

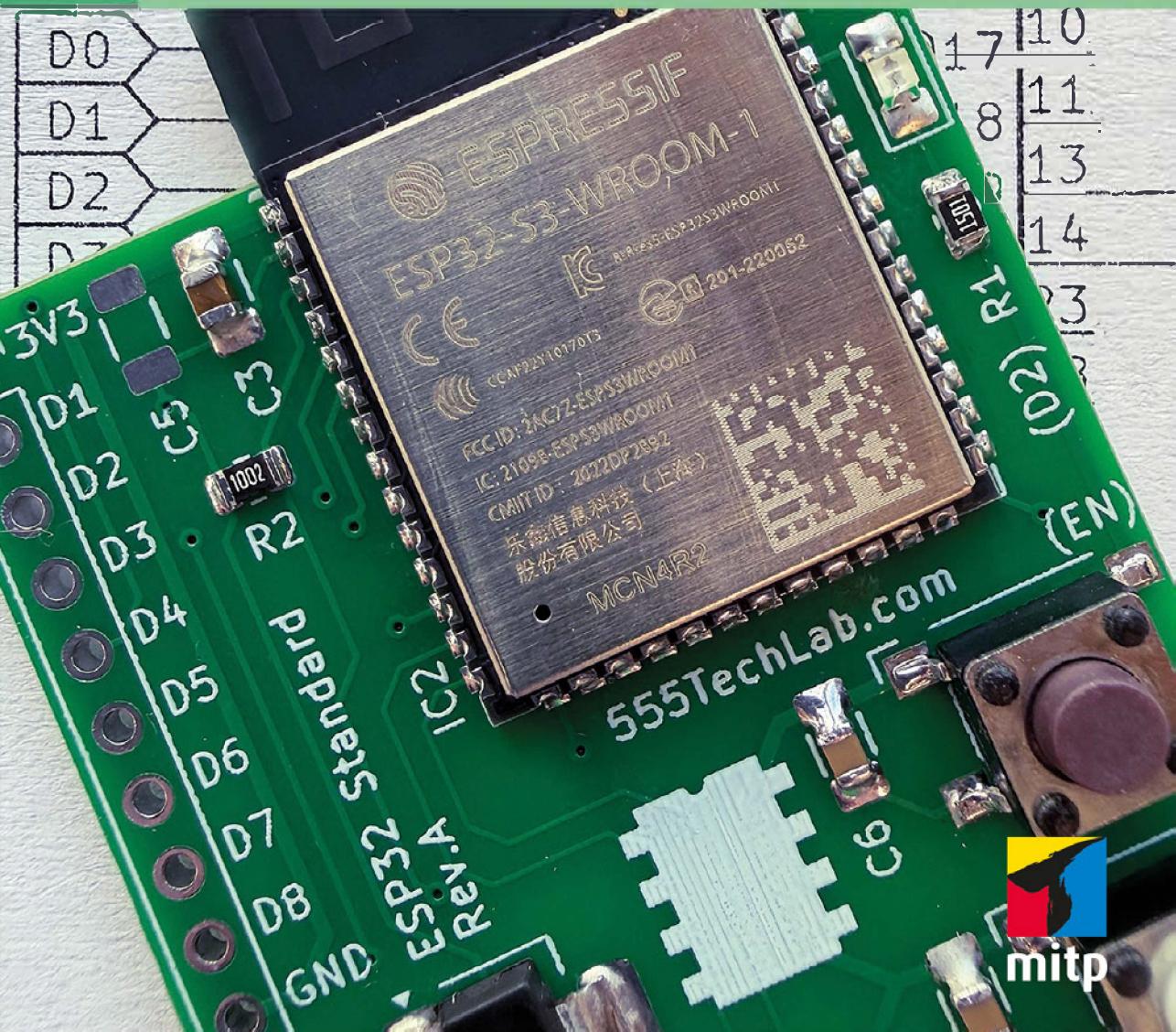
Thomas Brühlmann

# ESP32

# Mikrocontroller

## Praxiseinstieg für Maker

IoT-Projekte und eigene Hardware-Ideen umsetzen



# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>15</b>
1.1 Boards .....	15
1.2 Verbindungen .....	16
1.3 Stromversorgung .....	18
1.4 Anforderungen für den Einstieg .....	19
<b>2 Hardware des ESP32</b> .....	<b>21</b>
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
<b>3 Software</b> .....	<b>47</b>
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

