

5 Digitale Ein-/Ausgabe

»Wenn Dein einziges Werkzeug ein Hammer ist, wirst Du jedes Problem als Nagel betrachten.«

MARK TWAIN

Nachdem die Arbeitsweise der integrierten Entwicklungsumgebung, des Mikroprozessors und des Mikrocontrollers mit dem grundlegenden Zugriff auf die Peripherie aus Teil I bekannt ist, werden in diesem Teil die Funktionsweise und die Ansteuerung verschiedener Peripheriemodule am Beispiel der Implementierung eines Pulsoximeters veranschaulicht. Mit der Integration der Komponenten und mit der Kommunikation zu einem Hintergrundsystem beschäftigt sich Teil III des Buchs.

5.1 Peripherie

Mikrocontroller beherbergen eine große Anzahl verschiedenartiger Peripheriemodule. Um die Größe, den Preis, den Stromverbrauch usw. zu optimieren, wird ein Controller anwendungs- und einsetzspezifisch ausgewählt. Manche Peripherie wird in einem Mikrocontroller nicht nur einfach, sondern vielfach integriert. Der ESP32-C3 hat beispielsweise drei SPI-Module und sechs Timer unterschiedlicher Ausprägung.

Die folgende Liste gibt einen Überblick über gängige Peripheriemodule:

Speicher verschiedene Arten von Speicher (siehe Abschnitt 4.2), Memory Protection Units und Memory Management Units

GPIO Module für die Ein- und Ausgabe von digitalen Signalen (siehe Abschnitte 5.4 und 5.5)

Interrupt-Controller verwaltet und priorisiert Interrupts und ihre Abarbeitung (siehe Kapitel 6).

Analoge Schnittstellenmodule dienen dem Einlesen, Verarbeiten und Ausgeben von analogen Werten (siehe Kapitel 8).

Timer/Counter/Real Time Clock sind Module, die dem Zählen von Ereignissen dienen (siehe Abschnitt 8.5).

Kommunikationsmodule zur Bereitstellung von unteren Protokollschichten für drahtbehaftetes I²C, SPI, RS-232, RS-485, Ethernet, CAN, ISO7816, ... (siehe Kapitel 7) und drahtloses Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, ... (siehe Kapitel 10)

Security-Module bieten Methoden der Sicherheitstechnik an. Dies sind Checksummen, Verschlüsselungsalgorithmen, kryptografische Hashfunktionen, Zufallszahlengeneratoren.

Power- und Takt-Management Mit diesen Modulen lässt sich der Stromverbrauch über Änderungen des Systemtaktes und der Bus-takte sowie über das Ein-/Ausschalten einzelner Peripheriemodule ändern (siehe Abschnitt 10.4).

DMA-Controller, Coprozessoren An die Busmatrix können weitere Prozessoren, die Spezialfunktionen und -berechnungen durchführen können, angeschlossen sein. Ein arithmetischer Coprozessor ist beispielsweise fähig, Fließkommazahlen zu verarbeiten. Ein DMA-Controller kann Daten von Peripheriemodulen zu anderen Peripheriemodulen ohne Mitwirkung des Hauptprozessors transferieren. So können beispielsweise zyklisch analoge Messwerte abgeholt und in den Speicher geschrieben werden, während der Prozessor andere Dinge macht oder sogar schläft (siehe Abschnitt 7.4.2).

Weitere Module für die Ansteuerung von Benutzungsschnittstellen wie Displays, berührunglose Taster, Infrarot-Fernsteuerungen, LEDs mit WS2812-Controller, ...

Wie in der Liste ersichtlich werden in diesem Buch viele, aber nicht alle Arten von Peripheriemodulen besprochen. Unter Zuhilfenahme des entsprechenden Reference-Manuals läuft die Verwendung dieser Module einheitlich über Memory-Mapped I/O (siehe Abschnitt 4.3).

5.2 Projekt Pulsoximeter

Im Rahmen dieses Buchs wird beispielhaft ein Pulsoximeter umgesetzt, was zur Betrachtung typischer Problemstellungen, die bei der Implementierung einer embedded Applikation auftreten, führt. Diese Problemstellungen werden analysiert und mit entsprechenden Peripheriemodulen praktisch gelöst. Es fließt aber weder ein Entwicklungsprozess noch ein marktwirtschaftlicher Prozess in das Beispiel

ein, da dies den Rahmen dieses Buchs sprengen würde. Es erfolgt also eine Fokussierung auf die Technologie.

