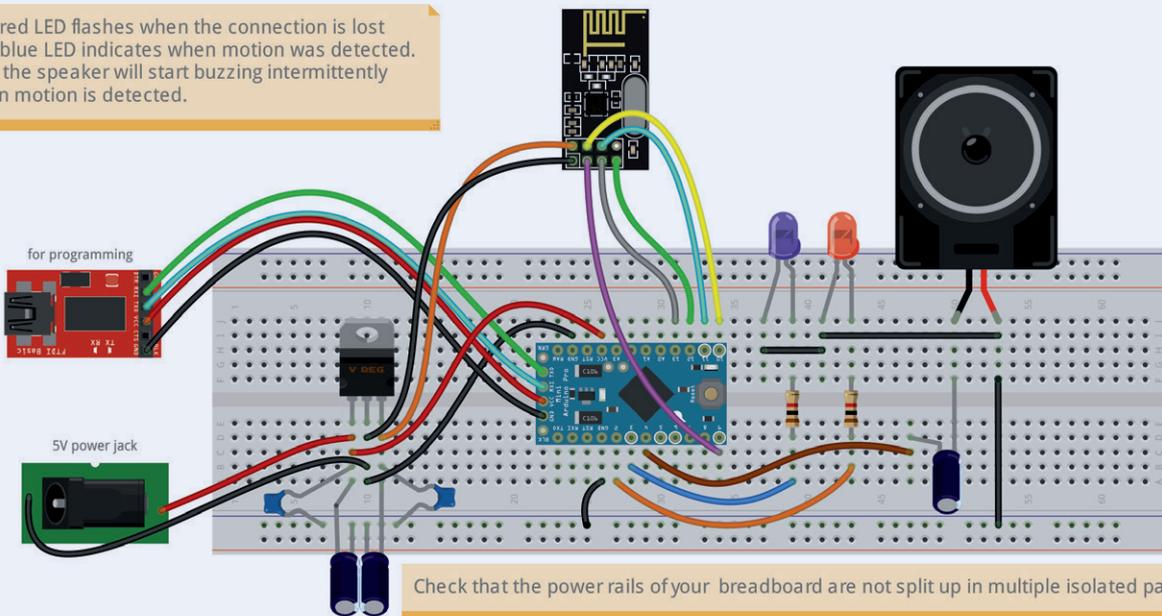
PASSENDE PRODUKTE

- > Joy-IT Nano V3 SKU 18615
www.elektor.de/18615
- > HC-SR501 PIR-Motion-Sensormodul SKU 18420
www.elektor.de/18420
- > nRF24L01+ Wireless-Transceiver-Modul (2,4 GHz) SKU 19283
www.elektor.de/19283



200326-024

The red LED flashes when the connection is lost
The blue LED indicates when motion was detected.
Also the speaker will start buzzing intermittently
when motion is detected.



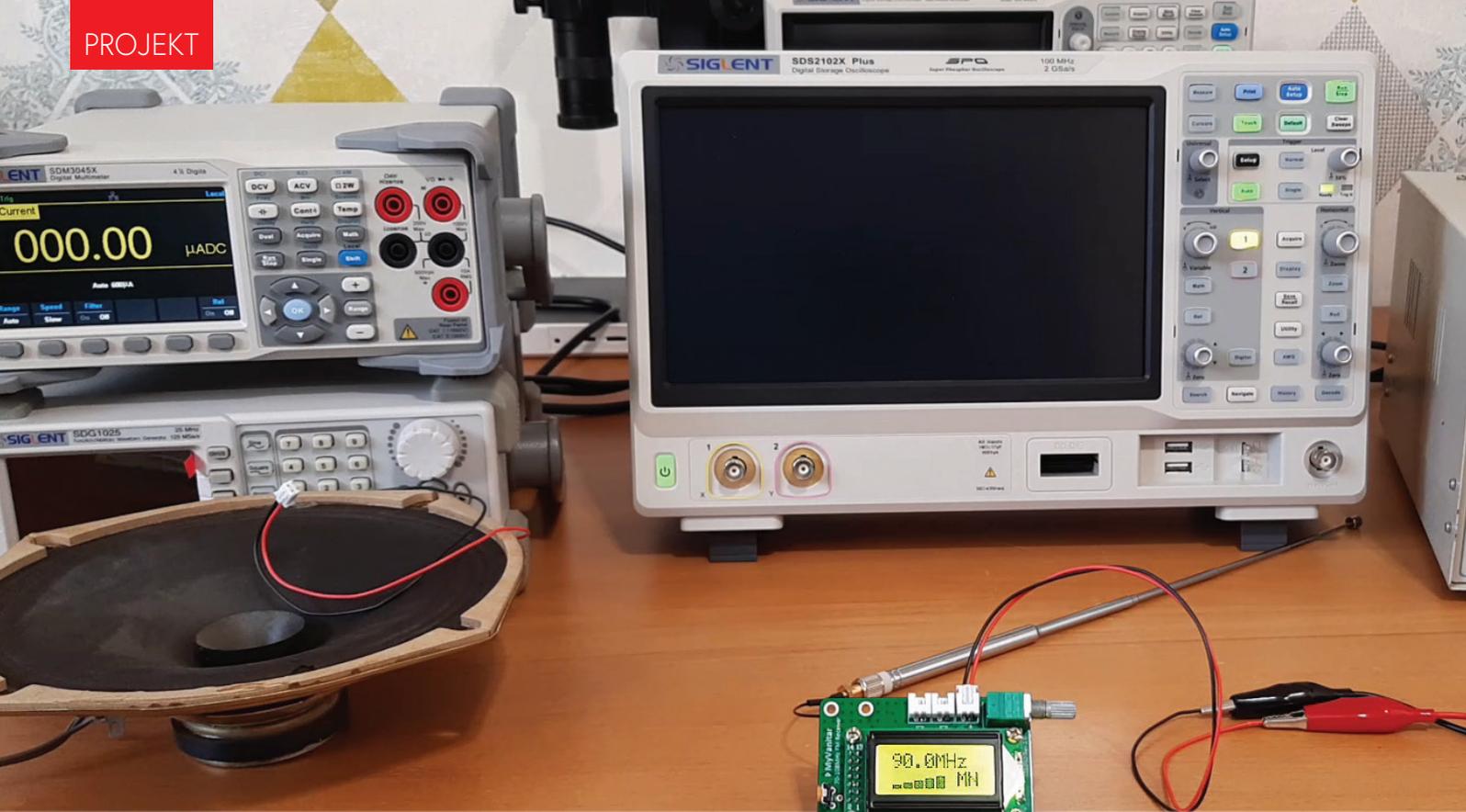
Check that the power rails of your breadboard are not split up in multiple isolated parts.

fritzing

Bild 7. Schaltplan des Empfängers.

WEBLINKS

- [1] Datenblatt des HF-Moduls: www.nordicsemi.com/Products/nRF24-series
- [2] Dieses Projekt auf Elektor Labs: www.elektormagazine.de/remote-nrf24l01



Digitaler UKW-Empfänger

Mit Arduino Nano und TEA5767

Von Hesam Moshiri (Iran)

Um einen UKW-Empfänger zu bauen, greifen Entwickler wie wir meist auf hochintegrierte Chips zurück, zum Beispiel den TEA5767 von NXP. Das hier vorgestellte UKW-Radio überdeckt einen Frequenzbereich von 76...108 MHz und gibt ein Stereo-Audiosignal mit 2 x 3 W aus. Ein Arduino Nano liest drei Drucktasten für die Frequenzabstimmung und zeigt die UKW-Senderdaten auf einem LCD an.

Auch wenn UKW seit Jahren das Ende prophezeit wird, gehören UKW-Empfänger immer noch zu den beliebtesten Schaltungen eines jeden Elektronik-Enthusiasten. In diesem Artikel stelle ich ein komplettes digitales UKW-Radio mit drei Bedientasten und einem LC-Display vor. Es kann sowohl manuell als auch automatisch im Scan-Modus nach UKW-Signalen im Bereich von 76...108 MHz abgestimmt werden. Die Signalstärke wird als Balkendiagramm auf dem LC-Display angezeigt. Das Audiosignal wird von einem hochwertigen und für unsere Zwecke ausreichend leistungsstarken Class-D-Stereoverstärker mit 2 x 3 W verstärkt. Zur Steuerung des Empfängers kommt das preiswerte und beliebte Arduino-Nano-Board zum Einsatz.

Die Hardware

Bild 1 zeigt die vollständige Schaltung mit den drei Hauptteilen FM-Empfängermodul, Audioverstärker und digitale Steuerabteilung mit dem Arduino Nano. Mit einer Teleskopantenne, einer Stromversorgung und zwei

8-Ω-Lautsprechern wird daraus ein einfaches „digital gesteuertes“ UKW-Radio.

Empfang des Funksignals

Das FM-Empfängermodul basiert auf dem TEA5767 [1]. Dabei handelt es sich um ein altbekanntes IC, das über den I²C-Bus gesteuert werden kann. Er deckt (mehr als) den UKW-Frequenzbereich von 76...108 MHz ab und gibt L- und R-Audiosignale aus. Diese Audiosignale müssen verstärkt werden, denn selbst für einen Kopfhörer ist der Audiosignalepegel des TEA5767 zu niedrig. Frequenzabstimmung und Signalstärkemessung werden durch einen Sketch im Arduino Nano vorgenommen.

