

PFLICHTENHEFT

TECHNISCHER TEIL

FS18 - PRO4E - TEAM 5

31. März 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

Inhaltsverzeichnis

1	Übersicht	3
1.1	Ausgangslage	3
1.2	Projektziele	4
1.3	Lieferobjekte	5
2	Lösungskonzept	5
2.1	Systemgrenzen	5
2.2	Funktionen	6
2.3	Teilsysteme	7
2.4	Alternativer Ansatz	7
3	Bluetooth	8
3.1	Schnittstellen zu anderen Bereichen:	9
4	Speichern und Audio	9
5	Energiespeicher	11
5.1	Speicher	11
5.2	Überlade und Entladeschutz	13
6	Induktives Laden	13
7	Testkonzept	14
7.1	Gesamtsystem	14
7.2	Audiowiedergabe	14
7.3	Akkulaufzeit	14
7.4	Tiefentladungsschutz	14
7.5	Bluetooth	15

1 Übersicht

1.1 Ausgangslage

Das Projekt 4 ist das erste Projekt mit einem externen Auftraggeber. Jana Kalbermatter ist eine Designerin, die auch die Fachhochschule Nordwestschweiz besucht hat. Ihre Bachelor-Arbeit möchte sie nun umsetzen.

Sie hat eine Art Audio-Guide für Museen designt, welcher sie Dojo nennt. Ihre Arbeit beinhaltet das Design des Gehäuses und das dazugehörige Konzept. In ihrem Konzept hat sie die Funktionen des Dojo schon relativ genau definiert, jedoch ist sie offen für neue Ideen. Damit stellt sie die Rahmenbedingungen an das Projekt.

Das Konzept sieht einen Körperschallaktor vor, um die Audio-Files abzuspielen. Eine weitere Eigenheit ist auch der Like Button, mit dem man Ausstellungsstücke „ liken “ kann. Diese Likes werden 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.

Die Aufgabe besteht darin in einem ersten Schritt einen funktionierenden Prototypen zu bauen. Dieser soll noch nicht so klein werden, dass er in das ursprüngliche Gehäuse hinein passt. Die Integration soll in einem zweiten Schritt erfolgen. Dies dürfen jedoch nur die Teams machen, die einen genügend guten Prototypen haben.



Abbildung 1: Konzeptzeichnung des Dojo

1.2 Projektziele

Nr.:	Muss-Ziele:	Minimale Anforderungen
1.	Allgemeine	
1.1	Bedienung	Die Bedienung des Dojo entspricht dem Lastenheft
1.2	Gehäuse	Am Gehäuse wird möglichst wenig verändert
2.	Audio-Signal	
2.1	Leistung	Maximale Leistung RMS am Knochenschallaktor 214,5 mW
2.2	Audiodatei	Audiodatei entsprechend Beacon-ID abspielen.
3.	SD-Karte	Datentransfer (Daten können gelesen und geschrieben werden)
4.	Induktives Laden	die Ladung erfolgt Induktiv
5.	Energiespeicher	
5.1	Laufzeit	1 Arbeitstag unter max. Belastung
5.2	Elektrischer Schutz	Tiefenentladung & Überladung durch Regelung vermeiden
5.3	Grösse	17 x 17 x 55mm
5.4	Aufladen	Überladen durch Regelung vermeiden
5.5	Montage	Montage auf Printplatine
6.	Bluetooth	
6.1	Lokalisation Kunstobjekt	Erkennung von Beacons auf 3 m Entfernung
6.2	Identifikation Kunstobjekt	Automatische Auswahl von Beacon mit stärkstem Signal und Unterscheidung der Beacons mittels Beacon-ID
	Wunschziele:	
1.	Daten-Austausch	Bluetooth-Funktionserweiterung um Daten in Dojos Speicher zu laden/löschen mit einer Geschwindigkeit von 1 Mbps
2.	Lokalisation Dojo	Sendender Dojo-ID auf Anfrage (via Bluetooth)
3.	Berechtigung Raumzutritt	Möglichkeit der Raumauswahl durch Aktivieren/Deaktivieren von Beacon-Gruppen

