



elektor **BONUS**

design > share > earn

605B
SEIT 1961

AUSGABE

IM FOKUS

Prototyping,
Produktion und
Bauteile

HDMI-Digitalmikroskop
AD409 Pro-ES von Andonstar
Groß und mit Endoskop

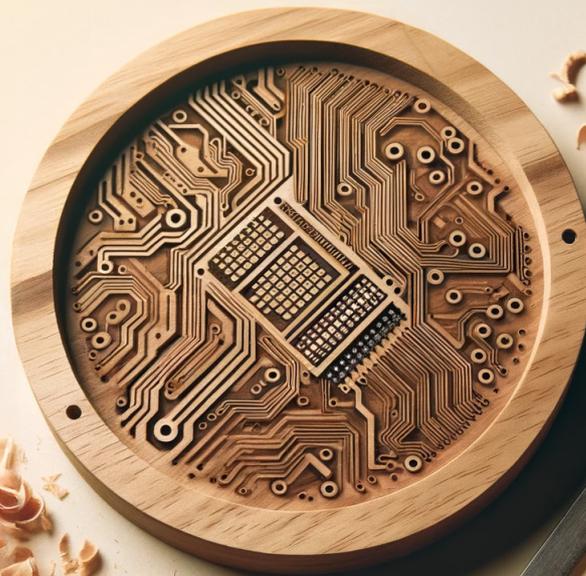
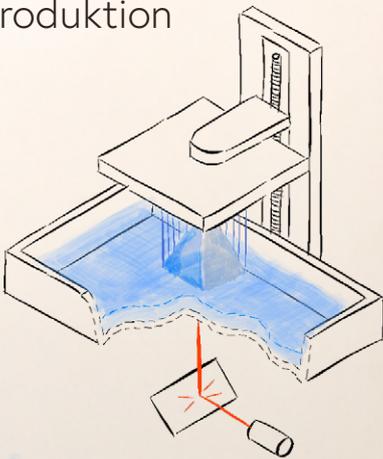
BEMERKENSWERTE

BAUTEILE

Ungewöhnliche IC-Gehäuse



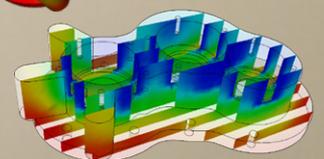
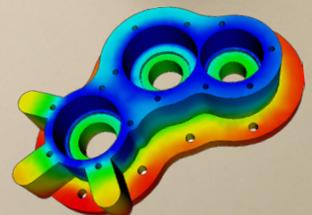
Infografik:
Prototyping und
Produktion



Erstellen eines
ESP32-Projekts mit
PlatformIO
Ein Leitfaden für Einsteiger



Open-Source-Tools
Antennensimulator,
Bauteilverwaltung,
Rechner und mehr



Treten Sie jetzt der Elektor Community bei!



Jetzt



Mitglied werden!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv (1970-heute)!
- ✓ 8x Elektor Magazin (gedruckt)
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs



Auch erhältlich

Die digitale
Mitgliedschaft!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs



www.elektormagazine.de/abo



INHALT

- 3 Impressum**
- 4 Erstellen eines ESP32-Projekts mit PlatformIO**
Ein Leitfaden für Einsteiger
- 12 Open-Source-Tools**
Antennensimulator, Bauteilverwaltung, Rechner und mehr
- 16 EMI-Abschirmung zur Einhaltung der elektromagnetischen Konformität**
- 22 HDI der Mittelklasse**
Ein neuer ökonomischer PCB-Pooling-Service für winzige BGAs
- 24 Das ultimative Werkzeug für jeden Elektronik-Enthusiasten**
Unendliche Möglichkeiten mit Red Pitaya und 1.000+ Click Boards
- 26 Bemerkenswerte Bauteile**
Ungewöhnliche IC-Gehäuse
- 28 Infografik: Prototyping und Produktion**
- 30 HDMI-Digitalmikroskop AD409 Pro-ES von Andonstar**
Groß und mit Endoskop

C. J. Abate

Content Director, Elektor

Mehr Prototyping und Produktion

Willkommen bei der November/Dezember-Bonusausgabe von Elektor! Zum Abschluss des Jahres 2024 freuen wir uns, Ihnen diese digitale Bonusausgabe mit zusätzlichen Inhalten anbieten zu können, die unsere weltweite Elektronik-Community inspirieren und informieren sollen. Diese Ausgabe enthält eine Vielzahl von Artikeln, die alle darauf ausgerichtet sind, ernsthafte Elektronik-Maker, Studenten und professionelle Ingenieure gleichermaßen anzusprechen.

In dieser Ausgabe finden Sie einen grundlegenden Einstieg in die Erstellung eines ESP32-Projekts mit PlatformIO, einer leistungsstarken Entwicklungsumgebung, die die Embedded-Programmierung vereinfacht und das Beste aus dem IoT-Design herausholt. Wir erkunden auch die wachsende Welt der Open-Source-Tools, von Antennensimulatoren bis hin zu Bauteilemanagement- und Berechnungsprogrammen, die den Start eines neuen Projekts einfacher denn je machen. Für diejenigen, die sich für Laborwerkzeuge interessieren, stellen wir das vielseitige HDMI-Digitalmikroskop AD409 Pro-ES von Andonstar vor, das sich perfekt für die Nahinspektion Ihrer neuesten Kreationen eignet.

Ganz gleich, ob Sie auf der Suche nach neuen Entwicklungsideen, praktischen Werkzeugen oder den neuesten Techniktests sind, diese Bonusausgabe hat für jeden etwas zu bieten. Viel Spaß beim Lesen und auf einen inspirierenden und innovativen Jahresausklang!



Unser Team

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

55. Jahrgang, Nr. 605B, ISSN 0932-5468
November/Dezember 2024 Digitale Bonus-Ausgabe

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

Für alle Ihre Fragen: service@elektor.de

Mitglied werden: www.elektormagazine.de/abo

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

Urheberrecht

© Elektor International Media b.v. 2024

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.

Distribution

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

Erstellen eines ESP32 Projekts mit

Ein Leitfaden
für Einsteiger



Von Riccardo Medda (Italien)

PlatformIO mit Visual Studio Code stellt eine leistungsstarke, flexible und benutzerfreundliche Entwicklungsumgebung für Mikrocontroller-Firmware dar. Die Kombination aus einfacher Konfiguration, breiter Plattformunterstützung, fortschrittlichen Entwicklungstools und einer großen Community macht dies zu einer hervorragenden Wahl für Einsteiger in die Embedded-Programmierung. Dieser Artikel beschreibt ein Beispiel für die Integration von PlatformIO und VSC, um ein System zum Lesen von Feuchtigkeits- und Temperaturwerten eines digitalen Sensors und einem ESP32-Modul zu erstellen.

PlatformIO ist eine quelloffene integrierte Entwicklungsumgebung (IDE), die auch und vor allem im professionellen, zunehmend aber auch im Hobbybereich eingesetzt wird. Eine IDE ist eine Software, die Entwicklern ein umfassendes Werkzeug zum Schreiben, Testen und Debuggen von Software bietet. Eine IDE umfasst mehrere wichtige Werkzeuge und Funktionen, um den Prozess der Software-Entwicklung zu vereinfachen, die Produktivität zu steigern und eine einheitliche Umgebung für den gesamten Projektlebenszyklus zu schaffen. Sie umfasst in der Regel:

- Einen hoch entwickelten Texteditor, der die Syntax der verwendeten Programmiersprache unterstützt, mit Funktionen wie Syntaxhervorhebung, Autovervollständigung und Einrückung
- Werkzeuge zum Kompilieren des Quellcodes in ausführbare Maschinensprache
- Einen Debugger, um während der Programmausführung Fehler im Code zu erkennen und zu korrigieren
- Ein System, das das Hinzufügen, Verwalten und Aktualisieren von Bibliotheken und Projektabhängigkeiten erleichtert
- Eine kontrollierte Ausführungsumgebung zum Testen der entwickelten Software
- Systeme für die Integration mit Versionskontroll-Tools wie SVN, Git oder Mercurial, Projektverwaltungsfunktionen und eine einfache und intuitive Benutzeroberfläche.

Eigentlich ist PlatformIO keine echte eigenständige IDE, sondern kommt als Zusatzsoftware (Plugin) daher, die in verschiedene Entwicklungsumgebungen integriert werden kann, darunter die beliebte und weit verbreitete IDE Visual Studio Code (VSC), aber auch Atom und Eclipse. Derzeit ist Visual Studio Code die wohl beliebteste von PlatformIO unterstützte IDE und wahrscheinlich auch die von professionellen Entwicklern am häufigsten gewählte.

Durch die Integration von PlatformIO in Visual Studio Code können Entwickler von mehreren Funktionen profitieren. PlatformIO wurde entwickelt, um die Entwicklung

Das ESP32-Modul

ESP32 ist ein von Espressif Systems entwickelter Mikrocontroller mit geringer Stromaufnahme, der für seine Vielseitigkeit und hohe Rechenleistung bekannt ist. Der ESP32 basiert auf der Xtensa-LX6-Architektur von Tensilica und verfügt über mehrere hoch entwickelte Funktionen, die ihn ideal für eine Vielzahl von Anwendungen im Bereich Internet of Things (IoT) und Embedded Computing machen. Zu den wichtigsten technischen Merkmalen des ESP32 gehören:

- › Dual-Core-Architektur: Der ESP32 verfügt über zwei Xtensa-LX6-Kerne, die parallele Operationen ermöglichen und die Gesamtleistung des Systems verbessern.
- › Hohe Taktfrequenz: Mit Taktfrequenzen von bis zu 240 MHz bietet der ESP32 eine hohe Rechenleistung, um komplexe Anwendungen zu verarbeiten.
- › Drahtlose Kommunikation: Integrierte WLAN- und Bluetooth-Konnektivität ermöglicht die drahtlose Kommunikation mit anderen Geräten und Netzwerken.
- › Eingebauter Flash-Speicher: Der ESP32 verfügt über einen Speicher, der genügend Platz für das Laden von Firmware und Daten bietet.
- › Zahlreiche und vielfältige I/O-Peripherie wie GPIO, UART, I²C, SPI und PWM-Ports ermöglichen eine einfache Interaktion mit anderen Bausteinen.
- › Signalverarbeitungseinheit (DSP): Der DSP des ESP32 verbessert den Umgang mit Audio- und Signalverarbeitungsanwendungen.
- › Low-Power Mode: Unterstützt Low-Power-Modi zur Verlängerung der Batteriebensdauer in batteriebetriebenen Geräten.

- › Open-Source-Entwicklungsumgebung: Espressif unterstützt eine Open-Source-Entwicklungsumgebung durch den Einsatz von Frameworks wie Arduino und PlatformIO und vereinfacht so den Programmier- und Entwicklungsprozess.
- › Sicherheit: ESP32 verfügt über fortschrittliche Sicherheitsfunktionen einschließlich Hardware-Verschlüsselung und eignet sich damit für Projekte, die ein höheres Maß an Schutz erfordern.

Aufgrund dieser Eigenschaften wird ESP32 häufig für die Entwicklung von IoT-Projekten, intelligenten Sensoren, Heimautomatisierungsgeräten und mehr verwendet. ESP32 ist ein Prozessor, der zumindest für unsere Zwecke ein zusätzliches elektronisches Bauteil benötigt, das ihn mit Strom versorgt und mit dem USB-Port eines Computers verbindet. So kann der ESP32 über USB programmiert werden (das heißt, die auf PlatformIO geschriebene und kompilierte Firmware wird in seinen internen Speicher zu übertragen) und Daten über den Seriellen Monitor von PlatformIO senden und empfangen.

Wie aus Bild A ersichtlich, kann der ESP32 nicht sofort in seinem „nackten“ Zustand verwendet werden, aber es gibt es kleine Platinen namens NodeMCU, die neben dem ESP32-Mikroprozessor auch die oben erwähnte Elektronik enthalten. Diese Platinen verfügen über Anschlüsse, über die sie mit der externen Umgebung (Sensoren, Aktoren und verschiedene Geräte) verbunden werden können. Es gibt verschiedene Versionen der NodeMCU-Platinen; dieser Leitfadens basiert auf dem NodeMCU-ESP32. Bild B zeigt den Mikroprozessor, die umgebende Elektronik und die Anschlüsse an die Außenwelt.



Bild A



Bild B

Der Sensor DHT22

Da wir ihn in diesem Miniprojekt verwenden werden, wollen wir ein paar Worte über diesen Sensor verlieren, der unter Insidern recht gut bekannt ist. Der DHT22, auch bekannt als AM2302, ist ein digitaler Temperatur- und Feuchtigkeitssensor, der Umgebungsbedingungen zuverlässig und genau überwacht. Der Sensor wird häufig in Heimautomatisierungsprojekten, bei der Umweltüberwachung und bei Wetteranwendungen eingesetzt. Der DHT22 besitzt einen kapazitiven Sensor zur Messung der relativen Luftfeuchtigkeit und einen Thermistor zur Ermittlung der Umgebungstemperatur. Hier sind einige seiner wichtigsten technischen Merkmale:

- › Genauigkeit und Zuverlässigkeit: Der DHT22 bietet eine hohe Genauigkeit sowohl bei der Temperatur- als auch bei der Feuchtigkeitsmessung
- › Großer Messbereich: Der Sensor kann Temperaturen im Bereich von -40°C bis +80°C und relative Luftfeuchtigkeit im Bereich von 0...100% erfassen
- › Digitales Ausgangssignal: Der DHT22 überträgt digitale Signale direkt über einen einzigen Pin, was die Anbindung an Mikrocontroller wie Arduino oder ESP32 vereinfacht, da kein analoges Signal erfasst und digitalisiert werden muss
- › Schnelle Reaktionszeit: Der Sensor ist für seine schnelle Reaktionszeit von etwa zwei Sekunden bekannt
- › Hohe Auflösung: Der DHT22 liefert Daten mit einer Auflösung von 0,1°C für die Temperatur und 0,1% für die Luftfeuchtigkeit, was eine detaillierte Betrachtung der Messungen ermöglicht
- › Hohe Störsicherheit: Aufgrund seiner kapazitiven Messtechnik ist der Sensor relativ unempfindlich gegenüber externen Störungen.

Die Anbindung an den DHT22 ist im Allgemeinen einfach und erfordert nur einen Mikrocontroller und eine spezielle Bibliothek.

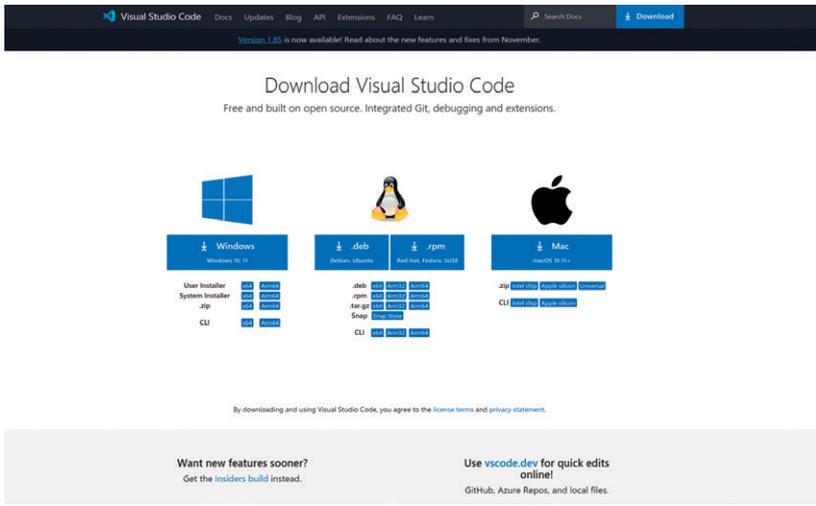


Bild 1. Download-Seite für Visual Studio Code. (Quelle für alle Bilder, sofern nicht anders angegeben: Visual Studio Code, <https://code.visualstudio.com/>)

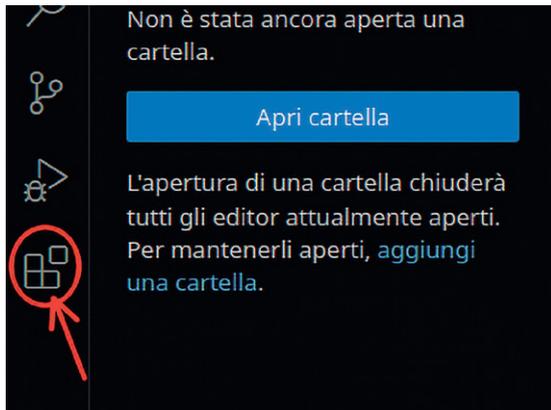


Bild 2. Der Knopf in Visual Studio Code, der nach Plugins sucht (Apri cartella = Ordner öffnen).

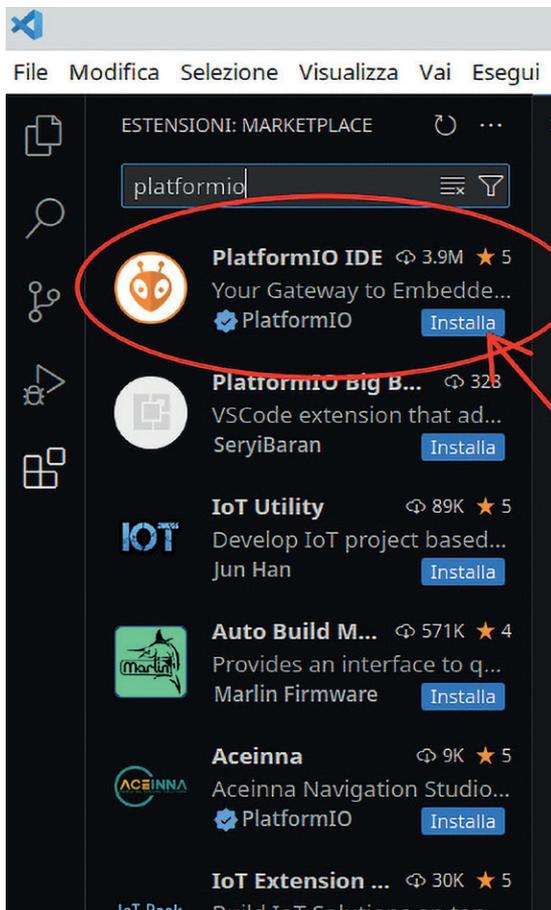


Bild 3. Dieser Button installiert PlatformIO.

der Mikrocontroller-Firmware zu vereinfachen und zu verbessern. Es unterstützt eine Vielzahl von Mikrocontrollern verschiedenster Art und Hersteller, darunter die diversen Arduino-Versionen, aber auch andere Mikrocontroller und ESP8266/ESP32-basierte Boards. Eines der herausragenden Merkmale von PlatformIO ist seine Kompatibilität mit verschiedenen Plattformen, darunter Arduino, das Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF) und viele andere. Entwickler können so die für ihre Bedürfnisse am besten geeignete Plattform wählen und gleichzeitig immer dieselbe IDE verwenden, was nicht unwichtig ist.

PlatformIO unterstützt mehrere Programmiersprachen wie C, C++ und Python und ist kompatibel mit bereits für Arduino entwickelte Bibliotheken. PlatformIO vereinfacht die Verwaltung der Projektabhängigkeiten und der verschiedenen Versionen von eingebundenen Bibliotheken (sowohl selbst erstellte als auch von Drittanbietern) erheblich und bietet fortschrittliche Kompilierungswerkzeuge. So können Entwickler problemlos externe Bibliotheken in ihre Projekte einbinden, ohne sich um Installationsdetails kümmern zu müssen.

