

---

<b>VORWORT</b> .....	<b>19</b>
<b>Über die Autoren</b> .....	<b>21</b>
<b>KAPITEL 1 • DER ESP32-PROZESSOR</b> .....	<b>23</b>
1.1 Übersicht .....	23
1.2 Die Architektur des ESP32 .....	24
1.2.1 Die CPU .....	25
1.2.2 Interner Speicher .....	26
1.2.3 Externer Speicher .....	26
1.2.4 Universal-Timer .....	26
1.2.5 Watchdog-Timer .....	26
1.2.6 Der Systemtakt .....	26
1.2.7 Transceiver .....	26
1.2.8 Universal-Ein- und Ausgänge (GPIOs) .....	26
1.2.9 Analog-Digital-Wandler (ADC) .....	27
1.2.10 Digital-Analog-Wandler (DAC) .....	27
1.2.11 Hall-Sensor .....	27
1.2.12 Temperatursensor .....	27
1.2.13 Touch-Sensor .....	27
1.2.14 UART .....	27
1.2.15 I <sup>2</sup> C-Schnittstelle .....	27
1.2.16 I <sup>2</sup> S-Schnittstelle .....	27
1.2.17 Infrarot-Controller .....	27
1.2.18 Pulsweitenmodulation .....	28
1.2.19 LED-PWM .....	28
1.2.20 Impulszähler .....	28
1.2.21 SPI-Schnittstelle .....	28
1.2.22 Hardware-Beschleuniger .....	28
1.3 ESP32-Entwicklungsboards .....	28
1.3.1 SparkFun ESP32 Thing .....	28
1.3.2 Geekcreit ESP32 Development Board .....	29
1.3.3 LoLin32 ESP32 Development Board .....	30

1.3.4 Pycom LoPy Development Board . . . . .	30
1.3.5 ESP32 Test Board . . . . .	31
1.3.6 ESP32 Development Board von Pesky Products . . . . .	31
1.3.7 ESP32 OLED Development Board . . . . .	31
1.3.8 MakerHawk ESP32 Development Board . . . . .	32
1.3.9 ESP32-DevKitC . . . . .	32
1.3.10 Weitere Entwicklungsboards . . . . .	33
1.4 Zusammenfassung. . . . .	34
<b>KAPITEL 2 • DAS ESP32-DEVKITC DEVELOPMENT BOARD. . . . .</b>	<b>35</b>
2.1 Übersicht . . . . .	35
2.2 ESP32-DevKitC Hardware . . . . .	35
2.3 Einschalten des ESP32-DevKitC. . . . .	38
2.3.1 help . . . . .	40
2.3.2 op. . . . .	40
2.3.3 sta . . . . .	41
2.3.4 mac . . . . .	42
2.3.5 dhcp . . . . .	42
2.3.6 reboot . . . . .	42
2.3.7 ram. . . . .	42
2.3.8 ip . . . . .	43
2.3.9 ap. . . . .	43
2.4 Zusammenfassung. . . . .	43
<b>KAPITEL 3 • ARDUINO-IDE FÜR DAS ESP32-DEVKITC. . . . .</b>	<b>45</b>
3.1 Übersicht . . . . .	45
3.2 Installation der Arduino-IDE für das ESP32-DevKitC . . . . .	45
<b>KAPITEL 4 • BASISPROJEKTE MIT DER ARDUINO-IDE UND DEM ESP32-DEVKITC .</b>	<b>54</b>
4.1 Übersicht . . . . .	54
4.2 PROJEKT 1 – Blinkende LED . . . . .	54
4.2.1 Beschreibung . . . . .	54
4.2.2 Das Ziel. . . . .	54
4.2.3 Blockschaltbild . . . . .	54
4.2.4 Schaltplan . . . . .	55

