

Thomas Brühlmann

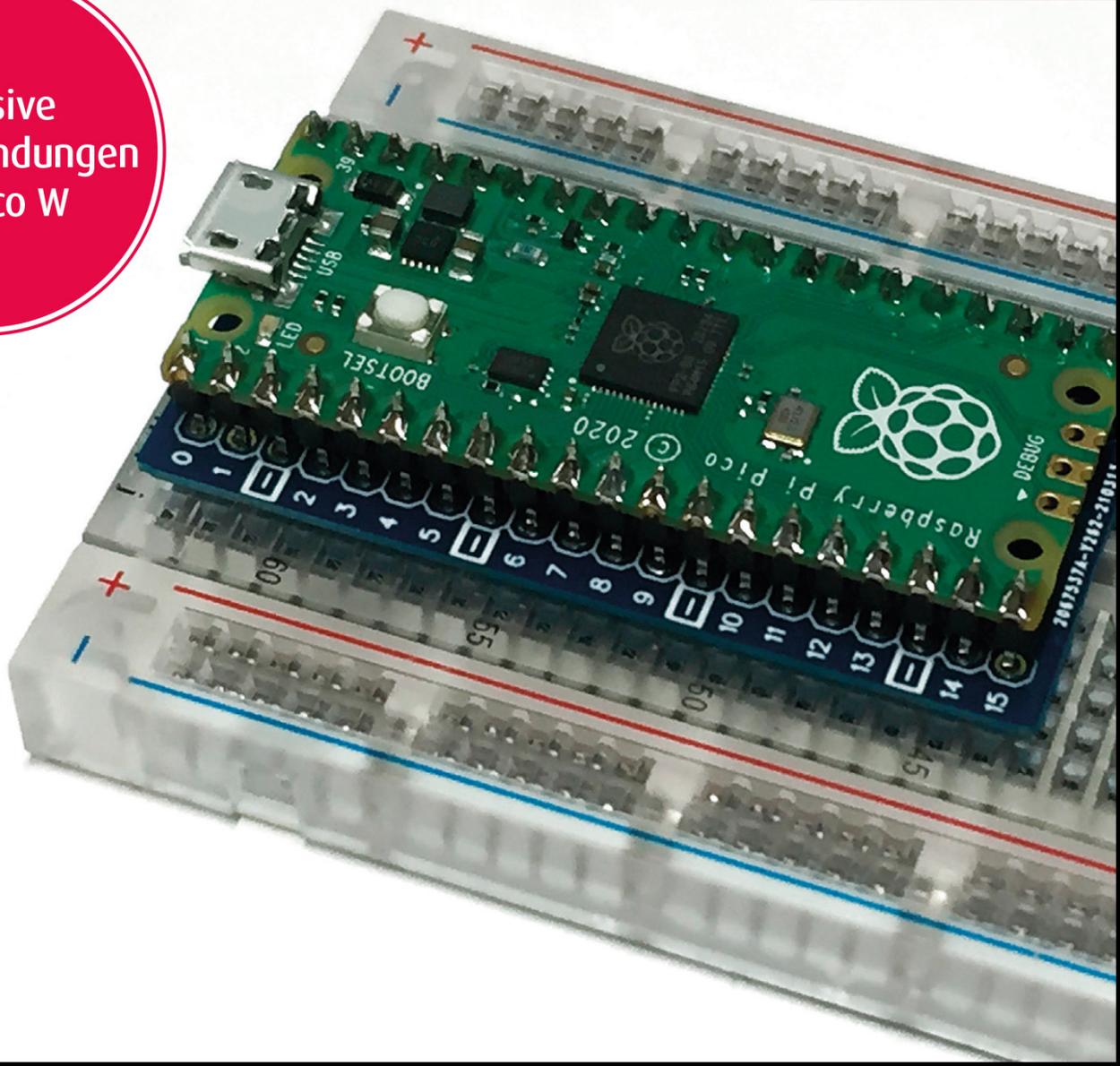
# RASPBERRY PI PICO Schnelleinstieg

Kompakter Leitfaden für die Hardware

Einfache Programmierung mit MicroPython

2. Auflage

Inklusive  
Webanwendungen  
mit Pico W



# Inhalt

|   |          |
|---|----------|
| <b>Einführung .....</b>                           | <b>9</b> |
| <b>1 Das Board</b>                                |          |
| 1.1 Der Raspberry Pi Microcontroller RP2040 ..... | 13       |
| 1.2 Die Leiterplatte .....                        | 14       |
| 1.3 Die Leiterplatte Pico W .....                 | 16       |
| 1.4 Anschlüsse .....                              | 18       |
| 1.5 Spannungsversorgung .....                     | 23       |
| 1.6 Spannungsversorgung Zusatzfunktionen .....    | 24       |
| 1.6.1 Abfrage USB .....                           | 24       |
| 1.6.2 Low Power .....                             | 25       |
| <b>2 Die Software</b>                             |          |
| 2.1 Thonny-Entwicklungsumgebung (IDE) .....       | 27       |
| 2.1.1 Installation von Thonny .....               | 27       |
| 2.1.2 Konfiguration von Thonny .....              | 28       |
| 2.2 MicroPython .....                             | 30       |
| 2.2.1 MicroPython für Raspberry Pi Pico .....     | 31       |
| 2.2.2 Installation von MicroPython .....          | 32       |
| 2.2.3 MicroPython in ThonnyIDE .....              | 34       |
| <b>3 Erste Schritte</b>                           |          |
| 3.1 Erstes Programm .....                         | 37       |
| 3.2 Projekt »Blink LED« .....                     | 40       |
| 3.3 Programmaufbau .....                          | 42       |
| 3.4 Steckbrett und Elektronik .....               | 46       |
| 3.4.1 Steckbrett .....                            | 46       |
| 3.4.2 Bauteile der Elektronik .....               | 50       |

