

Low Power Room Display

Dokumentation des LPRD-Projekts

LPRD Maintainers

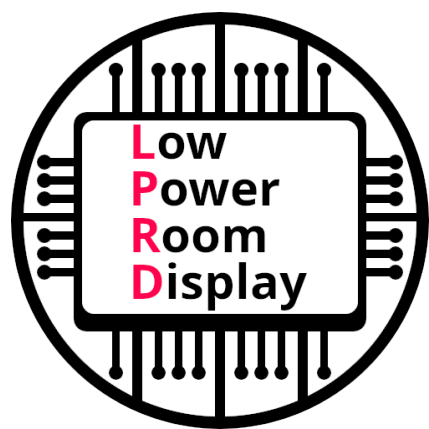
Copyright © 2024 LPRD Project Maintainers

Table of contents

1. Low Power Room Display	4
2. Einleitung	5
2.1 Motivation	5
2.2 Ziel der Arbeit	5
2.3 Aufbau der Arbeit	5
3. Praktische und Theoretische Grundlagen	7
3.1 Mikrocontroller @Stasa Lukic	7
3.2 Stromsparende Display Technologien @Stasa Lukic	8
3.3 Akku-Technologien @Benjamin Klaric	8
3.4 Funktechnologien @Stasa Lukic	10
3.5 Bildverarbeitung	11
3.6 Energiemanagement	12
3.7 Firmwarebibliotheken	13
3.8 Gehäuseentwicklung	13
3.9 Webanwendungen	15
4. Marktanalyse aktueller Trends und Technologien im Bereich digitaler Raumanzeigen @Julia Reuter	18
4.1 Analyse einiger Konkurrenzprodukte	18
4.2 Produktvergleich ausgewählter Unternehmen	19
4.3 Auswertung der Rechercheergebnisse	20
5. Teamorganisation	22
5.1 Kommunikation (Notion, Nextcloud, Whatsapp, Zoom, Github)	22
5.2 Rollenaufteilung	22
5.3 Zeitplan	22
6. Systemkonzept	23
6.1 Grundaufbau der Hardware	23
6.2 Allgemeine Software-Funktionen	23
6.3 Potentielle Einsatzgebiete der Low-Power Raumanzeige	24
6.4 Die drei Betriebsmodi der Raumanzeige im Vergleich	24
7. Hardware	27
7.1 Auswahl des Mikrocontrollers	27
7.2 Auswahl der Displaytechnologie	27
7.3 Auswahl der Akkukomponenten	27
7.4 Zusammenbau der Akkupacks	30
7.5 Auswahl der PCB-Komponenten	31
7.6 Platinen Design	31

7.7	Zusammenbau der PCBs	31
7.8	Gehäuse	31
7.9	Zusammenbau des Displaymoduls	33
7.10	Strommessung von Mikrocontroller und Display	33
7.11	ADC Messung	35
8.	Firmware	36
8.1	Entwicklungsumgebung	36
8.2	Anforderungen	36
8.3	Klassendiagramm	36
8.4	Wirelesskommunikation	36
8.5	Systemansteuerung	36
8.6	E-Paper Display API	36
9.	Webentwicklung	37
9.1	Framework und Library Auswahl	37
9.2	Konvertierungsverfahren (HTML → PNG → Bitmap)	37
9.3	Web Bneutzer Oberfläche	37
9.4	Linux Server	37
10.	Ergebnisse	40
10.1	Versuchsbeschreibung	40
10.2	Messergebnisse	40
10.3	Interpretation	40
11.	Fazit	41
11.1	Zusammenfassung	41
11.2	Ausblick	41
12.	Glossar	42
13.	Beschreibung der Lösung	43
14.	Quellenverzeichnis	44

1. Low Power Room Display



Das ist ein Bild

In ist folgendes zu sehen.

heading 1	heading 2
content 1	content 2
content 3	content 4

Das ist eine Tabelle

In ist folgendes zu sehen.

Hallo

Project documentation for the Low Power Room Display (LPRD) project.

2. Einleitung

Jannis Gröger

2.1 Motivation

Ob es bei Meetingräumen einer Firma, Klassenzimmern einer Schule, Seminarräumen einer Tagungsstätte oder Vorlesungssälen der Hochschule ist - anzuzeigen, ob dieser Raum belegt ist und was dort gerade stattfindet, ist eine Herausforderung für den Betreiber und die Lösung für Schüler, Mitarbeiter oder Tagende nicht gerade benutzerfreundlich. Das Austauschen von Papieren, die die Raumbelegungsdaten anzeigt, bedeutet einen hohen Mehraufwand für Zuständige und einen nicht nachhaltigen Ressourcenverbrauch, während sich bei der Verwendung von digitalen Lösungen immer wieder die Frage nach der benötigten Infrastruktur zur Stromversorgung dieser Anzeigen stellt.

Aus diesem Grund sind so genannte Low Power Raumanzeigen eine interessante Alternative zu oben genannten Lösungen, da sie durch Optimierung des Stromverbrauchs nicht nur sehr energieeffizient, sondern durch Darstellen der Informationen auf einem Display eine umweltschonende Lösung für das Problem bieten. Darüber hinaus können solche Raumanzeigen meist über eine zentrale Software verwaltet und gesteuert werden und besitzen neben den oben genannten Nutzungsmöglichkeiten ein breites Anwendungsspektrum.

2.2 Ziel der Arbeit

Die vorliegende Projektarbeit beschäftigt sich umfassend mit der Entwicklung eines energieeffizienten Raumdисplays, das darüber hinaus als generische Informationsanzeige genutzt werden kann. Ziel dieser Arbeit ist es, detailliert aufzuzeigen, wie eine solche Anzeige von der Konzeptionsphase bis hin zur finalen Umsetzung realisiert werden kann. Dabei wird nicht nur auf die technischen und theoretischen Grundlagen eingegangen, sondern es werden auch die praktischen Vorgehensweisen der Entwicklung ausführlich beschrieben und für den Leser anschaulich dargestellt. Es wird erklärt, welche Technologien und Materialien verwendet werden, welche Herausforderungen während der Entwicklungsphase auftreten und wie diese gelöst werden können. Des Weiteren wird beleuchtet, wie das Display hinsichtlich seiner Energieeffizienz und Steuerung optimiert werden kann, um eine nachhaltige und einfache Nutzung zu gewährleisten. Dem Leser soll ein umfassendes Verständnis über den gesamten Entwicklungsprozess gegeben werden, sodass dieser in der Lage ist, ähnliche Projekte und Konzepte eigenständig umzusetzen.

2.3 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Arbeit werden vorhandene Technologien der einzelnen Komponenten einer energieeffizienten Raumanzeige analysiert, um ein grundlegendes technisches Verständnis über die Funktionsweise dieser zu schaffen. Ebenso werden dem Leser mögliche Softwareframeworks und Bibliotheken, näher gebracht die zur Umsetzung eines solchen Projektes genutzt werden können. Im Anschluss werden bereits auf dem Markt vorhandene Produkte beleuchtet und der aktuelle Stand der Technik aufgezeigt. Desweiteren wird das Projektteam vorgestellt und die Organisation und Arbeitsweise intern kurz beschrieben.

Im Hauptteil der Arbeit wird zunächst das Systemkonzept zusammen mit den Anwendungsszenarien und Anforderungen an das Produkt vorgestellt. Anschließend wird die Entwicklung der Low Power Raum Anzeige erläutert und anhand der vorher geschaffenen Grundlagen die Auswahl der verwendeten Komponenten erklärt. Hierbei spielen energiesparende Display-Technologien, sowie auch Optimierung des Stromverbrauchs und Minimierung des Datenaustauschs zwischen dem Displaymodul und Endgerät des Benutzers eine Rolle. Darauf folgend wird die Firmware der Raumanzeige tiefgehend analysiert und ihre Funktion dem Leser erläutert. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf der Implementierung der Displayansteuerung, sowie der Optimierung des Energierverbrauchs durch optimales Hardwaremanagement. Im letzten Kapitel des Hauptteils wird auf die Webentwicklung des Projekts eingegangen. Diese umfasst die Gestaltung eines User Interfaces zur Steuerung des Displays vom Endgerät des Nutzers, aber auch eine serverseitige Webanwendung zur Verwaltung und Steuerung mehrerer Displaymodule. Durch diese Maßnahmen wird sichergestellt, dass das Low Power Raumdисplay nicht nur eine lange Akkulaufzeit aufweist, sondern auch eine einfache und benutzerfreundliche Bedienung zur Verfügung stellt.

Zum Schluss der Arbeit werden die Ergebniss aus der Ausarbeitung und Entwicklung der Low Power Raumanzeige aufgezeigt und ein Fazit über die Arbeit gezogen. Zusätzlich wird ein Ausblick auf mögliche Verbesserungen und Erweiterungen gegeben und auf bereits begonnene Implementierung dieser hingewiesen.

3. Praktische und Theoretische Grundlagen

3.1 Mikrocontroller @Stasa Lukic

Das Gehirn des Projektes ist ein Mikrocontroller, es gibte verschiedene arten von Mikrocontrollern die man vergleichen muss um einen für sich passenden Mikrocontroller zu finden. Im folgendem Unterkapitel werden die von uns ausgewählten Mikrocontroller genauer dargestellt, ihre Eigenschaften, nachteile und auch vorteile.

Für das Projekt haben wir uns Prioritäten für den Mikrocontroller gesetzt. Als ersters sollte er genug Speicher haben sodas kein weiterer externer Speicher genutzt werden muss, dies würde unsere Kosten und gleichzeitig den Strombedarf senken da ein externes Speicher Modul Strom verbraucht und eine Latenz verursacht die längere arbeitszeiten bedeuten. WLAN sollte intern auf dem Board verbaut seien da unser Mikrocontroller unter keiner so hohen Last arbeiten wird, das unsere Netzwerk Last auf einen sub Mikrocontroller verlagert werden müsste. Als letztes sollte der Mikrocontroller über einen deep sleep verfügen[STA_06]. So würden wir am meisten Strom sparen da unserer Mikrocontroller nach beenden einer aufgabe (wie z.b. ein neues Bild darstellen) wahrscheinlich für längere Zeit keine Aufgaben hat oder bekommt. Der Mikrocontroller sollte eine Schnittstelle für SPI besitzen für eine mögliche schnelle datenübertragung mit dem Display.

In sind die Mikrocontroller mit ihren Eigenschaften aufgelistet. Es wurden von insgesamt 3 Marken recharchiert. Diese währen Espressif, STMicroelectronics und Raspberry Pi.

Die Mikrocontroller wurden nicht als SMD Chip gekauft sondern als development boards. Für Espressif recharchierten wir die XIAO ESP32 S3 und XIAO ESP32 C3 Boards von Seeed Studio und Die D1 Mini ESP8266 Boards von AZ-Delivery. Bei dem STM32 guckten wir uns den STM32WL55 an. Der RP2040 ist der RASP PI PICO von Raspberyy Pi.

Eigenschaften	ESP32 S3 [STA_01]	ESP32 C3[STA_02]	ESP8266 [STA_03]	STM32 [STA_04]	RP2040 [STA_05]
Prozessor	Dual-core 240MHz	Single core 160MHz	Singlecore 160MHz	Singlecore 48MHz	Dual-core 133MHz
Speicher	8MB Flash 8MB PSRAM	400KB SRAM 4MB Flash	4MB Flash	256KB Flash 64KB RAM	2MB Flash 256KB RAM
Wifi	2,4GHz WLAN	2,4GHz WLAN 802.11b/g/n	2,4GHz WLAN 802.11n	2,4GHz LoRa	Keins
Spannung	3,3V	3,3V	3,3V	5V	5V
Idle Strom	22mA	24.4mA	Maximum 500mA *	15 mA	24mA
Sleep Strom	14 µA	43µA		360nA	1,3mA
Schnittstellen	SPI, UART, IIC, IIS, 11xGPIO, 9xADC	SPI, IIC, UART, 11xGPIO, 9xADC	SPI, IIC, UART, 9xGPIO, ADC	2xSPI, 3xIIC, 2xUART, 43xGPIO	SPI, 2xIIC, 2xUART, 30xGPIO
Weitere Eigneschaften	Reset Button Boot button Battery Charge Chip für 100mA Externe Antenne	Boot button Reset Button Battery Charge Chip für 100mA Externe Antenne	Reset button möglich Antenne in Platine verbaut		

Eigenschaften der Mikrocontroller

*Keine Angaben auser Maximum

3.2 Stromsparende Display Technologien @Stasa Lukic

für dieses Projekt brauchen wir ein Display das so wenig Strom verbraucht wie möglich, damit unser Room display solange wie möglich mit einer Akku Ladung aushält. Wir fokussierten unsere Recherche auf ePaper, bistabile LCDs und OLED displays.

3.2.1 OLED

OLED Bildschirme haben eine sehr gute Bildqualität und einen weiten betrachtungswinkel. Anstatt Halbleiter werden in den LEDs Organische Moleküle verwendet die Licht erzeugen. Diese Moleküle befinden sich zwischen einer Anode und einer Kathode. Fließt nun Strom wird blaues und gelbes Licht erzeugt, mit Farbfiltern entstehen die restlichen Farben. OLED Bildschirme können sehr helle Bilder zu erzeugen mit starkem Kontrast oder farbstarke Bilder, dies verbraucht aber mehr Strom mit mehr Helligkeit, was für dieses Projekt ein Nachteil ist. Ein Vorteil ist das schwarze Pixel keinen Strom verbraucht gegenüber älteren Displays[\[STA_09\]](#).

3.2.2 Bistabile LCD

Bistabile LCD Displays haben den Vorteil das sie im Gegensatz zu LCD keinen durchgehenden Stromverbrauch haben, Strom wird nur dann verbraucht wenn das Bild gewechselt wird. Dafür benutzt das Display kleine Kristalle die mit Hilfe von einem Stromfluss einen von zwei Zuständen annehmen kann, der Kristall lässt entweder Licht durch oder reflektiert es zurück, womit ein schwarzer und weißer Bildschirm bauen kann. Benutzt man mehrere Ebenen kann man sogar verschiedene Farben darstellen. Wenn das Bild des Displays nur selten geändert wird, bedeutet es einen sehr niedrigen durchschnittlichen Stromverbrauch. Der Nachteil ist das das Aktualisieren des Bildes 2 bis 3 Sekunden dauert[\[STA_08\]](#).

3.2.3 ePaper

ePaper hat ein ähnliches Konzept wie bistabile LCD Displays, sie verbrauchen nur dann Strom wenn das Bild aktualisiert wird. Hier werden geladene Farbpartikel in sehr kleinen Zellen eingesperrt. Je nach welcher Ladung auf eine Zelle ausgeübt wird, werden manche Farbpartikel angezogen oder weggestoßen. Der Nachteil ist das die Aktualisierung eines Bildes je nach ePaper Display Technologie sehr lange dauern kann, das ist weil, wie man sich vorstellen kann man muss man einen Pixel mehrmals laden um wirklich alle Farbpartikel abzustößen die man abstoßen will oder genau umgekehrt. Das resultiert in einer Aktualisierungsrate von bis zu 26 Sekunden oder kürzer je nach Farbleistung. Ein weiterer Nachteil ist das Farbpartikel nur negativ oder positiv geladen werden können, was in nur 2 Farben resultiert. Durch mehrere Ebenen kann das Display mehrere Farben annehmen, aber bei weitem nicht so viele wie beim bistabilen LCD. Der Vorteil ist das sie noch weniger Strom verbrauchen beim aktualisieren als die bistabilen LCDs[\[STA_07\]](#).