---

4.2.5 Aufbau . . . . .	55
4.2.6 PDL des Projekts. . . . .	56
4.2.7 Programmlisting . . . . .	56
4.2.8 Programmbeschreibung . . . . .	57
4.2.9 Vorschläge. . . . .	57
4.3 PROJEKT 2 – Leuchtturm-LED . . . . .	57
4.3.1 Beschreibung . . . . .	57
4.3.2 Das Ziel. . . . .	58
4.3.3 Blockschaltbild . . . . .	58
4.3.4 Schaltplan . . . . .	58
4.3.5 Aufbau . . . . .	58
4.3.6 PDL des Projekts. . . . .	58
4.3.7 Programmlisting . . . . .	58
4.3.8 Programmbeschreibung . . . . .	59
4.4 PROJEKT 3 – Abwechselnd blinkende LEDs . . . . .	59
4.4.1 Beschreibung . . . . .	59
4.4.2 Das Ziel. . . . .	60
4.4.3 Blockschaltbild . . . . .	60
4.4.4 Schaltplan . . . . .	60
4.4.5 Aufbau . . . . .	60
4.4.6 PDL des Projekts. . . . .	61
4.4.7 Programmlisting . . . . .	61
4.4.8 Programmbeschreibung . . . . .	62
4.5 PROJEKT 4 – Rotierende LEDs . . . . .	62
4.5.1 Beschreibung . . . . .	62
4.5.2 Das Ziel. . . . .	63
4.5.3 Blockschaltbild . . . . .	63
4.5.4 Schaltplan . . . . .	63
4.5.5 Aufbau . . . . .	64
4.5.6 PDL des Projekts. . . . .	64
4.5.7 Programmlisting . . . . .	65
4.5.8 Programmbeschreibung . . . . .	66

4.5.9 Vorschläge . . . . .	66
4.6 PROJEKT 5 – Weihnachtsbeleuchtung . . . . .	66
4.6.1 Beschreibung . . . . .	66
4.6.2 Das Ziel . . . . .	66
4.6.3 Blockschaltbild . . . . .	66
4.6.4 Schaltplan . . . . .	66
4.6.5 Aufbau . . . . .	66
4.6.6 PDL des Projekts. . . . .	67
4.6.7 Programmlisting . . . . .	67
4.6.8 Programmbeschreibung . . . . .	69
4.6.9 Geändertes Programm. . . . .	69
4.6.10 Vorschläge . . . . .	71
4.7 PROJEKT 6 – Binärzähler mit LEDs. . . . .	71
4.7.1 Beschreibung . . . . .	71
4.7.2 Das Ziel. . . . .	71
4.7.3 Blockschaltbild . . . . .	71
4.7.4 Schaltplan . . . . .	71
4.7.5 Bau . . . . .	72
4.7.6 PDL des Projekts. . . . .	72
4.7.7 Programmlisting . . . . .	73
4.7.8 Programmbeschreibung . . . . .	74
4.8 PROJEKT 7 – Binärer Aufwärts-/Abwärtszähler mit LEDs. . . . .	75
4.8.1 Beschreibung . . . . .	75
4.8.2 Das Ziel . . . . .	75
4.8.3 Blockschaltbild . . . . .	75
4.8.4 Schaltplan . . . . .	76
4.8.5 Aufbau . . . . .	77
4.8.6 PDL des Projekts. . . . .	77
4.8.7 Programmlisting . . . . .	78
4.8.8 Programmbeschreibung . . . . .	80
4.9 PROJEKT 8 – Knight Rider LEDs. . . . .	80
4.9.1 Beschreibung . . . . .	80

---

4.9.2 Das Ziel . . . . .	80
4.9.3 Blockschaltbild . . . . .	80
4.9.4 Schaltplan . . . . .	80
4.9.5 Bau . . . . .	80
4.9.6 PDL des Projekts. . . . .	80
4.9.7 Programmlisting . . . . .	81
4.9.8 Programmbeschreibung . . . . .	82
4.9.9 Vorschläge . . . . .	82
4.10 PROJEKT 9 – Ändern der Helligkeit einer LED . . . . .	82
4.10.1 Beschreibung . . . . .	82
4.10.2 Das Ziel . . . . .	82
4.10.3 Blockschaltbild . . . . .	82
4.10.4 Schaltplan . . . . .	82
4.10.5 Aufbau. . . . .	83
4.10.6 PDL des Projekts. . . . .	83
4.10.7 Programmlisting . . . . .	83
4.10.8 Programmbeschreibung . . . . .	84
4.10.9 Vorschläge . . . . .	85
4.11 PROJEKT 10 – Zufällige Sounds mit einem Summer . . . . .	86
4.11.1 Beschreibung . . . . .	86
4.11.2 Das Ziel . . . . .	86
4.11.3 Blockschaltbild . . . . .	86
4.11.4 Schaltplan . . . . .	86
4.11.5 Aufbau. . . . .	86
4.11.6 PDL des Projekts. . . . .	87
4.11.7 Programmlisting . . . . .	88
4.11.8 Programmbeschreibung . . . . .	89
4.11.9 Vorschlag . . . . .	89
4.12 PROJEKT 11 – LED-Farbtafel . . . . .	89
4.12.1 Beschreibung . . . . .	89
4.12.2 Das Ziel . . . . .	90
4.12.3 Blockschaltbild . . . . .	90