## 4 Digitale Ein- und Ausgänge

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.1   | Ein- und Ausgänge am Pico .....                           | 57 |
| 4.2   | Eingang einlesen .....                                    | 59 |
| 4.2.1 | Pullup oder Pulldown .....                                | 59 |
| 4.3   | Praxisbeispiel: Taster einlesen und Status ausgeben ..... | 62 |
| 4.4   | LED ansteuern .....                                       | 63 |
| 4.5   | PWM .....   | 66 |
| 4.5.1 | Praxisbeispiel: LED mit PWM .....                         | 68 |
| 4.6   | Servo .....   | 69 |
| 4.6.1 | Praxisbeispiel: Servo mit Potentiometer .....             | 70 |
| 4.7   | Transistor, Relais .....                                  | 73 |
| 4.7.1 | Transistor .....  | 73 |
| 4.7.2 | Relais .....  | 76 |
| 4.8   | Motor .....   | 79 |
| 4.8.1 | Einfache Motor-Stufe (ein Motor) .....                    | 79 |
| 4.8.2 | Motor-Treiber für zwei Motoren .....                      | 80 |
| 4.8.3 | Praxisbeispiel: Motor-Ansteuerung (1 Motor) .....         | 81 |
| 4.8.4 | Praxisbeispiel: Motor-Ansteuerung (2 Motoren) .....       | 84 |
| 4.8.5 | Praxisbeispiel: Mini-Roboter .....                        | 87 |

## 5 Analoge Welt

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 5.1 | Spannung einlesen .....   | 91  |
| 5.2 | Praxisbeispiel: Messung mit dem internen Temperatursensor ..... | 92  |
| 5.3 | Praxisbeispiel: Poti mit LED-Ampel .....                        | 93  |
| 5.4 | Praxisbeispiel: Lichtmesser mit LDR .....                       | 96  |
| 5.5 | Praxisbeispiel: Temperaturmessung mit NTC .....                 | 100 |

## 6 Anzeigen

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 6.1 | RGB-LED .....                                       | 105 |
| 6.2 | LC-Display (LCD) .....                              | 108 |
| 6.3 | OLED-Display .....                                  | 113 |
| 6.4 | Projekt: Wetterstation mit Umweltsensor DHT22 ..... | 117 |
| 6.5 | Projekt: Uhr mit OLED .....                         | 121 |

## 7 Schnittstellen

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 7.1   | UART .....                                       | 129 |
| 7.1.1 | Praxisbeispiel: Datenaustausch mit Arduino ..... | 130 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 7.2   | I2C .....                                    | 134 |
| 7.2.1 | I2C-Bus auf dem Pico .....                   | 135 |
| 7.2.2 | Definition I2C mit MicroPython .....         | 136 |
| 7.2.3 | I2C-Scanner .....                            | 137 |
| 7.3   | Praxisbeispiel: Lichtmesser mit BH1750 ..... | 138 |
| 7.4   | WiFi mit Pico W .....                        | 141 |
| 7.4.1 | WLAN-Controller .....                        | 141 |
| 7.4.2 | Bibliothek network .....                     | 142 |
| 7.4.3 | Webclient .....                              | 143 |
| 7.4.4 | Webserver .....                              | 147 |
| 7.4.5 | Webserver mit JS-Chart .....                 | 151 |
| 7.4.6 | MQTT-Client .....                            | 158 |

## 8 Programm-Erweiterungen

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.1   | Bibliotheken .....                            | 171 |
| 8.2   | Programmable Input and Output (PIO) .....     | 173 |
| 8.2.1 | Praxisbeispiel: Blink mit State Machine ..... | 174 |
| 8.2.2 | Praxisbeispiel: Blinker als Alarmmelder ..... | 177 |

## 9 Pinout-Boards

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 9.1   | Pico-Pinout und Beschreibung .....     | 181 |
| 9.2   | Technische Daten .....                 | 186 |
| 9.3   | RP2040-Boards .....                    | 187 |
| 9.3.1 | Sparkfun .....                         | 187 |
| 9.3.2 | Arduino .....                          | 188 |
| 9.3.3 | Adafruit .....                         | 189 |
| 9.3.4 | PIMORONI .....                         | 190 |
| 9.3.5 | XIAO RP2040 .....                      | 191 |
| 9.4   | Hardware-Erweiterungen .....           | 191 |
| 9.4.1 | Reset-Schalter .....                   | 192 |
| 9.4.2 | Pico-Pinout-Board für Steckbrett ..... | 194 |

## 10 Stücklisten

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Stichwortverzeichnis ..... | <b>201</b> |
|----------------------------|------------|

# Einführung

Im Januar 2021 hat eine News-Meldung die Maker- und Bastlerszene überrascht. Die Raspberry Pi Foundation, also die Organisation, die die bisher bekannten Minicomputer Raspberry Pi entwickelt hat, präsentiert ein neues Mitglied in ihrer Produkte-Reihe. Willkommen Raspberry Pi Pico!

Die Vorstellung des neuen Raspberry Pi Pico, in diesem Buch in der Kurzform »Pico«, wurde unbemerkt im Hintergrund vorbereitet und nur wenige Hardware-Hersteller aus dem Maker-Umfeld waren informiert. Zu diesen Anbietern gehören Adafruit, Sparkfun, Arduino und Pimoroni. Diese Hardware-Firmen präsentieren mit der Vorstellung des Pico gleichzeitig eigene, compatible Boards und Lösungen. Diese Lösungen sind zum aktuellen Zeitpunkt (März 2021) noch in Entwicklung. Die bisher präsentierten Informationen zu den neuen Boards werden viele Maker, Bastler und Microcontroller-Board-Anwender erfreuen.

Dank der zeitlich geplanten Vorstellung des Pico ist das neue Microcontroller-Board bereits bei einzelnen Händlern und Online-Shops verfügbar. Die aktuelle Ausgabe der englischen Bastlerzeitschrift *HackSpace* (<http://hsmag.cc>) bringt den Abonnenten und Käufern neben der Zeitschrift ein Pico-Board. Leider ist diese Aktion breit gefächert nur auf der englischen Insel verfügbar. Glückliche Besitzer haben sich vielleicht auch an einem Zeitschriftenshop auf einem Flughafen eine Ausgabe mit Board sichern können.

Da Sie dieses Buch gekauft haben, gehören Sie vermutlich auch zur Maker-Community, die sich für das neue Board der Raspberry Pi Foundation interessiert und gerne interaktive Anwendungen mit Schalter, Anzeigen, Motoren usw. realisieren möchte. Möglicherweise haben Sie bereits erste Erfahrungen mit Microcontrollern wie Arduino gemacht.

Der neue Raspberry Pi Pico ist im Gegensatz zu seinen Geschwistern aus der Raspberry-Serie kein Minicomputer mit Betriebssystem, sondern ein kleines, kompaktes Microcontroller-Board, auf dem Programme in MicroPython oder C/C++ ausgeführt werden können.

Mit der Vorstellung des Pico sind die News aber noch nicht fertig erzählt. Neben dem neuen Microcontroller-Board gibt es auch einen neuen Microcontroller. Auf dem Pico wird ein eigener, von der Raspberry Pi Foundation entwickelter Chip eingesetzt – der Microcontroller hat die Bezeichnung RP2040.

