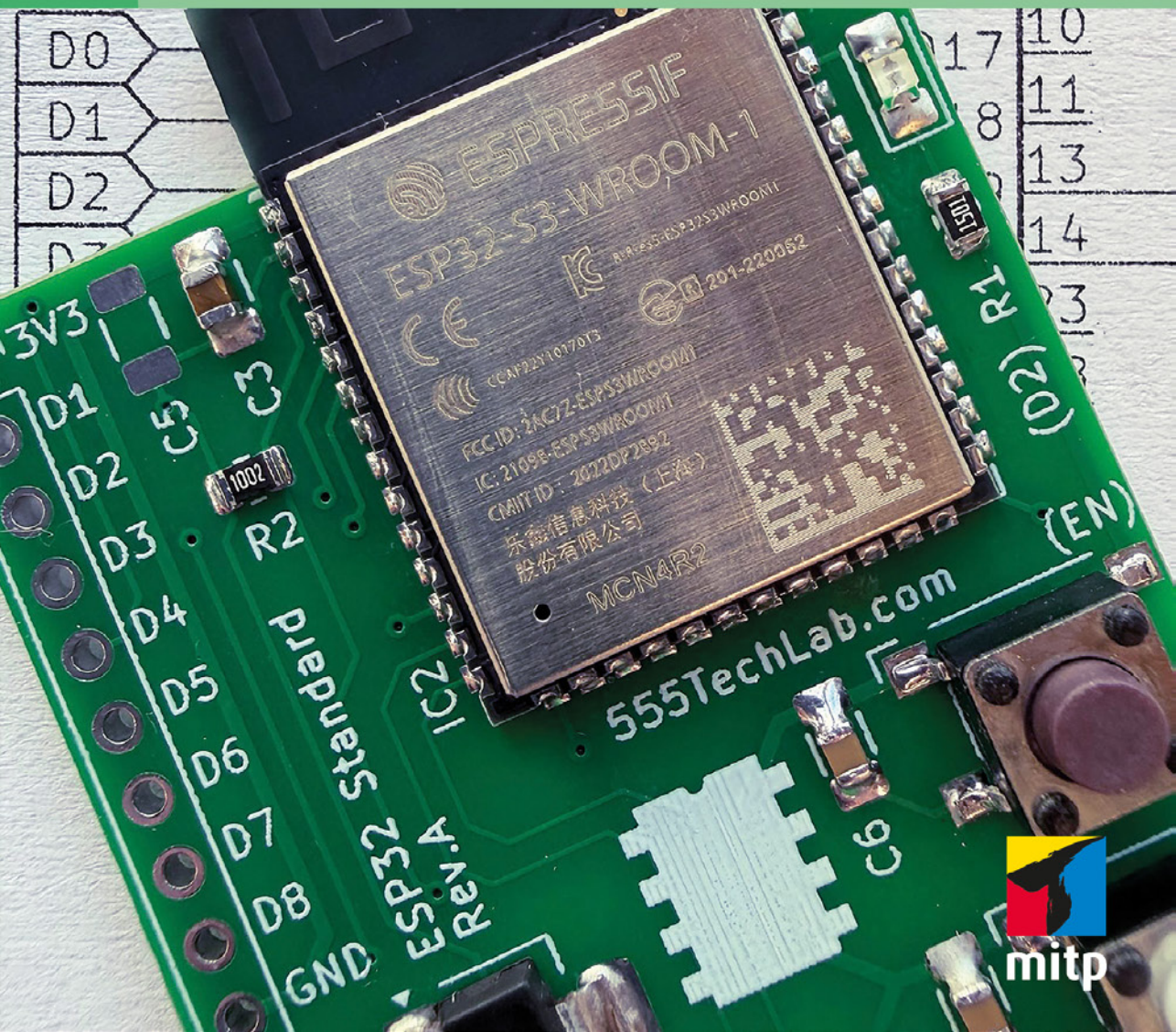


Thomas Brühlmann

ESP32 Mikrocontroller

Praxiseinstieg für Maker

IoT-Projekte und eigene Hardware-Ideen umsetzen



Hinweis des Verlages zum Urheberrecht und Digitalen Rechtemanagement (DRM)

Liebe Leserinnen und Leser,

dieses E-Book, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Mit dem Kauf räumen wir Ihnen das Recht ein, die Inhalte im Rahmen des geltenden Urheberrechts zu nutzen. Jede Verwertung außerhalb dieser Grenzen ist ohne unsere Zustimmung unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen sowie Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Je nachdem wo Sie Ihr E-Book gekauft haben, kann dieser Shop das E-Book vor Missbrauch durch ein digitales Rechtemanagement schützen. Häufig erfolgt dies in Form eines nicht sichtbaren digitalen Wasserzeichens, das dann individuell pro Nutzer signiert ist. Angaben zu diesem DRM finden Sie auf den Seiten der jeweiligen Anbieter.

Beim Kauf des E-Books in unserem Verlagsshop ist Ihr E-Book DRM-frei.

Viele Grüße und viel Spaß beim Lesen

Ihr mitp-Verlagsteam



Thomas Brühlmann

ESP32 Mikrocontroller

Praxiseinstieg für Maker

IoT-Projekte und eigene Hardware-Ideen umsetzen



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de/opac.htm> abrufbar.

ISBN 978-3-7475-1055-1

1. Auflage 2026

www.mitp.de

E-Mail: mitp-verlag@lila-logistik.com

Telefon: +49 7953 / 7189 - 079

Telefax: +49 7953 / 7189 - 082

© 2026 mitp Verlags GmbH & Co. KG, Augustinusstr. 9a, DE 50226 Frechen

Dieses Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Lektorat: Sabine Schulz

Sprachkorrektorat: Petra Heubach-Erdmann

Covergestaltung: Christian Kalkert

Bildnachweis: Nik Jason Brühlmann

Satz: Petra Kleinwegen

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung	11
1	Einführung	15
1.1	Boards	15
1.2	Verbindungen	16
1.3	Stromversorgung	18
1.4	Anforderungen für den Einstieg	19
2	Hardware des ESP32	21
2.1	ESP32-Serien	22
2.2	ESP32-Entwicklungsboards	24
2.2.1	ESP32-C3-DevKitM-1	25
2.2.2	ESP32 MiniKit	28
2.2.3	XIAO ESP32C3	29
2.2.4	CodeCell	30
2.2.5	ESP32 Lite	31
2.2.6	Vergleich der Boards	32
2.3	Noch mehr ESP32-Boards	33
2.3.1	M5Stack	33
2.3.2	Oxocard Connect	37
2.4	ESP32-Module	38
2.4.1	ESP32-WROOM	39
2.4.2	ESP32-S3-WROOM	40
2.4.3	Vergleich ESP32 WROOM	42
2.4.4	ESP32 Mini	43
2.4.5	ESP32-Modul – Breakout-Board	44
2.5	ESP32-Chip (SoC)	45
3	Software	47
3.1	Entwicklungsumgebungen	47
3.2	Arduino-IDE	48
3.2.1	Installation von Arduino-IDE	48
3.2.2	Start	49
3.2.3	Boardmanager	50
3.2.4	Verbindungsaufbau	52
3.2.5	Blink-Programm	52