4.12.4 Schaltplan . . . . .	90
4.12.5 Aufbau. . . . .	90
4.12.6 PDL des Projekts. . . . .	91
4.12.7 Programmlisting . . . . .	92
4.12.8 Programmbeschreibung . . . . .	93
4.12.9 Vorschläge . . . . .	93
4.13 Zusammenfassung. . . . .	93

**KAPITEL 5 • EINFACHE PROJEKTE MIT DER ARDUINO-IDE UND DEM ESP32-DEVKITC. . . . . 94**

5.1 Übersicht . . . . .	94
5.2 PROJEKT 1 – Thermometer mit seriellem Monitor . . . . .	94
5.2.1 Beschreibung . . . . .	94
5.2.2 Das Ziel. . . . .	94
5.2.3 Blockschaltbild . . . . .	94
5.2.4 Schaltplan . . . . .	94
5.2.5 Konstruktion . . . . .	95
5.2.6 PDL des Projekts. . . . .	96
5.2.7 Programmlisting . . . . .	96
5.2.8 Programmbeschreibung . . . . .	97
5.3 PROJEKT 2 – Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit im seriellen Monitor. . . . .	99
5.3.1 Beschreibung . . . . .	99
5.3.2 Das Ziel. . . . .	99
5.3.3 Blockschaltbild . . . . .	99
5.3.4 Schaltplan . . . . .	99
5.3.5 Konstruktion . . . . .	101
5.3.6 PDL des Projekts. . . . .	101
5.3.7 Programmlisting . . . . .	102
5.3.8 Programmbeschreibung . . . . .	104
5.4 PROJEKT 3 – Messung der Lichtstärke . . . . .	104
5.4.1 Beschreibung . . . . .	104
5.4.2 Das Ziel. . . . .	104
5.4.3 Blockschaltbild . . . . .	104

---

5.4.4 Schaltplan . . . . .	105
5.4.5 Konstruktion . . . . .	106
5.4.6 PDL des Projekts. . . . .	106
5.4.7 Programmlisting . . . . .	107
5.4.8 Programmbeschreibung . . . . .	108
5.4.9 Vorschläge. . . . .	108
5.5 PROJEKT 4 – Dunkelheitserkennung. . . . .	108
5.5.1 Beschreibung . . . . .	108
5.5.2 Das Ziel. . . . .	108
5.5.3 Blockschaltbild . . . . .	108
5.5.4 Schaltplan . . . . .	109
5.5.5 Konstruktion . . . . .	109
5.5.6 PDL des Projekts. . . . .	110
5.5.7 Programmlisting . . . . .	111
5.5.8 Programmbeschreibung . . . . .	112
5.5.9 Vorschläge. . . . .	112
5.6 PROJEKT 5 – LED-Würfel . . . . .	112
5.6.1 Beschreibung . . . . .	112
5.6.2 Das Ziel. . . . .	112
5.6.3 Blockdiagramm: . . . . .	112
5.6.4 Schaltplan . . . . .	113
5.6.5 Konstruktion . . . . .	114
5.6.6 PDL des Projekts. . . . .	114
5.6.7 Programmlisting . . . . .	115
5.6.8 Programmbeschreibung . . . . .	117
5.7 PROJEKT 6 – Logiktester . . . . .	118
5.7.1 Beschreibung . . . . .	118
5.7.2 Das Ziel. . . . .	118
5.7.3 Blockschaltbild . . . . .	118
5.7.4 Schaltplan . . . . .	119
5.7.5 Konstruktion . . . . .	119

