

# **Multi-Room Sound Adapter**

Nico Lang, Philipp Immler

Februar 2025

# 1 Projekt

## 1.1 Projektteam

### **Nico Lang**

Wirtschaftsingenieure/Betriebsinformatik  
Grießau  
6651 Häselgehr AT  
Nico.Lang@hak-reutte.ac.at

### **Philipp Immler**

Wirtschaftsingenieure/Betriebsinformatik  
Hoheneggweg 21a  
6682 Vils AT  
Philipp.Immler@hak-reutte.ac.at

## 1.2 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benützt habe. Die Stellen, die anderen Werken (gilt ebenso für Werke aus elektronischen Datenbanken oder aus dem Internet) wörtlich oder sinngemäß entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quelle und Einhaltung der Regeln wissenschaftlichen Zitierens kenntlich gemacht. Diese Versicherung umfasst auch in der Arbeit verwendete bildliche Darstellungen, Tabellen, Skizzen und Zeichnungen. Für die Erstellung der Arbeit habe ich auch folgende Hilfsmittel generativer KI-Tools (ChatGPT 3.5) zu folgendem Zweck verwendet: Inspiration und allgemeine Information. Auch Übersetzer (DeepL) wurden zur Hilfe genommen. Die verwendeten Hilfsmittel wurden vollständig und wahrheitsgetreu inkl. Produktversion und Prompt ausgewiesen.

.....  
Ort, Datum

.....  
Unterschrift Schüler/in

.....  
Unterschrift Schüler/in

### 1.3 Abstract Deutsch

### 1.4 Abstract English

### 1.5 Danksagung

## Inhaltsverzeichnis

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Projekt</b>                         | <b>2</b> |
| 1.1      | Projektteam . . . . .                  | 2        |
| 1.2      | Eidesstattliche Erklärung . . . . .    | 3        |
| 1.3      | Abstract Deutsch . . . . .             | 4        |
| 1.4      | Abstract English . . . . .             | 4        |
| 1.5      | Danksagung . . . . .                   | 4        |
| <b>2</b> | <b>Einleitung</b>                      | <b>6</b> |
| 2.1      | Einleitung Hardware . . . . .          | 6        |
| 2.2      | Einleitung Software . . . . .          | 6        |
| <b>3</b> | <b>Planung</b>                         | <b>7</b> |
| 3.1      | Festlegung Funktionsweise . . . . .    | 7        |
| 3.1.1    | Was soll das System können? . . . . .  | 7        |
| 3.1.2    | Was muss es nicht können? . . . . .    | 7        |
| 3.1.3    | Wie könnte man es erweitern? . . . . . | 7        |
| 3.2      | Auswahl Hardwarekomponenten . . . . .  | 8        |
| 3.2.1    | Auswahl externe Hardware . . . . .     | 8        |
| 3.2.2    | Auswahl interne Hardware . . . . .     | 9        |
| 3.3      | Auswahl Technologien . . . . .         | 10       |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.3.1    | Protokolle . . . . .                    | 10        |
| 3.4      | Auswahl Softwaretools . . . . .         | 12        |
| 3.4.1    | Einleitung . . . . .                    | 12        |
| 3.4.2    | Bibliotheken Microcontroller . . . . .  | 13        |
| 3.4.3    | Softwaretools Smartphoneapp . . . . .   | 14        |
| <b>4</b> | <b>Entwicklung</b>                      | <b>15</b> |
| 4.1      | Entwicklung Software Adapter . . . . .  | 15        |
| 4.1.1    | Ziele . . . . .                         | 15        |
| 4.1.2    | Programmablauf . . . . .                | 16        |
| 4.1.3    | Klassen . . . . .                       | 17        |
| 4.1.4    | Herausforderungen . . . . .             | 18        |
| 4.2      | Entwicklung Smartphone-App . . . . .    | 18        |
| 4.2.1    | Struktur . . . . .                      | 18        |
| 4.2.2    | Zielsetzung . . . . .                   | 18        |
| 4.2.3    | UI Design . . . . .                     | 19        |
| 4.3      | Design Adaptergehäuse . . . . .         | 19        |
| 4.3.1    | Grundsätzlicher Aufbau . . . . .        | 19        |
| 4.3.2    | Wärmeableitung . . . . .                | 20        |
| 4.4      | Fertigung Adaptergehäuse . . . . .      | 20        |
| 4.4.1    | Drucken des Prototyps . . . . .         | 20        |
| 4.5      | Zusammensetzen des Prototypen . . . . . | 21        |
| <b>5</b> | <b>Testen und Fehlerbehebung</b>        | <b>21</b> |
| 5.1      | Testen des Gesamtsystems . . . . .      | 21        |
| 5.2      | auftretende Fehler beheben . . . . .    | 21        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 5.3      | Test auf Cybersecurity . . . . .                  | 21        |
| 5.4      | Auftretende Sicherheitslücken schließen . . . . . | 21        |
| <b>6</b> | <b>Einzelnachweise</b>                            | <b>21</b> |
| 6.1      | Literaturverzeichnis . . . . .                    | 21        |
| 6.2      | Abbildungsverzeichnis . . . . .                   | 21        |
| 6.3      | Anhang . . . . .                                  | 21        |

## 2 Einleitung

Hier befindet sich die allgemeine Einleitung der Diplomarbeit.