3.3 Akku-Technologien @Benjamin Klaric

3.3.1 Vergleich und Auswahl von verschiedenen Akku-Technologien

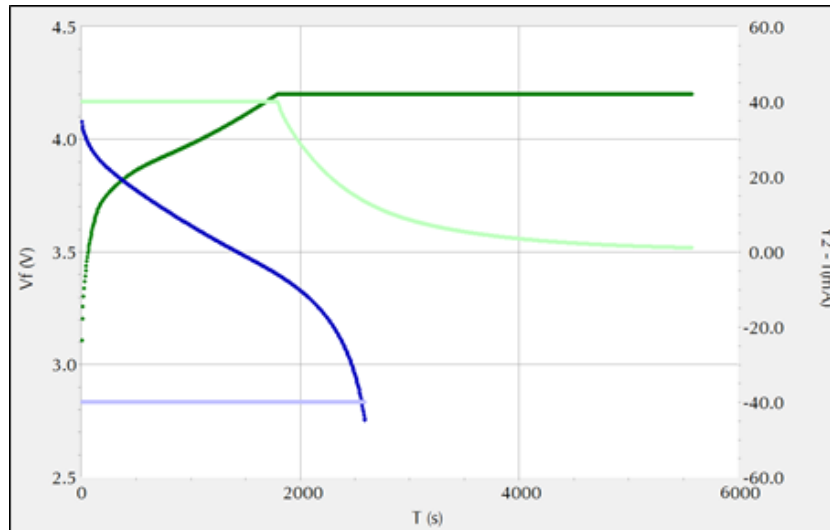
Um das System möglichst autark zu machen, wurde es mit einem Akku betrieben. In Vorgang mit der Auswahl von passenden Akku-Technologien wurden die drei meistverbreiteten verglichen, nämlich die drei bedeutendsten Typen aus der Lithium-Ionen-Akku Familie: klassische Lithium-Ionen-Akkus, oft benutzten Lithium-Polymer-Akkus und die sicheren Lithium-Eisen-Phosphat-Akkus. Genauer gesagt sollte man die Vor- und Nachteile von jeweiligen Akku Typen genauer anschauen und dementsprechend eine Technologie auswählen. In den nächsten Abschnitt werden die drei genannten Technologien genauer angeschaut und die jeweiligen Vor- und Nachteile genannt.

Lithium-Ionen-Akkus (Li-Ion)

Die meistverbreiteten Li-Ion-Akkus bieten relativ hohe Energiedichte, sind kostengünstig und langlebig. Die Li-Ion-Akkus kommen in verschiedenen Bauformen, wie z. B. 18650, 21700 usw. Dieser Art von Akkus besteht aus einer negativen Elektrode, bzw. Kathode aus Graphit und einer positiven Elektrode bzw. Anode aus Lithiumcobaltoxid (LiCoO_2), Lithiumnickeldioxid (LiNiO_2) oder Lithiummanganatoxid (LiMn_2O_4). Diese Wahl von Chemie bietet eine gute Zyklenfestigkeit, was natürlich der Langlebigkeit entspricht. Im geladenen Lithium-Ionen-Akku erzeugt ein elektrochemischer Prozess Spannung zwischen den Elektroden. Lithium-Ionen (Li^+) bewegen sich dabei durch den Elektrolyten zwischen festen Übergangsmetall- und Graphitstrukturen der Elektroden, getrennt durch einen Separator. Das Funktionsprinzip von Li-Ion-Akkus bezieht sich dabei auf die Verschiebung von

Lithium-Ionen. So wird die elektromotorische Kraft erzeugt. [BK_01]

Mit einer Nennspannung von 3,7V und der Entladekurve, die stabil über einen Großteil der Entladung bei Nennspannung bleibt, was bei zu sehen ist.



Lade- (grün) und Entladekurve(blau) von Li-Ion-Akkus [BK_02]

Li-Ion-Akkus können aber nicht selber in Betrieb genommen werden, da die sich ohne eine Art von Überwachung tief entladen wurden oder beim Laden überladen geworden sind. Dazu werden Li-Ion-Akkus immer mit einem Batterie Management System benutzt, kurz BMS gesagt. Ein BMS kümmert sich darum, dass die Li-Ion-Akkus einen Cut-Off-Spannungspegel beim Laden und beim Entladen haben. Das BMS bietet auch Kurzschlussschutz und meistens eine Überstromerkennungsfunktionalität.

(vielleicht verweisen, dass man mehr später darüber erfahren wird) Li-Ion-Akkus, voll geladen, liegen bei ungefähr 4,25V und entladen sich bis 2,5V, wenn die an einen BMS angeschlossen sind. Ein Merkmal von Li-Ion-Akkus ist die Art von Laden, da die eine spezielle Ladetechnik brauchen, nämlich sogenannte 80% CC, 20% CV. Genauer gesagt, werden die Akkus die ersten 80% mit einem konstanten Strom geladen und die restlichen 20% mit einer konstanten Spannung. Dieses Verfahren ist bei zu sehen, dargestellt mit hellgrün. Dafür wurde ein besonderes Ladegerät benötigt. Mit richtiger Nutzung von Ladeverfahren haben die Akkus keinen Memory-Effekt und dementsprechend haben auch sehr geringe Selbstentladung. Die Li-Ion-Akkus sind meistens ein bisschen teurer als die anderen Akku-Technologien und benötigen die genannten speziellen Ladegeräte.

Lithium-Polymer-Akkus (LiPo)

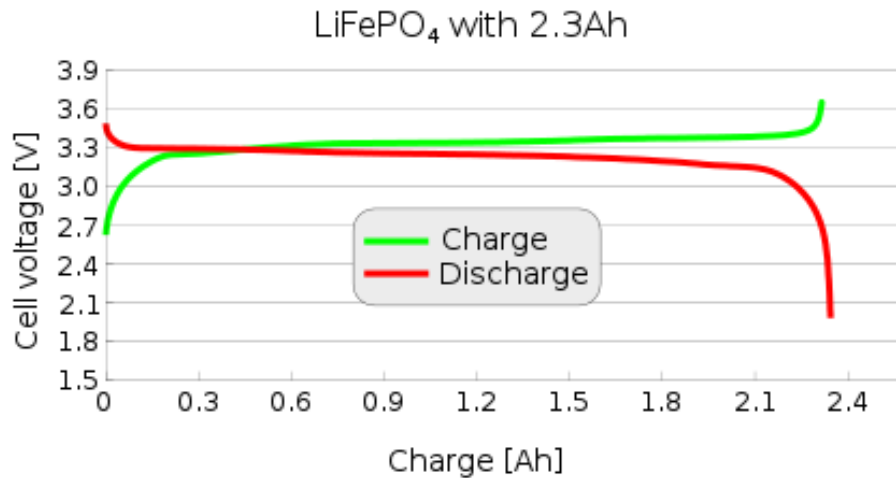
Die LiPo-Akkus sind eine spezielle Bauform der klassischen Li-Ion-Akkus und nutzen daher die gleiche Zellchemie. Als eine der neuesten Akkutechnologien bieten sie eine der höchsten Energiedichten in Relation zum Gewicht. Sie behalten alle Vorteile der Li-Ion-Akkus, da sie Teil der Lithium-Ionen-Akku-Familie sind, und verwenden dasselbe Ladeverfahren wie klassische Li-Ion-Akkus. Oft sind sie mit einem eingebauten Batteriemanagementsystem (BMS) ausgestattet, was sie etwas teurer macht. Diese Akkus sind typischerweise in Mobiltelefonen zu finden. LiPo-Akkus verwenden flexible Kunststoffbeutel anstelle der zylindrischen Bauweise von Li-Ion-Akkus. Diese Flexibilität ermöglicht es, sie an die spezifischen Anforderungen des Gerätedesigns anzupassen und bietet eine größere Designfreiheit. Sie nutzen den verfügbaren Raum in elektronischen Geräten effizient aus. Ein Nachteil liegt jedoch in den Sicherheitsaspekten. LiPo-Akkus sind sehr empfindlich gegenüber Überhitzung, was in Rauch- und Gasentwicklung oder im Extremfall sogar zu Selbstentzündung führen kann. Dieses Risiko erhöht sich besonders bei unsachgemäßer Handhabung, übermäßiger Belastung oder mechanischer Beschädigung der Akkuzellen.

Lithium-Eisen-Phosphat-Akkus (LiFePO₄)

Die LiFePO₄-Akkus gehören zur Familie der Lithium-Ionen-Technologie, verzichten sich jedoch auf das Kathodenmaterial Lithiumcobaltdioxid (LiCoO₂), das in klassischen Li-Ion-Akkus verwendet wird.

Im Vergleich zu Li-Ionen-Akkus mit LiCoO₂ bieten LiFePO₄-Akkus eine höhere Sicherheit, da sie keine exothermen Reaktionen unter extremen Bedingungen zeigen, was das Risiko von Bränden und Explosionen erheblich verringert. Diese Akkus sind ideal für Anwendungen in Elektrofahrzeugen aufgrund ihrer höheren Entladestromkapazität, Nicht-Toxizität und längerer Lebensdauer im Vergleich zu Li-Ionen-Akkus mit LiCoO₂. [BK_03]

In Vergleich zu Li-Ion-Akkus, liegt der Nennspannung von LiFePO_4 -Akkus bei 3,3V und bleibt stabil über einen Großteil der Entladung bei Nennspannung, was auf zu sehen ist.



Lade- (grün) und Entladekurve (rot) von LiFePO_4 -Akkus [BK_04]

Wie Li-Ion-Akkus, benötigen die LiFePO_4 -Akkus auch eine Schutzschaltung in Form von BMS, allerdings besondere Art für LiFePO_4 -Akkus. Da die auch die Familie von Li-Ion-Akkus gehören, werden die auch über gleiches Ladeverfahren wie Li-Ion-Akkus geladen. Die Entladeschlussspannung von dieser Akkus liegt typischerweise bei 2,0V und die Ladeschlussspannungen liegt in der Regel bei 3,6V. Die Werten sind aber von BMS abhängig. Die einzige Nachteil dieser Akku-technologie ist, dass im Vergleich zu den reinen Li-Ion-Akkus, die Nennspannung niedriger liegt, bei 3,3V im Vergleich zu 3,7V.

3.4 Funktechnologien @Stasa Lukic

3.4.1 LoRa

Low-Power-Wide-Area-Network-Technologie, auch genannt LoRa ist eine Stromsparende technologie um Daten über eine längere Distanz zu schicken. Dafür benutzt LoRa die CSS-Modulationstechnik für eine Funkreichweite von mehreren Kilometern. Durch den niedrigen Stromverbrauch ist LoRa geeignet für hand held IoT Projekte, diese können Batterie betrieben werden für eine längere Zeit. Die Netzwerktopologie von LoRa ist Punkt-zu-Punkt oder Punkt-zu-Mehrpunkt-Netzwerke, oft in Kombination mit Gateways [STA_12].

3.4.2 WLAN

WLAN ist die weitverbreiteste Netzwerk technologie für den normalen Haushalt. Es erlaubt Geräte oder Clients über Radio frequenzen sich mit einem Acces points zuverbinden, diese nutzen oft Stern- oder Baumtopologien. Durch die Schnelle geschwindigkeit von 2,4GHz oder 5GHz wird jedoch die Reichweite gekürzt [STA_10].

3.4.3 Zigbee

Zigbee wurde spezifisch dafür entwickelt, wenn man geringe Datenmengen verschicken will und einen geringen Stromverbrauch haben möchte. Ihre geringe Reichweite ist kein problem, da Zigbee sehr schnell und zuverlässig ein mesh netzwerk aufbauen kann, das heist das Zigbee selbstständig Netzwerkpfade baut und sogar bei einzelnden ausfällen selber einen neuen netzpfad findet [STA_11].

3.4.4 Bluetooth

Bluetooth ist ein 1990 entwickelte Punkt zu Punkt technologie die Ultra high frequency radio wellen nutzt, um über eine sehr kleine Reichweite Daten zu verschicken. [STA_13].

3.4.5 Vergleiche der Funktechnologien

Bei der Reichweite hat LoRa die längste Reichweite mit bis zu 15 Kilometern aber mit einer niedrigen Datenübertragung von nur 0,3 kbps bis 50 kbps, abhängig der Reichweite. WLAN hat eine Reichweite bis zu 100m mit Wänden und bis zu 300m Ausserorts, hat dafür aber eine sehr schnelle Datenübertragung, mit neueren Technologien wie Wi-Fi 6 sind mehrere Gbps möglich. Zigbee hat die gleiche Reichweite wie ein WLAN Netzwerk, hat aber dafür den Vorteil sehr zuverlässige Mesh Netzwerke aufzubauen. Wie schon erwähnt besitzt sie eine niedrige Datenübertragung von bis zu 250 kbps aber dafür ist sie sehr Leistungs effizient. Bluetooth hat eine Reichweite von nur 10m, besitzt aber eine mittlere und zuverlässige Datenübertragung von 2 Mbps bis 3 Mbps und macht sich dafür sehr nützlich für persönliche Zwecke.

3.5 Bildverarbeitung

3.5.1 Bitmaps

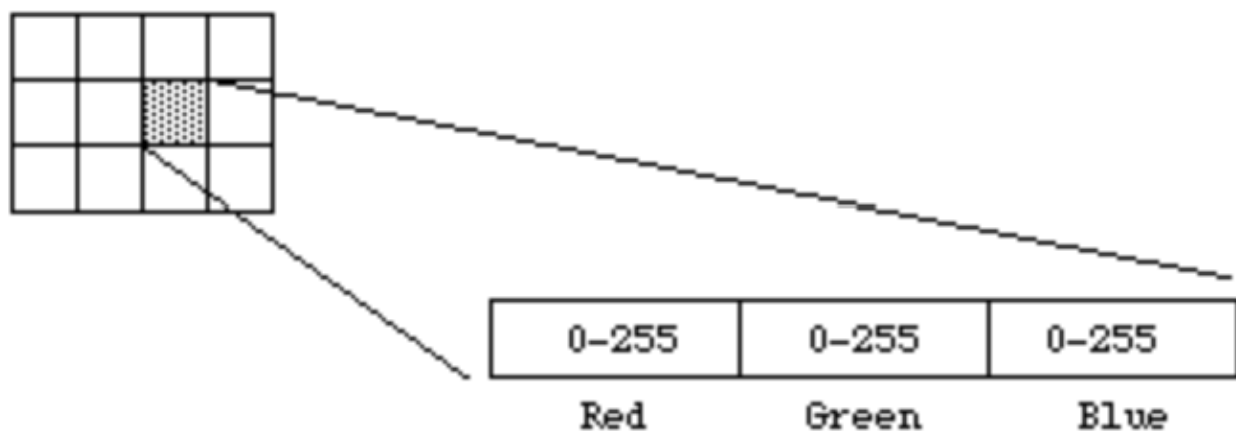
Bitmaps speichern Bildern in einem Format, sodass jeder Pixel einzeln Farbwerte zugeschrieben bekommt. Umso mehr Bits man einem Pixel zuweist, umso genauer kann man die Farbe darstellen.

Dies wird Color depth genannt, wird einem Pixel zum Beispiel nur 1 Bit zugewiesen, kann der Pixel entweder die Farbe Schwarz (1) oder die Farbe Weiss (0) anzeigen. Heutzutage werden mehrere Formate genutzt, darunter sind die bekanntesten 8 Bit grey scale, RGB 565, 24 Bit RGB und 32 RGBA.

8 Bit grey scale erlaubt es einem Pixel 256 verschiedene Graustufen anzunehmen.

RGB 565 teilt jeweils Rot 5 Bits, Grün 6 Bits und 5 Bits für Blau für 65536 verschiedene Farbmöglichkeiten, auch genannt High color.