3.3	ESP-IDF	54
3.3.1	Command-Line-Installation (Windows)	54
3.3.2	VS Code – Erweiterung	68
3.4	Entwicklungsumgebung Thonny	81
3.5	Programmiersprachen	83
3.5.1	C++	83
3.5.2	MicroPython	83
3.5.3	Rust	92
3.6	ESP32-Betriebsmodus	92
3.6.1	USB-Treiber	93
3.7	Flashen des Programms	94
3.7.1	Flashen via USB	94
3.7.2	Flashen mit esptool	95
3.7.3	Flashen via OTA (Over the Air)	101
4	Programmierung in C++	105
4.1	Programmaufbau	105
4.2	Konventionen	108
4.2.1	Klammern	108
4.2.2	Semikolon	110
4.2.3	Kommentare	110
4.3	Datentypen	111
4.4	Variablen	112
4.4.1	Variablendeklaration	113
4.4.2	Konstante	113
4.5	Datentyp-Konvertierung	115
4.6	Funktionen	116
4.7	Kontrollstrukturen	118
4.8	Ein- und Ausgabe	121
4.8.1	Eingänge und Ausgänge	121
4.8.2	Serielle Ausgabe	124
4.9	Bibliotheken	125
5	Programmierung in MicroPython	129
5.1	Hardware	129
5.2	Programmaufbau	130
5.3	Kommentare	131
5.4	Module	132
5.4.1	Systeminterne Module	132
5.4.2	Eigene Module	133
5.5	Variablen	135

5.6	Funktionen	135
5.6.1	Beispiel: Umrechnung Celsius in Fahrenheit	136
5.7	Schleifen	138
5.7.1	while	138
5.7.2	for	139
5.8	Kontrollstrukturen	141
5.9	Listen	143
5.10	Ein- und Ausgabe	145
5.10.1	Eingänge	146
5.10.2	Ausgänge	147
5.10.3	Serieller Port	148
6	Eingabe, Ausgabe, Schnittstellen	149
6.1	Peripherie	149
6.1.1	Anschluss-Belegung	149
6.1.2	Digitale Eingänge	151
6.1.3	Digitale Eingänge mit Pullup	153
6.1.4	Touch-Eingänge	154
6.1.5	Analoge Eingänge	155
6.1.6	Digitale Ausgänge	158
6.1.7	Analoge Ausgänge	159
6.2	PWM und DAC	160
6.2.1	Pulsweitenmodulation (PWM)	160
6.2.2	PWM mit LEDC	162
6.2.3	Projekt: Analog-Ausgabe als Spannung	164
6.2.4	Digital/Analog-Wandler (DAC)	166
6.3	I2C	168
6.3.1	I2C mit ESP32	169
6.3.2	I2C-Scanner	170
6.3.3	I2C-Anwendung	170
6.3.4	Anwendung – Sensor-Modul einlesen	171
6.3.5	Level-Shifter	175
6.3.6	Projekt: Analoge Signale messen mit ADC-Modul	176
6.4	SPI	184
6.4.1	Signale und Verbindungen	184
6.4.2	SPI-Kommunikation	186
6.4.3	Kommunikation mit mehreren Slave-Modulen	189
6.4.4	Projekt: Temperaturmessung mit PT100	190
6.5	Bluetooth	196
6.5.1	Bluetooth-Versionen	197
6.5.2	Bluetooth mit ESP32	197
6.5.3	Projekt: Seriell über Bluetooth	198

7	Wifi	203
7.1	Bibliothek für ESP32	203
7.2	WLAN-Verbindung	204
7.3	Webclient	206
7.3.1	Webclient mit Parameter	209
7.4	Webserver	210
7.4.1	Aufruf Webserver	211
7.4.2	Bibliothek und Beispiele	212
7.4.3	Asynchroner Webserver	212
7.4.4	Analogwerte anzeigen	214
7.5	MQTT-Client	219
7.5.1	Topics	219
7.5.2	MQTT Prinzip	219
7.5.3	MQTT-Broker	220
7.5.4	MQTT mit ESP32	221
7.6	Projekt: Tasmota	226
7.6.1	Tasmota flashen	227
7.6.2	Tasmota konfigurieren	234
7.6.3	Ausgang steuern	237
7.7	Projekt: ESP-NOW	238
7.7.1	Netzwerktopologie	239
7.7.2	MAC-Adresse	241
7.7.3	Projekt: Sensor-Netzwerk	243
7.7.4	ESP-NOW-Sender	244
7.7.5	ESP-NOW Empfänger	248
8	Anzeigen und Kamera	251
8.1	OLED	251
8.1.1	Ansteuerung und Anschluss	252
8.1.2	Arduino-Library	253
8.1.3	Projekt: Balken-Anzeige	253
8.2	Kamera	257
8.2.1	Anschlussbelegung	259
8.2.2	Bibliothek und Board	260
8.2.3	Anwendung Webcam	261
9	DIY-ESP32-Board	265
9.1	Grundschialtung	265
9.2	Minimalschialtung	266
9.3	Leiterplatte	268
9.4	Leiterplatten-Projekt	269

9.5	Entwicklung Leiterplatte	269
9.5.1	Stromlaufplan und Bauteile	269
9.5.2	Design der Leiterplatte	274
9.6	Prüfung des Layouts	279
9.7	Bereitstellung für Bestellung	281
9.7.1	Gerber-Daten generieren	281
9.7.2	Gerber-Konfiguration für Leiterplattenhersteller	284
9.7.3	Gerber-Daten in Archiv packen	284
9.7.4	Gerber-Daten prüfen	285
9.8	Leiterplatte bestellen	287
9.9	Bestückung	289
9.10	Programmierung und Test	290
9.11	Leiterplatte des ESP32-Boards	290
9.12	Projekt: Standard-Board	291
9.12.1	Stromlaufplan	291
9.12.2	Programmierung	292
10	Troubleshooting	293
10.1	Stromversorgung	293
10.2	Code-Debugging	294
10.3	Upload-Probleme	294
10.4	Wifi-Verbindung	295
10.5	Schnittstellen	296
10.5.1	Serielle Schnittstelle (UART)	296
10.5.2	I2C-Bus	297
10.5.3	SPI	297
11	Werkzeuge	299
11.1	Steckbrett und Kabel	299
11.2	Breadboard-Power-Adapter	300
11.3	Adapter-Platinen	301
11.4	Biegelehre	302
11.5	Stromversorgung/Netzteil	302
11.5.1	Labornetzteil	303
11.6	Messgeräte	304
11.6.1	Multimeter	304
11.6.2	Mini-Oszilloskop	306
11.7	Tools mit 3D-Druck	308
	Stichwortverzeichnis	311



Einleitung

Mikrocontroller sind aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken. Fast in jedem Gerät, das bei uns im Einsatz ist, ist ein Mikrocontroller, in der Umgangssprache »Chip« genannt, verbaut.

Als Endanwender sieht man die kleinen Bausteine kaum, aber sie verarbeiten die Eingangssignale unseres Bewegungsmelders, Rauchmelders oder die Eingabe auf dem Display der Heizung im Keller oder dem Herd in der Küche.