Ein RC-Tiefpassfilter (R4, C7, C8 und C9) reduziert das Rauschen der Stromversorgung. R5 und R6 sind die obligatorischen Pull-up-Widerstände für den I²C-Bus und CON1 ist ein UFL-Verbinder für den Antennenanschluss. **Bild 2** zeigt den TEA5767 mit seiner Peripheriebeschaltung auf dem Breakout-Board.

Der Audio-Verstärker

Der PAM8403 [2] ist ein 2x3-W-Class-D-Verstärker mit HiFi-Qualitäten, der mit nur einer einfachen 5-V-Versorgung betrieben werden kann. Die maximale Ausgangsleistung wird mit 4-Ω-Lautsprechern erreicht, allerdings empfehlen wir für dieses Projekt 8-Ω-Lautsprecher, um die Verlustleistung im Spannungsregler (IC2) zu begrenzen. Im Datenblatt heißt es vielversprechend: „Der PAM8403 ist ein 3-W-Audioverstärker der Klasse D. Er bietet einen niedrigen THD+N-Wert, wodurch eine hochwertige Klangwiedergabe erreicht wird. Die neue filterlose Architektur ermöglicht es dem Baustein, den Lautsprecher direkt anzusteuern, so dass keine Tiefpass-Ausgangfilter erforderlich sind und somit Systemkosten und Leiterplattenfläche eingespart werden können.“

C1, C2 und C3 dienen der Rauschentkopp-

lung an den Stromversorgungspins. Das Stereo-Audiosignal gelangt über R2/C4 und R3/C5 zum Verstärker. Die beiden RC-Hochpässe unterdrücken niederfrequentes Rauschen. **Bild 3** zeigt die Referenzschaltung des PAM8403, wie sie im Datenblatt angegeben ist. P1 und P2 sind gewinkelte zweipolige JST-XH-Anschlüsse für die Verbindung der Lautsprecher an die Platine. An POT1 wird nicht nur die Lautstärke eingestellt, sondern auch das Gerät ein- und ausgeschaltet (siehe **Kasten** „Dem Poti auf der Spur“).

Arduino als Steuerzentrale

AR1 ist ein Arduino-Nano-Board (**Bild 4**), das zur Steuerung des digitalen UKW-Empfängers verwendet wird. Es kümmert sich um die Anzeige (LCD1) im alphanumerischen Standard-LCD mit 8 x 2 Zeichen, liest den Zustand der Drucktasten (SW1, SW2 und

SW3), reagiert auf deren Betätigung und sendet/empfängt schließlich die TEA5767-Daten über den I²C-Bus. R1 stellt den Kontrast des LCDs ein, C10, C11 und C13 entprellen die Taster.

Spannungsversorgung

Der Spannungsregler 7805 im D2PAK-Gehäuse [3] ist die Hauptkomponente der Stromversorgung und stellt eine stabile +5-V-Versorgung für die Schaltung bereit. C12, C14 und C15 dienen der Rauschentkopplung und der im Stereo-Lautstärkepotentiometer integrierte Schalter schaltet das Gerät ein und aus.

Platinenlayout und Montage

Bild 5 zeigt das Platinenlayout des digitalen UKW-Empfängers. Sie können die vom Autor erstellten Gerber- und Bohrdateien für die Platine von der Projektseite auf der

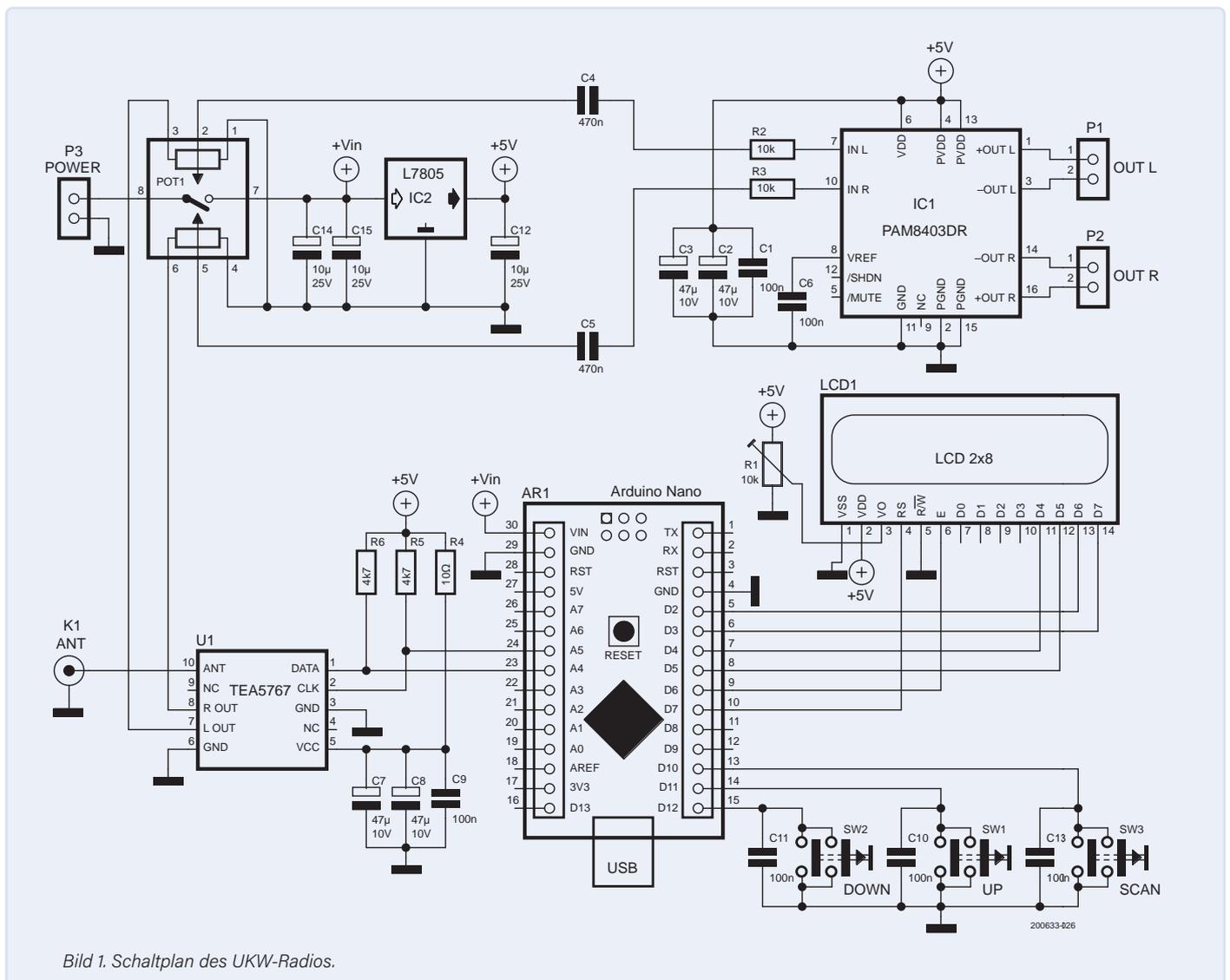


Bild 1. Schaltplan des UKW-Radios.

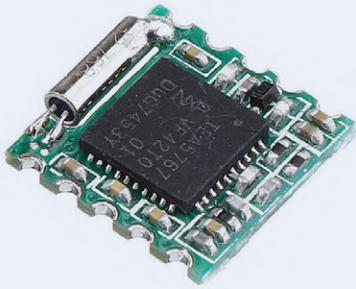


Bild 2. Das Breakout-Board mit dem FM-Empfänger TEA5767.

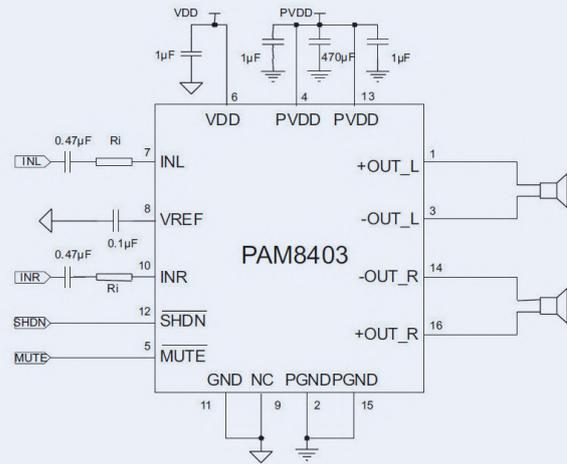


Bild 3. Referenzschaltung für den Stereoverstärker PAM8403. (Quelle: Diodes Incorporated)

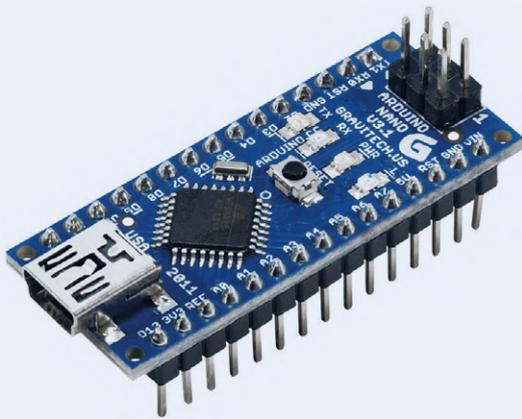


Bild 4. Das Arduino-Nano-Modul.