Tabelle 1: Projektziele

1.3 Lieferobjekte

Objekt	Form	Empfänger	Termin
Kriterien der Zusammenarbeit (KIS)	Als PDF per E-Mail	Arbeitgeber /Fachbetreuer	20.02.18
Pflichtenheft org. Teil	Als PDF per E-Mail	Arbeitgeber /Fachbetreuer	13.03.18
Pflichtenheft tech. Teil v1	Als PDF per E-Mail	Arbeitgeber /Fachbetreuer	13.03.18
Pflichtenheft tech. Teil	Als PDF per E-Mail	Arbeitgeber /Fachbetreuer	27.03.18
Statusbericht 1	Als PDF per E-Mail	Arbeitgeber /Fachbetreuer	27.03.18
Zwischenpräsentation	Englisch mündlich	Projektdozenten	10.04.18
Statusbericht 2	Als PDF per E-Mail	Arbeitgeber /Fachbetreuer	28.04.18
Einleitung und Disposition	Als PDF per E-Mail	R.Dubach	08.05.18
Statusbericht 3	Als PDF per E-Mail	Arbeitgeber /Fachbetreuer	15.05.18
Statusbericht 4	Als PDF per E-Mail	Arbeitgeber /Fachbetreuer	05.06.18
Schlusspräsentation	Englisch mündlich	Projektdozenten	12.06.18
Fachbericht	gebundenes Heft	Arbeitgeber /Fachbetreuer	12.06.18
PMA-Bericht	gebundenes Heft	P.Buchschacher	12.06.18
Dojo	Print	Arbeitgeber /Fachbetreuer	12.06.18
Projektdaten	USB-Stick	Arbeitgeber /Fachbetreuer	12.06.18

Tabelle 2: Lieferobjekte

2 Lösungskonzept

Das Lösungskonzept soll von aussen nach innen definiert werden. Darum werden zuerst die Systemgrenzen definiert. Anschliessend werden die Funktionen beschrieben. Diese werden nachfolgend in Teilsysteme unterteilt. Am Schluss wird noch ein alternativer Ansatz diskutiert, der aber nicht weiterverfolgt wird.

2.1 Systemgrenzen

Wie der nachfolgenden Abbildung 2 entnommen werden kann, wird sich das Projekt auf den Dojo konzentrieren. Alle Systeme die es für das Gesamtsystem Museum braucht, sollen nicht betrachtet werden. Die Schnittstellen werden soweit definiert, dass die Einbindung in ein Gesamtsystem keine Probleme bereiten sollte.

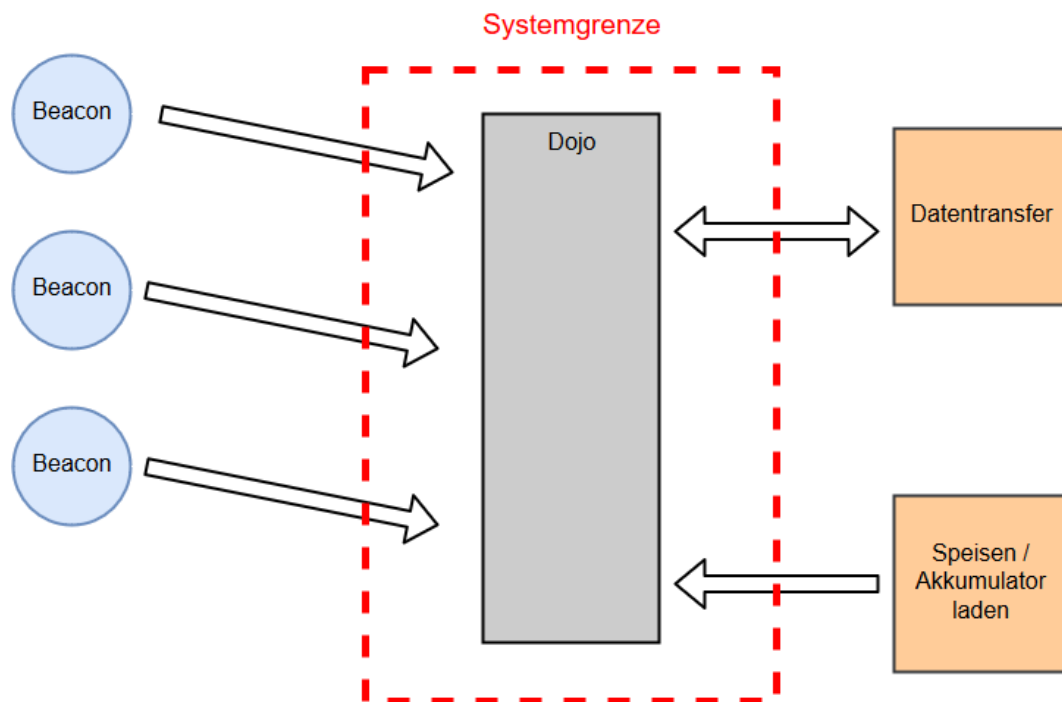


Abbildung 2: Systemgrenzen des Dojo

2.2 Funktionen

Die Funktionen sind in zwei Bereiche unterteilt. Einerseits sind die Funktionen für die Museumsbesucher beschrieben, welche nachfolgend als Nutzer bezeichnet werden. Zum anderen die für die Museumsbetreiber relevanten Funktionen. Diese werden nachfolgend als Betreiber bezeichnet.

Nutzer

Der Nutzer 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 Nutzer 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. Dies fällt aber nicht mehr in die zuvor definierten Systemgrenzen. Wir stellen nur sicher, dass die Liste exportiert werden kann.