### 2.1 Einleitung Hardware

Das Ziel des Hardware-Teils für folgende Diplomarbeit war, einen sinnvollen internen Aufbau des Geräts zu erzielen, die am besten geeigneten Hardware-Komponenten zu finden, das System bzw. die einzelnen Komponenten zusammenzubauen (Platine) und zu testen. Dieser Teil der Diplomarbeit wird von Nico Lang übernommen. Zudem beschäftigt sich dieser Teil mit dem optischen Design des Geräts (Gehäuse) und bestimmt die technischen Anforderungen (Schnittstellen), die der Adapter letztendlich haben soll. Bei der Planung soll darauf geachtet werden, möglichst viele Kosten einzusparen, ohne dabei die Faktoren der Sicherheit und Qualität zu vergessen.

### 2.2 Einleitung Software

Das Ziel des Software-Teils für folgende Diplomarbeit war, einerseits die Software des Adapters, andererseits die Software der Smartphoneapp zu entwickeln. Dieser Teil der Diplomarbeit wird von Philipp Immler übernommen. Die Software des Adapters wird mit der Programmiersprache C++ codiert. Die Software der Smartphoneapp wird mit JavaScript codiert. Um eine bestmögliche Leistung und Effizienz zu garantieren, werden bei der Programmierung zahlreiche Bibliotheken und Frameworks verwendet. Bei der Entwicklung der Software wird ein großes Augenmerk auf Sicherheit und Effizienz gelegt.

## 3 Planung

### 3.1 Festlegung Funktionsweise

Beim Festlegen einer grundlegenden Funktionsweise des Adapters stellen sich vor allem folgende Fragen:

#### 3.1.1 Was soll das System können?

Das Hauptziel ist, dass das System in verschiedenen, voneinander getrennten Räumlichkeiten verschiedene Audiosignale auf einen Line-Output abspielen kann. Dabei ist es wichtig, dass das System den Ton zuverlässig und möglichst flüssig überträgt und ausgibt.

Grundsätzlich kann jeder beliebige Audio-Stream aus dem Internet verwendet werden. Das können beispielsweise Radiosender sein. Ein Beispiel für einen solchen Audio-Stream wäre der, des österreichischen Radio-Senders „OE3“:

<https://orf-live.ors-shoutcast.at/oe3-q2a>

Es wird zudem viel Wert auf Benutzerfreundlichkeit gelegt. Das bedeutet, dass sich der Adapter zum einen leicht einrichten lässt, aber auch, dass er sich (mit Hilfe der Smartphone-App) einfach bedienen lässt.

#### 3.1.2 Was muss es nicht können?

Dieser Multi-Room Sound Adapter soll als Hi-Fi Produkt für den klassischen Durchschnittsbürger und/oder Musik-Liebhaber durchgehen. Aufgrund dessen wird die Bedienung sehr einfach und benutzerfreundlich, jedoch eindeutig nicht so präzise oder vielfältig einstellbar wie es bei professionellem Audio-Equipment der Fall ist. Während der Laie das Produkt einfach anstecken und benutzen möchte, hätte ein Audio-Nerd gerne noch einen eingebauten Acht-Band Equalizer und vieles mehr. Das ist jedoch nicht das Ziel dieser Diplomarbeit. Es geht eher darum, die Hauptfunktion, also Ton kabellos in Räume zu übertragen, und Einstellungsmöglichkeiten per App ohne großes Kopfzerbrechen zu ermöglichen.

#### 3.1.3 Wie könnte man es erweitern?

Unsere Variante des Multi-Room Sound Systems zeichnet sich vor allem durch die beliebige Erweiterbarkeit aus. In der Theorie soll es ein einzelnes Modell, also den Adapter selbst geben. Mit jedem weiteren Adapter kann dementsprechend ein weiterer Lautsprecher oder ein Raum zugefügt werden. In Zukunft wäre es

auch vorstellbar, dass man aus mehreren Adaptern Gruppen bilden kann, in denen die Adapter synchronisiert ist und somit der gleiche Audio-Stream auf mehreren Adaptern synchron läuft. Dies ist aber technisch sehr aufwendig, da die Latenz von WiFi ziemlich hoch ist.

## **3.2 Auswahl Hardwarekomponenten**

Zur Auswahl der Hardwarekomponenten des Adapters wurde zu aller erst die externe Ausstattung des Adapters überlegt. Das bedeutet praktisch alles, mit dem ein Endverbraucher letztendlich zu tun hat. Dann kann der interne Teil, also die Technik dahinter, individuell auf die Anforderungen des externen Teils designed und entwickelt werden.

### **3.2.1 Auswahl externe Hardware**

Der Adapter sollte ein möglichst kompakt konstruiertes und stabiles Gehäuse bekommen. An diesem wird ein einfacher Taster zur Interaktion angebracht. Mit dem Taster sollen einige Funktionen des Adapters ermöglicht werden. Beispielsweise per Klick, Doppelklick oder kurzem Halten. Da sich die Aufgaben des Tasters selbst gering halten werden (Verbindungsvorgang, Ein- und Ausschalten, ...) wird nur ein einziger Taster verwendet, um die Komplexität des Gesamtsystems zu senken. Die weitaus komplizierteren Funktionen sollen alle samt in der Smartphone-Applikation ermöglicht werden. Zusätzlich werden eine oder mehrere Leuchtdioden zur Statusanzeige verbaut, um beispielsweise den aktuellen Verbindungsstatus zum Mobilgerät und zum Internet anzuzeigen.