## Inhaltsverzeichnis

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	<b>Programmierung in C++ .....</b>	<b>105</b>
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	Variablen Deklaration .....	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	<b>Programmierung in MicroPython .....</b>	<b>129</b>
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
<b>6</b>	<b>Eingabe, Ausgabe, Schnittstellen . . . . .</b>	<b>149</b>
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

## Inhaltsverzeichnis

<b>7</b>	<b>Wifi</b>	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
<b>8</b>	<b>Anzeigen und Kamera</b>	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
<b>9</b>	<b>DIY-ESP32-Board</b>	265
9.1	Grundschaltung	265
9.2	Minimalschaltung	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
<b>10</b>	<b>Troubleshooting .....</b>	<b>293</b>
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
<b>11</b>	<b>Werkzeuge .....</b>	<b>299</b>
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
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>311</b>

# 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).

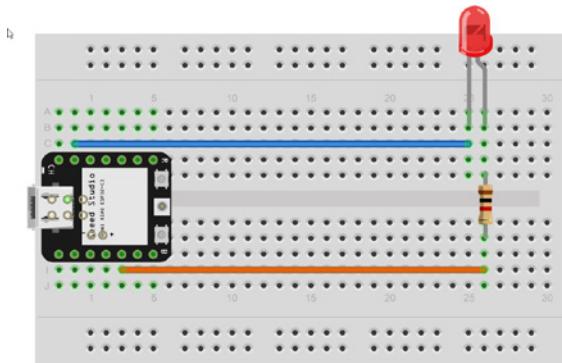


Abb. 1.2: ESP32-Board auf Steckbrett (Board Seeed Studio XIAO ESP32C3)

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

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-Anschlüsse 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 Stifteleisten 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.