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 Wunschziele, 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.

2.3 Teilsysteme

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 3. 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. Diese Teilsysteme werden in den nachfolgenden Kapiteln noch genauer erläutert.

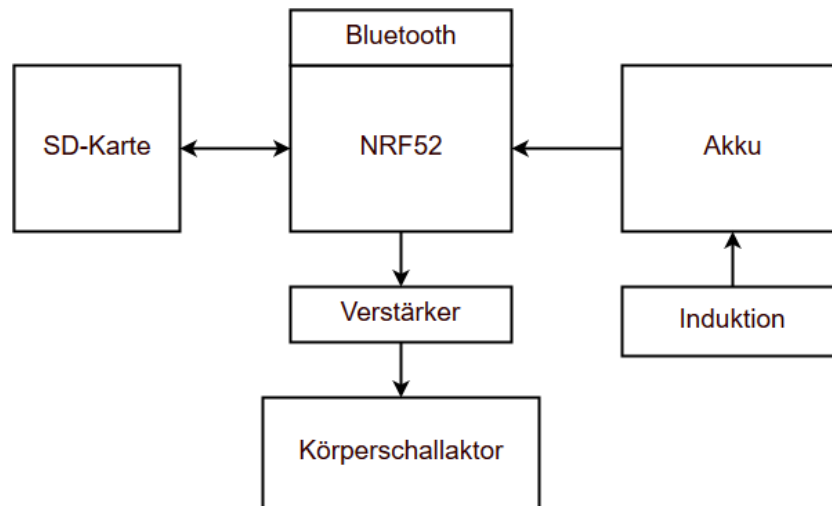


Abbildung 3: Teilsysteme des Dojo

2.4 Alternativer Ansatz

In der untenstehenden Abbildung 4 wird der alternative Ansatz gezeigt. Es gibt mehrere Gründe die gegen diesen Ansatz sprechen.

- Der Mux ist schwierig zu realisieren
- Die SD-Karte über USB zu beladen ist anspruchsvoll
- Auf den meisten Bluetooth-Modulen(HM-10) ist ein ähnlicher Chip verbaut wie der NRF52
- Induktives Laden ist spannender als mit USB

Diese Gründe und das Gespräch mit Herr Gysin haben uns dazu veranlasst diese Variante zu verwerfen.

