
Bachelorarbeit Code & Context

Entwicklung und Evaluation der User Experience eines sensor-unterstützten Artefakts

Bachelorarbeit zum Erlangen des Bachelorgrades
Bachelor of Science im Studiengang Code & Context
an der Fakultät für Informatik und Ingenieurwissenschaften
der Technischen Hochschule Köln

vorgelegt von: Valerij Leis
Matrikel-Nr.: 111 399 03
Adresse: Bonner Straße 307
50968 Köln
valerij.leis@hotmail.de

eingereicht bei: Prof. Dr. Jonas Schild
Zweitgutachter/in: Prof. Dr. Christian Faubel

Köln, 07.12.2022

Erklärung

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer oder der Verfasserin/des Verfassers selbst entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für diese Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Köln, 7.12.2022

Ort, Datum


Rechtsverbindliche Unterschrift

Kurzfassung/Abstract

Deutsch

Ein Artefakt wird mit einem Mikrocontroller und Sensoren ausgestattet, sodass diese die Wahrnehmung des Artefakts auf künstliche Weise ergänzen und dadurch die Immersion erhöhen. Das Artefakt gibt visuelles und auditives Feedback, wenn es benutzt wird. Ziel ist es, herauszufinden, ob eine solche künstliche Augmentation eines Objekts dazu führt, dass Menschen ein solches Objekt in der Nutzung einem Objekt ohne Augmentation mit Sensorik und dem daraus resultierenden Feedback vorziehen. Um diese Frage zu beantworten, wird ein Benutzertest mit 20 Teilnehmer*innen durchgeführt. 10 Teilnehmer*innen benutzen ein Artefakt mit Sensoren und 10 Teilnehmer*innen benutzen ein Objekt ohne Sensoren.

English

An artefact is equipped with a microcontroller and sensors so that they complement the perception of the artefact in an artificial way, thereby increasing immersion. The artefact gives visual and auditory feedback when it is used. The aim is to find out whether such artificial augmentation of an object leads to people preferring to use such an object over an object without augmentation with sensor technology and the resulting feedback. To answer this question, a user test is conducted with 20 participants. 10 participants use an artefact with sensors and 10 participants use an object without sensors.

Inhalt

Erklärung	I
Kurzfassung/Abstract	II
Inhalt	III
Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Abkürzungen	VII
1 Einleitung	8
MVP	
2 Grundlagen.....	11
Vergleichbare Arbeiten.....	11
VR-Stepper	11
Tangible VR Objects	12
3.1.1 MH-SD Card Module	13
3.1.2 SD-Karte	13
3.1.3 LM386	13
3.1.4 GY-521.....	14
3.1.5 TP4056.....	14
3.1.6 REED-Kontakt	14
3.1.7 Lautsprecher	15
3.1.8 LiPo Akku	15
3.1.9 3D-Drucker	16
3.1.10 Lochrasterplatine	16
3.1.11 Kupferlackdraht	16
3.1.12 NeoPixel / WS2812 RGB LED	17
3.1.13 Kippschalter.....	17
3.2.1 Arduino IDE	18
3.2.2 Slicer-Programm	18
3.2.3 SimpleSDAudio Arduino Library	19
3.2.4 SoX - Sound eXchange Audio Converter.....	19
4 Aufbau der Kiste.....	20
4.1.1 Code	20
4.1.2 Hardware Erkenntnisse	22
4.2 Aufbau der Kiste nach dem MVP.....	22
4.2.1 Die Platine	22
4.2.2 Neue Interaktionen	26
5 Struktur des User-Tests, Hypothesen und Ergebnisse	30
5.1 Strukturierung des Benutzertests	30
5.2 Hypothesen	30
5.3 Auswertung	31
5.4 Ergebnisse und Interpretation.....	32

6 Diskussion.....	36
6.1 Zukünftige Verbesserungen.....	36
6.2 Weitere Gestaltungsmöglichkeiten	36
6.3 User-Test	37
6.4 Preis.....	37
7 Fazit.....	39
Literaturverzeichnis	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Pinbelegung.....	22
Tabelle 2 Pinbelegung neue Interaktionen	29
Tabelle 3 Materialkosten für das Artefakt	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Artefakt als 3D Datei.....	10
Abbildung 2 LM386 Pinout	14
Abbildung 3 Funktionsweise REED-Kontakt (Abbildung von Valerij Leis)	15
Abbildung 4 Eine Lochrasterplatine	16
Abbildung 5 Schatztruhe auf dem 3D-Druckbett.....	18
Abbildung 6 Codeschnipsel der Steuerung und des Auslesens des REED-Kontakts	20
Abbildung 7 Codeschnipsel der Steuerung und des Auslesens des Gyroskops	21
Abbildung 8 Arduino Uno im Vergleich zu Arduino Nano. (<i>Comparación Arduino Uno – Arduino Nano</i> . 16. Dezember 2019).....	23
Abbildung 9 Sensoren und Arduino Nano auf der Lochrasterplatine. 1. Arduino Nano, 2. MH-SD Card Module, 3. GY-521, 4. LM386, 5. TP4056.....	24
Abbildung 10 Plus- und Minus Schiene auf der Platine	24
Abbildung 11 Verbindungen mit Kupferlackdraht.....	25
Abbildung 12 3D-Druck von der Platinen Abdeckung	25
Abbildung 13 Schließmechanismus der Kiste. 1.Stationär, 2.Beweglich.....	26
Abbildung 14 Codeschnipsel der Steuerung der NeoPixel.....	27
Abbildung 15 Verbindung von LED und Schloss durch Flachbandkabel zum Arduino	28
Abbildung 16 Das Artefakt Stand Praxisprojekt zum Vergleichen der Platzersparnis	28
Abbildung 17 Auswertung UEQ der Kiste mit Sensorik.....	32
Abbildung 18 Mittelwert der Auswertung von dem UEQ für die Kiste mit Sensoren ..	32
Abbildung 19 Grafische Darstellung der Mittelwerte der Kiste mit Sensoren.....	32
Abbildung 20 Grafische Darstellung der Mittelwerte der Kiste ohne Sensoren	33
Abbildung 21 Mittelwert der Auswertung von dem UEQ für die Kiste ohne Sensoren	33
Abbildung 22 Direkter Vergleich der 2 Kisten	33

Abkürzungen

1. **MVP** - Minimum Viable Product
2. **SMD** - Surface-mounted device
3. **IC** - Integrated Circuit
4. **DIY** - Do it yourself
5. **UEQ** - User Experience Questionnaire

1 Einleitung

In dieser Bachelorarbeit geht es um ein Artefakt, das nachträglich künstlich aufgewertet wird. Diese Aufwertung soll ein Artefakt immersiver machen und gleichzeitig die User Experience fördern.

Künstliche Erweiterung bezieht sich hier auf den Prozess der Weiterentwicklung eines Artefakts mit einem Mikrocontroller - wie dem Arduino - und mit Sensoren, sodass diese erkennen, was mit dem Artefakt bzw. Objekt geschieht oder wie es benutzt wird.