5.7.6 PDL des Projekts. . . . .	119
5.7.7 Programmlisting . . . . .	120
5.7.8 Programmbeschreibung . . . . .	121
5.7.9 Geändertes Programm. . . . .	121
5.8 PROJEKT 7 – Zähler mit 7-Segment-LED-Anzeige . . . . .	125
5.8.1 Beschreibung . . . . .	125
5.8.2 Das Ziel. . . . .	127
5.8.3 Blockschaltbild . . . . .	127
5.8.4 Schaltplan . . . . .	127
5.8.5 Aufbau . . . . .	128
5.8.6 PDL des Projekts. . . . .	129
5.8.7 Programmlisting . . . . .	129
5.8.8 Programmbeschreibung . . . . .	131
5.8.9 Geändertes Programm. . . . .	132
5.9 PROJEKT 8 – Klatschschalter. . . . .	134
5.9.1 Beschreibung . . . . .	134
5.9.2 Das Ziel. . . . .	134
5.9.3 Blockschaltbild . . . . .	134
5.9.4 Schaltplan . . . . .	135
5.9.5 Konstruktion . . . . .	135
5.9.6 PDL des Projekts. . . . .	136
5.9.7 Programmlisting . . . . .	136
5.9.8 Programmbeschreibung . . . . .	137
5.10 PROJEKT 9 – LCD „Hello from ESP32“. . . . .	138
5.10.1 Beschreibung . . . . .	138
5.10.2 Das Ziel. . . . .	138
5.10.3 Blockschaltbild . . . . .	138
5.10.4 Schaltplan . . . . .	139
5.10.5 Konstruktion. . . . .	139
5.10.6 PDL des Projekts. . . . .	140
5.10.7 Programmlisting . . . . .	141

---

5.10.8	Programmbeschreibung . . . . .	142
5.11	PROJEKT 10 – LCD-Ereigniszähler . . . . .	142
5.11.1	Beschreibung . . . . .	142
5.11.2	Das Ziel . . . . .	142
5.11.3	Blockschaltbild . . . . .	142
5.11.4	Schaltplan . . . . .	143
5.11.5	Konstruktion. . . . .	143
5.11.6	PDL des Projekts. . . . .	143
5.11.7	Programmlisting . . . . .	144
5.11.8	Programmbeschreibung . . . . .	145
5.12	PROJEKT 11 – LCD-BEFEHLE . . . . .	145
5.12.1	Beschreibung . . . . .	145
5.12.2	Das Ziel . . . . .	145
5.12.3	Blockschaltbild . . . . .	146
5.12.4	Schaltplan . . . . .	146
5.12.5	Konstruktion. . . . .	146
5.12.6	LCD-Befehle . . . . .	146
5.12.7	Programmlisting . . . . .	147
5.12.8	Programmbeschreibung . . . . .	148
5.13	PROJEKT 12 – EXTERNE INTERRUPTS. . . . .	149
5.13.1	Beschreibung . . . . .	149
5.13.2	Das Ziel . . . . .	149
5.13.3	Blockschaltbild . . . . .	149
5.13.4	Schaltplan . . . . .	150
5.13.5	Konstruktion. . . . .	150
5.13.6	PDL des Projekts. . . . .	150
5.13.7	Programmlisting . . . . .	151
5.13.8	Programmbeschreibung . . . . .	153
5.14	PROJEKT 13 – TIMER-INTERRUPTS. . . . .	153
5.14.1	Beschreibung . . . . .	153
5.14.2	Das Ziel . . . . .	153

5.14.3 Blockdiagramm . . . . .	153
5.14.4 Schaltplan . . . . .	153
5.14.5 Konstruktion. . . . .	153
5.14.6 PDL des Projekts. . . . .	153
5.14.7 Programmlisting . . . . .	154
5.14.8 Programmbeschreibung . . . . .	155
5.15 Zusammenfassung. . . . .	155