Diese spannenden Neuigkeiten bringen wieder Schwung in die Maker-Szene. Ein neues Microcontroller-Board, das einen solch markanten Eindruck in der Szene und in den sozialen Medien hinterlässt, erscheint nicht täglich. Obwohl erst kurze Zeit seit der Präsentation des Pico vergangen ist, findet man auf den bekannten sozialen Plattformen wie Twitter, YouTube und Hackaday schon eine ganze Menge an nützlichen Informationen, Beispielen und Tutorials. Täglich kommen neue Projekte dazu und erweitern so die Möglichkeiten des kleinen Boards.

Im Juni 2022 hat die Raspberry Pi Foundation ein neues Board vorgestellt – den Raspberry Pi Pico W. Der Buchstabe W bedeutet *wireless*. Das neue Board hat nun einen von vielen Anwendern gewünschten WLAN-Adapter. Jetzt kann auch der Raspberry Pi Pico W für drahtlose Webanwendungen wie Sensoranwendungen oder als MQTT-Client verwendet werden.

Dieser kompakte Guide soll Sie beim Einstieg ins Thema Raspberry Pi Pico, Raspberry Pi Pico W und MicroPython unterstützen. Idealerweise haben Sie schon mit anderen Microcontroller-Boards gearbeitet und Grundkenntnisse in Python oder einer anderen Programmiersprache.

Im Buch benenne ich die Boards allgemein als Raspberry Pi Pico. Bei spezifischen Funktionen, wie der WLAN-Funktionalität, verweise ich auf den Raspberry Pi Pico W.

Das Buch ist so aufgebaut, dass Sie die Kapitel nacheinander durcharbeiten können.

In Kapitel 1 werden der Raspberry Pi Pico und der Pico W vorgestellt, die Anschlüsse erklärt und die technischen Daten und Funktionen vorgestellt.

In Kapitel 2 wird die Firmware der Programmiersprache MicroPython, eine kompakte und abgespeckte Version von Python, installiert. Anschließend wird die Entwicklungsumgebung Thonny installiert und konfiguriert. Nach dem Verbindungsaufbau zwischen der Entwicklungsumgebung und dem Pico steht die nötige Infrastruktur bereit.

Das erste Programm, im Hardware-Umfeld ein Blink-Programm, wird in Kapitel 3 erstellt und auf den Pico und den Pico W geladen. Anschließend werden die Struktur der Programme und der Programmaufbau erklärt. Gleichzeitig werden die nötige Elektronik und Hardware wie Steckbrett, die für die nachfolgenden Beispiele verwendet werden, erläutert.

Das Kapitel 4 beschreibt den Einsatz der digitalen Ein- und Ausgänge des Pico. In praktischen Beispielen werden die Zustände von Tastern eingelesen und Leuchtdioden, Servos und Relais angesteuert.

Die analoge Welt mit den integrierten Analog/Digital-Wandlern wird in Kapitel 5 vorgestellt. Analoge Sensoren wie Fotowiderstand und Temperatursensor werden in Betrieb genommen.

In Kapitel 6 werden Anzeige-Elemente eingesetzt. Zuerst wird eine Leuchtdiode als optisches Element über eine Dimm-Funktion angesteuert. Anschließend erklären Praxisbeispiele den Einsatz von LC- und OLED-Displays. Zum Schluss wird eine kleine Wetterstation und eine OLED-Uhr realisiert.

Kapitel 7 beschreibt den Einsatz der seriellen Schnittstelle (UART) und des I2C-Bus sowie die WLAN-Funktionalität des Pico W. In einem Praxisprojekt wird ein Lichtmesser und ein MQTT-Client realisiert.

In Kapitel 8 werden Programmiererweiterungen wie die State-Machine und Module und Bibliotheken beschrieben.

Kapitel 9 beinhaltet technische Themen wie die Beschreibung des Pinouts und der einzelnen Anschluss-Pins sowie technische Daten zum Pico, Pico W und dem Microcontroller RP2040.

Alle Stücklisten zu den einzelnen Projekten werden in Kapitel 10 bereitgestellt.

### Weitere Informationen

Weitere Informationen zum Buch und zu den Projekten mit dem Raspberry Pi Pico sind auf meiner Website erhältlich:

<https://555circuitslab.com>

Die Beispielprogramme aus dem Buch können über meinen Github-Account bezogen werden:

<https://github.com/arduinopraxis>

Auf meiner Website findet man auch weitere Informationen zu meinen Microcontroller-Projekten wie auch Details zu meinen Büchern über die Themen Arduino und Sensoren.

Auf der Website des Verlages sind Informationen zu diesem Buch unter folgender Adresse verfügbar:

<https://mitp.de/0640>

### **Kontakt zum Autor**

Anregungen, Rückmeldungen und Fragen können Sie über Twitter oder E-Mail an mich senden.

E-Mail: [maker@555circuitslab.com](mailto:maker@555circuitslab.com)

Twitter: <https://twitter.com/arduino Praxis>

### **Danksagung**

Ein großer Dank geht an meine Familie, meine Frau Aga und meine Jungs Tim und Nik. Auch bei diesem Buchprojekt haben sie mir wieder den nötigen Freiraum gegeben.

Herzlichen Dank an meine Lektorin Sabine Schulz für den unkomplizierten und schnellen Ablauf bei der Entstehung dieses Buchprojekts.

Im März 2023

Thomas Brühlmann

# Kapitel 1

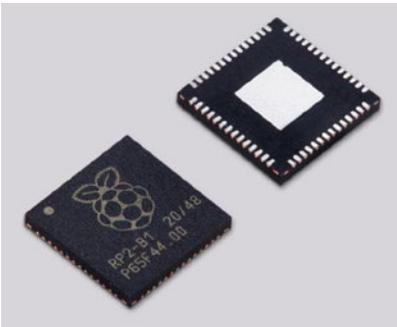
## Das Board

In diesem Kapitel werden die Hardware des Raspberry Pi Pico, die Anschlüsse und die Spannungsversorgung beschrieben.

### 1.1 Der Raspberry Pi Microcontroller RP2040

Der Raspberry Pi Pico und der Pico W werden mit einem Microcontroller RP2040 betrieben. Der RP2040 ist ein Microcontroller, der von der Raspberry Pi Foundation entwickelt wurde.

Abbildung 1.1 zeigt den integrierten Baustein.



**Abb. 1.1:** RP2040 – Raspberry Pi Microcontroller

Der RP2040 ist ein leistungsstarker Microcontroller mit einem Dual-core Arm Cortex-M0+ Processor.

