

# Inhalt

Einleitung .....	13
------------------	----

## 1 Der Mikrocontroller ESP32 und seine Funktionalitäten 19

---

<b>1.1 Die ESP32-SoCs .....</b>	<b>19</b>
<b>1.2 Die Module .....</b>	<b>22</b>
1.2.1 Die WROOM-, SOLO-, WROVER- und PICO-Module .....	23
<b>1.3 Die Boards .....</b>	<b>26</b>
<b>1.4 Das ESP32-Dev-KitC V4 .....</b>	<b>27</b>
1.4.1 Das Pinout .....	28
1.4.2 Funktionen der GPIO-Pins .....	29
1.4.3 Höhere Eingangsspannung an GPIOs .....	36
<b>1.5 Das ESP32-Dev-KitC V4 – Erstinbetriebnahme am PC .....</b>	<b>37</b>
1.5.1 Windows .....	38
1.5.2 Linux .....	38

## 2 Die Stromversorgung 41

---

<b>2.1 Betriebszustände und typische Stromverbräuche .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2 Anschlüsse zur Stromversorgung .....</b>	<b>43</b>
<b>2.3 Grundschema der Stromversorgung .....</b>	<b>44</b>
<b>2.4 Spannungsquellen .....</b>	<b>45</b>
<b>2.5 Spannungsregler .....</b>	<b>47</b>
2.5.1 Lineare Spannungsregler .....	48
2.5.2 Schaltregler .....	50

<b>3</b>	<b>Ihre Werkstatt</b>	53
<b>3.1</b>	<b>Breadboard &amp; Co.</b>	53
3.1.1	Das Breadboard	53
3.1.2	Jumperkabel	54
3.1.3	Leiterplatine	55
<b>3.2</b>	<b>Hilfreiche Werkzeuge</b>	57
<b>3.3</b>	<b>Fritzing</b>	60
3.3.1	Was ist Fritzing?	60
3.3.2	Fritzing starten	61
3.3.3	In der Steckplattenansicht arbeiten	62
3.3.4	In der Schaltplanansicht arbeiten	69
3.3.5	In der Leiterplattenansicht arbeiten	70
3.3.6	Bauteile importieren	72
3.3.7	Bauteile ändern und selbst erstellen	73
<b>3.4</b>	<b>Löttechnik</b>	73
3.4.1	Bauteile auf Platinen löten	74
3.4.2	Bauteile entlöten	75
3.4.3	SMD löten	76
3.4.4	ESP32-Modul löten	77
<b>4</b>	<b>Entwicklungsumgebungen</b>	83
<b>4.1</b>	<b>Der Weg von lesbaren Anweisungen zum Maschinencode</b>	83
<b>4.2</b>	<b>Das Betriebssystem der Entwicklungsumgebung</b>	86
<b>4.3</b>	<b>esptool.py</b>	87
4.3.1	Installation unter Windows	88
4.3.2	Installation unter Linux	92
4.3.3	Ausführbare Versionen von esptool	92
4.3.4	esptool einsetzen	92
<b>4.4</b>	<b>Entwicklungsumgebungen in der Übersicht</b>	95
4.4.1	Das Espressif IDF	96
4.4.2	Die Arduino-IDE auf dem PC	112
4.4.3	Der Arduino-Web-Editor	132
4.4.4	Eclipse	132
4.4.5	MicroPython	132
4.4.6	Lua	140

