

# FACHBERICHT

## FS18 - PRO4E - TEAM 5

16. Mai 2018

AUFTRAGGEBER:

H. GYSIN

J. KALBERMATTER

BETREUER:

M. MEIER

A. GERTISER

R. DUBACH

B. DOMENGHINO

P. SCHLEUNIGER

PROJEKTLEITUNG:

SIMON ZOLLER

TEAMMITGLIEDER:

SEVERIN HUNZIKER

MISCHA KNUPFER

LUKAS LOOSLI

JOSHA GIAMBONINI

ELIAS VON DÄNIKEN

GIANLUCA PICCIOLA

STUDIENGANG:

ELEKTRO- UND INFORMATIONSTECHNIK

## Abstract

Aimless wandering and too little knowledge are the reasons why the visitation of a museum is more memorable than its artworks. Because of that, an audio guide called Dojo was designed to help make the artworks unforgettable.

The goal of this project was to design the circuits for the Dojo. The Dojo should be able to recognise the artwork the visitor is standing in front as well as playing audio information over a bone sound sensor. In addition to that, the visitor should be able to “like” an artwork by pressing a button and get the information of the liked artworks at the end of his visit by email or printing.

The Dojo gives the information to the visitor by the bone sound sensor. For that, the sound files must be stored on a SD-Card which is placed in the device. Each artwork has a Bluetooth Low Energy (BLE) Beacon that sends its ID to the Dojo. The Dojo’s internal microcontroller is scanning for BLE-Signals and plays the file that is belonging to the ID of the strongest received signal, which is assumed to be coming from the nearest beacon. Furthermore, the Dojo has an inductive rechargeable battery.

The correct beacon is identified at XXX meters. The bone sound sensor plays the audio files with a loudness of XXX dB and no distortion. The inductive rechargeable battery with a capacity of XXX mAh can provide power for XXX hours, full featured and is recharged after XXX hours of charging. The deep discharge protection turns off the Dojo when the battery is at the XXX % of its power to protect the battery from damage.

The Dojo can be improved by implementing wireless data transfer and room access authorization. Nevertheless, it’s a significant win for museum visitors.

Key Words: audio guide, Bluetooth low energy, inductive charge, bone sound sensor

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Gesamtkonzept</b>	<b>5</b>
2.1	Funktionsweise . . . . .	5
2.2	Anwendung . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Hardware</b>	<b>9</b>
3.1	Energieübertragung . . . . .	9
3.2	Energiespeicher . . . . .	10
3.3	Linear Regler . . . . .	12
3.4	Mikrocontroller . . . . .	14
3.5	Verstärkerstufe . . . . .	15
3.6	Knochenschallaktor . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Software</b>	<b>17</b>
4.1	State-Machine . . . . .	17
4.2	Nordic Software Development Kit . . . . .	22
4.3	Bluetooth . . . . .	22
4.4	SD-Karte . . . . .	22
4.5	Audio, PWM . . . . .	23
4.6	Lizenzen . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Validierung</b>	<b>24</b>
5.1	Testkonzept Hardware . . . . .	24
5.2	Testkonzept Software . . . . .	26
<b>6</b>	<b>Schlusswort</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Ehrlichkeitserklärung</b>	<b>29</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>32</b>
A.1	Messresultate . . . . .	32

## 1 Einleitung

Museen bieten die Möglichkeit unterschiedlichste Ausstellungsobjekte unter einem Dach zu betrachten. Die Art der ausgestellten Kunst ist hier von Ausstellung zu Ausstellung unterschiedlich, was jedoch beständig ist, ist eine spirituelle Wahrnehmung. Wohl nirgends kann man so gut in seinen eigenen Gedanken versinken und sich Gedanken über ein Ausstellungsobjekt machen wie bei einem Museum. Um Besucher anzulocken, sind Museen auf Innovation angewiesen, welche zum einen die Übergabe von Informationen möglichst Benutzerfreundlich gestaltet aber auch eine angenehme Ambiance schaffen. Hierbei kommt auch vermehrt der Einsatz von Smartphones zum Zuge, wobei die Problematik darin besteht, dass man der Aussenwelt gefährlich nahe kommt und dadurch abgelenkt wird.

Ziel dieses Projektes ist es eine smarte Lösung für einen Audio-Guide zu realisieren ohne dass das eigene Smartphone benötigt wird. Im Fokus stehen dabei, dass Informationen bequem zum Nutzer gelangen, ohne dass Ablenkungen unterschiedlichster Art einem zurück in den Alltag holen. Des Weiteren soll er das herkömmliche Zutrittsticket ablösen, wodurch das Museum die Möglichkeit hat, ihre Ausstellung in mehrere Bereiche zu unterteilen. Der Besucher kann dadurch beim Eintritt die auf ihn zugeschnittenen Bereiche auswählen und durch die integrierte Zutrittsberechtigung im Audio-Guide nur in die bezahlten Räume eintreten. Als Grundlage für das Design dient ein von der Auftraggeberin designer Museums Audio-Guide namens Dōjō. In dieser Projektarbeit ist das Ziel, einen funktionierenden Prototyp herzustellen, wodurch danach eine finale Version erstellt und in den Dōjō eingebaut werden könnte.

Der Dōjō ist vergleichbar mit einem runden Stab mit der Länge von XXX und XXX cm Durchmesser. Dieser weist sowohl eine Sprachausgabe mittels Knochenschallgeber, als auch weitere Peripherien wie einer simplen Audiosteuerung, Bluetooth-Beacon Erkennung und einem «Like Button». Sein simples Design und seine einfache Anwendung, ist für jede Altersgeneration geeignet. Die Realisierung dieses Audio-Guides erfolgt in einem Hardware- und einem Softwareteil. Der Hardwareteil wird hierbei durch die Ladeschaltung, die Energiespeicherung und Überwachung, wie auch der Audioausgabe bestimmt. Der Softwareteil übernimmt die Erkennung, Ansteuerung und Koordination der Hardware Komponenten. Die Bearbeitung erfolgt in dem jedes Teammitglied ein ihm zugeteilter Aufgabenbereich bearbeitet.

Für die Realisierung wird ein Prototyp entworfen, welcher zu XXX verschiedenen Sprachen XXX Stunden Audioausgabe speichern kann. Die Ansteuerung der Audiofiles erfolgt über Bluetooth-Beacon Erkennung, welche ab einer Distanz von XXX m erkannt werden. Der eingebaute «Like-Button» speichert favorisierte Ausstellungsstücke wobei am Ende des Museumsbesuches diese Liste ausgewertet werden kann. Hierbei könnte eine Broschüre oder das Zustellen per Mail ermöglicht werden, wobei das genaue Angebot in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt wird.

Der nachfolgende Bericht ist durch drei Hauptbereiche definiert. Der erste Bereich umfasst das Gesamtkonzept, welcher die gesamte Anwendung auslegt. Die nachfolgenden zwei Hauptbereiche sind in Hardware und Software gegliedert. Die Hardware teilt sich wiederum in die Themengebiete Energieübertragung, Energiespeicherung und Audioausgabe auf. Die Software beinhaltet die Unterbereiche der Bluetooth Kommunikation, Bluetooth-Beacon Erkennung, sowie die gesamte Programmstruktur des verwendeten Microcontrollers.

## 2 Gesamtkonzept

In diesem Kapitel wird zuerst beschrieben wie das Dojo als Gesamtkonstrukt funktioniert. Anschliessend wird zwischen der Bedienung des Dojos, wie auch der Anwendung im Museum selber unterschieden, um eine klare Grenze zwischen Nutzer und Betreiber zu zeigen. Zuletzt wird dann noch der komplette Funktionsablauf erläutert, bis der Nutzer seinen Gang durchs Museum starten kann.

### 2.1 Funktionsweise

Der Dojo ist eine Art Audio-Guide welcher für Museen designt ist und diverse Funktionen beinhaltet. Abbildung 1 visualisiert den von der Auftraggeberin designten Prototypen. Einer der grössten Abweichungen zu einem herkömmlichen Audio-Guide ist die Sprachausgabe mittels einem Körperschallaktor und nicht wie gewöhnlich einem Lautsprecher. Eine der Eigenheiten ist ein integrierter Like Button, mit dem man Ausstellungsstücke „ liken “ kann. Diese Likes können am Ende des Museumsbesuchs zusammengefasst und in einer nicht genauer definierten Form an den Besucher abgegeben. Ansonsten kann der Dojo das was man von einem Audio-Guide erwarten würde, wie der Audiowiedergabe, Haltemodus und Lautstärke Einstellung.



**Abbildung 1:** Dojo als Modell

Das Herzstück des Dojo ist ein NRF52 von Nordic Semiconductor mit integriertem Bluetooth-Stack, welcher wiederum low-Energy fähig ist. Die Daten werden auf einer SD-Karte gespeichert. Einen Überblick über die Teilsysteme des Dojos ergibt Abbildung 2. Der NRF52 wird die Audiodaten an den Verstärker weitergeben, welcher sie über den Körperschallaktor ausgibt. Gespeist wird der Dojo von einem Akku, welcher induktiv geladen wird.

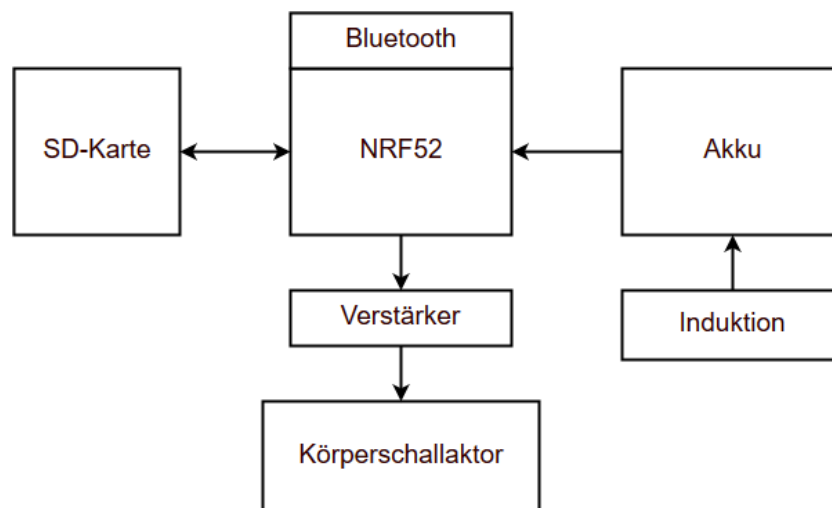


Abbildung 2: Teilsysteme des Dojo

Die Funktion des Dojos sind in zwei Bereiche unterteilt. Im Abschnitt Nutzer sind die Funktionen für die Museumsbesucher beschrieben, welche nachfolgend als User bezeichnet werden. Zum anderen sind im Abschnitt Betreiber die für die Museumsbetreiber relevanten Funktionen beschrieben. Diese werden nachfolgend als Betreiber bezeichnet.