Die Hauptmerkmale des RP2040 sind:

- 2 CPU Cores mit ARM-Cortex-M0 Prozessoren, getaktet mit 133 MHz
- 264 MB RAM, aufgeteilt auf 6 Blöcke
- Flexible I/O, UART, SPI und I2C-Schnittstellen, USB 1.1, 4-Kanal-Analog-Digital-Wandler, Programmierbarer I/O-Controller (PIO)

Die detaillierten technischen Daten des RP2040 sind in Kapitel 9 beschrieben. Neben den beiden Pico-Boards gibt es mittlerweile viele weitere Boards, die den RP2040-Microcontroller nutzen. Der RP2040 kann bei vielen Elektronik-Händlern als einzelnes Bauteil gekauft werden.

## 1.2 Die Leiterplatte

Der Raspberry Pi Pico ist das bisher kleinste Board der Raspberry-Pi-Familie und hat eine Größe von 50 x 20 mm. Der Pico wird als kleine Leiterplatte mit seitlichen Anschlüssen geliefert. In Abbildung 1.2 ist der Raspberry Pi Pico zu sehen.



Abb. 1.2: Raspberry Pi Pico

Die wichtigsten Komponenten des Raspberry Pi Pico sind in Abbildung 1.3 farblich dargestellt.

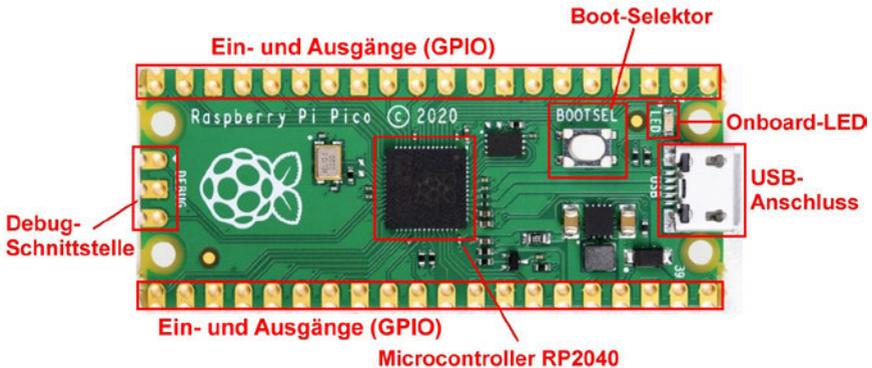


Abb. 1.3: Raspberry Pi Pico – Komponenten des Boards

## Microcontroller

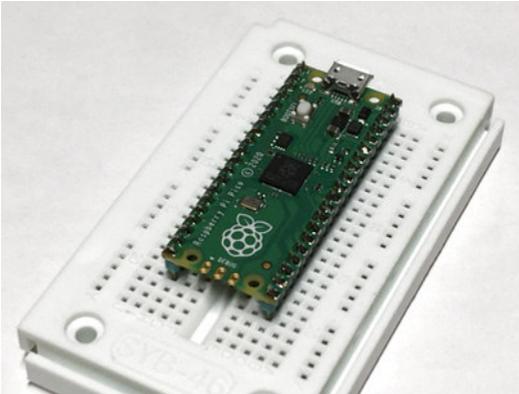
Die Zentraleinheit, also das Gehirn des Pico, ist der Microcontroller vom Typ RP2040. Dieser Microcontroller wurde von der Raspberry Pi Foundation eigens für dieses neue Board entwickelt. Die technischen Daten zum Board und dem Microcontroller sind in Kapitel 9 beschrieben.

Im Gegensatz zu den bisherigen Raspberry-Pi-Boards kann auf dem Pico kein Betriebssystem betrieben werden. Auf den Microcontroller wird eine Firmware geladen, die anschließend einzelne Programme ausführt. In diesem Buch wird der Einsatz von MicroPython beschrieben.

## Ein- und Ausgänge

Über die goldenen Anschlusspads oder Lötflächen auf den Längsseiten können die externen Bauteile angeschlossen werden. Dabei kann ein einzelner Anschlussdraht oder eine Stiftleiste angelötet werden.

In der Praxis lohnt sich das Anlöten einer 20-poligen Stiftleiste. Dabei werden die Anschluss-Pins von der Unterseite des Pico aufgesteckt und an der Oberseite der Leiterplatte angelötet. In Abbildung 1.4 sind die Stiftleisten angelötet. Anschließend wurde der Pico auf ein Steckbrett aufgesteckt.



**Abb. 1.4:** Raspberry Pi Pico mit Stiftleisten auf Steckbrett

Das Anlöten von Stiftleisten für den Einsatz auf einem Steckbrett kennen Sie vielleicht schon von anderen Microcontroller-Boards wie dem Arduino Nano.

Die Anschlussbelegung des Pico ist in Abschnitt 1.4 beschrieben.

### USB-Anschluss

Mit dem Anschließen eines USB-Kabels an den USB-Anschluss (Micro-USB-Typ B) wird der Raspberry Pi Pico mit Spannung versorgt. Gleichzeitig erfolgt über diese USB-Verbindung der Datenaustausch vom Pico zum angeschlossenen Rechner. Dazu gehört auch das Hochladen von neuen Programmen auf den Pico.

### Onboard-LED

Die Onboard-LED ist intern am Ausgangspin GP25 des RP2040 angeschlossen und kann für Statusanzeigen verwendet werden.

### Boot-Selektor

Der Boot-Selektor ist ein Drucktaster zur Selektion des Startmodus. Der Boot-Selektor wird später noch verwendet und beschrieben.

### Debug-Schnittstelle

Die drei Anschluss-Pads mit der Bezeichnung DEBUG sind für die fortgeschrittene Fehlersuche, das sogenannte Debugging, herausgeführt. Die Schnittstelle wird als ARM-Serial-Wire-Debug-(SWD-)Schnittstelle bezeichnet. Die Verwendung dieser Schnittstelle ist in diesem Buch nicht beschrieben.

## 1.3 Die Leiterplatte Pico W

Die Leiterplatte des Raspberry Pi Pico W hat die gleichen Abmessungen wie der Pico.

In Abbildung 1.5 ist der Raspberry Pi Pico W abgebildet.