#### **Gehäuse**

Das Gehäuse soll alle Komponenten auf möglichst kleinem Raum zusammenhalten, schützen und kühlen. Da sich Komponenten und möglicherweise auch das Design selbst laufend ändern, wird dieses deshalb erst gegen Ende des Projekts finalisiert werden können.

#### **Taster**

Für den Taster wird ein herkömmlicher Knopf in das Gehäuse eingelassen.

#### **LED (Light-Emitting Diode)**

here comes the led dadudada



### 3.2.2 Auswahl interne Hardware

#### Mikroprozessor

Als Herz des Systems wird ein ESP32 Mikroprozessor mit angebaute Platine verwendet. Der ESP32 ist ein weit verbreiteter Mikroprozessor. Man kann die Arduino IDE mit C++ als Programmiersprache zum programmieren verwenden. Zudem verfügt er schon Onboard über einen Hybrid WIFI- und Bluetooth-Chip, wodurch externe Module vermieden, und somit Platz eingespart werden kann. Espressif selbst beschreibt den ESP32 als optimal für IoT-Anwendungen; auch wegen der hohen Energieeffizienz. (vgl. Espressif Website)

#### Digital-/Analogwandler

Eine DAC-Decoderplatine wird verwendet, um das Audiosignal vom Arduino über eine angebaute Klinkenbuchse an die jeweilige Lautsprecherbox auszugeben.

#### Akku

Das Endprodukt soll mithilfe eines Akkus auch ohne Strom auskommen, dafür wird ein Lithium-Ionen-Akku mit 3,7 Volt verwendet. Akkus dieser Art zeichnen sich durch ihre hohe Energiedichte und, unter guten Umständen, hohe Lebensdauer aus. Man verwendet Li-Ionen-Akkus meist für (tragbare) Geräte in denen andere Akkus zu schwer oder zu groß wären. (vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Lithium-Ionen-Akkumulator.html>)

Natürlich haben Li-Ionen-Akkus auch gewisse Nachteile und bergen wie jeder andere Akku Gefahren. Beispiele dafür sind elektrische Überlastung, mechanische Beschädigung und thermische Überlastung:

Eine elektrische Überlast kann etliche Gründe haben, darunter:

- Verwendung eines falschen Ladegerätes
- Tiefenentladung
- Falsche Lagerbedingungen (z.B.: zu hohe Temperaturen)  
Zitat: „Hier kommt es zur Zersetzung der Elektrolytflüssigkeit und infolgedessen zur Bildung leicht brennbarer Gase. Wird anschließend versucht, die tiefentladenen Lithium-Ionen-Zellen wieder aufzuladen, kann die zugeführte Energie durch das Fehlen von Elektrolytflüssigkeit nicht mehr korrekt umgesetzt werden. Es kann zum Kurzschluss beziehungsweise zum Brand kommen.“ (vgl. <https://www.denios.de/services/denios-magazin/gefahren-im-umgang-mit-lithium-ionen-akkus>)

Eine mechanische Beschädigung jeglicher Art kann zu Kurzschlüssen im inneren der Zelle führen. Da unser Gerät nicht dafür gemacht ist, ständig in Bewegung zu sein, spielt dies keine zu große Rolle, es muss jedoch trotzdem ausreichend

Schutz (durch das Gehäuse) vorhanden sein.

Wie oben schon kurz erwähnt, muss viel Wert auf die richtige Lagerung/Kühlung des Akkus gelegt werden. Wird dieser zu heiß (etwa durch den Mikroprozessor oder sonstige Bauteile) oder durch äußere Einflüsse beschädigt kann es zum Brand kommen.

Man kann daraus schließen, dass jeder kleinste Fehler beispielsweise zu einem Brand oder sogar einer Explosion des Akkus führen kann. Es ist daher wichtig, den Akku mit absoluter Vorsicht zu handhaben. Ausreichend Tests (Betriebstemperatur, etc.), richtige Konfiguration des Ladereglers und die Auswahl des Akkus sind ausschlaggebend für die Sicherheit des Endverbrauchers und dessen Umfeld.

(vgl. <https://www.denios.de/services/denios-magazin/gefahren-im-umgang-mit-lithium-ionen-akku>)

### **Laderegler**

Für einen optimalen Ladeprozess und Schutz des Akkus wird ein Laderegler verwendet. Dieser regelt den Ladevorgang des Akkus und hört auf zu laden, sobald er voll ist.

## **3.3 Auswahl Technologien**

### **3.3.1 Protokolle**

In diesem Kapitel geht es um die Recherche und Auswahl von Protokollen, die für den Austausch von Daten verwendet werden.