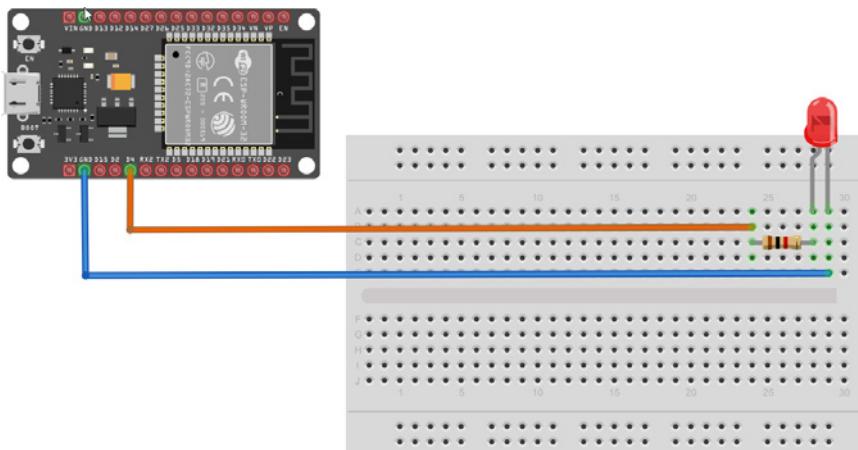


Abb. 1.3: ESP32-Board mit Komponenten auf Steckbrett

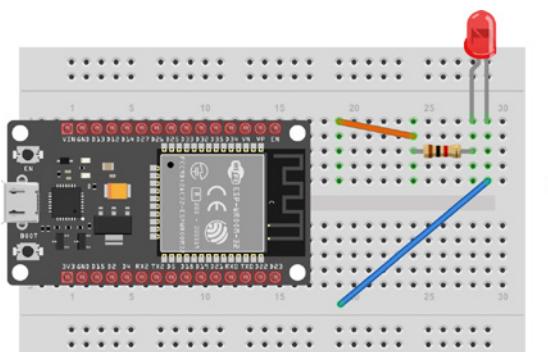
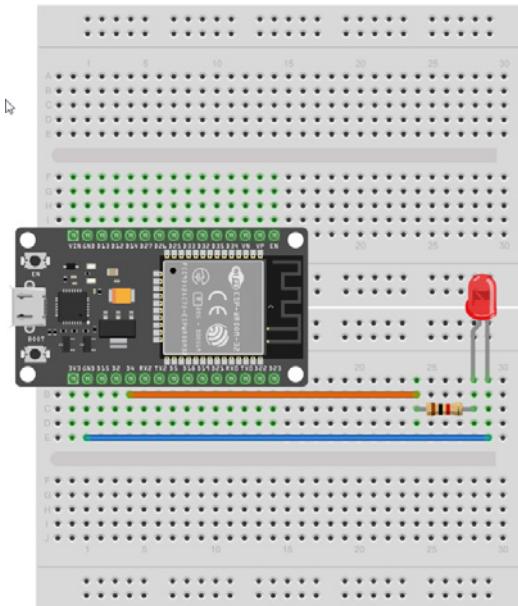


Abb. 1.4: ESP32 auf Steckbrett – fehlende Pins für Anschluss

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.