Sie, mein lieber Leser, wollen aber vermutlich nicht nur Geräte einsetzen, sondern mit Mikrocontrollern eigene Lösungen und Projekte realisieren.

Als Hobbyist oder Bastler haben Sie bestimmt schon die ersten Schritte mit den bekannten Arduino-Boards gemacht und wollen nun einen Schritt weiter gehen und Mikrocontroller der ESP-Serie mit höherer Leistung, Speicherbedarf und erweiterter Funktionalität wie Wifi oder Bluetooth verwenden.

Die Mikrocontroller der ESP-Reihe sind von der Firma Espressif entwickelt und auf den Markt gebracht worden. Der ESP8266 wurde im Jahr 2014 erstmals eingeführt und hat auch schnell Einzug in die Welt der Bastler und Maker gehalten. Endlich konnte man ein Arduino-Board mit einer WLAN-Schnittstelle erweitern. Findige Bastler haben dann auch schnell Firmware für die Integration in die Arduino-Umgebung realisiert.

Der ESP8266 hatte einen großen Vorteil für Bastler gegenüber den bisherigen Mikrocontrollern für Arduino-Boards – den Kostenfaktor. Ein ESP8266 kostete nur rund fünf Euro und komplette Boards mit einem ESP8266 waren für wenig mehr zu beziehen.

Wie schnell die Entwicklung weiterging, zeigt die Geschichte des ESP32. Dieser Mikrocontroller wurde nur rund zwei Jahre nach der Einführung des ESP8266 als Nachfolger vorgestellt und hat sich auch schnell in der Maker-Welt durchgesetzt. Mit deutlich mehr Leistung und Funktionen hebt sich der ESP32 von seinem Vorgänger ab. Nun sind plötzlich auch komplexere Anwendungen für Bild und Audio und sogar KI-Anwendungen im Kleinformat möglich.

Die Geschichte des ESP32 ist aber noch nicht fertig. In regelmäßigem Abstand werden neue Typen und Varianten entwickelt. In vielen Smarthome-Projekten mit drahtlosen Schnittstellen wird als Zentraleinheit ein ESP32 eingesetzt.

Dieses Buch ist eine praktische Einführung in die Hardware und Software des ESP32. In praktischen Beispielen lernen Sie, den Mikrocontroller zu programmieren, und Sie erhalten darüber hinaus die Grundlagen für eigene Projekte.

Aufbau des Buches

Die ersten drei Kapitel sind eine Einführung in die Hard- und Software der ESP32-Boards. Diese Kapitel dienen als Grundlage und sollten der Reihe nach durchgearbeitet werden.

Die weiteren Kapitel können teilweise auch übersprungen werden.

In Kapitel 1 erfolgt die Einführung in das Thema ESP32. Dabei werden die Themen Board, Verbindung des Rechners mit dem ESP32 und die Stromversorgung beschrieben. Am Ende des Kapitels werden die notwendigen Komponenten aufgelistet, die man für die ESP32-Experimente benötigt.

Im Kapitel 2 wird die Hardware der ESP32-Familie – die einzelnen Boards, Module und Chips – vorgestellt.

Die notwendige Software für die Programmierung in C++ und MicroPython wird in Kapitel 3 beschrieben.

Kapitel 4 erläutert die Programmierung in C++.

Kapitel 5 beschäftigt sich mit der Programmierung in MicroPython und dem Einsatz der Entwicklungsumgebung Thonny.

In Kapitel 6 geht es um die Peripherie, die Ein- und Ausgänge des ESP32-Mikrocontrollers sowie die verschiedenen Schnittstellen wie I2C, SPI und Bluetooth.

Das Thema Wifi mit dem ESP32 als Webclient und Webserver finden Sie in Kapitel 7. Zusätzlich wird ein MQTT-Client realisiert und die Firmware Tasmota vorgestellt.

In Kapitel 8 wird das ESP32-Board mit einem OLED-Display erweitert. Des Weiteren wird die ESP32-CAM vorgestellt.

In Kapitel 9 wird ein DIY-Board auf Basis eines ESP32-Mikrocontrollers realisiert, das die Grundlage für eigene Board-Entwicklungen sein kann.

Falls Probleme mit dem ESP32 auftauchen, finden Sie in Kapitel 10 Unterstützung beim Troubleshooting.

Zum Schluss werden in Kapitel 11 praktische Werkzeuge und Hilfsmittel für den Bastler und ESP32-Anwender vorgestellt.

Mehr Informationen

Weitere Informationen zu den ESP32-Boards und Anwendungen im Buch sind auf meiner Website erhältlich:

<https://555url.ch/177>

Im Downloadbereich finden Sie alle Beispiele aus dem Buch sowie Ergänzungen und Erweiterungen.

Für Anmerkungen und Anregungen können Sie mit mir per E-Mail oder X Kontakt aufnehmen.

E-Mail: maker@555circuitslab.com

X: <https://x.com/arduinoopraxis>

Die Beispielsketches und weitere Projektdaten finden Sie in meinem Github-Account:

<https://555url.ch/178>

Informationen zu meinen bisherigen Büchern finden Sie unter:

<https://555url.ch/179>

Danksagung

Ich möchte mich auch in diesem Buch ganz herzlich bei meiner Frau Aga dafür bedanken, dass sie mir die Zeit und Freiräume gegeben hat, dieses Buchprojekt zu realisieren. Auch möchte ich mich bei meiner Lektorin Sabine Schulz vom mitp-Verlag für das Vertrauen bedanken. Es war wieder eine sehr angenehme und produktive Zusammenarbeit.

Im Herbst 2025

Thomas Brühlmann

Einführung

Der ESP32 ist in der Praxis nicht nur ein einzelner Mikrocontroller-Typ. Die ESP32-Familie besteht mittlerweile aus einer ganzen Reihe von Typen und Varianten, die in Kapitel 2 im Detail vorgestellt werden.

Die Mikrocontroller-Boards mit einem ESP32 werden mittlerweile von vielen Herstellern produziert und sind im Online-Handel auf der ganzen Welt zu beziehen.

Große Händler wie Amazon oder Aliexpress bieten unzählige Varianten zum Verkauf an.

Für einen Einsteiger und Umsteiger ist das ein großes Angebot und am Anfang ist es zunächst schwierig, einen Überblick zu bekommen. Erste Schritte und Erfahrungen kann man mit verschiedenen Board-Varianten machen – es spielt dabei keine Rolle, ob man Board A oder Board B wählt. Beim Einstieg will man ja meist auch nicht viel Geld ausgeben. Dank der kostengünstigen Mikrocontroller sind auch die fertigen Mikrocontroller-Boards im Vergleich zu den früheren Arduino-Boards recht kostengünstig.

Bei Aliexpress bekommt man solche Boards für wenige Euros.

1.1 Boards

Ein ESP32-Board ist grundsätzlich eine Leiterplatte, auf der der ESP32-Mikrocontroller und die weiteren notwendigen elektronischen Komponenten aufgelötet sind.

In Abbildung 1.1 ist ein ESP32-Board der Firma Espressif zu sehen. An den seitlichen Anschlusspins hat man Zugriff auf die Ein- und Ausgänge und die Spannungsversorgung des Boards. Über einen USB-Stecker wird das ESP32-Board mit einem angeschlossenen Rechner für den Datenupload und die Kommunikation verbunden.