„Das Verhalten eines Objekts und die Art und Weise, wie dieses Verhalten ausgedrückt wird - z. B. durch Bewegung, Audio usw. - wird für die Definition der Gesamterfahrung, die ein Benutzer bei der Interaktion mit dem Objekt macht, äußerst wichtig“ (Spadafora et al, 2016, p. 70).

Immersion beschreibt das Gefühl, sich in einer Umgebung zu befinden; kann ein rein mentaler Zustand sein oder durch physische Mittel erreicht werden: physische Immersion ist ein bestimmendes Merkmal von VR; mentale Immersion ist ein Hauptziel der meisten Medienhersteller*innen (Sherman, 2018).

Es gibt außerdem verschiedene Arten der Immersion. Zum einen die physische/sensorische Immersion und zum anderen die mentale Immersion.

„Die physische Immersion wird dadurch erreicht, dass dem Nutzer eine virtuelle Welt präsentiert wird und er als Reaktion auf seine Position und seine Aktionen synthetische Reize für einen oder mehrere seiner Sinne erhält.“ (Sherman, 2018)

„Das Niveau, in dem die mentale Immersion für ein bestimmtes Erlebnis wünschenswert ist, hängt von den Zielen des jeweiligen Erlebnisses ab. Wenn das Erlebnis zu Unterhaltungszwecken konzipiert ist und sein Erfolg darauf beruht, wie sehr sich der Teilnehmer in das Spiel vertieft, sodass er es weiterspielen und seinen Freunden davon erzählen möchte, spielt die mentale Immersion eine Schlüsselrolle für die Erfüllung des Erlebnisses. Andere virtuelle Welten, wie sie in Büchern beschrieben werden, hängen ebenfalls stark von der mentalen Immersion ab.“ (Sherman, 2018)

In dieser Bachelorarbeit werden zudem ähnliche Arbeiten verglichen, die den gleichen Ansatz haben und das gleiche Ziel verfolgen, nämlich die Immersion zu verbessern, die User Experience zu steigern und mit Mikrocontrollern und Sensoren zu arbeiten.

Die Ergebnisse des Praxisprojekts bilden die Grundlage dieser Bachelorarbeit. Im Praxisprojekt wurde ein Artefakt in Form einer Schatztruhe als Minimum Viable Product (MVP) erstellt. Das Ergebnis ist ein Artefakt, das Effekte durch physische Interaktion bietet, während der eigentliche Nutzen des Artefakts als Kiste nicht erhalten geblieben ist. In folgender Ausarbeitung wird die Funktionsweise daher konzeptuell so realisiert, dass das Artefakt weiterhin als Kiste genutzt werden kann. Dazu wird eine Platine entwickelt, auf der die Elektronik verlötet und angeschlossen wird. Außerdem werden wei-

tere Interaktionen implementiert (Kapitel 3.2.1 – 3.2.2). Die Auswirkung dieser erweiterten Funktionalität auf das Nutzererlebnis wird in einer Nutzerstudie untersucht (Kapitel 4.)

Ziele

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, das MVP-Artefakt aus dem Praxisprojekt zu vervollständigen und zu verbessern und die immersiven Interaktionen zu ergänzen. Im Zuge eines User-Testings soll gezeigt werden, dass ein Artefakt mit Sensoren die Nutzererfahrung verbessert.

Im Zuge dieser Bachelorarbeit werden drei Ziele zur Verbesserung des sensor-unterstützten Artefaktes gesetzt:

- Das erste Ziel ist es, die Stromversorgung des Artefaktes zu optimieren. Für ein MVP ist diese Stromversorgung über eine 9-Volt-Blockbatterie völlig ausreichend, aber für ein Artefakt, das immer wieder genutzt werden soll, würde diese Batterie langfristig nicht ausreichen. Des Weiteren ist die Blockbatterie zu groß für die Abmessungen der Kiste. Daher wird die Blockbatterie durch einen LiPo-Akku ersetzt. Der Vorteil dabei ist, dass der LiPo-Akku wiederaufladbar und damit langlebiger ist als die Blockbatterie. Außerdem ist ein LiPo-Akku kleiner als eine Blockbatterie und hilft auch, den Platzmangel zu lösen (siehe 3.1.8 LiPo Akku).
- Das zweite Ziel - im Sinne platzsparender Maßnahmen - ist es, alle Sensoren sowie den Arduino und die restliche Elektronik auf eine sogenannte Lochrasterplatine zu löten (siehe 3.1.10 Lochrasterplatine). Ebenfalls wird der Arduino Uno durch den gleich starken jedoch kleineren Arduino Nano ersetzt (Abbildung 8). Die gesamte Elektronik wird dann auf der Unterseite der Platine zusammengeklebt (Abbildung 11).
- Das dritte Ziel ist es, das Artefakt mit neuen Interaktionen auszustatten. Da es bereits auditive Feedbacks gibt, soll zusätzlich ein visuelles Feedback hinzugefügt werden. Die visuelle Rückmeldung im Artefakt wird mithilfe einer LED-Leuchte realisiert. In Anlehnung an den Film *Pulp Fiction*, soll die Illusion eines Goldschatzes im Inneren der Kiste simuliert werden. Dafür wurden adressierbare LED-Leuchten auf das gelb-goldene Spektrum programmiert (siehe Kapitel 4.2.2 Neue Interaktionen).

MVP

Im Praxisprojekt wird das Konzept eines künstlich verbesserten Artefakts untersucht. Dabei wurde der Umgang mit Sensorik, Elektronik und Hardware erlernt. Die Arduino-Plattform wurde hier sowohl als Mikrocontroller als auch in Form einer Programmierungsumgebung erforscht.

Die ersten hier im MVP entstandenen interaktiven Funktionen bestanden aus drei Sound-Feedbacks. Das Öffnen und Schließen sowie das Schütteln der Kiste. Für diese Interaktionen wurden der Reed-Kontakt und der Gyroskop-Sensor verwendet.