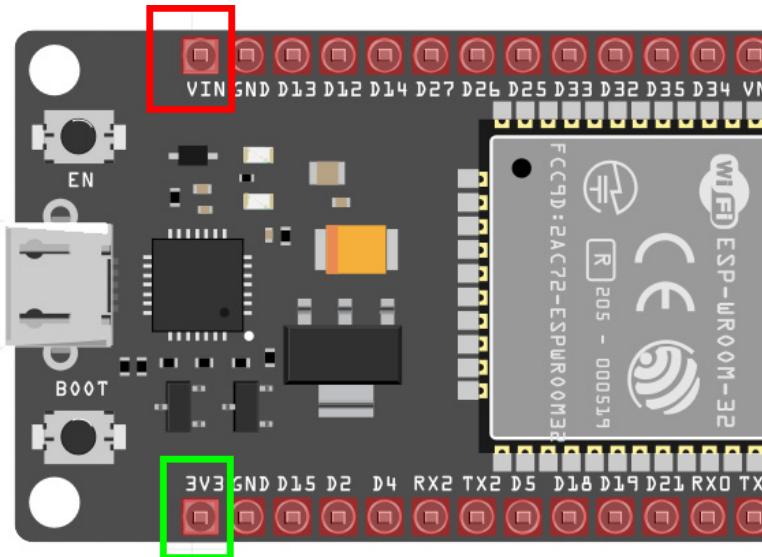


Abb. 1.6: ESP32-WROOM-32 – Versorgungsanschlüsse

## 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.

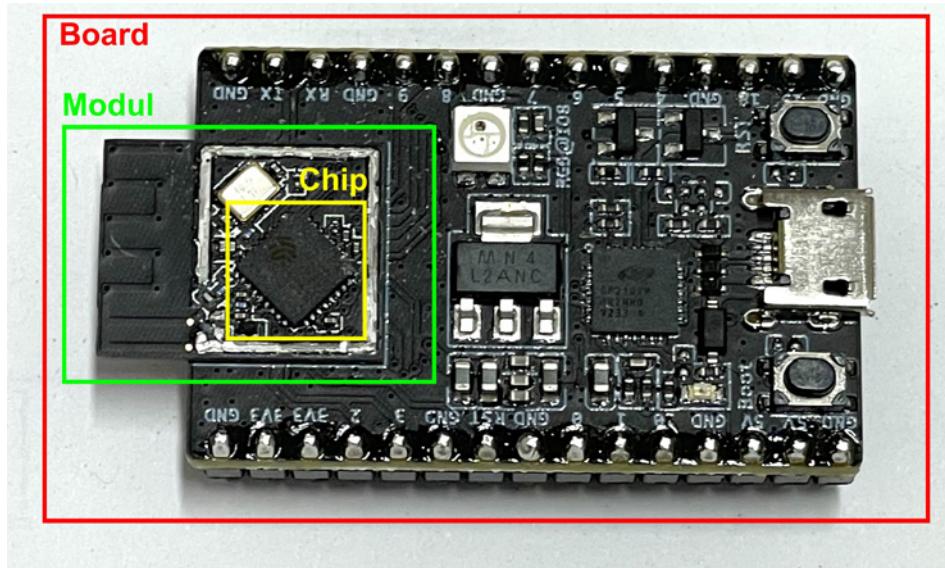
Alle diese Boards haben einen zentralen Mikrocontroller, externe Hardware wie Spannungsversorgung, elektronische Komponenten für verschiedene Funktionen sowie Anschlusstechnik für USB-Anschluss, Anschlusspins für die einzelnen physischen Ein- oder Ausgänge sowie für weitere Funktionen wie Reset. Der 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 Lötpads für das einfache Auflöten auf einer Basisplatine.

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 Anschlusstechnik. Die Anschlusstechnik 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://555url.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.

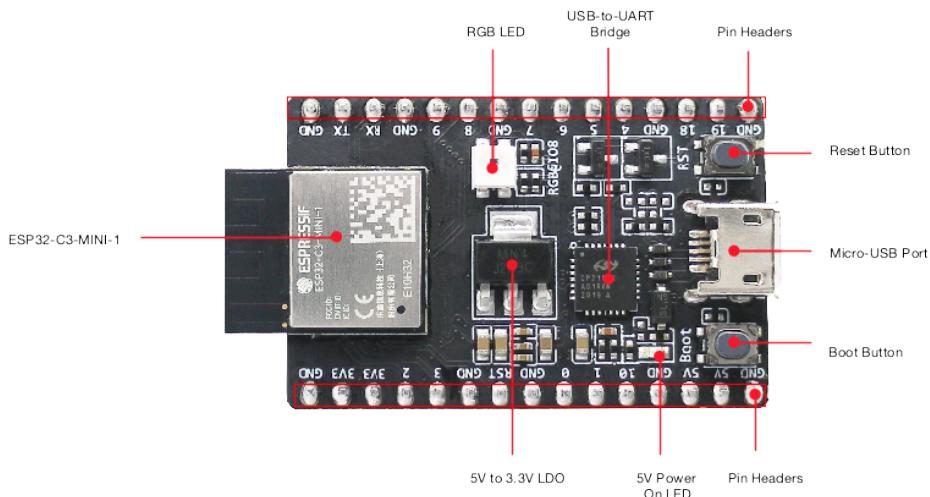


Abb. 2.2: ESP32-C3-DevKitM-1 (Quelle: Espressif)