**KAPITEL 6 • KOMPLEXERE PROJEKTE MIT DER ARDUINO-IDE UND DEM ESP32-DEVKITC. . . . . 156**

6.1 Übersicht . . . . .	156
6.2 PROJEKT 1 – Thermostat-Regelung . . . . .	156
6.2.1 Beschreibung . . . . .	156
6.2.2 Das Ziel. . . . .	156
6.2.3 Blockschaltbild: . . . . .	156
6.2.4 Schaltplan . . . . .	157
6.2.5 Konstruktion . . . . .	158
6.2.6 PDL des Projekts. . . . .	158
6.2.7 Programmlisting . . . . .	159
6.2.8 Programmbeschreibung . . . . .	162
6.3 PROJEKT 2 – Wellenformen erzeugen: Sägezahn. . . . .	163
6.3.1 Beschreibung . . . . .	163
6.3.2 Das Ziel. . . . .	164
6.3.3 Blockschaltbild: . . . . .	164
6.3.4 Der DAC . . . . .	164
6.3.5 Schaltplan . . . . .	165
6.3.6 Konstruktion . . . . .	165
6.3.7 PDL des Projekts. . . . .	165
6.3.8 Programmlisting . . . . .	166
6.3.9 Programmbeschreibung . . . . .	167
6.4 PROJEKT 3 – Wellenformen erzeugen: Dreieck . . . . .	167
6.4.1 Beschreibung . . . . .	167
6.4.2 Das Ziel. . . . .	167

---

6.4.3	Blockschaltbild: . . . . .	167
6.4.4	Schaltplan . . . . .	168
6.4.5	PDL des Projekts. . . . .	168
6.4.6	Programmlisting . . . . .	168
6.4.7	Programmbeschreibung . . . . .	169
6.5	PROJEKT 4 – Port-Expander . . . . .	169
6.5.1	Beschreibung . . . . .	169
6.5.2	Das Ziel. . . . .	169
6.5.3	Blockschaltbild . . . . .	170
6.5.4	Schaltplan . . . . .	170
6.5.5	Der MCP23017 . . . . .	170
6.5.6	Konstruktion . . . . .	172
6.5.7	PDL des Projekts. . . . .	173
6.5.8	Programmlisting . . . . .	173
6.5.9	Programmbeschreibung . . . . .	175
6.6	PROJEKT 5 – Elektronische Mini-Orgel . . . . .	175
6.6.1	Beschreibung . . . . .	175
6.6.2	Das Ziel. . . . .	175
6.6.3	Blockschaltbild . . . . .	176
6.6.4	Schaltplan . . . . .	176
6.6.5	Konstruktion . . . . .	178
6.6.6	PDL des Projekts. . . . .	178
6.6.7	Programmlisting . . . . .	179
6.6.8	Programmbeschreibung . . . . .	183
6.7	PROJEKT 6 – Rechner mit Tastatur und LCD . . . . .	183
6.7.1	Beschreibung . . . . .	183
6.7.2	Das Ziel. . . . .	184
6.7.3	Blockschaltbild: . . . . .	184
6.7.4	Schaltplan . . . . .	184
6.7.5	Konstruktion . . . . .	185
6.7.6	PDL des Projekts. . . . .	186

6.7.7	Programmlisting . . . . .	186
6.7.8	Programmbeschreibung . . . . .	193
6.8	PROJEKT 7 – HIGH-LOW-SPIEL . . . . .	194
6.8.1	Beschreibung . . . . .	194
6.8.2	Das Ziel . . . . .	195
6.8.3	Blockdiagramm: . . . . .	195
6.8.4	Schaltplan . . . . .	195
6.8.5	Konstruktion . . . . .	195
6.8.6	PDL des Projekts. . . . .	195
6.8.7	Programmlisting . . . . .	196
6.8.8	Programmbeschreibung . . . . .	199
6.9	PROJEKT 8 – Das kleine Einmaleins . . . . .	200
6.9.1	Beschreibung . . . . .	200
6.9.2	Das Ziel . . . . .	200
6.9.3	Blockschaltbild: . . . . .	200
6.9.4	Schaltplan . . . . .	201
6.9.5	Konstruktion . . . . .	201
6.9.6	PDL des Projekts. . . . .	201
6.9.7	Programmlisting . . . . .	201
6.9.8	Programmbeschreibung . . . . .	204
6.10	PROJEKT 9 – Lernen der Grundmathematik. . . . .	205
6.10.1	Beschreibung . . . . .	205
6.10.2	Das Ziel . . . . .	205
6.10.3	Blockschaltbild: . . . . .	205
6.10.4	Schaltplan . . . . .	205
6.10.5	Konstruktion. . . . .	205
6.10.6	PDL des Projekts. . . . .	205
6.10.7	Programmlisting . . . . .	206
6.10.8	Programmbeschreibung . . . . .	207
6.10.9	Vorschläge . . . . .	207
6.11	PROJEKT 10 – Code-Türschloss . . . . .	208