Darüber hinaus unterstützt PlatformIO die Verwaltung von Bibliotheksversionen, was den Entwicklungsprozess robuster (und auch einfacher) macht. Die IDE bietet umfassende Debugging-Unterstützung und stellt fortschrittliche Tools für die Controllerüberwachung und -steuerung während der Firmware-Ausführung bereit. Letztendlich bietet PlatformIO eine einheitliche, flexible, intuitive und relativ leicht zu beherrschende Umgebung, die den Entwicklungsprozess vereinfacht und zu einem effizienteren Projektmanagement beiträgt.

In dieser Anleitung wird gezeigt, wie man mit PlatformIO ein ESP32-Mikrocontrollerprojekt erstellt und verwaltet, das mit einem DHT22-Sensor verbunden ist und das die momentanen Werte der Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit erfasst und auf der PlatformIO-Konsole anzeigt.

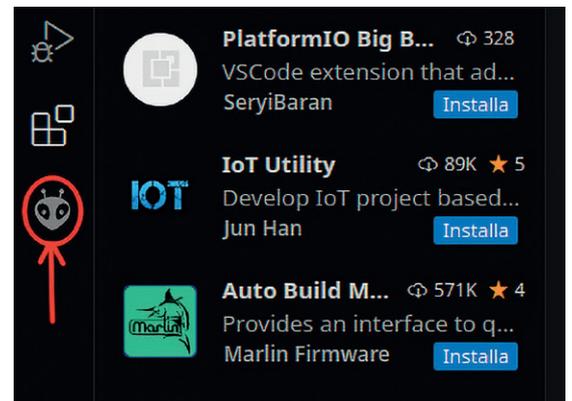


Bild 4. Das Symbol der neu installierten PlatformIO-IDE.

Installation von Visual Studio Code und PlatformIO

Wie bereits erwähnt, ist PlatformIO ein Plugin für die IDE Visual Studio Code, so dass der erste Schritt darin besteht, diese IDE zu installieren. Den direkten Link zur Download-Seite finden Sie unter [1]. Wie aus **Bild 1** ersichtlich, ist diese Software für die wichtigsten Betriebssysteme (Windows, verschiedene Linux-Distributionen, macOS) verfügbar. Sobald Sie die Ihrem Betriebssystem entsprechende Datei heruntergeladen haben, installieren Sie sie.

Unabhängig von der gewählten Version erscheint beim Starten des Programms eine Willkommensseite. Wenn Sie diese schließen, wird die Hauptseite der IDE angezeigt, auf der in der linken Spalte Schaltflächen (Buttons) erscheinen, einschließlich der in **Bild 2** rot markierten. Mit diesen Buttons können Sie die gewünschten Plugins (Extensions) für VSC suchen und installieren. Wenn Sie darauf klicken, öffnet sich das Suchfenster in der linken Spalte. Um ein Plugin zu finden, geben Sie einfach seinen Namen in das rechteckige Feld oben links ein. Wenn Sie *platformio* eingeben, erscheint das Plugin in der Liste, und Sie müssen nur noch auf die Schaltfläche *Install* des Plugins PlatformIO klicken, wie in **Bild 3** gezeigt. In wenigen Minuten ist das Plugin installiert, und dass es dann tatsächlich vorhanden ist, zeigt ein kleines neues Symbol in der linken Spalte, wie in **Bild 4** zu sehen. Jetzt ist PlatformIO also installiert und kann verwendet werden.

Erstellen des Projekts auf PlatformIO

Sobald VSC gestartet ist, müssen Sie zunächst auf das *PlatformIO*-Symbol klicken. Es öffnet sich daraufhin die Hauptseite, auf der die Schaltfläche *Create New Project* ein neues Projekt anlegt (**Bild 5**). Es öffnet sich eine neue Willkommensseite (**Bild 6**), auf der man auf die Schaltfläche *+ New Project* klicken muss. Daraufhin startet ein einfacher Projektassistent, in dem man den Namen des Projekts, die Plattform und das verwendete Framework einzugeben hat (siehe **Bild 7**).

Der Projektname kann beliebig sein (zum Beispiel *testESP32*), während die Wahl des Boardmodells von dem uns zur Verfügung stehenden abhängt. Wenn Sie *ESP32* in das Feld namens *Board* eingeben, wird eine Liste aller verfügbaren ESP32-basierten Boards angezeigt. Im vorliegenden Fall wurde das Board *AZ-Delivery ESP-32 Dev Kit C V4* gewählt. Bei *Framework* lassen Sie den Eintrag *Arduino* unverändert. Das Kontrollkästchen *Location* wird verwendet, um PlatformIO mitzuteilen, ob der Standardordner als Arbeitsordner verwendet werden soll oder ob Sie einen anderen Ordner angeben möchten. Wir belassen es beim Standardordner.

Das Ergebnis dieser Auswahl ist in **Bild 8** zu sehen. Wenn Sie auf die Schaltfläche *Finish* klicken, wird das Projekt erstellt. Nach ein paar Sekunden erscheint das Fenster in **Bild 9**. PlatformIO zeigt auf der linken Seite die Baumstruktur des Projekts, während im Arbeitsbe-

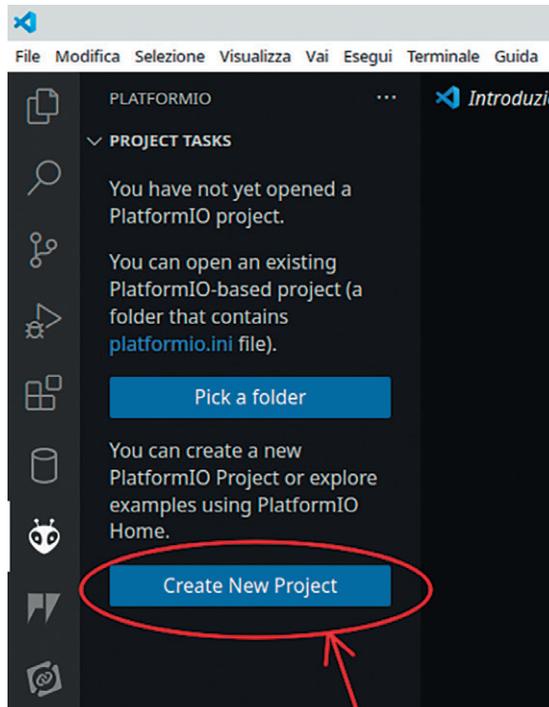


Bild 5. PlatformIO-Button zum Erstellen eines neuen Projekts.

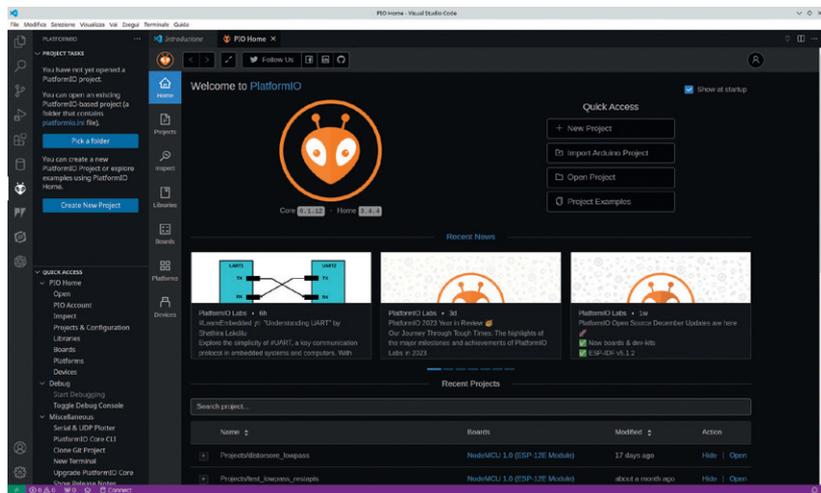


Bild 6. Willkommensseite von PlatformIO.

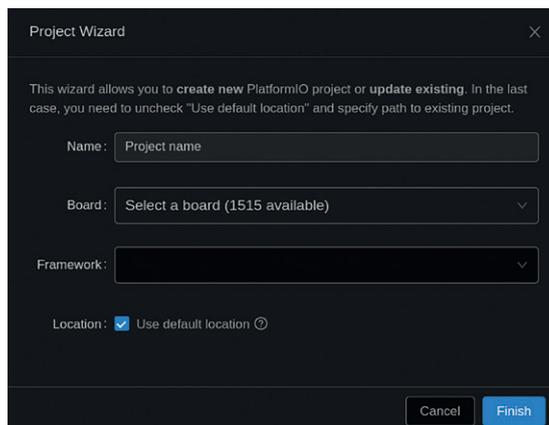


Bild 7. Projekt-Assistent von PlatformIO.

reich die Datei *platformio.ini* (ebenfalls Teil des Projekts) angezeigt wird, in der die Projekteinstellungen gesammelt werden. Zurzeit sind die vorhandenen Einstellungen die einzigen, die beim Zusammenstellen des Assistenten bereitgestellt werden.

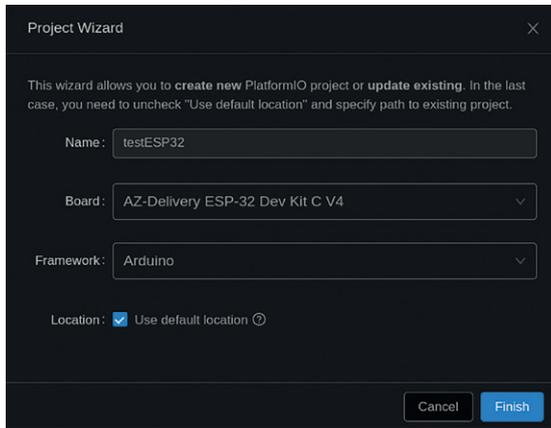


Bild 8: Projekt-Assistent mit Einträgen.

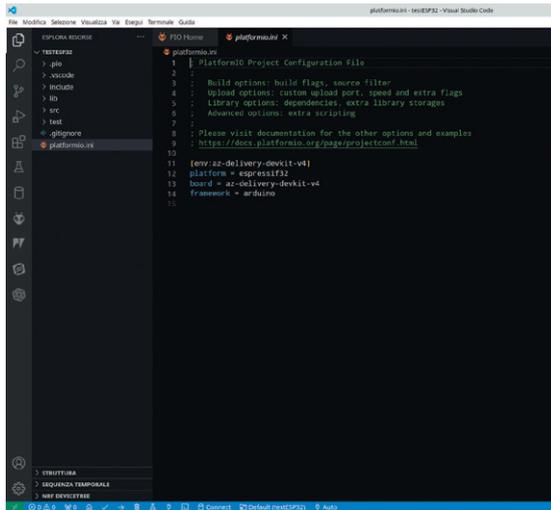


Bild 9. Das neue Projekt ist erstellt.

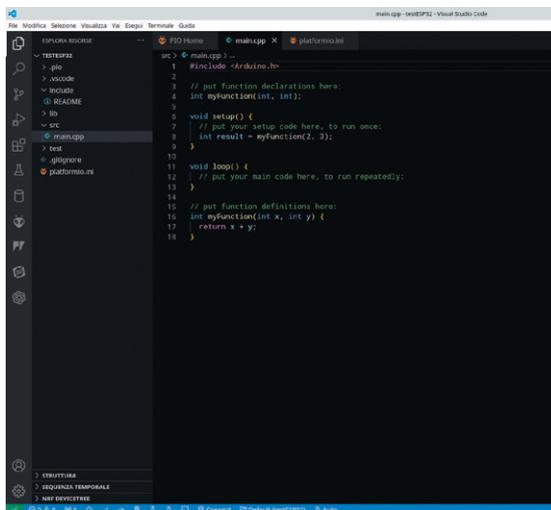


Bild 10. Die vorgegebene Datei main.cpp.

In der Projektstruktur (der Baum auf der linken Seite) gibt es einige Ordner. Einer davon heißt *includes* und ist derzeit leer. Seine Funktion besteht darin, alle Dateien zu sammeln, die in das Projekt aufgenommen werden sollen (normalerweise *.h*-Dateien). Ein weiterer Ordner heißt *src* und enthält die Hauptdatei des Sketches, *main.cpp*, in der das Programm untergebracht wird.

Bild 10 zeigt den Inhalt dieser Datei. Beachten Sie die beiden Hauptfunktionen, wie sie in Sketches für Arduino üblich sind: *setup* und *loop*. Im Dateisystem wird das Projekt wie in **Bild 11** dargestellt.

Hinweis: Das für diese Anleitung verwendete Betriebssystem ist Linux. Es ist möglich, dass unter Windows und macOS die Organisation der Dateien im Dateisystem anders ist. Die Oberfläche von PlatformIO ist jedoch immer gleich, unabhängig vom verwendeten Betriebssystem.

Hinzufügen von Bibliotheken

Das Hinzufügen von Bibliotheken zu einem Projekt ist ein relativ unkomplizierter Vorgang. Nehmen Sie an, zum Lesen der vom DHT22 übertragenen Daten soll die Bibliothek *DHT sensor library for ESP* hinzugefügt werden. Zuerst gehen Sie zur linken Spalte der IDE und klicken auf das *PlatformIO*-Symbol. Dadurch wird die Hauptseite von PlatformIO geöffnet, wo der Abschnitt *QUICK ACCESS* sichtbar wird. Einer der Einträge ist *Libraries*.

Wenn Sie darauf klicken, öffnet sich das Suchfenster für Bibliotheken, das in **Bild 12** zu sehen ist. Wenn Sie *DHT22* in das Suchfeld eingeben, werden mehrere Ergebnisse angezeigt. Die Wahl fällt auf die *DHT sensor library for ESPx* von Bernd Giesecke, wie in **Bild 13** zu sehen ist. Wenn Sie darauf klicken, wird die Bibliotheksseite geöffnet (**Bild 14**).

Um die Bibliothek zu installieren, klicken Sie nun einfach auf die Schaltfläche *Add to Project*, wählen im nächsten Assistenten das gewünschte Projekt (in unserem Fall *testESP32*), wie in **Bild 15** gezeigt, und klicken auf *Add*. PlatformIO lädt nun die Bibliothek automatisch in den Projektordner herunter. Außerdem wird sie zur Konfigurationsdatei *platformio.ini* hinzugefügt, wie in **Bild 16** gezeigt.

Dies ist das Standardverfahren zum Hinzufügen einer Bibliothek zu einem Projekt. Eine alternative Vorgehensweise besteht darin, die Datei *platformio.ini* direkt zu bearbeiten, indem der Eintrag *lib_deps* = gefolgt von der Liste der hinzuzufügenden Bibliotheken hinzugefügt wird. In unserem Fall wäre es ausreichend gewesen, die Zeile

```
lib_deps=beegee-tokyo/DHT sensor library for ESPx@1.19
```

hinzuzufügen. Abschließend können Bibliotheken über die Suchseite oder, wenn Sie den Namen kennen, mit dem Pfad direkt zur Datei *platformio.ini* hinzugefügt werden. Um die soeben in das Projekt aufgenommene Bibliothek zu verwenden, muss in die Datei *main.cpp* die Zeile *#include "DHTesp.h"* unmittelbar nach der Zeile *#include "Arduino.h"* eingetragen werden. In der Datei *platformio.ini* fügen Sie außerdem die folgenden Zeilen hinzu:

```
monitor_speed = 115200
upload_speed = 921600
```



Bild 11. Das Projekt im Dateisystem.

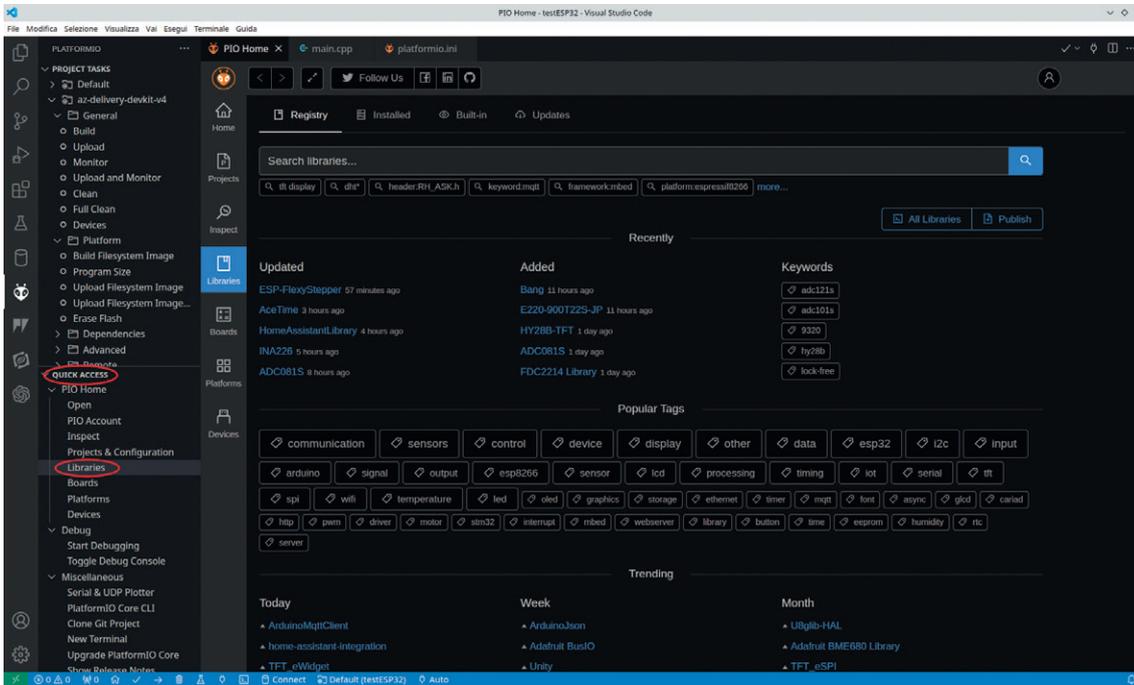


Bild 12. Bibliothek-Suchseite in PlatformIO.

so dass es wie in **Bild 17** aussieht. Mit diesen beiden Befehlen wird die Geschwindigkeit der seriellen Schnittstelle für die Kommunikation mit dem Computer beziehungsweise die Geschwindigkeit, mit der der Sketch in den Speicher des Mikrocontrollers hochgeladen wird, eingestellt.

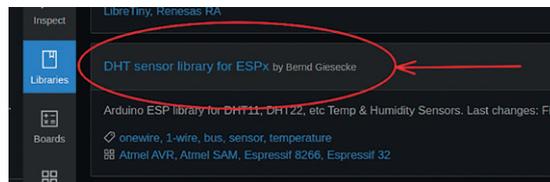


Bild 13. Die für die Sensorverwaltung ausgewählte Bibliothek.

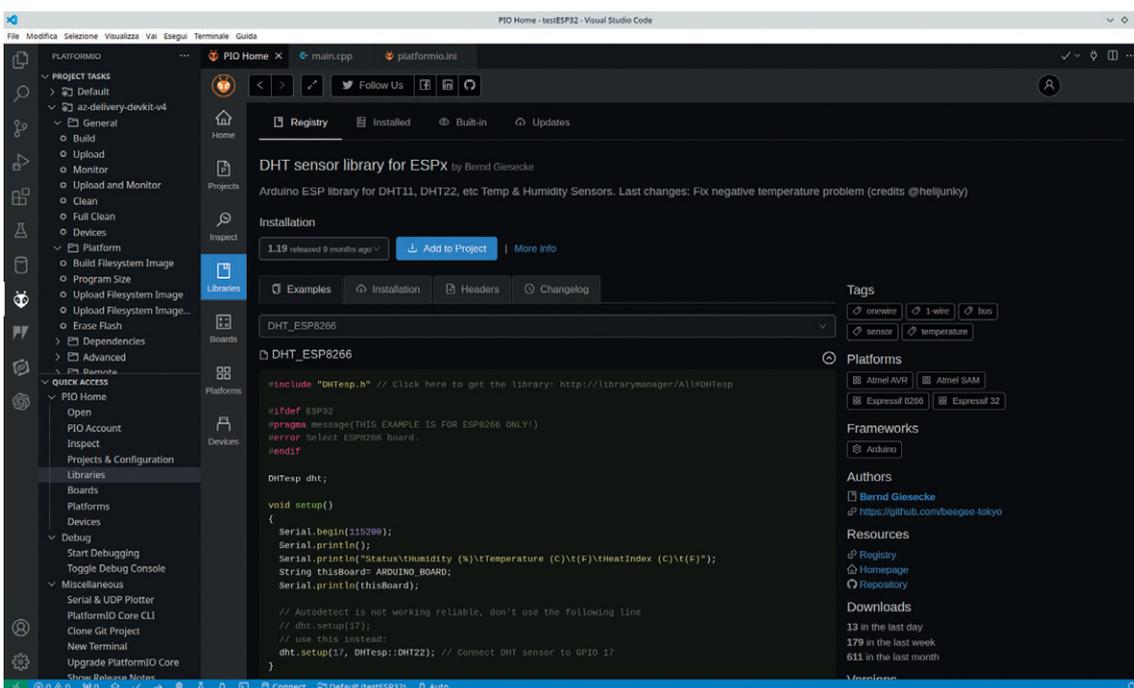


Bild 14. Seite der DHT sensor library for ESPx von Bernd Giesecke.