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-

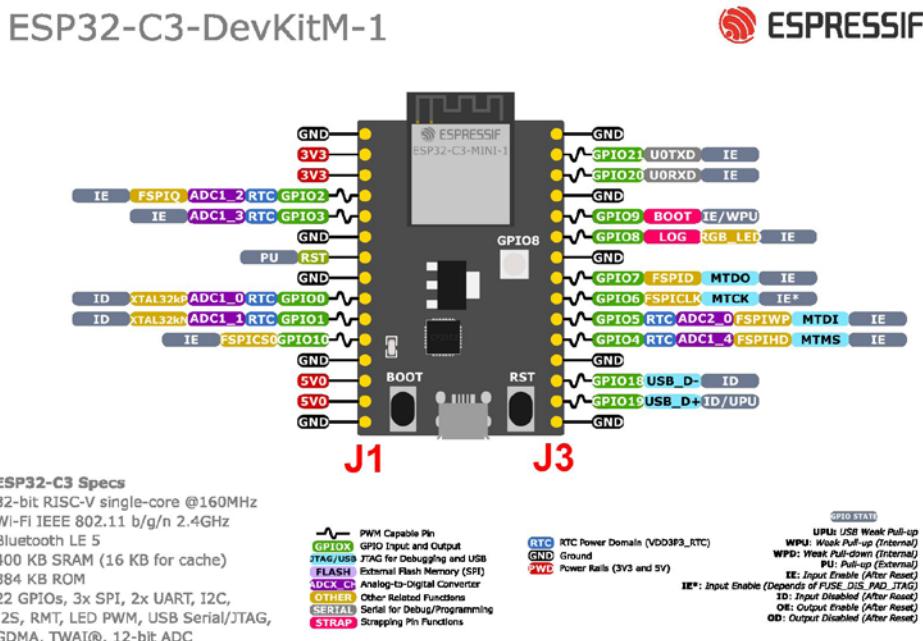
chende Platine oder man ersetzt die ganze Schaltung durch ein kompaktes Board, bestehend aus einem ESP32-Modul inklusive der notwendigen externen Erweiterungen wie Spannungsregler, Anschluss-Pins und USB-Stecker.

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 runtergeladen werden.

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

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



**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 Stifteleisten mit den Bezeichnungen J1 und J3 gekennzeichnet.

Stifteleiste 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 – Stifteleiste J1)

Stifteleiste 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).

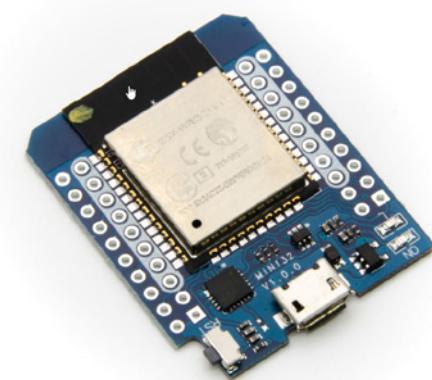


Abb. 2.4: ESP32-Boards – ESP32 MiniKit

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 Lötpads, an die man auch direkt einen Anschlussdraht anlöten kann. Dank der Lötpads 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.

### **Seedstudio**

<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.

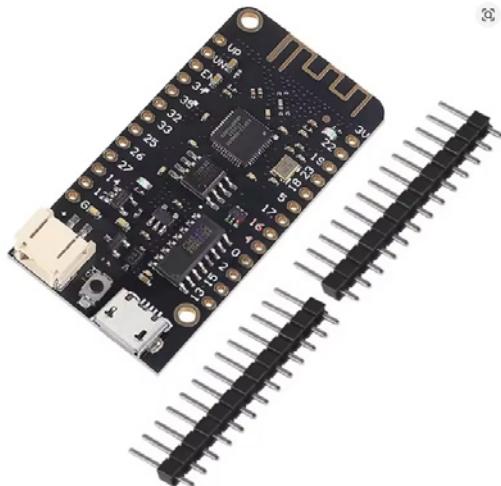


Abb. 2.7: ESP32 Board – ESP32 Wemos Lite (Quelle Aliexpress)

# Stichwortverzeichnis

## Symbole

- 2-Layer-Leiterplatten 277
- 3D-Betrachter 280
- 3D-Drucker 302
- 5-V-Logik 175

## A

- Adapter-Platine 301
- ADC 176
  - ADS1115 177
- ADC01 155
- ADC2 155
- ADS1115 177
  - I2C-Adressierung 178
  - Messbereiche 183
- AI Tinker ESP32-CAM 260
- Aliexpress 15
- Analoge Ausgänge 159
- Analoge Eingänge 155
- Anschluss-Belegung 149
- Antenne 21
- Anzeigen 251
- Arduino-IDE 20, 47, 48
  - Installation 48
- Arduino-Sketch 106
- Asynchroner Webserver 212