Die Unterschiede der Komponenten zwischen dem Pico und dem Pico W sind in Abbildung 1.6 dargestellt

### Wireless-Chip CYW43439

Auf der Leiterplatte des Pico W wird ein Wireless-Chip CYW43439 von Infineon eingesetzt. Dieser Baustein erlaubt WLAN-Verbindungen im 2.4-GHz-Bereich nach dem Standard WiFi 4 (802.11n). Zusätzlich ist in diesem Baustein Bluetooth 5.2 integriert. Zum aktuellen Zeitpunkt wird Bluetooth aber noch nicht vom Pico W unterstützt.

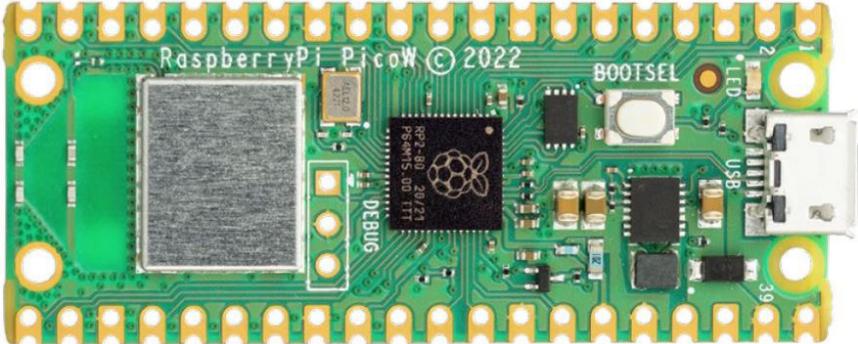


Abb. 1.5: Raspberry Pi Pico W

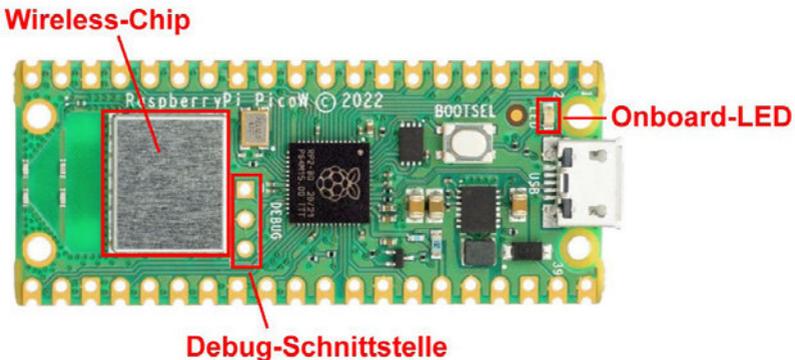


Abb. 1.6: Raspberry Pi Pico W – Komponenten des Boards

### Onboard-LED

Die Onboard-LED ist, im Gegensatz zum Pico, am Ausgangspin GPIO0 des Wireless-Chips CYW43439 angeschlossen. Der beim Pico verwendete Pin wird für die Ansteuerung der Wireless-Chips verwendet.

### Debug-Schnittstelle

Die Debug-Schnittstelle hat auf der Leiterplatte des Pico W eine veränderte Position. Die Technik ist wie bei Raspberry Pi Pico.

Die drei Anschluss-Pads mit der Bezeichnung DEBUG sind für die fortgeschrittene Fehlersuche, das sogenannte Debugging, herausgeführt. Die Schnittstelle

wird als ARM-Serial-Wire-Debug-(SWD-)Schnittstelle bezeichnet. Die Verwendung dieser Schnittstelle ist in diesem Buch nicht beschrieben.

## 1.4 Anschlüsse

Die Anschluss-Pins des Pico sind an allen Seiten der Leiterplatte angeordnet.

An den Längsseiten findet man alle Ein- und Ausgänge, um externe Komponenten wie Schalter, Taster, Leuchtdioden, Sensoren oder Anzeigen anzuschließen.

Die Anschlussbelegung des Pico und des Pico W ist identisch.

In Abbildung 1.7 ist die Anschlussbelegung (Pinout) des Pico mit den verschiedenen Funktionen der einzelnen Pins dargestellt. Die Funktionen werden zusätzlich mit einzelnen Farben gezeigt. Die Ein- und Ausgänge für übliche GPIO-Funktionen, also allgemeine Ein- und Ausgänge, sind hellgrün. Die vier analogen Eingänge sowie die interne Referenzspannung sind dunkelgrün markiert.

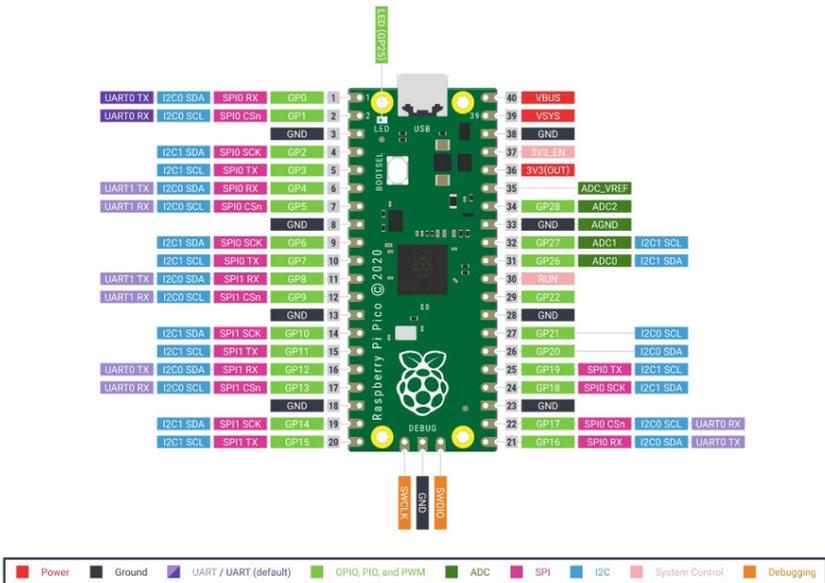


Abb. 1.7: Pico – Anschlussbelegung (Quelle: Website Raspberry Pi Foundation)

Abbildung 1.8 zeigt die Anschlussbelegung des Pico W. Hier ist die unterschiedliche Pin-Bezeichnung für die LED-Ansteuerung und die veränderte Position der Debug-Schnittstelle zu beachten.