### Nutzer

Der User geht mit dem Dojo durch das Museum. Sobald die Bluetooth Beacons genug nahe sind, wird dem Nutzer ein Signal gesendet. Dies erfolgt durch Vibration oder mithilfe einer LED. Jetzt soll der User entscheiden ob er sich das zugehörige Audio-File anhören will. Will er das, kann er den Play-Button betätigen. Die Lautstärke kann über die Buttons justiert werden. Falls das Ausstellungsstück dem Nutzer gefallen hat, kann er die Merken-Taste betätigen. Diese speichert das Ausstellungsstück auf eine Liste im Dojo. Am Ende des Museumsbesuches kann diese Liste ausgewertet werden, wobei die Anwendung dieser Daten in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt wurden.

### Betreiber

Der Betreiber muss den Dojo konfigurieren. Dies erfolgt über eine SD-Karte, welche mit dem Computer beladen wird. Anschliessend wird diese in den Dojo eingeführt. Das Nachladen des Akkumulator erfolgt über eine induktive Ladung. Die nächsten zwei Funktionen sind Wunsche, die vor allem mit Rücksicht auf die Laufzeit realisiert werden. Den Bluetooth-Receiver könnte man kurzzeitig auf ein Bluetooth Beacon umschalten. Der Betreiber müsste nur noch einen Receiver pro Raum installieren. Damit könnte man die gewünschte HeatMap realisieren. Das zweite wäre die Möglichkeit per Bluetooth einzelne Audiofiles auf den Dojo zu übertragen, um im Falle einer Änderung der Ausstellung die Liste anzupassen.

## 2.2 Anwendung

Um einen lückenlosen Betrieb zu gewährleisten, ist ein Ablauf für den Gebrauch des Dojos notwendig. Dieser Ablauf kann zusammenfassend in vier Schritte unterteilt werden und ist nachfolgend in Abbildung 3 ersichtlich.

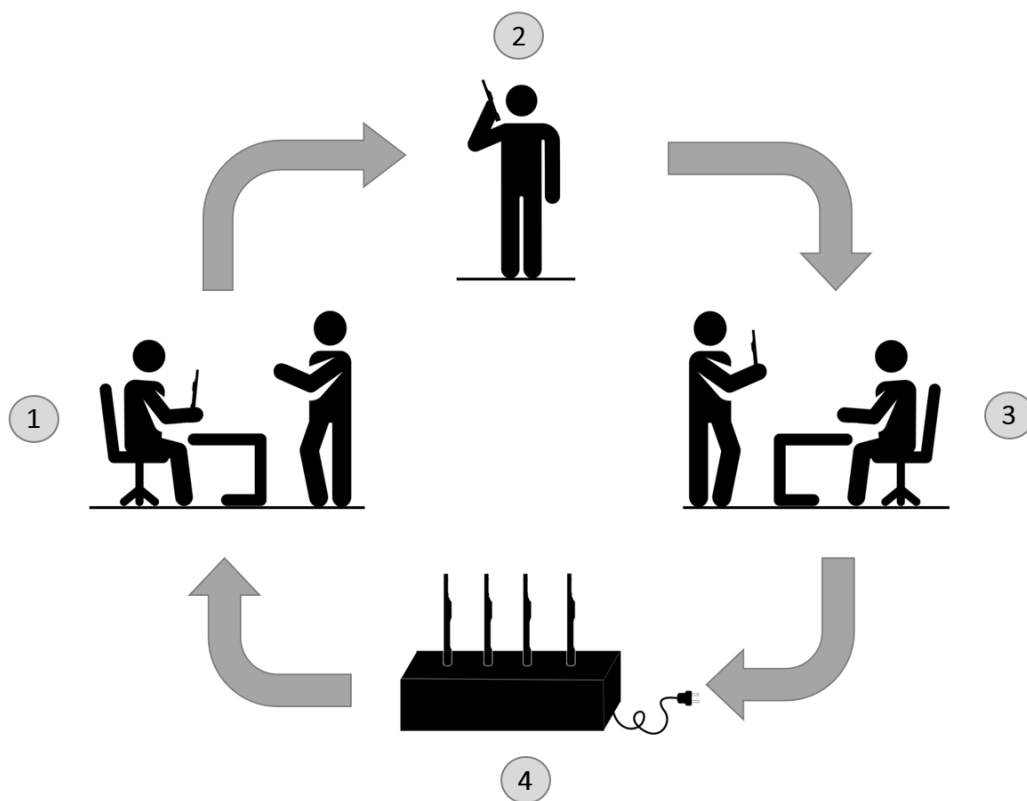


Abbildung 3: Anwendungsablauf

Der erste Schritt beinhaltet die Dojo Ausgabe beim Empfang. Hierbei wird festgelegt zu welchen Bereichen der Besucher Zutritt erhalten soll. Dies ist abhängig von den Wünschen des Besuchers. Die Auswahl der Sprache wird nachfolgend im Abschnitt Sprachauswahl beschrieben. Zu beachten gilt es, dass jeweils die Geräte ausgegeben werden, welche sich am längsten in der Ladestation (Schritt 4) befinden. Hierbei hilft eine Signal-LED am Dojo, welche den Lade-status gemäss definiertem Farbschema ausgibt. Ein lückenloser Betrieb wird erreicht, wenn die Stückzahl der Audio-Guide Geräte in etwa der Anzahl der Besucher pro Tag entspricht.

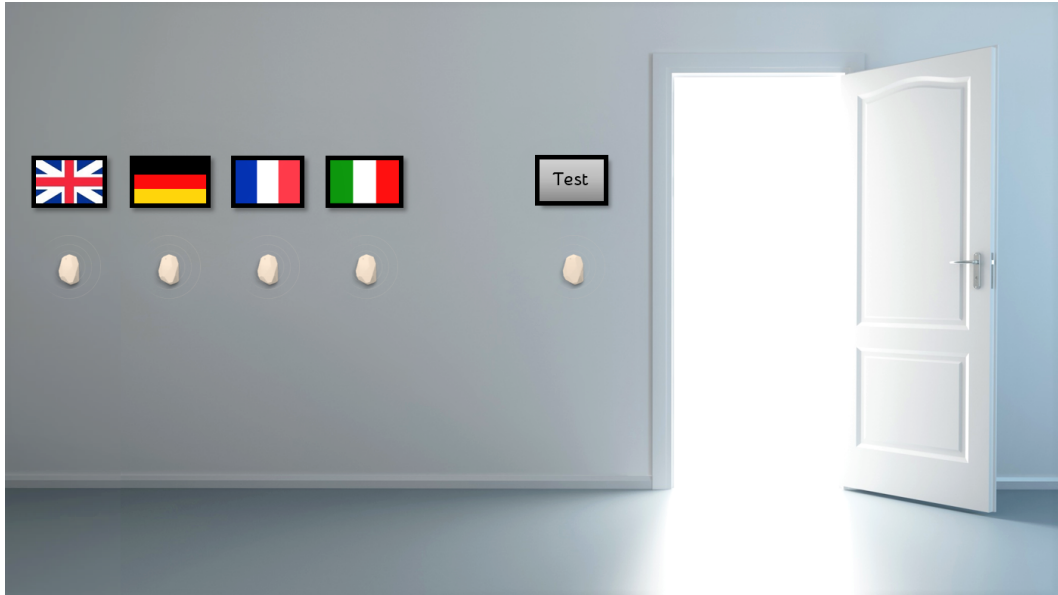
In Schritt 2 befindet sich der Besucher auf dem Rundgang mit dem Dojo als Audio-Guide. Der Nutzer hat hierbei die Möglichkeit während dem Rundgang Bilder zu „ liken“. Weitere Funktionen und die Bedienung des Dojos selber, ist im vorherigen Unterkapitel 2.1 beschrieben.

Die Abgabe erfolgt in Schritt 3. Hier hat der Besucher die Möglichkeit „gelikte“ Bilder als Broschüre zu erhalten oder diese per Mail zu erhalten. Das entgegengenommene Dojo kann für den nächsten Besucher gereinigt werden.

Sobald das Dojo entgegengenommen wurde und alle benötigten Informationen („likes“) extrahiert wurden, wird es wie in Schritt 4 ersichtlich aufgeladen. Hierfür ist eine induktive Ladestation notwendig, wobei es die Dojos lediglich in die dafür vorgesehenen Ladebuchsen zustecken gilt. Zur Signalisation des Ladevorganges dient eine in jedem Gerät eingebaute Signal-LED, welche bei Spannungsversorgung zu leuchten beginnt.

### Sprachauswahl

Die Sprachauswahl wird durch den Besucher selbst eingestellt. Hierbei stehen ihm vier Bluetooth-Beacons zur Verfügung zu welchen er sein Dojo hinhalten kann. Die gewünschte Sprache ist hierbei durch die Landesflagge gekennzeichnet. Ein Beispiel einer solchen Anwendung ist nachfolgend in Abbildung 4 ersichtlich.



**Abbildung 4:** Sprachauswahl mittels Bluetooth-Beacon

Es ist ersichtlich, dass eine Auswahl aus vier Sprachen möglich ist. Zudem ist ein Test-Beacon vorhanden, welches dem User ein kurzes Audio-Sample abspielt. Dies ist lediglich für die Gewissheit die richtige Sprache ausgewählt zu haben. Sobald die gewünschte Sprache geladen und getestet wurde, kann der Museumsbesuch gestartet werden.