## B

- Balkengrafik 253
- Bananenstecker 300
- Bestückungsseite 277
- Bibliotheken 125
- Biegelehre 302

BLE 197

Blink 52

Bluetooth 196

Bluetooth 4.2 44

Bluetooth-Versionen 197

Boardmanager 50

Boards 15

Board-Varianten 16

Breadboard-Power-Adapter 300

Breadboards 18

siehe Steckbrett

Breakout-Board 44

## C

- C++ 12, 83, 105
  - Bibliotheken 125
  - Datentypen 111
  - Ein- und Ausgabe 121
  - Klammern 108
  - Programmaufbau 105
  - Semikolon 110
  - serielle Schnittstelle 124
  - Variablendeclaration 113
- CodeCell 30
- Code-Debugging 294
- CS 185

## D

- DAC 159, 166
- Datentypen 111
- Datentyp-Konvertierung 115
- Design-Prüfung 279
- Design Rule Check 279
- Digitale Ausgänge 158

- Displays 251  
DIY-Board 41  
Downloadbereich 13  
DRC 279
- E**
- Einführung 15  
Entlötpumpe 299  
Entwicklung 269  
Leiterplatte 269  
Entwicklungsboard 21, 278  
Entwicklungsumgebungen 47  
ESP32 11, 18  
Minimalschaltung 266  
MQTT 221  
Stromversorgung 18  
Vergleich der Boards 32  
ESP32 BareBone 268  
ESP32-Betriebsmodus 92  
ESP32-Board 12, 15  
ESP32-C 23  
ESP32-C3-DevKit 24  
ESP32-C3-DevKitM-1 20, 28  
Anschlussbelegung 27  
ESP32-C3-Mini-1 25  
ESP32-CAM 257  
Anschlussbelegung 259  
ESP32-Chip 21, 45  
ESP32 (Classic) 23  
ESP32 Dev.Board 301  
ESP32-Familie 22  
ESP32-H 24  
ESP32 MiniKit 24, 28  
ESP32-Minimalboard 290  
ESP32-Module 38  
ESP32-P 24  
ESP32-S 23  
ESP32-S2-Mini-2 43  
ESP32-Serien  
siehe ESP32  
ESP32-S3-WROOM 40  
ESP32-S3-WROOM-1 41
- ESP32-WROOM 39  
ESP32-WROOM-32 18  
ESP8266 11  
ESP-IDF 54  
Command-Line-Installation 54  
ESP-IDF-Framework 47  
ESP-NOW 238  
Netzwerktopologie 239  
Espressif 11, 15  
ESP-Serien  
siehe ESP32  
esptool 95
- F**
- Flachzange 299  
Flashen 94, 227  
Flashen via USB 94  
Funktionen 116
- G**
- General Purpose Input Output  
siehe GPIO  
Gerber-Daten 281  
GFX-Bibliothek 256  
Github 13  
GPIO 26, 149
- H**
- Hardware 21  
HTML-Code 210
- I**
- I2C 168  
Pullup 168  
I2C-Bus 168, 297  
I2C-Bussystem 168  
I2C-Scanner 170  
IC  
siehe Integrated Circuit  
import machine 133  
Impulszeit 160  
Integrated Circuit 21

**J**

JLCPCB 284  
Jumper-Wire 20, 299

**K**

Kamera 251, 257  
Kicad 285  
    Gerber-Daten 282  
Klammern 108  
Kommentare 110  
Konstante 113  
Kontrollstrukturen 118  
Konventionen 108  
Koordinaten 252  
Kurzschlussfall 303