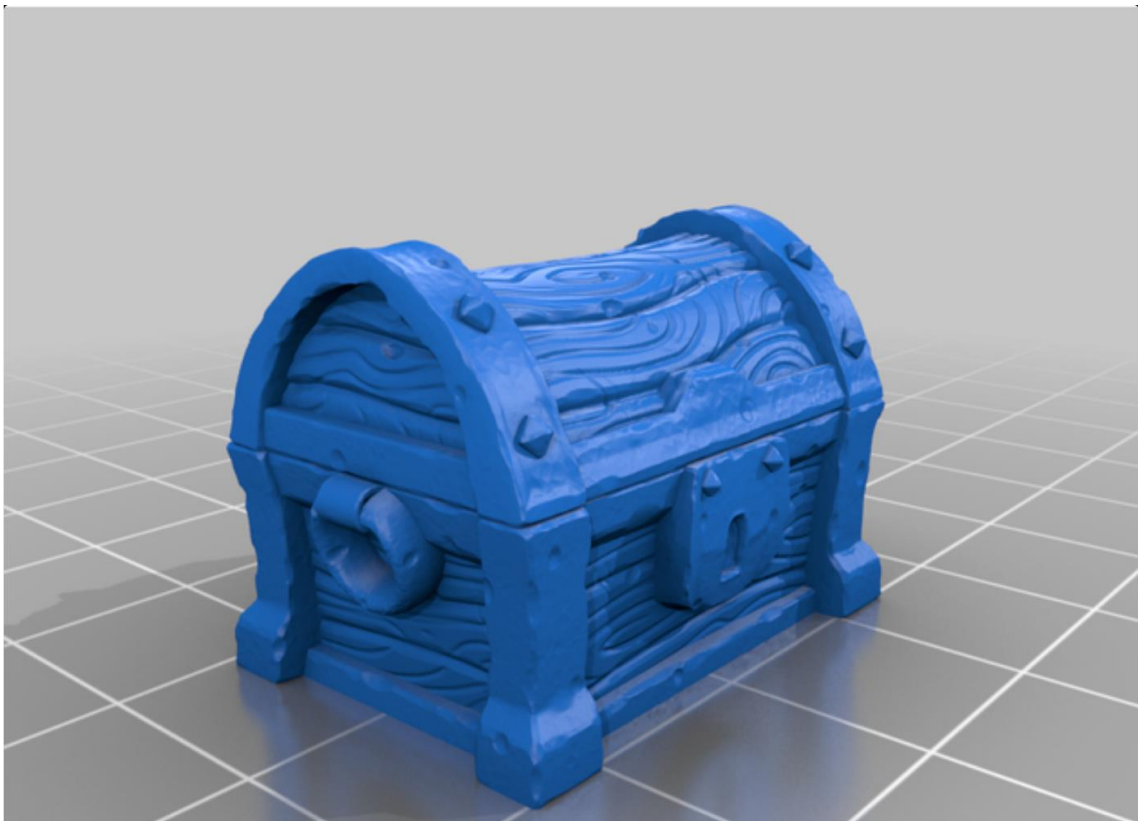


Abbildung 1 Artefakt als 3D Datei

Diese 3D-gedruckte Kiste wurde als Artefakt sowohl im Praxisprojekt als auch in der Bachelorarbeit verwendet. Die Vorlage für den 3D-Druck wurden von dem User „makersAnvil“ der Website *thingiverse* übernommen. Die 3D-Daten für dieses Modell sind unter folgendem Link zu finden:

<https://www.thingiverse.com/thing:4888381> Letztes Zugriffsdatum: 28.11.2022

2 Grundlagen

Vergleichbare Arbeiten

In diesem Kapitel werden einige Arbeiten aufgeführt, die einen vergleichbaren Ansatz zum Thema der vorliegenden Arbeit aufweisen. Es werden die Punkte der Erweiterung eines Objekts mit Sensoren und Mikrocontrollern, der Interaktion und der User Experience beschrieben.

VR-Stepper

Matthies (VR-Stepper, 2014) beschreibt die Entwicklung eines immersiven Eingabegeräts mit Hilfe eines Mikrocontrollers und Sensoren sowie eines Sportsteppers für eine virtuelle Umgebung und den Vergleich der Immersion und Benutzererfahrung zwischen einem Joystick und einem Wii Balance Board.

Der Stepper wurde mit einem Potentiometer ausgestattet, so dass der Stepper während der Benutzung den Widerstand des Potentiometers verändert. Ein Arduino misst die Änderung des Widerstands und interpretiert die Änderung als Bewegung des Steppers. Zusätzlich wurde ein Infrarotsensor am Gerät angebracht, sodass der Benutzer, wenn er sich auf dem Stepper duckt, den Infrarotsensor auslöst und sich in der virtuellen Umgebung duckt (VR-Stepper, 2014).

Das Eingabegerät soll somit die Immersion verstärken und damit das Nutzererlebnis verbessern. Um diese Hypothese zu bekräftigen wurde ein Benutzertest mit 10 Teilnehmer*innen durchgeführt. Den Proband*innen wurde eine selbst programmierte virtuelle Umgebung gezeigt, in der sie das Ziel hatten, so schnell wie möglich zu rennen. Die in der hier beschriebenen Arbeit verwendete Methodik ist die des Within-Subject-Designs, was bedeutet, dass jede*r Nutzer*in alle Bedingungen ausprobiert. Die zu testenden Bedingungen sind das selbst gebaute Eingabegerät, ein Wii Balance¹ Board und ein normaler Joystick.

Matthies (VR-Stepper, 2014) zeigte in seinem Nutzertest, dass der VR-Stepper die schlechteste Bedienbarkeit aufweist, was wohl daran liegt, dass es sich um ein Sportgerät handelt und die Pedale daher schwer durchzudrücken sind. Auf der anderen Seite hat das Gerät dafür die meisten Punkte für die Freude an der Benutzung und Immersion (VR-Stepper, 2014).

Die Gemeinsamkeiten zwischen dem Beitrag und dieser Bachelorarbeit sind vor allem darin zu sehen, dass es sich bei beiden um eine Kombination eines Objekts mit einem Mikrocontroller und Sensorik handelt, wodurch die Immersion und die User Experience verbessert werden sollen. Darüber hinaus hat der Benutzertest gezeigt, dass es möglich ist, ein immersives Gerät auch mit gewöhnlichen Haushaltsgegenständen zu bauen. Außerdem greifen beide Objekte auf die leicht zugängliche Arduino-Plattform zu, die einfach zu programmieren ist und die Daten von Sensoren leicht auslesen und auswerten

kann. Allerdings ist der Anwendungsfall hier etwas anders. In diesem Artikel wird ein Eingabegerät gebaut und kein sensorunterstütztes Artefakt.

Tangible VR Objects

Daniel Harley beschreibt die Entwicklung von einem Sensor, der in Objekte verbaut werden kann, um mit diesen in einer VR-Umgebung zu interagieren. Zweck dieser Arbeit ist es, eine Verbindung zwischen realen Objekten in der realen Welt und den Objekten in einer VR-Umgebung herzustellen, um das Benutzererlebnis in einer VR-Umgebung zu verbessern. Die Haptik ist ein wichtiger Punkt in dieser Arbeit.

Die Sensoreinheit wurde mit einem Arduino-Mikrocontroller und einem Gyroskop-Sensor ausgestattet. In der VR-Umgebung werden die mit der Sensoreinheit ausgestatteten Objekte angezeigt und als Eingabegeräte verwendet, um verschiedene Rätsel innerhalb der VR-Umgebung zu lösen.

In der Arbeit wird beschrieben, dass die Objekte offenbar nicht gut zusammengebaut wurden und von daher schwer zu bedienen sind. Ein von einem Nutzer im Test beschriebenes Problem ist, dass die Verkabelung des Arduinos in der Box sehr schlecht umgesetzt wurde, was die Bedienung erschwerte, und dass solche Objekte eher ein Hindernis darstellen als normale Eingabegeräte.