Bild 15. Abhängigkeiten der Bibliothek hinzufügen.

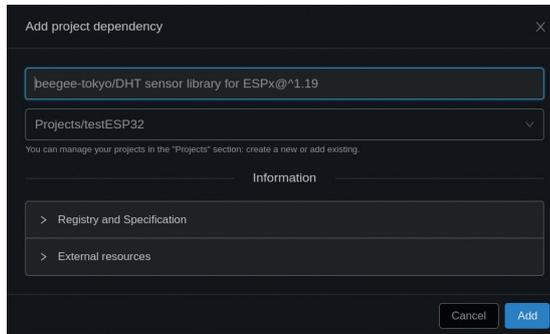


Bild 16. Die Datei platformio.ini mit der hinzugefügten Bibliothek.

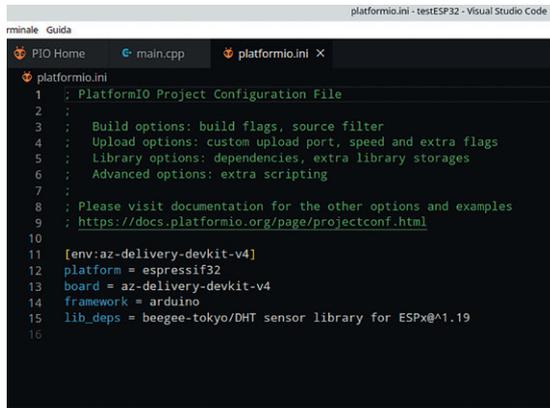


Bild 17. Die neue Version der Datei platformio.ini.

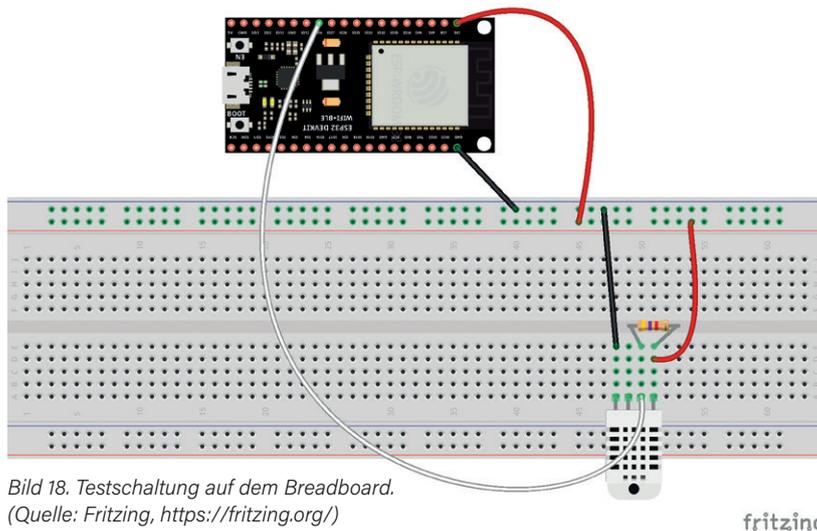
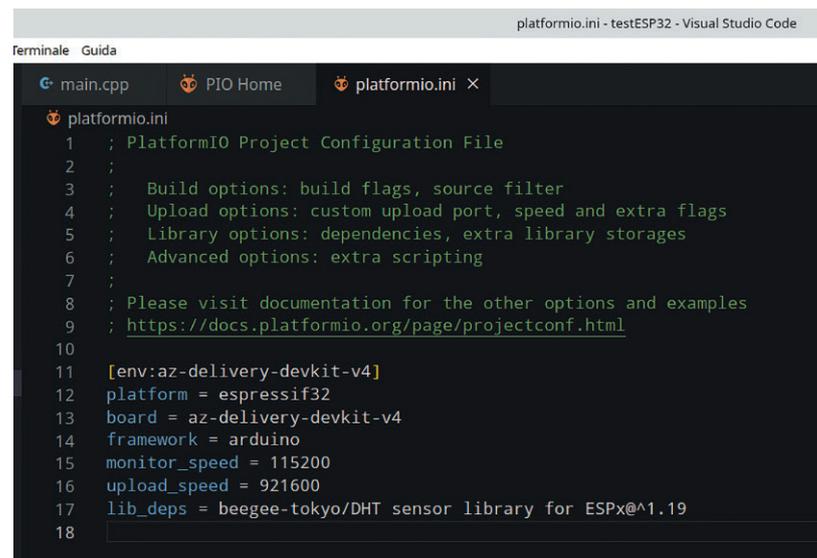


Bild 18. Testschaltung auf dem Breadboard. (Quelle: Fritzing, <https://fritzing.org/>)

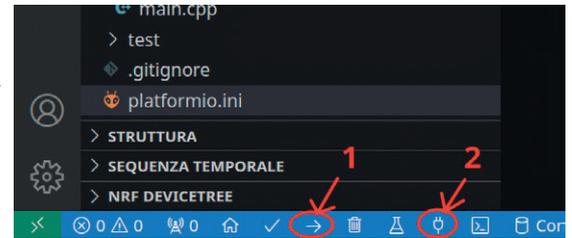


Bild 19. Button Sketch kompilieren und laden (1) und Button Seriellen Monitor aktivieren (2).

Testen des Projekts

Um ein funktionierendes Beispiel für das neu erstellte (also leere) Projekt zu erhalten, beschlossen wir, den Mikrocontroller mit einem DHT22-Sensor zu verbinden, die Messwerte der Umgebungstemperatur und der Luftfeuchtigkeit in Echtzeit auszulesen und sie über den Serial Monitor von PlatformIO anzuzeigen.

Neben dem Mikrocontroller und dem Sensor benötigen wir einen 4,7-k Ω -Widerstand, einige Drähte und ein Breadboard, um die einfache Schaltung in **Bild 18** aufzubauen. Wie auf dem Bild zu sehen ist, ließ es die Größe des ESP32-NodeMCU-Boards leider nicht zu, es auf das Breadboard zu stecken, also wurde es daneben platziert.

Der Sketch

Listing 1 ist in der Datei *main.cpp* enthalten. Der Sketch beginnt mit der Einbindung der notwendigen Bibliotheken. Als nächstes wird das `dht`-Objekt vom Typ `DHTesp` für die Verwaltung des Sensors instanziiert. Dann wird der GPIO-Pin des ESP32 angegeben, der die Daten vom Sensor lesen soll (in unserem Fall GPIO 14).

Es werden Variablen definiert, die die gemessenen Werte enthalten werden, und solche, die das Timing der Messungen verwalten (in diesem Fall werden die Messungen alle 3 s stattfinden). Es wäre gut, diesen Wert nicht zu unterschreiten, da der DHT22 etwa 2 s für eine Messung benötigt.

Als nächstes kommt die Funktion `printData()`, die die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsvariablen ausliest und sie mit minimaler Formatierung an den seriellen Monitor von PlatformIO ausgibt. Die Funktion `setup` initialisiert die serielle Schnittstelle (über die die Ausgabe an den seriellen Monitor geleitet werden) und verbindet GPIO 14 mit dem Sensor.

Schließlich ermittelt die Funktion `loop` alle `measureDelay` (in Millisekunden) die vom Sensor vorgenommenen Messungen und speichert sie in den beiden Variablen `temperature` und `humidity`. Danach ruft sie die Funktion `printData()` auf, um die Ergebnisse auszugeben. All dies wird zyklisch durchgeführt. Um den Sketch auf das Board zu laden, klicken Sie einfach auf die mit der „1“ markierte Schaltfläche in **Bild 19**.

Der Sketch wird zunächst kompiliert und dann, wenn dabei keine Fehler auftreten, in den internen Speicher des ESP32-Mikrocontrollers geladen. Um die Ergebnisse zu visualisieren, muss der serielle Monitor aktiviert werden, indem man auf die Schaltfläche mit der „2“ klickt. **Bild 20** schließlich zeigt die Ergebnisse im seriellen Monitor.

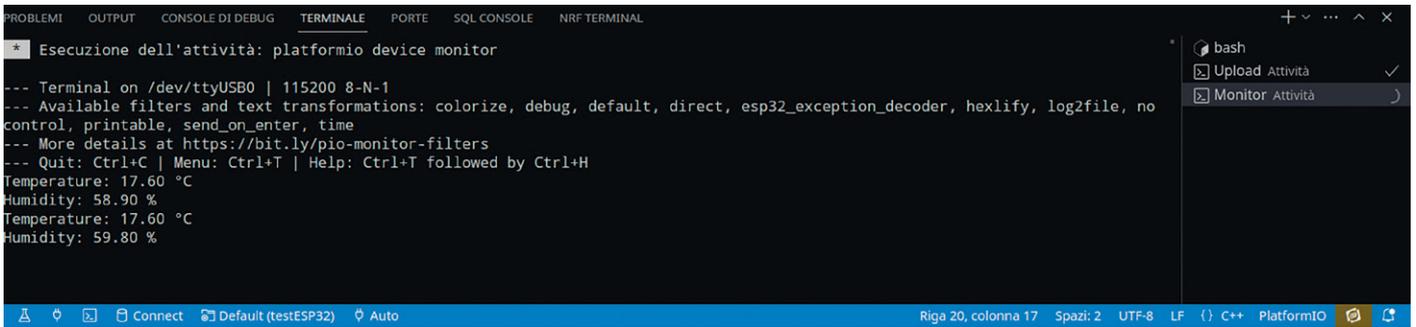


Bild 20. Die Messergebnisse im Seriellen Monitor.

Bereit zum Programmieren?

Wie man unschwer erkennen kann, ist das Erstellen eines Projekts mit PlatformIO und das Hinzufügen von Bibliotheken alles in allem ein recht einfacher und standardisierter Vorgang. PlatformIO verknüpft Benutzerfreundlichkeit mit einer umfassenden Funktionalität, die hier nicht näher betrachtet werden kann, da dies den Rahmen dieser Anleitung sprengen würde.

Die fortschrittliche Bibliotheksverwaltung und die einfache Installation von Abhängigkeiten vereinfachen den Entwicklungsprozess weiter und ermöglichen es, sich mehr auf die Erstellung des Projekts als auf die Konfiguration der Umgebung zu konzentrieren. Darüber hinaus bietet die native Integration mit Arduino und seiner großen Entwickler-Community zusätzliche Vorteile und ermöglicht den Zugang zu einem umfangreichen Ökosystem gemeinsamer Ressourcen und Lösungen.

Die Verwendung von PlatformIO für ESP32 stellt einen bedeutenden Schritt in Richtung eines effizienteren, organisierten, skalierbaren und professionellen Entwicklungsprozesses dar. PlatformIO bietet die Werkzeuge, die benötigt werden, um innovative Ideen zu erforschen, komplexe Designs zu erstellen und den Entwicklungszyklus zu beschleunigen, was die Programmiererfahrung reibungsloser und somit lohnender macht. ◀

SE - 240370-02



Passende Produkte

- > Joy-IT NodeMCU ESP32 Entwicklungsboard
www.elektor.de/19973
- > Joy-IT Sensor Kit X40
www.elektor.de/18124



Listing 1: Code zum Lesen und zur Ausgabe von Sensordaten

```
#include <Arduino.h>
#include "DHTesp.h"

DHTesp dht;
#define DHT22_PIN 14

float temperature;
float humidity;
unsigned long measureDelay = 3000; // NOT LESS THAN 2000!!!!
unsigned long lastTimeRan;

void printData() {
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(temperature);
  Serial.println(" °C");
  Serial.print("Humidity: ");
  Serial.print(humidity);
  Serial.println(" %");
}

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
  // This delay gives the chance to wait for a Serial Monitor
  // without blocking if none is found
  delay(1500);
  dht.setup(DHT22_PIN, DHTesp::DHT22);
  // Connect DHT sensor to GPIO 14
}

void loop() {
  //put your main code here, to run repeatedly:
  if (millis() > lastTimeRan + measureDelay) {
    humidity = dht.getHumidity();
    temperature = dht.getTemperature();
    printData();
    lastTimeRan = millis();
  }
}
```

WEBLINK

[1] Download Visual Studio Code: <https://code.visualstudio.com/download>

Open-Source-Tools

Antennensimulator, Bauteilverwaltung, Rechner und mehr...

Von Tam Hanna (Ungarn)

Quelloffene Werkzeuge machen Freude - nicht nur, weil sie kostenlos sind. Für Personen mit Interesse an Software bieten sie die Möglichkeit, einem täglich genutzten Werkzeug „unter die Motorhaube“ zu blicken. Hier einige Tools, die erstens quelloffen und zweitens nützlich sind.

Converter NOW - bequeme Einheitenkonversion

Probleme mit der Verwendung korrekter Einheiten gehören in internationalen Teams zum guten Ton - während der Brite seine angelsächsischen Einheiten liebt, ist der Kontinental-Europäer mit SI-Einheiten unterwegs. Dass derartige Fehler zu großen und teuren Problemen führen können, zeigt am besten der Verlust der Weltraumsonde MCO.

Der von Damiano Ferrari entwickelte **Converter NOW** [1] schafft Abhilfe - im Prinzip ein gewöhnlicher Einheitenkonverter, der, wie in **Bild 1** und **Bild 2** gezeigt, stressfrei seinen Dienst tut.

Converter NOW ist auch aus softwaretechnischer Sicht interessant: Das Produkt basiert auf Googles Cross-Plattform-Umgebung Flutter. Wer eine Einführung in dieses neue System sucht, ist also gut beraten, den Code zu studieren.

Rechner in Preiswert

Sofern Ihr Android-Smartphone mit neuen Applikationen ausgerüstet wird, bietet sich auch das Installieren von **Calculator N+** an [2]. Dabei handelt es sich um ein Symja-basiertes Programm [3], das einen leistungsfähigen wissenschaftlichen Taschenrechner auf dem Smartphone emuliert (**Bild 3**).

Bei der praktischen Nutzung dieser Applikation stellt sich natürlich immer die Frage, ob ein echter Taschenrechner nicht bequemer zu handhaben ist - letzten Endes ist das eine Frage des Geschmacks.

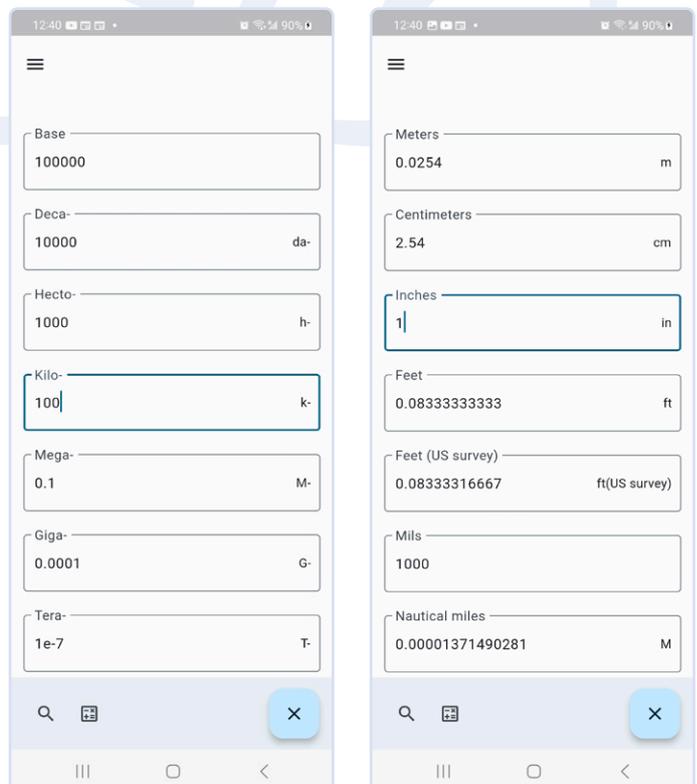


Bild 1. Converter NOW hilft sowohl beim Kampf mit SI-Einheiten...

Bild 2. ... als auch beim Konvertieren der Längen.

Bauteile-Verwaltung

Früher in vielen Entwicklerschmieden anzutreffen: Ein „Dekadist“, der sich um die Verwaltung und Bereitstellung der benötigten Bauteile kümmerte. Wer allein arbeitet, begegnet diesem Problem durch exzessive Nutzung eines Distributors: Jede Bill of Materials wird neu gekauft, übrig gebliebene Komponenten werden eingelagert, verschenkt oder in den Restmüll geworfen.

Bauteil-Verwaltungen gibt es als Freeware und im kommerziellen Bereich wie Sand am Meer. Sowohl **InvenTree** als auch **PartKeepr** sind quelloffen - bei beiden handelt es sich um Web-Applikationen, was ihre Einrichtung komplizierter gestaltet. Spezifischerweise ist ein Webserver erforderlich, auf denen die (diversen) Clients dann per Web-Browser zugreifen.



Bild 3. Ähnlichkeiten zu TI, Casio und Co. sind rein zufällig.

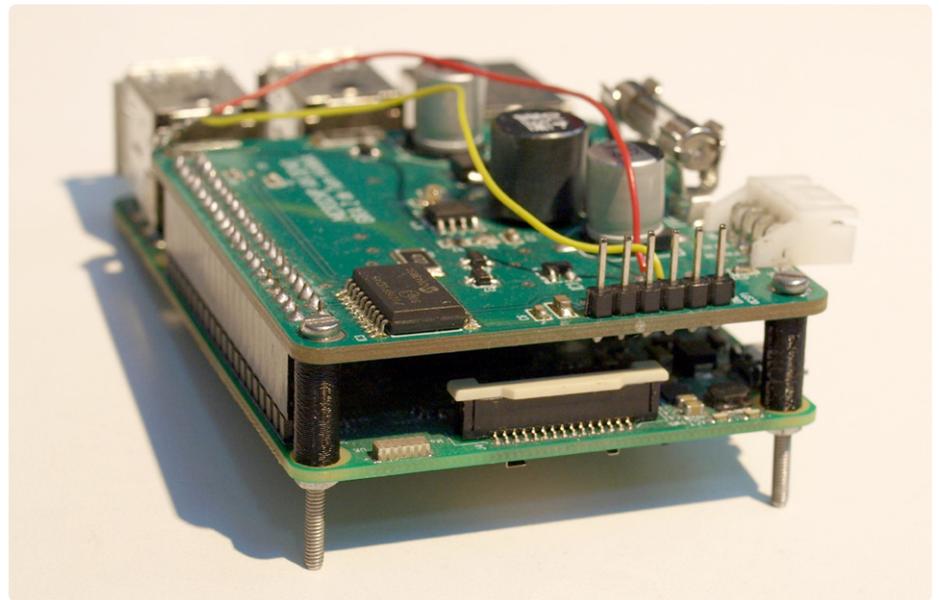


Bild 4. Dieser nicht mehr gebrauchte ältere Raspberry Pi stellt im Labor des Autors verschiedene „lokale Services“ zur Verfügung.