## 3 Hardware

Nachdem die ganze Struktur und der Funktionsablauf der Anwendung zuvor detailliert erklärt wurde, soll nun an dieser Stelle das Dojo in seine Komponenten zerlegt werden. Die einzelnen Systeme sind logisch geordnet und werden in den nachfolgenden Kapiteln erklärt. Zuerst wird die Energieübertragung, die Energiespeicherung und die dazu notwendige Regelung erläutert. Anschliessend wird der Mikrocontroller, die Verstärkerstufe und die Audioausgabe beschrieben.

### 3.1 Energieübertragung

Die Funktionsweise der Induktiven Ladung wird veranschaulicht dargestellt und erläutert mit Schema, Simulation und ggf. weitere Abbildungen.

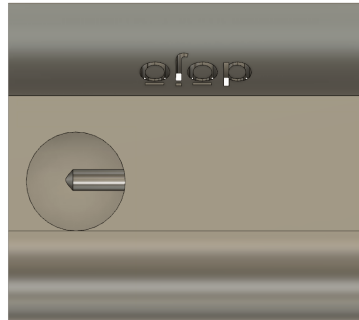
Im Joscha sin Teil

Nachdem die gesamte induktive Ladeschaltung beschrieben wurde, folgt ein Prototyp für die Ladestation. Diese implementiert die gesamte primäre induktive Ladeschaltung, welche bereits im oberen Teil beschrieben wurde. Für den Prototypen wurde eine .stl Datei erstellt welche mit einem 3D-Drucker gedruckt wurde. Wichtig ist hierbei die Erwähnung, dass es sich bei nachfolgende Abbildungen 5 bis 7 nur um Prototypen handelt und nicht um definitive Ladestationen. Da die Ladestation für Versuchszwecke bereits erstellt wurde und für Implementierung des Primärkreislaufes der Induktiv-Ladeschaltung wurde das Design so gewählt, dass nur ein Dojo geladen werden kann. Dies würde in einem weiteren Schritt auf mehrere Ladeaussparungen erweitert werden.



**Abbildung 5:** Frontansicht - Ladestation Dojo

Die oben gezeigte Abbildung gibt einen Einblick in das Design von vorne. Augenfällig ist die Öffnung für den Dojo selbst, welche zum einen als Standhalterung und zum anderen als korrekte Positionierung für die induktive Ladeschaltung dient. Weiter ist der Dojo Schriftzug ersichtlich, welcher bis in die dahinter liegende Kammer führt. Die Verwendung wird nachfolgend unter der Abbildung 7 weiter erklärt.



**Abbildung 6:** Draufsicht - Ladestation Dojo

Die obige Abbildung fig: Prototyp Top zeigt den Prototypen von oben. In der Aussparung für den Dojo ist ein Kanal für die Verkabelung der Primärspule ersichtlich. Diese Öffnung führt zur Kammer welche den Primär-Ladekreises beinhaltet. Die Abmessung (Länge x Breite x Höhe) des Prototypen ist (80 x 70.7 x 30)mm. Nachfolgende Abbildung 7 zeigt den Prototypen von unten.



**Abbildung 7:** Ansicht von Unten - Ladestation Dojo

Die grosse Kammer ist wie bereits oben beschrieben für den Primärkreis der induktiven Ladeschaltung vorgesehen. Es sind zudem runde 5mm im Durchmesser grosse Löcher ersichtlich welche in die Kammer des Schriftzuges führen ersichtlich. Diese Durchführungen sind für LED vorgesehen, welche den Dojo Schriftzug bei angeschlossener Versorgungsspannung zum Leuchten bringt.

### 3.2 Energiespeicher

Die gesamte Energiespeicherung erfolgt durch einen Lithium-Ionen-Akkumulator des Typs Emmerich LI14500. Dieser weist eine Kapazität von 800mAh bei einer Nominalspannung von 3.7V

auf. Ausserdem weist der Akkumulator integrierte Schutzeinrichtungen auf, welche im Abschnitt Schutzeinrichtungen weiter erläutert werden. Um eine Abschätzung über die Betriebszeit des Dojos zu erhalten, sind Faktoren wie maximaler Verbrauch, Nominalspannung und Kapazität notwendig. Die maximale Leistung des Dojos lässt sich durch Leistung des Knochenschallgebers und des Microcontrollers beschreiben. Alle anderen Komponenten können durch ihren geringen Betriebsstrom vernachlässigt werden. Der Knochenschallgeber weist gemäss eigenen Messungen eine maximale RMS Leistung von 214.5mW auf. Die Rechnung erfolgt mit einem Sicherheitswert von rund 0.35W und einer Betriebszeit von rund 80%. Die Microcontrollerleistung lässt sich durch den Radio Strom (7.5mA) und einigen Mikroampere Systemstrom (gesamthaft ca. 100  $\mu$  A) multipliziert mit der Systemspannung von 3.6V bestimmen. Zur Berechnung wird noch ein Sicherheitsfaktor von 0.1W dazu addiert. Die Microcontrollerleistung wird durch die Nominalspannung multipliziert mit dem maximalen Microcontrollerstrom von 7.6mA berechnet. Somit wird maximal eine Leistung von 0.63W erreicht, wobei Nachfolgend die Berechnung der maximalen Leistung (Berechnung 3.1) veranschaulicht wird.

$$P_{max} = (0.8 \cdot P_{Kn}) + P_{MC} + P_{zus} = (0.8 \cdot 0.5W) + (3.7V \cdot 7.6mA) + 0.1W = 0.528W \quad (3.1)$$

Die darausfolgende minimale Zeit  $t$  kann gemäss nachfolgender Berechnung 3.2 berechnet werden.

$$t_{max} = \frac{W \cdot U}{P_{tot}} = \frac{800mAh \cdot 3.7V}{0.528W} = 5.6h \approx 5h 30min \quad (3.2)$$

### Schutzeinrichtungen

Um den verwendeten Akkumulator zu schützen, sind diverse Schutzeinrichtung notwendig. Zum einen muss der Ladevorgang überwacht werden, so dass der maximale Ladestrom wie auch die Ladespannung nicht überschritten werden. Für die Laderegulation wurde ein Lade-IC von Microchip des Typs MCP73831 verwendet. Dieser übernimmt die gesamte Spannungs- und Stromregelung beim Ladeprozess und steuert zu dem während dem Ladevorgang eine LED zur Ladesignalisation an. Der Ladeprozess für den oben erwähnten Li-Ion Akku ist in untenstehender Abbildung 8 ersichtlich. Hierbei wurde der Akku im Schnelllademodus mit einem maximalen Strom von 400mA geladen. Dieser Strom ergibt sich aus dem Datenblatt der Batterie, wobei sowohl der Entladestrom, als auch der Ladestrom 0.5C beträgt. Das C entspricht der Kapazität der Batterie, wodurch sich der Strom  $I_{max}$  gemäss der nachfolgenden Formel 3.3 berechnen lässt.

$$I_{charge} = \frac{0.5}{h} \cdot C = \frac{0.5}{h} \cdot 800mAh = 0.4A \hat{=} 400mA \quad (3.3)$$

Betrachtet man die Abbildung 8 wird ersichtlich, dass die Spannung rund 2.5h geregelt wird bis 4.2V Grenze erreicht wird. Sobald der Spannungswert 4.2V erreicht hat, beginnt der Lade-IC mit der Stromregelung. Für diesen Prozess wurden beim Versuch noch einmal rund 30 Minuten benötigt, wodurch die letzten rund 20% der Batteriekapazität geladen werden konnten.

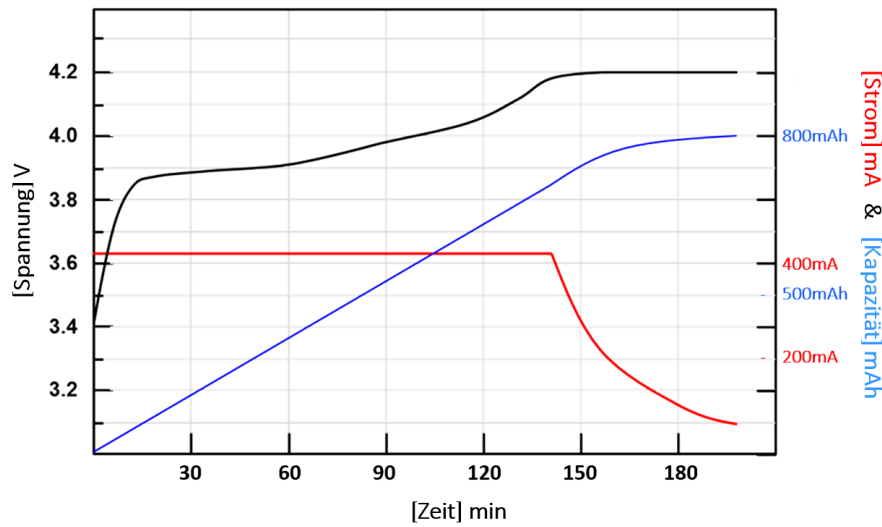


Abbildung 8: Blockschaltbild Energiespeicherung

Für einen weiteren Schutz, hat die Emmerich LI14500 eine integrierte Schutzbeschaltung namens PCM (Protection Circuit Module). Dieser Schutz garantiert einerseits einen Überladeschutz von  $4.25V \pm 0.025V$ , aber auch einen Tiefentladungsschutz von  $2.5V \pm 0.063V$ . Weiter ist der Akku gegen Überströme ab einer Höhe von 4.8A geschützt und weist zudem einen Schutzschaltungswiderstand von  $\leq 75m\Omega$  auf.

### 3.3 Linear Regler

Für die Energieversorgung der integrierten Komponenten im Dojo ist eine konstante Spannungsquelle notwendig. Hierbei hat ein Lithium-Ionen Akku nicht die besten Voraussetzungen, da dessen Spannung unter Last mit der Zeit sinkt. Der verwendete ADP122 Spannungsregler regelt die Eingangsspannung auf 3.3V herunter solange diese über der Ausgangsspannung liegt. Ist  $U_{ein} < 3.3V$ , nimmt die Ausgangsspannung linear mit der Eingangsspannung ab. Es gilt also im generellen:  $U_{ein} > U_{aus}$ . Nachfolgende Grafik 9 aus dem Datenblatt gibt einen Einblick in das Spannungsregelverhalten des ADP122.

