

Auf einen Blick

1	Der Mikrocontroller ESP32 und seine Funktionalitäten	19
2	Die Stromversorgung	41
3	Ihre Werkstatt	53
4	Entwicklungsumgebungen	83
5	Programmierung mit C und C++	161
6	Peripherie und Funktionen des ESP32	275
7	Externe Schnittstellen	375
8	Externe Kommunikations- und Steuerungsmöglichkeiten	447
9	Projektideen	557

Inhalt

Einleitung	13
1 Der Mikrocontroller ESP32 und seine Funktionalitäten	19
1.1 Die ESP32-SoCs	19
1.2 Die Module	22
1.2.1 Die WROOM-, SOLO-, WROVER- und PICO-Module	23
1.3 Die Boards	26
1.4 Das ESP32-Dev-KitC V4	27
1.4.1 Das Pinout	28
1.4.2 Funktionen der GPIO-Pins	29
1.4.3 Höhere Eingangsspannung an GPIOs	36
1.5 Das ESP32-Dev-KitC V4 – Erstinbetriebnahme am PC	37
1.5.1 Windows	38
1.5.2 Linux	38
2 Die Stromversorgung	41
2.1 Betriebszustände und typische Stromverbräuche	41
2.2 Anschlüsse zur Stromversorgung	43
2.3 Grundschemata der Stromversorgung	44
2.4 Spannungsquellen	45
2.5 Spannungsregler	47
2.5.1 Lineare Spannungsregler	48
2.5.2 Schaltregler	50

3	Ihre Werkstatt	53
3.1	Breadboard & Co.	53
3.1.1	Das Breadboard	53
3.1.2	Jumperkabel	54
3.1.3	Leiterplatte	55
3.2	Hilfreiche Werkzeuge	57
3.3	Fritzing	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
3.4	Löttechnik	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
4	Entwicklungsumgebungen	83
4.1	Der Weg von lesbaren Anweisungen zum Maschinencode	83
4.2	Das Betriebssystem der Entwicklungsumgebung	86
4.3	esptool.py	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
4.4	Entwicklungsumgebungen in der Übersicht	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
4.5	Partitionstabelle festlegen	157
4.6	Fazit	159
5	Programmierung mit C und C++	161
5.1	Programmdesign für den Mikrocontroller	161
5.1.1	»Normale« C-/C++-Programme	163
5.1.2	Sketche	164
5.1.3	Erweiterte Programmstruktur	164
5.2	Syntax und Semantik in der Programmiersprache	165
5.3	Zeichen, Kommentare und Begrifflichkeiten	166
5.3.1	Zeichen und ihre Bedeutung	166
5.3.2	Kommentare	168
5.3.3	Begrifflichkeiten	168
5.4	Daten und Datentypen	169
5.5	Variablen	173
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
5.6	Ausdrücke und Operatoren	177
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
5.7	Zeiger (Pointer)	186
5.8	Arrays und Strukturen	190
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
5.9	Kontrollstrukturen	194
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
5.10	Funktionen	203
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
5.11	Funktionen nutzen: Ihr Werkzeugkasten	217
5.11.1	Zeitfunktionen	217
5.11.2	Mathematische und trigonometrische Funktionen	218
5.11.3	Zufallszahlen	221
5.12	Klassen und objektorientierte Programmierung	223
5.13	Die String()-Klasse	231
5.14	Serielle Aus- und Eingabe	239
5.15	Exkurs: Tasks und Threads	245
5.15.1	Die FreeRTOS-Task-API	246
5.15.2	Threads programmieren	247
5.16	Präprozessordirektiven	248
5.16.1	Die Direktive #define	248
5.16.2	Die Direktive #include	249
5.16.3	#ifdef-/#endif-Direktive	250
5.17	Prinzipien des Softwareentwurfs	251
5.18	Fehlermanagement	251
5.18.1	Einfache Methoden	251
5.18.2	Aufwendigere Methoden	253
5.18.3	Professionelle Methoden	261
5.18.4	Datenblätter	271
5.19	JSON – das Datenformat für den Datenaustausch	271

6	Peripherie und Funktionen des ESP32	275
6.1	Der interne Hall-Sensor	275
6.2	Digitale Aus-/Eingänge	276
6.2.1	Digitale Ausgänge	277
6.2.2	Digitale Eingänge	279
6.3	Analoge Aus-/Eingänge	284
6.3.1	Analoge Ausgänge	285
6.3.2	Analoge Eingänge	286
6.4	Das ESP32-Touch-Sensor-System	296
6.5	DHT11/DHT22	302
6.6	433-MHz-Steuerung	306
6.7	LED-Control und Pulsweitenmodulation	311
6.7.1	Pulsweitenmodulation	311
6.7.2	Die ESP32-LED-Steuereinheit	313
6.8	Impulszähler	318
6.9	Universal-Timer, Watchdog-Timer	321
6.9.1	Universal-Timer	322
6.9.2	Watchdog-Timer	324
6.10	Energie-(Spar-)Modi	326
6.11	ULP-Programmierung	334
6.12	Daten auf dem ESP32 speichern	364
6.13	FreeRTOS-Taskfunktionen	367
6.14	Thread-Funktionalität nutzen	370
7	Externe Schnittstellen	375
7.1	SPI	375
7.1.1	RFID mit RFID-RC522	376
7.1.2	SD-Karte	383
7.1.3	TFT-Display	389
7.2	I²C	394

7.3	Bluetooth	398
7.3.1	Bluetooth Classic	399
7.3.2	Bluetooth Low Energy	401
7.4	WLAN/Wi-Fi	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
7.5	UART	437
7.5.1	Die UART-Schnittstellen des ESP32	438
7.5.2	Ein UART-Echo	439
7.5.3	ESP32-Modul flashen	441
7.6	OTA	442

8 Externe Kommunikations- und Steuerungsmöglichkeiten 447

8.1	Das JSON-Datenaustauschformat in der Praxis	448
8.2	Apps	453
8.2.1	Blynk	453
8.2.2	MIT App Inventor	464
8.3	Messenger	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
8.4	Das MQTT-Protokoll	495
8.5	Cloud-IoT-Plattformen	503
8.5.1	Cayenne	503
8.5.2	Adafruit IO	509
8.5.3	IFTTT	518
8.6	Lokale Anwendungen nutzen	530
8.6.1	Node-RED	530
8.6.2	ioBroker	543

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