Die Gemeinsamkeiten zwischen dem Beitrag und meiner Bachelorarbeit sind wiederum Objekte, die mit Hilfe eines Mikrocontrollers und Sensorik das Nutzererlebnis und die Immersion verbessern sollen. Da es in diesem Beitrag Schwierigkeiten mit der Verkabelung und der Benutzerfreundlichkeit gibt, wird meine Bachelorarbeit im Gegenzug Ergebnisse zeigen, die die Benutzererfahrung widerspiegeln, wenn das Objekt sorgfältig und ästhetisch gut aufgebaut ist (Harley et al, 2017).

3 Hardware

Der folgende Abschnitt beschreibt die im Projekt verwendete Hardware. Die Arduino-Plattform wurde als Basis für das gesamte Projekt verwendet. Sie existiert in verschiedenen Größen und Ausführungen. Für das MVP im Praxisprojekt wurde ein Arduino Uno verwendet. Dieser hat den Vorteil, dass er über viele Anschlüsse verfügt, mit denen es einfach ist, schnell etwas zu programmieren und zu prototypisieren.

Bei der Weiterentwicklung des MVPs für die Bachelorarbeit wurde, um Platz im Artefakt zu sparen, das kleinere Modell Arduino Nano verwendet. Dieses hat die gleichen technischen Daten wie der Arduino Uno.

3.1 Arduino

Ein Arduino ist ein kleiner Mikrocontroller, der so programmiert werden kann, dass er Eingaben und Ausgaben zwischen dem Gerät und extern verbundenen Komponenten verarbeitet. Extern angeschlossene Komponenten sind in diesem Fall Sensoren, die Daten aus ihrer Umgebung aufnehmen und diese auswerten. Ein Beispiel für Daten aus der Umgebung könnte die aktuelle Umgebungstemperatur sein, in der sich der Sensor und der Arduino befinden.

Das bedeutet, dass der Arduino ein interaktives System ist, das durch den Einsatz von Hardware und Software mit seiner Umgebung interagieren kann (McRoberts, 2010).

3.1.1 MH-SD Card Module

Dieses Modul stellt eine Verbindung zwischen einem Arduino und einer SD-Karte her. Durch die Programmierung auf dem Arduino können Daten einfach von der Karte gelesen und auf die Karte geschrieben werden (mybotix, 2017).

Für das Artefakt werden hier die Sounddateien gespeichert, die das Artefakt abspielt, wenn mit diesem interagiert wird.

Der vorhandene Speicher des Arduinos ist dafür zu klein. Der Arduino hat einen Flash-Speicher von 32 Kilobytes (Hermann, 2021).

Zum Vergleich: Die kleinste Tondatei auf der SD-Karte hat 50 Kilobytes. Deswegen wird hier eine SD-Karte mit einer Kapazität von 32 Gigabyte (GB) verwendet.

3.1.2 SD-Karte

Eine SD-Karte (Secure-Digital-Karte) ist eine Speicherkarte. Es gibt sie in unterschiedlichen Ausführungen, Typen und Geschwindigkeitsklassen (Luber, 2019).

3.1.3 LM386

Der LM386 ist ein IC-Audio-Leistungsverstärker, der sich für batteriebetriebene Geräte wie Radios, Gitarrenverstärker und Hobby-Elektronikprojekte eignet. Zwischen Pin 1 und

8 befindet sich ein Potentiometer, mit dem sich die Ausgangslautstärke verändern lässt (Texas Instruments, 2021).

Ein Potentiometer ist ein elektrischer Widerstand, der seinen Widerstand ändert, wenn er gedreht oder bewegt wird.

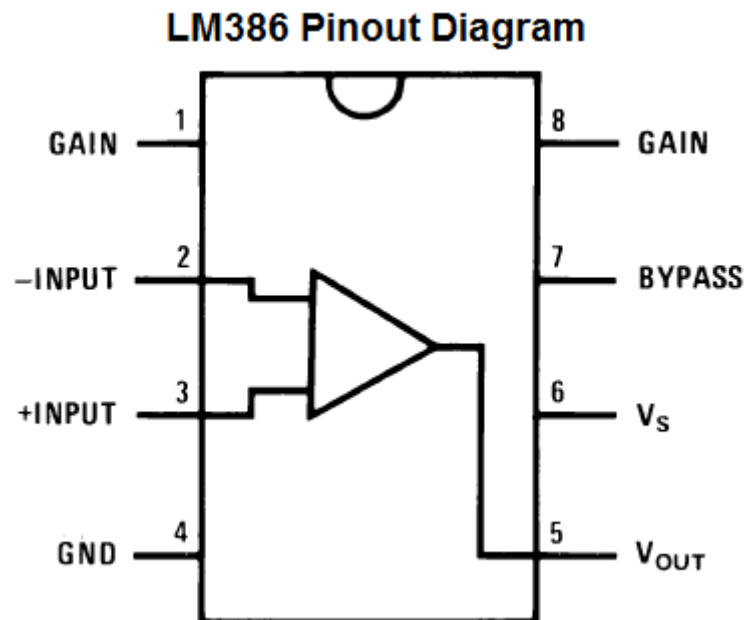


Abbildung 2 LM386 Pinout

3.1.4 GY-521

Das Modul GY-521 ist ein Sensor mit einem 3-Achsen-Gyroskop, einem 3-Achsen-Beschleunigungsmesser, einem digitalen Bewegungsprozessor und einem Temperatursensor (Schoeffler, M., 2021).

Dieser Sensor dient dazu, die Bewegung der Kiste zu ermitteln und die Bewegungsdaten an den Arduino zu senden, um das Münz-Geräusch abzuspielen.

3.1.5 TP4056

TP4056 ist in der Lage, einzellige Lithiumbatterien über ein Micro USB Kabel zu laden. Die Platine enthält zusätzliche Schaltungen, die Schutz vor Überentladung, Überstrom und Kurzschluss bieten (Ruben, 2018).

3.1.6 REED-Kontakt

Ein REED-Kontakt ist ein Schalter, der durch ein Magnetfeld aktiviert wird. Der REED-Kontakt selbst ist ein kleiner Draht, der sich in einer Ampulle befindet. Der Draht ist in der Mitte unterbrochen. Wenn ein Magnet auf die Ampulle wirkt, berühren sich die beiden Drahtenden wieder, so dass ein Kontakt besteht (Draeger, 2021).

Im übertragenen Sinne ist der REED-Kontakt wie ein Schalter, jedoch ist hier nicht der Knopfdruck, sondern das Magnetfeld, der Auslöser.