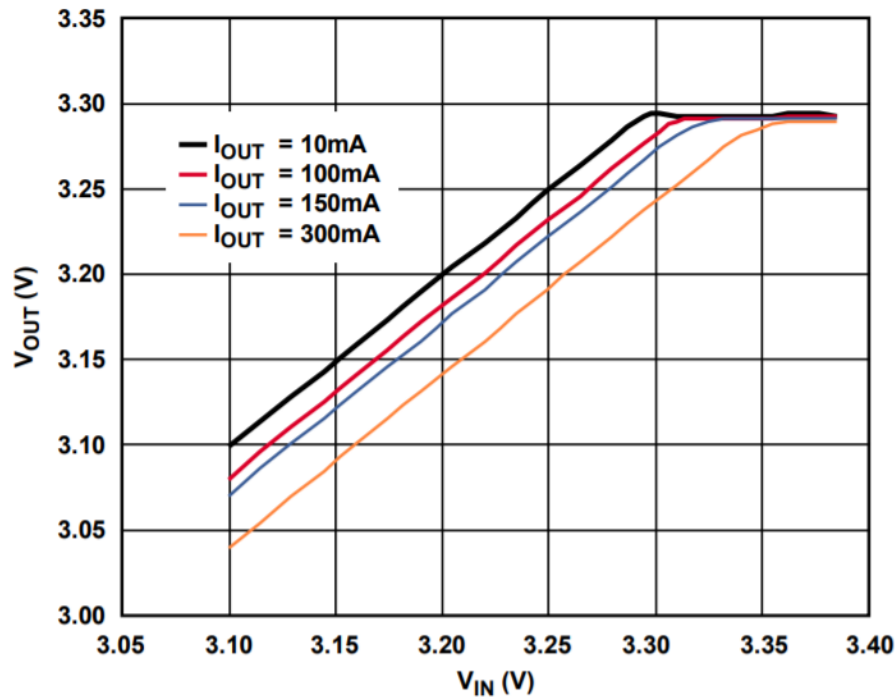


Abbildung 9: Eingangsspannung vs. Ausgangsspannung [1]

Für unsere Anwendung sind die mittleren zwei Kurven (rot und grau) interessant. Auffällig ist, dass bei  $V_{ein} < 3.3V$ , die Abweichung zwischen  $V_{ein}$  und  $V_{aus}$  um ca.  $0.025V$  unterscheiden. Die Abweichung  $F_{error}$  ist somit kleiner 1%.

Nicht nur die Komponenten im Dojo selbst benötigen eine konstante Spannungsversorgung, sondern auch der Lade-IC während dem Ladevorgang. Da Der Ladevorgang mittels induktiver Ladung erfolgt, kann hierbei die Spannung extrem schwanken. Es wird also direkt nach der Sekundärspule und dessen Gleichrichtung ein Spannungsregler eingebaut. Hierbei wird ein MCP1703A der Firma Microchip verwendet. Dieser gibt bei einer maximalen Eingangsspannung von  $16V_{DC}$ , konstant  $5V_{DC}$  ab. Der maximale Ausgangsstrom beträgt hierbei  $250mA$  und ist somit für unsere Anwendung gut geeignet. Einen Einblick in das Spannungsregelverhalten gibt nachfolgende Abbildung 10.

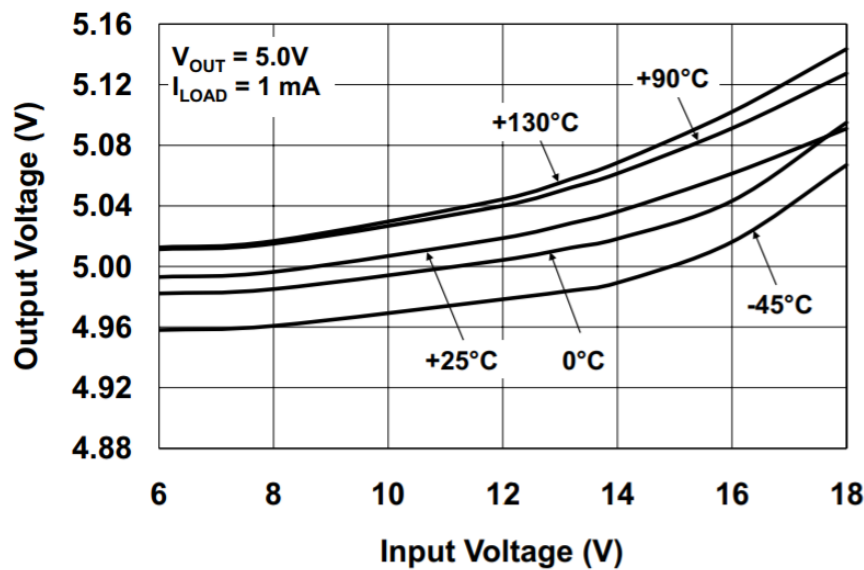


Abbildung 10: Eingangsspannung vs. Ausgangsspannung [2]

Augenfällig ist, dass die Ausgangsspannungskurve im Bereich von 6V bis 16V ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ) rund 0.1V schwankt. Dies stellt jedoch keine Probleme für den Lade-IC dar, da dieser einen Eingangsspannungsbereich zwischen 3.75V bis 6V vorweist. Ebenfalls in der obigen Grafik ersichtlich ist die grosse Erwärmungstoleranz des Spannungsreglers. Dies ist aufgrund dessen wichtig, dass es durch die induktive Übertragung durchaus zu grosser Erwärmung in unmittelbarer Nähe kommen kann.

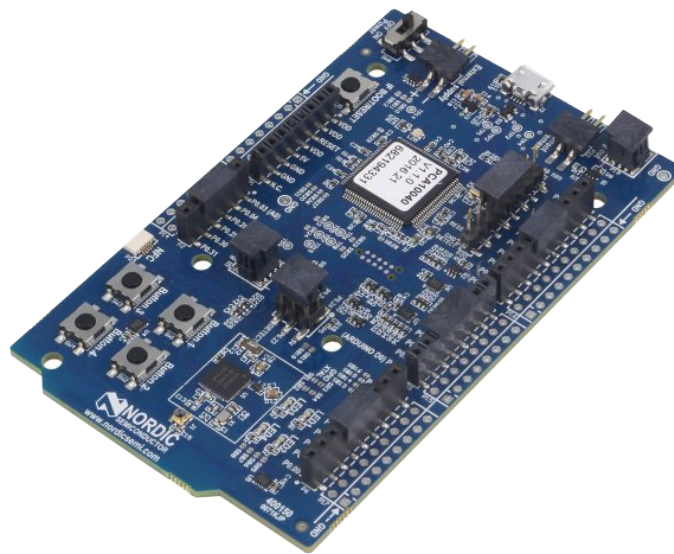
### 3.4 Mikrocontroller

Als Microcontroller wurde ein nRF52832 der Firma Nordic Semiconductors verwendet (ersichtlich in Abbildung 11). Seine hohe Performance ermöglicht es ein System aufzubauen, welches den Microcontroller als zentrale Schnittstelle beinhaltet. Der Microcontroller bildet wie in Kapitel 2 gemäss Abbildung 2 bereits beschrieben das Herzstück des Dojos.



Abbildung 11: nRF52832 Microcontroller [3]

der nRF52832 weist eine Betriebsversorgungsspannung zwischen 1.7V und 3.6V mit einem Versorgungsstrom von 5.4mA auf. Der Speicher des nRF52832 ist durch 512kB flash/64kB RAM Speicher gegeben. Für die ersten Tests der Software wurde ein Development Kit (Abbildung 12) mit integriertem nRF52832 verwendet. Die Beschreibung der Software ist in Kapitel 4 ersichtlich.



**Abbildung 12:** nRF52 Development Kit [4]

Die Schlüsselmerkmale dieses Boards sind zum einen wie bereits beschrieben der integrierte Microcontroller, zum anderen aber auch eine integrierte Bluetooth Antenne. Das Kit unterstützt proprietäre Bluetooth Smart, ANT und 2.4GHz Applikationen. Zudem ermöglicht es den Einsatz von Drittanbieter Shields. Dies ermöglicht das Beschreiben und Lesen der SD-Karte zu testen.

### 3.5 Verstärkerstufe

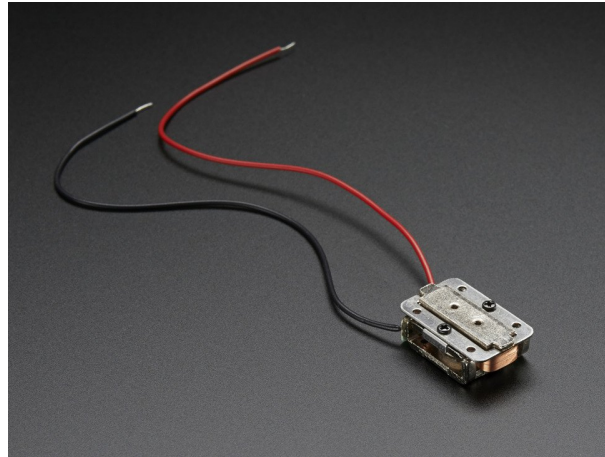
Mit einer Verstärkerstufe lassen sich auf einfache Art und Weise Signale jeglicher Form verstärken. Sie eignen sich bestens, um den Ausgang eines Mikrocontrollers entsprechend aufzubereiten, da die Ausgangsseite meist sehr niedrige Ströme aufweist. Dadurch kann dem Knochenschallaktor genügend Energie zur Verfügung gestellt werden.