4.4.7	Rust .....	146
4.4.8	PlatformIO .....	146
<b>4.5</b>	<b>Partitionstabelle festlegen</b> .....	<b>157</b>
<b>4.6</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>159</b>
<b>5</b>	<b>Programmierung mit C und C++</b> .....	<b>161</b>
<b>5.1</b>	<b>Programmdesign für den Mikrocontroller</b> .....	<b>161</b>
5.1.1	»Normale« C-/C++-Programme .....	163
5.1.2	Sketche .....	164
5.1.3	Erweiterte Programmstruktur .....	164
<b>5.2</b>	<b>Syntax und Semantik in der Programmiersprache</b> .....	<b>165</b>
<b>5.3</b>	<b>Zeichen, Kommentare und Begrifflichkeiten</b> .....	<b>166</b>
5.3.1	Zeichen und ihre Bedeutung .....	166
5.3.2	Kommentare .....	168
5.3.3	Begrifflichkeiten .....	168
<b>5.4</b>	<b>Daten und Datentypen</b> .....	<b>169</b>
<b>5.5</b>	<b>Variablen</b> .....	<b>173</b>
5.5.1	Deklaration und Definition .....	174
5.5.2	Initialisierung und Wertzuweisung .....	174
5.5.3	Gültigkeitsbereiche von Variablen .....	175
5.5.4	Typqualifizierer .....	176
5.5.5	Der Variablenmodifikator PROGMEM .....	177
<b>5.6</b>	<b>Ausdrücke und Operatoren</b> .....	<b>177</b>
5.6.1	Arithmetische Operatoren .....	177
5.6.2	Zuweisungsoperatoren .....	178
5.6.3	Bedingte Operatoren (Vergleiche) .....	179
5.6.4	Aussagenlogik .....	180
5.6.5	Bitoperatoren .....	182
5.6.6	Typumwandlung .....	184
5.6.7	Der Operator sizeof .....	186
5.6.8	Fehlerquellen .....	186
<b>5.7</b>	<b>Zeiger (Pointer)</b> .....	<b>186</b>
<b>5.8</b>	<b>Arrays und Strukturen</b> .....	<b>190</b>
5.8.1	Arrays (Tabellen) .....	190
5.8.2	struct (Strukturen) .....	192
5.8.3	union .....	193

5.8.4	enum .....	194
5.8.5	typedef .....	194
<b>5.9</b>	<b>Kontrollstrukturen .....</b>	<b>194</b>
5.9.1	if-Bedingung .....	195
5.9.2	if-else .....	196
5.9.3	switch ... case .....	197
5.9.4	while-Schleife .....	199
5.9.5	do-while-Schleife .....	200
5.9.6	for-Schleife .....	201
<b>5.10</b>	<b>Funktionen .....</b>	<b>203</b>
5.10.1	Die Syntax einer Funktion .....	204
5.10.2	Funktionsdeklaration und Funktionsdefinition .....	205
5.10.3	Funktionsaufruf .....	207
5.10.4	Übergabe von Parametern .....	209
5.10.5	Rücksprung .....	214
5.10.6	Rückgabe von Ergebnissen .....	215
<b>5.11</b>	<b>Funktionen nutzen: Ihr Werkzeugkasten .....</b>	<b>217</b>
5.11.1	Zeitfunktionen .....	217
5.11.2	Mathematische und trigonometrische Funktionen .....	218
5.11.3	Zufallszahlen .....	221
<b>5.12</b>	<b>Klassen und objektorientierte Programmierung .....</b>	<b>223</b>
<b>5.13</b>	<b>Die String()-Klasse .....</b>	<b>231</b>
<b>5.14</b>	<b>Serielle Aus- und Eingabe .....</b>	<b>239</b>
<b>5.15</b>	<b>Exkurs: Tasks und Threads .....</b>	<b>245</b>
5.15.1	Die FreeRTOS-Task-API .....	246
5.15.2	Threads programmieren .....	247
<b>5.16</b>	<b>Präprozessordirektiven .....</b>	<b>248</b>
5.16.1	Die Direktive #define .....	248
5.16.2	Die Direktive #include .....	249
5.16.3	#ifdef/#endif-Direktive .....	250
<b>5.17</b>	<b>Prinzipien des Softwareentwurfs .....</b>	<b>251</b>
<b>5.18</b>	<b>Fehlermanagement .....</b>	<b>251</b>
5.18.1	Einfache Methoden .....	251
5.18.2	Aufwendigere Methoden .....	253
5.18.3	Professionelle Methoden .....	261
5.18.4	Datenblätter .....	271
<b>5.19</b>	<b>JSON – das Datenformat für den Datenaustausch .....</b>	<b>271</b>