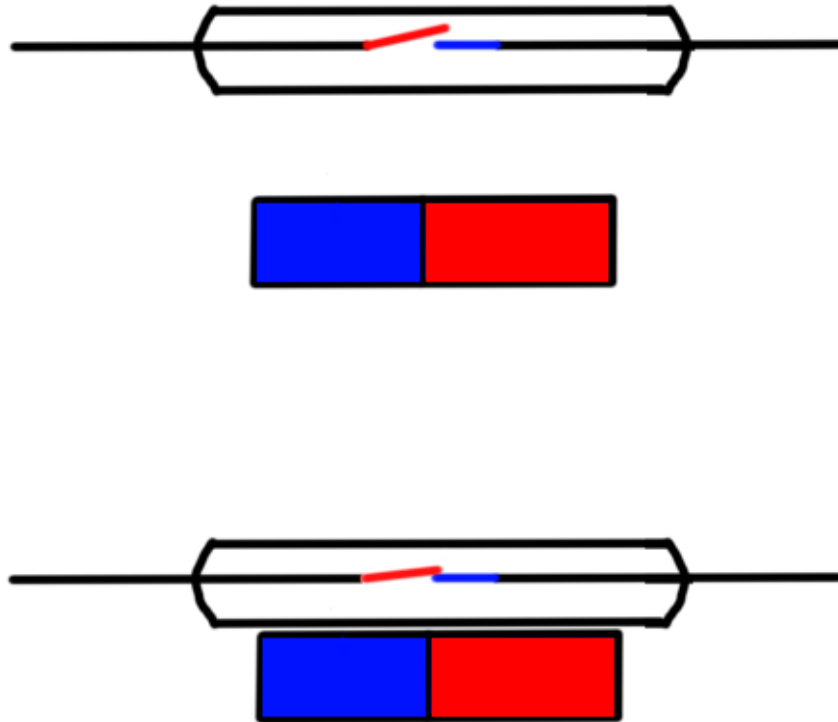


Abbildung 3 Funktionsweise REED-Kontakt (Abbildung von Valerij Leis)

In der Kiste sind zwei REED-Kontakt eingebaut. Einer für die Bestimmung des Öffnens und Schließens der Box und ein weiterer für das Schloss.

3.1.7 Lautsprecher

Ein Lautsprecher erzeugt Schall aus einem elektrischen Eingangssignal. Die Tondaten in diesem Projekt werden von einer SD-Karte entnommen, wie in Punkt 2.1.2 beschrieben.

3.1.8 LiPo Akku

LiPo-Akkus sind Akkus, die wieder aufgeladen werden können. LiPo-Akkus sind im Bereich der DIY-Elektronik und des Modellbaus zu finden. Sie sind auch perfekt für Projekte mit Raspberry Pi und Arduino geeignet (Wiki, 2021). Die Vorteile eines LiPo-Akkus sind, dass es sie in verschiedenen Größen und Kapazitäten gibt. Selbst ein kleiner LiPo-Akku hat eine hohe Kapazität. Ebenfalls eignet er sich aufgrund seiner geringen Größe besonders gut für die kleine Kiste.

3.1.9 3D-Drucker

Ein 3D-Drucker trägt Material Schicht für Schicht auf eine Druckplatte auf und formt so ein dreidimensionales Objekt. Das Material, das aufgetragen wird, ist das sogenannte Filament, das vom 3D-Drucker erhitzt und geschmolzen wird. Das Material härtet dann auf der Druckplatte aus und währenddessen wird die nächste Schicht aufgetragen. Für diese Kiste hat der Druck etwa 20 Stunden gedauert. Nach dem Druck musste das Objekt noch nachbearbeitet werden. Die Kanten waren nicht sauber und mussten daher mit Schleifpapier geglättet werden.

3.1.10 Lochrasterplatine

Eine Lochrasterplatine ist eine universelle Leiterplatte, auf der Kupferstreifen oder -punkte in einem Rastermuster angebracht sind. Diese industriell gefertigten Platinen werden häufig für den Bau von Prototypen verwendet. Sie sind der Zwischenschritt zwischen Breadboard und der individuellen Leiterplatte. (*Lochrasterplatine*, 11. August 2022). In dieser Bachelorarbeit wurde die Lochrasterplatine verwendet, um sämtliche Elektronik darauf zu verlöten und miteinander zu verbinden (Abbildung 11).

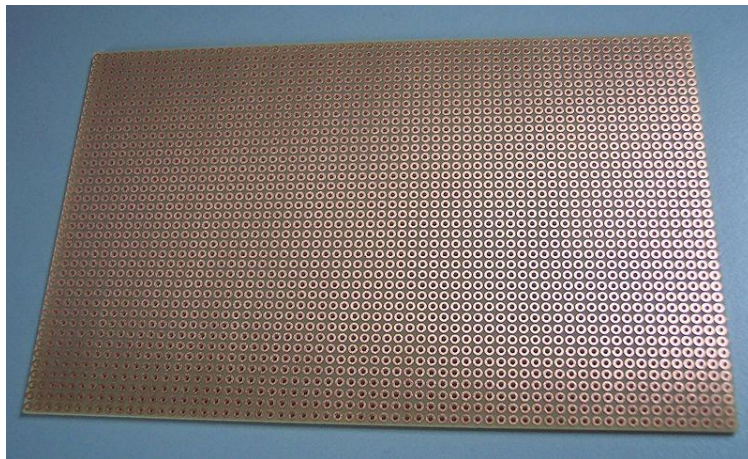


Abbildung 4 Eine Lochrasterplatine

3.1.11 Kupferlackdraht

Ein Kupferlackdraht ist ein Draht aus Kupfer, der bei der Herstellung mit einer elektrischen Isolierschicht aus Lack überzogen worden ist (*Kupferlackdraht*, 2017). Um eine leitende Stelle für elektrische Verbindungen zu entlacken, muss die Stelle lediglich mit Lot und einem Lötkolben 2 - 3 Sekunden lang gut erhitzt werden, damit die Lackschicht wegbrennt.

In dieser Bachelorarbeit wurde der Kupferlackdraht dafür verwendet, um die logischen Verbindungen zwischen Arduino und Elektronik herzustellen.

3.1.12 NeoPixel / WS2812 RGB LED

NeoPixel-LEDs sind die erste weithin verfügbare DIY-Form digitaler RGB-LEDs mit Beispielcode, Bibliotheken und unterstützenden Inhalten, um sie für alle Bastler nutzbar zu machen (CiferTech, 2019).

Verwendet wurden die LEDs in dieser Bachelorarbeit für das visuelle Feedback beim Öffnen der Kiste.

3.1.13 Kippschalter

Kippschalter sind eine Baugruppe, die eine elektrisch leitende Verbindung mittels zweier elektrisch leitender Materialien herstellt oder unterbricht.

Der Kippschalter wurde verwendet um das ein und ausschalten der Kiste zu ermöglichen.

3.2 Eingesetzte Software

In diesem Abschnitt wird die Software beschrieben, die bei der Entwicklung der Ergebnisse, während der Entwicklung des MVPs und während der Arbeit am MVP im Rahmen der Bachelorarbeit verwendet wurde.

3.2.1 Arduino IDE

Die Arduino IDE ist ein Texteditor zum Schreiben von Code für die Arduino-Hardware. Sie stellt eine Verbindung zur Arduino-Hardware her, um Programme hochzuladen und mit ihr zu kommunizieren. Programme, die mit der Arduino-IDE geschrieben werden, nennt man Sketches. Diese Dateien werden im .ino-Format gespeichert. Bevor das Programm hochgeladen wird, kompiliert die IDE den Sketch und prüft ihn auf Komplikationen (nkaaf, 2022).