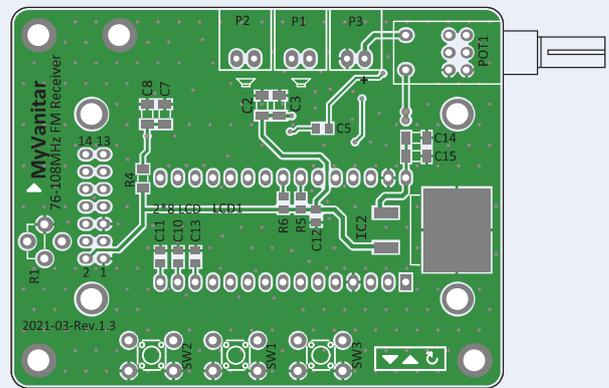


Bild 5. Platinenlayout des Empfängers.

Elektor Labs Website [4] herunterladen und die Platine selber produzieren oder diese Arbeit Ihrem bevorzugten Platinenlieferanten überlassen.

Obwohl die meisten Bauteile auf der Platine SMDs sind, sind sie doch so „groß“, dass Ihnen das Lötten mit einem kleinen Lötcolben und dünnem Lötendraht nicht allzu schwer fallen dürfte. Beginnen Sie mit den SMD-Bauteilen, nehmen Sie sich Zeit und prüfen Sie die Lötstellen jedes Bauteils, bevor Sie mit dem nächsten fortfahren. Heben Sie sich die bedrahteten Bauteile bis zum Schluss auf und achten Sie genau darauf, auf welche Seite der Platine sie gelötet werden sollen. Die Arduino-Nano-Platine wird auf der Unterseite montiert, das LCD befindet sich auf der Oberseite der Platine, vorzugsweise in Buchsenleisten gesteckt. Die korrekte Ausrichtung des TEA5767-Empfängers ist mit einem kleinen Rechteck auf der Platine markiert, das den Quarz auf dem Modul darstellt.

Die 3D-Ansichten der Platine in **Bild 6** verdeutlichen den Aufbau, **Bild 7** zeigt die

hochwertig gefertigten Platinen des digitalen UKW-Empfängers. **Bild 8** zeigt die bestückte Platine von oben, **Bild 9** von unten. Sie benötigen außerdem vier 5-mm-Abstandshalter, um das LCD auf der Platine zu befestigen. Sie sollten ein kurzes Adapterkabel UFL-auf-SMA-F-Stecker (**Bild 10**) verwenden, um Ihre Teleskopantenne (**Bild 11**) mit der Platine zu verbinden.

Bitte beachten Sie, dass in den Fotos eine frühe Version der Platine gezeigt wird, die aber nur geringfügige Unterschiede zum endgültigen Layout aufweist!

Arduino-Sketch

Der Arduino-Sketch für das UKW-Radio (*FM_receiver.ino*) steht auf der Elektor-Labs-Seite dieses Projekts zum Download bereit [4]. Die beiden Bibliotheken für das LCD (LiquidCrystal) und für den I²C-Bus (Wire) sind standardmäßig in der Arduino-IDE enthalten, die TEA5767-Bibliothek muss jedoch von GitHub [5] heruntergeladen und manuell installiert werden. Kopieren Sie dazu einfach die Dateien TEA5767.CPP und TEA5767.H in den Ordner,

in dem der Sketch gespeichert ist, schließen Sie den Arduino Nano an den Computer an, kompilieren Sie den Code und laden Sie ihn hoch. So einfach ist das!

Betrieb des Empfängers

Die untere Frequenzgrenze liegt bei hierzulande ungewöhnlichen 76,0 MHz und die obere Grenze bei 108,0 MHz. Mit den Tasten Up (SW1) und Down (SW2) kann die Frequenz um 0,1 MHz erhöht beziehungsweise verringert werden. Wenn Sie diese Tasten lange drücken, wird die Frequenz kontinuierlich erhöht oder verringert. Es ist also ziemlich einfach, den Empfänger auf die gewünschte Frequenz des UKW-Senders abzustimmen. Außerdem kann der Empfänger mit der Scan-Taste (SW3) automatisch UKW-Sender mit ausreichender Signalstärke finden und den Empfänger auf einer solchen Frequenz fixieren. Um den nächsten Sender zu suchen, drücken Sie dann erneut die Scan-Taste. Die FM-Signalstärke wird auf dem LC-Display als Balkendiagramm angezeigt. Rechts von diesem Balken ist zu lesen, ob das Audiosig-

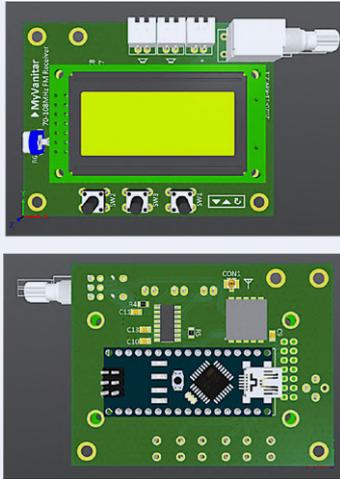


Bild 6. Die Platine in 3D-Ansicht.

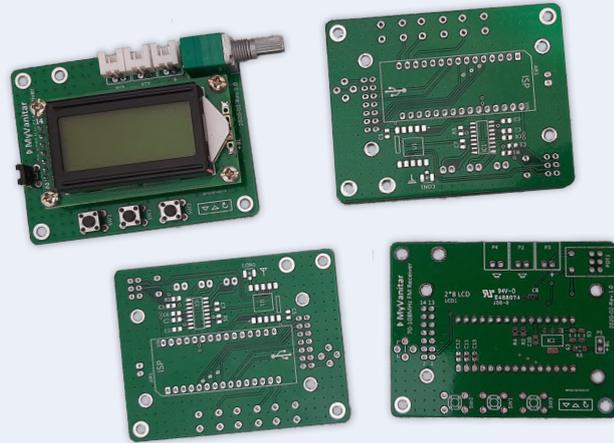


Bild 7. Platine von oben und von unten und bestückt.

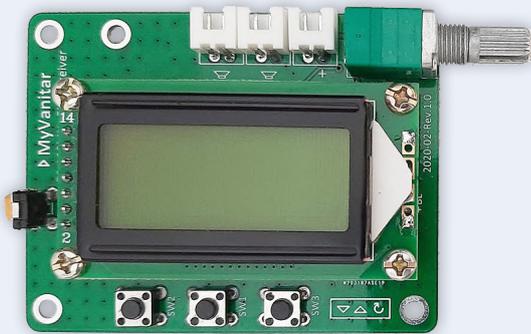


Bild 8. Bestückte Radioplatine, Ansicht von oben.

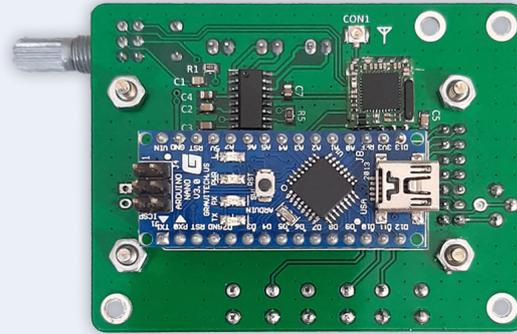


Bild 9. Bestückte Radioplatine von unten mit dem Arduino Nano.



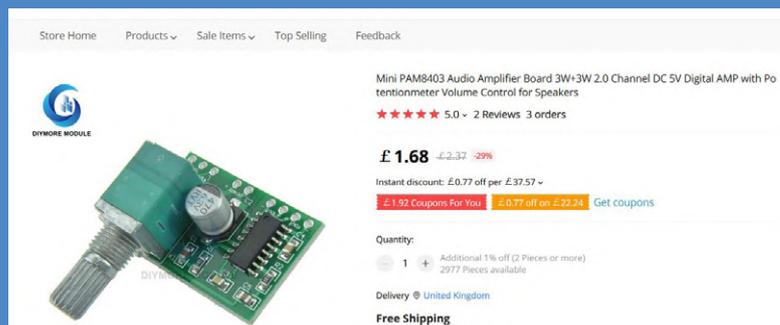
Bild 10. Antennenanschlusskabel mit den kleinen UFL- und den größeren SMA-Steckern.



Bild 11. Teleskopantenne.

Dem Poti auf der Spur

Ein Stereo-Lautstärkepoti mit Schalter ist in unseren modernen Zeiten wirklich schwer zu finden, besonders wenn es wie POT1 in diesem Projekt mit dem Footprint auf einer Platine übereinstimmen muss. Anscheinend wird dieser Schalter als RV0971GS des Herstellers Huizhou Huiyuansheng Technology Electronics verkauft, wobei (bei Alibaba) eine Mindestbestellmenge von 2000 Stück angegeben ist. Der Autor dieses Projekts hat jedoch ein preiswertes Verstärkermodul (natürlich ebenfalls aus Fernost) mit einem PAM8403 und dem besagten Potentiometer gefunden, das in einer Reihe von hiesigen Makershops angeboten wird. Das Poti sieht dem RV0971GS ähnlich (oder ist es sogar?), das auf die vom Autor entworfene Platine passen sollte. Aber sicher kann man nie sein, ob man das bekommt, was man im Produktfoto sieht! Es versteht sich von selbst, dass Sie die beiden Bauteile zuerst aus dem Modul auslöten müssen, wobei eine Heißluft-Lötstation und/oder Entlöt-Werkzeuge sehr hilfreich sind.



nal des empfangenen Senders in Mono (MN) oder in Stereo (ST) vorliegt. In **Bild 12** ist der Empfänger auf einen starken Mono-FM-Sender der Frequenz 100,0 MHz eingestellt.