#### **HTTP**

Das Hyper Text Transfer Protocol ist ein weitverbreitetes Protokoll im Web und wird größtenteils für die Kommunikation zwischen Browsern und Webservern eingesetzt. Dabei basiert das Protokoll auf sogenannten „Requests“ (auf Deutsch: Anfragen). Es gibt zahlreiche Anwendungen für HTTP. Wir nutzen es einerseits als REST-API und andererseits für das Audio-Streaming. (vgl. URL-PI02)

#### **REST-API**

Der Begriff „REST-API“ setzt sich aus den Abkürzungen „REST“ und „API“ zusammen. Dabei steht „REST“ für „Representational State Transfer“ (auf Deutsch: „gegenständliche Zustandsübertragung“) und „API“ für „Application Programming Interface“ (auf Deutsch: „Anwendungsprogrammierschnittstelle“). Eine REST-API zeichnet sich dadurch aus, dass sie eine einheitliche Schnittstelle zwischen Server und Client bietet. Dies wird durch die „Routes“ (auf Deutsch: „Routen“) geschaffen. Wenn der Client Requests an diese Routen

sendet werden Aktionen auf dem Server ausgeführt. Es ist auch möglich, dass anschließend der Client Daten vom Server erhält. (vgl. URLPI04)

In unserer Diplomarbeit stellt der Microcontroller als Webserver eine REST-API zur Verfügung um so einheitlich Daten mit dem Client (Smartphone) auszutauschen. Folgende Routen sind dabei auf dem Webserver aufrufbar:

| Route                 | Anfragen-Typ | Funktion   |
|-----------------------|--------------|--|
| /getInfo              | GET          | Client bekommt Infos vom Microcontroller   |
| /getAvailableNetworks | GET          | Client bekommt eine Liste im JSON-Format, gefüllt mit SSID und RSSI (Stärke) von verfügbaren Netzwerken in der Nähe des Microcontrollers |
| /setWiFiCredentials   | POST         | Client sendet SSID und Passwort des gewünschten Netzwerks an den Microcontroller   |
| /setStreamUrl         | POST         | Client sendet die URL des gewünschten Audio-Streams an den Microcontroller   |

### Anwendung fürs Audio-Streaming

HTTP wird oft zum Streamen von Daten eingesetzt. Dies können Audio- oder auch Videodaten sein.

Beim Streaming wird grundsätzlich zwischen Live-Streaming und On-Demand-Streaming unterschieden. Beim Livestreaming werden die Daten gleich nach dem Erstellen an den Client gesendet. Ein Beispiel dafür ist das Streaming eines Live-Events. Das Video, welches von der Kamera eingefangen wird, wird direkt an die Clients gesendet. Eine Alternative zum Livestreaming ist das On-Demand-Streaming. Dabei werden fertige Daten (z.B. Filme, Musik) auf einem Server gespeichert. Auf Anfrage eines Clients, werden diese in Teilstücke zerlegt und Stück für Stück an den Client gesendet. Dabei fügt der Client diese Stücke wieder zusammen und kann sie somit als Ganzes wiedergeben. Dies hat den Vorteil, dass die Daten nicht (oder nur kurz) auf dem Client gespeichert werden und es somit ressourcenschonend ist. Der Nachteil dabei ist, dass gerade bei größeren Datenmengen eine hohe Bandbreite benötigt wird. Dabei werden die Daten auch meist nicht (bzw. nur kurz) auf dem Client gespeichert. (vgl. URLPI05)

In unserer Diplomarbeit muss der Microcontroller fähig sein, Audiodaten von Livestreams und auch von On-Demand-Streams zu erhalten. Livestreams könnten dabei von Radiosendern stammen und On-Demand-Streams von Musikanbietern.

## I2S

Das Inter IC Sound Protocol wird verwendet, um Stereo-Audio-Daten zwischen ICs auszutauschen. Es benötigt für die Datenübertragung folgende Leitungen:

- Taktleitung
- Wortauswahl
- mindestens eine Datenleitung

Die Datenübertragung erfolgt seriell und synchron. Seriell bedeutet, dass die Daten nur durch eine Leitung (die Datenleitung) übertragen werden. Synchron bedeutet, dass die Daten in einem bestimmten Takt übertragen werden. Dieser Takt wird von der Taktleitung vorgegeben. Die Leitung für die Wortauswahl wählt den Stereokanal aus (links oder rechts). (vgl. <https://www.mikrocontroller.net/articles/I2S>) In unserem Projekt wird das I2S Protokoll verwendet, um die digitalen Stereo-Audio-Daten vom Microcontroller an den Digital-Analog-Wandler zu übertragen. Dabei werden die digitalen Buffer, die der Microcontroller vom Audio-Stream erhält, mittels I2S an den Digital-Analog-Wandler gesendet, welcher die digitalen Daten in analoge Daten umwandelt, so dass diese dann anschließend auf der Lautsprecherbox ausgegeben werden können.

## 3.4 Auswahl Softwaretools

### 3.4.1 Einleitung

In diesem Kapitel geht es um die Recherche und Auswahl von geeigneten Softwaretools, welche für die App-Entwicklung, als auch für die Entwicklung der Software des Microcontrollers verwendet werden. Zusätzlich werden auch die Softwaretools zum Schreiben dieser Diplomarbeit kurz beschrieben.

#### **LaTeX**

"LaTeX ist ein hochwertiges Satzsystem, das Funktionen für die Erstellung technischer und wissenschaftlicher Dokumentationen enthält. LaTeX ist der De-facto-Standard für die Kommunikation und Veröffentlichung von wissenschaftlichen Dokumenten." (Übersetzung des englischen Originals von: <https://www.latex-project.org/>)

Wir haben uns für das Schreiben unserer Diplomarbeit in LaTeX entschieden, weil es sich sehr gut für wissenschaftliche Arbeiten eignet und wir somit schon damit vertraut sind, wenn wir es in der Zukunft brauchen.