3.2.2 Slicer-Programm

Ein Slicer-Programm ist eine Software, die digitale 3D-Modelle in Druckanweisungen für einen 3D-Drucker konvertiert, um einen Gegenstand zu drucken. Neben dem Modell selbst enthält die Druckanweisung auch die von Benutzer*innen eingegebenen 3D-Druckparameter wie Schichthöhe, Geschwindigkeit und Einstellungen für die Stützstruktur (Locker, 2022).

Jede 3D-Drucktechnologie erzeugt 3D-Objekte, indem sie Schicht für Schicht Material hinzufügt. Dadurch ist der Name der Slicer Software herzuleiten, denn sie zerlegt 3D-Modelle virtuell in viele horizontale 2D-Schichten, die später einzeln gedruckt werden.

Die im Praxisprojekt entstandene Schatztruhe wurde mit dem Programm Prusa Slicer vorbereitet. Das 3D-Objekt sieht in der Software wie folgt aus:

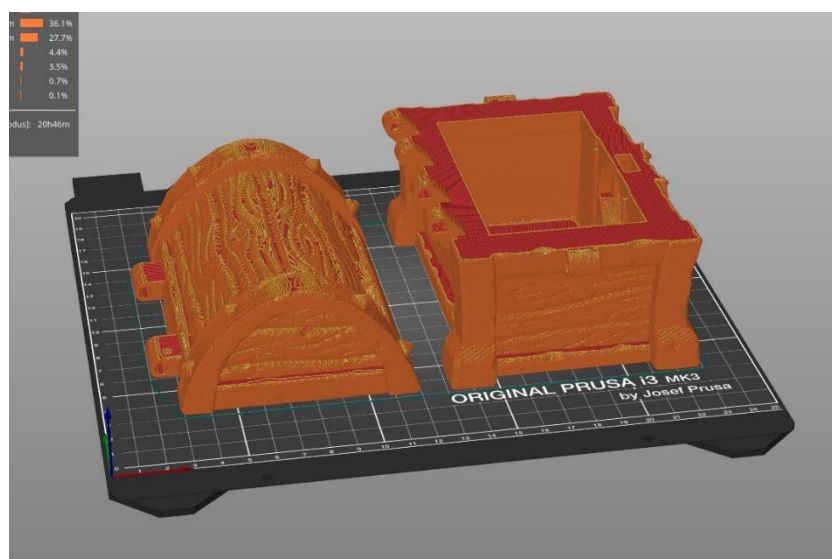


Abbildung 5 Schatztruhe auf dem 3D-Druckbett

3.2.3 SimpleSDAudio Arduino Library

Die Arduino Library SimpleSDAudio ermöglicht das Wiedergeben von Audio-Dateien mit einem Arduino-Gerät ohne viele weitere Komponenten (Hackerspace Ffm e.V., 2015).

Ein Nachteil dieser Library ist, dass man die Sounddateien zunächst mit dem Programm SoX in das richtige Format umwandeln muss.

3.2.4 SoX - Sound eXchange Audio Converter

„SoX ist ein plattformübergreifendes (Windows, Linux, MacOS X, etc.) Kommandozeilenprogramm, das verschiedene Formate von Computer-Audiodateien in andere Formate konvertieren kann. Es kann auch verschiedene Effekte auf diese Audiodateien anwenden und als zusätzlichen Bonus kann SoX Audiodateien auf den meisten Plattformen abspielen und aufnehmen.“ (Bagwell, C., 2015).

Der folgende Befehl konvertiert eine Audiodatei in das im Projekt verwendete Format.

```
sox inputfile.wav --norm=-1 -e unsigned-integer -b 8 -r 62500 -c 1 -t raw  
outputfile.afm
```

4 Aufbau der Kiste

In diesem Kapitel wird beschrieben, was entwickelt wurde. Darüber hinaus werden die einzelnen Schritte bei der Entwicklung der Platine beschrieben und wie die neuen Interaktionen implementiert und installiert wurden.

4.1.1 Code

Der hier abgebildete Codeschnipsel ist für die Funktion des REED-Kontakts verantwortlich, der den Ton abspielt, sobald die Kiste geöffnet und geschlossen wird.

```
void loop() {  
    int proximity = digitalRead(REED_PIN);  
  
    if (proximity == HIGH && !soundCloseChest) {  
  
        if(!SdPlay.setFile("CLOSE.AFM")) {  
            while(1);  
        }  
        SdPlay.play();  
        soundCloseChest = true;  
    }  
  
    if (proximity == LOW && soundCloseChest) {  
        soundCloseChest = false;  
    }  
  
    if (proximity == LOW && !soundOpenChest) {  
        if(!SdPlay.setFile("OPEN.AFM")) {  
            while(1);  
        }  
        SdPlay.play();  
        soundOpenChest = true;  
    }  
  
    if (proximity == HIGH && soundOpenChest) {  
        soundOpenChest = false;  
    }  
}
```

Abbildung 6 Codeschnipsel der Steuerung und des Auslesens des REED-Kontakts

Diese Bedingung wird dann ausgelöst, wenn der Magnet auf den REED-Kontakt trifft und diesen somit schließt. Da die Bedingung immer erfüllt ist, wenn die Kiste geschlossen ist, würde man den Ton immer in einer Endlosschleife hören. Da dies nicht erwünscht ist, werden den Funktionen boolesche Werte hinzugefügt, die sich auf „true“ setzen, sobald der Ton einmal abgespielt wurde. „true“ bedeutet hier, dass der Ton bereits einmal abgespielt worden ist. Die Bedingung ist jetzt nur erfüllt, wenn der Magnet auf den REED-Kontakt trifft und der Ton noch nicht abgespielt wurde und somit auf „false“ steht.

Der boolesche Wert wird in der Funktion, die für den anderen Ton zuständig ist, auf „false“ zurückgesetzt. Das bedeutet, dass beim Öffnen der Kiste der boolesche Wert vom Schließen der Kiste auf „false“ gesetzt wird und umgekehrt.

In diesem Codeschnipsel sieht man die Steuerung des Gyroskops für den Sound der raschelnden Münzen im Inneren der Kiste.

```
if(gyro_z >= 4000 && !soundCoins){
    if(!SdPlay.setFile("COINS.AFM")) {
        while(1);
    }
    SdPlay.play();
    soundCoins = true;
}

if (gyro_z <= 2000 && soundCoins) {
    soundCoins = false;
}
```

Abbildung 7 Codeschnipsel der Steuerung und des Auslesens des Gyroskops

Das Gyroskop misst die Beschleunigung in der Z-Achse und wenn der Wert ≥ 4000 ist, ertönt das Geräusch in der Kiste. Auch hier wird der boolesche Wert verwendet, um zu verhindern, dass die Kiste ein permanentes Rascheln von sich gibt. Allerdings ist diese Interaktion noch fehlerhaft. Manchmal raschelt es nur bei der kleinsten Berührung.

Wenn der Wert auf ≤ 2000 fällt, wird der boolesche Wert auf „false“ gesetzt. Die Werte 4000 und 2000 wurden durch Ausprobieren und Debugging an der Kiste bestimmt. Für andere Objekte muss der entsprechende Wert ebenfalls durch Ausprobieren ermittelt werden.

