

Thomas Brühlmann

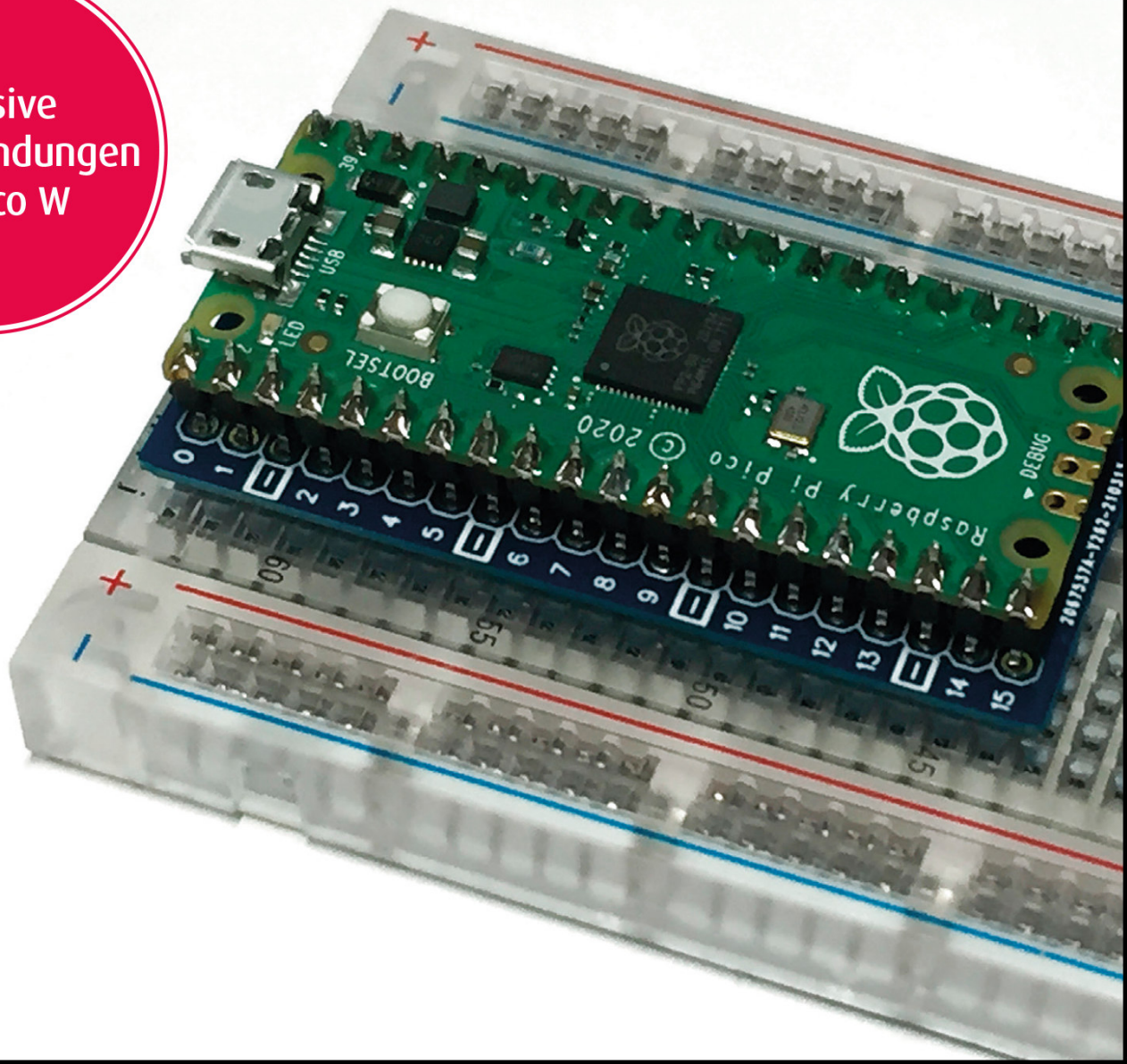
RASPBERRY PI PICO Schnelleinstieg

Kompakter Leitfaden für die Hardware

Einfache Programmierung mit MicroPython

2. Auflage

Inklusive
Webanwendungen
mit Pico W



mitp

Inhalt

Einführung	9
 1 Das Board	
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
 2 Die Software	
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
 3 Erste Schritte	
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	201
-----------------------------------	------------

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 Programmerweiterungen 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/arduinoopraxis>

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

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.

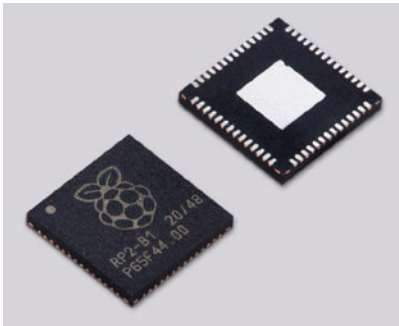


Abb. 1.1: RP2040 – Raspberry Pi Microcontroller

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.