**draw.io** "draw.io ist eine kostenlose Online-Diagrammsoftware zur Erstellung von Flussdiagrammen, Prozessdiagrammen, Organigrammen, UML, ER und Netzwerkdiagrammen." (Übersetzung des englischen Originals von: <https://app.diagrams.net/>)

Wir haben alle Diagramme unserer Diplomarbeit in draw.io erstellt, weil es einfach zu handhaben ist und es eine große Auswahl an Diagrammtypen und Formen gibt.

### **Visual Studio Code**

"Visual Studio Code ist ein leichtgewichtiger, aber leistungsstarker Quellcode-Editor, der auf Ihrem Desktop läuft und für Windows, macOS und Linux verfügbar ist. Er bietet integrierte Unterstützung für JavaScript, TypeScript und Node.js und verfügt über ein umfangreiches Ökosystem von Erweiterungen für andere Sprachen und Laufzeiten (wie C++, C#, Java, Python, PHP, Go, .NET)." (Übersetzung des englischen Originals von: <https://code.visualstudio.com/docs>)

Wir haben Visual Studio Code als IDE für unsere Diplomarbeit gewählt, weil durch die unzähligen Erweiterungen viele verschiedenen Programmiersprachen und Bibliotheken unterstützt und wir auch schon etwas Erfahrung damit haben.

### **GitHub**

"GitHub ist eine webbasierte Schnittstelle, die Git verwendet, die Open-Source-Software zur Versionskontrolle, mit der mehrere Personen gleichzeitig separate Änderungen an Webseiten vornehmen können. Wie Carpenter anmerkt, fördert GitHub die Zusammenarbeit von Teams bei der Erstellung und Bearbeitung von Website-Inhalten, da es eine Zusammenarbeit in Echtzeit ermöglicht." (Übersetzung des englischen Originals von: <https://digital.gov/resources/introduction-github/>)

Wir verwenden GitHub für die Verwaltung unseres Codes und unserer Dokumente. Der Vorteil dabei ist, dass jedes Projektmitglied auf seinem lokalen PC an den Dokumenten arbeiten kann und die Änderungen dann per GitHub synchronisiert werden können.

**DeepL** Wir verwenden DeepL um englische Texte, welche für unsere Diplomarbeit relevant sind, ins Deutsche zu übersetzen. Wir haben uns für DeepL entschieden weil dieser einer der genauesten Übersetzer ist und man diesen außerdem kostenlos nutzen kann.

### **3.4.2 Bibliotheken Microcontroller**

Im folgenden werden die verwendeten Bibliotheken im Code des Microcontrollers aufgezählt und kurz beschrieben:

#### **Arduino**

Die Arduino-Bibliothek wird verwendet um den ESP32 ähnlich wie einen Arduino programmieren zu können. Es erleichtert dabei die Programmierung enorm, vor allem dann, wenn man schon Vorerfahrung mit der Programmierung von Arduinos hat.

## **WiFi**

<https://github.com/arduino-libraries/WiFi>

Die WiFi-Bibliothek wird verwendet, um die Funktionen der eingebauten WiFi-Antenne des ESP32 zu verwenden. Der ESP32 kann dabei entweder als Access Point oder als Client fungieren. Wenn er als Access Point fungiert, stellt er ein eigenes WiFi-Netzwerk bereit, mit dem sich andere Geräte verbinden können und der ESP32 somit einen Host darstellt. Als Client kann er sich mit anderen WiFi-Netzwerken bzw. Access Points verbinden. In unserem Projekt fungiert der ESP32 sowohl als Access Point, als auch als Client.

## **ArduinoJson**

Die ArduinoJson-Bibliothek wird verwendet, um Daten in das JSON vortat zu kodieren. Der Vorteil dabei ist, dass JSON ein weit verbreitetes Format in der Informatik ist und deshalb mit vielen Schnittstellen kompatibel ist. In unserem Projekt wird die ArduinoJson-Bibliothek für den einheitlichen Datenaustausch zwischen Webserver (ESP32) und Client (Smartphone) verwendet.

## **WebServer**

Die WebServer-Bibliothek wird verwendet, um einen Webserver auf dem ESP32 bereitzustellen. Dieser ist wichtig für den Datenaustausch mittels HTTP, zwischen ESP32 und Smartphone. Mithilfe des Webserver wird einerseits das WiFi-Passwort des gewählten WLANs, als auch die URL des Audiostreams an den ESP32 geleitet. In die andere Richtung, werden grundlegende WiFi-Informationen und verfügbare WiFi-Netzwerke vom ESP32 bereitgestellt.

## **Audio**

Die Audio-Bibliothek wird verwendet, um die MP3-kodierten Audio-Daten von einem HTTP-Stream zu empfangen, diese in PCM-Daten umzuwandeln und diese dann an den Digital-Analog-Wandler per I2S zu senden. Der ESP32 verfügt bereits standardmäßig über Funktionen, mit deren Hilfe man Audiodaten mittels I2S übertragen kann. Allerdings bereitet dies einen viel höheren Aufwand für Konfiguration usw. Daher verwenden wir in unserem Projekt die Audio-Bibliothek.

### **3.4.3 Softwaretools Smartphoneapp**

Die Smartphoneapp wurde mit "React Native" entwickelt. Mithilfe von React Native ist es möglich eine zentrale Applikation zu entwickeln und diese dann auf mehreren Plattformen wie IOS, Android und auch im Web zu verwenden. React Native basiert auf React, welches ein Framework für die Frontend-Entwicklung von Web-Applikationen ist. Außerdem wird die Radio-Browser-API für die Bereitstellung diverser Internetradios verwendet.