Ein bequemer Weg zur Umgehung dieses Problems ist die Nutzung eines Raspberry Pi oder eines ähnlichen Prozessrechners. Auf Thingiverse finden sich verschiedenste Gehäuse, die unter einen Schreibtisch im Labor geschraubt werden können. Der einmal konfigurierte Raspberry Pi ist dort dann gut und platzsparend untergebracht (Bild 4).

Über die Frage, ob InvenTree (Bild 5) oder PartKeepr (Bild 6) bequemer sind, lässt sich hervorragend diskutieren. Der Autor empfiehlt die Nutzung der „Demo-Verwaltungen“ [4][5] - probieren Sie die Demos aus und entscheiden Sie sich dann für das System, das Ihnen von der Bedienung her besser zusagt.

Bei der Nutzung beider Systeme gilt außerdem, dass der investierte Aufwand zur vorliegenden Situation passen sollte. So bieten beide Produkte eine BOM-Verwaltung an, die insbesondere bei kleineren, an der Erzeugung von Prototypen orientierten Unternehmen Overkill sein kann.

Simulation spart Arbeitszeit

Insbesondere beim Design von Antennen gilt, dass eine Simulation Überweisungen an die Hersteller von HF-Hardware einspart. Im Allgemeinen sind sich die Besitzer der diversen Simulations-Algorithmen dieses Zusammenhangs bewusst, weshalb Antennen-Simulatoren alles andere als preiswert ausfallen.

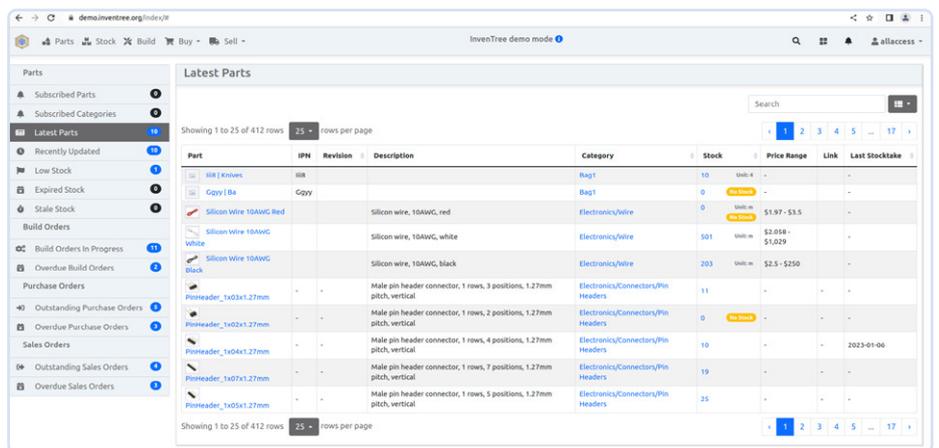


Bild 5. Die Unterschiede zwischen den GUIs von InvenTree...

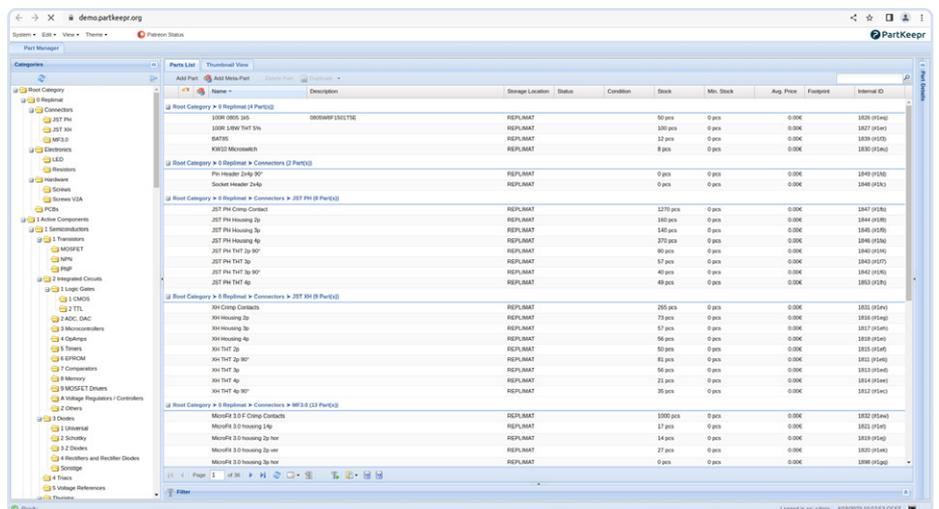


Bild 6. ...und PartKeepr sind durchaus als erheblich zu bewerten.

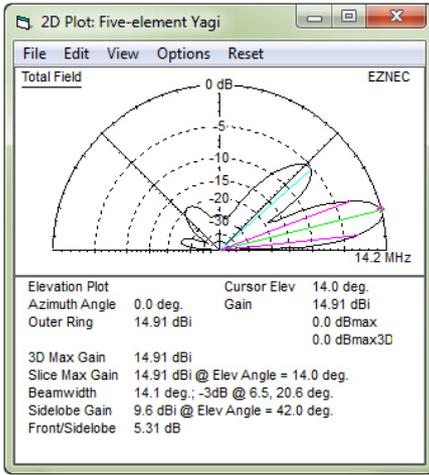


Bild 7. EZNEC erleichtert die Bedienung von NEC.

Quelloffener Antennen-Simulator Nummer eins ist **NEC** - hinter dem Begriff beziehungsweise Namen verbirgt sich nicht der japanische Elektronik-Gigant, sondern die Abkürzung *Numerical Electromagnetics Code*.

Es handelt sich dabei um ein vom *Lawrence Livermore National Laboratory* entwickeltes Antennen-Simulationsprodukt, das per Stand der Drucklegung dieses Artikels teilweise quelloffen ist. Spezifischerweise gilt, dass die Version 2 des Produkts open source ist, während spätere Varianten erworben werden müssen.

Die Popularität ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass mit **EZNEC** [6] eine seit rund einem Jahr kostenlos zur Verfügung stehende grafische Oberfläche für das Produkt zur Verfügung steht (Bild 7). Die *American Radio Relay League (ARRL)* nutzte dieses Programm lange Jahre im *Antenna Book* als „Demonstrations-System“, weshalb die Bedienung der Skriptsprache vielen Technikern zumindest peripher vertraut sein dürfte.

Mit **openEMS** - das Produkt wird innerhalb der EU entwickelt - steht ein ähnlicher Simulator zur Verfügung [7]. Das wichtigste Argument für ihn ist dabei die Möglichkeit, die zu erzeugenden Modellierungs-Skripte unter Nutzung der weitverbreiteten Skriptsprache Python zusammenzubauen. Das Bild 8, das aus der Dokumentation stammt [8], zeigt dabei eine S-Parameter-Simulation über einen Frequenzbereich.

Zuletzt sei - wenn auch kurz - auf **Elmer** hingewiesen (Bild 9).

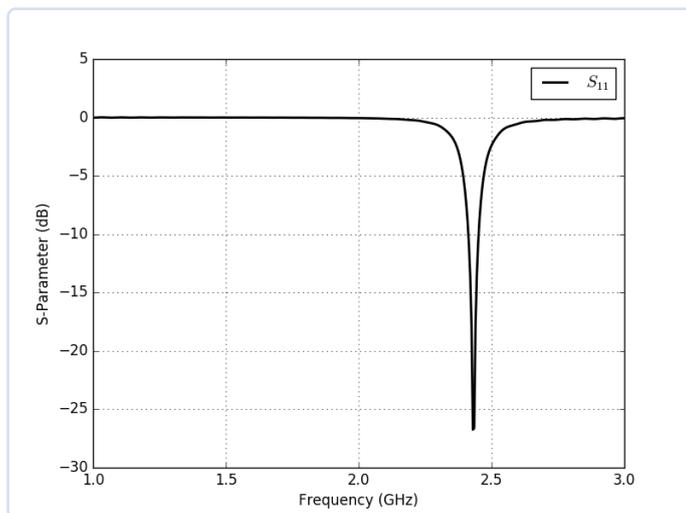


Bild 8. Die grafischen Ergebnisse von Open EMS sind durchaus sehenswert (Bildquelle: [8]).

Dabei handelt es sich um ein entwickeltes Werkzeug [9], das auf die Lösung verschiedenster Probleme der „finiten Elemente“ optimiert ist - angemerkt sei, dass seine Bedienung umfangreiche Einarbeitung voraussetzt.

Bonus: OpenSCAD!

Der Entwurf von Gehäusen und technischen Formteilen in klassischen CAD-Programmen ist eine Aufgabe, die insbesondere „dienstaltes“ und mit einer Modelltschlerei aufgewachsene Elektroniker nicht auf den ersten Blick erlernen.

Mit **OpenSCAD** [11] steht ein System zur Verfügung, das das Problem „von hinten nach vorne“ aufrollt. Spezifischerweise nutzt man eine an Python und C erinnernde Beschreibungssprache, die die zu erzeugenden Objekte aus „geometrischen Primitiva“ zusammensetzt (Bild 10 und Bild 11). Lohn der Kompilation ist dann ein STL-File, das sich beispielsweise mit verschiedenen 3D-Druckern realisieren lässt. ◀

RG — 230282-02

Sie haben Fragen oder Kommentare?

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

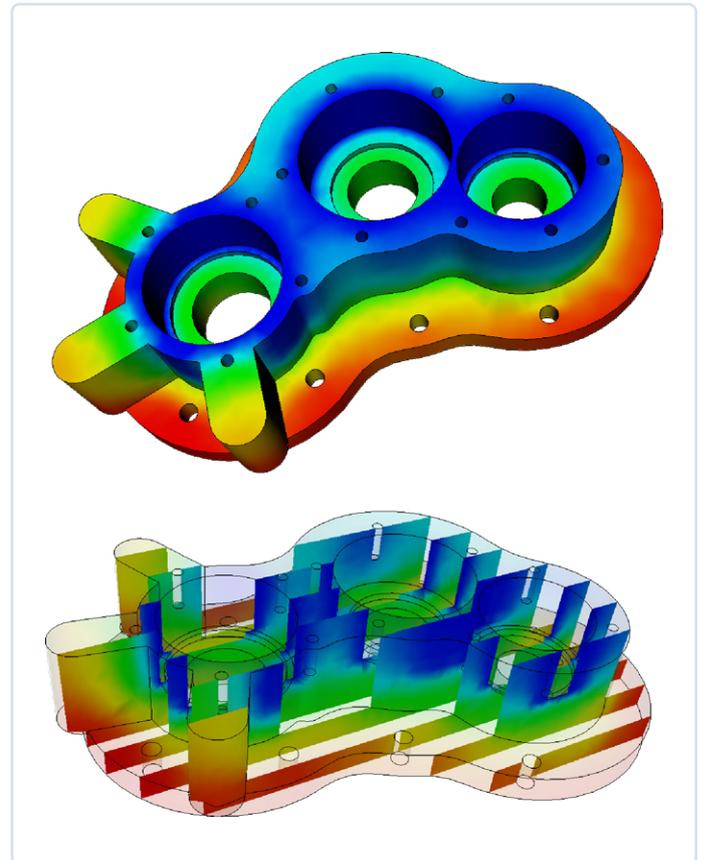


Bild 9. Dieses Objekt wurde nicht mit CATIA, sondern mit Elmer berechnet (Bildquelle: [10]).

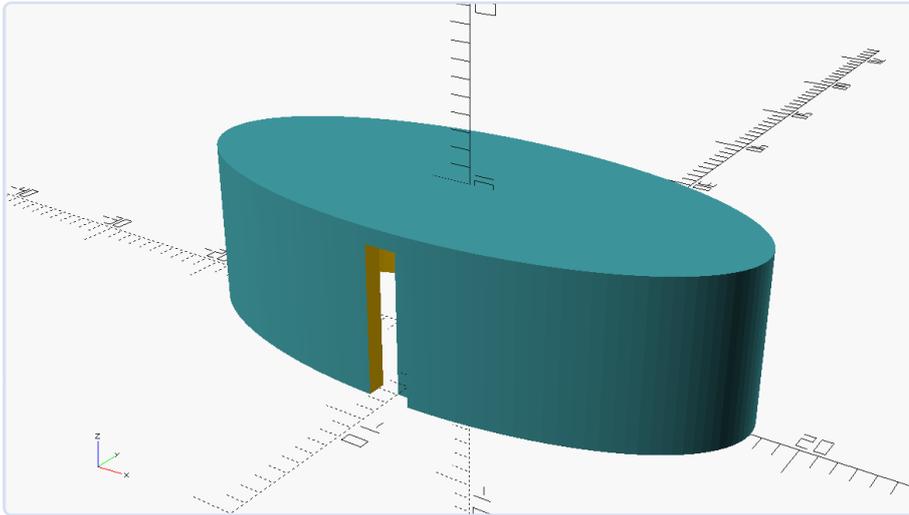


Bild 10. Der Ersatzknopf sieht sowohl von vorne...

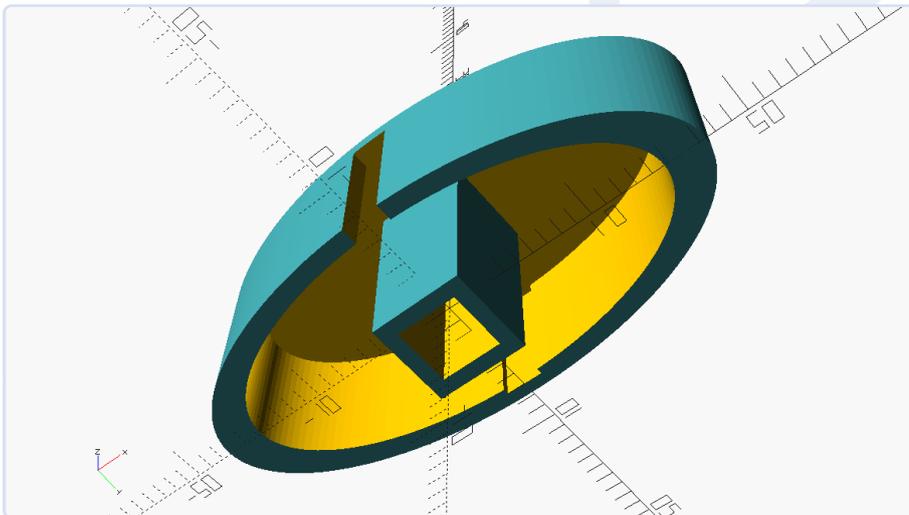


Bild 11. ...als auch von hinten brauchbar aus.



Passendes Produkt

› **Tam Hanna, Technisches Konstruieren mit OpenSCAD, Elektor 2020**

Buch, kartoniert: www.elektor.de/19424
E-Buch, PDF: www.elektor.de/19425



WEBLINKS

- [1] Converter NOW auf GitHub: <https://github.com/ferraridamiano/ConverterNOW>
- [2] Calculator N+ auf GitHub: <https://github.com/tranleduy2000/ncalc>
- [3] Symja-Bibliothek auf GitHub: https://github.com/axkr/symja_android_library
- [4] InvenTree Demo: <https://inventree.org/demo>
- [5] PartKeepr Demo: <https://demo.partkeepr.org/>
- [6] EZNEC Antenna Software: <https://eznec.com/>
- [7] openEMS: <https://www.openems.de/>
- [8] openEMS, Dokumentation der Patch-Antenne: <https://bit.ly/43W71ak>
- [9] Elmer: <https://csc.fi/web/elmer/>
- [10] Elmer, Anwendungsbeispiel: <https://csc.fi/web/elmer/application-examples>
- [11] OpenSCAD: <https://openscad.org/>

EMI-Abschirmung zur Einhaltung der elektromagnetischen Konformität

Von Mark Patrick (Mouser Electronics)

In diesem Beitrag befassen wir uns mit der Bedeutung der Abschirmung gegen elektromagnetische Störungen (Electromagnetic Interference, EMI) für die Einhaltung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), insbesondere im Zusammenhang mit modernen Technologien wie 5G und dem Internet der Dinge (IoT). Der Beitrag untersucht auch verschiedene EMI-Abschirmtechniken, -Materialien und -Strategien, die Entwickler während des gesamten Designprozesses einsetzen können, um Störungen zu vermeiden und die Zuverlässigkeit des Produkts zu gewährleisten.

Technologische Fortschritte, beispielsweise die zunehmende Einführung von 5G und die wachsende Bedeutung des Internets der Dinge (IoT), führen zu einem höheren Bedarf an Abschirmung gegen elektromagnetische Störungen (EMI). Die Einhaltung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) und die Reduzierung von EMI-Quellen in einem frühen Stadium des Entwicklungsprozesses sind von entscheidender Bedeutung, um Effizienzverluste zu verhindern, kostspielige Neukonstruktionen zu vermeiden und Verzögerungen bei der Produkteinführung zu minimieren. Jedes Designteil oder Subsystem – vom Gehäuse über das Modul bis hin zur Leiterplatte (PCB) – kann eine EMI-Abschirmung enthalten.

Entwickler können in jeder Phase des Designprozesses auf eine Vielzahl von Abschirmungsoptionen für nahezu jede Applikation zurückgreifen, von kommerziellen Anwendungen über Energieinfrastruktur und Verteidigung bis hin zum Bereich Automotive. Dieser Beitrag soll

Entwicklern einen Einblick in die technologischen Fortschritte geben, mit denen die aktuellen Ansätze zur EMI-Abschirmung auf den Prüfstand gestellt werden, und einen Überblick über die auf dem Markt erhältlichen Materialien bieten.

Elektromagnetische Störungen sind allgegenwärtig

Elektromagnetische Felder sind ein Merkmal praktisch jeder Schaltung. Oszillierende elektrische Felder und magnetische Flusslinien (**Bild 1**) treten um den leitfähigen Pfad herum auf, wenn ein Wechselstrom entlang eines Drahtes oder durch eine Leiterplatte fließt. Diese werden zu unerwünschten Störungen, wenn diese Felder induziert oder auf eine andere Schaltung oder einen anderen Draht übertragen werden. Solche unerwünschten elektromagnetischen Störungen werden im Allgemeinen als EMI bezeichnet und können den Betrieb anderer Schaltungen stören oder unterbrechen.

Eine elektrostatische Entladung (Electrostatic Discharge, ESD) ist eine weitere Form von EMI. ESD tritt in der Regel mit unterschiedlicher Frequenz auf, während EMI typischerweise eine konstante Frequenz haben. Kurzzeitige Hochspannungstransienten (hohe dV/dt) können zu Fehlfunktionen

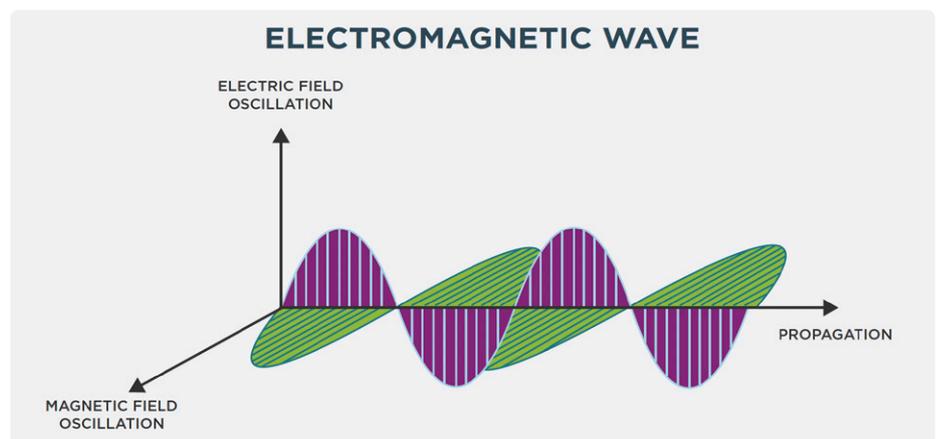


Bild 1. Die magnetischen und elektrischen Felder einer elektromagnetischen Welle. (Quelle aller Bilder: Kemtron Ltd, jetzt Teil von TE Connectivity)

oder dauerhaften Schäden an empfindlichen elektronischen Systemen führen. Die meisten elektronischen Systeme erzeugen unbeabsichtigt EMI, darunter Taktgeber, digitale Hochgeschwindigkeits-Schaltwandler, DC/DC-Wandler und drahtlose Schnittstellen.