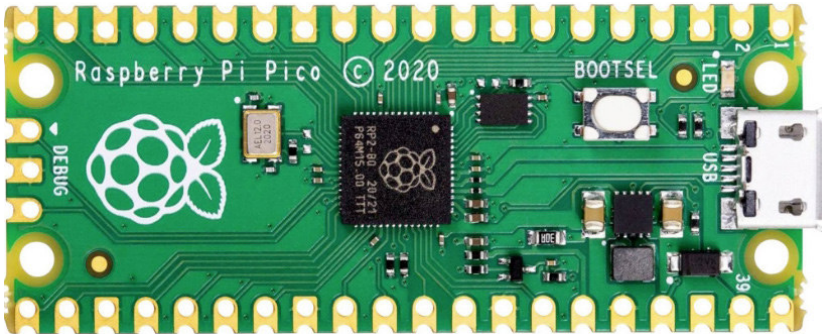


Abb. 1.2: Raspberry Pi Pico

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

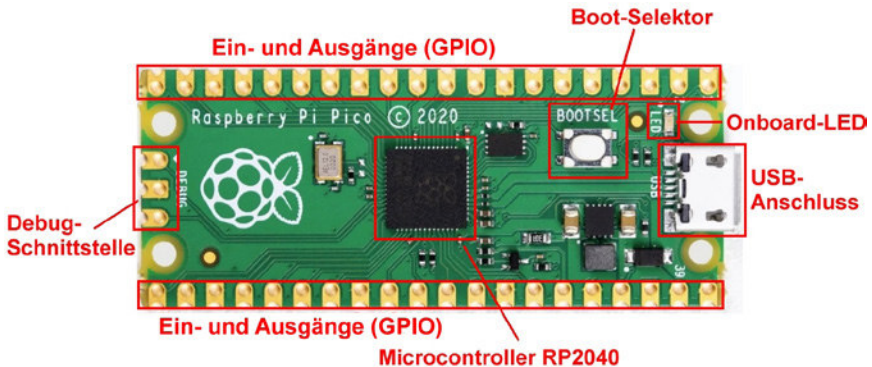


Abb. 1.3: Raspberry Pi Pico – Komponenten des Boards

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.

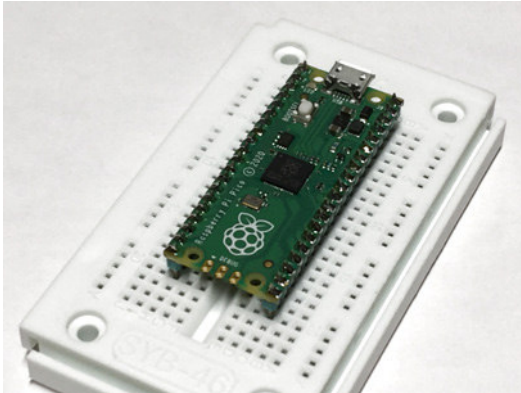


Abb. 1.4: Raspberry Pi Pico mit Stiftleisten auf Steckbrett

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.

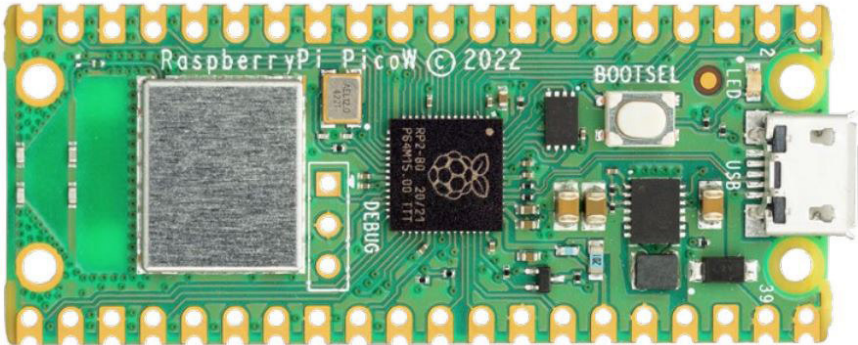


Abb. 1.5: Raspberry Pi Pico W

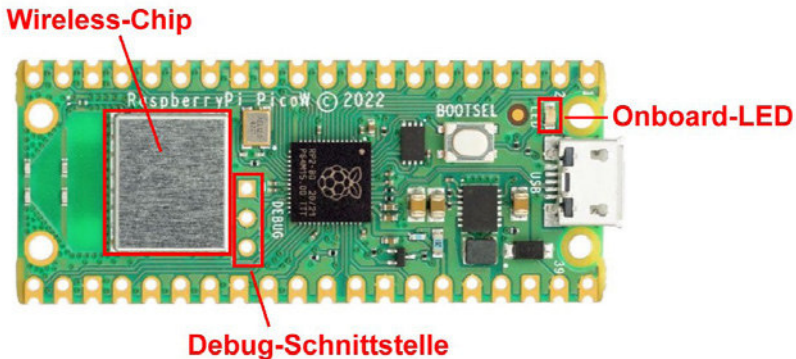


Abb. 1.6: Raspberry Pi Pico W – Komponenten des Boards

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

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.