Prinzipiell gibt es 2 Arten von Verstärkern. Sie können digital oder auch analog umgesetzt werden. Beide erfüllen die gleiche Aufgabe, weisen jedoch bezüglich Wirkungsgrad einen deutlichen Unterschied auf. Die digitale Variante weist ungefähr einen Wirkungsgrad von 90% auf [5], während die analoge Variante maximal einen Wirkungsgrad im Bereich der Leistungsanpassung erzielt [6]. Aus diesem Grund wird ein digitaler Verstärker (Class-D-Verstärker) in der Anwendung implementiert. Die Wahl fiel auf den Stereo-Amplifier MAX 98306 (nicht ganz sicher was nacher wirklich implementiert wird).

(Strom/Spannung/Leistung) ergänzen und begründen, Berechnung der Verstärkung

### 3.6 Knochenschallaktor

Nachdem das vom Mikrocontroller ausgegebene Audio-File über die Verstärkerstufe entsprechend aufbereitet wurde, kann nun die Audiodatei über einen sogenannten Knochenschallaktor ausgegeben werden. Der Aktor arbeitet nach dem Prinzip der Weiterleitung von Schall-Schwingungen oder auch Vibrationen. Dadurch lässt sich der ursprüngliche Gehörgang umgehen und die Schwingungen werden über den Schädelknochen an das Innenohr übertragen. Dies verbessert auch die Hygiene der Anwendung, da kein direkter Kontakt mit dem Gehörgang stattfindet.[7] Für die Anwendung im DOJO wird ein Knochenschallaktor des Herstellers Adafruit verwendet, welcher in der Abbildung 13 ersichtlich ist.



**Abbildung 13:** Knochenschallaktor von Adafruit

Das ausgewählte Bauteil eignet sich bestens für die Verwendung im DOJO. Mit einem Gewicht von 9.6 g und den Dimensionen 14x21,5x7,9 lässt sich der Aktor gut in das bestehende Gehäuse implementieren [5]. Weiter ist Bauteil relativ kostengünstig im Handel erhältlich und kann  $1W_{RMS}$  Leistung liefern, was sich dann in der Lautstärke bemerkbar macht. Nach ausführlichen Rechercharbeiten konnten keine wirklichen Alternativen ausgemacht werden. Meist befindet sich die Technologie noch in der Entwicklungsphase oder fällt aufgrund des Preises aus der Auswahlmöglichkeit.



## 4 Software

Es wird ein NRF52832 verwendet von Nordic Semiconductor. Dadurch liegt die Verwendung des Software Development Kit?? nahe. Dies ist eine Sammlung von Beispielen, Librarys und vorcompilierten Codes. Nachfolgend wird das Software Development Kit nur noch SDK genannt. Es wurde nRF5 SDK v12.3.0 verwendet. Wichtig ist die SDK für ihren integrierten Bluetooth-Stack der verwendet wird. Dieser ist im sogenannten Softdevice enthalten. Um ihn nutzen zu können verwenden wir den S132. Dieser und die nötige Initialisierungen des Bluetooth-Stacks waren in dem Beispielprojekt Uartc in der Central-Rolle vorhanden. Dadurch wurde das ganze Projekt auf diesem Beispiel aufgebaut. Der Softdevice und die SDK legen einige abstraktions Layer auf die Hardware. Diese sind in Abbildung ?? visualisiert. Die Die wichtigsten Module des SDK werden im Kapitel 4.2 erklärt, falls weitere Informationen gewünscht sind wird auf die offizielle Dokumentation verwiesen ??.

### 4.1 State-Machine

Nachdem mit dem Einleitungskapitel ein kurzer Überblick geschaffen wurde, kann nun der Hauptteil der Software genauer betrachtet werden. Der gesamte Ablauf basiert auf einer klassischen State-Machine, die aufgrund von unterschiedlichen Parametern in die entsprechenden nächsten States springt. Das hat den Vorteil, dass sich das Programm stets in einem definierten Zustand befindet und mittels entsprechenden Parametern jeweils den nächsten Arbeitsschritt vordefiniert. Die Abbildung 14 zeigt das Gesamtkonzept der State-Machine. Anschliessend werden die einzelnen States genauer definiert und beschrieben.

#### State: Lookup

In diesem State verschafft sich das Programm über die entsprechende Initialisierung Zugriff auf die SD-Karte der Anwendung. Falls der Mikrocontroller nicht auf die SD-Karte zugreifen kann, wird eine Fehlermeldung ausgegeben und die Funktion wird beendet. Anderenfalls wird dem Mikrocontroller signalisiert, dass der Zugriff geglückt ist und die eigentliche Funktion wird gestartet. Dazu werden die beiden Minor- und Majorzahlen in ein hexadezimals Zahlensystem gewandelt, welche dann als Vergleichskriterium verwendet werden. Falls die Nummer gefunden wird, kann das entsprechend zugehörige Audio-File über den Mikrocontroller ausgegeben werden. Verglichen wird jeweils zeilenweise, weshalb auch ein Fehlerhandling eingebaut wurde. Damit wird erkannt, ob sich das Textfile am Ende befindet. Somit lässt sich dann die Suche wiederholen, oder einen Fehler ausgeben. Die nachfolgende Abbildung 15 zeigt den detaillierten Funktionsablauf im Lookup-State.

#### State: Special Beacon

Special Beacon dient hauptsächlich zur Unterscheidung der verschiedenen Beacons für die Sprache, das Drucken und weitere Features die in einem weiteren Ansatz implementiert werden können. Aus diesem Grund wurde dieser State auch relativ einfach gehalten. Zuerst wird verglichen, ob es sich dabei um die Sprachkonfiguration handelt. Ist dies zutreffend, so springt das Programm in den Change Language State. Anderenfalls wird überprüft, ob gerade der Like-Button gedrückt wird und entsprechend in den Print „Likes “State gewechselt wird. Ist keine der beiden Zustände zutreffend, springt das Programm in den Wait State. Die nachfolgende Abbildung 16 zeigt den Ablauf der Funktion.

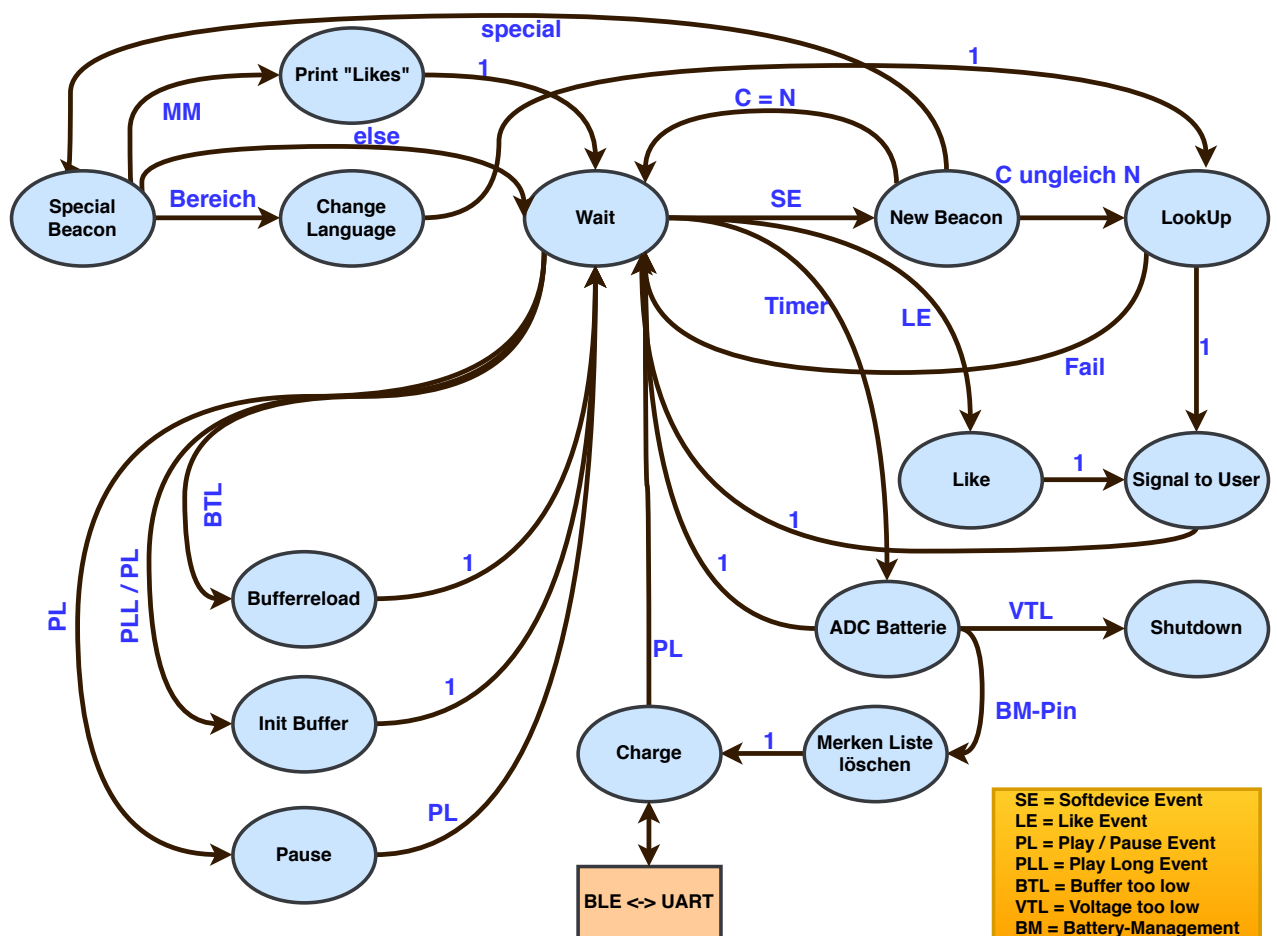


Abbildung 14: Statemachine im Überblick mit den einzelnen States und den Parametern