EMI-Emissionen finden ihren Weg in andere Schaltungen entweder durch Leitung oder Strahlung. Beispielsweise können kleine Taktgeber, an denen entlang Leiterbahnen einer Leiterplatte verlaufen, Strahlung abgeben, in der Regel über 10 MHz, da die Leiterbahnen zu aktiven Antennen werden. Das grundlegende Prinzip von EMV besteht darin, dass eine Schaltung oder ein System immun gegen EMI ist (**Bild 2**).

Marktdynamik und Trends

Ständige Konnektivität und Erreichbarkeit sind allgegenwärtig geworden. Ob zu Hause, unterwegs, bei der Arbeit oder im Auto – unsere Gesellschaft hat noch nie so viele Vorteile einer zuverlässigen und belastbaren Kommunikationsinfrastruktur genossen. Der Aufstieg des IoT und seines Pendant, des Industriellen Internets der Dinge (IIoT), sowie das Wachstum der Mobilfunkkommunikation haben unseren Bedarf und unsere Abhängigkeit von drahtloser Kommunikation verstärkt, die allerdings leider ein wesentlicher Faktor und eine potenzielle EMI-Quelle ist. Die Einführung von drahtlosen 5G-Infrastrukturen, die bisher ungenutzte Funkfrequenzen im Ultra-Hochfrequenzbereich nutzen, führt zu einer weiteren Ausweitung der Gefahr von EMI. Daher ist es wichtiger denn je, dass Produkte EMI-immun sind.

Normen für elektromagnetische Verträglichkeit

Mit nationalen und regionalen Normen zur elektromagnetischen Verträglichkeit, die sich typischerweise an international anerkannten EMV-Standards orientieren (**Bild 3**), erhalten Hersteller die technischen Daten an die Hand, die Produkte vor dem Verkauf erfüllen müssen. Die Normen legen die maximal zulässigen Emissionen eines Produkts und seine Immunität oder Anfälligkeit gegenüber abgestrahlten oder leitungsgebundenen Emissionen fest. Bei der Entwicklung eines neuen Designs wird empfohlen, dass die Entwickler die Gefahr

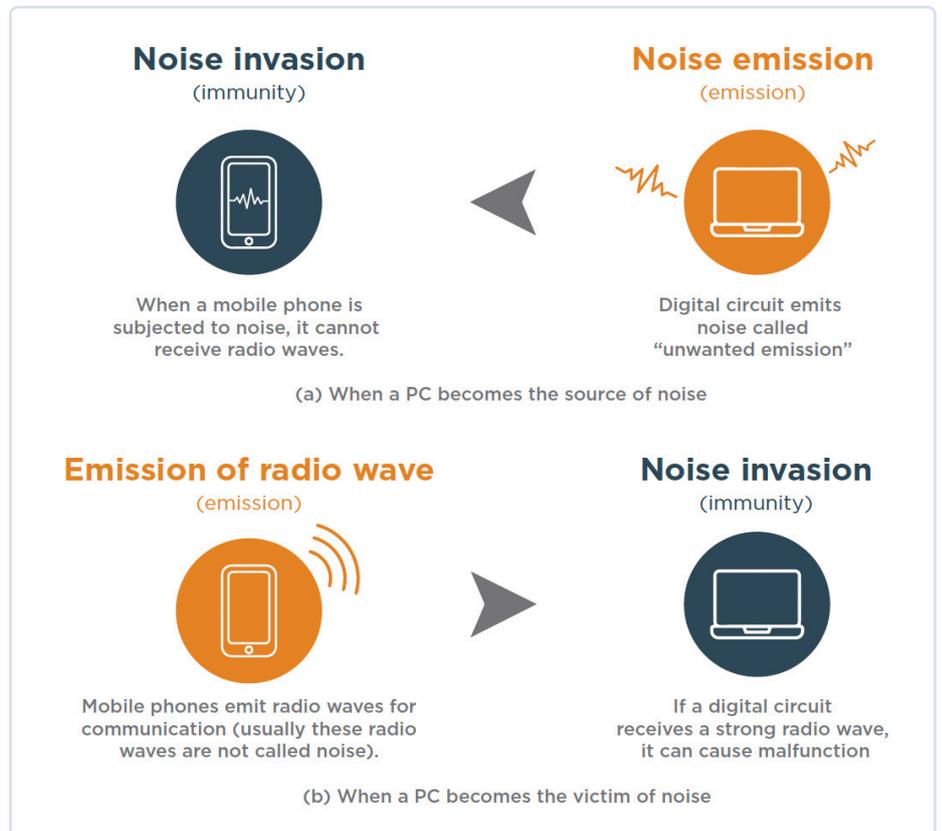


Bild 2. Die Störfestigkeit gegenüber EMI-Emissionen ist der Schlüssel zur Einhaltung der EMV-Vorschriften.

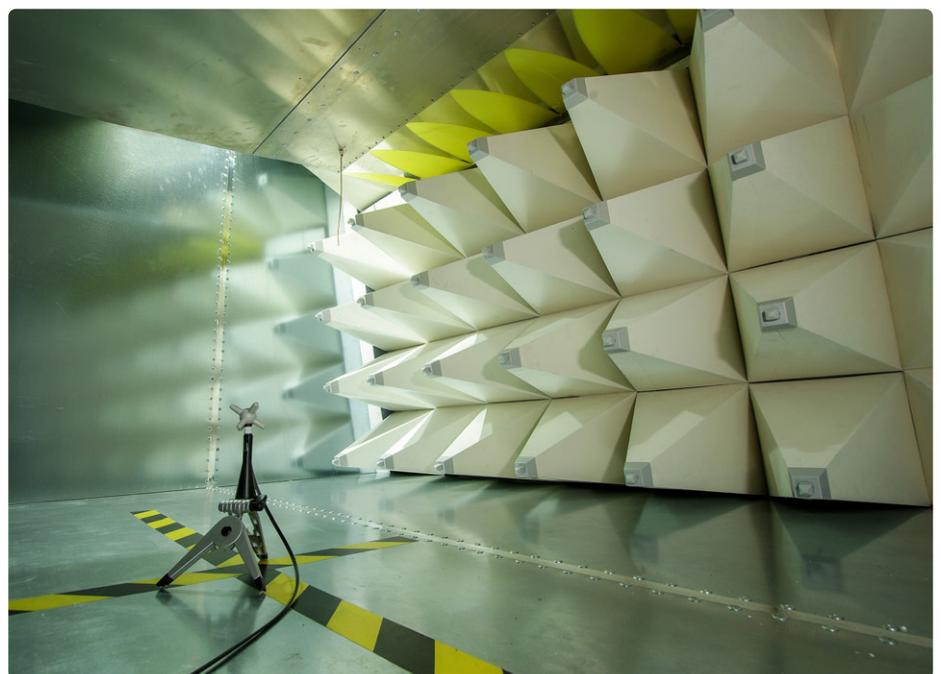


Bild 3. Prüfung eines zu prüfenden Geräts auf Einhaltung der EMV-Vorschriften.

Tabelle 1. Gängige EMI- und EMV-Normen, aufgliedert nach Branche und Anwendung

Application / Industry	EMC Standard
Aerospace, Defense and Marine equipment	DEF STAN 59-411 MIL-STD-461 MIL-STD-704 MIL-STD-1275 MIL-STD-1399
Automotive components	IEC CISPR 25 ISO 11451 ISO 11452 ISO 7637 SAE (multiple numbers)
Commercial equipment	FCC Part 15 class B IEC 61000-6-1 (generic) IEC 61000-6-3 (generic)
Industrial devices	FCC Part 15 class A IEC 61000-6-2 (generic) IEC 61000-6-4 (generic)
Medical devices	IEC 60601-1-2
Power station and substitution equipment	IEC 60000-6-5
Power station and measurement equipment (<1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 61326-1
Switch gears and control gears (1000 V AC, 1500 V DC)	IEC 60947-1

IEC: International Electrotechnical Commission
ISO: International Organization for Standards
SAE: Society of Automotive Engineers
FCC: Federal Communications Commission

(Source: Kemtron Ltd, now part of TE Connectivity)

von EMI berücksichtigen und EMV-Gegenmaßnahmen bereits während des Prototyping-Prozesses und nicht erst im Nachhinein integrieren. Dabei ist es von entscheidender Bedeutung, die geltenden EMI- und EMV-Normen, die wahrscheinlichen Emissionsquellen und die Schaltungsfunktionen zu kennen, die möglicherweise anfälliger für EMI-Störungen sind (siehe **Tabelle 1**).

Erreichen der EMV-Zertifizierung

Auch wenn nur eine akkreditierte EMV-Prüfstelle die EMV-Zertifizierung durchführen kann, gibt es für das Entwicklerteam doch viele Punkte, die vor der Übergabe des Produkts an das Prüflabor untersucht werden können. Grundlegende Messungen der strahlungsgebundenen und leitungsgebundenen Emissionen mit einem Spektrumanalysator oder einem mit geeigneten H- und E-Feldsonden ausgestatteten EMI-Empfänger zeigen an, ob weitere Tests oder EMI-Gegenmaßnahmen erforderlich sind. Für ein kleines Entwicklungsteam sind diese teuren Prüfgeräte nur schwer zu beschaffen, aber spezialisierte Unternehmen, die EMI-Prüf- und Messgeräte

vermieten, bieten eine kostengünstige Alternative. Es wird dringend empfohlen, Prüfungen zur Einhaltung der Vorschriften durchzuführen, da das Designteam dadurch potenzielle Quellen von Störsignalen lokalisieren und Methoden zur Reduzierung von elektromagnetischer Interferenz wie Abschirmung, Erdung und Entkopplung implementieren kann. Es ist auch wichtig, dass ein Produkt elektromagnetischen Emissionen ausgesetzt wird.

Stufen der EMI-Abschirmung

Die Reduzierung von EMI und die Schaffung von EMI-Immunität für Schaltungsfunktionen setzen einen systematischen Ansatz im Designprozess des Produkts voraus. Dies umfasst Aspekte des Leiterplatten-Designs, die Integration von Masseflächen und die Trennung von Geräten mit EMI-Störungen von empfindlichen analogen Signalpfaden. Die Abschirmung von Bauteilen, Funktionsteilen und Modulen stellt aufgrund einer

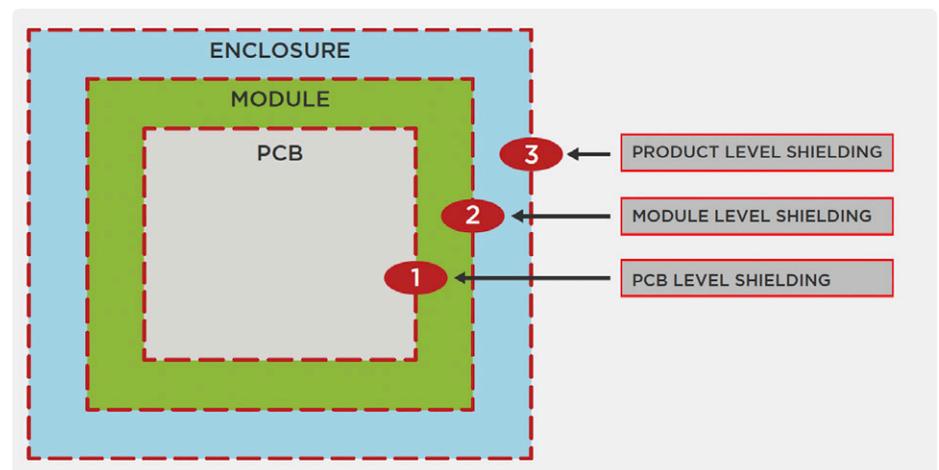
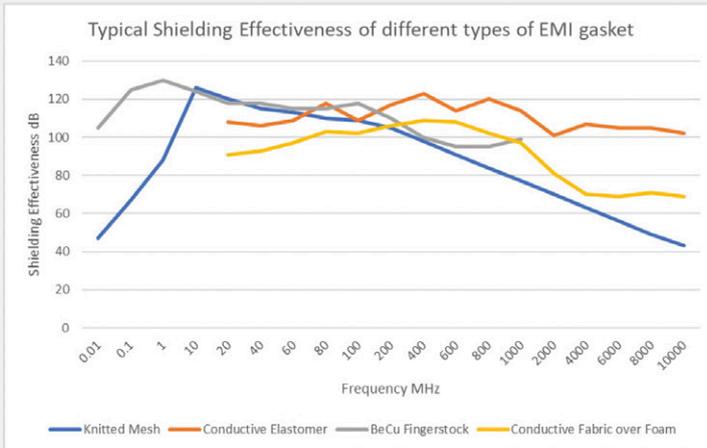


Bild 4. Der dreistufige Ansatz zur Umsetzung der EMI-Abschirmung.

SHIELDING EFFECTIVENESS



KNITTED WIRE MESH
H field (magnetic) shielding 62dB @ 10Khz achievable. SE falls off after 1GHz

CONDUCTIVE ELASTOMERS
Shielding with wide frequency range, >100dB upto 10GHz E field.

FABRIC OVER FOAM
Shielding with wide frequency range, >100dB upto 10GHz E field.

BERYLLIUM COPPER FINGERS
Shielding with wide frequency range, >100dB upto 10GHz E field.

Bild 5. Die EMI-Dämpfungseigenschaften von vier gängigen EMI-Abschirmungsmaterialien in Abhängigkeit von der Frequenz.

dreistufigen Methode, die sich auf Gehäuse, Module und Leiterplatten konzentriert, einen praktischen Ansatz für viele Applikationen dar (Bild 4).

Die Abschirmung von Strahlungsemissionen funktioniert durch die Schaffung eines faradayschen Käfigs um die EMI-Quelle herum. Die Implementierung einer Abschirmung auf Gehäuseebene reduziert das Entweichen oder Eindringen potenzieller Störquellen. Einige Schaltungsfunktionen können jedoch zusätzliche Schutzebenen verlangen, um zu verhindern, dass interne EMI andere Schaltungsfunktionen beeinträchtigt. Die Abschirmung auf modularer Ebene ist eine große Hilfe und wird regelmäßig bei Funkmodulen, DC/DC-Schaltwandlern und LCD-Panels eingesetzt. Bei empfindlichen Komponenten wie beispielsweise einem Analog-Digital-Wandler-IC kann eine Abschirmung auf Leiterplattebene erforderlich sein. Die Notwendigkeit einer Abschirmung gilt auch für alle Arten von Verbindungen, daher sollte nicht übersehen werden, dass abgestrahlte Emissionen auch nicht durch Kabelverschraubungen, Stecker und Buchsen entweichen dürfen.

Materialien für die EMI-Abschirmung

Zu den Bauteilen, die zur EMI-Abschirmung verwendet werden, zählen Drahtgestrick-Dichtungen, elektrisch leitfähige

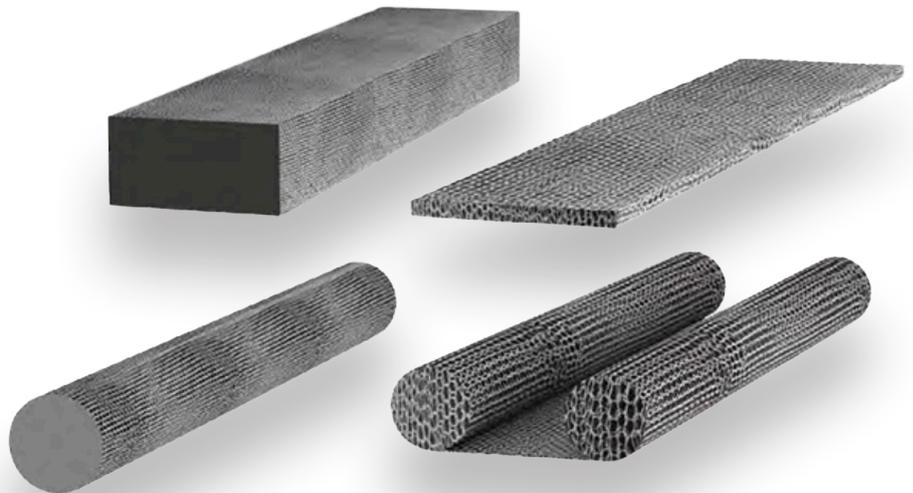


Bild 6. Die Kemtron-Drahtgestrick-Dichtungen von TE Connectivity sind in Endloslängen und in spezifischen Größen erhältlich.

Elastomere, leitfähige Gewebe und Metallfinger. Jeder dieser Typen weist leicht unterschiedliche Eigenschaften in Bezug auf die Dämpfung elektromagnetischer Störungen auf und eignet sich für bestimmte Anwendungsfälle. Bild 5 veranschaulicht die Dämpfung dieser vier Abschirmungstypen in Abhängigkeit von der Frequenz.

Drahtgestrick: Die Verwendung mehrerer gestrickter Drahtlagen über einem Schwamm oder einem Rohrkern unter Verwendung verschiedener Materialien

bietet eine effektive Lösung für elektromagnetische Störungen und galvanische Kompatibilität. Der Strickansatz ermöglicht die Herstellung komplexer Formen und die Verbindung mit Trägermaterialien, um einen Schutz gegen Eindringen von EMI zu schaffen. Die Abschirmung durch ein Drahtgestrick eignet sich für verschiedene Anwendungsfälle, darunter Schaltschranktüren, Abdeckungen und abnehmbare Deckplatten. Das Betriebsverhalten der Abschirmung nimmt in der



Bild 7. Elektrisch leitende Elastomere von Kemtron / TE Connectivity bieten eine Dämpfung von bis zu 100 dB bei 10 GHz.

Regel über 1 GHz hinaus ab, es sei denn, es werden zusätzliche Schichten integriert. Beispiele hierfür sind die Kemtron-Reihe von Drahtgestrick-Dichtungen von TE Connectivity (**Bild 6**), die in geschnittenen Längen oder in fertigen Formen für Dichtungen erhältlich sind [1].

Elektrisch leitfähige Elastomere: Die Produktpalette von Kemtron Ltd (jetzt Teil von TE Connectivity) ist in verschiedenen Materialien und Formen erhältlich (**Bild 7**) und bietet eine Dämpfung von über 100 dB bis zu 10 GHz [2]. Zu den Füllmaterialien zählen versilbertes Aluminium und vernickelter Graphit, als Bindemittel kommen Silikon oder Fluorsilikon zum Einsatz. Zu den gängigen Produktformen zählen Platten, Flachdichtungen und O-Ringe. „Kontermutter“-O-Ring-Dichtungen sind speziell für die Abschirmung von HF-EMI konzipiert und für die gängigsten Steckverbinderformate erhältlich [3].

Wabenförmige Lüftungsöffnungen:

Bei Applikationen, bei denen ein Lüfter zur Zwangsluftkühlung verwendet wird, bietet die Öffnung des Lüfters einen direkten Weg für Störungen, die aus einem ansonsten EMI-abgeschirmten Gehäuse austreten. Um dies zu verhindern, können wabenförmige Lüftungsöffnungen, wie die der Produktreihe von Kemtron/TE Connectivity, verwendet werden. Diese bieten eine verbesserte EMI-Leistung und ermöglichen gleichzeitig einen ausreichenden Luftstrom durch ihre laminierte, einschichtige Aluminiumfolien-Wabenzellen-Bauweise. Die Lüftungsöffnungen sind in allen gängigen Lüftergrößen von 40 mm bis 120 mm erhältlich [4].