Ein Pulsoximeter ist ein Gerät, das den Puls und die Sauerstoffsättigung des Blutes misst. Bei der reflektiven Pulsoximetrie wird die durchblutete Haut mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen (»Farben«), beispielsweise Rot und Infrarot, beleuchtet und die Stärke des reflektierten Lichts wird gemessen. Aufgrund der pulsabhängig schwankenden Füllung der Arterien ändert sich die Messung analog zum Puls. Zusätzlich unterscheidet sich die Stärke der Reflexion von sauerstoffreichem und sauerstoffarmem Blut bei den unterschiedlichen Wellenlängen. Die durchgehende Messung und Analyse der Reflexionen eignet sich zur algorithmischen Bestimmung von Puls und funktioneller bzw. partieller Sauerstoffsättigung S_pO_2 .

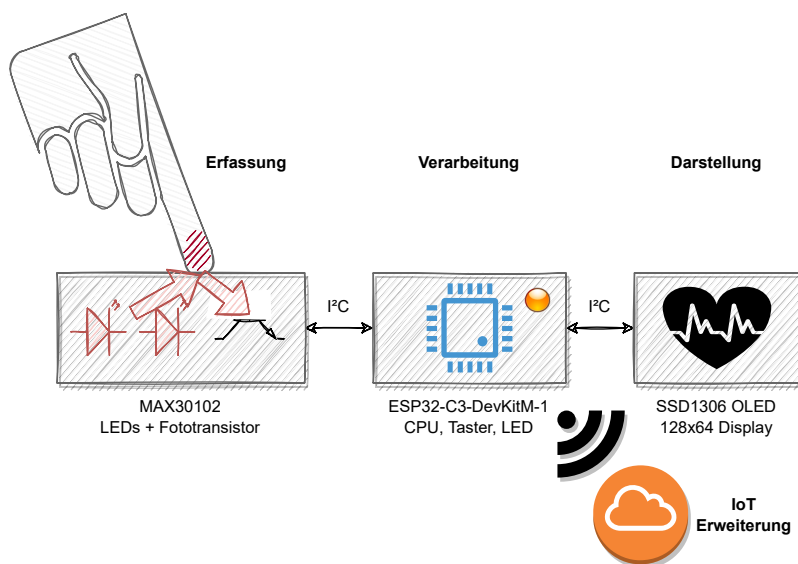


Abb. 5–1
Schematische
Darstellung des
Pulsoximeters

Abb. 5–1 zeigt die Komponenten des Pulsoximeters. In diesem Teil werden die LEDs und Taster des ESP32-C3-DevKitM-1 Development Boards, das OLED-Display zur Darstellung und der integrierte Baustein MAX30102, der LEDs und einen Fototransistor mit A/D-Wandler beinhaltet, zur Erfassung in Betrieb genommen. Die Kommunikation mit Display und MAX-Baustein erfolgt über das verbreitete I²C-Protokoll.

In Teil III werden diese Komponenten schließlich unter dem Betriebssystem FreeRTOS integriert und das Pulsoximeter wird als IoT-Anwendung mit einem Cloud-Service verbunden.

5.3 Elektrotechnische Grundlagen

Da die Informationsverarbeitung in Mikrocontrollern in elektronischen Schaltungen geschieht, ist die Schnittstelle des Systems ebenso an elektrische Signale gebunden. Sensoren erfassen physikalische Ereignisse und wandeln diese in elektrische Signale für den Mikrocontroller um. Im Gegenzug wandeln Aktoren die elektrischen Signale in physikalische Stellgrößen um.

Zwischen Elektrotechnik und Elektronik wird hier nicht unterschieden.

Ein Grundverständnis für Elektrotechnik ist für die Programmierung und Fehlersuche von Embedded Systemen von großem Wert. In diesem Kapitel findet nur eine knappe, oberflächliche und verallgemeinernde Einführung Platz, die aber bereits für einfache digitale Experimente ausreicht. Es ist empfehlenswert, sich mehr Background über entsprechende Literatur, beispielsweise überblickend in [5] oder detailliert in [32], zu verschaffen.

5.3.1 Strom und Spannung

Das heutige physikalische Bild geht von elektrisch geladenen Teilchen, den negativ geladenen Elektronen aus, die sich auf einem Leiter bewegen können. Diese Ladungsbewegung heißt Strom, gemessen in der Einheit Ampere [A]. Bei zeitlich konstantem Ladungstransport spricht man von einem Gleichstrom. Das Formelzeichen für einen konstanten Strom ist I (von lat. influare), für einen zeitlich veränderlichen Strom i .

Die positiv geladenen Protonen werden in der kurzen Betrachtung ausgelassen.

Da Elektronen sich aufgrund gleicher Ladung (bzw. ihres elektrischen Felds) gegenseitig abstoßen, versuchen sie, sich auf dem Leiter gleichmäßig zu verteilen. Ist an den Enden des Leiters ein unterschiedliches Potenzial, also eine unterschiedliche Anzahl freier Elektronen, wie es durch den chemischen Prozess einer Batterie hergestellt werden kann, wird deshalb ein Ausgleichsstrom fließen.

Abb. 5-2
Einfacher Schaltkreis mit Batterie und LED
a) und c) offen
b) und d) geschlossen