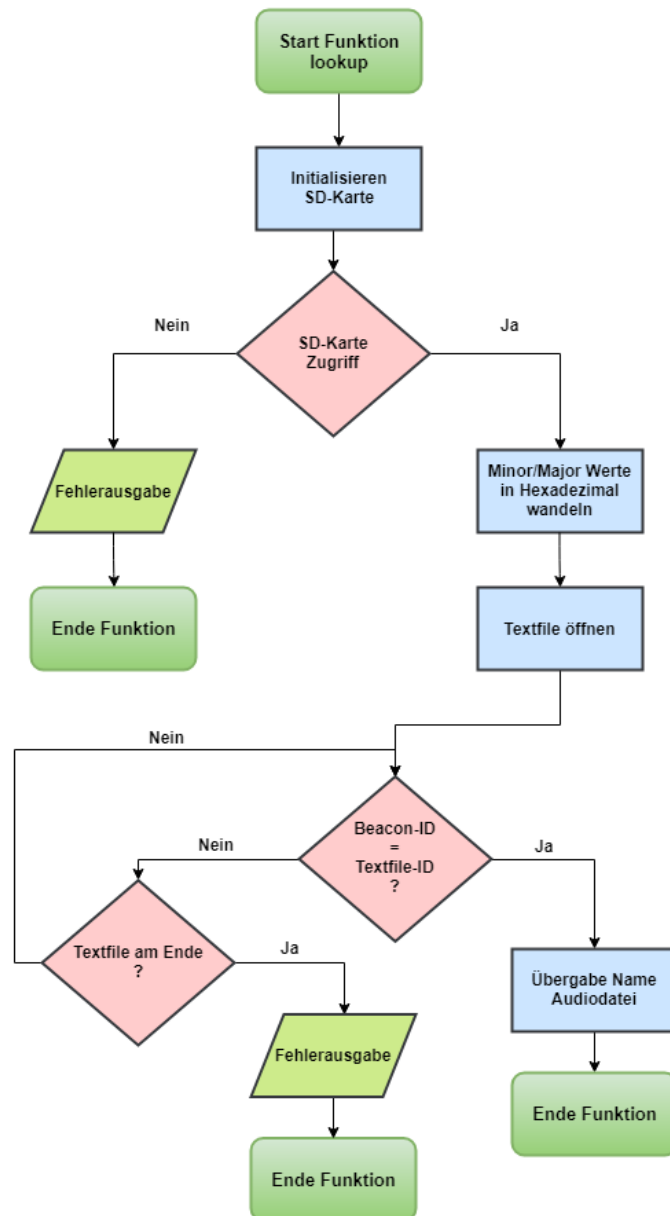


Abbildung 15: Funktionsablauf im lookup-State

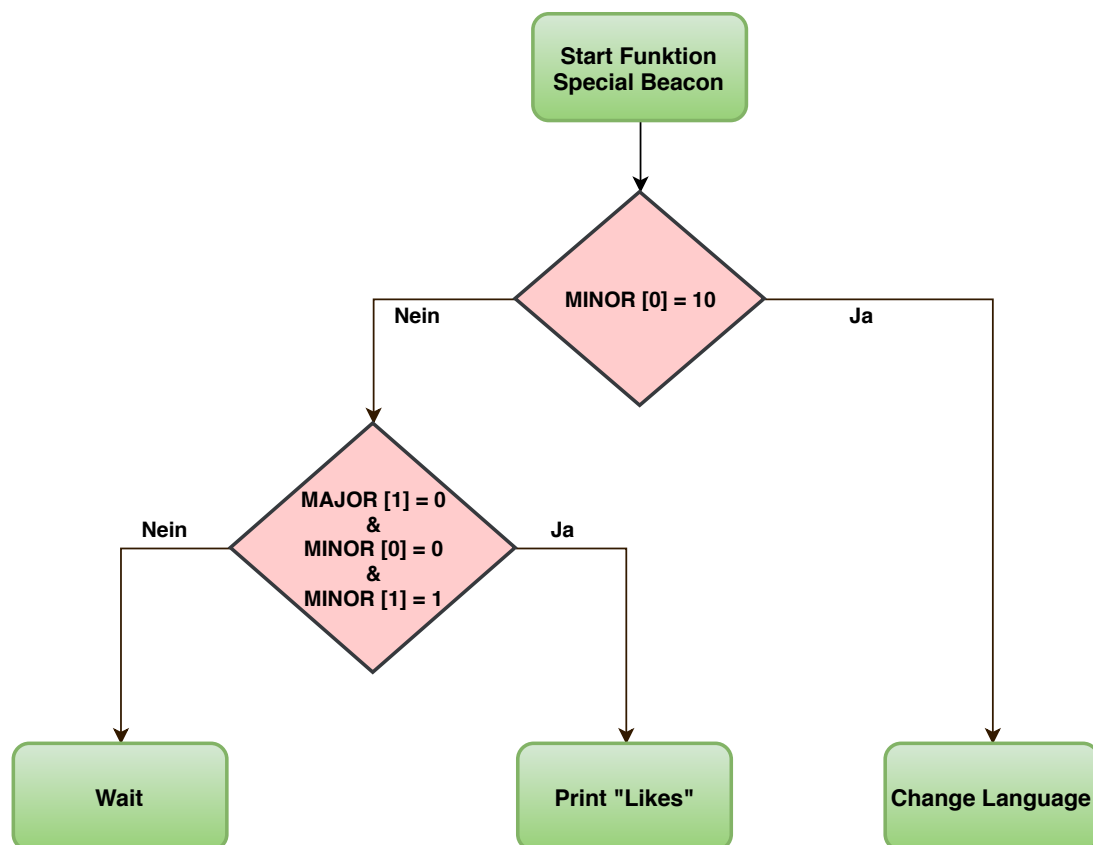


Abbildung 16: Funktionsablauf im Special Beacon State

### State: Change Language

Dieser State ist für die Sprachauswahl verantwortlich. Aufgrund des Zahlenwertes in Minor [1] wird zwischen den Landessprachen der Schweiz ausgewählt. Dabei wird die Vergleichstabelle in Form einer Datei kopiert und mit einem Kürzel entsprechend der Sprache versehen. Danach springt das Programm wieder in den lookup State.

### State: Print „Likes“

Print „Likes“ wurde nicht implementiert und das Hauptprogramm springt in den Wait State. Das ist eine optionale Möglichkeit, die in einem weiteren Entwicklungskonzept bearbeitet werden kann. Die Software ermöglicht es aber diese Funktion noch einzubetten. Dabei könnte die Broschüre mit den interessanten Objekten direkt gedruckt werden und bereits für den Besucher am Ausgang des Museums bereit liegen.

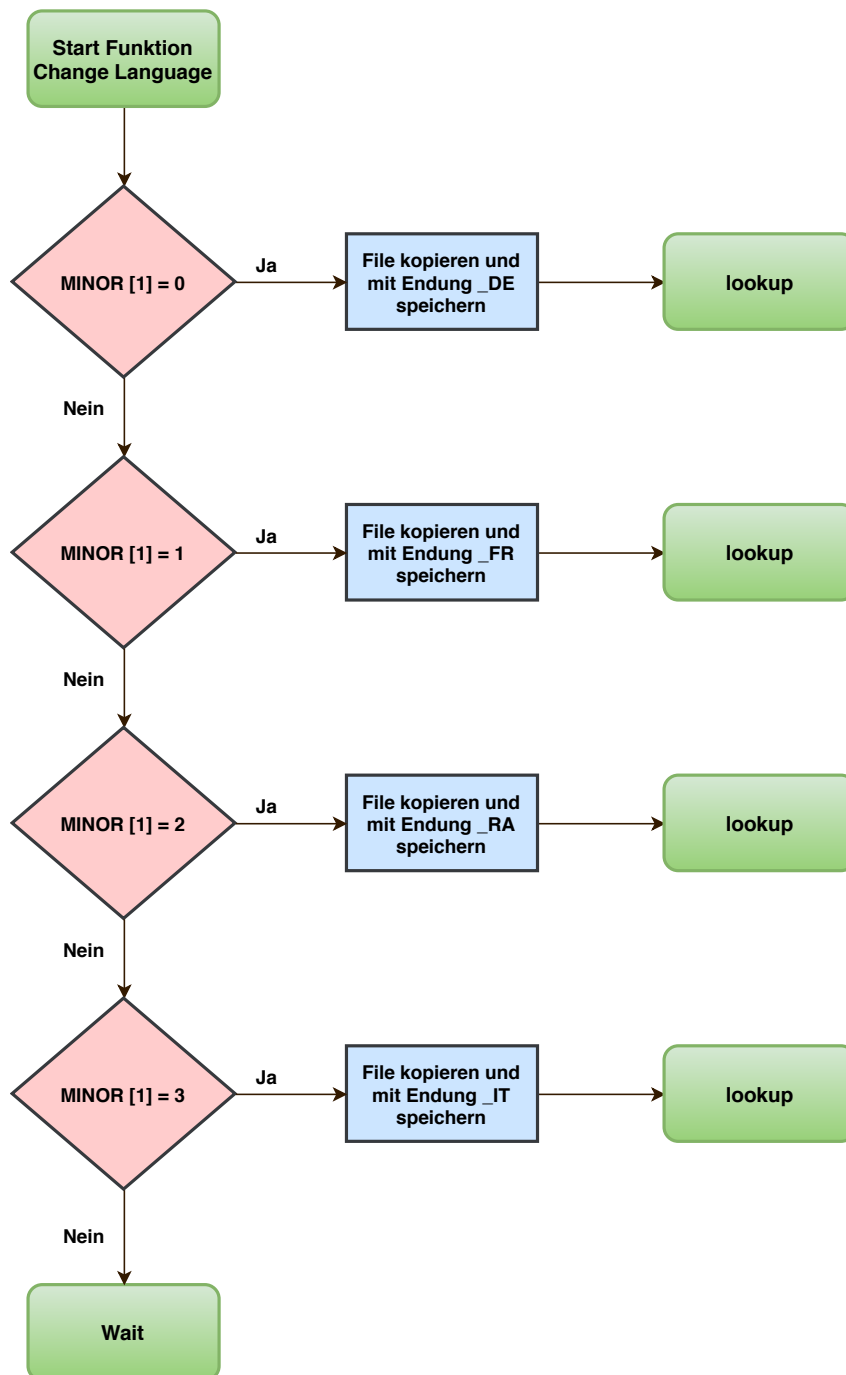


Abbildung 17: Funktionsablauf im Change Language State

**State: Wait**

**State: New Beacon**

**State: Like**

**State: Signal to User**

**State: ADC Battery**

**State: Shutdown**

**State: Merken Liste löschen**

**State: Charge**

**State: Pause**

**State: Init Buffer**

**State: Bufferreload**

## **4.2 Nordic Software Development Kit**

Beschreibt die Aufgabe des MCs mittels Ablaufdiagramm, sowie welche Funktionen dazugehören und deren Wirkung. Funktionen, Prinzip des Kits, Example des ursprünglichen Aufbaus

## **4.3 Bluetooth**

Die Funktionsweise der Bluetoothsoftware wird mittels Ablaufdiagramm dargestellt und die benötigten Funktionen erläutert.