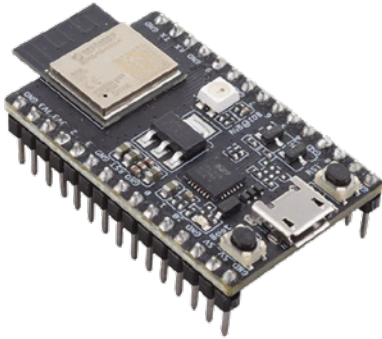


Abb. 1.1: ESP32-Board (Modell ESP32-C3-DevKitM von Espressif)

Mittlerweile gibt es viele verschiedene Board-Varianten und Bauformen. Diese werden detailliert in Kapitel 2 vorgestellt.

1.2 Verbindungen

Eine Verbindung zu einem ESP32-Mikrocontroller erfolgt meistens über ein USB-Kabel. Die meisten ESP32-Boards haben einen USB-Stecker für eine einfache Verbindung mit dem angeschlossenen Rechner.

Neben der seriellen Verbindung über das USB-Kabel wird gleichzeitig auch das ESP32-Board mit Spannung versorgt.

Während der Entwicklungsphase ist also keine zusätzliche Stromversorgung notwendig. In vielen Fällen wird das Board direkt auf das Steckbrett gesteckt (Abbildung 1.2).

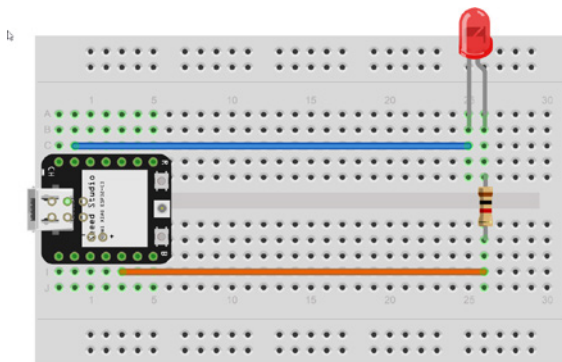


Abb. 1.2: ESP32-Board auf Steckbrett (Board Seed Studio XIA0 ESP32C3)

In diesem Beispiel-Projekt aus Abbildung 1.2 wird eine rote Leuchtdiode über Pin D4 angesteuert. Das verwendete ESP32-Board ist ein XIA0 ESP32C3 des Herstellers Seedstudio.

Falls ein größeres oder breiteres ESP32-Board verwendet wird, kann dieses auch »fliegend«, also nicht aufs Steckbrett gesteckt, verdrahtet werden. In diesem Fall werden nur die extern angeschlossenen Komponenten auf das Steckbrett platziert. Die Verbindungsleitungen, in diesem Fall die beiden Jumper-Wires in Orange (Signal D4) und Blau (GND), dienen dann als Verbindung zu den Anschlusspins auf dem ESP32-Board.

Im Aufbau gemäß Abbildung 1.3 werden Jumper-Wire mit Female-Male-Anschlüssen verwendet. Die Female-Seite kommt an das ESP32-Board und die Male-Anschlüsse werden auf das Steckbrett gesteckt. Voraussetzung bei dieser Variante ist, dass am ESP32-Board Stiftleisten angelötet sind.

Der Grund für den notwendigen fliegenden Aufbau ist die Breite des verwendeten Boards. Wie Sie in Abbildung 1.4 sehen, kann das ESP32-Board auf das Steckbrett montiert werden. Für die Verbindung der Pins mit externen Komponenten, in diesem Fall einer Leuchtdiode, sind keine Steckkontakte auf dem Steckbrett verfügbar.

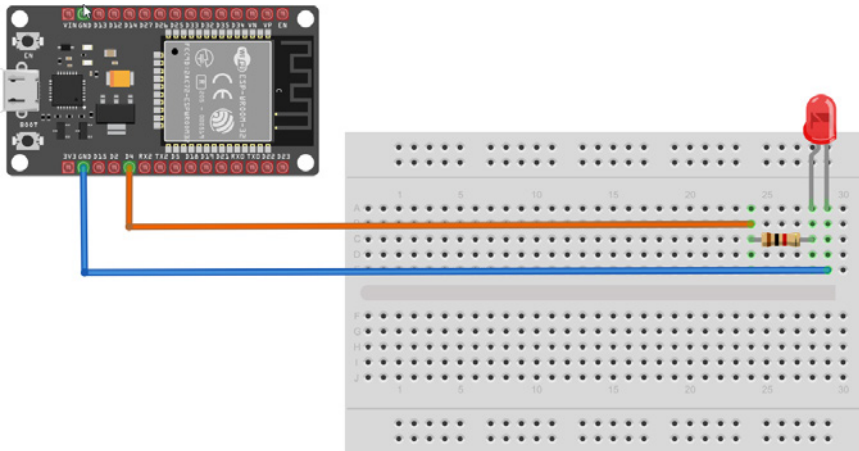


Abb. 1.3: ESP32-Board mit Komponenten auf Steckbrett

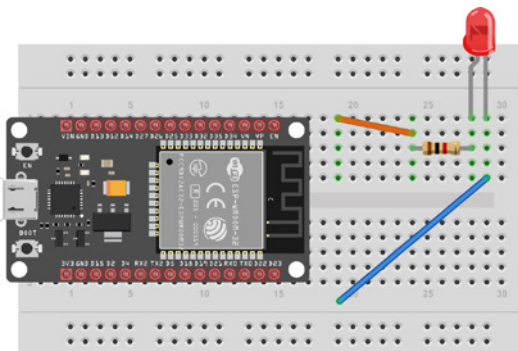


Abb. 1.4: ESP32 auf Steckbrett – fehlende Pins für Anschluss

Um diese Problematik zu umgehen, können als alternative Variante auch zwei einzelne Breadboards verwendet werden (Abbildung 1.5). Diese Variante bringt den Vorteil, dass man für externe Komponenten und Beschaltung noch mehr Platz zur Verfügung hat.

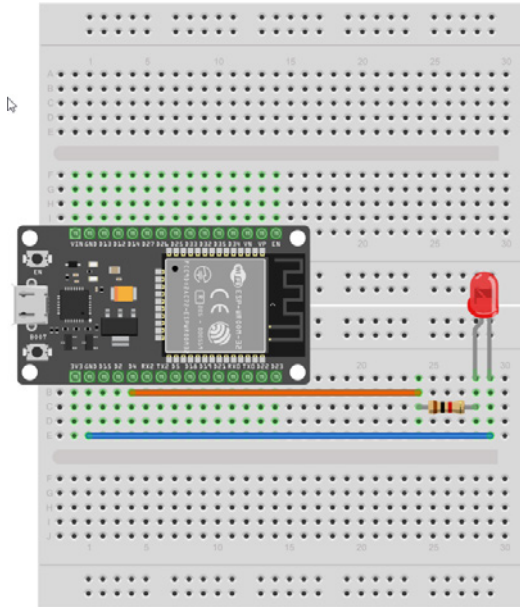


Abb. 1.5: ESP32 auf Steckbrett (Variante mit zwei Boards)

1.3 Stromversorgung

Die Stromversorgung des ESP32-Boards erfolgt in vielen Fällen direkt über den USB-Anschluss. Dieser liefert die 5 V für die Stromversorgung. Da die ESP32-Mikrocontroller aber nur mit 3,3 V versorgt werden können, ist auf den Boards jeweils ein Onboard-Spannungsregler aufgelötet, der die Spannung von 5 V auf 3,3 V regelt.