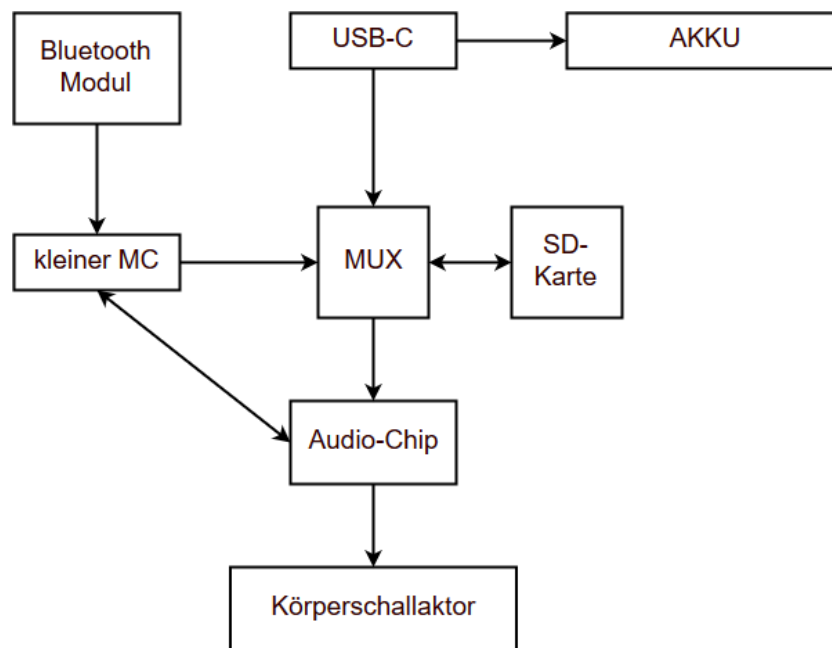


Abbildung 4: Alternatives Lösungskonzept

3 Bluetooth

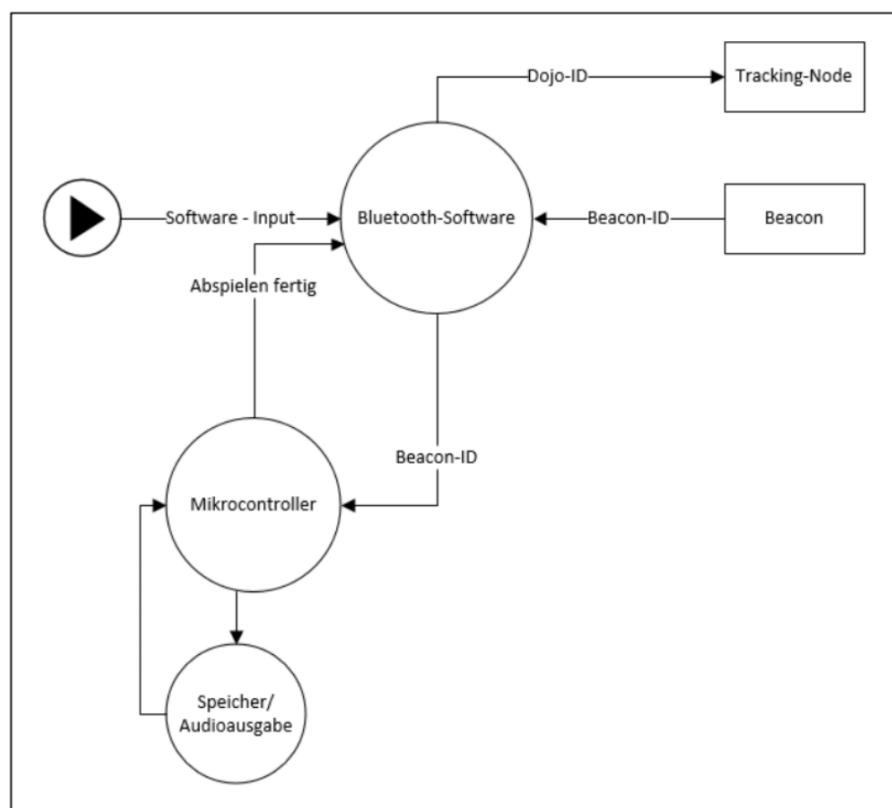


Abbildung 5: Grobstruktur der Bluetooth-Software

Obenstehende Abbildung 5 zeigt die Grobstruktur der Bluetooth-Software. Über die Software erfolgt ein Input (Software – Input), welche das Suchen von Bluetooth Signalen in der Nähe auslöst. Vom Beacon mit dem stärksten Signal wird dann die Beacon-ID empfangen. Diese Beacon-ID wird Software-intern weitergeleitet, um das zugehörige Audio-File abzuspielen. Während des Abspielens der Audio-Datei ist das weitere Suchen deaktiviert, um Überschneidungen von Programmabläufen und daraus resultierende mögliche Fehler zu minimieren. Nach dem Abspielen einer Audio-Datei wird das Suchen wieder ermöglicht. Um den Raumzutritt zu kontrollieren, werden die Beacons in entsprechende Raumgruppen unterteilt, welche dann am Museumseingang von einem Mitarbeiter aktiviert oder deaktiviert werden können. Für ein mögliches Einbinden des Dojo in ein Tracking-System wird der Dojo in der Lage sein, seine eigene Erkennungsnummer auf Anfrage zu senden, ähnlich wie ein Beacon.

3.1 Schnittstellen zu anderen Bereichen:

Dojo soll, um Energie zu sparen, erst per Knopfdruck das Kunstobjekt mit der stärksten Signalstärke suchen und die entsprechende Datei dafür abspielen. Dies führt Software-intern zu einer Parameterübergabe an die Audio-/Speichersektion. Während der Audiowiedergabe soll das BT ausgeschaltet bleiben, weshalb wiederum Software-intern eine Parameterübergabe bzw. -Abfrage erfolgen muss. Dies soll verhindern, dass während der Audio-Wiedergabe das Suchen und Abspielen eines weiteren Objekts möglich ist. Beim Wunschziel Daten-Austausch herrscht eine enge Verbundenheit zwischen BT und Speicher.

4 Speichern und Audio

Die Ausgabe der gewünschten Audio-Dateien wird mit einem sogenannten Körperschallaktor umgesetzt welcher in Abbildung 6 ersichtlich ist. Dieser ermöglicht es, die ausgesendeten Schwingungen über den Schädelknochen weiterzuleiten. Dadurch kann das Mittelohr umgangen werden und die Hygiene verbessert werden, da kein direkter Kontakt mit dem Gehörgang stattfindet. Für den Bau eines Prototyps wird ein Körperschallaktor des Herstellers Adafruit verwendet.