## **4.4 SD-Karte**

Um auf die SD-Karte zuzugreifen, wurde die Library fatfs verwendet. Sie ermöglicht einen einfachen Zugriff auf die Daten per SPI-Schnittstelle. Sie wird im ersten Kapitel beschrieben, anschliessend behandelt ein Kapitel die Bündelung des Codes in Zusammenhang mit der SD-Karte. Darum wurde ein eigenes Modul geschrieben. Das letzte Kapitel beschreibt noch die benötigten Files auf der SD-Karte um die Funktionen des Dojo zu gewährleisten.

### **4.4.1 fatfs**

Loosli?

### **4.4.2 SD-Karte Modul**

Anschliessend sind die verschiedenen Funktionalitäten aufgelistet.

#### **Merken**

Das Modul beinhaltet zwei Funktionen um die Funktionalität des Merken zu realisieren. Die Erste speichert das aktuelle Kunstwerk auf eine Liste. Auf dieser Liste werden die verschieden gemerkten Kunstwerken gesammelt. Die zweite Funktion löscht eben diese Liste wieder, um den Dojo bereit für den nächsten Nutzer bereit zu machen. Den Dateinamen der Liste lässt sich im Header-File anpassen.

### SD-Karte Initialisieren

Diese Funktion ruft eine Reihe fatfs-Befehle auf um die SD-Karte zu mounten. Diese wird über ein SPI-Bus an den Mikrokontroller angeschlossen. Die Pins für den Bus lassen sich im Header-File definieren.

### Lookup

Diese Funktion ist die eigentliche Implementierung des in Abbildung 15 beschriebenen Algorithmus.

### Sprachwechsel

Diese Funktion wechselt die Sprache des Dojo. Die Sprachauswahl geschieht über verschiedene Files. Es existiert für jede Sprache ein eigenes Lookup-File. Dieses verbindet die Major-Minor-Kennzeichnungen mit den Wav-Files der jeweiligen Sprache. Dadurch muss für einen Sprachwechsel nur der Zeiger auf das Lookup-File geändert werden.

#### 4.4.3 Benötigte Files

Im Header-File des Moduls SD-Karte müssen verschiedene Files definiert werden. Diese müssen auch auf der SD-Karte vorhanden sein und im richtigen Format. Die Merken-Liste ist eine normale .txt Datei. Sie sollte leer sein. Des weiteren müssen die Lookup-Files vorhanden sein. Sie sollten dem in Abbildung 18 definierten Format entsprechen. Zu beachten ist, dass die X Symbole für zwei stellige Hex-Zahlen stehen. Somit hat es eine Referenz auf ein Kunstwerk pro Zeile.

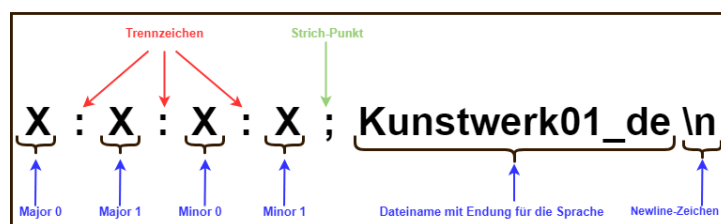


Abbildung 18: Formatdefinition Lookup-File

Wav files Loosli?

### 4.5 Audio, PWM

Beschreibt, wie das gewünschte File geholt und auf den Knochenschallgeber gegeben wird.

### 4.6 Lizenzen

## 5 Validierung

Bei der Validierung werden nachfolgend die Testkonzepte der Software und Hardware erläutert. Die Hardware beinhaltet hierbei hauptsächlich das Testing der Batterie wie auch der Induktions-Ladeschaltung. Das Testkonzept der Software beinhaltet das Testing von .....

### 5.1 Testkonzept Hardware

Damit ein reibungsloser Betrieb möglich ist, müssen die einzelnen Hardware Komponenten auf Herz und Nieren geprüft werden. Nachfolgend werden die Testverfahren genauer beschrieben und die Testergebnisse aufgelistet.

#### Schutzmechanismen Batterie

Die Batterie weist einige Schutzmechanismen auf, welche alle getestet werden müssen. Als erstes wurde der Tiefentladungsschutz geprüft. Um dies zu testen wurde ein Widerstand der Dimension  $9\Omega$  angeschlossen, wobei gemäss Berechnung 5.1 ein Entladestrom von rund 400mA resultierte.

$$I_{discharge} = \frac{U}{R} = \frac{3.7V}{9\Omega} = 411mA \quad (5.1)$$

Während dem Entladevorgang wurde stets die Spannung überwacht, wobei die Spannung von 3.7V auf bis 2.5V absank. Nach dem die 2.5V Schwellenspannung unterschritten wurde, brach der integrierte Batterieschutz die Spannungsversorgung ab. Die Widerstände wurden abgehängt und der gesamte Vorgang wurde mit Erfolg wiederholt.

Als nächstes wurde ein Kurzschluss test durchgeführt, wobei hier der Schwellenstrom gemäss Datenblatt bei 4.8 liegt. Gemäss dem  $U=R \cdot I$  Gesetz, wurde ein Widerstand der Grösse von  $700m\Omega$  verwendet damit der Grenzwert überschritten wird. Auch bei diesem Versuch, regelte das PCM den hohen Entladungsstrom ab und schaltete die Versorgungsspannung ab.

#### Ladeschaltung der Batterie

Für die Ladeschaltung der Batterie wurde wie bereits im Kapitel ?? beim Abschnitt Schutz einrichtungen ein Lade-IC verwendet. Dieser reguliert zuerst die Spannung wobei nach Erreichung des Schwellenwertes von 4.2V den Strom auf 0A herunter reguliert. Dieser Vorgang wurde während einem gesamten Ladevorgang der Batterie beobachtet und dokumentiert. Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass dieses Testing nicht die induktive Energieübertragung verwendete, sondern der Fokus auf der Funktionalität des Lade-ICs beschränkt und somit das Netzgerät „Power Supply“ der Firma „K. Witmer“ verwendet wurde. Aus diesem Grund ist auch ein Strom von 400mA wie auch eine Ladezeit von lediglich 270 Minuten (4.5h) ersichtlich was die effektiven Ladewerte mittels induktiver Ladung deutlich übertrumpfen. Die nachfolgende Abbildung ?? zeigt die Regulierung der Spannung (blaue Kurve) wie auch die Regulierung des Stromes (rote Kurve) in Abhängigkeit der Zeit.



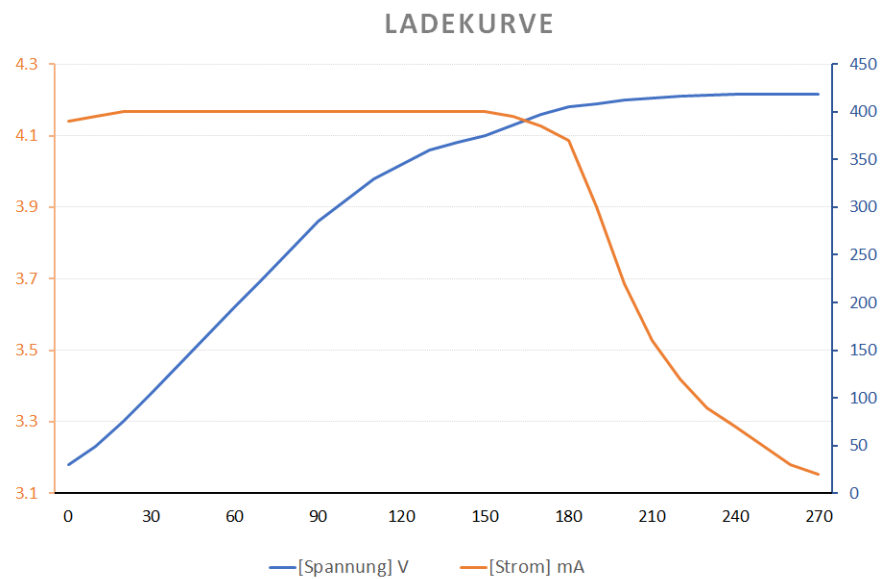


Abbildung 19: Ladekurve Lade-IC

Die oben genannten Vorgänge der Spannungs- und Stromregulierung sind in dieser Grafik gut ersichtlich wobei der Ladevorgang nach dem Erreichen von rund 20mA als fertig betrachtet wurde.

### Induktive Ladeschaltung

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der induktiven Ladeschaltung präsentiert. Nachfolgend zeigt Abbildung 20 die Abhängigkeit zwischen induziertem Strom und der Distanz  $z$  zwischen den Induktionsspulen.