Einhaltung der EMV-Vorschriften durch EMI-Abschirmungen

Elektromagnetische Störungen durch unerwünschte Störaussendungen von Geräten stören den zuverlässigen Betrieb

von Systemen. Die Einhaltung der EMV-Vorschriften ist eine gesetzliche Anforderung und unerlässlich, um ein fehlerhaftes Systemverhalten zu vermeiden. In diesem kurzen Beitrag haben wir einige Methoden zur Abschirmung vorgestellt, die Entwickler zur Verbesserung der Störfestigkeit umsetzen können. 

240531-02



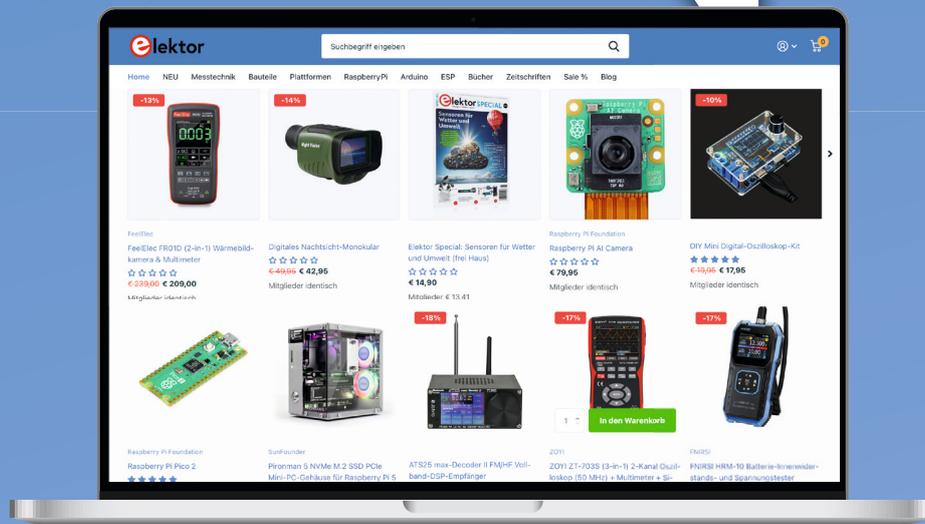
Über den Autor

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

WEBLINKS

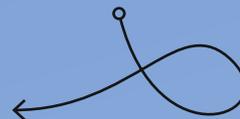
- [1] Drahtgestrick-Dichtungen: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-knitted-wire-mesh-gaskets/>
- [2] Elektrisch leitfähige Elastomere: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-emi-connector-gaskets/>
- [3] Kontermutter: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-jam-nut-seals/>
- [4] Wabenförmige Lüftungsöffnungen: <https://www.mouser.de/new/te-connectivity/te-kemtron-honeycomb-air-vents/>

Was ist Ihre Meinung?



Bei Elektor bieten wir mehr als nur Elektronik - wir schaffen ein Erlebnis, von Qualitätsprodukten und außergewöhnlicher Kundenbetreuung, unterstützt durch die Leidenschaft unserer Community.

Teilen Sie Ihre Meinung auf
www.elektor.de/pages/customer-reviews



Günther A.

Das Meßgerät wurde kurzfristig geliefert. Solide Ausführung, gut ablesbares Display, zuverlässige Kontaktierung der 4-Leiter Kelvin Meßleitungen, hohe Genauigkeit der Meßwerte (Spannung, Innenwiderstand)



Matthias D.

Ich hatte die Elektor schon in der 80ern und dann etwas aus den Augen verloren. Es ist wie damals: prima Schaltungsideen, anwendbar, sehr gut erklärt, alles bestens. Danke und bitte weiter so.



Hartmut W.

Sehr guter Service!

Schnelle Lieferung, gute Bezahlmöglichkeit, Gerät top. Sehr zu Empfehlen! Werde weiter Bestellen.

HDI der Mittelklasse

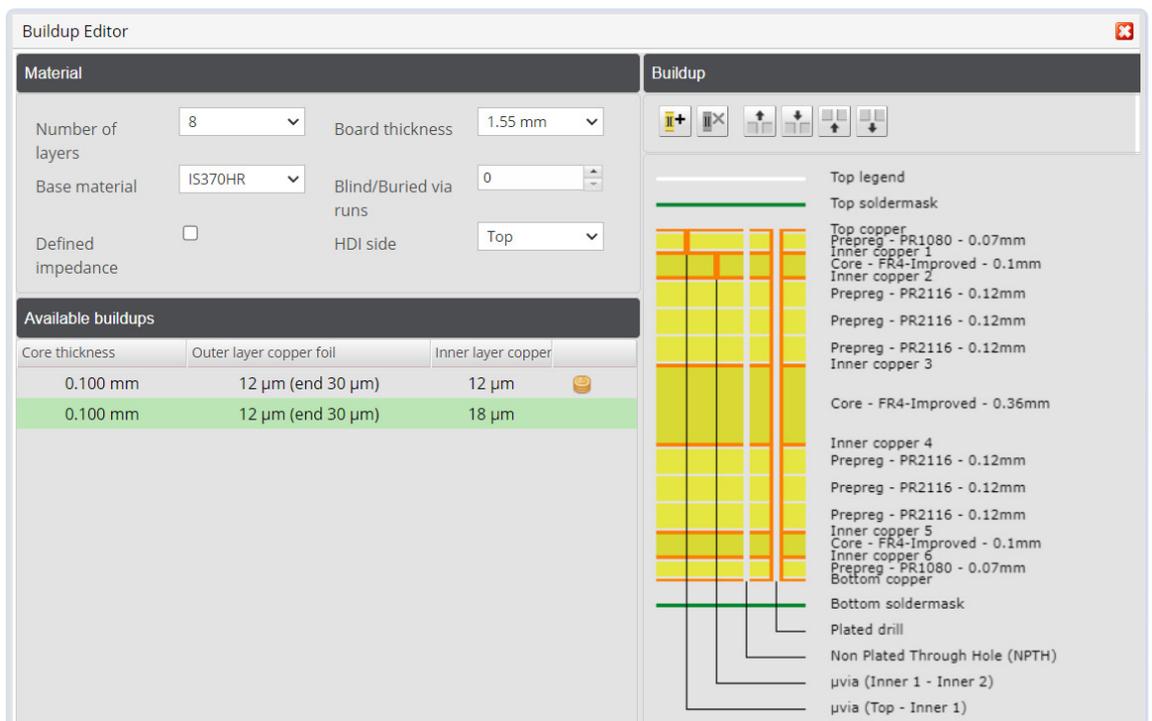
Ein neuer ökonomischer PCB Pooling Service für hochpolige BGAs

Ein Beitrag von Eurocircuits

Manchmal gibt es das Bauteil, das wir unbedingt für unser Projekt verwenden möchten, nur in einem Fine-Pitch-BGA-Gehäuse. Das bedeutet, dass unser Design die Grenze der Standardleiterplattentechnik in den HDI-Bereich überschreitet. Technisch gesehen bedeutet HDI *High Density Interconnect* und praktisch, dass wir mit kleineren Abständen und feineren Leiterbahnen layouten können. Außerdem können wir Microvias verwenden – Durchkontaktierungen mit kleineren Pads und kleineren Durchmessern,

als es normalerweise mit mechanischen Bohrungen möglich ist.

HDI ermöglicht die Miniaturisierung. Das ist großartig, kann aber lästig sein, wenn sie uns durch ein einziges Bauteil auf die gesamte Leiterplatte „erzwungen“ wird, die sich dadurch verteuert. Bei Eurocircuits haben wir eine „Mittelklasse“-Lösung, mit der man sowohl das Bauteil als auch die Kosten unter einen Hut bringen kann. Unser HDI-Pool (**Bild 1**), ein 8-Lagen-Aufbau, behält die Leiterbildklassen der Standardtechnologie bei und fügt Mikrovias zwischen



The screenshot shows the 'Buildup Editor' window with the following settings:

- Material:
 - Number of layers: 8
 - Board thickness: 1.55 mm
 - Base material: IS370HR
 - Blind/Buried via runs: 0
 - Defined impedance:
 - HDI side: Top
- Available buildups table:

Core thickness	Outer layer copper foil	Inner layer copper
0.100 mm	12 µm (end 30 µm)	12 µm
0.100 mm	12 µm (end 30 µm)	18 µm
- Buildup stackup (from top to bottom):
 - Top soldermask
 - Top copper
 - Prepreg - PR1080 - 0.07mm
 - Inner copper 1
 - Core - FR4-Improved - 0.1mm
 - Inner copper 2
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Inner copper 3
 - Core - FR4-Improved - 0.36mm
 - Inner copper 4
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Prepreg - PR2116 - 0.12mm
 - Inner copper 5
 - Core - FR4-Improved - 0.1mm
 - Inner copper 6
 - Prepreg - PR1080 - 0.07mm
 - Bottom copper
 - Bottom soldermask
 - Plated drill
 - Non Plated Through Hole (NPTH)
 - µvia (Inner 1 - Inner 2)
 - µvia (Top - Inner 1)

Bild 1. Der 8-lagige Multilayer-Aufbau im HDI-Pool.



Pattern classification

		7	8	9
Copper clearance, any layer	≥	125	100	90
Pad diameter, outer layers Add this value to N/PTH diameter	≥	+350	+300	+300
Pad diameter, inner layers Add this value to N/PTH diameter	≥	+350	+350	+300
Clearance from PTH, inner layers From hole edge	≥	250	250	250
Clearance from NPTH, inner layers From hole edge	≥	200	200	200
HDI microvia pad diameter Available only for layers 1-2 and 2-3	≥	280	230	210
HDI microvia diameter Available only for layers 1-2 and 2-3	=	100	100	100

Hole diameter classification

		A	B	C	D	E
Plated through-hole (PTH) diameter	≥	500	350	250	150	100
Non-plated through-hole (NPTH) diameter	≥	600	450	350	250	200
Max PCB thickness (mm)	=	3.20	3.20	2.40	2.00	1.60

den Lagen 1-2 und 2-3 oder 8-7 und 7-6 hinzu. Dadurch können unsere Kunden diese Fine-Pitch-BGAs entflechten und die Kosten sind überschaubar, weil HDI nur auf einen kleinen Bereich und zwei Microvia-Lagen beschränkt ist.

In der Praxis

Was heißt das in der Praxis? Betrachten wir die Leiterbildklasse 7 mit der Bohrklasse E in **Bild 2**. Der kleinstmögliche Pad-Durchmesser beträgt 0,45 mm (0,1 + 0,35 mm). Das passt nicht in die meisten Fine-Pitch-BGA-Pads. Wenn wir jedoch dieselbe Klasse zusammen mit dem HDI-Pool verwenden, beträgt der kleinste Durchmesser 0,28 mm und passt! PCB-Designer können damit Vias in der Mitte von BGA-Pads platzieren, ohne die Pads über die Empfehlungen des Herstellers hinaus vergrößern zu müssen. Die kleineren Microvia-Pads ermöglichen zudem Dogbone-Anschlüsse.

Es ist unmöglich, alle BGA-Pin-Arrays und ihre Pin-Konfigurationen zu berücksichtigen, um festzustellen, welches Bauteil geroutet werden kann und welches nicht. Trotzdem haben wir unsere Pool-Parameter so konfiguriert, dass vollständige 8x8-Arrays für BGAs bis zu 0,4 mm Pitch vollständig geroutet werden können. **Bild 3** zeigt ein Beispiel für ein vollständig aufgefachertes 8x8-Bauteil mit 0,4 mm Raster. Selbstverständlich sind auch größere Arrays möglich, und alles hängt von der Array-Größe,

der Pin-Konfiguration und der Art der Verwendung dieser Pins ab. In vielen Gehäusen gibt es No-Connect-Pins, und in den meisten Designs werden nicht alle Pins des Mikrocontrollers oder Prozessors verwendet. Das kann das Entflechten großer BGA-Arrays mit nur zwei Microvia-Lagen erleichtern.

Jetzt sind Sie an der Reihe! Laden Sie Ihr Design in unseren Visualizer [1] hoch und prüfen Sie es auf Fertigbarkeit! Wie immer freuen wir uns über Ihr Feedback, wie dieser Service Ihre Arbeit unterstützt.

240593-02

Bild 2. Die Parameter unserer Leiterbildklassen, für die HDI-Pool verfügbar ist (beachten Sie, dass Klasse 9 nicht poolbar ist).

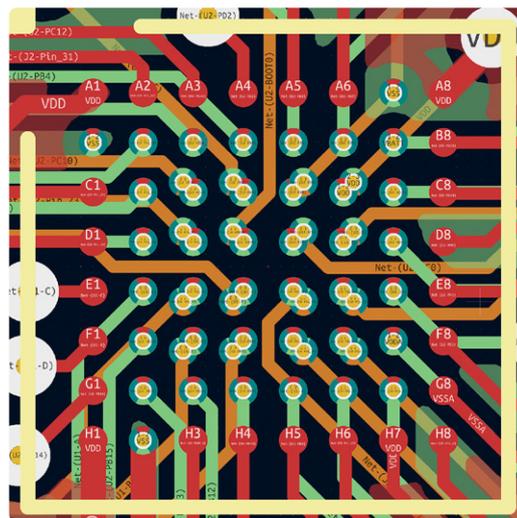


Bild 3. Ein Beispiel für ein Fan-out eines STM32F412 in einem WLCSP64-Gehäuse mit 0,4 mm Pitch. Die erste BGA-Reihe wird auf der obersten Schicht (rot) verlegt, die zweite Reihe auf der zweiten Schicht (grün) unter Verwendung von L1-L2-Microvias in der Pad-Mitte. Die dritte und vierte Reihe werden auf der dritten Schicht (orange) unter Verwendung von L1-L2 und L2-L3 versetzten (staggered) Vias verlegt.

WEBLINK

[1] <https://be.eurocircuits.com/shop/orders/configurator.aspx?loadfrom=web&service=hdipool&deliverycountry=de&invcountry=de&country=de&lang=de>

Das ultimative Werkzeug für jeden Elektronik-Enthusiasten

Unendliche Möglichkeiten mit Red Pitaya und 1.000+ Click Boards™

Ein Beitrag von Red Pitaya

Wenn Sie ein Elektronik-Enthusiast sind, der seine Projekte verbessern möchte, ist ein Red-Pitaya-Board das richtige Werkzeug für Sie. Diese revolutionäre Open-Source-Plattform vereint mehrere Instrumente in einem kompakten Gerät und ist damit ein Muss für Ingenieure, Bastler und Forscher. Ein Red-Pitaya-Board wird oft als Schweizer Taschenmesser der Elektronik bezeichnet und ersetzt sperrige Laborgeräte wie Oszilloskope, Signalgeneratoren und Spektrumanalysatoren - es bietet leistungsstarke Funktionen in einem kompakten, kreditkartengroßen und erschwinglichen Paket. Mit seinem Open-Source-Design fördert es außerdem die Innovation, indem es den Nutzern die Entwicklung und den Austausch von benutzerdefinierten Anwendungen ermöglicht, was es zur ultimativen All-in-One-Lösung für Ihre Elektronikprojekte macht.

Warum Red Pitaya wählen?

- **Vielseitigkeit in Reinkultur:** Ein Red-Pitaya-Board lässt sich an eine Vielzahl von Anwendungen anpassen, von Signalverarbeitung und Telekommunikation bis hin zu Robotik und IoT-Projekten. Das modulare Design bedeutet, dass Sie es immer an Ihre spezifischen Anforderungen anpassen können.
- **Kostengünstige Innovation:** Verschieden Sie sich von teuren, spezialisierten Geräten. Ein Red-Pitaya-Board

bietet High-End-Funktionen, ohne Ihr Budget zu sprengen und macht fortschrittliche Elektronik für jedermann zugänglich.

- **Portabilität und Komfort:** Dank der kompakten Kreditkartengröße eines Red-Pitaya-Boards können Sie Ihr Labor überall hin mitnehmen. Ob Sie nun unterwegs sind oder am Schreibtisch sitzen, Red Pitaya ist Ihr ständiger Begleiter.
- **Open-Source-Community:** Schließen Sie sich einem globalen Netzwerk von Enthusiasten und Fachleuten an, die Anwendungen, Tutorials und Ideen austauschen. Dank der umfangreichen Dokumentation und des Supports fühlen Sie sich nie verloren.

Wir stellen das Red Pitaya Click Shield vor: Entfesseln Sie unendliche Möglichkeiten

Als ob Red Pitaya nicht schon vielseitig genug wäre, hebt das neue **Red Pitaya Click Shield** es auf ein völlig neues Niveau. Mit dieser innovativen Erweiterungsplatine können Sie über **1.000 verschiedene Click-Boards™** von Mikroelektronik anschließen und so eine Welt der Möglichkeiten eröffnen. Diese Plug-and-Play-Module umfassen alles von Sensoren und Kommunikationsschnittstellen bis hin zu Motorsteuerungen und Displays. Mit dem Red Pitaya Click-Shield war es noch nie so einfach, neue Funktionalitäten in Ihre Projekte zu integrieren.

Was ist das Red Pitaya Click Shield?

Das Red Pitaya Click-Shield fungiert als Brücke zwischen Red Pitaya und dem umfangreichen Angebot an Click-Boards™. Es ermöglicht eine nahtlose Integration, ohne dass eine komplexe Verkabelung oder fortgeschrittene technische Kenntnisse

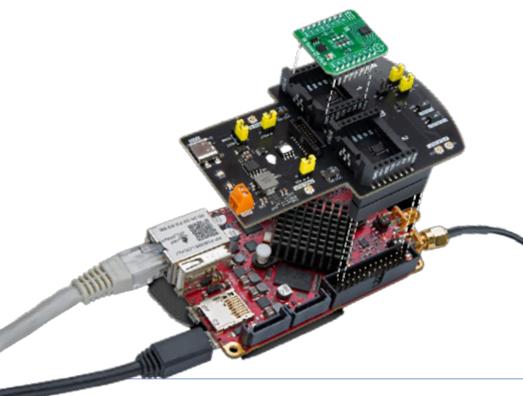
erforderlich sind. Bringen Sie das Red Pitaya Click-Shield einfach an Ihrem Red Pitaya an, schließen Sie die von Ihnen ausgewählten Click-Boards™ an, und schon sind Sie bereit für Innovationen.

Wie kann es Ihre Projekte unterstützen?