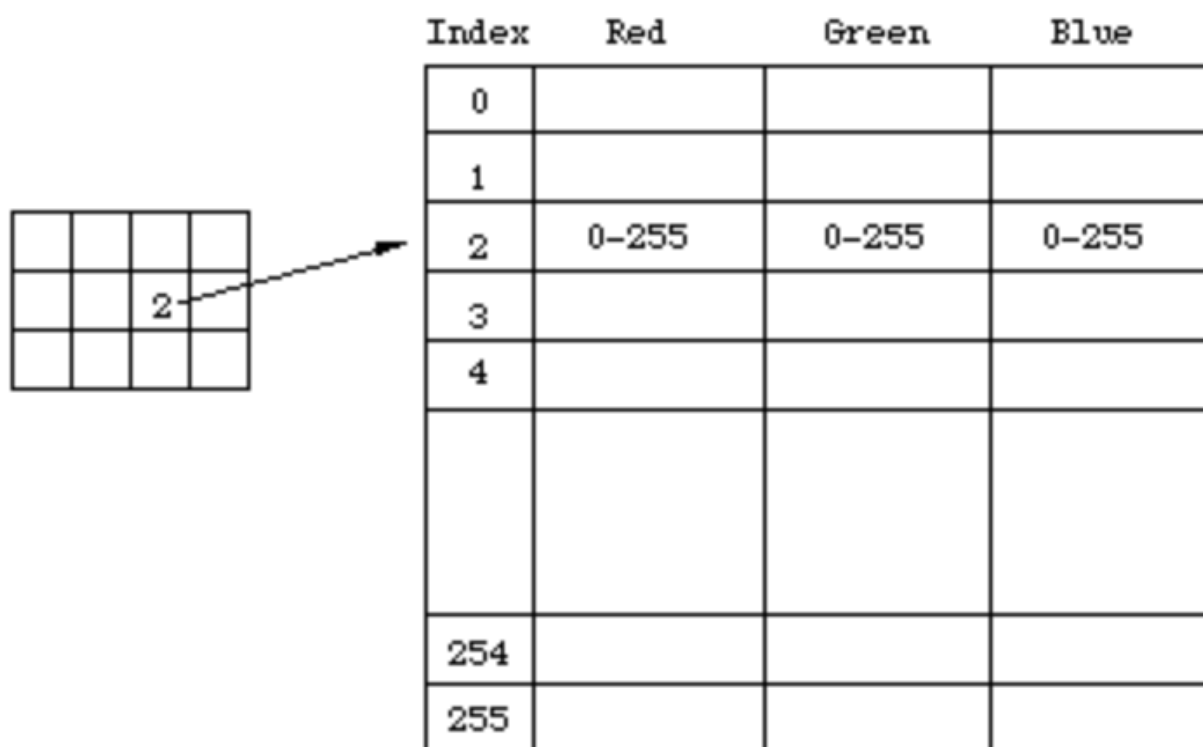
24 Bit RGB, auch genannt true color, lässt einen Pixel 16777216 verschiedene Farben annehmen, jedem RGB channel wert wird jeweils ein Byte zugewiesen [STA_14]. Dies wird einmal genauer dargestellt.



24 Bit RGB Pixel

32 Bit RGBA ergänzt noch einen alpha channel. Dieser lässt den Pixel weitere Information zur Transparenz der Farbe wissen. Mit RGBA sind 4294967296 verschiedene Farben mit Transparenz möglich.

Diese Informationen werden als Hexadezimalzahlen gespeichert, es gibt aber auch Indexed Bitmaps. Indexed Bitmaps können einen Farbwert einer Zahl zuweisen, benutzt ein Bild zum Beispiel eine Color depth von 24 Bit aber insgesamt weniger als 256 Farben. Kann man jede Farbe einer Zahl zuweisen. Damit können wir das Bild anstatt mit 24 Bit pro Pixel mit 8 Bit pro Pixel darstellen, behält aber die color depth von 24 Bit bei [STA_15]. Ein Beispiel kann man in sehen.



Indexed Bitmap

3.5.2 Dithering

3.5.3 Euclidean distance

3.5.4 PNG dekodieren

3.6 Energiemanagement

Mario Wegmann

Computer verbrauchen auch ohne aktive Aufgabe Strom. Ohne spezielle Anweisungen an den Computer wird der Stromverbrauch nicht gedrosselt, wodurch Energie verschwendet wird. Bei PCs fallen hierbei ACPI Sleep States ein, ACPI steht dabei für Advanced Configuration and Power Interface und ist ein offener Industriestandard für die Energieverwaltung bei Computern [\[MW_02\]](#). Die sogenannten ACPI sleep states ermöglichen es dem Betriebssystem zu steuern, welche Komponenten gedrosselt oder gar komplett abgeschaltet werden, um den Stromverbrauch zu minimieren. Auch bei Mikrocontrollern gibt es mehrere Mechanismen, womit der Stromverbrauch reduziert werden kann. Da ein geringer Stromverbrauch eines der wichtigsten Kriterien dieses Projekts ist, werden hier beispielhaft die Sleep States eines ESP32 erläutert.

3.6.1 Einfaches Delay

Die einfachste Möglichkeit einen ESP32 Mikrocontroller keine konkrete Aufgabe zu geben, ist mit einem Delay. Die Funktion heißt in der Arduino IDE `delay()` und lässt einen Parameter zu, welcher angibt, wie viele Mikrosekunden der Mikrocontroller warten soll. In der ESP-IDF heißt die Funktion `vTaskDelay()`, hier kann auch ein Parameter für die Wartedauer übergeben werden. Der Parameter nimmt jedoch nicht Millisekunden, sondern Ticks an. Die Ticks sind abhängig von der Tick Frequenz,

daher müssen die Millisekunden mit der Funktion `pdmSTOTICKS()` in Ticks umgewandelt werden. Während dem aktiven warten werden jedoch keine Komponenten aktiv abgeschaltet oder gedrosselt, lediglich der Prozessor läuft nicht auf Vollast.

3.6.2 Der Light-sleep Modus

Deutlich besser ist da schon der Light-sleep. Wird dieser Modus aktiviert, so werden die teilweise Clock-Signale der digitale Peripherie, der meisten Teile des RAMs und der CPUs ausgeschaltet und die Versorgungsspannung reduziert, dieses Verfahren nennt sich Clock-Gating [\[MW_03\]](#). Dadurch kann der Stromverbrauch deutlich reduziert werden, wie hoch die Reduktion ist, wird im Kapitel [7.9 Strommessung von Mikrocontroller und Display](#) gemessen. Beim ESP32 gibt es nun verschiedene Wakeup Sources um den Light-sleep wieder zu beenden. Unter anderem sind folgende Wakeup Sources möglich:

- Timer
- Touchpad
- GPIO
- ULP Coprocessor (Ultra Low Power)
- UART

Nach einem Wakeup Event wird der State wiederhergestellt und der Mikrocontroller arbeitet an der Stelle weiter, wo er durch den Light-sleep aufgehört hat. [\[MW_06\]](#)

3.6.3 Der Deep-sleep Modus

Noch mehr Stromeinsparung kann mit dem Deep-sleep realisiert werden. Dabei werden die oben genannten Komponenten nicht nur clock-gated, sondern komplett abgeschaltet, somit bleibt nur noch der RTC Controller und dessen Memory und der ULP Coprocessor aktiv. Viele der zuvor genannten Wakeup Sources können auch verwendet werden um den ESP32 aus dem Deep-sleep heraus aufzuwecken, ausnahmen sind hierbei jedoch die meisten GPIO Pins und UART. Des weiteren ist anzumerken, dass nach dem Aufwecken aus dem Deep-sleep der ESP32 kein State wiederhergestellt wird. Die Firmware fängt also von vorne an und auch Daten die während dem Deep-sleep nicht verloren gehen dürfen müssen separat in nicht-flüchtigen Speicher abgelegt werden. [\[MW_06\]](#)

3.7 Firmwarebibliotheken

3.8 Gehäuseentwicklung

Jannis Gröger

Um das Gehäuse für ein elektronisches Gerät zu entwickeln, müssen zunächst die Anforderung festgelegt werden. Hierbei kann man in zwischen funktionalen und ästhetischen und ergonomischen Anforderungen unterscheiden. Grundsätzlich soll ein Gehäuse die Komponenten und die Elektronik nicht nur vor äußeren Einflüssen wie Staub, Schmutz oder mechanischen Stößen schützen, sondern trägt auch zur Wärmeableitung bei und spielt eine wichtige Rolle bei der Benutzung des Geräts. Im Folgenden werden die Grundlagen und die essentiellen Überlegungen bei der Entwicklung eines Gehäuses behandelt.

3.8.1 Funktionale Anforderungen

Die Hauptfunktion eines Gehäuses ist der Schutz der einzelnen Bauteile, wobei hier auf verschiedene Faktoren zu achten ist. Zum einen muss das Gehäuse stabil genug sein, um die internen Komponenten vor mechanischen Einflüssen wie Stöße oder Druck zu schützen. Das Material muss dementsprechend passend ausgewählt werden, wobei auch die Geometrie des Gehäuses berücksichtigt werden muss. Häufig verwendete Materialien bei Elektrogeräten sind Kunststoffe oder Metalle wie bspw Aluminium. [\[JG_01\]](#)

Zudem ist das Gehäuse dazu da, die Elektronik darin vor so äußeren Einflüssen wie beispielsweise Staub oder Wasser zu bewahren. Bei der Frage, vor welchen sogenannten Umwelteinflüssen ein Gehäuse schützt, hilft die Einteilung in IP-Schutzklassen, wobei das IP für International Protection steht und die verschiedenen Klassen nach der DIN 60529 spezifiziert sind. Die Bezeichnung der Klassen besteht hierbei aus zwei Kennziffern nach der IP Abkürzung: Die erste Ziffer macht

erkenntlich, gegen welche Arten von Berührung und Fremdkörpern das Gehäuse schützt, während die zweite Ziffer den Schutz gegen Wasser benennt. Eine Gehäuse mit IP68 Spezifikation ist beispielsweise vollständig gegen Staubeintritt und vor andauerndem Untertauchen geschützt. Eine solche Zertifizierung kann jedoch nur durch bestimmte Institutionen ausgestellt werden. [\[JG_02\]](#)

Ein weitere Funktion, der bei der Entwicklung des Gehäuses berücksichtigt werden muss, ist die Wärmeregulation, da die Elektronik sowohl vor Überhitzung, als auch vor zu starker Unterkühlung geschützt werden muss. Da elektronische Komponenten selbst Wärme erzeugen, spielt die Wärmeableitung eine größere Rolle, als der Schutz vor zu geringen Temperaturen. Diese kann durch Einsatz von Lüftern oder Kühlkörpern oder Einbau von Lüftungsschlitzen und die damit verbundene Konvektion bewerkstelligt werden. [\[JG_02\]](#)

Eine letzte funktionale Anforderung an das Gehäuse ist die elektromagnetische Verträglichkeit. Darunter versteht man, dass elektronische Geräte so aufgebaut sind, dass sie vor elektromagnetischen Störungen anderer Geräte geschützt sind und ihre eigenen elektromagnetischen Felder auf ein Minimum reduzieren, um selbst nicht andere Geräte zu stören. Dies kann durch die Verwendung leitfähiger Materialien und speziellen Dichtungen erreicht werden. [\[JG_02\]](#)

3.8.2 Ästhetische und ergonomische Anforderungen

Neben der Funktionalität stellen auch Ästhetik und Ergonomie gewisse Ansprüche an ein Gehäuse. Bei der Bedienung eines elektronischen Gerätes steht die Benutzerfreundlichkeit im Vordergrund, die bei tragbaren Geräten beispielsweise durch ein geringes Gewicht beeinflusst wird, wohingegen bei stationären Geräten eher auf Zugänglichkeit der Bedienelemente und Anschlüsse geachtet werden sollte. Des Weiteren beeinflusst das Design die Wahrnehmung und das Erscheinungsbild des Geräts, was maßgeblich zur Nutzung und Akzeptanz des Geräts beim Verbraucher beiträgt.

3.8.3 Auswahl des Materials und der Fertigungstechnik

Bei der Auswahl des Materials sind die oben genannten Aspekte von großer Bedeutung, da das verschiedene Materialien andere Eigenschaften besitzen und dementsprechend nicht jedes Material die gleichen Anforderungen erfüllt. Abhängig von der Materialauswahl ist im nächsten Schritt dann die Auswahl der Fertigungstechnik, wobei hier zusätzlich auf die Anforderungen an die Geometrie des Gehäuses, die anzufertigende Stückzahl und der Material- sowie der Fertigungspreis geachtet werden muss.

3.8.4 Design und Verfahren des Rapid Prototyping

Sind Material und Fertigungstechnik gewählt, kann mit dem eigentlichen Design des Gehäuses begonnen werden. Heutzutage wird das Design häufig durch CAD-Software (computer-aided design Software) unterstützt, was Gehäuseentwicklern und -herstellern ermöglicht, ein präzises 3D-Modell des gewünschten Produkts zu erstellen. Durch Finite-Elemente-Modellierung, kurz FEM, können Simulationen zum Testen der mechanischen oder thermischen Eigenschaften verwendet werden. [\[JG_03\]](#)

Nach dem Design folgt dann die Fertigung eines oder mehrerer Prototypen, die auf gewünschte Eigenschaften getestet werden, um eventuelle Schwachstellen auszumachen und Verbesserungen am Design vornehmen zu können. Hierbei werden immer häufiger Verfahren des Rapid Prototyping, im Folgenden auch RPT genannt, verwendet, was das "Erstellen von Prototypen aus einfach verarbeitbaren Materialien" [\[JG_03\]](#) bezeichnet. Hierbei wird das 3D-Modell aus der CAD-Software in ein "trianguliertes Oberflächenmodell überführt" [\[JG_03\]](#) und anschließend in einzelne Schichten mit einer festgelegten Dicke zerlegt. In

unterschiedlichen Verfahren, von denen einige im Folgenden genannt werden, werden diese Schichten dann wieder zusammengefügt, wodurch ein Prototyp entsteht. [JG_03]

- Das Stereolithografie-Verfahren (STL-Verfahren) ist ein RPT-Verfahren, bei dem mit einem Laser in einem Bad aus "polymere[r] Flüssigkeit die Konturen der Scheiben des Modells schichtweise [...] nachgefahren [...] werden" [JG_03], wodurch ein räumliches Modell entsteht.
- Beim Laminated Object Manufacturing Verfahren (LOM-Verfahren) dagegen, fährt der Laser die Konturen auf Papier nach, das die vorher festgelegte Dicke aufweist. Diese Papierschichten werden dann mittels eines "Schmelzkleber[s] aufeinander geklebt" [JG_03]. Das entstehende Modell kann dann ähnlich "wie Holz nachbearbeitet werden" [JG_03].
- Das Fused Deposition Modelling-Verfahren (FDM-Verfahren) erstellt ein Prototyp, indem ein Kunststoffaden durch eine beheizbare Düse auf einer Plattform ausgelegt wird. Diese Plattform lässt sich dabei frei im Raum bewegen und der Durchmesser des Fadens entspricht dabei der vorher festgelegten Schichtdicke. [JG_03]
- Ein weiteres Verfahren ist das Solidier-Verfahren, auch Solid Ground Verfahren oder kurz SGC-Verfahren genannt. Das Modell entsteht hierbei aus mehreren dünnen Fotopolymerschichten, wovon jede einzelne "mit einer fotografischen Maskentechnik unter UV-Licht aushärtet" [JG_03]. Um das fertige Modell herum wird ein Wachskörper gebildet, wodurch Überhänge nicht mit Stützen fixiert werden müssen. [JG_03]
- Auch das Selective Laser Sintering ist ein RPT-Verfahren, bei dem die einzelnen Schichten aus pulverförmigen Material mit einem Laser an gewollten Stellen geschmolzen wird. Durch schichtweises Herunterfahren der Fläche, worauf sich die unterste Pulverschicht befindet, liegt das fertige Modell dann in einem Pulverbett. [JG_03]
- Das 3D-Printing-Verfahren nutzt auch ein Schicht Pulver, wobei hier das Material mithilfe eines Binders verbunden wird. Auch hier wird das Modell an der obersten Schicht aufgebaut und der fertige Prototyp liegt in einem Pulverbett. [JG_03]

Die einzelnen RPT-Verfahren unterscheiden sich in den möglichen Materialien, der Genauigkeit der Modelle, der Qualität der Oberfläche und der verbundene Aufwand für die Nachbearbeitung. Diese Unterschiede sind der Abbildung zu entnehmen.