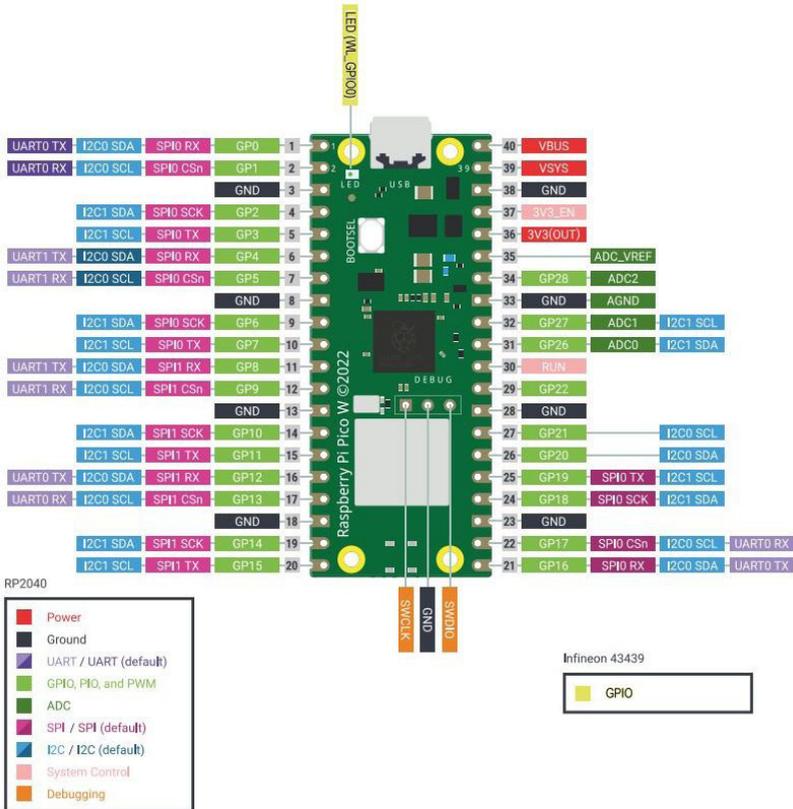


Abb. 1.8: Pico W – Anschlussbelegung (Quelle: Website Raspberry Pi Foundation)

Durch die vielen Anschluss-Pins und die verschiedenen Funktionen muss beim Anstecken einer Drahtverbindung immer genau geprüft werden, ob man den richtigen Pin verwendet. Leider ist die Pinbelegung nur auf der Rückseite des Raspberry Pi Pico aufgedruckt (Abbildung 1.9).

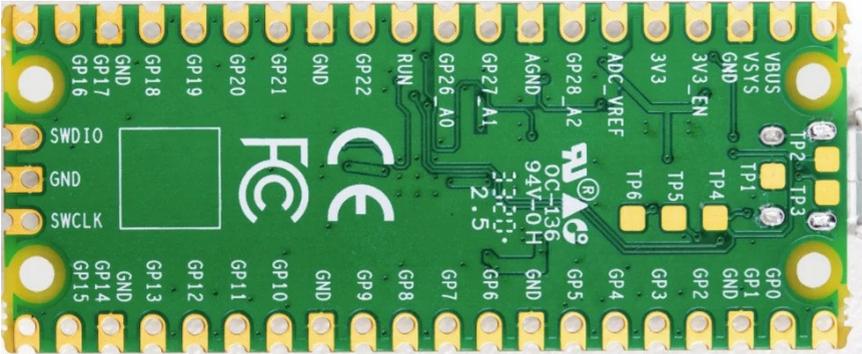


Abb. 1.9: Anschlussbelegung auf Rückseite

Wie bereits in Abschnitt 1.2 erwähnt, empfiehlt es sich, zwei 20-polige Stiftleisten an den seitlichen Anschlusspads anzulöten.

Ich habe mir für die sichtbare Anzeige der Anschlussbelegung eine kleine Leiterplatte entwickelt. Diese kann von unten an die Stiftleiste angeschlossen werden (Abbildung 1.10).

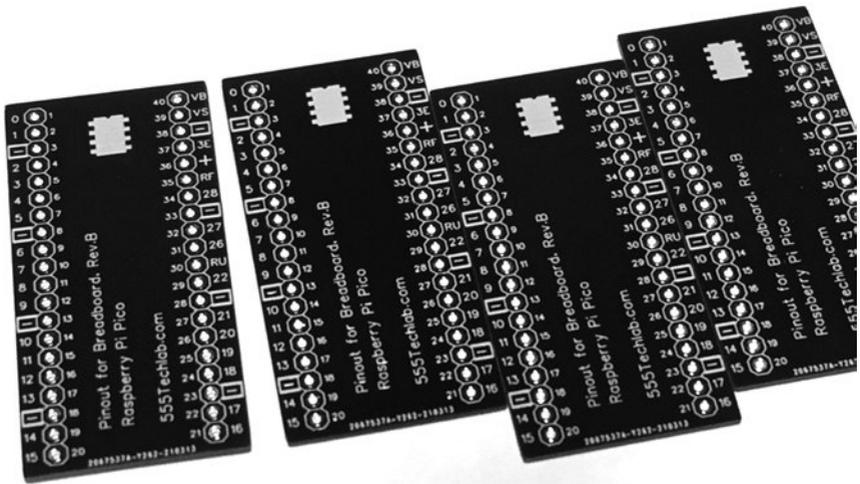


Abb. 1.10: Leiterplatte mit Anschlussbelegung

# Stichwortverzeichnis

## Symbole

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 3,3-V-Logik ..... | 58  |
| 3V3_EN .....      | 185 |
| 3V3_OUT .....     | 185 |
| 380 V .....       | 76  |

## A

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| AA-Batterie .....            | 23      |
| Adafruit .....               | 189     |
| ADC_VREF .....               | 185     |
| Adresse                      |         |
| I2C-Bus .....                | 137     |
| AGND .....                   | 185     |
| Aktor .....                  | 57      |
| Alarmmelder .....            | 178     |
| Analog/Digital-Wandler ..... | 91      |
| Analoges Signal .....        | 91      |
| Analogwerte .....            | 152     |
| Anker .....                  | 76      |
| Anschlussbelegung .....      | 15, 182 |
| Anschlussdraht .....         | 49      |
| Anschlüsse .....             | 13, 18  |
| Anschluss-Pin .....          | 15      |
| Ansteuerung                  |         |
| Motor .....                  | 79      |
| Anzeige .....                | 105     |
| Arduino .....                | 188     |
| Ausgang .....                | 57      |

## B

|                     |     |
|---------------------|-----|
| Basis .....         | 73  |
| Basis-Strom .....   | 74  |
| Baud .....          | 131 |
| BC546 .....         | 73  |
| Bedieneinheit ..... | 90  |