- **Unendliche Anpassungsmöglichkeiten:** Stellen Sie sich vor, Sie könnten mit minimalem Aufwand jede gewünschte Funktionalität hinzufügen. Müssen Sie Umgebungsbedingungen überwachen, Motoren steuern oder drahtlose Kommunikation implementieren? Dafür gibt es ein Click-Board™!
- **Benutzerfreundlichkeit:** Das Red Pitaya Click-Shield wurde für eine nahtlose Integration entwickelt und macht komplizierte Konfigurationen überflüssig. Keine Lötarbeiten oder komplizierte Verdrahtung - einfach das Click-Board™ einstecken und loslegen.
- **Kostengünstige Erweiterung:** Erweitern Sie die Fähigkeiten Ihres Red Pitaya, ohne in mehrere Spezialgeräte zu investieren. Das Red Pitaya Click-Shield bietet eine budgetfreundliche Möglichkeit, den Umfang Ihres Projekts zu erweitern.
- **Unterstützung durch die Community:** Mit einer großen Benutzer-Community und einer umfangreichen Dokumentation stehen Ihnen alle Ressourcen zur Verfügung, die Sie für Ihren Erfolg benötigen. Tauschen Sie Ideen aus, lassen Sie sich inspirieren, und holen Sie sich Hilfe, wenn Sie sie brauchen. ◀

Ulrich Drees — 240590-02

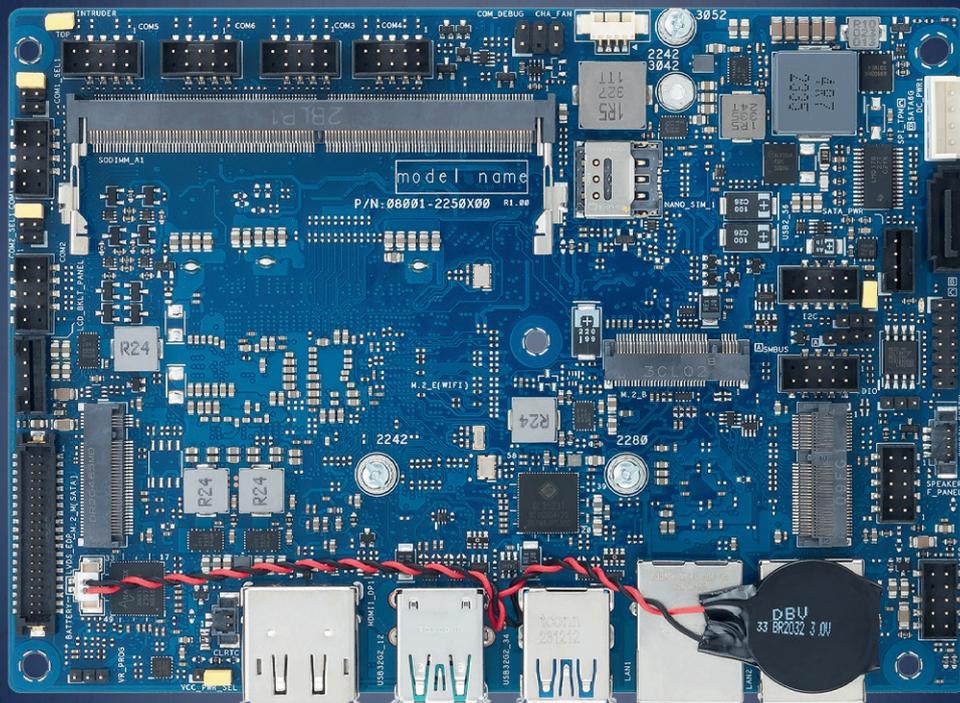
Besuchen Sie uns auf der Messe **electronica 2024, Stand A3/572!** vom 12. bis 15. November in München



ASUS IoT Amston Lake SBC

With **Intel® Deep Learning Boost**, the SBC enables up to **6x faster AI processing**, ideal for complex tasks such as advanced machine learning and image processing.

The Asus IoT Amston Lake SBC is based on the **Intel® Atom™ x7000RE series** and doubles the number of cores without increasing power requirements.



The SBC offers up to **16 GB DDR5 RAM** with **in-band ECC**, which thus ensures maximum performance and also **minimum susceptibility to errors** in edge computing applications.

Designed for temperatures from **-20°C to +70°C** and with a very wide input voltage range of **9-36V**, the board is ideal for harsh industrial conditions.

FORTEC
INTEGRATED

Interested in our products?



BEMERKENSWERTE

BAUTEILE

Ungewöhnliche IC-Gehäuse

Von David Ashton (Australien)

Werfen wir einen Blick auf die faszinierende Entwicklung der integrierten Schaltkreise im Laufe der Jahrzehnte, von den einzigartigen, eigentümlichen, frühen Designs bis zu den heutigen kompakten, standardisierten Gehäusen.

Heutzutage gibt es integrierte Schaltungen (ICs) in immer kleineren Gehäusen, aber nur in wenigen Standardtypen – oberflächenmontierbare Typen (SMDs) mit immer feineren Pin-Abständen und BGA-Typen (Ball Grid Array), bei denen die Anschlüsse alle unterhalb des ICs liegen. Die klassischen bedrahteten Typen - beliebt bei Hobbyisten und Makern ohne Spezialausrüstung - gibt es zwar immer noch, aber sie werden mit der Zeit immer seltener. Früher gab es eine Vielzahl von IC-Gehäusen, manche schön, manche hässlich, aber alle eigenartig im Vergleich zu den heutigen ICs.

Bedrahtete ICs und größere Gehäuse

Heutzutage ist es unwahrscheinlich, dass Sie bedrahtete ICs in größeren Gehäusen als einem 40-poligen, 0,6 Zoll breiten Gehäuse sehen werden. Alles Größere dürfte obenflächenmontierbar sein. Aber in früheren Zeiten waren Gehäuse mit bis zu 64 Pins keine Seltenheit. Hier ist eines - ein 64-poliges DMA-IC namens HD68450 für die Mikroprozessoren der 68000er-Serie von Motorola (**Bild 1**). Es befindet sich in einem Keramikgehäuse; ich glaube, weil Keramiksubstrate eine bessere thermische Stabilität als Kunststoff hatten. Aber sie waren in der Regel auch teuer.



Bild 1. DMA-IC HD68450 für Motorolas Mikrocomputer der Serie 68000, in einem Keramikgehäuse.

Aus der gleichen Zeit stammen EPROMs (Erasable Programmable Read-Only Memory) – Nur-Lese-Speicher (**Bild 2**). Sie waren in 24- bis 40-poligen Standardgehäusen untergebracht, hatten aber ein Quarzfenster auf der Oberseite des Gehäuses. Sie wurden elektrisch programmiert, aber um sie zu löschen und wieder zu verwenden, wurden sie durch das kleine Fenster mit UV-Licht bestrahlt. Die Chips selbst brachen das Licht im richtigen Winkel und schillerten in den schönsten Farben.



Bild 2. Eine Auswahl von EPROMs.

Ein Trick, den die Hersteller anwandten, um mehr Pins auf kleinerer Fläche unterzubringen, war die Quad-in-Line-Gehäuse, bei denen die Pins zwei Lochreihen auf jeder Seite des Chips einnahmen. Auf diese Weise konnten die Hersteller die Pins näher beieinander platzieren, ohne dass kleinere Pads auf der Platine benötigt wurden. Ein großes dieser Gehäuse ist in **Bild 3** zu sehen.



Bild 3: Quad-In-Line-IC RS6511. (Quelle: Guido Körber / Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0)

Seltsamerweise wurde die gleiche Technik auch für viel kleinere ICs verwendet. Motorola stellte ein elektronisches Dämpfungsglied namens MFC6040 mit sechs Pins her (**Bild 4**). Warum sie diese nicht einfach in einem Standard-DIL8-Gehäuse hergestellt haben, weiß ich nicht...

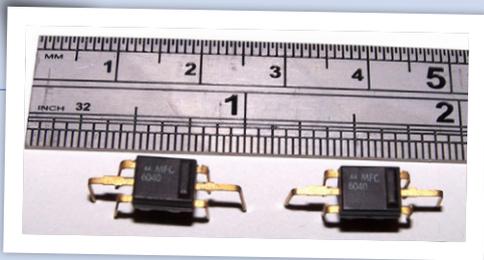


Bild 4. Sechspoliges Quad-in-Line-Dämpfungsglied MFC6040.

Bevor es DIL-ICs gab, hatten wir natürlich die runden TO-99-Gehäuse für Operationsverstärker und sogar einige alte digitale ICs. Die frühen 709- und 741-Operationsverstärker waren sehr häufig in diesem Gehäuse untergebracht. Sie wurden TO-99 genannt, wenn sie 8 Pins oder 10 Pins hatten (ich habe auch TO-74 für 10-Pin-Typen gesehen), und TO-5 oder TO-39, wenn sie wie Transistoren nur 3 Pins aufwiesen. Es ist erstaunlich, was man alles in diesen alten runden Gehäusen finden kann - ich habe sogar einige NE555-Timer in dieser Bauform. Eine Auswahl dieser ICs ist in **Bild 5** zu sehen. Dies war das übliche Gehäuse für frühe ICs aller Art.



Bild 5. Acht- und zehnpolige TO-99-ICs.

Die Kühlung kleiner Audioverstärker ist immer ein Problem. Leistungsstärkere Verstärker können in einem Gehäuse mit Kühlfahne untergebracht werden, genau wie Spannungsregler oder Leistungstransistoren, aber es wurden auch einige Versuche mit kleineren (etwa 5-W-) Verstärkern unternommen. Die Ergebnisse sind ziemlich merkwürdig (**Bild 6**). Der TAA621 hatte ein Quad-in-Line-Pinout, bei dem der Kühlkörper auf das Kunststoff-IC geklebt war, und das SL403D von Plessey war ein DIL10-IC, bei dem der Chip tatsächlich auf dem Kühlkörper montiert war. Diese beiden Verstärker waren nicht nur hässlich anzusehen, sondern auch notorisch unzuverlässig...

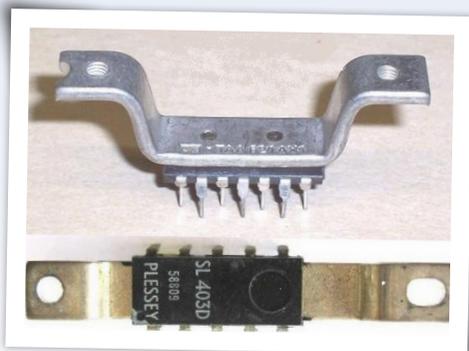


Bild 6. Audioverstärker mit Kühlkörper. Ein Quad-in-Line TAA621 (oben) und ein Plessey SL403D (unten).

Groß rauskommen

Das Beste habe ich mir bis zum Schluss aufgehoben! Dieses Monster in **Bild 7** besteht aus einem quadratischen Keramiksockel mit einer Seitenlänge von fast 3 Zoll, auf dem drei große SMD-ICs zusammen mit ein paar SMD-Kondensatoren und einem Widerstand montiert sind. Technisch gesehen handelt es sich nicht um eine integrierte Schaltung, sondern um eine Hybridschaltung, aber sie ist hübsch. Auf einem der ICs ist ein runder Kühlkörper montiert, wie ein Hubschrauberlandeplatz. Es ist ein 32-Bit-DRAM-Beschleuniger CYM7232S40HGC aus einem Server der frühen 1990er Jahre. 371 Pins (meine Zählung) und eine riesige Fassung gehören dazu.

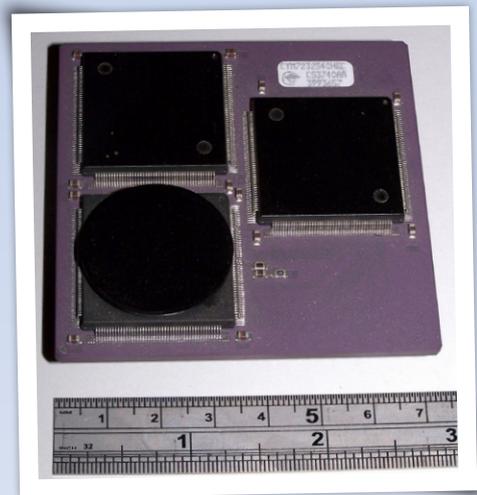


Bild 7. Ein DRAM-Beschleuniger-IC der frühen 1990er Jahre.

Dies ist ein keineswegs erschöpfender Blick auf einige der bemerkenswertesten IC-Gehäuse, die es in der Vergangenheit gegeben hat. Wenn ich mir die heutigen QFP-, QFN- und BGA-Gehäuse ansehe, bin ich mir nicht sicher, ob die Dinge damals nicht einfacher gewesen sind, besonders für uns Maker! ◀

SG — 240417-02



Über den Autor

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

Sie haben Fragen oder Kommentare?

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

Auf dem Weg an die Spitze: Industrielle 3D-Drucker

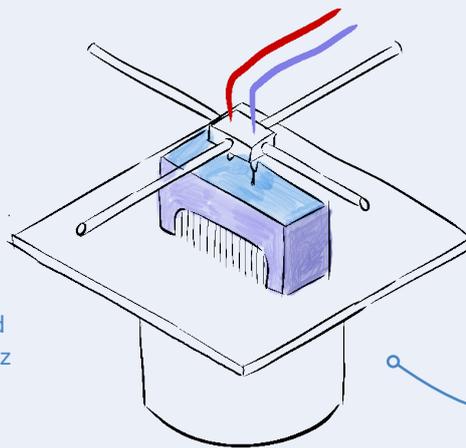
Im Jahr 2023 beherrschten industrielle 3D-Drucker den Weltmarkt und machten etwa 76 % des Gesamtumsatzes aus, da sie in verschiedenen Schwerindustrien für die Herstellung komplizierter und präziser Komponenten eingesetzt werden. In der Zwischenzeit gewinnen Desktop-3D-

Drucker, die ursprünglich bei Hobbyisten beliebt waren, deutlich an Zugkraft. Das „Einstiegssegment“ mit Druckern bis zu einem Preis von 2.500 US-Dollar verzeichnete im dritten Quartal 2023 ein Wachstum von 9 % gegenüber dem Vorjahr [6]. Unternehmen wie Creality,

Anycubic und Bambu Lab sind die Hauptakteure in diesem Bereich. Das Aufkommen von „Fabshops“ in den USA, die 3D-Druckdienste auf Abruf anbieten, unterstreicht die steigende Nachfrage nach Desktop-Druckern neben der anhaltenden Dominanz von industriellen Druckern.

Wichtige 3D-Druckverfahren

Aufstrebende 3D-Drucktechnologien wie Stereolithografie (SLA), selektives Laser-Sintern (SLS) und Fused Deposition Modeling (FDM) gewinnen zunehmend an Bedeutung und bieten spezielle Lösungen. SLA ist für seine Präzision bei der Herstellung komplizierter Details bekannt, SLS wird wegen seiner Fähigkeit bevorzugt, haltbare, funktionelle Teile ohne Stützstrukturen herzustellen, und FDM wird wegen der Vielseitigkeit und Kosteneffizienz bei der Erstellung von Prototypen und Kleinserien weithin eingesetzt. Die Stereolithografie war 2023 aufgrund ihrer Zuverlässigkeit und einfachen Anwendung mit einem Anteil von 10 % am weltweiten Umsatz [3] marktführend. FDM machte 2023 einen bedeutenden Teil des Umsatzes aus, da es in verschiedenen 3DP-Verfahren weit verbreitet ist.



FDM

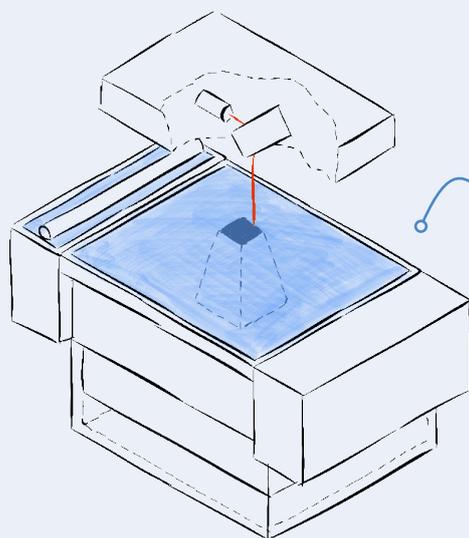
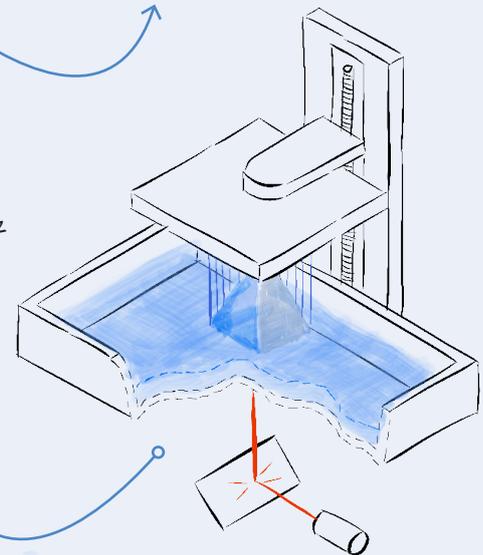
- Fused Deposition Modeling
- > Schmelzen und Extrudieren von thermoplastischem Filament
 - > Niedrigster Preis für Einstieg und Materialien
 - > geringste Auflösung und Genauigkeit

AM BESTEN GEEIGNET FÜR:
Einfache Proof-of-Concept-Modelle und einfaches Prototyping

SLA Stereolithographie

- > Laser härtet Photopolymerharz
- > Hochgradig vielseitige Materialauswahl
- > Höchste Auflösung und Genauigkeit, feine Details

AM BESTEN GEEIGNET FÜR:
Funktionales Prototyping, Muster, Formen und Werkzeugbau



SLS Selektives Laser-Sintern

- > Laser verschmilzt Polymerpulver
- > Geringe Kosten pro Teil, hohe Produktivität und keine Stützstrukturen
- > Hervorragende mechanische Eigenschaften, die denen von Spritzgussteilen ähneln

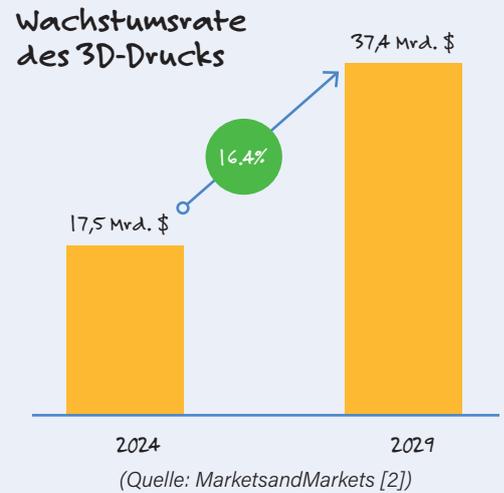
AM BESTEN GEEIGNET FÜR:
Funktionsprototyping und Endverbraucherproduktion

Quelle: 3D Printers Perth

3D-Druck:

Ein genauer Blick auf die neusten Statistiken

Die 3D-Druckindustrie wird für ein breiteres Publikum zugänglich [1], da die Unterscheidung zwischen Verbraucher- und Profigeräten immer mehr verschwindet. Erschwingliche, qualitativ hochwertige 3D-Drucker ermöglichen es immer mehr Unternehmen, diese Technologie in ihre täglichen Abläufe einzubinden. Dies beschleunigt das Marktwachstum [2] und fördert die Innovation bei etablierten Unternehmen. Der Trend deutet darauf hin, dass 3D-Druck an den Arbeitsplätzen bald so weit verbreitet und verfügbar sein wird wie herkömmliche Bürodrucker, was die Art und Weise verändern wird, wie Unternehmen an die Entwicklung und die Fertigung herangehen.



54%

des weltweiten Umsatzes im Jahr 2023 im Prototyping-Segment entfiel auf den 3D-Druckmarkt [3]

23%

des weltweiten Umsatzes im Jahr 2023 im Automobilssektor entfiel auf den 3D-Druckmarkt [3].

CNC-Bearbeitung: Fräsen und Drehen im Vergleich

Die traditionellen Fertigungsverfahren wie Spritzguss und CNC-Bearbeitung spielen nach wie vor eine wichtige Rolle als Alternativen zum 3D-Druck, vor allem in der Massenproduktion und bei hochpräzisen Anforderungen.

Drehen und Fräsen im Überblick

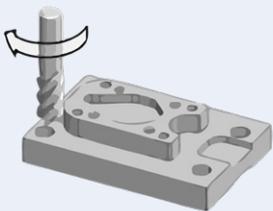
Drehen	Fräsen
Lagermaterial	Quadratischer/Rechteckiger Block
Rundstab	
Form des Endprodukts	
Zylindrisch oder kegelförmig	Rechteckig/quadratisch
Maschine	
Drehbank	Fräsmaschine
Bewegung	
Werkstück: rotierend	Werkstück: stationär
Schneidwerkzeuge: stationär	Schneidwerkzeuge: rotierend

Quelle: Pioneer Service Inc.