Beim Anschluss einer externen Versorgungsspannung muss immer genau die Anschlussbelegung des jeweiligen Boards überprüft werden.

In Abbildung 1.6 sehen Sie das ESP32-Board (Typ ESP32-WROOM-32) mit den Anschlusspins VIN (rot) und 3V3 (grün).

VIN ist die Spannung von 5 V, die über den USB-Anschluss zugeführt wird. Die Spannung an 3V3 ist somit die Ausgangsspannung des Spannungsreglers. Diese Spannung kann für die Versorgung von Schaltungsteilen oder externen Bauteilen genutzt werden.

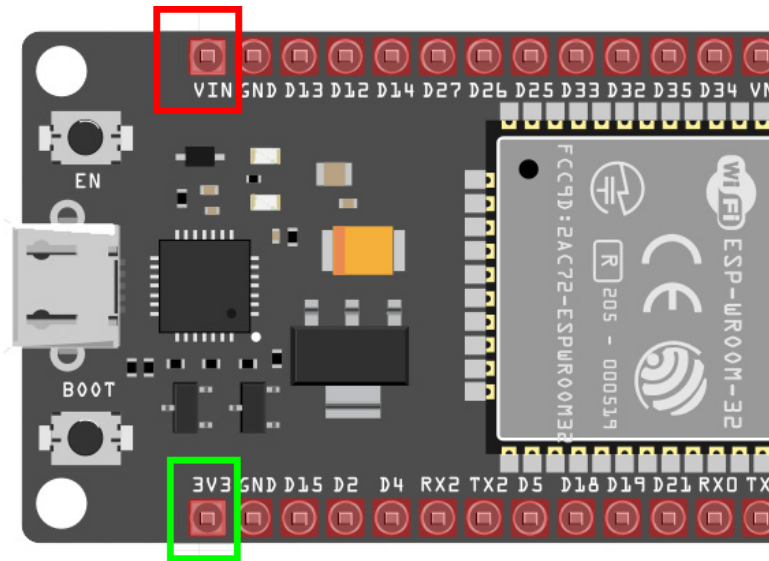


Abb. 1.6: ESP32-WROOM-32 – Versorgungsanschlüsse

1.4 Anforderungen für den Einstieg

Der Einstieg in die Thematik ESP32 ist relativ einfach und erfordert nur wenig Hardware und Software. Bevor es in Kapitel 2 richtig losgeht, müssen Sie einige Dinge vorbereiten und die notwendige Software herunterladen und installieren.

In der nachfolgenden Stückliste sind die notwendigen elektronischen Boards und Komponenten aufgelistet.

Stückliste (Einstieg ESP32)

- 1 ESP32-Board (Auswahl)
 - ESP32-C3-DevKit-M1
 - XIAO ESP32C3
- 1 USB-Kabel (Stecker passend zu oben gewähltem Board)
- 2 Steckbretter (830 Kontakte oder 400 Kontakte)
- Set Jumper-Wire
- Software Arduino-IDE
- Software Thonny

Optionale Bauteile:

- Widerstands-Set
- Leuchtdioden 3 mm oder 5 mm (verschiedene Farben)

Nachfolgend ein paar Vorschläge für Bezugsquellen der oben genannten Komponenten:

ESP32-C3-DevKitM-1

Mouser

<https://555url.ch/101>

XIAO ESP32C3

Reichelt

<https://555url.ch/102>

Seeedstudio

<https://555url.ch/103>

Steckbrett

Steckbretter oder Breadboards gibt es in verschiedenen Größen und Ausführungen. Die Varianten mit 400 oder 830 Kontaktpunkten sind die ideale Größe.

Oft gibt es bei den Händlern auch Breadboards mit Jumper-Wire und Power-Adapter im Set.

Da die ESP32-Boards oft die gesamte Fläche der Anschlusspins auf dem Steckbrett benötigen, kann man den Aufbau auch mit zwei Steckbrettern machen. Siehe dazu Abbildung 1.5.

Reichelt

<https://555url.ch/104>

Jumper-Wire (Male-Male)

Reichelt

<https://555url.ch/105>

Aliexpress

<https://555url.ch/106>

Software

Arduino-IDE

<https://555url.ch/107>

Thonny

<https://555url.ch/108>

Hardware des ESP32

Die Hardware des ESP32 ist seit der Vorstellung des ersten Boards schnell gewachsen und wird in drei verschiedene Formate oder Kategorien aufgeteilt – ESP32-Boards, Module und Chips.

Die oberste Kategorie sind die ESP32-Boards – das Mikrocontroller- oder Entwicklungsboard in verschiedenen Baugrößen, Anschlussvarianten und auch Leiterplattenfarben.

Alle diese Boards haben einen zentralen Mikrocontroller, externe Hardware wie Spannungsversorgung, elektronische Komponenten für verschiedene Funktionen sowie Anschlusstechnik für USB-Anschluss, Anschlusspins für die einzelnen physischen Ein- oder Ausgänge sowie für weitere Funktionen wie Reset. Der Mikrocontroller ist dabei meist in einem Modul mit externer Antenne verpackt. Das Modul selber ist wie ein SMD-Bauteil auf der Leiterplatte aufgelötet.

Ein ESP32-Modul wiederum besteht aus einer Leiterplatte, auf der der ESP32-Chip sowie zusätzliche Komponenten wie RAM-Baustein, Filterschaltungen, Taktgenerator und Antennenschaltung integriert sind. Die gesamte Schaltung mit Ausnahme der Windungen der Antenne sind durch Metallgehäuse abgeschirmt. Die Leiterplatte des ESP32-Moduls hat an den Außenseiten Löt pads für das einfache Auflöten auf einer Basisplatte.

Der ESP32-Chip ist, wie der Name schon aussagt, ein integrierter Baustein (Integrated Circuit, auch IC genannt), also der Halbleiter verpackt in einem Gehäuse. Die Variante wird auch als SoC, System on Chip bezeichnet. Der Chip wird in der Anwendung auf die Leiterplatte gelötet. Der Chip ist nur der Baustein, ohne zusätzliche Komponenten wie RAM-Baustein oder Antenne. Der Typ des jeweiligen ESP-Chips definiert dann die Familien-Zugehörigkeit.

In Abbildung 2.1 ist ein ESP32-Dev-Board zu sehen. Die farbigen Umrahmungen zeigen dabei die einzelnen beschriebenen Kategorien.

Auf dem ESP32-Board (rot) ist ein ESP32-Modul (grün) aufgelötet. Auf dem Modul selbst – in der Abbildung ist das Gehäuse aus Metall zur besseren Darstellung entfernt – ist der ESP32-Mikrocontroller oder Chip (gelb) aufgelötet.