Dieses Projekt ist auch auf der Elektor Labs-Website [4] zu finden, wo die Software, das Platinenlayout und die Gerber-Dateien zum Download zur Verfügung stehen. Es gibt auch ein Video auf YouTube, das zeigt, wie dieses UKW-Radio [6] funktioniert. ◀

200633-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schicken Sie eine E-Mail an den Autor unter hesam.moshiri@gmail.com oder kontaktieren Sie die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.

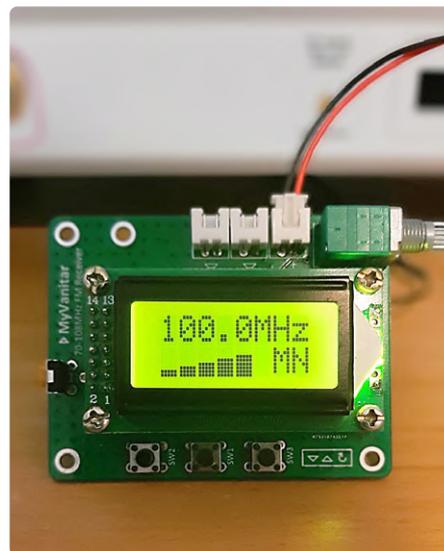
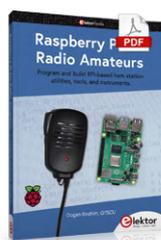


Bild 12. Das auf 100 MHz abgestimmte Radio empfängt ein starkes Monosignal.



PASSENDE PRODUKTE

- > Joy-IT Nano V3 (SKU 18615)
www.elektor.de/18615
- > D. Ibrahim, Raspberry Pi for Radio Amateurs SKU 19487
E-Buch: www.elektor.de/19487



STÜCKLISTE

Widerstände:

- R1 = 10 k Trimpoti, vertikal
- R2,R3 = 10 k (0805)
- R4 = 10 Ω (1206)
- R5,R6 = 4k7 (0805)
- POT1 = Stereo-Potentiometer, 2x50 kΩ mit Schalter (RV0971GS, siehe Text)

Kondensatoren:

- C1,C6,C9,C10,C11,C13 = 100 n (0805)
- C2,C3,C7,C8 = 47μ (1206)
- C4,C5 = 470 n (0805)
- C12 = 10 μ (0805)
- C14,C15 = 10 μ (1206)

Halbleiter:

- IC1 = PAM8403DR, Audioverstärker 2 x 3 W (SOIC-16)
- IC2 = 5-V-Spannungsregler MC7805CD2TG (D2PAK)
- U1 = Breakout-Board mit FM-Empfänger TEA5767

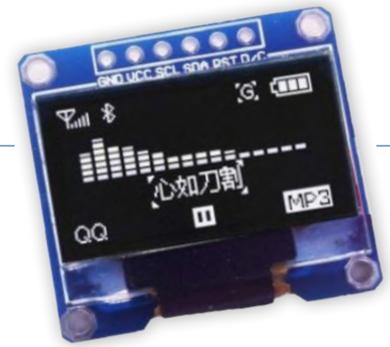
Außerdem:

- AR1 = Arduino Nano
- LCD1 = 2x8-stelliges alphanumerisches LCD
- P1, P2, P3 = 2-poliger JST-XH-Steckverbinder, Raster 2,5 mm
- SW1, SW2, SW3 = Drucktaster 6 mm x 6 mm
- CON1 = UFL-Stecker (SMD) und Teleskopantenne (siehe Text)

WEBLINKS

- [1] Datenblatt TEA5767: www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/TEA5767.pdf
- [2] Datenblatt PAM8403: www.mouser.com/datasheet/2/115/PAM8403-247318.pdf
- [3] Datenblatt 7805 D2-PAK: www.st.com/resource/en/datasheet/I78.pdf
- [4] Dieses Projekt auf Elektor Labs: www.elektormagazine.de/labs/digital-fm-receiver-with-arduino-and-tea5767
- [5] Download der Arduino-TEA5767-Bibliothek: <https://github.com/andykarpov/TEA5767>
- [6] Der digitale UKW-Empfänger auf YouTube: https://youtu.be/qgci6huZ_-l

OLED-Display - aus SPI mach I²C



Von Luc Lemmens (Elektor)

Brauchen Sie ein Display mit I²C-Schnittstelle, haben aber nur eines mit SPI? Sie könnten einfach noch ein I²C-Display kaufen, aber warum bauen Sie nicht selber eins? Lesen Sie weiter, um zu erfahren, wie man ein Display von SPI auf I²C umstellt.

Vor einiger Zeit brauchte ich ein kleines Display mit I²C-Schnittstelle für ein Projekt, an dem ich im Elektor-Labor arbeitete. Das einzige möglicherweise geeignete Display, das ich auf dem (wie immer zu vollen) Labortisch fand, war ein OLED-Modul (0,96 Zoll 128 × 64 Pixel), das mit einer SPI-Schnittstelle ausgestattet war. Was tun?

Ich dachte mir, dass ich das Display leicht von SPI auf I²C umstellen könnte, indem ich einfach der weißen Beschriftung des Platinaufdrucks folge: einfach ein paar Widerstände verschieben. Der erste Versuch schlug fehl, und ich war mir nicht sicher, ob das Display überhaupt noch funktionierte; denn dies ist manchmal das Schicksal eines Bauteils, das zuvor schon in einem anderen Prototyp verwendet wurde. Ich beschloss, keine Zeit mehr zu verschwenden, und bestellte ein brandneues Display mit I²C-Schnittstelle - Problem gelöst. Aber vor kurzem habe ich einen Fehler gemacht, als ich den gleichen Displaytyp kaufen wollte und versehentlich eine SPI-Version statt einer I²C-Version bestellt habe. Ich versuchte erneut, die Konfiguration der Schnittstelle zu ändern, und dieses Mal gelang es mir, aber nicht, bevor ich im Internet Hilfe gefunden hatte.

Erschwinglich und verfügbar

Diese Art von OLED-Displays ist eines jener generischen Module, die in der Maker-Szene sehr beliebt sind: erschwinglich, leicht verfügbar und von zahlreichen Bibliotheken und Softwarebeispielen unterstützt. Sie basieren auf dem SSD1306-Controller und werden von vielen Herstellern produziert, aber es ist unwahrscheinlich, dass man irgendwelche Logos oder etwas anderes findet, das hilft, die Marke zu identifizieren. Ich hatte das Glück, im Internet ein Datenblatt und eine Application Note für ein sechspoliges 0,96-Zoll-OLED-Modul zu finden, mit den notwendigen Informationen zum Umbau der SPI- in eine I²C-Schnittstelle. Lustigerweise schreibt der Hersteller in dem Applikationshinweis einfach, dass diese Informationen von einem Kunden stammen! Vielleicht ein Zufall, aber sogar die Bauteilreferenzen in dem Dokument stimmten mit dem Displaymodul überein, das auf meiner Werkbank lag.

Bild 1 zeigt die Rückseite des Displaymoduls. Die ersten Schritte, um es von SPI auf I²C umzustellen, sind auf der Platine angegeben: Verschieben Sie R3 in die Position R1. R8 – ein leeres Pad bei der SPI-Version – wird ebenfalls erwähnt, und das Dokument weist darauf hin, dass es sich um einen 0-Ω-Widerstand für die I²C-Schnittstelle handeln muss (etwas Lötzinn oder eine Drahtbrücke funktionieren auch).

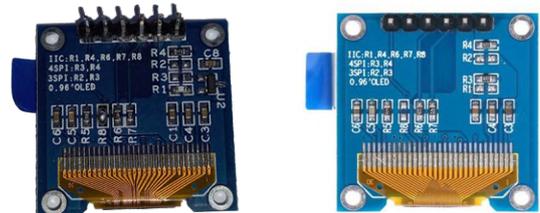


Bild 1. Die ursprüngliche SPI-Version und die modifizierte I²C-Version daneben.

Der mit D/C gekennzeichnete Pin am Stecker des Moduls bestimmt die I²C-Adresse. Mit GND verbunden lautet die Default-Adresse 0x3C, mit VCC dagegen 0x3D. Der RST (Reset)-Pin benötigt eine passive Power-On-Reset-Schaltung (einen 10-kΩ-Widerstand nach VCC und einen 100-nF-Kondensator nach GND). In dem Dokument wird auch ein CS-Pin erwähnt, der bei meinem Display nicht vorhanden ist, sondern nur bei Modulen mit sieben Pins. Wenn Sie eines davon haben, muss dieser Pin nach den Informationen, die ich gefunden habe, mit GND verbunden werden, aber ich konnte das nicht überprüfen.