## **React Native**

React Native ist ein Framework, welches die plattformübergreifende Entwicklung von Apps ermöglicht. Das heißt, man schreibt einen Code und kann diesen dann für IOS, Anrdoid und fürs Web verwenden. Der Code wird in JavaScript geschrieben. React Native wurde erstmals 2015 von Meta (damals noch Facebook) als Open-Source-Projekt veröffentlicht. Seither wird es weiterhin von Meta instandgehalten und hat eine riesige Community, welche ständig neue Bibliotheken für das Framewok veröffentlicht. React Native basiert auf React, welches man bereits aus der Webentwicklung kennt. Der Vorteil von React im Gegensatz zur normalen Webentwicklung ist, dass man wiederverwendbare Komponenten bauen kann. Dies ist auch mit React Native möglich. In React Native stehen dabei einige Standardkomponenten zur Verfügung, welche dann jeweils in native Komponenten, passend für das jeweilige Betriebssystem, gerendert werden. Wir haben React Native für unsere Smartphoneapp verwendet, weil wir nicht für jede Plattform eigenen Code schreiben wollten. Außerdem haben wir auch schon etwas Erfahrung mit JavaScript und React, was uns den Einstieg erleichterte. (vgl. URLPI07)

### **Expo**

Um das Entwickeln der Smartphoneapp noch einfacher bzw. effizienter zu gestalten, wurde das Expo Framework verwendet. Dieses Framework stellt wichtige Funktionen und eine Projektstruktur standardmäßig zur Verfügung. Dies hat den Vorteil, dass man dann nicht mehr von 0 anfangen muss, sondern schon einen guten Grundaufbau hat. Ein weiterer Vorteil von Expo ist das File-basierte Routing. Mithilfe diesem, ist es möglich die Navigation in der App an die Dateien im Projekt anzupassen. (vgl. URLPI08)

## **4 Entwicklung**

### **4.1 Entwicklung Software Adapter**

In diesem Kapitel wird der Übergang der Planung in die Entwicklung der Software des Adapters beschrieben. Zur Entwicklung der Software des Microcontrollers wurde die IDE Visual Studio Code in Verbindung mit dem Framwork PlatformIO verwendet. Um die Entwicklung in C++ zu ermöglichen und vorgefertigte Bibliotheken zu verwenden, wurde das Arduino-Framework verwendet.

#### **4.1.1 Ziele**

Der Adapter soll grundsätzlich folgende Funktionen bereitstellen:

- als AP fungieren, um Verbindung mit Smartphone herzustellen

- mit WLAN verbinden
- Audio-Stream aus Internet empfangen
- Audio-Stream dekodieren
- dekodierten Audio-Stream an Lautsprecherbox übertragen

#### 4.1.2 Programmablauf

Der Ablauf des Programmes wird mit folgendem UML-Ablaufdiagramm veranschaulicht:

##### **Start**

Der Microcontroller wird durch einmaliges Drücken auf den Knopf aus dem Standby (Deep Sleep) Modus erweckt.

##### **Lesen der WiFi-Zugangsdaten**

Es wird im EEPROM des Microcontrollers nach einer gespeicherten SSID und nach einem gespeicherten Passwort gesucht. Wenn die Zugangsdaten nicht vorhanden sind wird die Status-LED auf rot geschaltet. Anschließend werden keine weiteren Prozesse ausgeführt, bis der/die Benutzer/in mit einem weiteren Druck auf den Knopf in den Konfigurationsmodus schaltet. Wenn die Zugangsdaten allerdings gespeichert sind versucht der Microcontroller sich als Client mit dem WLAN zu verbinden. Wenn dies erfolgreich ist, wird in den Standardmodus gewechselt. Wenn die Verbindung allerdings fehlschlägt, wird in den Konfigurationsmodus gewechselt.

##### **Standardmodus**

Sobald der Standardmodus aktiviert wird, wechselt die Farbe der Status-LED auf grün. Anschließend wird aus dem EEPROM ausgelesen, ob bereits eine Stream-URL gespeichert ist. Wenn dies der Fall ist, fungiert der Microcontroller als HTTP-Client und empfängt den Stream. Anschließend wird dieser mittels I2S-Protokoll an den Digital-Analog-Wandler übertragen. Wenn allerdings noch keine Stream-URL gespeichert ist, wartet der Microcontroller bis eine Stream-URL vom Client gesendet wird.

##### **Konfigurationsmodus**

Wird der Konfigurationsmodus mit Druck auf den Taster aktiviert, wechselt die Status-LED ihre Farbe auf blau. Anschließend wird der WiFi-Chip in den AP-Modus gestellt. Somit bietet der Microcontroller einen Access Point, auf den sich andere Geräte als Clients verbinden können. Dies wird benötigt, damit die Clients in weiterer Folge WiFi-Zugangsdaten an den Microcontroller senden können. Um die Daten zu empfangen wird ein WebServer auf dem Microcontroller gestartet. Dieser erhält dann die WiFi-Zugangsdaten mittels HTTP-Protokoll.



### **Wechsel in normalen Modus**

Sobald der Microcontroller die WiFi-Zugangsdaten vom Client erhalten hat, schreibt er diese in den EEPROM. Anschließend wird der Microcontroller neu gestartet und der Programmablauf fängt wieder von vorne an.