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| Betriebssystem .....  | 15           |
| BH1750 .....          | 138          |
| Bibliothek .....      | 39, 142, 171 |
| Installation .....    | 171          |
| network .....         | 142          |
| Bitbanging .....      | 173          |
| blink.py .....        | 41           |
| Blockschaltbild ..... | 52           |
| Bluetooth .....       | 141          |
| BOOTSEL .....         | 32           |
| Boot-Selektor .....   | 16           |
| Breadboard .....      | 46           |
| Busadresse .....      | 135          |
| I2C-Bus .....         | 137          |

## C

|                     |     |
|---------------------|-----|
| CircuitPython ..... | 190 |
| Common-Anode .....  | 105 |
| CYW43439 .....      | 16  |

## D

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| Datenaustausch .....        | 131    |
| Debug .....                 | 16, 17 |
| Debug-Schnittstelle .....   | 16, 17 |
| DHT22 .....                 | 117    |
| DHT-Bibliothek .....        | 119    |
| Drahtverbindung .....       | 49     |
| Drehrichtung .....          | 79     |
| Drehrichtungsänderung ..... | 87     |
| Drehwinkel .....            | 70     |
| DRV8871 .....               | 80     |
| DS3231 .....                | 124    |
| Dunkelheit .....            | 96     |
| Durchlassrichtung .....     | 53     |
| Duty Cycle .....            | 70     |

### E

---

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| Eingang .....              | 57, 59 |
| Ein- und Ausgänge .....    | 15, 57 |
| Elektronik .....           | 46     |
| Bauteile .....             | 50     |
| Emitter .....              | 73     |
| Endschalter .....          | 90     |
| Entwicklungsumgebung ..... | 10, 27 |
| Erstes Programm .....      | 37     |

### F

---

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| Farad .....                   | 55         |
| Fast Mode .....               | 135        |
| Fast Mode Plus .....          | 135        |
| Feather RP2040 .....          | 189        |
| Filesystem .....              | 33         |
| Firmware .....                | 10, 15, 27 |
| Flüssigkristall-Anzeige ..... | 105        |
| <i>siehe LCD</i>              |            |
| Fotowiderstand .....          | 96         |
| Freilaufdiode .....           | 77         |
| Frequenz .....                | 67         |
| Funktion .....                | 44, 171    |
| Funktionsbezeichnung .....    | 181        |

### G

---

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Geschwindigkeit ..... | 81, 86 |
| GP25 .....            | 16     |
| GPIO .....            | 184    |
| Grundplatine .....    | 22     |

### H

---

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| HackSpace .....            | 9   |
| Hardware-Erweiterung ..... | 191 |
| Hauptprogramm .....        | 42  |
| HD44780 .....              | 108 |

### I

---

|               |                    |
|---------------|--------------------|
| I2C .....     | 109, 134           |
| I2C-Bus ..... | 112, 129, 134, 137 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| I2C-Methode .....               | 137 |
| I2C-Scanner .....               | 137 |
| IC .....                        | 52  |
| IDE .....                       | 27  |
| Impuls .....                    | 66  |
| Impulszeit .....                | 66  |
| Input/Output-Controller .....   | 173 |
| Integrierte Schaltung .....     | 52  |
| <i>siehe IC</i>                 |     |
| Interactive Mode .....          | 38  |
| Interpreter-Einstellungen ..... | 35  |

### J

---

|                |     |
|----------------|-----|
| JS-Chart ..... | 151 |
|----------------|-----|

### K

---

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| Kiloohm .....                     | 53  |
| Kollektor .....                   | 73  |
| Kommentar .....                   | 42  |
| Kommunikationsschnittstelle ..... | 129 |
| Kondensator .....                 | 55  |
| Schaltzeichen .....               | 55  |
| Kontakt .....                     | 76  |
| Koordinatensystem                 |     |
| OLED .....                        | 115 |

### L

---

|                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| Laststrom .....             | 73              |
| LCD .....                   | 105, 108        |
| LC-Display .....            | 108             |
| <i>siehe LCD</i>            |                 |
| LDR .....                   | 96              |
| <i>siehe Fotowiderstand</i> |                 |
| LED .....                   | 53              |
| LED-Ampel .....             | 93              |
| Leiterplatte .....          | 14              |
| Leuchtdiode .....           | 51, 53, 63, 105 |
| Schaltzeichen .....         | 54              |
| Strom .....                 | 63              |
| Level-Shifter .....         | 110, 131        |

|                                     |                   |
|-------------------------------------|-------------------|
| Lichtmessung .....                  | 96, 138           |
| Lichtsensord                        |                   |
| BH1750 .....                        | 138               |
| Light Emitting Diode .....          | 53                |
| <i>siehe LED</i>                    |                   |
| Lipo-Akku .....                     | 23                |
| Lochrasterplatine .....             | 21                |
| Logikpegel .....                    | 110               |
| <b>M</b>                            |                   |
| machine .....                       | 39                |
| machine.Pin() .....                 | 59                |
| main.py .....                       | 41                |
| Massenspeicher .....                | 33                |
| Master/Slave-System .....           | 134               |
| Megaohm .....                       | 53                |
| Message Queuing Telemetry Transport |                   |
| <i>siehe MQTT</i>                   |                   |
| Messbereich                         |                   |
| NTC .....                           | 104               |
| Messsignal .....                    | 93                |
| Messwert .....                      | 93                |
| Microcontroller-Board .....         | 46                |
| MicroPython .....                   | 9, 15, 27, 30, 31 |
| Grundstruktur .....                 | 42                |
| Installation .....                  | 32                |
| Interpreter .....                   | 29                |
| Mini-Steckbrett .....               | 47                |
| Modellbau .....                     | 69                |
| Modus PULL_DOWN .....               | 60                |
| Modus PULL_UP .....                 | 59                |
| Motor .....                         | 79                |
| Stromversorgung .....               | 81                |
| Motor-Breakout-Board .....          | 79                |
| Motorspannung .....                 | 79                |
| Motor-Treiber .....                 | 80                |
| MQTT .....                          | 158               |
| MQTT-Broker .....                   | 158               |
| MQTT-Client .....                   | 11, 158, 160      |
| MQTTLens .....                      | 163               |

**N**

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Nachrichten                           |     |
| <i>siehe MQTT</i>                     |     |
| Negativer Temperaturkoeffizient ..... | 100 |
| Node-Red .....                        | 166 |
| NPN-Transistor .....                  | 73  |
| NTC .....                             | 100 |
| Messbereich .....                     | 104 |
| NTC-Sensor-Anwendung .....            | 102 |

**O**

|                           |                |
|---------------------------|----------------|
| Objekt .....              | 44             |
| OLED .....                | 113, 121       |
| Bauform .....             | 113            |
| Koordinatensystem .....   | 115            |
| OLED-Uhr .....            | 11             |
| Onboard-LED .....         | 16, 17, 38, 57 |
| Onboard-Leuchtdiode ..... | 38             |