Natürlich ist es sinnvoller, stattdessen einfach ein I²C-Display zu kaufen. Es sind keine zusätzlichen Bauteile und Anschlüsse erforderlich, um es anzuschließen. ◀

220005-02

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Schreiben Sie Elektor eine E-Mail an redaktion@elektor.de.



Passende Produkte

- > **0.96" OLED-Display (blau, I²C, 4-Pin)**
(SKU 18747) www.elektor.de/18747
- > **0.96" OLED-Display für Arduino (128x64, SPI)**
(SKU 18004) www.elektor.de/18004

Zutritt für Unbefugte verboten!



Ein Hobby geht nicht in Rente!

Von Wim Stok (Niederlande)
und Eric Bogers (Elektor)

Die EE-Bausätze von Philips waren für viele der erste Einstieg in die Welt der Elektronik und der Beginn eines lebenslangen Hobbys (und in manchen Fällen sogar eines Berufs). Das war auch bei Wim Stok aus Groningen der Fall.

Praktisch jeder aus der älteren Generation der (Hobby-) Elektroniker dürfte diese Elektronikbausätze von Philips kennen. Man kann darüber sagen, was man will, aber sie waren gut und gut durchdacht - einschließlich der cleveren Federkontakte, die das Lötten überflüssig machten. Die Zuverlässigkeit der Kontakte ließ zugegebenermaßen nach langem Gebrauch nach, aber bis dahin hatte man entweder das Hobby aufgegeben oder sich den ersten LötKolben gekauft.

„Zu meinem elften Geburtstag bekam ich das *Electronic Engineer Kit* (EE20) von Philips geschenkt, mit dem ich mein erstes eigenes Radio baute. Das war für mich der Beginn eines faszinierenden Hobbys, für das ich nun nach meiner Pensionierung mehr Zeit habe. Später baute ich Verstärker, mit wechselndem Erfolg, aber jetzt auf jeden Fall selbst zusammengelötet. Meine Projekte waren meist eine Mischung aus Beschreibungen in Elektronikzeitschriften und Philips-Bausätzen. Während meiner Studienzeit entdeckte ich *Elektuur* (wie Elektor damals in den Niederlanden noch hieß). Die korrekte Funktion der darin beschriebenen Schaltungen war in jenen abenteuerlichen Zeiten nicht immer gewährleistet. Von großem Erfolg gekrönt war jedoch der *Equin-Verstärker* von 1975/1976, mit einer Endstufe, die sogenannte *Quad-Triples* enthielt. Aufgebaut auf einer selbst entworfenen Platine und kombiniert mit einem Vorverstärker und einem geregelten Netzteil

schmückt er noch heute mein Wohnzimmer. Die Ausgänge sind mit zwei „Geluid uit de Pijp“-Lautsprechern (Schall aus dem Rohr) verbunden - ein Entwurf aus dem Jahr 1984 aus der Zeitschrift *Audio & Techniek*.“

Für diejenigen, die sich dafür interessieren: Glücklicherweise sind die englischsprachigen Artikel erhalten geblieben und können im PDF von [1][2] heruntergeladen werden. Der Originalschaltplan des *Equin-Verstärkers* ist hier in **Bild 1** zu sehen.

„Ich baute auch einen Kassettenrekorder im Gehäuse eines alten Tonbandgerätes (**Bild 2**) auf, einem ausgemusterten Nakamichi-Kombikopf und einem Schwungrad, das ich auf einer professionellen Drehbank herstellen konnte. Dieser Kassettenrekorder konnte an drei verschiedene Bandtypen angepasst werden. Meine Audio-Anlage wird durch einen UKW-Tuner vervollständigt, dessen Gehäuse leider nie ganz fertig wurde (**Bild 3**).

Während meines Berufslebens als Physiologe ist die Elektronik als Hobby etwas in den Hintergrund getreten. Ich sammelte jedoch Geräte, Komponenten und Bauteile, die bei den mehrfachen Umstrukturierungen der Elektronikabteilung des Krankenhauses, in dem ich arbeitete, verfügbar wurden. Für später, nach meiner Pensionierung. Also für jetzt!

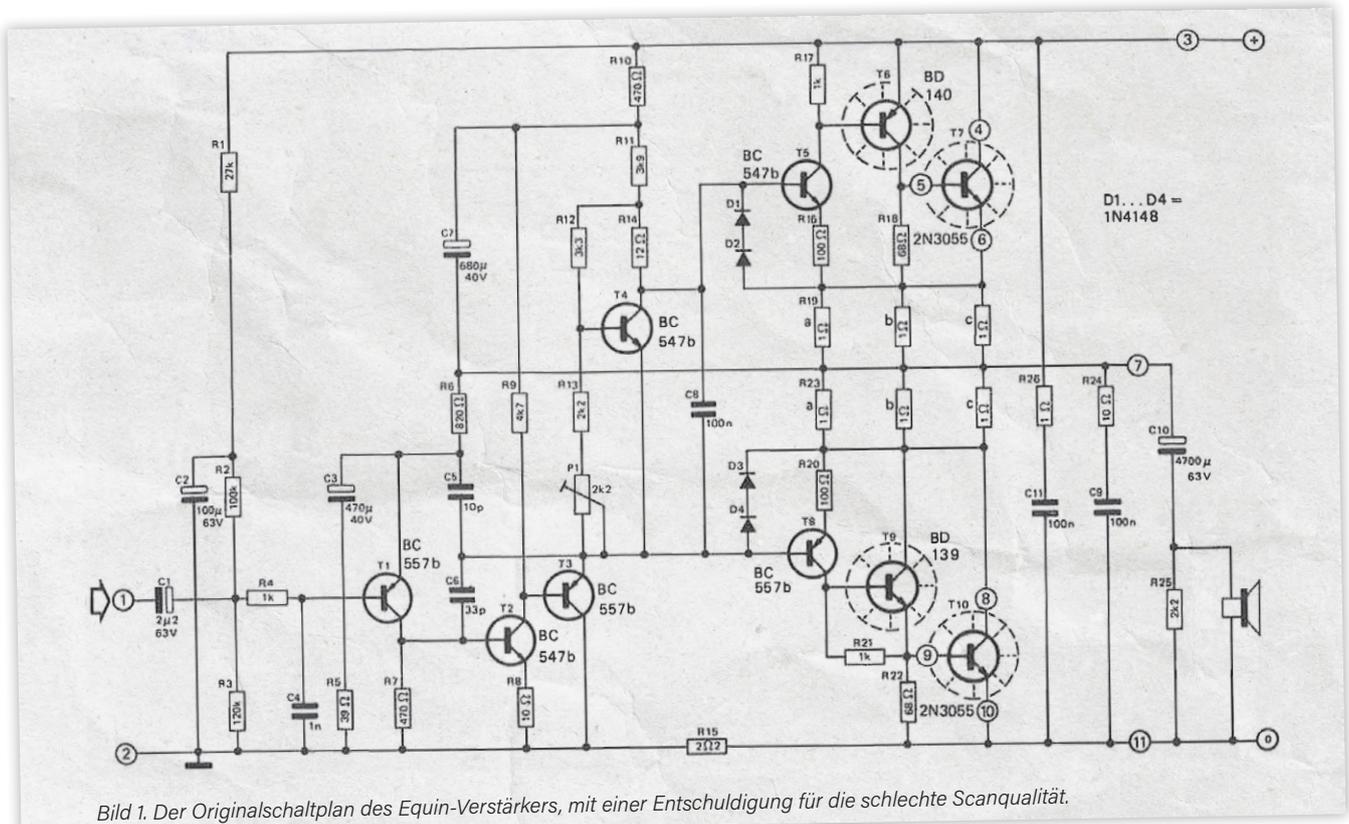


Bild 1. Der Originalschaltplan des Equin-Verstärkers, mit einer Entschuldigung für die schlechte Scanqualität.

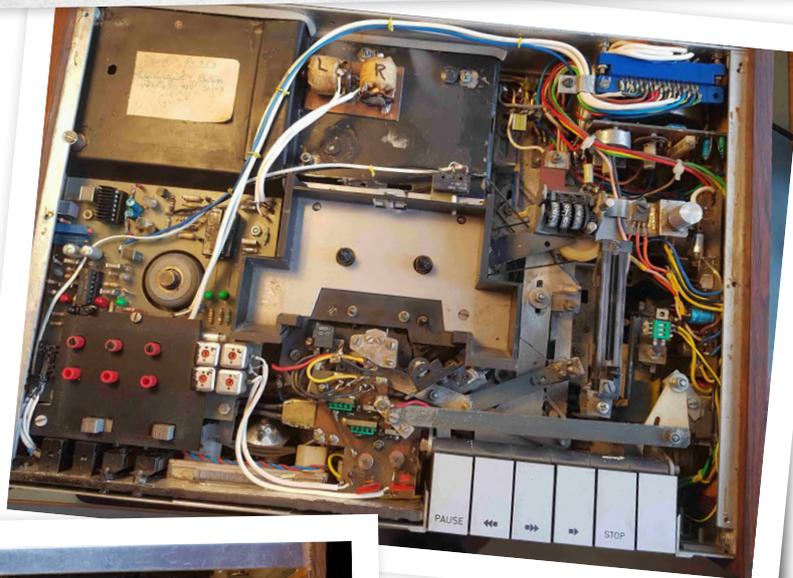


Bild 2. Mein selbstgebauter Kassettenrekorder.