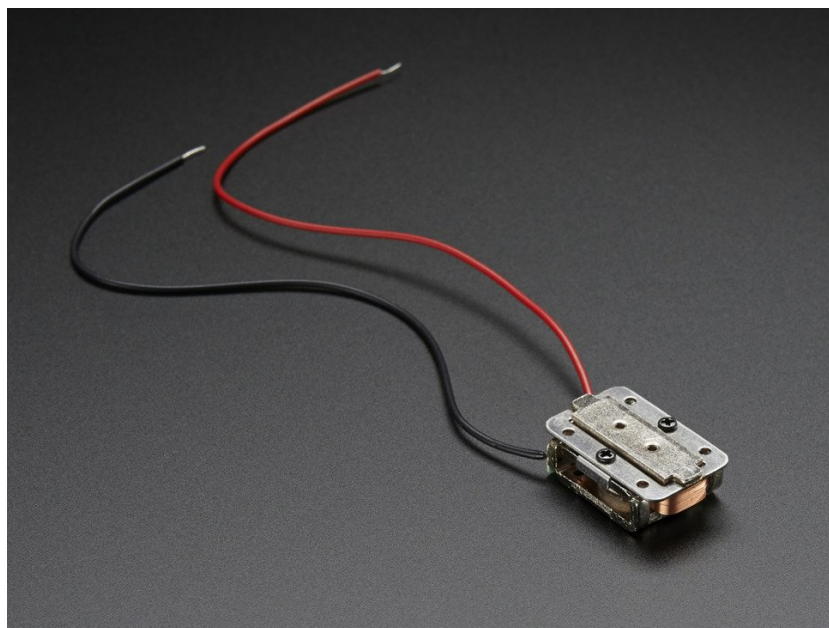


Abbildung 6: Körperschallaktor von Adafruit

Das Ziel ist es, bei möglichst geringem Energieverbrauch, eine möglichst intensive Lautstärke, bei guter Audioqualität zu erzielen. Die Steuerung und Ausgabe der verschiedenen Audiosignale wird von einem zentralen Mikrocontroller übernommen. Ausserdem muss das Audiosignal verstärkt werden. Damit der Energieverbrauch möglichst gering bleibt, wird die Verstärkerstufe wenn möglich digital umgesetzt. Dadurch kann die Anzahl der analogen Bauelemente verringert werden und somit auch der Platzbedarf klein gehalten werden. Als Verstärkerstufe dient der Stereo-Amplifier MAX 98306 oder ein Mono-Amplifier mit ähnlichen Eigenschaften, da nur ein Kanal als Ausgang benötigt wird. Als maximale Ausgangswerte gelten folgende RMS-Referenzwerte: Ein Ausgangsstrom von 150 mA und eine Ausgangsspannung von 750 mV. Der Leistungsverbrauch der Verstärkereinheit ergibt sich aus den folgenden gemessenen Werten:

- Strom = 65 mA
- Spannung = 3,3 V

Daraus ergibt sich eine Leistung von 214,5 mW.

Die Speichereinheit wird mit einer externen SD-Karte umgesetzt, die dann manuell entfernt und beschrieben werden kann. Das bedeutet auch, dass die Platzierung der SD-Karte möglichst elegant am Gehäuse erfolgen muss. Zur Aktualisierung kann das Konzept eines prinzipiellen SD-Karten-Hubs, gemäss Abbildung 7 verwendet werden. Dadurch werden mehrere SD-Karten parallel aktualisiert.



Abbildung 7: SD-Karten-Hub, Prinzipieller Aufbau

Alternativ wird versucht den Datentransfer zur Aktualisierung einzelner Elemente der SD-Karte über die Bluetooth-Verbindung umzusetzen. Die Kommunikation über USB wird vernachlässigt. Damit der Mikrocontroller eine aktive Verbindung zur Speichereinheit hat, wird eine entsprechende SPI-Schnittstelle für den Datentransfer zwischen Speichereinheit und Mikrocontroller eingerichtet. Somit kann sich der Mikrocontroller entsprechend der Bluetooth-ID, das jeweils zugehörige Audio-File holen, über die Verstärkerstufe aufbereiten und anschliessend über den Körperschallaktor ausgeben. Damit die Zuordnung der Beacon-ID und der Audio-Datei funktioniert, wird eine Liste (.csv, .txt, ...) auf der SD-Karte abgelegt, mit welcher die Zuordnung klar definiert ist. Die Audio-Files werden im Format .wav verwendet. Das spätere Verwenden von MP3-Dateien gilt lediglich als Wunschziel. Da die wav-Dateien relativ gross sind, ca. 10 MB pro Spielminute, wird eine entsprechende SD-Karte mit grosser Speicherkapazität benötigt. Ausgehend von einer Abspielzeit von 4 Stunden ergibt sich pro Sprache ein gerundeter Speicherplatzbedarf von 2,5 GB. Das macht bei 4 Sprachen (DE, IT, FR, EN) einen Bedarf von 10 GB. Mit der Verwendung einer 16 GB SD-Karte ist somit genügend Platz vorhanden und es

könnten noch eine oder zwei zusätzliche Sprachen implementiert werden. Die Wahl der Sprache wird vom Personal via Bluetooth konfiguriert.

5 Energiespeicher

Die gesamte Energiespeicherung wird in einzelne Komponenten aufgeteilt, wobei Abbildung 8 einen groben Überblick zum Aufbau gibt.