	STL	LOM	FDM	SGC	SLS	3DP
Material	Foto-polymer	Papier, Kunststoff, Metallfolie	Wachs, Kunststoff	Fotopoly-mer	ABS, Wachs, Sintermetalle	Gipspulver, Binder
Genauigkeit [mm]	0,06	0,12	0,13	0,1	0,12	0,2
Oberflächengüte	hoch	eingeschränkt	eingeschränkt	hoch	materialabh-ängig	gering
Aufwand für die Nachbearbeitung	gering	sehr hoch	mittel	sehr hoch	hoch	gering

Eigenschaften der verschiedenen Rapid-Prototyping-Verfahren
[JG_03]

Nach dem Prototyping und ausführlichen Testen, kann das überzeugende Modell schließlich in Serienproduktion übergehen womit die Entwicklung des Gehäuses ebenfalls abgeschlossen ist.

3.9 Webanwendungen

Mario Wegmann

Aufgrund den anforderungen und der komplexität von Websites ist es nicht mehr praktikabel Inhalte komplett händisch in HTML, CSS und JavaScript zu erstellen. Zu groß und fehleranfällig ist die Wartung eines solchen manuel erstellten Konstrukts. Ein Beispiel hierfür wäre das erweiteren einer neuen Unterseite in der Menüleiste. Hier müsste jede andere Unterseite anepasst werden, um die neue Unterseite von allen anderen Unterseiten aus zu erreichen.

Stattdessen hat es sich etabliert für Websites mit viel statischen Inhalt sogenannte Static Site Generators zu nutzen. Hierbei liegt der Fokus nur noch auf die Erstellung des eigentlichen Inhalts über eine simple Textdatei. Nach Fertigstellung des Inhalts erzeugt der Generator dann das restliche Gerüst der Website, so werden die Unterseiten generiert, das Navigationsmenü erstellt, Bilder optimiert und das Layout anhand des angegebenen Themes angewendet.

Neben Websites mit statischen Inhalten gibt es auch Websites, dessen Inhalt dynamisch erstellt wird. In Social Media ist die Anzahl an Inhalten so enorm, das es nicht praktikabel wäre allen Personen die gleiche Timeline anzuzeigen. Stattdessen wird pro Benutzer eine auf ihn spezialisierte Timeline beim Aufruf generiert.

Zuletzt gibt es auch Anwendungen die über den Webbrowser laufen und somit keine lokale Installation benötigen, ein Beispiel wäre hierfür die NextCloud, womit sich Dateien abspeichern, erstellen, ordnen und teilen lassen. Dank vieler Erweiterungen

Die letzten beiden genannten Kategorien erfordern viele Komponenten die zusammenarbeiten müssen um den Benutzer eine performante und benutzerfreundliche Erfahrung zu ermöglichen. Daher haben sich mehr und mehr verschiedene Technologien im Web entwickelt, die mit unterschiedlichen Herangehensweisen versuchen die Anforderungen zu erfüllen.

3.9.1 Webtechnologien

Mario Wegmann

Moderne Webbrowser haben sich auf die drei Programmiersprachen HTML, CSS und JavaScript geeinigt um Websites darzustellen.

HyperText Markup Language (HTML)

HTML definiert die Struktur und den Inhalt einer Webseite durch die Verwendung von Tags. HTML bildet das Gerüst einer Webseite, indem es Text, Bilder, Links, Videos und andere Elemente einbindet und organisiert.

Cascading Style Sheets (CSS)

CSS ist eine Stylesheet-Sprache, die verwendet wird, um das Aussehen und Layout von HTML-Dokumenten zu gestalten. Mit CSS können Entwickler die visuellen Aspekte von HTML-Elementen steuern. CSS ermöglicht eine Trennung von Struktur und Design, was die Wartung und Anpassung von Webseiten erleichtert.

JavaScript

JavaScript ist eine Programmiersprache, welche im Browser ausgeführt werden kann und somit für Interaktivität auf der Clientseite sorgt. JavaScript nutzt die Technik der DOM Manipulation um den Inhalt des geladenen HTMLs nachträglich zu modifizieren. Das Document Object Model (DOM) beschreibt den Aufbau der einzelnen HTML Elemente als Baumstruktur; diese Elemente können mit JavaScript gelesen, hinzugefügt, verändert und gelöscht werden. TypeScript ist eine Erweiterung von JavaScript und erweitert die Sprache um statische Typen, damit können Fehler im Programmcode früher erkannt und die Codequalität verbessert werden.

React

React ist eine JavaScript-Bibliothek zur Erstellung von Benutzeroberflächen. Sie verwendet eine komponentenbasierte Architektur, die es Entwicklern ermöglicht, wiederverwendbare UI-Komponenten zu erstellen und den Status von Anwendungen effizient zu verwalten. React nutzt einen virtuellen DOM zur Optimierung von Updates und zur Verbesserung der Performance. Neben React sind Vue, Angular und Svelte weitere bekannte Frontend-Bibliotheken.

PostgreSQL

PostgreSQL ist ein relationales Datenbankmanagementsystem (RDBMS). Ein RDBMS ist eine Software, die zur Verwaltung von Datenbanken verwendet wird, die auf dem relationalen Modell basieren. In diesem Modell werden Daten in Tabellen organisiert, die aus Zeilen und Spalten bestehen. Jede Tabelle repräsentiert eine Entität, und die Beziehungen zwischen den Tabellen werden durch Primär- und Fremdschlüssel definiert. PostgreSQL ist bekannt für seine Erweiterbarkeit, Standardkonformität und fortgeschrittene Features wie komplexe Abfragen und Transaktionen. MySQL ist ein weiteres bekanntes und verbreitetes RDBMS.

Structured Query Language (SQL)

SQL ist eine standardisierte Programmiersprache, die zur Verwaltung und Manipulation von Daten in relationalen Datenbanken verwendet wird. Mit SQL können Benutzer Datenbanken erstellen, ändern, abfragen und verwalten.

Webserver

Es gibt verschiedene Möglichkeiten wie HTML, CSS und JavaScript bei einer Anfragen an den Webserver generiert werden können. Der Code kann komplett statisch auf dem Webserver abgelegt sein, oder auch dynamisch bei der Anfrage generiert werden. Prinzipiell lässt sich für den letzteren Fall fast jede Programmiersprache verwenden, beliebt sind jedoch PHP, Python, Ruby, C# und JavaScript (NodeJS) [\[MW_04\]](#).

Für die Umsetzung werden häufig Frameworks genutzt, ähnlich wie bei Static Site Generators, unterstützen Frameworks bei der Realisierung von Websites, indem es wiederkehrende Aufgaben vereinfacht und die Wiederverwendung von Code fördert. Durch die Abstraktion und Strukturierung von Code sowie die Objektorientierung der Daten wird die Entwicklungszeit verkürzt und die Wartbarkeit großer Anwendungen erheblich verbessert. NextCloud verwendet beispielsweise das PHP Framework Symfony [\[MW_05\]](#)

4. Marktanalyse aktueller Trends und Technologien im Bereich digitaler Raumanzeigen @Julia Reuter

Die Motivation des Projektteams lag bei erster Betrachtung des Projektes Low-Power Raumanzeige für die THA hauptsächlich in der Steigerung der Effizienz und des eigenen Komforts, wodurch das Projekt eher als Nischenprodukt für den internen Gebrauch angesehen wurde. Diese Einstellung änderte sich jedoch schnell nach einiger Recherche.

Nicht nur ist der potenzielle Markt für eine Low-Power Raumanzeige aufgrund der vielfältigen Einsatzgebiete in Büroräumen, Krankenhäusern, Bildungseinrichtungen, usw. relativ groß, sondern auch im Hinblick auf das Thema Umwelt, Nachhaltigkeit und Digitalisierung, lange nicht ausgeschöpft. So wird beispielsweise eine effiziente Nutzung von Räumen durch klare Erkennbarkeit der Belegung ermöglicht und durch intelligente Verwaltung können sogar unnötige Heiz- und Beleuchtungskosten reduziert werden, wenn der Raum gerade nicht genutzt wird. Darüber hinaus kann auf papierbasierte Stundenpläne und Türschilder verzichtet werden, was nicht nur den damit verbundenen personellen Verwaltungsaufwand zur Instandhaltung deutlich verringert, sondern auch die bislang verwendeten Ressourcen minimiert.

All diese Aspekte sind Merkmale für ein durchaus zukunftstaugliches Produkt und gerade deshalb gibt es bereits einige Unternehmen, die dieses Potenzial erkannt und entsprechende Produkte entwickelt haben.

Im Folgenden werden nun vier hauptsächlich deutsche Unternehmen analysiert, welche als Inspiration für die eigene Raumanzeige dienen und durch ihr breites Spektrum dem Team zu neuen Ansätzen und Ideen verhelfen.

4.1 Analyse einiger Konkurrenzprodukte

Bei den ausgewählten Unternehmen und Produkten handelt es sich um:

- **Wizepanel** der Firma Wilke Technology in Aachen [\[JR_01\]](#)
- **Digitales Türschild** der Firma digitalSIGNAGE in Hamburg [\[JR_02\]](#)
- **Display** der Firma ROOMZ in Freiburg (Schweiz) [\[JR_03\]](#)
- **Touchscreen-Display** der Firma Beetronics in Düsseldorf [\[JR_04\]](#)

Im Hinblick auf das Projekt lag der Fokus der Recherche auf folgenden Aspekten, welche im Anschluss tabellarisch (s.) aufgelistet werden:

- Display Art (LCD oder E-Paper)
- Farbumterstützung
- Ansteuerung/Netzprotokoll
- Batterie und geschätzte Laufzeit
- Betrieb (Schnittstelle zum Kunden)
- Besondere Features

4.2 Produktvergleich ausgewählter Unternehmen

Produkt	Display Art	Farbunterstützung	Ansteuerung/ Netzprotokoll	Batterie und geschätzte Laufzeit	Betrieb (Kundenschnittstelle)
Wizepanel [JR_05]	E-Paper	Schwarz-Weiß, 16 Graustufen	868 MHz Ultra Low Power Funk, eigene Funksender	10 x AA- Lithium- Primärzellen, bis zu 20 Jahre	Zentrale Serverkomponenten Inhaltsübertragung Geräteverwaltung
Digitales Türschild [JR_06]	Touch-Screen (kein E-Paper)	Farbe	Ethernet, NFC- Option verfügbar	Power over Ethernet (PoE) → Kabelanschluss nötig	Keine Angabe
ROOMZ [JR_03]	E-Paper	Schwarz-Weiß	WLAN	8000mAh, 4 Jahre	MyRoomz-App zur Buchung einzelner definierter Arbeitsbereiche
Beetronics [JR_07]	High Brightness Full HD Touchscreen	Farbe	Display Port, HDMI, VGA, USB-C, Unterstützung aller gängigen Betriebssysteme	Netzteil (d.h. Stromanschluss) denn braucht 12.7W (Betrieb)/ 0.4W (Standby)	Einfaches Plug-and- Play, sonst eigener Treiber für verschiedene Betriebssysteme verfügbar

Übersicht und Vergleich der 4 ausgewählten Raumanzeigen

4.3 Auswertung der Rechercheergebnisse

4.3.1 Vor- und Nachteile der einzelnen Produkte

Hersteller	Vorteile	Nachteile
Wizepanel	- E-Paper-Technologie: Geringer Energieverbrauch	- Schwarz-weiß Display: Keine Farbdarstellung möglich
	- Lange Akkulaufzeit: Bis zu 20 Jahre	- Eigene Funksender zur Datenübertragung werden benötigt: Abhängigkeit von zusätzlicher Hardware
	- Ultra Low Power Funk: Energiesparende und drahtlose Kommunikation	
	- Serverintegration: Unterstützung für gängige Kalender- und Verwaltungssysteme	
digitalSIGNAGE	- Touch-Screen und Farbe: Interaktive und ansprechende Benutzeroberfläche	- Power over Ethernet (PoE): Benötigt eine Kabelverbindung, externe Abhängigkeit
	- NFC-Option und Ethernet: Flexibilität bei der Ansteuerung	- Keine Angaben zur Akku-Laufzeit: Unklarheit über Energieeffizienz vermutlich aber eher gering aufgrund der Displaytechnologie
	- LEDs zur Raumbelung: Visuelle Hinweise zur Raumverfügbarkeit	
ROOMZ	- E-Paper-Technologie: Geringer Energieverbrauch	- Schwarz-weiß Display: Keine Farbdarstellung möglich
	- WLAN: Einfache Integration in bestehende Netzwerke	
	- Lange Akkulaufzeit: Bis zu 4 Jahre	
	- MyRoomz-App: Umfassende Funktionen zur Raumbuchung und -verwaltung, auch über mobile Endgeräte	
Beetronics	- High Brightness Full HD Touchscreen: Hervorragende Bildqualität und interaktive Möglichkeiten	- Verhältnismäßig sehr hoher Energieverbrauch
	- Vielseitige Anschlussmöglichkeiten: Unterstützung für Display Port, HDMI, VGA, USB-C; Flexibilität in der Ansteuerung	- Kabelgebunden: Abhängigkeit von ständiger Stromquelle.

Vor- und Nachteile der vier Displayprodukte

4.3.2 Abgeleitete Kriterien für das eigene Produkt

Basierend auf der Analyse der Vor- und Nachteile der Konkurrenzprodukte (vgl.) sollten folgende Eigenschaften in die eigene Low-Power Raumanzeige integriert werden, um die grundlegenden Markanforderungen zu erfüllen:

- 1. E-Paper-Technologie:** Für minimalen Energieverbrauch und lange Akkulaufzeit
- 2. Lange Akkulaufzeit:** Nutzung von effizienten Batterien für eine wartungsarme Lösung und unabhängigen Betrieb
- 3. Drahtlose Kommunikation:** WLAN oder Funk für flexible und einfache Installation sowie geringem Energieverbrauch
- 4. Integration in bestehende Systeme:** Unterstützung für gängige Kalender- und Verwaltungssysteme (z.B. iCal/ICS oder WebUntis) über zentrale Serverkomponenten zur effizienten Verwaltung und Nutzung

4.3.3 Ansätze zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit auf dem Markt

Um sich von den zahlreichen Konkurrenzprodukten abzuheben, gibt es einige Ansätze. Denn auch wenn es sich um ein E-Paper Display handelt, besteht die Möglichkeit eine gewisse Benutzerinteraktion für zum Beispiel spontane Raumbuchung zu integrieren, die energiesparend und auch ohne Touchfunktion umsetzbar ist. Auch ein E-Paper-Display mit Farbunterstützung würde dazu beitragen das eher schlichtes Produkt für den Kunden optisch ansprechender zu gestalten und sich von der Masse abzuheben.