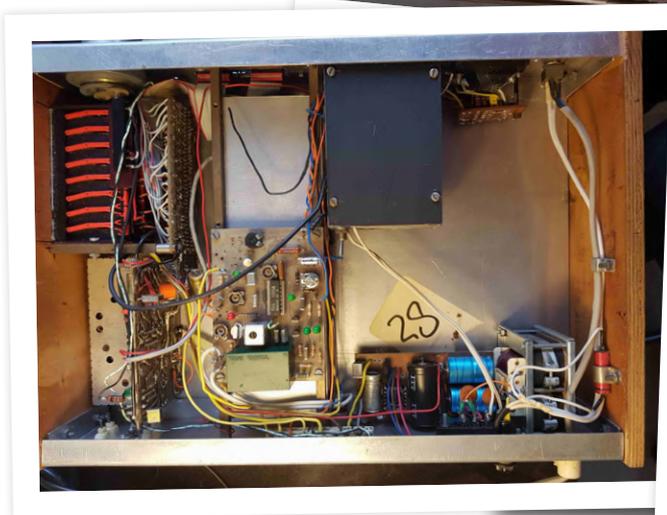


Bild 3a. DIY-Tuner von innen...



Bild 3b. ...und von außen - das Gehäuse ist noch nicht fertiggestellt.

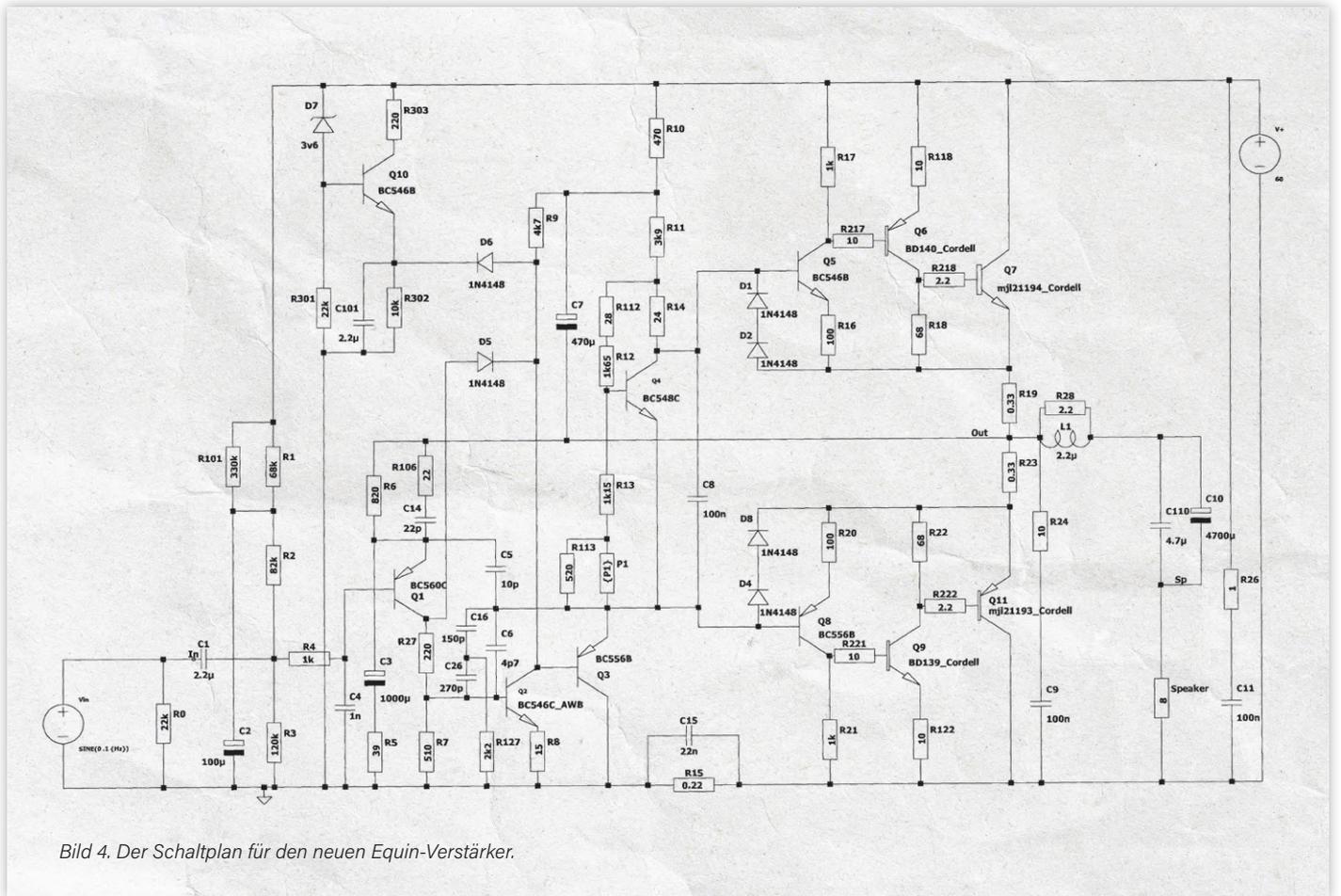


Bild 4. Der Schaltplan für den neuen Equin-Verstärker.

Ich hatte ein Gehäuse mit einem Ringkerntransformator (2 x 55 V) und zwei fetten Elektrolytkondensatoren von 10 mF/100 V, die sich noch in einem hervorragenden Zustand befanden. Ich beschloss daher, eine 60-V-Version des Equin-Verstärkers zu bauen, bei der die Stromversorgung für die beiden Verstärkerkanäle so weit wie möglich getrennt bleiben sollte. Im Gegensatz zum ursprünglichen Equin-Design wird nun auch die Stromversorgung geregelt.“

Zum Schluss noch ein Tipp: Ich stelle meine Platinen selbst her, mit der LaserJet/Bügel-Methode. Ich drucke das Layout auf Hema-Fotopapier und schmelze dann den Toner mit einem heißen Bügeleisen auf die Platine. Anschließend entferne ich das Papier, indem ich es in Wasser einweiche. Dann ätze ich es und das Ergebnis ist eine perfekte Platine!“

220056-02

Das Schaltbild dieser neuen Version des Equin-Verstärkers ist in **Bild 4** dargestellt. Als stromrückgekoppeltes Design hat der Equin schon von Natur aus eine große Open-Loop-Bandbreite. Diese wird hier durch ein zweipoliges Kompensationsnetzwerk anstelle der sonst üblichen einzelnen Miller-Kapazität noch weiter optimiert. In der Endstufe kommen schnellere Transistoren (NJW21193/94) zum Einsatz. Bei einer optimal eingestellten Vorspannung zeigt eine LTSpice-Simulation dieser Equin-Version bei 1 kHz eine Verzerrung von weniger als 0,001 %. **Bild 5** zeigt diesen neuen Equin in voller Pracht.

„Die Größe meines Labors ist relativ bescheiden. **Bild 6** gibt einen Eindruck, kurz nach meinem Umzug von Almere nach Groningen. Ich besitze keine modernen Messgeräte, so dass ich die oben erwähnte Verzerrung von weniger als 0,001 % in der Praxis nicht messen kann. Aber ich höre es mir mit großer Zufriedenheit an, und das ist es, was letztendlich zählt.

Haben Sie Fragen oder Kommentare?

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

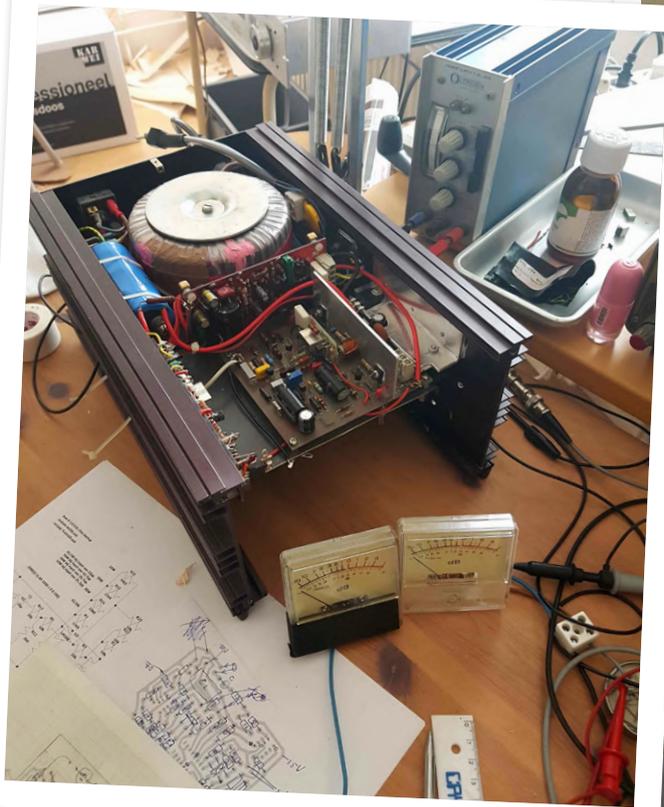


Bild 5a. Equin mk2 im Bau...