**P**

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| Pegelwandler-Modul .....          | 110          |
| <i>siehe Level-Shifter</i>        |              |
| Pico .....                        | 9            |
| <i>siehe Raspberry Pi Pico</i>    |              |
| PIMORONI .....                    | 190          |
| Pinout .....                      | 18, 181      |
| PIO .....                         | 57, 171, 173 |
| PNP .....                         | 73           |
| Port .....                        | 29           |
| Positionswert .....               | 72           |
| Potentialtrennung .....           | 76           |
| Potentiometer .....               | 68           |
| Print-Relais .....                | 76           |
| Programmable Input and Output ... | 171,         |
| 173                               |              |
| <i>siehe PIO</i>                  |              |
| Programmaufbau .....              | 42           |
| Protoboard .....                  | 22           |
| Publisher .....                   | 158          |
| Pulldown .....                    | 59           |

|                               |                 |                                |         |
|-------------------------------|-----------------|--------------------------------|---------|
| Pull-Mode .....               | 61              | Leuchtdiode .....              | 54      |
| Pullup .....                  | 59              | Transistor .....               | 73      |
| Pulsweitenmodulation .....    | 57              | Widerstand .....               | 53      |
| PWM .....                     | 57, 66          | Schnittstelle .....            | 46, 129 |
| Blöcke .....                  | 67              | Schraubklemme .....            | 79      |
| Impuls .....                  | 66              | Sensor .....                   | 57      |
| Pin .....                     | 68              | Serial Wire Debug .....        | 16, 18  |
| Servo .....                   | 71              | Serielle Schnittstelle .....   | 129     |
| Signal .....                  | 67, 70          | <i>siehe UART</i>              |         |
| Python .....                  | 30              | Servomotor .....               | 69      |
| <b>R</b>                      |                 | servo.py .....                 | 71      |
| Raspberry Pi Foundation ..... | 9               | SG90 .....                     | 69      |
| Raspberry Pi Pico .....       | 9               | Shell .....                    | 28      |
| Raspberry Pi Pico W .....     | 10, 16          | Programm ausführen .....       | 38      |
| Rasperry Pi .....             | 9               | Signal                         |         |
| Real Time Clock .....         | 121             | analoges .....                 | 91      |
| Relais .....                  | 76              | Signaltrennung .....           | 110     |
| Relais-Schaltung .....        | 77              | Single Wire Debug .....        | 187     |
| repl .....                    | 38              | Software .....                 | 27      |
| Reset-Schalter .....          | 192             | Spannung                       |         |
| Response .....                | 145             | einlesen .....                 | 91      |
| RGB-LED .....                 | 105             | Spannungsquelle .....          | 23      |
| Richtung .....                | 86              | Motor .....                    | 81      |
| Roboteranwendung .....        | 80              | Spannungsteiler .....          | 97      |
| Roboterfahrzeug .....         | 90              | Spannungsversorgung .....      | 23      |
| Roboter-Programm .....        | 87              | Sparkfun .....                 | 80      |
| RP2040 .....                  | 9, 15, 186, 187 | Spule .....                    | 76      |
| RS-232 .....                  | 129             | State Machine .....            | 174     |
| <i>siehe UART</i>             |                 | Statusanzeige .....            | 63      |
| RTC                           |                 | Steckbrett .....               | 46, 47  |
| <i>siehe Real Time Clock</i>  |                 | Steckbrett-Aufbau .....        | 51      |
| RUN .....                     | 185             | Steinhart-Hart-Gleichung ..... | 102     |
| RX .....                      | 130             | Stiftleiste .....              | 15      |
| <b>S</b>                      |                 | Stromlaufplan .....            | 50      |
| Schalter .....                | 57              | Raspberry Pi Pico .....        | 52      |
| Schaltplan .....              | 50              | Stromversorgung                |         |
| Schaltzeichen                 |                 | Motor .....                    | 81      |
| Kondensator .....             | 55              | Stückliste .....               | 195     |
|                               |                 | Subscriber .....               | 158     |
|                               |                 | SWD .....                      | 187     |

**T**

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| Taster .....                | 62      |
| TB6612FNG .....             | 80      |
| Technische Daten .....      | 186     |
| Temperaturkoeffizient ..... | 100     |
| negativer .....             | 100     |
| Temperaturmessung .....     | 92, 100 |
| NTC .....                   | 101     |
| Temperatur-Sensor           |         |
| intern .....                | 92      |
| Temperaturwert .....        | 45      |
| Thermistor .....            | 100     |
| <i>siehe NTC</i>            |         |
| Thonny .....                | 10      |
| Installation .....          | 27      |
| Konfiguration .....         | 28      |
| ThonnyIDE .....             | 27      |
| Tiny2040 .....              | 190     |
| Topics .....                | 159     |
| <i>siehe MQTT</i>           |         |
| Transistor .....            | 73      |
| Grundsaltung .....          | 74      |
| Schaltzeichen .....         | 73      |
| TX .....                    | 130     |

**U**

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| UART .....                | 109, 129, 130 |
| Überspannung .....        | 77            |
| UF2-Datei .....           | 31            |
| Umrechnungsfunktion ..... | 45            |
| Umweltsensor .....        | 117           |
| USB .....                 | 16            |
| USB-Anschluss .....       | 16            |
| <i>siehe USB</i>          |               |
| USB-Kabel .....           | 32            |

**V**

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Variable .....          | 43  |
| VBUS .....              | 186 |
| Verbindungsaufbau ..... | 162 |
| Verbraucher .....       | 76  |
| Vorwiderstand .....     | 51  |
| VSYS .....              | 185 |

**W**

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Webclient .....       | 143, 146 |
| Webserver .....       | 145, 147 |
| Wechselspannung ..... | 76       |
| Wetterstation .....   | 117      |
| Widerstand .....      | 52       |
| Schaltzeichen .....   | 53       |
| Wireless .....        | 16       |
| CYW43439 .....        | 16       |
| WLAN .....            | 186      |
| WLAN-Controller ..... | 141      |
| WL_GPIO0 .....        | 39       |

**X**

|                   |     |
|-------------------|-----|
| XIAO RP2040 ..... | 191 |
| XML .....         | 145 |

**Z**

|                        |     |
|------------------------|-----|
| Zentraleinheit .....   | 15  |
| <i>siehe RP2040</i>    |     |
| Zustand .....          | 57  |
| Zustandsmaschine ..... | 174 |