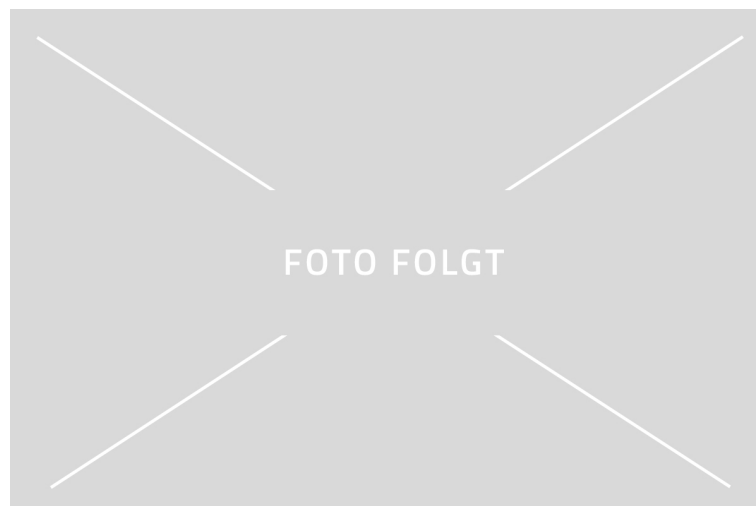


Abbildung 20: Induzierter Strom in Abhängigkeit der Distanz

Eindrücklich ist hierbei dass zum Abstand der Primärspule, der Strom (linear, quadratisch, was auch immer) abnimmt. Aufgrund dieser Erkenntnis sind wir auch gezwungen eine möglichst kurze Entfernung zwischen den Spulen einzuhalten. Wir verwenden hierbei einen Abstand von

rund 1.5mm, welcher auch der Materialdicke des Dojos entspricht. Es resultiert also ein an die Sekundärspule gelieferter Strom von rund 50mA.

## **5.2 Testkonzept Software**

Erklärt, welcher Teil wie getestet wird und führt die Ergebnisse mit Auswertung auf.

## 6 Schlusswort

Dieses Kapitel besteht noch aus einzelnen Argumenten und Abschnitten und ist noch nicht miteinander verknüpft

### **a) Was läuft? Was wurde im Projekt erreicht? Welche in der Aufgabenstellung gestellten Anforderungen wurden realisiert? Wo wurden diese übertroffen?**

Dojo wurde ursprünglich in einem kleinen hohlen Stab konzeptioniert. In einer ersten Entwicklungsphase wurde ein Prototyp realisiert, welcher optisch an und für sich nichts mit dem Dojo zu tun hat. Das hat den Vorteil, dass sich einzelne Komponenten wie z.B. eine Ladeschaltung für die Energiespeicherung, Mikrocontroller Evaluation Board oder der Knochenschallaktor als einzelne Teilsystem einfach zu einem Gesamtsystem zusammensetzen lassen. Dadurch lassen sich die Arbeiten voneinander entkoppeln und Messungen können mit deutlich weniger Aufwand durchgeführt werden. Das Evaluation Board des Mikrocontrollers bringt den grössten Vorteil mit sich. Steckplätze für Verbindungen und weitere Komponenten sind bereits vorhanden und können ohne weiteres genutzt werden. Ebenfalls kann dadurch die Programmierung der einzelnen Teilbereiche durch das Verwenden mehrerer Evaluation Boards unabhängig voneinander durchgeführt und getestet werden. Zusätzlich wurde dabei darauf geachtet, dass sich die einzelnen Komponenten auf einem kleinen PCB implementieren lassen, das sich dann wiederum in den DOJO einbauen lässt.

Die Erkennung der Bluetooth-Beacons funktioniert einwandfrei, solange nicht mehr als 10 Beacons in unmittelbarer Nähe sind. Das Detektieren erfolgt über die Software. Mit einem geeigneten Algorithmus wird jeweils das Beacon mit dem stärksten Signal als das „korrekte“ Kunstobjekt identifiziert. Das integrierte Bluetooth-Modul im Mikrocontroller ermöglicht das Empfangen der entsprechenden Beacon-ID und kann diese über eine geeignete Funktion in eine Hexadezimal-Zahl wandeln. Anschliessend wird mit einer ID-Liste auf der SD-Karte verglichen und bei Übereinstimmung das entsprechende Audio-File abgespielt.

Die Energieversorgung wird über kleine Batterien umgesetzt, die im Bodenbereich des DOJO angebracht werden. Das spezielle daran ist, dass sie induktiv geladen werden. Dadurch kann jeglicher „Kabelsalat“ zwischen dem Gerät und Ladestation vermieden werden. Ein kleine Einbuchtung am Boden des DOJO ermöglicht das einfache aufstecken und laden. Aus diesem Grund wurde auf eine Implementierung einer USB-Connection verzichtet.

Like-Button

Mit der Verwendung des komplexen und leistungsfähigen Mikrocontrollers NRF52832 können alle Prozesse zentral gesteuert werden und dadurch entfallen weitere Controller. Ebenfalls kann dadurch der Energieverbrauch gesenkt werden und die Verwendung eines zusätzlichen Bluetooth-Moduls entfällt.

### **b) Was läuft nicht? Wo besteht Verbesserungsbedarf? Was konnte nicht realisiert werden? Hier ist eine kurze Angabe der Gründe sinnvoll.**

Mit dem Verzicht einer USB-Schnittstelle besteht keine Möglichkeit die SD-Karte ohne weiteres zu aktualisieren oder den Inhalt im Allgemeinen zu verändern. Daher sieht das Konzept vor, die SD-Karte manuell zu entnehmen und dann über einen extra dafür vorgesehenen SD-Karten-Hub zu aktualisieren. Dadurch lassen sich mehrere SD-Karten gleichzeitig bearbeiten und führt damit zu einer signifikanten Zeiteinsparung für die Betreiber. Weiter wird die SD-Karte im Gehäuse auch so angebracht, dass eine einfache Entnahme ohne Werkzeug oder Ähnliches möglich ist. Theoretisch wäre es möglich gewesen eine USB-Schnittstelle zu implementieren. Allerdings muss man sich dann auch unmittelbar die Frage stellen ob es dann noch Sinn macht, den DOJO in-

duktiv zu laden. Beide Eigenschaften sind unmittelbar miteinander verknüpft. Die Entscheidung fiel dann auf die induktive Ladung der Anwendung.

**c) Optimierungs- / Weiterentwicklungsmöglichkeiten: Welche Optimierungsmöglichkeiten bestehen? Was könnte wie besser gemacht werden? Was muss bei einer Weiterentwicklung bedacht werden?**

Eine Weiterentwicklung des aktuellen Konzepts ist durchaus sinnvoll. Nachdem die Basis des DOJO umgesetzt und getestet wurde, ist viel technisches „Know-How“ vorhanden. Einerseits kann eine Aktualisierung der SD-Karte über ein drahtloses Netzwerk wie z.B Bluetooth oder W-LAN umgesetzt werden. Dadurch liesse sich jeglicher Kontakt mit der SD-Karte durch einen Mitarbeiter vermeiden. Fraglich ist an dieser Stelle jedoch in welchem Umfang Aktualisierungen vorgenommen werden, da die drahtlose Datenübertragung nicht unbegrenzt Daten übermitteln kann.

Ein weitere Möglichkeit ist die Umsetzung der Sprachwahl. Konzeptionell wurde diese im Verlaufe des Berichts erläutert aber nicht umgesetzt. Durch die automatische Konfiguration braucht es keinen Mitarbeiter, der die jeweilige Sprache konfiguriert. Softwaremässig kann dies mit bescheidenem Aufwand umgesetzt werden. Dabei werden alle Sprachen auf der SD-Karte platziert und mit einer entsprechenden Endung, wie z.B en, de oder it versehen. Durch die zugehörige Beacon-ID kann dann jeweils in allen Suchalgorithmen die Namensgebung hinzugefügt werden. Somit wird dann automatisch die richtige Audio-Datei mit der richtigen Sprache ausgegeben.

Like Button mit Netz.

## 7 Ehrlichkeitserklärung

Der Projektleiter bestätigt mit der Unterschrift, dass der Bericht selbst verfasst und alle Quellen sauber und korrekt deklariert wurden.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift Projektleiter

## Literatur

- [1] ANALOG DEVICES, “Data Sheet ADP122 Linear Regulator,” Website, unknown, online erhältlich unter [http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP122\\_123.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADP122_123.pdf); abgerufen am 26. April 2018.
- [2] Microchip, “Data Sheet MCP1703A Linear Regulator,” Website, unknown, online erhältlich unter <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005122B.pdf>; abgerufen am 26. April 2018.
- [3] Nordic Semiconductor, “nRF52832 Chip,” Website, unknown, online erhältlich unter [http://www.nordicsemi.com/node\\_206/node\\_305/Product-Related-News/Nordic-nRF52832](http://www.nordicsemi.com/node_206/node_305/Product-Related-News/Nordic-nRF52832); abgerufen am 27. April 2018.
- [4] —, “nRF52 Development Kit,” Website, unknown, online erhältlich unter <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/Bluetooth-low-energy/nRF52-DK>; abgerufen am 27. April 2018.
- [5] Adafruit, “Bone Conductor Transducer With Wires - 8 Ohm 1 Watt,” Website, unknown, online erhältlich unter <https://www.adafruit.com/product/1674>; abgerufen am 26. April 2018.
- [6] N. Peter, “Allgemeine Elektrotechnik,” 2009, unpublished thesis.
- [7] Wikipedia, “Knochenleitung,” Website, 2018, online erhältlich unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Knochenleitung>; abgerufen am 26. April 2018.

## Abbildungsverzeichnis

1	Dojo als Modell . . . . .	5
2	Teilsysteme des Dojo . . . . .	6
3	Anwendungsablauf des Dojos . . . . .	7
4	Sprachauswahl mittels Bluetooth-Beacon . . . . .	8
5	Prototyp Ladestation Frontansicht . . . . .	9
6	Prototyp Ladestation Draufsicht . . . . .	10
7	Prototyp Ladestation Ansicht von Unten . . . . .	10
8	Blockschaltbild Energiespeicherung . . . . .	12
9	ADP 122 Linearregler Spannungsverhalten . . . . .	13
10	MCP1703A Linearregler Spannungsverhalten . . . . .	14
11	nRF52832 Microcontroller . . . . .	14
12	nRF52 Development Kit . . . . .	15
13	Knochenschallaktor [5] . . . . .	16
14	Statemachine-Diagramm . . . . .	18
15	Statemachine: lookup . . . . .	19
16	Statemachine: Special Beacon . . . . .	20
17	Statemachine: Change Language . . . . .	21
18	Formatdefinition Lookup-File . . . . .	23
19	Ladekurve Lade-IC . . . . .	25
20	Induzierter Strom in Abhängigkeit der Distanz . . . . .	25

## **A Anhang**

### **A.1 Messresultate**

bcsjdbcsjbvsjvbs