Bild 5b. ...und in seinem Gehäuse.

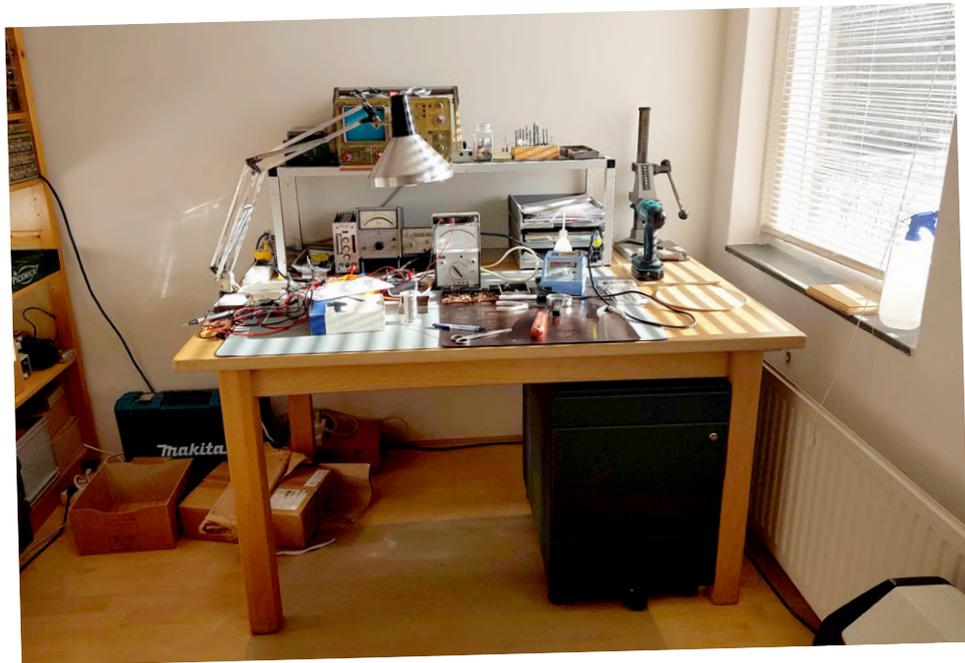


Bild 6. Mein Labor kurz nach meinem Umzug nach Groningen.

WEBLINKS

- [1] Equin (1), Elektor 12/1975: www.elektormagazine.de/magazine/elektor-197512/55946
- [2] Equin (2), Elektor 1/1976: www.elektormagazine.de/magazine/elektor-197601/55965

Der Elektor Store

Nie teuer, immer überraschend!

Der Elektor Store hat sich vom Community-Store für Elektor-eigene Produkte wie Bücher, Zeitschriften, Bausätze und Module zu einem umfassenden Webshop entwickelt, der einen großen Wert auf überraschende Elektronik legt. Wir bieten die Produkte an, von denen wir selbst

begeistert sind oder die wir einfach ausprobieren wollen. Wenn Sie einen Produktvorschlag haben, sind wir hier erreichbar (sale@elektor.com). Unsere Bedingungen: **Nie teuer, immer überraschend!**

Sensepeek 6003 PCBite Kit inkl. 4x SQ10-Tastkopf und Prüfkabel

Preis: 164,95 €

Mitgliederpreis: 148,46 €

 www.elektor.de/20255



Pimoroni Weather HAT für Raspberry Pi

Preis: 49,95 €

Mitgliederpreis: 44,96 €

 www.elektor.de/20235





Witty Pi 4 – RTC und Power Management für Raspberry Pi



Preis: 39,95 €

Mitgliederpreis: 35,96 €

www.elektor.de/20232

LDROBOT D300 LiDAR Kit – 360° Laserscanner (12 m)



Preis: 79,95 €

Mitgliederpreis: 71,96 €

www.elektor.de/20222

Elektor Sirene im US-Stil (Kit)



Preis: 34,95 €

Sonderpreis: 29,95 €

www.elektor.de/20218

Weller WLACCHM-02 Platinenhalter mit 4 magnetischen Armen



Preis: 79,95 €

Mitgliederpreis: 71,96 €

www.elektor.de/20217

Ein Jahrzehnt der Ethik in der Elektronik

Tessel Renzenbrink sinniert über die digitale Gesellschaft

Von Priscilla Haring-Kuipers
(Niederlande)

Tessel Renzenbrink hat für Elektor über neue Technologien, das Internet und seine Probleme geschrieben. Nach einem Jahrzehnt hat sie eine Stelle bei dem Verein *Netwerk Democratie* angenommen. Gemeinsam blicken wir auf diese zehn Jahre zurück und sprechen darüber, was sie jetzt macht.



ein Thema eintauchen, und Elektor hat mir immer viel Freiheit gelassen, meinen Interessen zu folgen. Das Internet hat einen enormen Einfluss auf alles und jeden, auch auf die Elektronik. Zuerst war *Tech the Future* separat, dann Teil des wöchentlichen Elektor-Newsletters und schließlich machte Elektor-Geschäftsführer Don Akkermans das Thema als *Elektor Ethics* zu einem Teil der monatlichen Zeitschrift. Ich glaube, Don war einer der ersten, der sich mehr Gedanken über die Folgen der Technologie gemacht hat - ein Thema, das heute viel mehr Aufmerksamkeit erhält. Und Elektor fährt fort, das Bewusstsein für die weiteren Auswirkungen der Elektronik zu schärfen. Im Jahr 2021 rief Elektor zusammen mit ELEKTRONIK PRAXIS [1] das *World Ethical Electronics Forum* (WEEF) ins Leben.

Haring-Kuipers: Was waren die großen Momente im vergangenen Jahrzehnt?

Renzenbrink: Ein Ereignis, an das ich mich lebhaft erinnere, waren die SOPA-PIPA-Proteste im Jahr 2012. Der Kongress der Vereinigten Staaten schlug zwei Gesetze vor, den *Stop Online Privacy Act* und den *Protect IP Act*, die den freien Informationsfluss im Internet lahmgelegt hätten. Faszinierend war, dass es online enormen Widerstand gab, aber in der Offline-Welt und in den Medien wurde das Thema überhaupt nicht erwähnt. Bis zum 18. Januar, als Tausende von Websites aus Protest abgeschaltet

wurden - auch *Tech the Future* ging offline. Der Internet-Blackout war überall in den Nachrichten, und plötzlich wurden die Gesetzgeber aufmerksam und stimmten mit Nein. Die Gesetze waren vom Tisch. Jetzt werde ich nostalgisch und denke an eine Zeit zurück, in der dies als unser größtes Problem galt. Im Jahr 2013 enthüllte der Whistleblower Edward Snowden, dass das Internet zu einer großen Massenüberwachungsmaschine geworden war. Etwa zur gleichen Zeit entstand das Internet der Dinge [2]. Wir brachten all diese Geräte in die Häuser der Menschen, die voller Datenschutz- und Sicherheitslücken waren, und importierten die Risiken der digitalen in die physische Welt. Meine Texte änderten sich nach Snowden. Wir wechselten den Fokus von einer optimistischen Haltung, was die Möglichkeiten des Internets und sein Potenzial zur Umverteilung von Macht angeht, zu einem der Risiken.

Das Bewusstsein in der Gesellschaft für die negativen Auswirkungen digitaler Technologien wuchs nach 2013, aber ich denke, das wahre Erwachen kam nach der weit verbreiteten Berichterstattung über den Skandal um *Cambridge Analytica* im Jahr 2018. Dieses Unternehmen nutzte Facebook-Daten, um Wählerinnen und Wähler durch Mikrotargeting von der Stimmabgabe beim Brexit-Referendum und den US-Präsidentenwahlen 2016 abzuhalten. Es wird jetzt viel mehr darauf geachtet, die negativen Seiten der digitalen Technologien zu reduzieren. Die Europäische Union ist einer der Vorreiter bei dem Versuch, Big Tech in den Griff zu bekommen. Der kürzlich verabschiedete *Digital Services Act* und der *Digital Markets Act* sollen uns zumindest eine gewisse Kontrolle über diese gigantischen Unternehmen geben.

Auch auf lokaler Ebene habe ich den Wandel vom Tech-Optimismus zu einem kritischeren Ansatz beobachtet. In der Vergangenheit wollte Amsterdam unbedingt eine „Smart



Das Schreiben für *Tech the Future* war einer meiner ersten Aufträge als freiberufliche Autorin, und ich war nicht gut darin, schnell zu schreiben. Ich wollte in



(Quelle: Ehimetalor Akhere Unuabona, Upsplash)

Regierungen ohne demokratische Konsultation vorangetrieben. Wir plädieren dafür, dass es sowohl notwendig als auch möglich ist, demokratische Prozesse anzuwenden, um gemeinsam zu entscheiden, wie unsere digitale Gesellschaft aussehen soll. Kürzlich haben wir ein *Artificial Intelligence Working Lab* veranstaltet. Dabei haben wir uns einen Algorithmus angesehen, der eines Tages auf den Straßen von Amsterdam eingesetzt werden könnte. Wir haben die Bürger eingeladen, über den Algorithmus zu diskutieren. Welche positiven und negativen Seiten sehen sie? Möchten sie, dass er in der Stadt eingesetzt wird? Und wenn ja, welche Sicherheitsvorkehrungen würden sie sich wünschen? Für die Entwickler ist es interessant, die Perspektive der Bürger zu hören, und für die Bürger ist es wichtig, ein Mitspracherecht bei der Entwicklung einer Technologie zu haben, die eines Tages ihr Leben beeinflussen könnte.