Das zentrale Alleinstellungsmerkmal ist jedoch das Entwickeln eines möglichst generischen Konzeptes, das sehr flexibel einsetzbar ist. Denn eine Einschränkung obigen System ist, dass alle zentral über eine Serverkomponente gesteuert werden und teilweise sogar eigene Funkverteiler brauchen. Dies ist für den Benutzer mit viel Aufwand und Kosten verbunden und lohnt sich nur für sehr große Organisationen.

Zudem ist man stets von einer externen Softwarekomponente abhängig, denn die Display Ansteuerungsschnittstelle wird ebenfalls vom Hersteller in Form von einem Server (vgl. Wizepanel) oder einer App (vgl. ROOMZ) geliefert, sodass hier eine weitere große Abhängigkeit entsteht.

Genau hier setzt das Projektteam an und entwickelt ein Konzept, indem die Raumanzeige nicht zwingend eine zusätzliche externe Infrastruktur benötigt. Es soll ein Option für eine Standalone-Funktionalität geben, sodass das Low-Power Display sowohl völlig unabhängig von jeglicher zusätzlicher Soft- und Hardware ist und autark funktionieren kann. Gleichzeitig besteht weiterhin die Möglichkeit eine zentrale Verwaltungskomponente zu integrieren, um auch mehrere Displays verwalten zu können. Diese Flexibilität gekoppelt mit der Prämisse, das System Open-Source zu gestalten, sorgt für eine hohe Konkurrenzfähigkeit auf dem Markt.

Der Kunde kann somit nach Belieben das System erweitern und anpassen, wodurch die Low-Power Raumanzeige nicht nur für die Hochschule attraktiv ist sondern auch in kleineren Kreisen und sogar im privaten Gebrauch eingesetzt werden kann.

5. Teamorganisation

5.1 Kommunikation (Notion, Nextcloud, Whatsapp, Zoom, Github)

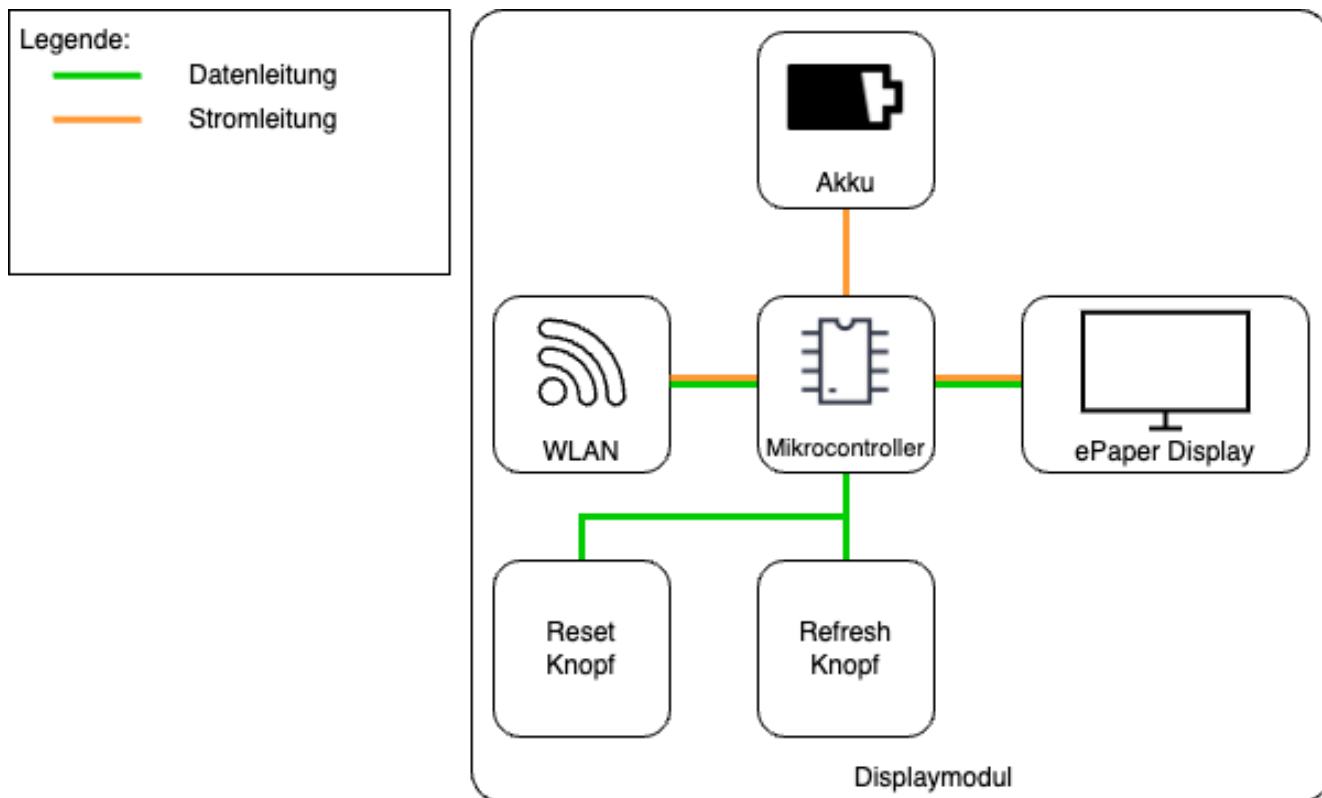
5.2 Rollenaufteilung

5.3 Zeitplan

6. Systemkonzept

Basierend auf den Rechercheergebnissen aus Kapitel 3 hat das Team folgendes Systemkonzept für die Low-Power Raumanzeige entwickelt.

6.1 Grundaufbau der Hardware



Visualisierung des Grundkonzepts des Systems

Wie in veranschaulicht, besteht das Low-Power Display Modul aus:

- Einem Akku, der die Stromversorgung des gesamten Systems gewährleistet
- Einem Mikrocontroller, der die zentrale Steuereinheit bildet und die anzuzeigenden Informationen über WLAN empfängt, entsprechend aufbereitet und weitergibt
- Einem E-Paper Display, das über eine geeignete Schnittstelle die Daten vom Mikrocontroller erhält und im Anschluss direkt anzeigen kann

Angedacht sind zudem zwei Knöpfe, die Benutzerinteraktionen ermöglichen. Zum Beispiel kann das System nach einem Fehler neu gestartet, oder sogar wieder auf Werkseinstellungen zurückgesetzt werden. Auch das angezeigte Bild könnte einfach per Knopfdruck geändert werden.

Verbaut werden die einzelnen Komponenten in einem kompakten 3D-gedruckten Gehäuse, welches sich einfach und ohne externe Kabel montieren lässt.

6.2 Allgemeine Software-Funktionen

Da die gesamte Ansteuerung des Systems über einen Mikrocontroller erfolgt, muss dieser entsprechend programmiert werden. Er bildet die zentrale Steuereinheit, die sich mit entsprechender Firmware um das Empfangen und Senden von Daten, die

Displayansteuerung und das Powermanagement kümmert. Durch ihn soll es dem Benutzer ermöglicht werden, über eine einfache und intuitive Schnittstelle, wie beispielsweise eine Website, das Display mit Inhalten zu versorgen. So können ohne viel Aufwand, Bilddateien auf der Website hochladen und mit nur einem Klick über eine WLAN-Verbindung an das Modul geschickt werden. Auch die Displayverwaltung und diverse Einstellungen werden über diese Art von Interface bequem gesteuert.

6.3 Potentielle Einsatzgebiete der Low-Power Raumanzeige

In der Projektdefinition ist die Hochschule als konkreter Kunde genannt, weshalb der Fokus vor allem auf diesen spezifischen Anwendungsfall gerichtet ist. Hier besteht die Hauptidee darin, die Raumverfügbarkeit in Echtzeit anzuzeigen und über das Stattfinden von Veranstaltungen, Vorlesungen und Seminaren zu informieren.

Dies bedeutet, dass Studenten schnell und unkompliziert herausfinden können, welche Räume gerade frei sind, um ungestört zu lernen oder Gruppenarbeiten durchzuführen. Dozenten können sicherstellen, dass ihre geplanten Veranstaltungen in den vorgesehenen Räumen stattfinden und bei Bedarf kurzfristige Änderungen kommunizieren. Auch das Verwaltungspersonal profitiert von einer effizienten Raumverwaltung, die durch das Anzeigen zusätzlicher Informationen, wie beispielsweise das Melden defekter Beamer, die Wartung der Räumlichkeiten verbessert.

Um ein solches Netz an Displays an der Hochschule reibungslos betreiben zu können, ist, noch Vorbild der Konkurrenz (vgl. Kapitel 3), die zentrale Verwaltung über eine Serverkomponente sinnvoll. Es bietet sich hierbei an, je nach Standort bzw. Raum IDs zu vergeben, sodass auch spontane Raumbuchungen korrekt zugeordnet werden können. Über eine Schnittstelle zu gängigen Kalendersystemen wie ICS oder WebUntis wird nicht nur über die Raumverfügbarkeit informiert, sondern auch der gesamte Tagesstundenplan der jeweiligen Hörsäle ist sofort ersichtlich.

Das Einsatzgebiet der Low-Power Raumanzeige ist jedoch nicht nur auf den Hochschulbereich beschränkt. Vor allem für den mobilen Einsatz oder für Privatpersonen ist das Einrichten und Verwalten eines Servers unpraktisch und zeitaufwändig. Deshalb ist das System so flexibel und generisch gehalten, dass es die Bedürfnisse unterschiedlicher Benutzergruppen erfüllt.

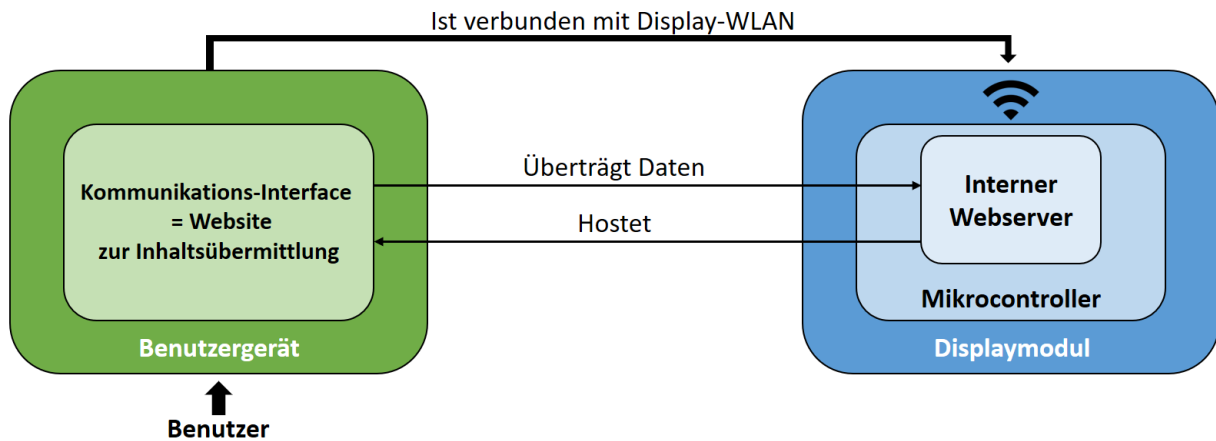
So kann es auch von kleineren Firmen zur effizienten Verwaltung von einzelnen Besprechungsräumen oder Shared-Desk-Systemen eingesetzt werden. Auch auf Messeständen oder in Tagungsräumen ist eine universelle Low-Power Anzeige denkbar. In diesen Anwendungsfällen ist häufig keine geeignete Infrastruktur vorhanden, um ein komplexes System zu integrieren. Deshalb ist es möglich, das Display nicht nur in einem "Server-Modus" zu betreiben, sondern auch in den zwei weiteren Betriebsmodi "Standalone" und "Netzwerk".

Im Standalone-Modus kann das Display am flexibelsten eingesetzt werden, da keinerlei Infrastruktur am Montageort nötig ist. Der im System integrierte Mikrocontroller öffnet einen WLAN Access-Point, sodass sich ein Client-Gerät, wie beispielsweise das eigene Handy, mit der Raumanzeige verbindet und der Benutzer direkt über sein Gerät den gewünschten Inhalt an das Display übermittelt. Dieser Modus erweitert das Low Power Raumdisplay zu einer völlig autarken Anzeige.

Im Netzwerkmodus ist das Konzept ähnlich, mit dem Unterschied, dass sich sowohl das Displaymodul als auch das Client-Gerät im gleichen WLAN, wie zum Beispiel dem eigenen Heimnetzwerk, befinden und kommunizieren.

6.4 Die drei Betriebsmodi der Raumanzeige im Vergleich

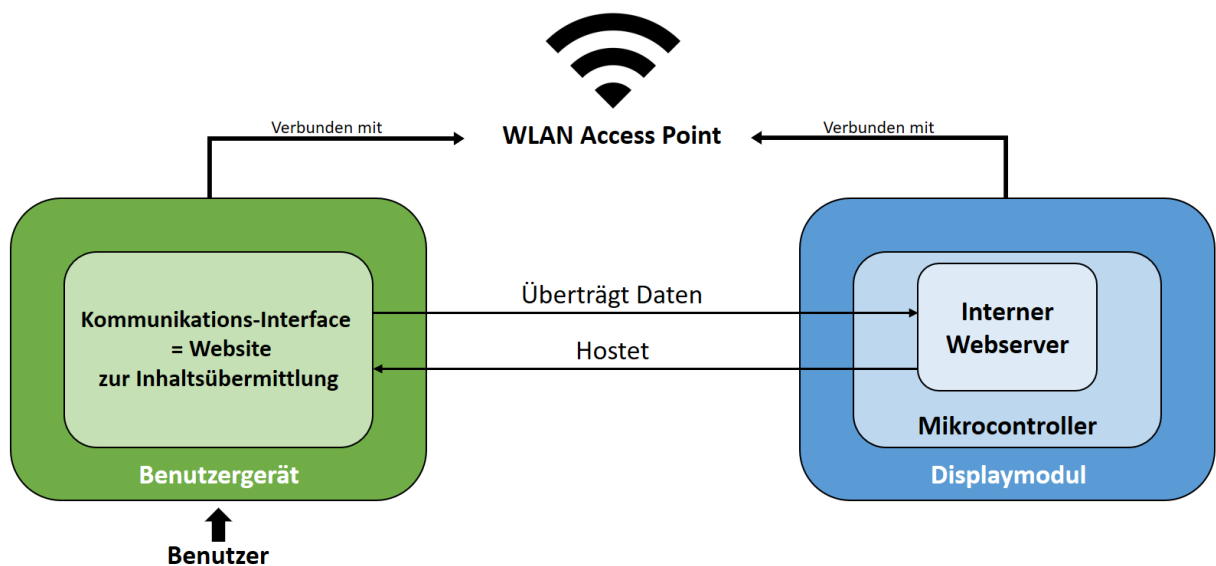
6.4.1 Standalone



Grafik zum Konzept des Standalone-Modus

Modus	Vorteile	Nachteile
Standalone	- Keine zusätzliche Infrastruktur erforderlich	- Eingeschränkte Funktionalität im Vergleich zu anderen Modi
	- Einfache Einrichtung und Nutzung	- Begrenzte Reichweite, Benutzer muss vor Ort sein
	- Hohe Flexibilität, da es an jedem Ort eingesetzt werden kann	- Keine zentrale Verwaltung oder automatisierte Darstellung möglich
	- Ideal für mobile Einsätze und Privatpersonen	