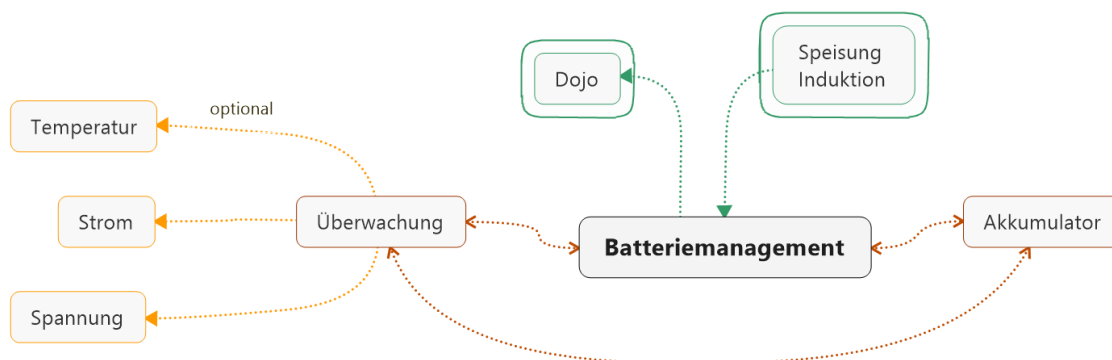


Abbildung 8: Blockschaltbild Energiespeicherung

Das Batteriemanagement bildet den Kern der gesamten Einheit und übernimmt, wie der Name schon sagt, das gesamte Management zwischen Batterie und Speisung. Der Akkumulator wird durch Überwachungsparameter wie Strom und Spannung kontrolliert und übernimmt die gesamte Energieversorgung des Dojos. Die Überwachung der Temperatur ist lediglich notwendig falls eine Schnellladefunktion implementiert wird. Dieses Zusatzfeature bleibt aber ein Wunschziel und wird in erster Linie nicht weiterverfolgt.

5.1 Speicher

Der Akkumulator besteht aus Lithium-Ionen Zellen, welche zusammen eine Spannung von 3.6V aufweisen. Aufgrund der 17mm Innendurchmesser des Dojos, sind die Abmessungen und somit auch die Auswahl an möglichen Energiespeichern relativ fix gegeben. Die notwendige Kapazität kann durch die zwei Faktoren Zeit und Energieverbrauch berechnet werden. Die Betriebszeit sollte hierbei einen Aufenthalt ohne Ladezyklus ermöglichen. Durchschnittlich haben Museen an einem Tag rund 7h geöffnet, wobei mit einem durchschnittlichen Aufenthalt von drei bis vier Stunden pro Person gerechnet wird. Die Betriebszeit des Dojos ermöglicht eine Betriebszeit von fünf Stunden, wobei durch Ladezyklen zwischen den Besuchen eine ganztägiger Betrieb ermöglicht wird. Um dies zu veranschaulichen, gibt nachfolgende Abbildung 9 einen Einblick ins Konzept.