Anwendungen

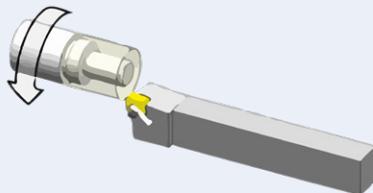
CNC-Fräsen

wird für komplexe Formen verwendet: Zahnräder, Formen, komplizierte Teile



CNC-Drehen

ist ideal für zylindrische Teile: Wellen, Bolzen, symmetrische Komponenten



RG - 240427-02

WEBLINKS

- [1] C. Schwaar, „A 3D Printer On Every Desk? Why Companies Are Buying More 3D Printers“, Forbes, Mai 2024: <https://tinyurl.com/desktop-3d-printers>
- [2] MarketsandMarkets, „3D Printing Market“, 2023: <https://tinyurl.com/mam-3d-printing>
- [3] GVR, „3D Printing Market Size & Trends“, 2023: <https://tinyurl.com/gvr-3d-printing>
- [4] 3D Printers Perth, „FDM vs SLA vs SLS 3D Printers“: <https://tinyurl.com/fdm-vs-sla-vs-sls>
- [5] Pioneer Service Inc., „Turning Vs. Milling: What's the Difference for Machining?“, 2020: <https://tinyurl.com/turning-vs-milling>
- [6] Kety S., „The ‚fall and rise‘ of desktop 3D printing“, 3D ADEPT Media, Juli 2024: <https://3dadept.com/business-the-fall-and-rise-of-desktop-3d-printing/>



HDMI-Digitalmikroskop AD409 Pro-ES von Andonstar

Groß und mit Endoskop

Von Clemens Valens (Elektor)

Das Andonstar AD409 Pro-ES von Andonstar ist ein sogenanntes HDMI-Digitalmikroskop. Es verfügt über ein 10-Zoll-HDMI-Display und eine Kamera mit einer starken Vergrößerungslinse. Diese Einheit ist auf einem präzise verstellbaren Ständer montiert, der eine präzise Positionierung ermöglicht. Mit dem Mikroskop können Sie beispielsweise elektronische Schaltungen und andere kleine Objekte untersuchen

Das Mikroskop ist wegen der maximalen 300-fachen Vergrößerung für medizinische oder biologische Anwendungen nicht gut geeignet, da der maximale Vergrößerungsfaktor 300-fach ist. Dies ist für die Betrachtung von Zellen und ähnlichen Objekten nicht ausreichend ist. Für die Betrachtung elektronischer Baugruppen ist der Vergrößerungsfaktor jedoch mehr als ausreichend. HDMI bezieht sich nicht nur auf das mitgelieferte Display des Mikroskops; es bedeutet auch, dass das Gerät über einen HDMI-Ausgang verfügt, an den ein anderes (größeres) Display angeschlossen werden kann. Es kann aber immer nur ein Display aktiv sein, so dass Sie sich zwischen dem Display des AD409 und dem externen Display entscheiden müssen.

Andonstar AD409 für Aufnahme und Export von Videos und Fotos

Neben der rein optischen Betrachtung kann das Mikroskop auch Videos aufzeichnen (MP4, vier Auflösungen von UHD 2.880×2.160 bei 24 fps bis HD 1.280×720 bei 120 fps) und Fotos aufnehmen (mit einer Auflösung von bis zu 5.600×4.200 Pixel), wie in **Bild 1** zu sehen. Das Mikroskop speichert diese Daten auf einer microSD-Karte (bis zu 64 GB), aber die Dateien sind auch über USB zugänglich. Daher lassen sie sich leicht in die zugehörige PC-Anwendung exportieren, die für die weitere Bildanalyse zur Verfügung steht.

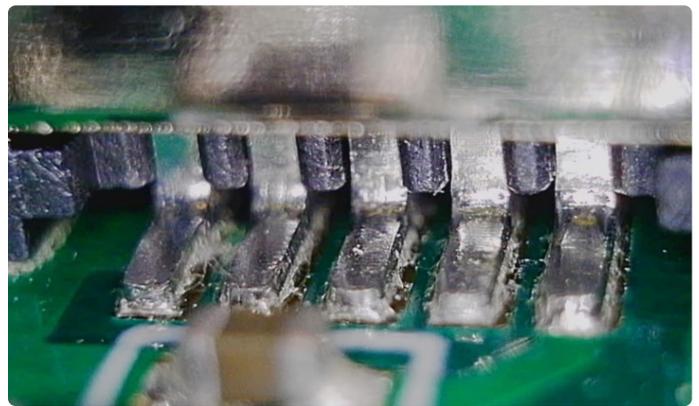


Bild 1. Eine Auflösung von 5.600×4.200 Pixeln ermöglicht eine hohe Detailgenauigkeit.

Mit dem PC-Tool (nur Microsoft Windows) können Sie ein Bild mit Anmerkungen versehen und alle Arten von Präzisionsmessungen an Details des Bildes vornehmen. Außerdem verfügt es über einige grundlegende Funktionen zur Bildverbesserung und kann einige Funktionen des Mikroskops fernsteuern.

Vier AD409-Versionen

Das AD409 gibt es in vier Ausführungen: AD409, AD409 Pro, AD409 Max Pro und AD409 Pro-ES. Das Optik-/Kamera-/Anzeigesystem ist bei allen vier identisch; die Unterschiede liegen im Lieferumfang. Ich habe das AD409 bereits in einem anderen Artikel [1] unter die Lupe genommen; daher will ich nicht noch einmal auf diese Details eingehen.

Höherer Ständer mit mehr Funktionen

Im Vergleich zum AD409 haben das AD409 (Max) Pro und das AD409 Pro-ES einen anderen, höheren und aufwändigeren Ständer (**Bild 2** und **Bild 3**). Beim AD409 ist dies nur eine kurze Säule, während das (Max) Pro und das Pro-ES zusätzlich eine Halterung besitzen. Damit lässt sich das Mikroskop vertikal nach oben und unten sowie horizontal zum Benutzer hin und von ihm weg bewegen. Außerdem kann es um 360° um die Mittelsäule gedreht werden. Die Säule selbst kann nach hinten und vorne gekippt werden, so dass sie der Kamera viel Bewegungsfreiheit bietet. Ein verstellbarer Ring, der sich an der Säule nach oben und unten verschieben lässt, kann entweder als Höheneinstellung oder als Schutz gegen ein zu starkes Absenken des Mikroskops dienen.

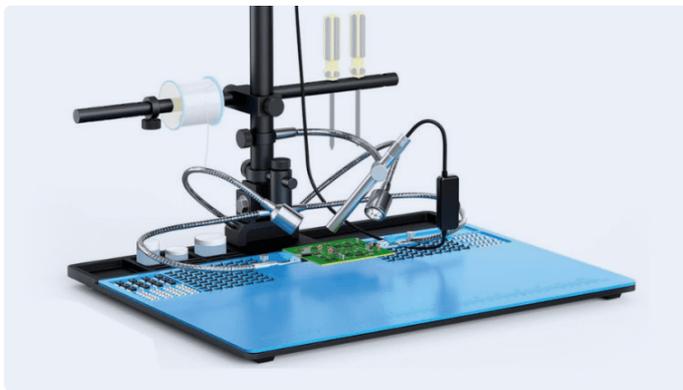


Bild 2. Das AD409 Max Pro verfügt über eine große, silikonbeschichtete Grundplatte, einen Werkzeughalter und flexible Arme zum Festhalten einer Platine oder eines anderen Objekts.

Reichlich Spielraum

Ich habe einen maximalen Abstand von 25,3 cm zwischen dem Objektiv und der Grundplatte gemessen (7,7 cm beim AD409). Dreht man die Kamera um 90° nach links oder rechts, kommen noch einmal 12 mm hinzu (achten Sie aber darauf, dass das Gerät nicht umkippt). Das ist nicht nur viel Platz für große Objekte, sondern auch für Ihre Hände, die Werkzeuge halten. Es bedeutet aber auch, dass das Mikroskop über 50 cm hoch ist und ein wenig wackeln kann, wenn Sie gegen den Labortisch stoßen.

Das AD409 Pro-ES mit Endoskop

Das AD409 Pro-ES ist das Spitzenmodell der Reihe von HDMI-Digitalmikroskopen und besitzt neben dem größeren Pro-Stativ auch ein Endoskop. Dabei handelt es sich um eine stiftförmige Kamera mit einem Durchmesser von fast 13 mm. Es ist mit einem flexiblen Arm ausgestattet, der höhenverstellbar an der Säule befestigt wird. Das Endoskop vergrößert nicht, besitzt aber einen dimmbaren weißen LED-Ring, um das zu untersuchende Objekt zu beleuchten oder in sein Inneres zu sehen (Bild 4).

Das HDMI-Display kann zwischen Mikroskopkamera und Endoskop umgeschaltet werden. Es gibt auch einen Modus, in dem das Endoskopbild in einem Viertel des Kamerabildes überlagert wird, so dass Sie zwei verschiedene Ansichten des Objekts gleichzeitig sehen können.

Ein wirklich genauer Blick

Die Tatsache, dass das Endoskop nicht vergrößert, ist kein Problem, denn Sie können es ganz nah an das gewünschte Objekt heranzuführen. Auf diese Weise werden selbst winzige Details groß und sichtbar, wie in der Aufnahme Bild 5 zu sehen ist. Das Endo-

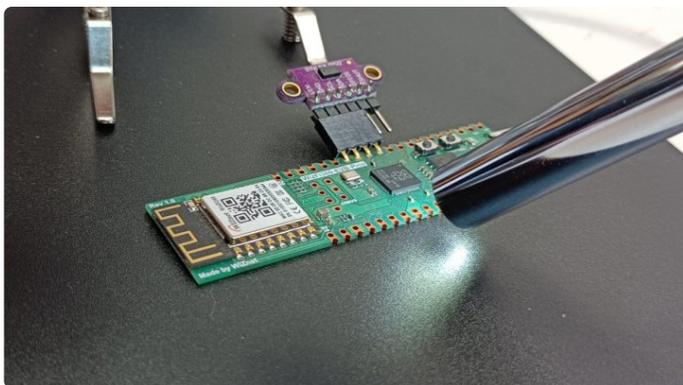


Bild 4. Das Endoskop mit integriertem LED-Ring ermöglicht es, Details aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten und auch in das Innere von Objekten zu blicken.



Bild 3. Das Andonstar AD409-Pro (ES) ist einen ganzen Kopf größer als das AD409.

skop eignet sich hervorragend, um zum Beispiel Lötstellen unter USB-Verbindern zu untersuchen. Der Fokus ist mit einem Ring am hinteren Ende des Geräts einstellbar. Halten Sie aber den flexiblen Arm des Endoskops gut fest, sonst kann sich die Kamera drehen, während Sie versuchen, den Fokus einzustellen. Obwohl der flexible Arm praktisch ist, fehlt ihm beim Einstellen des Fokus eine gewisse Stabilität, wodurch sich das Bild bewegt. Das Einstellen des Fokus der Mikroskopkamera hat einen ähnlichen Effekt, ist aber weniger problematisch.

Um die Ecke schauen

Die typische Verwendung eines Endoskops ist es, in das Innere von Gegenständen und Rohren hineinzusehen, und dafür gibt es einige praktische Zubehörteile, die über die Kameraspitze geschoben werden. So ermöglicht beispielsweise ein Seitenspiegel eine periskopische Sicht, mit der Sie um die Ecke, hinter ein Objekt schauen können. Mit zwei weiteren Spiegeln können Sie Löcher inspizieren, deren Durchmesser kleiner ist als der des Endoskops. Schließlich kann sich der LED-Ring des Endoskops als dritte Lichtquelle für die Kamera des Mikroskops nützlich machen.

Ich habe keine technischen Daten für das Endoskop gefunden und weiß daher weder, wie hoch seine Auflösung ist, noch ob es die gleiche Videoaufnahmequalität wie die Mikroskopkamera bietet. Um das herauszufinden, habe ich versucht, Bilder und Videos aufzunehmen, doch dabei traten einige Probleme auf.

AD409 Pro-ES und Probleme mit der SD-Karte

Laut Handbuch kann das AD409 mit einer microSD-Karte von 64 GB (Class 10) betrieben werden. Ich hatte zufällig eine, die ich auf meinem PC formatiert hatte. Das Aufspielen von Fotos funktio-

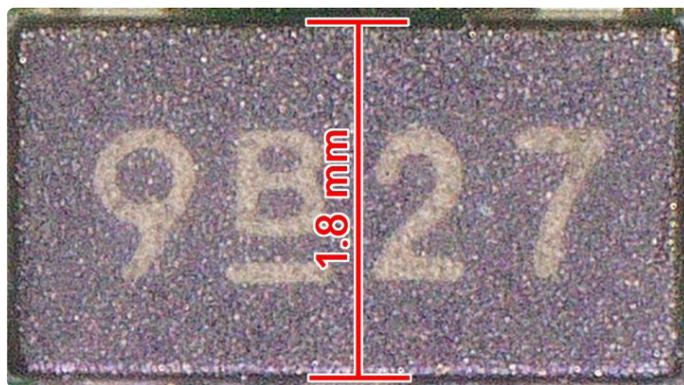


Bild 5. Eine hochwertige Bilderfassung ermöglicht präzise Messungen.

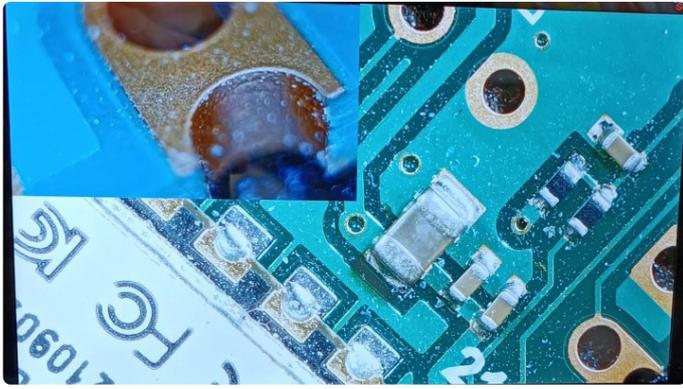


Bild 6. Das Bild-im-Bild-Display zeigt Endoskop- und Mikroskopbilder gleichzeitig.

nierte, aber der Versuch, ein Video aufzunehmen, führte zu einem Fehler. Daher habe ich die SD-Karte mit dem Mikroskop selbst neu formatiert, aber das hat nicht geholfen. Das Ersetzen der SD-Karte durch eine 8-GB-Karte löste das Problem. Jetzt konnte ich Videos und Fotos aufnehmen. Nachdem ich jedoch die höchste Videoauflösung UHD P24 eingestellt hatte, funktionierte gar nichts mehr. Es war nicht mehr möglich, Videos aufzunehmen oder Fotos zu machen, und auch die Menütaste auf der Fernbedienung funktionierte nicht mehr. Ein Neustart des Mikroskops löste das Problem, da das Mikroskop scheinbar nicht alle Einstellungen zwischen den Stromversorgungszyklen beibehält.

Video von zwei Kameras gleichzeitig

Ich habe eine Weile gebraucht, um herauszufinden, wie man die Kamera für die Videoaufzeichnung auswählt. Wie es sich herausstellte, geschieht dies bei der Einstellung der Videoauflösung. Wenn man das entsprechende Menü öffnet, wird eine Liste von Möglichkeiten angezeigt. Es gibt zwei Einträge, die ein wenig seltsam aussehen: HD P30+HD P30 und FHD P30+FHD P30. Wenn Sie einen dieser Einträge wählen, nimmt das Mikroskop von beiden Kameras gleichzeitig auf (**Bild 6**) (was ziemlich cool ist, wie ich finde). Auf der SD-Karte finden sich dann zwei Dateien, eine mit einem Namen, der auf „A“ (Mikroskop) und die andere mit „B“ (Endoskop) endet. Alle anderen Videoauflösungen funktionieren nur für die Mikroskopkamera.

Funktioniert auch bei der Aufnahme von Bildern

Fotografien werden immer von beiden Kameras gleichzeitig aufgenommen, unabhängig von der Auflösung. Das Fotografieren mit der höchsten Auflösung (5.600×4.200) ist also mit beiden Kameras möglich (auch wenn ich nicht überzeugt bin, dass das Endoskop wirklich so viele Pixel hat). Wie bei den Videodateien stammen die Fotos mit den Dateinamen, die auf „A“ enden, vom Mikroskop, während die Dateinamen, die auf „B“ enden, vom Endoskop aufgenommen wurden.

Ein leistungsfähiges Instrument

Das HDMI-Digitalmikroskop AD409 Pro-ES von Andonstar ist ein sehr leistungsfähiges Instrument für die visuelle Inspektion von kleinen Objekten und Details (**Bild 7**). Mit seinem Vergrößerungsverhältnis von 300× ist es zwar nicht für den medizinischen



Bild 7. Das AD409 Pro-ES von Andonstar ist auch mit einer Fernbedienung ausgestattet.

Einsatz geeignet, aber es ist perfekt, um beispielsweise Lötstellen und winzige SMT-Bauteile genau zu betrachten. Das Endoskop der ES-Version eignet sich hervorragend, um das zu untersuchende Objekt aus einem anderen Winkel als von oben, aus nächster Nähe oder sogar von innen zu betrachten. Und wenn Sie es gerade nicht als Kamera benötigen, ist es immer noch als dritter verstellbarer Scheinwerfer nützlich.

Hochwertige Bilder mit AD409 Pro-ES

Sowohl das Mikroskop als auch das Endoskop können gleichzeitig für die Aufnahme hochwertiger Videos oder Fotos verwendet werden. Allerdings kann nur das Mikroskop Videos in UHD-P24-Auflösung aufnehmen.

Die extrahohe Säule bietet viel Platz, um darunter das Objekt und/oder die Hände zu bewegen, ohne dass die Gefahr besteht, gegen die Kamera zu stoßen. Mit den unabhängigen horizontalen und vertikalen Positionssteuerungen können Sie das Mikroskop auf fast jeden Punkt des Objekts ausrichten, ohne dieses zu bewegen. Das HDMI-Digitalmikroskop AD409 Pro-ES von Andonstar ist eine hervorragende Ergänzung für jeden Elektronikarbeitsplatz und jedes Labor, aber auch für andere Anwendungen, die eine genaue Inspektion kleinster Details erfordern. ◀

RG - 240453-02



Passende Produkte

- > **Andonstar AD409 10,1" HDMI-Digital-Mikroskop**
www.elektor.de/19681
- > **Andonstar AD409 Pro-ES 10,1" HDMI-Digital-Mikroskop (inkl. Endoskop)**
www.elektor.de/20427
- > **Andonstar AD409 Max-ES 10,1" HDMI-Digital-Mikroskop (inkl. Endoskop)**
www.elektor.de/20852
- > **Andonstar AD210 10,1" Digital-Mikroskop**
www.elektor.de/20802

WEBLINK

[1] C. Valens, „Get Precise with the Andonstar AD409 Digital Microscope“, elektormagazine.de, Mai 2021:
<https://elektormagazine.com/news/get-precise-with-the-andonstar-ad409-digital-microscope>

Von Design zum Produkt

PCB/PCBA Design

PCB/PCBA Produktion

**Bester
Preis**

Zentralisierte
Produktion zur
Kostensenkung

**Top
Qualität**

Zuverlässige Qualität
aus langjährig
etablierten Fabriken

**Echter
Service**

Professioneller
Kundenservice
online verfügbar

**Schnelle
Lieferung**

Ihre Produkte sind
in nur 3 Tagen bei
Ihnen

5,4M +

Kunden

6000 +

Mitarbeiter

14,5M +

Bestellungen
/Jahr

9M +

PCBs
produziert/Jahr

Registrieren, um

\$60 Gutschein für Neukunden zu erhalten
jeden Monat \$24 SMT-Service-Gutschein

**Scannen
für 10\$
exklusiven
Gutschein**