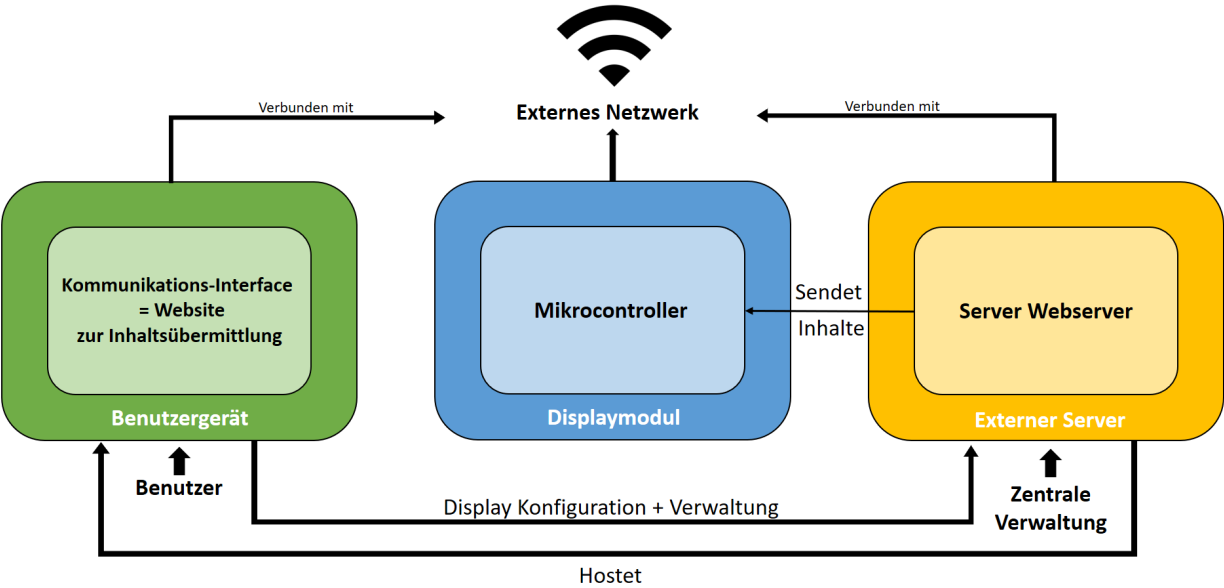
6.4.2 Netzwerk



Grafik zum Konzept des Netzwerk-Modus

Modus	Vorteile	Nachteile
Netzwerk	- Nutzung bestehender WLAN-Infrastruktur	- Erfordert ein funktionierendes WLAN-Netzwerk
	- Mehrere Geräten innerhalb des gleichen Netzwerks können mit dem Display kommunizieren	- Abhängigkeit von bestehendem Netzwerk
	- Benutzer muss nicht vor Ort sein	- IP-Adresse des Moduls muss bekannt sein, um sich zu verbinden

6.4.3 Server



Grafik zum Konzept des Server-Modus

Modus	Vorteile	Nachteile
Server	- Zentrale Verwaltung und Steuerung vieler Geräte	- Etwas höherer Einrichtungs- und Wartungsaufwand
	- Möglichkeit zur Integration mit Kalender- und Verwaltungssystemen	- Erfordert Server-Hardware und weitere IT-Ressourcen
	- Geeignet für große Organisationen und Institutionen	- Abhängigkeit von der Serververfügbarkeit und Netzwerkinfrastruktur
	- Ermöglicht komplexe Funktionen wie automatische Updates, Synchronisation und umfangreiche Datenanalyse	

7. Hardware

7.1 Auswahl des Mikrocontrollers

- GPIO's
- Stromverbrauch
- Vorteile (Charger, ...)
- Bauform
- Speicher

7.2 Auswahl der Displaytechnologie

7.3 Auswahl der Akkukomponenten

Akku

Der ausgewählte Akku, aus verschiedenen Akku-Technologien, die in Kapitel 2 genannt waren, war der klassische Li-Ion-Akku, aus mehreren Gründen. Aufgrund der Anzahl und Position des Systems, die von Akku betrieben sein wurde, war der Sicherheitsaspekt ein entscheidender Faktor. Deswegen wurden die LiPo-Akkus nicht mehr betrachtet. Der Vergleich zwischen Li-Ion-Akkus und LiFePo₄-Akkus hatte eindeutige Unterschiede geliefert. Die LiFePo₄-Akkus repräsentieren die sicherste Variante, andererseits hatten die Li-Ion-Akkus eine höhere Nennspannung von 3,7V. Aus Sicherheitsblick betrachtet wurden die LiFePo₄-Akkus ausgewählt. Die Nennspannung von 3,2V hat jedoch gegen die LiFePo₄-Akkus gesprochen, da der ausgewählte Mikrocontroller, nämlich den XIAO ESP32-S3, Betriebsspannung zwischen 3,2V und 4,2V angefordert hat. Obwohl die LiFePo₄-Akkus die Betriebsspannung liefern konnten, konnten sie das System nicht betreiben, da die genannte Betriebsspannung in Fall ohne schwere Last gemeint ist. Wegen dies wurden allerdings die Li-Ion-Akkus gewählt. Der nächste Schritt war, eine vernünftige Kapazität zu finden, sodass die Akkus das System lang genug betreiben konnten. Dazu hat man die Schätzungen mit Verbrauchmessungen unterstützt und ungefähr die benötigte Akku-Kapazität geschätzt. Eine Akkulaufzeit von einem Jahr war gewünscht und dementsprechend war die Größe des Akkus gewählt, nämlich ~10000 mAh. Ein Akku mit so einer Kapazität war aber nicht einfach zu finden. Deswegen wurde das Akkupack aus zwei ~5000 mAh Akkus gebaut. Um von zwei ~5000 mAh auf die gewünschte Kapazität zu kommen, wurden die Akkus in parallel verbunden, da so die Kapazität sich verdoppelt; im Vergleich, wenn man die in Reihe anschließt, so wird die Spannung verdoppelt.

Bei der Suche nach Akkus muss man einige Sachen beachten. Der Formfaktor der Akku, minimale Kapazität, ob der Akku schon ein eingebautes BMS hat und der Entladestrom.

Es würde die BAK N21700CD-53E ausgewählt, die auf zu sehen ist.



Li-Ion-Akku [BK_09]

Aus der Tabelle der technischen Daten auf der des betrachteten Akkus ist es klar zu sehen, dass alle benötigten Parameter erfüllt sind. Der Formfaktor ist aus der Durchmesser und Höhe (die ersten zwei Ziffern von Durchmesser und normalerweise erste drei Ziffern von Höhe → 21700).

Technische Daten zu der BAK N21700CD-53E

Kapazität	5300mAh
Minimale Kapazität	5150mAh
Nennspannung	3,6V - 3,7V
Ladeschlussspannung	4,2V ± 0,05
Entladeschlussspannung	2,5V
max. Entladestrom (konstant)	2C 10,3A (10300mA)
max. Entladestrom (Puls)	ca. 15A - 20A
max. Ladestrom	1C 5,150A (5150mA)
empfohlene Ladestrom	0,5C 2,5A (2500mA)
Schutzelektronik BMS	keine
Pluspol	flach (Flat Top)
Durchmesser	21,25 mm ± 0,15 mm
Höhe	70,50 mm ± 0,25 mm
Gewicht	70g ± 1 g
Ladeverfahren	CC-CV
Datenblätter und Zertifikate	siehe technische Daten

Technische Daten von BAK N21700CD-53E [BK_10]

BMS

Um den Akkupack sicher betreiben zu können, wurde ein BMS benötigt. Wie bereits in Kapitel 2 unter Akku-Technologien erwähnt, schützt ein BMS die Akkus vor Tiefentladung, Überladung, Kurzschluss und Überstrom.

Beim genaueren Blick auf ein 1S-BMS, auf , wo 1S die Anzahl der Zellen in Serie repräsentiert, erkennt man ein IC und zwei NMOS-Transistoren. Die NMOS-Transistoren dienen als Schalter, die vom IC durch Gate-Spannung angesteuert werden.

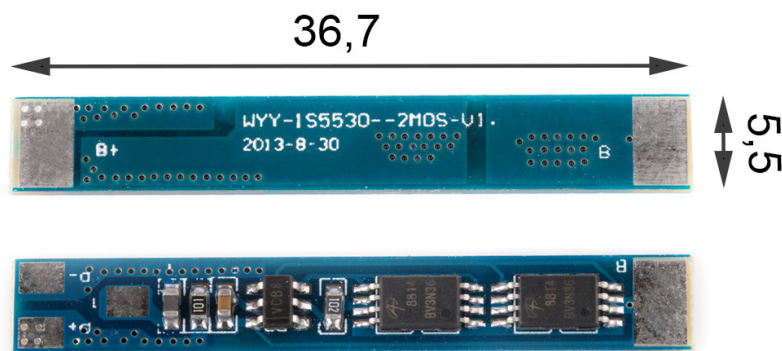
Überladungsschutz: Wenn die Ladespannung 4,2V überschreitet, sendet der IC ein Signal, das die Gate-Spannung eines NMOS-Transistors steuert, wodurch dieser den Stromkreis unterbricht.

Tiefentladungsschutz: Bei Tiefentladung wird ein ähnlicher Mechanismus aktiviert, allerdings bei 2,5V. Der IC sendet ein Signal an den zweiten NMOS-Transistor, um den Stromfluss zu unterbrechen, sobald die Spannung einen kritischen Wert erreicht.

Überstromschutz: Der IC überwacht den Stromfluss kontinuierlich. Wenn der Strom über den zulässigen Grenzwert steigt, schaltet der IC einen der NMOS-Transistoren ab, um den Stromfluss zu unterbrechen und die Batterie vor Schäden zu schützen.

Kurzschlusschutz: Auch bei einem Kurzschluss, bei dem sehr hohe Ströme fließen, erkennt der IC diese Situation und unterbricht sofort den Stromfluss durch Abschalten der NMOS-Transistoren.

Das BMS, das auf dargestellt ist, liefert alle diese Features und wurde für den Aufbau von dem Akkupack ausgewählt.



Li-Ion-Akku [BK_11]

Ladegerät

Wie bereits in Kapitel 2 unter Akku-Technologien erwähnt, benötigen die Li-Ion-Akkus ein spezielles Ladegerät, nämlich ein Ladegerät, der in die Lage ist beim Laden der Akkus, erste 80% konstanter Strom zu liefern und danach 20% die Akkus mit konstanter Spannung zu laden. Man kann solche Ladegeräten ohne viele Schwierigkeiten finden, sind allerdings teuer. Bei der Suche nach einem muss man eine Sache beachten, nämlich die Zellenanzahl. Die ausgewählte Ladegerät ist auf die zu sehen.



Ladegerät für Li-Ion-Akkus [\[BK_12\]](#)

7.4 Zusammenbau der Akkupacks

Mario Wegmann //TODO Warum Nickelband? Grafiken Aufbau Akkuzellen Quellen Nickelband Punktverschweißen

7.4.1 Konzeptioneller Aufbau

Bei der Auswahl der Akkukomponenten wurde die Entscheidung getroffen mehrere Lithium-Ionen Zellen zu verwenden. Da die Kapazität des Akkupacks vergrößert werden, die Batteriespannung jedoch weiterhin zwischen 2,5 V und 4,2 V liegen soll, werden die beiden Lithium-Ionen Zellen parallel mit einander verbunden. Dadurch verdoppelt sich die Kapazität, während die Spannung gleich bleibt. Zudem wird der gemeinsame Pluspol mit dem Plus des Battery Management System verbunden und ebenso mit dem Minuspolen verfahren. Zum verbinden von den Akkuzellen untereinander und mit dem BMS eignet sich ein Nickelband, welches auch als Hiluminband bekannt ist. Nickel hat die Eigenschaft sich gut verschweißen zu lassen.

7.4.2 Battery Management System anschließen

Als erstes sollte das BMS verdrahtet werden. In diesem Projekt wurde sich dafür entschieden, dass das Akkupack über einen Stecker mit dem Mainboard verbunden werden kann und somit modular ist. Somit wurde an den Ausgängen des BMS ein 2 Pin JST-X2 Stecker gelötet. Hierbei wurde sich im Team intern darauf geeinigt, dass der Pluspol rechts ist, wenn von der Drahtseite auf den Stecker geschaut wird und die Nase des Steckers nach oben zeigt. An den Pads für die Batteriepole wurde das Nickelband ebenso verlötet.

7.4.3 Vorbereiten der Lithium-Ionen Zellen

Für einen sicheren Umgang mit Lithium-Ionen Zellen ist es wichtig mehrere Dinge zu beachten, bevor mehrere Zellen miteinander verbunden werden können. Bereits beim beschaffen von den Zellen sollte darauf geachtet werden das identische Modell und eine gleiche Charge zu verwenden. Zudem sollten Zellen, die verbunden werden sollen, möglichst gleich alt und auch gleich belastet werden oder im optimalfall komplett neu sein. Zuletzt sollte vor dem Verbinden darauf geachtet werden, dass die Zellen die gleiche Zellspannung aufweisen um einen schlagartigen Ladungswechsel beim verbinden vorzubeugen.

Nachdem die einzelnen Zellen vorbereitet waren, wurden diese in die Plastikhalter eingelegt. Diese Plastikabstandshalter ergeben zusammen mit den Zellen ein stabiles Gesamtsystem und halten die Zellen davor ab sich direkt zu berühren.

7.4.4 Punktschweißverfahren bei Lithium-Ionen Zellen

Lithium-Ionen Zellen sind wärmeempfindlich und daher ist Weichlöten kein geeignetes Verfahren um die Zellen mit dem Hiluminband zu verbinden, stattdessen eignet sich das Punktschweißverfahren. Hierbei wird das Nickelband an einem Pol einer Zelle gepresst und dann die zwei Elektroden des Punktschweißgerätes auf das Nickelband gedrückt. Durch die beiden Elektroden fließen 1.000 bis 3.000 Ampere bei 2 bis 5 Volt, dieser hohe Strom führt zu einem Schweißpunkt, welcher das Nickelband und den Pol fest verbindet, jedoch aufgrund der kurzen Dauer des Prozesses von circa 5 Millisekunden kaum eine Wärmebelastung für die Akkuzelle darstellt. Das Nickelband, welches bereits mit dem BMS verbunden ist, wurde um ein weiteres Nickelband orthogonal dazu erweitert. Dadurch ergibt sich eine Nickelverbindung in T-Form. An beiden offenen Enden wurde jeweils ein Batteriepol angeschlossen. Dies wurde für die andere Polseite wiederholt.

7.4.5 Isolieren des Akkupacks

Abschließend wurde Kapton Klebeband verwendet um das Akkupack mit einer isolierenden Schicht zu umhüllen. Dadurch wird vermieden, dass unkontrolliert die Batteriepole mit anderen leitfähigen Materialien in Berührung kommen und sämtlicher Strom über das BMS geleitet wird. Kapton Klebeband ist dabei ein sehr guter elektrischer und thermischer Isolator.

7.5 Auswahl der PCB-Komponenten

7.6 Platinen Design

7.7 Zusammenbau der PCBs

7.8 Gehäuse

Jannis Gröger

7.8.1 Anforderungen

Beim Entwurf des Gehäuses für das Low Power Raumdisplay sind die funktionalen Anforderungen einfach gehalten. Da das Gerät im Einsatz später stationär platziert ist, ist es weder mechanischen Stößen noch einer Art von Vibration zu schützen. Zudem wird es nicht in der Hand bedient, weshalb es auch keinen mechanischen Druck ausgesetzt ist. Daher ist nicht auf ein besonders robustes Material zu achten.