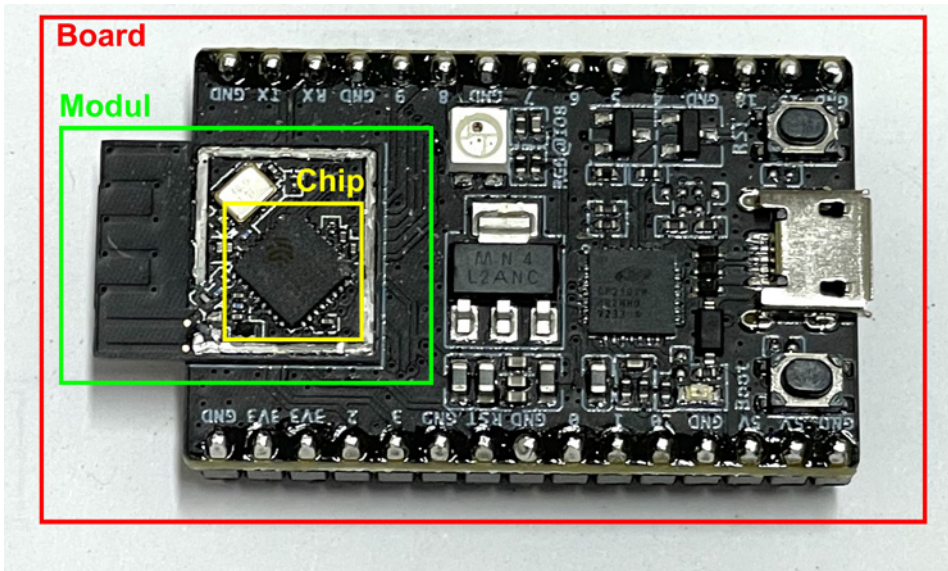


Abb. 2.1: ESP32-Kategorien – Board (rot), Modul (grün), Chip (gelb)

Die Aufteilung in die drei Kategorien beschreibt quasi die Bauform der eigentlichen ESP32-Hardware.

Im praktischen Einsatz unterscheidet der Anwender dann aber eher nach der ESP32-Serie. Die Serienbezeichnung gibt an, zu welcher Hardware-Kategorie und zu welcher Ausbaustufe des Mikrocontrollers die Hardware zugeordnet wird. Die einzelnen Serien haben meist unterschiedliche Mikrocontroller-Typen und unterschiedliche Hardwarefunktionen- oder Schnittstellen-Varianten.

2.1 ESP32-Serien

Die ESP32-Serien unterscheiden die einzelnen Ausbaustufen und Features der einzelnen ESP32-Modelle. Aus den jeweiligen Typenbezeichnungen kann man die mittlerweile sehr große ESP32-Familie grob unterscheiden. In der Praxis muss der Anwender bei der Auswahl der optimalen Hardware die einzelnen Datenblätter der Modelle miteinander vergleichen.

Die ESP32-Serien werden mit Buchstaben gekennzeichnet. In Tabelle 2.1 sind die einzelnen Serien, technischen Daten und deren Einsatz übersichtlich dargestellt.

Serie	Beschreibung	Anwendungsbeispiele
ESP32 (Classic)	Original ESP32-Chip Single oder Dual Core Xtensa LX6 160–240 MHz Flash: 4 MB Wifi, Bluetooth 4.2	Einfache Projekte wie IOT-Anwendungen
ESP32-S	Serien S2 und S3	
	S2: Single Core Xtensa LX7 240 MHz Nur Wifi, kein Bluetooth USB-OTG-Unterstützung 13-Bit-A/D-Wandler	Lowpower-Anwendungen
	S3: Dual Core Xtensa LX7 240 MHz Wifi und Bluetooth BLE 5.0 Externes Memory	KI-Anwendungen
ESP32-C	Serien C2, C3, C6, C61	
	C2: Ersatz für ESP8266	
	C3: RISC-V Single Core 160 MHz Wifi und Bluetooth 5 (Long Range) Real Time Clock	Stromsparende Anwendungen
	C6: RISC-V Single Core 160 MHz Wifi und Bluetooth 5 (Long Range) Thread/Zigbee	Anwendungen mit Thread und Zigbee

Serie	Beschreibung	Anwendungsbeispiele
	C61: RISC-V Single Core 160 MHz Wifi 6 und Bluetooth 5 (Long Range) Matter	Niedriger Stromverbrauch Sicherheitsfunktionen
ESP32-H	Serie H2 RISC-V-Architektur 96 MHz Kein Wifi, nur Bluetooth LE 5.2 Thread/Zigbee	Smarthome-Anwendungen Matter-kompatibel Ideal für Mesh- und Zigbee-Projekte
ESP32-P	Serie P4 P4: Dual Core RISC-V Inkl. Single Core RISC-V 400 MHz Kein Wifi oder Bluetooth	High Performance wie Kamera und Video- und Sprach-Verarbeitung

Tab. 2.1: ESP32-Serien (Überblick)

2.2 ESP32-Entwicklungsboards

Ein ESP32-Entwicklungsboard oder Dev-Kit ist die fertige Form eines ESP32-Boards. Das Board beinhaltet alle notwendigen Komponenten wie ESP32-Modul, Spannungsversorgung, LED und Anschlussstechnik. Die Anschlussstechnik beinhaltet den USB-Anschluss und die auf Stift- oder Buchsenleisten herausgeführten Pins mit den Ein- und Ausgängen und sonstigen Zusatzfunktionen.

Der Anwender kann ein solches Board direkt in seinem Projekt einsetzen.

Zu den gut verfügbaren und viel eingesetzten Boards gehören

- ESP32-C3-DevKit
- ESP32 MiniKit
- XIAO ESP32C3

Diese Boards werden im Folgenden einzeln vorgestellt und dann im Anschluss miteinander verglichen.

Daraufhin werden noch weitere ESP32-Boards vorgestellt. Dazu gehören sehr kleine und kompakte ESP32-Lösungen mit dem Namen »Codecell« und das Board ESP32-Lite, das auch mit Lipo-Akku betrieben werden kann.

2.2.1 ESP32-C3-DevKitM-1

<https://555ur1.ch/109>

Dieses Board des ESP32-Herstellers Espressif ist ein weitverbreitetes Entwicklungsboard für ESP32-Anwendungen.

In Abbildung 2.2 ist das Board dargestellt. Auf dem Bild sind auch die auf der Leiterplatte platzierten Komponenten gekennzeichnet.