### **4.1.3 Klassen**

Bei der Entwicklung der Microcontroller-Software wurde aufgrund der Übersichtlichkeit und um die Design-Patterns der Softwareentwicklung einzuhalten, auf objektorientierte Programmierung gesetzt. Das folgende UML-Klassendiagramm veranschaulicht die Beziehung der verschiedenen Klassen zueinander: hier kommt das UML-Klassendiagramm her Im folgenden Teil werden die Klassen und deren Funktionen noch näher beschrieben:

#### **StatusLED**

Mithilfe der Klasse StatusLED wird die RGB-LED, welche am ESP32 angeschlossen ist, gesteuert. Mit ihr wird z.B. angezeigt ob der Controller sich im Konfigurationsmodus befindet oder mit dem WLAN verbunden ist.

#### **NetworkManager**

Die Klasse NetworkManager kümmert sich um alle Funktionen, die mit dem WiFi des ESP32 zu tun haben. Dazu gehören: Funktion als Access Point, Funktion als Client.

#### **AudioManager**

Die Klasse AudioManager ist für das Empfangen des Internet-Audio-Streams und in weiterer Folge für das Senden der empfangenen Audiodaten an den Digital-Analog-Wandler zuständig.

#### **Logger**

Die Klasse Logger ist zuständig, für das Speichern von Logs, welche von anderen Klassen geschrieben werden.

**Server** Die Klasse Server ist für das managen des Webservers, welcher auf dem Microcontroller läuft, zuständig. In ihr werden unter anderem die verfügbaren Routen der REST-API definiert.

**MemoryManager** Die Klasse MemoryManager ist für das Schreiben in und das Lesen vom EEPROMs des Microcontrollers zuständig.

#### 4.1.4 Herausforderungen

Bei der Entwicklung der Software für den Adapter, sind wir auf einige Herausforderungen gestoßen. Ursprünglich war geplant, eine Funktion zu implementieren, die es ermöglicht mehrere Adapter zu Gruppen zu verbinden. In diesen Gruppen sollte dann jeweils der gleiche Stream synchron laufen. Die Synchronisierung der Adapter hat sich allerdings als sehr schwierig erwiesen, da die Ressourcen des ESP32 nicht dafür ausreichten, die Latenz gering zu halten.

## 4.2 Entwicklung Smartphone-App

In diesem Kapitel wird der Übergang der Planung in die Entwicklung der Smartphone-App beschrieben. Die verwendeten Tools wurden schon genauer im Kapitel ... beschrieben.

### 4.2.1 Struktur

Die App ist in drei Haupt-Screens gegliedert. Im folgenden werden die einzelnen Screens genauer beschrieben. **Adapter** In diesem Screen werden alle Adapter, welche schon hinzugefügt wurden, angezeigt. Es ist hier auch möglich neue Adapter hinzuzufügen. Wenn man auf einen Adapter in der Liste drückt, kann man diesen entweder konfigurieren oder auswählen welchen Audiostream der Adapter erhalten soll. **Musik** In diesem Screen ist es möglich, nach weltweiten Streams von Internet-Radios mithilfe der RadioBrowser-API zu suchen. Die Streams können in weiterer Folge zu einer Favoritenliste hinzugefügt werden, so dass sie für den Benutzer schnell abrufbar sind. **Einstellungen** In diesem Screen kann der Benutzer wichtige Einstellungen für die App treffen. Dabei gibt es folgende Einstellungen: ...

### 4.2.2 Zielsetzung

Es wurde festgelegt, dass die Smartphoneapp folgende Anforderungen erfüllen soll:

#### **Konfiguration der Adapter**

Mit der App soll es einerseits möglich sein, neue Adapter zu konfigurieren, andererseits, bereits hinzugefügte Adapter zu verwalten. Dabei können von den Adaptern verschiedene Daten, wie z.B. Akkustand eingesehen werden.

#### **Verwaltung der Adapter**

Mehrere Adapter abspeichern und bestimmen, welcher Adapter welchen Stream

erhalten soll.

### **Suche nach Audio-Streams**

Suche nach URLs von Audio-Streams von Internet-Radios mittels der RadioBrowser-API.

### **4.2.3 UI Design**

Bei der Smartphonapp wurde großer Wert auf Benutzerfreundlichkeit gelegt. Dies wurde mit einem sehr übersichtlichen, simplen User Interface erreicht. In der App werden nur folgende drei Farben verwendet: ... Dies lässt das UI modern und elegant erscheinen.

## **4.3 Design Adaptergehäuse**

Das Adaptergehäuse trägt einen wesentlichen Teil zur Sicherheit des Endverbrauchers sowie zur optimalen Funktionalität der Komponenten bei. Zudem soll es möglichst kompakt sein.

### **4.3.1 Grundsätzlicher Aufbau**

Die Grundlage für den ersten Prototyp bildet ein 71x58x29mm (Außenmaße) großer Kasten.