Da der Einsatzort hauptsächlich im Gebäudeinneren vorgesehen ist, ist ein Schutz gegen jegliche Art von Wasser zu vernachlässigen. Da das Display als Bedienung zwei Benutzerknöpfe besitzt, muss das Gehäuse gegen Berühren mit Fingern geschützt werden, also sollte der Schutz gegen Berührung mindestens der Schutzart zwei zugeordnet werden können. [\[JG_02\]](#)

Die Low Power Raumanzeige besitzt elektronische Komponenten, die keine großen Wärmemengen produzieren. Lediglich beim Laden der Akkupacks könnte eine kritische Wärmemenge entstehen, weswegen diese leicht aus dem Gehäuse entfernbar sein sollten, dass beim Laden genug Abwärme durch natürliche Konvektion gegeben ist.

Da die Informationsanzeige mit WLAN mit dem Gerät des Betreibers kommuniziert, sollte das Gehäuse die Komponenten nicht zu sehr elektromagnetisch von außen abschirmen und auch elektromagnetische Felder nach außen hin zulassen, da ansonsten die Kommunikation gestört werden und das Displaymodul nicht mehr seine volle Funktionsfähigkeit aufweisen kann.

7.8.2 Design

Zum Entwickeln des 3D-Modells wird die CAD-Software "Autodesk Fusion" genutzt. Das Vorgehen hierbei besteht primär aus der Erstellung einer Skizze, aus der dann verschiedene Flächen extrudiert werden. Um komplexere Konstruktionen zu erlauben, wird

dieses Vorgehen wiederholt, wobei die Skizzenfläche eine Oberfläche einer bereits vorhandenen Extrusion ist. Die beiden Gehäuse bestehen jeweils aus drei Teilen:

- Einer Front, in der das Display sitzt
- Einer Halterung für die Platinen des Displays, die an der Front angebracht wird
- einer Rückseite, in der an der Rückwand die Halterungen für Akkupack und selbst entworfener Platine befestigt sind.

Diese Teile werden jeweils mit Gewindeschrauben mit 2,5mm Durchmesser verbunden. Die Rückseite kann konstruktionstechnisch nochmal in einen Quader für elektronische Bauteile und einer Schale für das Display unterteilt werden. Diese Teile sind jedoch fest an ihren Kanten verbunden (vgl. ABB !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!). Im folgenden werden die einzelnen Merkmale, die dem Gehäuse hinzugefügt werden, erläutert.

Um die einzelnen Komponenten im Inneren des Gehäuses zu fixieren, müssen für jede einzelne eine spezifische Halterung angefertigt werden. Die Akkupacks werden durch vier L-förmige Säulen, die jeweils eine Ecke der Packs umschließen, vor dem Hin- und Herrutschen bewahrt. Das Herausfallen nach Vorne verhindert ein Steg, der mit zwei Schrauben über dem Akkupack angebracht wird. Die Platine wird durch zwei gegenüberliegende Nuten in der Unterseite des Gehäuses und einer konstruierten Wand im Gehäuse gehalten, indem sie seitlich in die Nuten eingeschoben wird. Hierbei wird an der Seite des Gehäuses eine Bohrung angebracht, um auch im montierten Zustand der Low Power Raumanzeige Zugang zum USB-C Anschluss des Mikrocontrollers zu haben.

Da das Displaymodul wie oben erwähnt nicht in der Hand gehalten wird sondern fest vor bspw. einem Hörsaal einer Hochschule platziert werden soll, werden an der Rückwand des Gehäuses zwei Langloch-Einhängeöffnungen angebracht. Um das Display dann an der Wand aufzuhängen, müssen einfach zwei Schrauben in der Wand eingeschraubt werden. Diese werden in die Öffnungen eingefädelt, dann wird das Displaymodul nach unten geschoben und ist damit an der Wand fixiert. Damit das Displaymodul auch mobil eingesetzt werden kann, wie beispielsweise bei einem Messestand, wird die untere Fläche des Gehäuses angeschragt, dass man das Display stabil auf einen Tisch stellen kann.

Wie bereits genannt, soll die Bedienung des Low Power Raumdisplays über einen Benutzerknopf gesteuert werden. Um die Benutzerfreundlichkeit zu gewährleisten, wird dieser an der Front des Displaymoduls angebracht, damit er leicht zugänglich und für alle sichtbar ist. Zusätzlich sollen die eingebauten "Boot"- und "Reset"-Knöpfe des ESP32 ebenso benutzbar bleiben, allerdings nur für den System-Administrator. Deshalb werden hierfür kleine Löcher an der Rückseite des Gehäuses angebracht, dass die Knöpfe ähnlich wie beim SIM-Karten-Slot eines Handys mit Hilfe eines schmalen Werkzeugs gedrückt werden können. Durch die Platzierung auf der Rückseite sind die Löcher zunächst für die Person, die vor dem Display steht, nicht sichtbar, sondern erst dann erreichbar, wenn das Displaymodul von der Wand genommen wird.

Die Halterungen für die Platinen der beiden E-Paper-Displays sind einfache Konstruktionen aus schmalen Stegen, die zylinderförmige Extrusionen besitzen, um die Platinen festzuschrauben. Hierbei unterscheiden sich die beiden Halterungen in ihren Dimensionen, da nicht nur die beiden Displays selbst, sondern auch die zugehörigen Platinen unterschiedliche Maße besitzen.

Die Front des Gehäuses besitzt einen rechteckigen Ausschnitt mit einer Falz nach innen, in die das Display dann gelegt wird. Um das Display vor Hineinfallen ins Gehäuse zu schützen, wird einmal die Platinenhalterung direkt an der Rückseite des Displays angebracht und zusätzlich noch kleine Überhänge konstruiert, die das Display von hinten stützen. Desweiteren ist ein rechteckiger Ausschnitt für den Benutzerknopf in der Front angebracht.

7.8.3 Prototyping

Da es sich bei dem LoW Power Raumdisplay um eine Projektarbeit handelt und zunächst keine Serienproduktion vorgesehen ist, beschränkt sich die Entwicklung des Gehäuses auf den Entwurf zweier Prototypen, einmal mit einem 1.3-Zoll-Display und einmal mit einem 9.7-Zoll-Display. Hierbei wird das Rapid-Prototyping-Verfahren des Fused-Deposition-Modelling angewandt, da es neben geringen Kosten auch genug Stabilität für die genannten Anforderungen aufweist. Zudem ist es dem Projektteam möglich, direkt im eigenen Labor der Technischen Hochschule Augsburg dieses Verfahren anzuwenden. Es werden mehrere sogenannte FDM-Drucker zur Verfügung gestellt, ebenso wie die CAD-Software Inventor-Softwarepaket der Firma Autodesk. [\[JG_04\]](#)

Die verwendeten FDM-Drucker beschränken sich auf die Modelle 2 Extended+, 3 und S5 der Marke Ultimaker. Diese Drucker verwenden Filamente aus Polyactiden, kurz PLA, oder Polyethylenterephthalat mit Glykolmodifikation, auch PETG genannt mit einem Durchmesser von 2,85mm². Die Materialien unterscheiden sich nur leicht in ihren Eigenschaften, wobei PETG stabiler

und haltbarer ist, PLA dagegen ist hitzebeständiger und biologisch abbaubar.[JG_05] Beide Materialien sind in ihrer Stabilität und hitzebeständigkeit für den Zweck des Low Power Displays ausreichend.

7.9 Zusammenbau des Displaymoduls

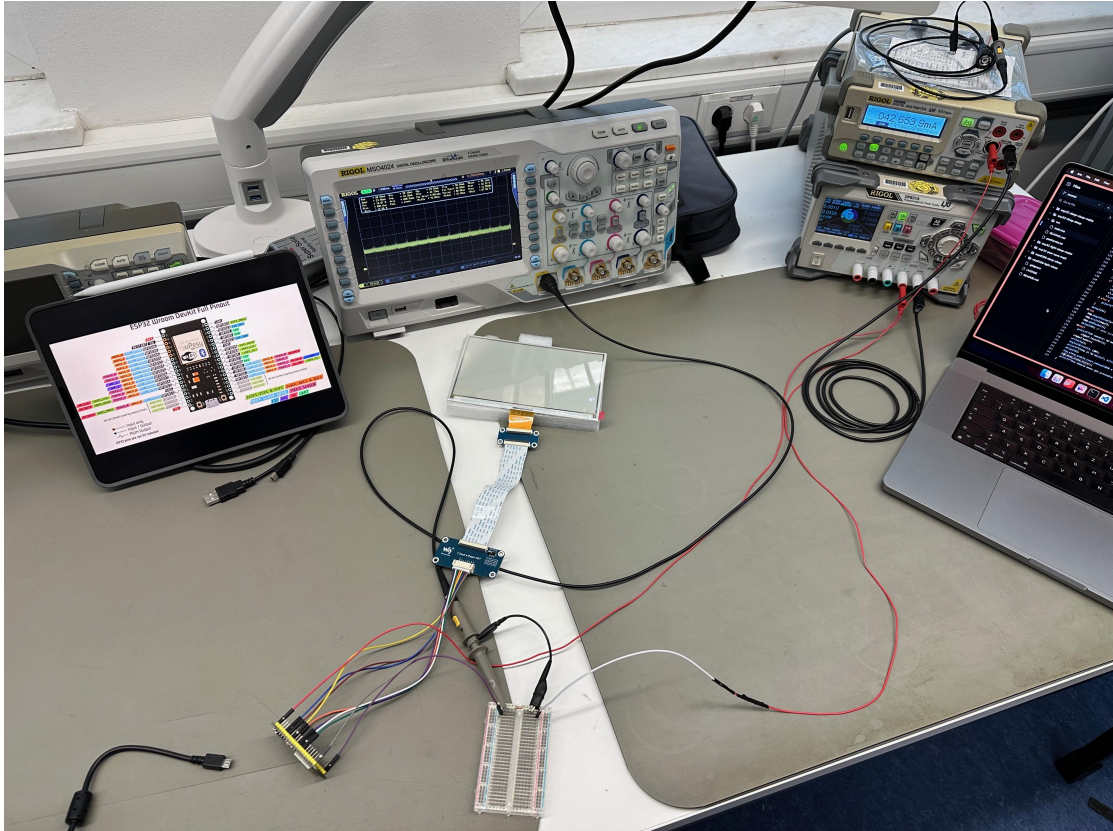
7.10 Strommessung von Mikrocontroller und Display

7.10.1 Versuchsaufbau

Mario Wegmann

Der Prozess um ein Bild per WLAN zu empfangen, zu verarbeiten und es auf einem ePaper Display darzustellen ist sehr umfangreich und während den verschiedenen Phasen ist der Stromverbrauch sehr schwankend. Daher kann mit einer statischen Strommessung kein aussagekräftiges Messergebnis produziert werden. Um den Strom dynamisch zu messen und dabei schnelle Änderungen sichtbar zu machen eignet sich daher ein Oszilloskop als Messinstrument. Da das Oszilloskop jedoch nur Spannungen messen kann muss hier der Umweg über einen Shunt-Widerstand gemacht werden. Der Shunt-Widerstand wird dabei in Reihe zwischen der zu messenden Last und der Masse geschaltet, mit einem Tastkopf an beiden Enden des Shunt-Widerstands verbunden, kann nun der Spannungsabfall über den Shunt-Widerstand gemessen werden. Abschließend kann über das Ohm'sche Gesetz aus dem Widerstandswert und der Spannung der durchflossene Strom berechnet werden. Viele Oszilloskope bieten daher auch die Möglichkeit an, die Achsenbeschriftung auf mA umzuschalten um Messergebnisse mit der korrekten Einheit festhalten zu können. Es muss jedoch beachtet werden, dass das Oszilloskope nicht automatisch das Ohm'sche Gesetz anwendet, da es keine Kenntniss über den Widerstandswert hat. Somit muss dies bei den Messergebnissen mit verrechnet werden, oder alternativ darauf geachtet werden, dass der Widerstandswert des Shunt-Widerstands $1\ \Omega$ so genau wie möglich erreicht. Des weiteren ist unbedingt darauf zu achten das der Shunt-Widerstand zwischen Last und Masse hängt, wenn es sich um eine netzbetriebene Schaltung handelt. Zwar wäre das Messergebnis theoretisch auch korrekt, jedoch würde durch die Erdung der Masse am Tastkopf ein Kurzschluss entstehen, wenn die Masse vom Tastkopf mit einem anderem Spannungspegel, als der Masse der Schaltung verbunden wird. Dieser Kurzschluss könnte das Oszilloskop beschädigen.

In erkennt man den Versuchsaufbau für die Messung. Als Spannungsquelle dient ein Labornetzteil. Vom Pluspol des Labornetzteils führt ein Draht zum V_{CC} Pin des ESP32. Von GND des ESP32 führt ein Draht zum $1\ \Omega$ Shunt Widerstand. An diesem ist auch der Tastkopf des Oszilloskopes angeschlossen. Nach dem Shunt Widerstand führt ein Draht zu einem Multimeter. Das Multimeter dient zur Kontrolle, ob die vom Oszilloskop ausgegebenen Werte plausibel sind. Abschließend ist die der zweite Kontakt vom Multimeter mit dem Minuspol des Labornetzteils verbunden.



Der Versuchsaufbau mit Oszilloskop, Multimeter und Labornetzteil

7.10.2 Messergebnisse

Mario Wegmann

In kann man einen kompletten Refresh des 7,6 Zoll großen Displays erkennen. Hierbei wird auf dem ePaper Display zuerst weiß gestellt, anschließend wird nach einer Pause eine in der Firmware hard codierte Bitmap auf dem Display angezeigt. Zum

Abschluss wird erneut ein weißes Bild dargestellt. In diesem Teilversuch wurde der Stromverbrauch vom WLAN noch nicht gemessen.

Bereich	Zustand	Avg. Strom [mA]	Zeit [s]
1.	Bildschirminhalt leeren	66,13	1,032
2.	Bildschirminhalt leeren	64,05	1,624
3.	Bildschirminhalt leeren	74,64	2,608
4.	Bildschirminhalt leeren	73,67	2,689
5.	Bildschirminhalt leeren	66,06	3,675
6.	Bildschirminhalt leeren	62,05	2,214
7.	Delay	48,99	0,994
8.	Bitmap darstellen	66,77	2,196
9.	Bitmap darstellen	70,51	1,847
10.	Bitmap darstellen	82,34	2,653
11.	Bitmap darstellen	82,03	2,703
12.	Bitmap darstellen	70,94	3,695
13.	Bitmap darstellen	66,15	2,009
14.	Delay	49,19	3,001
15.	Bildschirminhalt leeren	67,69	2,021
16.	Bildschirminhalt leeren	62,90	1,785
17.	Bildschirminhalt leeren	73,83	2,728
18.	Bildschirminhalt leeren	73,51	2,604
19.	Bildschirminhalt leeren	65,99	3,646
20.	Bildschirminhalt leeren	61,93	2,120
21.	Delay	49,09	2,008
22.	Deep-sleep	9,777	5,001

Der Stromverbrauch aufgeteilt in Zeitabschnitte beim 7,6" Display

7.10.3 Interpretation

7.11 ADC Messung

8. Firmware

8.1 Entwicklungsumgebung

8.2 Anforderungen

8.3 Klassendiagramm

8.4 Wirelesskommunikation

8.5 Systemansteuerung

8.6 E-Paper Display API

9. Webentwicklung

9.1 Framework und Library Auswahl

9.2 Konvertierungsverfahren (HTML → PNG → Bitmap)

9.3 Web Bneutzer Oberfläche

9.4 Linux Server

Mario Wegmann

9.4.1 Verwendete Technologien

Wie im Kapitel [3.9.1 Webtechnologien](#) bereits erläutert ist es für die Entwicklung einer Webanwendung sehr sinnvoll ein Webframework einzusetzen. Hierbei gibt es eine große Auswahl an möglichen Frameworks und auch Serverseitigen Programmiersprachen. Da JavaScript bereits im Standalone-Modus, wie auch im Netzwerk-Modus, verwendet wird um die Interaktion mit dem Displaymodul zu realisieren, ist es naheliegend, auch auf dem Server JavaScript zu nutzen. Diese Entscheidung ermöglichte eine einheitliche Codebasis sowohl im Frontend als auch im Backend, was die Entwicklung effizienter und die Wartung der Anwendung einfacher macht und zuletzt auch das Erlernen neuer Programmiersprachen auf eine reduziert. Zudem wurde die Möglichkeit genutzt TypeScript anstatt Vanilla JavaScript zu verwenden, um die Vorteile zu nutzen, welche ebenso bereits im Kapitel [3.9.1 Webtechnologien](#) erwähnt wurden.