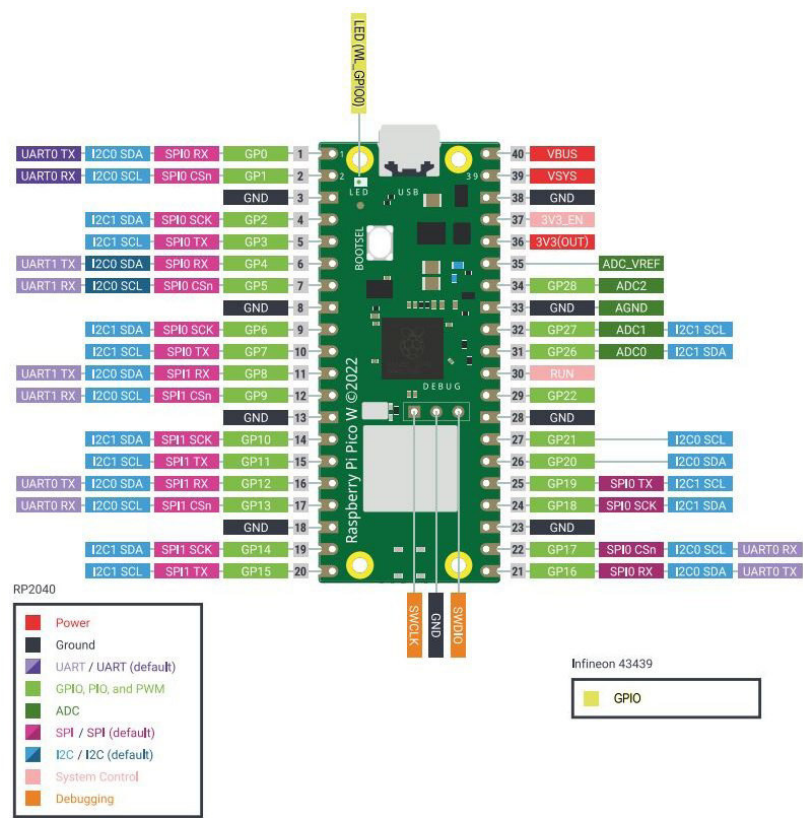


Abb. 1.8: Pico W – Anschlussbelegung (Quelle: Website Raspberry Pi Foundation)

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).

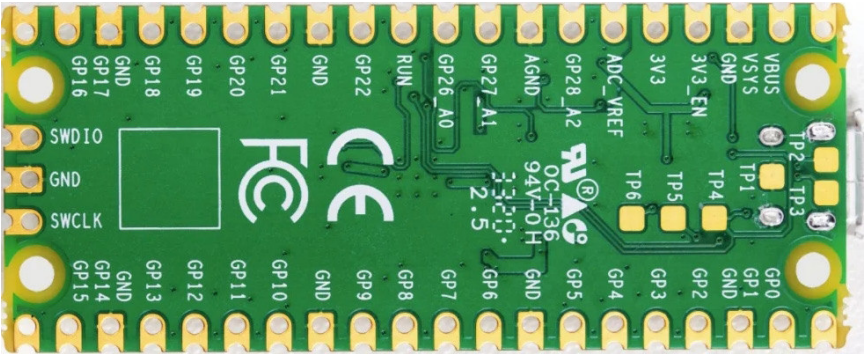


Abb. 1.9: Anschlussbelegung auf Rückseite

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).

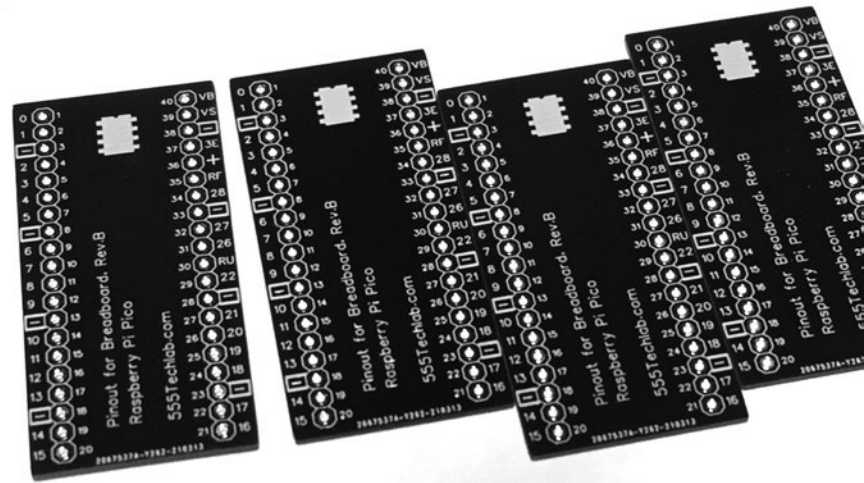


Abb. 1.10: Leiterplatte mit Anschlussbelegung

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

M

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
R		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
S		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
Grundschaltung	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