**L**

Labornetzteil 303  
LEDC 162  
Leiterbahnen 277  
Leiterbahnverbindungen 277  
Leiterplatte 268  
    Bestellung 281, 287  
    Design 274  
    KEEP-OUT-ZONE 273  
    Kicad 268  
Level-Shifter 175  
Lötkolben 299  
Lötseite 277  
Low Energy (LE) 197

**M**

M5Stack 33  
M5Stack Core 34  
M5StampS3 36  
Master/Slave 168  
MAX31865 192  
    Bibliothek 193  
Messer 299  
Messgeräte 304  
Microbots-Shop 31  
MicroPython 12, 83, 129

Bibliothek 133

Blink 91  
Ein- und Ausgabe 145  
Funktionen 135  
Hauptprogramm 131  
Kontrollstrukturen 141  
Liste 143  
Module 132  
Programmaufbau 130  
Schleifen 138  
serielle Schnittstellen 148  
Variablen 135

Mikrocontroller 11, 21

Minimalschaltung 266  
    Stückliste 267  
Mini-Oszilloskop 306  
Minischraubstock 310  
MISO 185  
Module  
    132  
Montagebohrungen 275  
MOSI 185  
MQTT 219  
    Prinzip 219  
MQTT-Broker 219, 220  
MQTT-Client 219  
Multimeter 304

**N**

Node-Red 225

**O**

OLED 12, 251  
    I2C-Ansteuerung 252  
OLED-Display  
    siehe OLED  
Onboard-LED 151  
Oszilloskop 306  
OTA 101  
Over the Air  
    siehe OTA  
Oxocard Connect 37

**P**

Peripheral Schematics 265  
Peripherie 149  
Pin Headers 25  
Pinout 150  
Platinenansicht 275  
Programmiersprachen 83  
Programmierung 290, 292  
PT100 190  
PT100-Sensoren 190  
PubSubClient 221  
Pullup 153  
    Aktivierung 153  
Punkt-zu-Punkt 239  
PWM 160  
    Frequenz 161  
    Pulsweitenmodulation 160  
PWM-Pins 161

**R**

Reconnect-Funktion 224  
Relais-Module 159

**S**

SCK 185  
SCL 168  
SDA 168  
Seedstudio 16  
Seitenschneider 299  
Semikolon 110  
Sendemodul 239  
Serial Peripheral Interface  
    siehe SPI  
Serielle Schnittstelle 296  
SHT31 171, 172  
    Bibliothek 172  
Signal-Pegel 297  
Signalstärke 296  
Signaltrennung 176  
SIRU.BOX 304  
SoC 21, 45

**SPI** 184

    Signale 184  
    SPI-Kommunikation 297  
    SSD1306 252, 253  
    Standardwerkzeuge 299  
    Steckbrett 20, 299  
    Stern-Topologie 239  
    Stromversorgung 300  
    System on Chip 21

**T**

Tasmota 226  
    Ausgang 237  
    Firmware 227  
    Flashen 227  
    MQTT-Broker 237  
    WLAN-Access-Point 231  
Terminal-App 199  
Thonny 47, 81  
    Installation 81  
Topic 219  
Touch- Eingänge 154  
Troubleshooting 293  
    Stromversorgung 293  
Typ OV2640 257

**U**

UART 296  
UIFlow 35  
Upload-Probleme 294  
USB-Kabel 16  
USB-Stecker 269  
USB-Treiber 93

**V**

Variablen 112  
Verbindungen 16  
Versorgungsspannung 293  
VIN 18  
Visual Studio Code 47, 68  
VS Code 68  
    Installation 69

**W**

Webcam 261  
Webclient 12, 206  
    Parameter 209  
Webserver 12, 210  
    Bibliothek 212  
Werkzeuge 299  
while 138  
while true 131  
Wifi 12, 203  
Wifi-Bibliothek 211

Wifi.h 204

Wifi-Status 295

Wifi-Verbindung 295

WLAN 203

WLAN-Verbindung 204

**X**

XIAO ESP32C3 16, 20, 24, 30

**Z**

ZT703 307