Jetzt, wo ich schon eine Weile nicht mehr geschrieben habe, vermisse ich es wirklich. Mir ist klar, dass das Schreiben eine sehr gute Möglichkeit war, sich auf dem Laufenden zu halten und sich die Zeit zu nehmen, sich in bestimmte Themen zu vertiefen. Vielleicht gibt es bald ein Schreibprojekt im Verein. ◀

220303-02

City“ sein, von vielen großen Technologieunternehmen unterstützt, die versprochen, dass alles nachhaltiger, effizienter und sozial gerechter werden könnte, wenn man nur ihre technologischen Lösungen einführt. Jetzt gibt es mehrere Initiativen, die intelligente Bürgerinnen und Bürger über intelligente Städte stellen, die die Bürgerbeteiligung und die Frage nach den Wünschen der Amsterdamerinnen und Amsterdamer in den Vordergrund stellen, anstatt mit technischen Lösungen zu beginnen und dann nach einem zu lösenden Problem zu suchen. Jetzt will Amsterdam eine „digitale Stadt“ sein, die auf ganz anderen Ideen basiert, und sie bilden eine Allianz mit Städten wie New York und Barcelona in der *Cities Coalition for Digital Rights*, um sich gemeinsam gegen den Einfluss großer Tech-Unternehmen auf lokale Bereiche zu wehren [3].

Haring-Kuipers: Was machst du jetzt?

Renzenbrink: Vor anderthalb Jahren wurde ich Co-Direktorin des Vereins *Netwerk Democratie* [4], die sich für eine widerstandsfähige Demokratie in einer digitalen Gesellschaft einsetzt. Es war wirklich interessant, vom Forschen und Schreiben zum Experimentieren mit praktischen Lösungen und zum Handeln überzugehen. Seit seiner Gründung im Jahr 2011 konzentriert sich der Verein auf die Verwendung digitaler Werkzeuge zur Unterstützung der Demokratie. Zum Beispiel den Einsatz digitaler Mittel, um den Bürgern mehr



Entscheidungsbefugnis zu geben oder um Regierungen transparenter zu machen. Im Jahr 2021 kam ein neuer Schwerpunkt im Bereich der Demokratisierung der Technologie hinzu. Die Digitalisierung hat einen großen Einfluss auf die Gesellschaft. Aber oft wurde die Entwicklung der Technologie von großen Technologieunternehmen und

World Ethical Electronics Forum 2022

Im November 2021 startete Elektor das World Ethical Electronics Forum (WEEF) in München. Die Veranstaltung inspirierte globale Innovatoren der Elektronikbranche mit einer offenen Diskussion über Ethik und nachhaltige Entwicklungsziele (SDGs). Neben Elektor-Ingenieuren und -Redakteuren gehörten Dr. Stefan Heinemann (Professor für Wirtschaftsethik an der FOM-Hochschule), Dr. Paula Palade



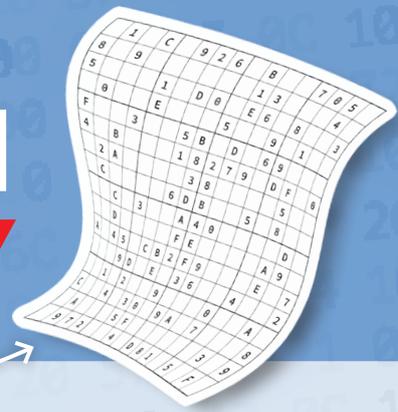
(PhD, Jaguar Land Rover), Margot Cooijmans (Direktorin, Philips Foundation) und mehrere andere Vordenker, darunter Priscilla Haring-Kuipers, zu den Rednern und Diskussionsteilnehmern. Besuchen Sie die WEEF-Webseite (<https://www.elektormagazine.com/weef>), um sich über die Pläne von Elektor für das WEEF 2022 im November dieses Jahres zu informieren.

WEBLINKS

- [1] Elektor, „World Ethical Electronics Forum (WEEF): Fokus auf nachhaltige Entwicklung, nicht nur auf Profite“, Juni 2021: <https://bit.ly/3obE46C>
- [2] T. Renzenbrink, „The Internet of Things: Robots, RFID & Co-operation“, Elektor, Dezember 2012: www.elektormagazine.com/iot-coop
- [3] Städtekoalition für digitale Rechte: <https://citiesfordigitalrights.org/>
- [4] Netwerk Democratie: <https://netdem.nl/en/>

Hexadoku

Sudoku für Elektroniker



Wie in jeder Ausgabe finden Sie auch in diesem Heft unser ganz spezielles Sudoku. PC, Oszilloskop und Lötkolben können sich erholen, während Ihre kleinen grauen Zellen auf Hochtouren arbeiten. Wenn Sie alle Hex-Ziffern in den grauen Kästchen herausgefunden haben, sollten Sie uns diese gleich zumailen – denn hier warten fünf Elektor-Gutscheine!

Die Regeln dieses Rätsels sind ganz einfach zu verstehen: Bei einem Hexadoku werden die Hexadezimalzahlen 0 bis F verwendet, was für Elektroniker und Programmierer ja durchaus passend ist. Füllen Sie das Diagramm mit seinen 16 x 16 Kästchen so aus, dass alle Hexadezimalzahlen von 0 bis F (also 0 bis 9 und A bis F) in jeder Reihe, jeder Spalte und in jedem Fach mit 4 x 4 Kästchen (markiert durch die dickeren schwarzen Linien) **genau einmal** vorkommen. Einige Zahlen sind bereits eingetragen, was die Ausgangssituation des Rätsels bestimmt. Wer das Rätsel löst – sprich die Zahlen in den grauen Kästchen herausfindet – kann einen von fünf Gutscheinen im Wert von 50 Euro gewinnen!



EINSENDEN

Schicken Sie die Lösung (die Zahlen in den grauen Kästchen) per E-Mail, Fax oder Post an:

Elektor Redaktion
Kackertstr. 10
52072 Aachen

Fax: 0241 / 955 09-013

E-Mail: hexadoku@elektor.de

Als Betreff bitte nur die Ziffern der Lösung angeben!

Einsendeschluss ist der **17. Oktober 2022.**

DIE GEWINNER DES HEXADOKUS AUS DER AUSGABE JULI/AUGUST STEHEN FEST!

Die richtige Lösung ist: **01D5C**

Aus allen Einsendungen mit der richtigen Lösung haben wir die fünf Gewinner eines Elektor-Wertgutscheins über je 50 € gezogen.

Die Namen der Gewinner werden unter www.elektormagazine.de/hexadoku bekannt gegeben.

Herzlichen Glückwunsch!

	3		0		A	1	E	9		6	5				
	D	1		C		0	6		F		7	8			
E	8			9						0			D	2	
2		9	7	5			C		8		E			1	
C	E		6	8		2	9	A	0		5	D		3	B
	1			B		5	D		7					F	
F		5		7					2			0		E	
			B	E	D					C	6	7			
			1	A	E					6	D	C			
3		6			1					8			4		D
	A				0		C	3		1				2	
8	C		F	6		3	B	4	5		E	0		1	7
9		A	B		F			8		3		D			6
D	7			C						1				4	3
	F	B			A		3	C		9				2	7
	5		3			4	2	7	6			B			C

7	6	A	2	C	1	B	E	9	D	3	0	5	8	F	4
8	B	C	D	3	7	F	2	4	A	1	5	6	9	0	E
E	5	0	9	4	6	D	8	B	C	2	F	7	1	3	A
F	1	3	4	5	9	A	0	6	7	8	E	B	C	2	D
9	C	E	7	D	A	1	3	5	4	F	2	8	B	6	0
A	2	F	B	6	4	9	7	E	8	0	1	D	5	C	3
1	D	5	0	B	C	8	F	A	6	7	3	9	E	4	2
6	3	4	8	0	E	2	5	C	B	D	9	F	7	A	1
0	4	2	3	7	B	5	9	D	F	C	6	E	A	1	8
5	7	6	C	E	8	4	1	0	9	A	B	3	2	D	F
B	8	9	F	2	D	0	A	1	3	E	4	C	6	5	7
D	A	1	E	F	3	C	6	7	2	5	8	0	4	9	B
C	9	7	5	1	2	3	4	F	E	B	D	A	0	8	6
2	E	B	A	8	0	6	D	3	5	4	C	1	F	7	9
3	F	8	1	9	5	7	B	2	0	6	A	4	D	E	C
4	0	D	6	A	F	E	C	8	1	9	7	2	3	B	5

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Mitarbeiter der in der Unternehmensgruppe Elektor International Media B.V. zusammengeschlossenen Verlage und deren Angehörige sind von der Teilnahme ausgeschlossen.

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

electronica fast forward is back!



New Logo, New Concept

Do you want to see the best of
the best start-ups and scale-ups
within the electronics scene?

Visit us at booth
B4.440 to get to
know them.