<b>6</b>	<b>Peripherie und Funktionen des ESP32</b>	275
<b>6.1</b>	<b>Der interne Hall-Sensor</b>	275
<b>6.2</b>	<b>Digitale Aus-/Eingänge</b>	276
6.2.1	Digitale Ausgänge	277
6.2.2	Digitale Eingänge	279
<b>6.3</b>	<b>Analoge Aus-/Eingänge</b>	284
6.3.1	Analoge Ausgänge	285
6.3.2	Analoge Eingänge	286
<b>6.4</b>	<b>Das ESP32-Touch-Sensor-System</b>	296
<b>6.5</b>	<b>DHT11/DHT22</b>	302
<b>6.6</b>	<b>433-MHz-Steuerung</b>	306
<b>6.7</b>	<b>LED-Control und Pulsweitenmodulation</b>	311
6.7.1	Pulsweitenmodulation	311
6.7.2	Die ESP32-LED-Steuereinheit	313
<b>6.8</b>	<b>Impulszähler</b>	318
<b>6.9</b>	<b>Universal-Timer, Watchdog-Timer</b>	321
6.9.1	Universal-Timer	322
6.9.2	Watchdog-Timer	324
<b>6.10</b>	<b>Energie-(Spar-)Modi</b>	326
<b>6.11</b>	<b>ULP-Programmierung</b>	334
<b>6.12</b>	<b>Daten auf dem ESP32 speichern</b>	364
<b>6.13</b>	<b>FreeRTOS-Taskfunktionen</b>	367
<b>6.14</b>	<b>Thread-Funktionalität nutzen</b>	370
<b>7</b>	<b>Externe Schnittstellen</b>	375
<b>7.1</b>	<b>SPI</b>	375
7.1.1	RFID mit RFID-RC522	376
7.1.2	SD-Karte	383
7.1.3	TFT-Display	389
<b>7.2</b>	<b>I<sup>2</sup>C</b>	394

<b>7.3</b>	<b>Bluetooth</b> .....	398
7.3.1	Bluetooth Classic .....	399
7.3.2	Bluetooth Low Energy .....	401
<b>7.4</b>	<b>WLAN/Wi-Fi</b> .....	415
7.4.1	ESP32 als AP .....	416
7.4.2	ESP32 als »Station« .....	421
7.4.3	ESP32 mit ESP-Now .....	428
7.4.4	ESP32-Mesh .....	437
<b>7.5</b>	<b>UART</b> .....	437
7.5.1	Die UART-Schnittstellen des ESP32 .....	438
7.5.2	Ein UART-Echo .....	439
7.5.3	ESP32-Modul flashen .....	441
<b>7.6</b>	<b>OTA</b> .....	442
 <b>8 Externe Kommunikations- und Steuerungsmöglichkeiten</b>		 447
<hr/>		
<b>8.1</b>	<b>Das JSON-Datenaustauschformat in der Praxis</b> .....	448
<b>8.2</b>	<b>Apps</b> .....	453
8.2.1	Blynk .....	453
8.2.2	MIT App Inventor .....	464
<b>8.3</b>	<b>Messenger</b> .....	476
8.3.1	E-Mail-Versand .....	477
8.3.2	Pushbullet .....	484
8.3.3	Alexa .....	492
8.3.4	Telegram, Twitter und WhatsApp .....	495
<b>8.4</b>	<b>Das MQTT-Protokoll</b> .....	495
<b>8.5</b>	<b>Cloud-IoT-Plattformen</b> .....	503
8.5.1	Cayenne .....	503
8.5.2	Adafruit IO .....	509
8.5.3	IFTTT .....	518
<b>8.6</b>	<b>Lokale Anwendungen nutzen</b> .....	530
8.6.1	Node-RED .....	530
8.6.2	ioBroker .....	543

<b>9</b>	<b>Projektideen</b>	557
<b>9.1</b>	<b>The Evil Dice</b>	557
<b>9.2</b>	<b>Die Maker-Uhr</b>	563
<b>9.3</b>	<b>Das Dateisystem einmal anders</b>	582
<b>9.4</b>	<b>Solar-Repeater</b>	592
<b>9.5</b>	<b>Als die Bilder laufen lernten</b>	596
9.5.1	Schwarz-Weiß-Bild anzeigen	597
9.5.2	RGB-Bild anzeigen	600
9.5.3	TFT-Slide-Show	602
<b>9.6</b>	<b>IoT-Barometer</b>	609
9.6.1	Der Sensor BMP280	610
9.6.2	Das I <sup>2</sup> C-OLED-Display SSD1306	614
9.6.3	Beide Module an einem gemeinsamen I <sup>2</sup> C-Bus	622
9.6.4	Beide Module an getrennten I <sup>2</sup> C-Kanälen	625
<b>9.7</b>	<b>Eine kleine Schaltzentrale</b>	626
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	645
<b>A.1</b>	<b>Sensoren</b>	645
<b>A.2</b>	<b>Fritzing-Parts</b>	646
<b>A.3</b>	<b>Verwendete Software und Softwareversionen</b>	647
<b>A.4</b>	<b>RTC-MUX-Pin-Liste</b>	648
	Index	651