Dieser wurde mit frei schwebenden, jedoch an den Wänden befestigten Stützen ausgestattet, um den Mikrocontroller im Gehäuse fest montieren zu können. Der erste Prototyp wurde mit kleinen Zylinder auf den Stützen ausgestattet, um den Mikrocontroller mit seinen bereits Vorhandenen Aussparungen darauf platzieren zu können. Der Digital-/Analogwandler und der Akku-Laderegler finden auch auf solchen Stützen ihren Platz. Der Gedanke dahinter war, den Akku unter den Bauteilen zu platzieren. Mehr dazu im Teil "Wärmeableitung". Zudem wurden in den Wänden des Gehäuses Aussparungen für Buchsen platziert. Die Aussparungen für die RGB-LED und den Taster wurden im Deckel platziert. Der Deckel, der von oben auf das Gehäuse gedrückt wird, schließt dieses. Wenn man schon früh beachtet, dass die Prototypen mit einem 3D-Drucker gefertigt werden, kann man schon das 3D-Design für eine gute Druckbarkeit auf 3D-Drucker anpassen. Damit ist hauptsächlich gemeint, überhängende Drucke, komplizierte Stützstrukturen oder ähnliches zu vermeiden.

### 4.3.2 Wärmeableitung

Wärmeableitung ist wichtig, da Mikroprozessoren, wie alle anderen Prozessoren auch, bei intensivem Betrieb Hitze entwickeln. Der in diesem Fall eingesetzte ESP32 hat laut Hersteller eine Betriebstemperatur von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+125^{\circ}\text{C}$ .

vgl. <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

## 4.4 Fertigung Adaptergehäuse

Das Material unseres Gehäuses wurde auf Kunststoff begrenzt. Für die Fertigung von Kunststoffgehäusen gibt es hauptsächlich diese Möglichkeiten, welche für uns in Frage kommen:

### Spritzgießen

„Beim Spritzgießen wird der Kunststoff aus einem Plastifiziergerät (erwärmt den Kunststoff auf Schmelztemperatur) in einen Hohlraum (Formwerkzeug) gespritzt, in welchem er erst verdichtet wird und dann erkaltet.“

Ein Vorteil für dieses Verfahren ist, dass auch komplizierte Formteile voll automatisiert sehr schnell in hohen Stückzahlen produziert werden können. Der große Nachteil sind jedoch die hohen Stückkosten für die Formwerkzeuge.

vgl. <https://www.chemie.de/lexikon/Kunststoffverarbeitung.html>

### 3D-Druck

Die zwei gängigsten 3D-Druck-Methoden sind Filament und Resin Harz. Aufgrund des hohen Aufwands, den ein Resin-Drucker mit sich bringt, wurde für dieses Projekt die Methode mit Filament gewählt.

Beim 3D-Drucken durch Fused Deposition Modeling (Schichtschmelzverfahren) wird Kunststoff in Drahtform (Filament) (die häufigsten Dicken sind 2,85mm (allgemein als 3mm bezeichnet) und 1,75mm wobei die 1,75mm Version weltweit am häufigsten verbreitet ist) durch beheizte Düsen geleitet und somit geschmolzen. Das nun weiche Filament wird in Schichten auf die Druckplatte aufgetragen und erhärtet kurz darauf. Durch dieses Schichten lassen sich präzise Körper aus Kunststoff bauen.

vgl. <https://www.printer-care.de/de/drucker-ratgeber/wie-funktioniert-ein-3d-drucker>

vgl. [https://help.prusa3d.com/de/glossary/175-mm\\_134816](https://help.prusa3d.com/de/glossary/175-mm_134816)

#### 4.4.1 Drucken des Prototyps

Die Gehäuse-Prototypen wurden mit einem „PRUSA MK4S“ 3D-Drucker gefertigt. Alle FFF-Drucker von Prusa sind für 1,75-Filament konfiguriert.

### **Druckeinstellungen**

Die Temperatur der Build Plate lag bei uns Standardmäßig auf 60°C. Die Drucktemperatur, also die der Nozzle (Düse) wurde beim ersten Layer auf 200°C eingestellt (praktisch 190°C), die finale Temperatur lag bei 185°C.

Das erste Layer wurde 0,15mm Dick gedruckt, die restlichen 0,2mm dick.

Als Infill-Pattern wurde „Grid“ mit 20% Dichte und 4mm Line-Distance gewählt.

Das Drucken verlief mit den von uns gewählten Einstellungen reibungslos, jedoch an manchen Stellen etwas unsauber. ERKLÄRUNG

vgl. [https://help.prusa3d.com/de/glossary/175-mm\\_134816](https://help.prusa3d.com/de/glossary/175-mm_134816)

## **4.5 Zusammensetzen des Prototypen**

Die einzelnen Komponenten werden nicht wie zuerst vorgesehen auf eine Platine gelötet und dann mit dem Controller verbunden, sondern jeweils einzeln direkt mit dem Mikrocontroller. Bei diesem Prototyp lässt sich der Mikrocontroller nämlich vorerst als Platine betrachten, welcher zusätzliche Bauteile zugefügt werden.

### **4.5.1 Löten**

## **5 Testen und Fehlerbehebung**

### **5.1 Testen des Gesamtsystems**

### **5.2 auftretende Fehler beheben**

### **5.3 Test auf Cybersecurity**

In diesem Kapitel wird der gesamte Code auf Sicherheitslücken getestet.

### **5.4 Auftretende Sicherheitslücken schließen**

In diesem Kapitel werden die bei den Tests aufgetretenen Sicherheitslücken geschlossen.

## **6 Einzelnachweise**

### **6.1 Literaturverzeichnis**

### **6.2 Abbildungsverzeichnis**

### **6.3 Anhang**