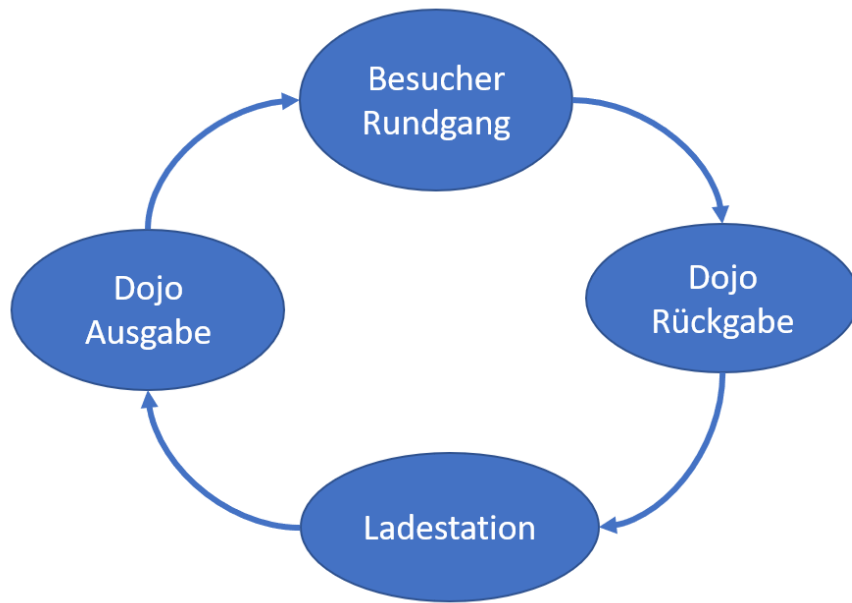


Abbildung 9: Ladezyklus Dojo

Wie bereits oben beschrieben, beträgt die Betriebszeit eines durchschnittlichen Rundganges rund drei bis vier Stunden. Sobald die Rückgabe erfolgt ist, wird das Dojo in die Ladebuchse gesteckt wobei immer diese Dojos rausgegeben werden, welche sich am längsten in der Ladestation befinden. Bei einer Stückzahl welche grösser ist als die Besucherzahl, erlaubt dies einen lückenlosen Betrieb. Die notwendige Kapazitätsberechnung wird durch Formel 5.2 beschrieben. 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 der Zielnummer 2.1 in Kapitel 4 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 μ A) multipliziert mit der Systemspannung von 3.6V bestimmen. Zur Berechnung wird noch ein Sicherheitsfaktor von 0.1W dazu addiert, damit die erforderliche Laufzeit auch wirklich erreicht wird. Nachfolgende Formel 5.1 zeigt die Berechnung der Microcontrollerleistung und Formel 5.2 zeigt die Kapazitätsabschätzung.

$$P_{MC} = U \cdot I_{MC} = 3.6V \cdot 7.6mA = 27.36mW \quad (5.1)$$

$$Q = \frac{(t \cdot 0.8 \cdot P_{Kn}) + (t \cdot P_{MC}) + (t \cdot P_{zus})}{U} = \frac{(5h \cdot 0.8 \cdot 0.5W) + (5h \cdot 27.36mW) + (0.1W \cdot 5h)}{3.6V} = 0.566Ah \quad (5.2)$$

Die geforderte Kapazität liegt gemäss Formel 5.2 bei 0.566Ah. Unabhängig von der Grösse der Batterie ist der Schutz vor äusseren Einflüssen. Hierbei kann mittels einer gezielten Überwachung die Lebensdauer der Batterie wesentlich verlängert und die anfallenden Nebenkosten vermindert werden. Diese Thematik wird im nachfolgenden Unterkapitel 5.2 genauer erläutert.

5.2 Überlade und Entladeschutz

Der Überlade- und Entladeschutz, besteht aus der Überwachung des Ladeprozesses wie auch der Signalisation bei Unterschreitung einer definierten Spannungsschwelle. Die Überwachung beim Ladezyklus erfolgt durch eine Spannungsüberwachung welche gemäss der nachfolgend aufgeführten Abbildung 10 erfolgt.

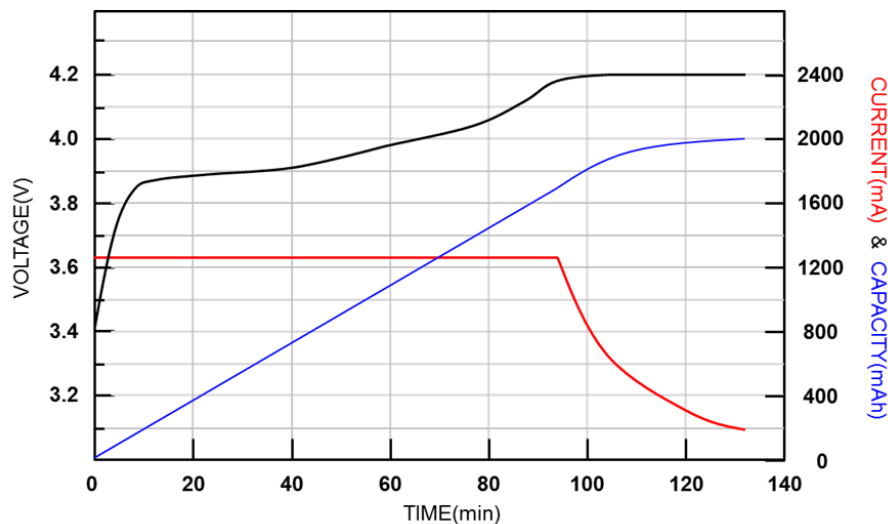


Abbildung 10: Blockschaltbild Energiespeicherung

Hierbei ist gut ersichtlich, dass die letzten ca. 20% der Aufladung auf einem Spannungslevel von 4.2V erfolgen. Für die Regelung wird ein Batterielade-IC vom Typ MCP73831T verwendet. Während dem Ladevorgang kann hierbei zusätzlich 1 LED für die Signalisation des Ladevorgangs angesteuert werden. Für die Entladeüberwachung gibt es zwei Möglichkeiten welche noch von der Batterie abhängig sind. Bei der einen Variante kann die Spannung der Batterie auf zwei Pins am Microcontroller angeschlossen und auf dem Microcontroller selber überwacht werden. Dies gewährleistet dass bei niedriger Spannung das gesamte System heruntergefahren und so der Akku vor Tiefentladung geschützt werden kann. Bei der anderen Variante weist der eingebaute Akku bereits ein Tiefentladungsschutz vor und schaltet sobald eine bestimmte Spannungsschwelle unterschritten wird die Energieversorgung ab. Da momentan noch kein 100% passender Akku gefunden wurde, bleibt es noch offen welche Variante schlussendlich realisiert wird.