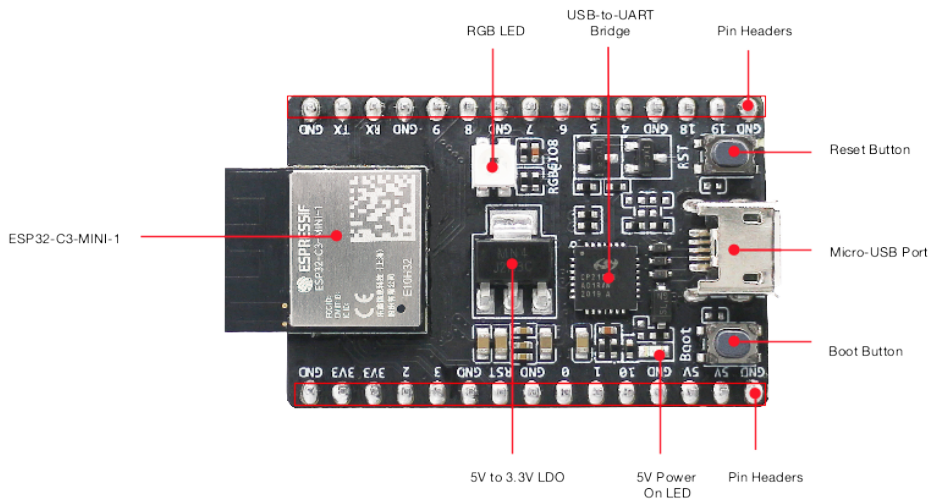


Abb. 2.2: ESP32-C3-DevKitM-1 (Quelle: Espressif)

Neben dem zentralen Baustein, dem ESP32-C3-Mini-1-Modul, findet man auf dem Board:

- die Stromversorgung mit dem LDO-Spannungsregler
- 2 Leuchtdioden für 5 V Power und als RGB-LED
- den USB-Serial-Wandler
- 2 Buttons für Reset und Boot
- USB-Port für Spannungsversorgung und Programmierung
- sowie die Stiftleisten (Pin Headers) für die Ein- und Ausgänge

Das Board hat eine ideale Größe für die Platzierung auf einem Steckbrett.

Durch die Steckbrett-Montage hat man eine stabile Hardware für die Entwicklungsarbeit. Für den produktiven Einsatz lötet man das Board auf eine entspre-

chende Platine oder man ersetzt die ganze Schaltung durch ein kompaktes Board, bestehend aus einem ESP32-Modul inklusive der notwendigen externen Erweiterungen wie Spannungsregler, Anschluss-Pins und USB-Stecker.

Die an den Seiten des Boards angebrachten Stifteleisten beinhalten alle verfügbaren GPIOs (Eingänge und Ausgänge) und sonstigen externen Anschlüsse.

In Abbildung 2.3 sind die Anschlussbezeichnungen farbig und übersichtlich dargestellt. Dieses Anschlussbild ist direkt von Espressif und kann unter folgendem Link heruntergeladen werden.

<https://555url.ch/110>

Ich habe dieses Bild als Referenz immer griffbereit neben meinem Rechner.

ESP32-C3-DevKitM-1

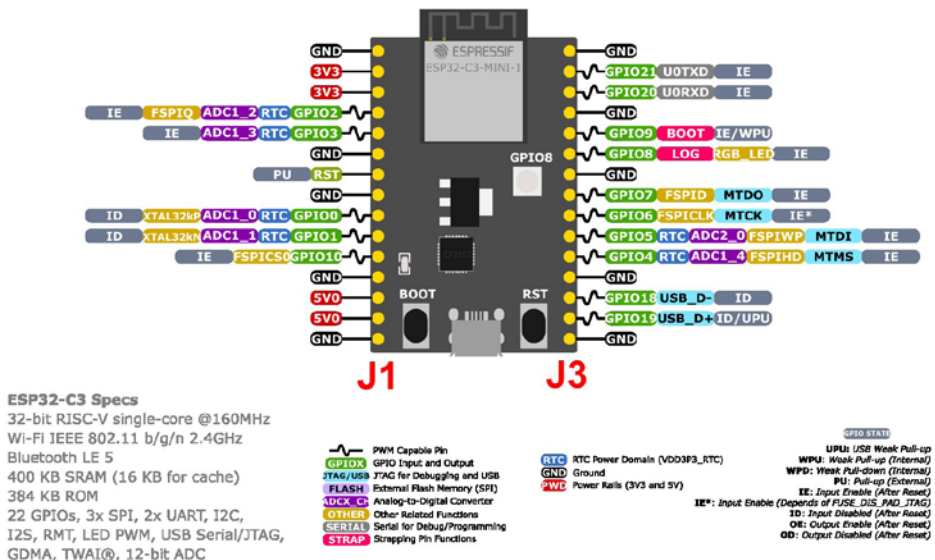


Abb. 2.3: ESP32-C3-DevKitM-1 – Anschlussbelegung (Quelle Espressif).

Wie Sie aus der Anschlussbelegung erkennen können, haben etliche Pins verschiedene Funktionen. Die Beschreibungen der einzelnen Pins sind in Tabelle 2.2 und Tabelle 2.3 aufgelistet.

Meist wird ein DevKit eingesetzt, wenn viele GPIOs (Ein- oder Ausgänge) für einen Anwendungsfall benötigt werden.

Anschlussbelegung

Die Anschlussbelegung ist in Tabelle 2.2 und Tabelle 2.3 abgebildet. Gemäß Dokumentation von Espressif sind die Stiftleisten mit den Bezeichnungen J1 und J3 gekennzeichnet.

Stiftleiste J1:

Pin-Nr	Name	Typ	Funktion
1	GND	G	Ground
2	3V3	P	3.3-V-Versorgung
3	3V3	P	3.3-V-Versorgung
4	IO2	I/O/T	GPIO2, ADC1_CH2, FSPIW
5	IO3	I/O/T	GPIO3, ADC1_CH3
6	GND	G	Ground
7	RST	I	Reset
8	GND	G	Ground
9	IO0	I/O/T	GPIO0, ADC1_CH0, XTAL_32K_P
10	IO1	I/O/T	GPIO1, ADC1_CH1, XTAL_32K_N
11	IO10	I/O/T	GPIO10, FSPICS0
12	GND	G	Ground
13	5V	P	5-V-Versorgung (von USB)
14	5V	P	5 V-Versorgung (von USB)
15	GND	G	Ground

Tab. 2.2: ESP32-C3-DevKitM-1 (Anschlussbelegung – Stiftleiste J1)

Stiftleiste J3:

Pin-Nr	Name	Typ	Funktion
1	GND	G	Ground
2	TX	I/O/T	GPIO21, U0TXD
3	RX	I/O/T	GPIO20, U0RXD
5	GND	G	Ground
5	IO9	I/O/T	GPIO9

Pin-Nr	Name	Typ	Funktion
6	IO8	I/O/T	GPIO8, RGB LED
7	GND	G	Ground
8	IO7	I/O/T	GPIO7, FSPID, MTDO
9	IO6	I/O/T	GPIO6, FSPICLK, MTCK
10	IO5	I/O/T	GPIO5, ADC2_CH0, FSPIWP, MTDI
11	IO4	I/O/T	GPIO4, ADC2_CH4, FSPIHD, MTMS
12	GND	G	Ground
13	IO18	I/O/T	GPIO18, USB_D-
14	IO19	I/O/T	GPIO19, USB_D+
15	GND	G	Ground

Tab. 2.3: ESP32-C3-DevKitM-1 (Anschlussbelegung – Stiftleiste J3)

Die Bezeichnung des Typs lautet:

- I: Eingang (Input)
- O: Ausgang (Output)
- T: Hochohmig (High Impedance)

Zusätzlich muss beachtet werden, dass GPIO2, GPIO8 und GPIO9 beim Start des Mikrocontrollers für die Boot-Konfiguration abgefragt werden. Nach dem Startvorgang (Boot) können diese Pins wieder als Standard-Pins verwendet werden.