6.11.1 Beschreibung . . . . .	208
6.11.2 Das Ziel . . . . .	208
6.11.3 Blockschaltbild: . . . . .	208
6.11.4 Schaltplan . . . . .	208
6.11.5 Konstruktion. . . . .	209
6.11.6 PDL des Projekts. . . . .	209
6.11.7 Programmlisting . . . . .	210
6.11.8 Programmbeschreibung . . . . .	213
6.11.9 Vorschläge . . . . .	214
6.12 Zusammenfassung. . . . .	214
<b>KAPITEL 7 • ESP32-DEVKITC NETZWERKPROGRAMMIERUNG MIT DER ARDUINO-IDE. . . . .</b>	<b>215</b>
7.1 Übersicht . . . . .	215
7.2 Scannen der erreichbaren Wi-Fi-Netzwerke. . . . .	215
7.3 Verbindung zu einem Wi-Fi-Netzwerk herstellen . . . . .	217
7.4 HTTP-GET-Anfragen . . . . .	220
7.5 Verwenden der Socket-Bibliothek . . . . .	222
7.5.1 UDP-Programme. . . . .	223
7.5.2 TCP/IP-Programme . . . . .	227
7.6 Zusammenfassung. . . . .	229
<b>KAPITEL 8 • PROJEKT – TEMPERATUR UND FEUCHTE IN DER CLOUD . . . . .</b>	<b>230</b>
8.1 Übersicht . . . . .	230
8.2 Das Blockschaltung . . . . .	230
8.3 Die Cloud . . . . .	230
8.4 Programmlisting . . . . .	232
8.5 Zusammenfassung. . . . .	236
<b>KAPITEL 9 • WEB-BASIERTE FERNSTEUERUNG . . . . .</b>	<b>237</b>
9.1 Übersicht . . . . .	237
9.2 Das Blockschaltbild . . . . .	237
9.3 HTTP-Webserver/Client. . . . .	238
9.4 Programmlisting ESP32-DevKitC . . . . .	239
9.5 Zusammenfassung. . . . .	243

<b>KAPITEL 10 • FERNBEDIENUNG MIT DEM MOBILTELEFON</b>	<b>244</b>
10.1 Überblick	244
10.2 Das Blockschaltbild	244
10.3 Smartphone-Anwendung	245
10.4 ESP32-DevKitC Programmlisting	245
10.5 Zusammenfassung	249
<b>KAPITEL 11 • TEMPERATUR UND LUFTFEUCHTE AN EIN HANDY SENDEN</b>	<b>250</b>
11.1 Übersicht	250
11.2 Die Blockschaltung	250
11.3 Handy-Anwendung	251
11.4 ESP32-DevKitC Programmlisting	251
11.5 Zusammenfassung	255
<b>KAPITEL 12 • MICROPYTHON AUF DEM ESP32-DEVKITC</b>	<b>256</b>
12.1 Übersicht	256
12.2 Installation von MicroPython auf ESP32-DevKitC	256
12.3 Testen der MicroPython-Installation	259
12.4 Blinkende LED	260
12.5 LED mit Drucktaster	260
12.6 Temperatur und Luftfeuchtigkeit	261
12.7 Verbindung zu einem WLAN herstellen	261
12.8 MicroPython-UDP-Programme	262
12.9 Speichern von Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der Cloud	265
12.10 Fernbedienung über Mobiltelefon (Webserver)	267
12.11 Laden von MicroPython-Programmen auf das ESP32-DevKitC	271
12.11.1 Verwenden der Ampy	272
12.11.2 Erstellen und Ausführen eines Programms	273
12.11.3 Ausführen eines Programms beim Booten	275
12.12 Zusammenfassung	278
<b>Index</b>	<b>279</b>