6 Induktives Laden

Um den Energiespeicher des Dojos aufladen zu können, wird eine induktive Ladeschaltung eingebaut. In einer externen Ladevorrichtung wird die Netzspannung umgewandelt und auf eine Spule gegeben. Diese Spule erzeugt somit ein magnetisches Feld. Ist der Dojo in Reichweite zu dieser Apparatur und somit im induzierten Energiefeld, wird die Energie von diesem in elektromagnetischer Form in den Dojo transportiert und dort umgewandelt. In der Spule, die sich im Dojo befindet, wird so eine Wechselspannung induziert. Um diese Spannung für die Akkuladung nutzbar zu machen, wird diese mithilfe eines Gleichrichters angepasst und anschliessend noch geglättet. Einen Überblick über die Grobstruktur der Komponenten für die induktive Ladung, gibt Abbildung 11. Der Vorteil der induktiven Lademethode besteht darin, dass ein komplett geschlossenes Gehäuse verwenden werden kann und dadurch der Dojo vor eindringender Feuchtigkeit oder Schmutz geschützt ist. Dies wirkt sich auch positiv auf seine Lebenszeit aus. Des

weiteren können aufgrund fehlender Anschlüsse auch keine Abnutzungserscheinungen auftreten, welche durch häufiges ein- und ausstecken auftreten können.

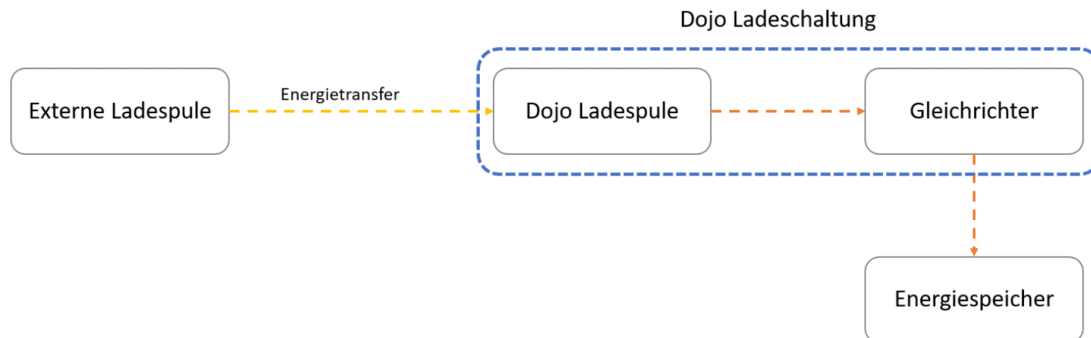


Abbildung 11: Grobstruktur induktives Laden

7 Testkonzept

In den nachfolgenden Abschnitten wird erläutert, welche Teilsysteme und Komponenten getestet werden.

7.1 Gesamtsystem

Die ID eines Bluetooth-Beacons soll empfangen und entsprechend interpretiert werden. Aufgrund dieser ID wird dann das entsprechende Audio-Signal vom Mikrocontroller aus dem Speicher geholt und abgespielt.

7.2 Audiowiedergabe

Die Audiowiedergabe kann einzeln getestet werden. Dazu wird mit einem kleinen Testprogramm eine Audiodatei über den NRF52832 auf den Knochenschallaktor ausgegeben. Dabei kann die Audioausgabe auf die Funktionalität (Wird das Audio-File wiedergeben?) und die Qualität (Lautstärke, Verzerrung) getestet werden.

7.3 Akkulaufzeit

Um die Akkulaufzeit zu testen, wird mit dem Prototyp dauerhaft eine Audiodatei abgespielt. Dies verbraucht am meisten Energie und eignet sich somit bestens, um die maximale Laufzeit zu ermitteln. Für die Umsetzung wird dazu ein entsprechendes Testprogramm auf den Mikrocontroller geladen und ausgeführt.

7.4 Tiefentladungsschutz

Um die Funktion des Tiefentladungsschutz zu testen, wird der Akku bis auf seine untere Entladungsgrenze belastet und dann getestet ob der Tiefentladungsschutz das Gerät abschaltet. Dazu lassen sich zuvor berechnete Werte bestens mit gemessenen Werten vergleichen, um eine entsprechende Aussage über die Funktionalität machen zu können.

7.5 Bluetooth

Es wird überprüft ob ein Bluetooth Beacon erkannt werden kann und auf welche Entfernung er erkannt wird. Weiter wird das Systemverhalten bei mehreren vorhandenen ID-Signalen überprüft. Über die ID-Nummer oder über das auszugebende Audio-File kann erkannt werden, ob die richtige ID vom Mikrocontroller verarbeitet wird.