4.1.2 Hardware Erkenntnisse

Im Hardware-Teil des MVPs wurden nach der Entwicklung die folgenden Dinge deutlich:

- Die Interaktion und das Abspielen der Sounddateien sind erfolgreich und die Sensoren reagieren korrekt.
- Der Arduino Uno und der Nano haben die gleichen Pinbelegungen. Daher kann die Anschlussbelegung aus dem Praxisprojekt übernommen werden.

Tabelle 1 Pinbelegung

Sensor	Pin Auf dem Sensor	Pin auf Arduino
MH-SD Card Module		
	CS	4
	MOSI	11
	SCK	13
	MISO	12
3.1.4 GY-521		
	SCL	5
	SDA	4
3.1.3 LM386		
	IN	9
REED-Kontakt		
	IN	2

4.2 Aufbau der Kiste nach dem MVP

In diesem Unterkapitel wird die Umsetzung der Ziele aus hardware- und softwaretechnischer Sicht beschrieben.

4.2.1 Die Platine

Das Zweite Hauptziel (Kapitel 1.1) dieser Bachelorarbeit ist es, das MVP-Praxisprojekt-Ergebnis in eine funktionsfähige Kiste zu transformieren, in der mehr Platz zur Verfügung steht. Dafür muss als größter Schritt eine raumsparende Variante aus allen Sensoren und dem Arduino Uno erstellt werden.

Die erste Maßnahme ist der Austausch des großen Arduino Uno gegen einen Arduino Nano.

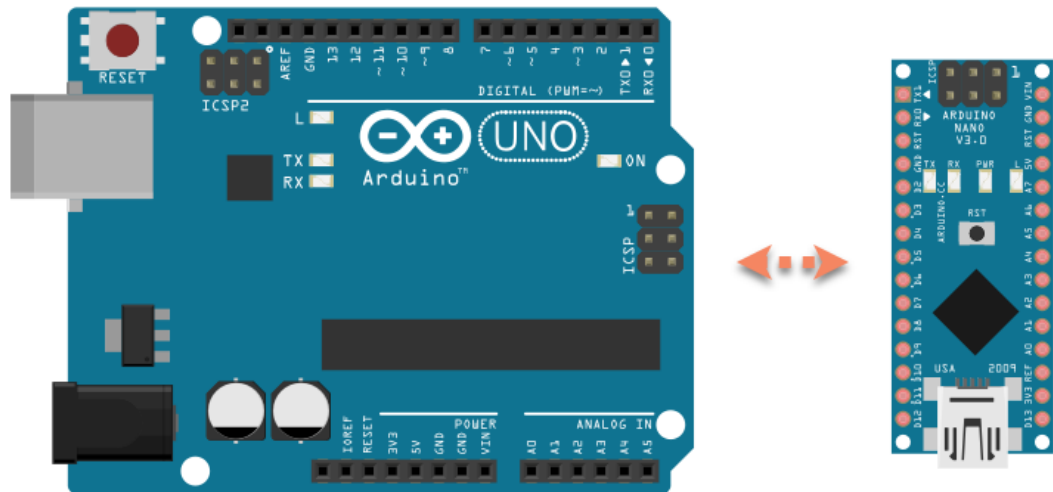


Abbildung 8 Arduino Uno im Vergleich zu Arduino Nano. (Comparación Arduino Uno – Arduino Nano. 16. Dezember 2019).

Wie man in Abbildung 8 erkennen kann, ist der Arduino Nano kleiner als der Arduino Uno. Im Vergleich zum Arduino Uno hat der Arduino Nano keine Steckplätze, sondern nur Kontaktpunkte. Das bedeutet, dass hier keine Breadboard-Kabel benutzt werden können, sondern, dass die Leitungen direkt angelötet werden müssen, um einen Sensor mit dem Arduino zu verbinden.

Als Grundlage für die Umsetzung der raumsparenden Maßnahme ist das Ziel, eine Platine zu entwerfen, auf der die gesamte Elektronik und Sensorik untergebracht werden kann.

Mit einem Layoutprogramm für industriell gefertigte Platinen sollte die erste Platine entstehen. Es wurde jedoch schnell deutlich, dass diese Vorstellung mit dem vorhandenen Know-how nur schwer zu realisieren war. Die Idee, industriell gefertigte Leiterplatten zu verwenden, scheiterte daran, dass alle Sensoren und der Arduino Nano mit **SMD**-Bauteilen bestückt sind. Diese hätten erst ausgelötet und dann auf die industriell gefertigten Platinen gelötet werden müssen. Sowohl das Werkzeug als auch die Fertigkeiten waren dafür nicht vorhanden.

Als Lösung fand sich eine 3.1.10 Lochrasterplatine. Alle Sensoren und der Arduino Nano wurden zunächst auf diese Platine gelötet.

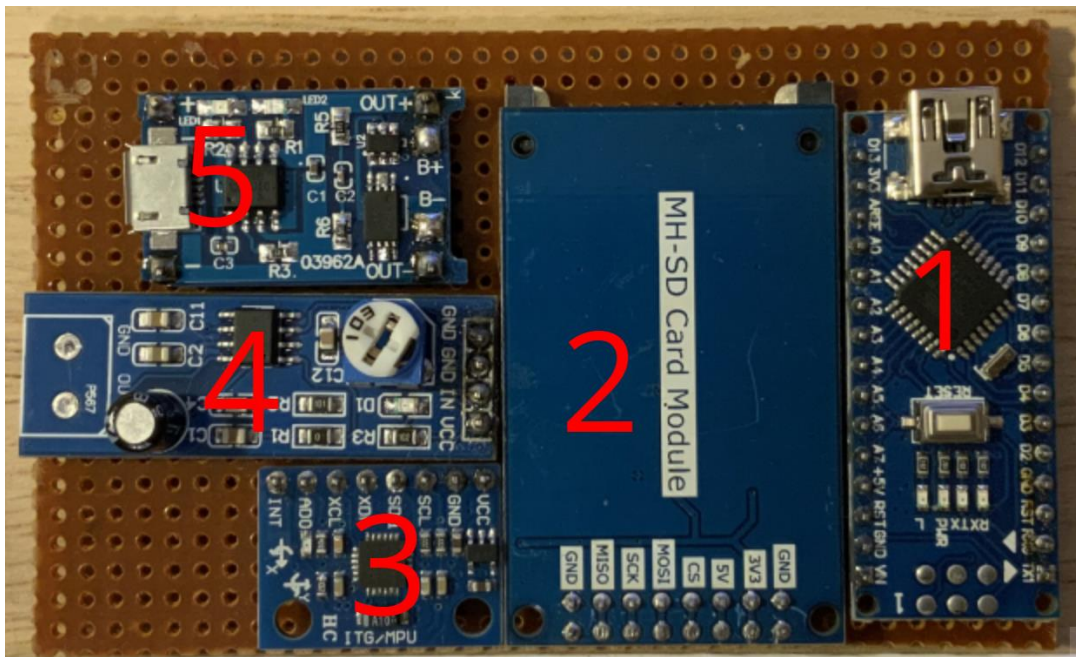


Abbildung 9 Sensoren und Arduino Nano auf der Lochrasterplatine. 1. Arduino Nano, 2. MH-SD Card Module, 3. GY-521, 4. LM386, 5. TP4056.