Verfügbarkeit

Der ESP32-C3-DevKitM-1 ist bei vielen Elektronik-Händlern verfügbar.

Conrad

<https://555url.ch/111>

Bastelgarage

<https://555url.ch/112>

Aliexpress

<https://555url.ch/113>

2.2.2 ESP32 MiniKit

<https://555url.ch/114>

Mit einer kompakten Bauform und bis zu 30 GPIOs ist der ESP32 MiniKit ein leistungsstarkes Mikrocontroller-Board (Abbildung 2.4).

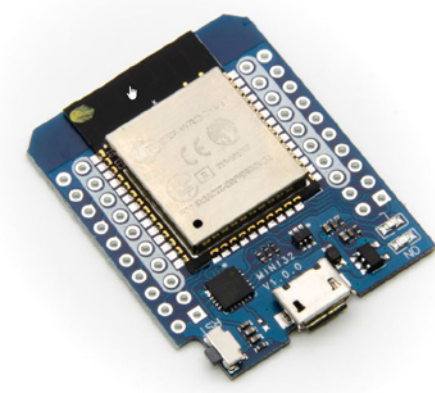


Abb. 2.4: ESP32-Boards – ESP32 MiniKit

Mit einem Dual-Core LX6 Controller, 4 MB Flash und Wifi und Bluetooth kann dieses Board für viele Anwendungen mit kleinen Bauformen und vielen digitalen Pins eingesetzt werden.

Der Wemos ESP32 MiniKit ist der Nachfolger des Wemos D1 Mini mit ESP8266. Im Lieferumfang des Boards sind dann meistens Stift- und Buchsenleisten dabei.

Amazon

<https://555url.ch/114>

Bastelgarage

<https://555url.ch/115>

2.2.3 XIAO ESP32C3

<https://555url.ch/116>



Abb. 2.5: XIAO ESP32C3 (Quelle Seeedstudio)

Das kompakte Projekt XIAO ESP32C3 des chinesischen Herstellers Seeedstudio gehört in die Familie der XIAO-Boards (<https://555url.ch/117>) und fällt durch die kompakte Bauform auf (Abbildung 2.5). Mit einem stabilen USB-Anschluss kann das Board sicher mit dem Rechner verbunden werden. Die Anschlusspins für Ein- und Ausgänge sind auf den Seiten der Leiterplatten angeordnet. Die Anschlusspins sind eigentlich Löt pads, an die man auch direkt einen Anschlussdraht anlöten kann. Dank der Löt pads können Sie das XIAO-Board auch direkt auf eine Leiterplatte löten.

Durch die kompakte Bauform eignet sich das XIAO ESP32C3 ideal für kleine IoT-Anwendungen oder für den Einsatz im Smarthome.

Auf der Unterseite des Boards stehen Lötanschlüsse für einen Lipo-Akku zur Verfügung. Somit sind auch Batterie-betriebene Anwendungen mit dem kleinen XIAO möglich.

Das Board ist im Shop von Seeedstudio sowie bei verschiedenen Lieferanten erhältlich.

Seeedstudio

<https://555url.ch/103>

Reichelt

<https://555url.ch/102>

Bastelgarage

<https://555url.ch/118>

Viele Projekte in diesem Buch werden mit dem XIAO ESP32-C3 realisiert.

2.2.4 CodeCell

<https://555url.ch/119>

Ein weiteres kompaktes ESP32-Board mit einem ESP32-C3 ist das CodeCell-Board von YouTuber Carl Bugeja.

Carl hat mit diesem Board ein System entwickelt, das auch junge Einsteiger und die nächste Generation von Makern inspirieren soll.

Mit dem CodeCell-Board und weiteren Zusatzboards eignet sich das System für viele Anwendungsfälle (Abbildung 2.6).

Die Beispiele auf der Website starten mit einem Lichtsensor und gehen bis hin zu einer Motoransteuerung via CodeCell-Remote-Control.

Mit der zusätzlichen Connect-App für Android und iOS können die Anwendungsbeispiele via Smartphone gesteuert und bedient werden.



Abb. 2.6: ESP32-Board – CodeCell (Quelle Microbots)

Dank der kompakten Abmessungen eignet sich auch das CodeCell-Board ideal für kleine und kompakte Anwendungen im Bereich Fernsteuerung, Smarthome und IoT.

Das CodeCell-Projekt kann über den Microbots-Shop online bestellt werden.

<https://555url.ch/120>

2.2.5 ESP32 Lite

Dieses Board wird auch als ESP32 Wemos Lite angeboten. In Abbildung 2.7 sehen Sie das Board mit zugehörigen Anschlusspins.

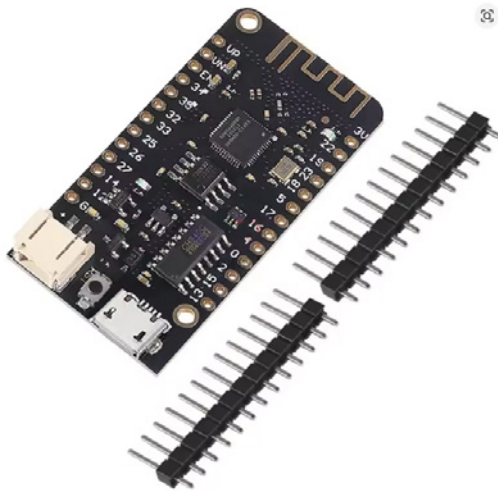


Abb. 2.7: ESP32 Board – ESP32 Wemos Lite (Quelle Aliexpress)

Auf den ersten Blick sieht dieses Board wie viele andere ESP32-Boards aus. Beim näheren Betrachten stellt man fest, dass neben dem USB-Stecker noch ein zusätzlicher Stecker montiert ist. Dieser 2-polige Stecker ist der Anschluss für einen externen Lipo-Akku, der mit der Onboard-Ladeschaltung mit 500 mA geladen werden kann.

Die technischen Daten dieses Boards gemäß Tabelle 2.4:

Spezifikation	ESP32 Wemos Lite
CPU	ESP32 Dual Core LX6
CPU (MHz)	240
RAM SRAM	520 kB
RAM FLASH	4 MB
Wifi	ja
Bluetooth	ja
GPIO	22
USB	ja
Baugröße (mm)	50 x 25
Sonder-Funktionen	Lipo-Anschluss

Tab. 2.4: ESP32 Wemos Lite

Der ESP32 Wemos Lite wird standardmäßig mit der MicroPython-Firmware ausgeliefert.

Aliexpress

<https://555url.ch/121>

2.2.6 Vergleich der Boards

In Tabelle 2.5 werden die oben vorgestellten Boards miteinander verglichen.

Spezifikation	ESP32 C3 DevKitM-1	ESP32 MiniKit	XIAO ESP32-C3	CodeCell
CPU	ESP32-C3FN4	ESP32-S2FN4R2	ESP32-C3	ESP32-C3
CPU (MHz)	160	240	160	160
RAM SRAM	400 KB	4 MB	400 KB	400 KB
RAM FLASH	4 MB	4 MB	4 MB	4 MB