Für das Frontend wurde React ausgewählt. Durch React lassen sich Komponenten realisieren, welche modular wiederverwendet werden können. Dadurch wird es vermieden doppelten Code zu verfassen und Änderungen an einer Komponente werden global in der gesamten Webanwendung wiedergespiegelt.

Als Webframework wurde Next.js ausgewählt, da es React unter anderem um serverseitiges Rendering erweitert. Darüber hinaus bietet Next.js eine nahtlose Integration von API-Routen und Middleware, was die Entwicklung von Full-Stack-Anwendungen erleichtert.

Für das Speichern der Daten wurde PostgreSQL als Datenbank ausgewählt. Als ORM wurde Prisma gewählt. //TODO Prisma ist ein Object-Relational-Mapper (ORM). ORMs ermöglichen das typensichere Arbeiten in objektorientierten Programmiersprachen

Prisma ORM ist nützlich, weil es die Arbeit mit Datenbanken durch typensichere, deklarative Datenmodellierung und effiziente Datenbankmigrationen erheblich vereinfacht und optimiert. Es generiert automatisch TypeScript-Typen, was zu umfassender Typensicherheit und intelligenter Autovervollständigung in IDEs führt, wodurch die Produktivität und Codequalität verbessert werden. Prisma abstrahiert komplexe SQL-Abfragen und ermöglicht einfache CRUD-Operationen, reduziert die Notwendigkeit für manuelles SQL-Schreiben und minimiert potenzielle Fehler. Zudem unterstützt es verschiedene Datenbanksysteme und verfügt über eine starke Community sowie umfangreiche Dokumentation, was den Einstieg und die kontinuierliche Nutzung erleichtert.

Für den Webserver wurden Linux und Docker verwendet. Das quelloffene Linux ist bekannt für seine Stabilität, Sicherheit und Performance, was es zu einer idealen Wahl für den Einsatz als Webserver macht. Docker ergänzt diese Vorteile durch die Bereitstellung einer containerisierten Umgebung, die eine konsistente und isolierte Ausführung von Anwendungen ermöglicht. Dies erleichtert die Skalierung und Verwaltung der Anwendung erheblich und sorgt dafür, dass sie in unterschiedlichen Umgebungen gleichbleibend funktioniert. Docker-Container bieten zudem eine einfache Möglichkeit, Abhängigkeiten zu verwalten und die Bereitstellung von Updates zu automatisieren.

Die Kombination dieser Technologien ermöglicht effizient eine benutzerfreundliche, performante und wartbare Webanwendung zu entwickeln.

9.4.2 Testumgebung

Als Testumgebung wurde beim Rechenzentrum (RZ) eine Linux VM beantragt. Die vom Rechenzentrum erhaltene VM weist die in genannten Eigenschaften auf

Eigenschaft	Wert
Betriebssystem	Debian 12 (bookworm)
Prozessor-Cores	2x 2,9 GHz
Arbeitsspeicher	2 GB
Hauptspeicher	30 GB
Hostname	lprd

Die Systemeigenschaften der vom RZ erhaltenen VM.

Zudem wurde vom RZ auch gleich ein DNS Eintrag gesetzt und die Domain `lprd.informatik.tha.de` verweist auf diese VM. Neben dem Betriebssystem liefert die VM auch gleich noch eine Firewall standardmäßig mit, hier setzt das RZ die Variante `ar-no-iptables` ein [\[MW_01\]](#).

9.4.3 Ersteinrichtung

Der administrative Zugriff auf die VM erfolgt über SSH. Nach der Übergabe wurden zuerst die standard Zugangsdaten der VM durch neue Zugangsdaten ersetzt und die SSH Anmeldung des root Benutzer gesperrt. Ebenso wurden für die Personen, welche Zugriff auf die VM benötigen jeweils neue Benutzer angelegt. Dabei wurde als Benutzerauthentifizierung SSH-Keys als Authentifizierungsmethode verwendet. Anschließend wurden die installierten Pakete mit dem Advanced Packaging Tool (apt) Paketmanager auf die neueste Version aktualisiert.

Damit die VM während der Dauer des Projekts zuverlässig läuft und Probleme frühzeitig erkannt werden wurde eine Monitoring Lösung aufgesetzt und mit dem Discord Server der Projektgruppe verbunden. Die hier eingesetzte Lösung nennt sich Netdata. Der Netdata Agent ist opensource und kann kostenlos eingesetzt werden, dieser bringt von Haus aus viele Vorlagen mit um das Gesamtsystem gut zu überwachen und Warnungen, sowie Fehler proaktiv an die Administratoren zu melden. Taucht ein Fehler auf dem Server auf, so wird in der hier verwendeten Konfiguration, direkt eine Nachricht auf dem Discord der Projektgruppe gesendet.

9.4.4 Einrichtung der Webanwendung

Nach der erfolgreichen Grundinstallation kann mit dem Aufsetzen der Testumgebung der Webanwendung begonnen werden. Dafür werden zuerst die Pakete `git` und `docker` über den `apt` Paketmanager installiert.

Docker

9.4.5 Datensicherung

Der Zweck der VM ist primär die Entwicklung der Webanwendung und somit nicht der produktive Einsatz. Da der Quellcode der Webanwendung über Git verwaltet wird und die Daten innerhalb der Datenbank reine Testdaten sind, wurde auf das einrichten einer Datensicherung verzichtet.

Für eine produktive Umgebung ist eine sorgfältig überlegte Backupstrategie unabdingbar. Hierbei sollte genauestens überlegt werden, wie der Backupprozess implementiert und automatisiert wird und wie erstellte Backups auf Konsistenz und wiederherstellbarkeit überprüft werden können. Auch der Speicherort von Backups sollte bedacht werden und der 3-2-1 Regel folgen.

//TODO Grafik Techstack

Wie im Kapitel //TODO bereits erläutert ist es für die Entwicklung einer Webanwendung sehr sinnvoll ein Webframework einzusetzen. Hierbei gibt es eine große Auswahl an möglichen Frameworks und auch Serverseitigen Programmiersprachen. Da für Funktionen wie Es bietet sich an im Rahmen der Projektarbeit für die Serverseitige Programmiersprache auch JavaScript

einzusetzen, da bereits ein großer Teil des Websitecodes vom Standalone und Netzwerkmodus auf JavaScript setzt, damit dieser im Webbrowser des zugreifenden Benutzers ausgeführt werden kann. Für das Front

10. Ergebnisse

10.1 Versuchsbeschreibung

10.2 Messergebnisse

10.3 Interpretation

11. Fazit

11.1 Zusammenfassung

11.2 Ausblick

12. Glossar

13. Beschreibung der Lösung

14. Quellenverzeichnis

[JG_01] Prof. Dr. D. Wöhrle, Prof. Dr. Hendrik Wöhrle, Materialien in Rechnern und digitalen Computern, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ciuz.201900004>, Zugriffsdatum: 2024-06-20, Herausgabedatum: 2020-02-05

[JG_02] Jens Lienig, Hans Brümmer, Elektronische Gerätetechnik, Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, Herausgabedatum: 2024-05-03

[JG_03] Sandor Vanja, Christian Weber, Helmut Bley, Klaus Zeman, CAX für Ingenieure, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2. Auflage 2009

[JG_04] Hubert Högl, Fablab, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ciuz.201900004>, Zugriffsdatum: 2024-06-27, Herausgabedatum: 2023-02-01

[JG_05] Thomas Jackson, Vollständig vergleichende Analys PLA vs. PETG, <https://sunlu.com.de/blogs/products-knowledge/vollstaendige-vergleichende-analyse-pla-vs-petg#:~:text=PLA%20ist%20ein%20biologisch%20abbaubarer,sich%20aber%20leichter%20drucken%20l%C3%A4sst.,> Zugriffsdatum: 2024-06-27, Herausgabedatum: 2024-02-21

- [JR_01] Wizepanel Wilke Technology <https://wizepanel.de/produkte/#schilder>, zuletzt aufgerufen am 25.06.24
- [JR_02] digitalSIGNAGE Digitale Türschilder <https://www.digitalsignage.de/digitale-tuerschilder.html>, zuletzt aufgerufen am 25.06.24
- [JR_03] ROOMZ Display https://roomz.io/roomz_display, zuletzt aufgerufen am 25.06.24
- [JR_04] Beetronics Touchscreen-Displays <https://www.beetronics.de/c-touchscreens>, zuletzt aufgerufen am 25.06.24
- [JR_05] Wizepanel 9"7 classic Datenblatt https://wizepanel.de/downloads/DATA_Sheet_WizePanel_97_Classic_DE.pdf, zuletzt aufgerufen am 25.06.24
- [JR_06] digitalSIGNAGE digitales Signboard <https://www.digitalsignage.de/portfolio-hardware/xds-1078d-digital-signage-signboard.html>, zuletzt aufgerufen am 25.06.24
- [JR_07] Beetronics 10 Zoll Touchscreen Datenblatt <https://www.beetronics.de/datasheets/product/341>, zuletzt aufgerufen am 25.06.24
- [JR_08] Wizepanel Handbuch, S.52 https://wizepanel.de/downloads/WizePanel_Manual_EN.pdf, zuletzt aufgerufen am 25.06.24
- [JR_09] ROOMZ Sensor https://roomz.io/roomz_sensor/?lang=de, zuletzt aufgerufen am 25.06.24
- [JR_10] myRoomz App https://roomz.io/roomz_sensor/?lang=de, zuletzt aufgerufen am 25.06.24

Autor, Titel, Bezugsquelle, Zugriffsdatum, Herausgabedatum

[STA_01] https://wiki.seeedstudio.com/xiao_esp32s3_getting_started/

[STA_02] https://wiki.seeedstudio.com/XIAO_ESP32C3_Getting_Started/

[STA_03] https://cdn.shopify.com/s/files/1/1509/1638/files/Betriebsanleitung-AZ-D1miniV1.2_2.pdf?v=1590603445

[STA_04] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32wl55cc.pdf>

[STA_05] https://cdn-reichert.de/documents/datenblatt/A300/RASPBERRY_PI_PICO_DB_EN.pdf

[STA_06] https://files.seeedstudio.com/wiki/Seeed-Studio-XIAO-ESP32/Low_Power_Consumption.pdf

[STA_07] <https://www.glyn.de/produkte/displays/epaper-displays/wie-funktionieren-epaper/>

[STA_08] <https://www.orientdisplay.com/de/knowledge-base/lcd-basics/bistable-lcd/#:~:text=Bistabiles%20LCD%20kann%20ein%20Bild,wenn%20die%20Stromversorgung%20unterbrochen%20wird>

[STA_09] <https://www.orientdisplay.com/de/knowledge-base/oled-basics/how-does-oled-work/#:~:text=OLED%20funktioniert%20wie%20eine%20LED,Materialien%20sind%20Gelb%20und%20Blau.>

[STA_10] <https://www.proofpoint.com/de/threat-reference/wifi>

[STA_11] <https://de.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

[STA_12] <https://www.lora-wan.de/>

[STA_13] <https://de.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

[STA_14] <https://paulbourke.net/dataformats/bitmaps/>

[STA_15] https://en.wikipedia.org/wiki/Color_depth

[STA_16]

[STA_17]

[STA_18]

[STA_19]

[STA_20]

[BK_01] Lithium-Polymer-Akkumulator, <https://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator#Prinzip>, Zugriffsdatum: 27-06-2024, Herausgabedatum: 21-06-2024

[BK_02] Testing Lithium-ion Batteries, <https://www.gamry.com/application-notes/battery-research/testing-lithium-ion-batteries>, Zugriffsdatum: 27-06-2024, Herausgabedatum: 21-06-2024

[BK_03] Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator, <https://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator#Eigenschaften>, Zugriffsdatum: 27-06-2024, Herausgabedatum: 09-11-2015

[BK_04] LiFePO4 charge discharge diagram, https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:LiFePO4_charge_discharge_diagram.svg, Zugriffsdatum: 27-06-2024, Herausgabedatum: 28-12-2016

[BK_09] BAK N21700CD-53E mit 5300mAh 10A 3,6V - 3,7V Li-Ionen-Akku, https://www.akkuteile.de/lithium-ionen-akkus/21700/bak/bak-n21700cd-53e-mit-5300mah-10a-3-6v-3-7v-li-ionen-akku_100625_3323, Zugriffsdatum: 27-06-2024, Herausgabedatum: 28-02-2024

[BK_10] Technische Daten zu der BAK N21700CD-53E, https://www.akkuteile.de/lithium-ionen-akkus/21700/bak/bak-n21700cd-53e-mit-5300mah-10a-3-6v-3-7v-li-ionen-akku_100625_3323, Zugriffsdatum: 27-06-2024, Herausgabedatum: 28-02-2024

[BK_11] 1S PCB/PCM - Keppower 1S-5530 (Schutzelektronik) 2MOS, https://www.akkuteile.de/1s-pcb-keppower-xzd-1s5530-schutzelektronik-7a_200501_1407, Zugriffsdatum: 27-06-2024, Herausgabedatum: 06-03-2021

[BK_12] Fuyuang 1S 3,6V - 3,7V (4,2V) Li-Ion-Ladegerät 2A + DC Stecker, https://www.akkuteile.de/fuyuang-enerpower-1s-3-6-3-7v-4-2v-li-ion-ladegeraet-2a-dc-stecker_400619_2570, Zugriffsdatum: 27-06-2024, Herausgabedatum: 22-05-2022

[MW_01] Andreas Gärtner, Nutzungsbedingungen virtuelle Maschinen (VM), [https://howto.informatik.hs-augsburg.de/index.php?title=Nutzungsbedingungen_virtuelle_Maschinen_\(VM\)&oldid=389](https://howto.informatik.hs-augsburg.de/index.php?title=Nutzungsbedingungen_virtuelle_Maschinen_(VM)&oldid=389), 2024-06-26, 2024-06-17

[MW_02] Mehere Autoren, Advanced Configuration and Power Interface, https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Advanced_Configuration_and_Power_Interface&oldid=229877761, 2024-06-27, 2023-01-15

[MW_03] Mehere Autoren, Clock-Gating, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Clock-Gating&oldid=222280351>, 2024-06-26, 2022-04-22

[MW_04] Mehere Autoren, Introduction to the server side, https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Server-side/First_steps/Introduction#what_can_you_do_on_the_server-side, 2024-06-27, 2024-01-01

[MW_05] Mehere Autoren, Nextcloud Server Sourcecode, <https://github.com/nextcloud/server/tree/master>, 2024-06-27, 2024-06-27

[MW_06] Mehere Autoren, ESP32 Sleep Modes, https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/api-reference/system/sleep_modes.html?highlight=deep%20sleep, 2024-06-27, 2024-05-09



<https://tha-lprd.github.io/Docs/dev>