Die logischen Verbindungen zwischen dem Arduino und den einzelnen Sensoren wurden im Praxisprojekt definiert und die gleichen Anschlusspunkte wurden auch mit dem Arduino Nano verwendet (Tabelle 1 Pinbelegung).

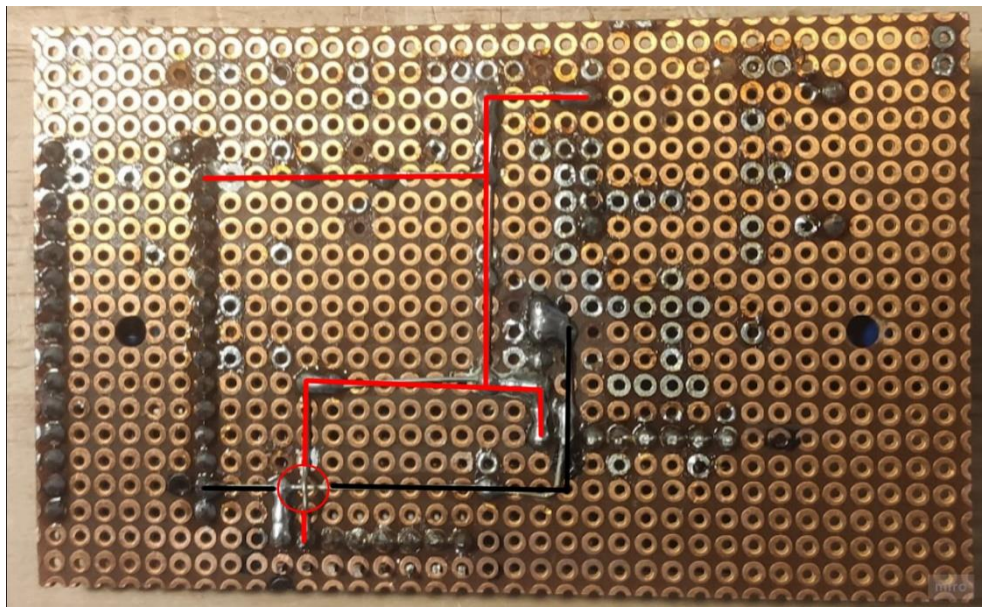
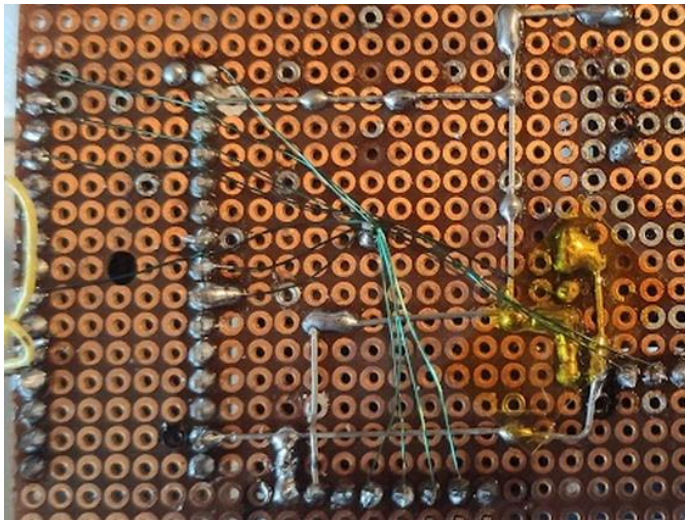


Abbildung 10 Plus- und Minus Schiene auf der Platine

Der nächste Schritt bestand darin, eine Masseschiene und eine Pluspolschiene auf die Platine zu löten, damit der Arduino und die Sensoren über den Akku mit Strom versorgt

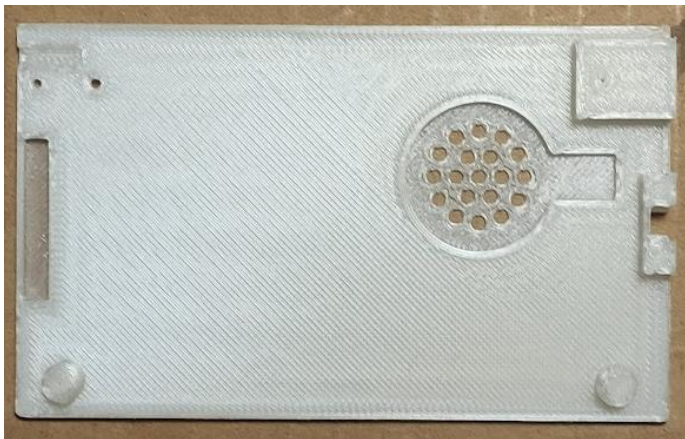
werden können. Die Masseschiene wird auch als Minuspol bezeichnet. Die Pluspol-schiene ist hier im Bild in roter und die Masseschiene in schwarzer Farbe zu sehen (Abbildung 10).

Die Lötbrücke (Roter Kreis) verhindert, dass sich die Masseschiene und die Pluspol-schiene berühren und in Kontakt kommen. Wenn sie sich berühren, erfolgt ein Kurzschluss und die Platinen sowie die Elektronik funktionieren nicht und gehen im schlimmsten Fall kaputt.



Die Verbindungen zwischen den Sensoren und dem Arduino Nano werden mittels Kupferlackdraht hergestellt (2.1.11). Die Pinbelegung wird aus der Tabelle 1 Pinbelegung übernommen.

Abbildung 11 Verbindungen mit Kupferlackdraht



Die Abdeckung (Abbildung 12) für die Platine ist in 3D mit Aussparungen für den Lautsprecher, den REED-Kontakt und den Kippschalter gedruckt.

Abbildung 12 3D-Druck von der Platinen Abdeckung

Die Platine wird mit der Abdeckung verschraubt und der Lautsprecher, der Kippschalter und der REED-Kontakt werden in die Aussparungen eingesetzt. Damit sind alle Interaktionen aus dem MVP übernommen, verfeinert und auf die Platine verbaut.

4.2.2 Neue Interaktionen

Die geplanten Interaktionen im Zuge der Erweiterung der Kiste, sowie deren Installation und Programmierung werden im nächsten Schritt erläutert.

Eine Erweiterung besteht darin, dass nun auch ein Sound abgespielt wird, wenn man die Kiste mit dem Schlüssel öffnet und schließt. Diese Interaktion wurde mit einem weiteren REED-Kontakt realisiert.

Der in 3D gedruckte Schließmechanismus der Kiste besteht aus zwei Teilen. Einem großen, stationären Teil 1, der in die Kiste eingelassen ist und dem kleineren, beweglichen Teil 2, welcher mit dem Schlüssel frei im Inneren des größeren Teils bewegt werden kann.

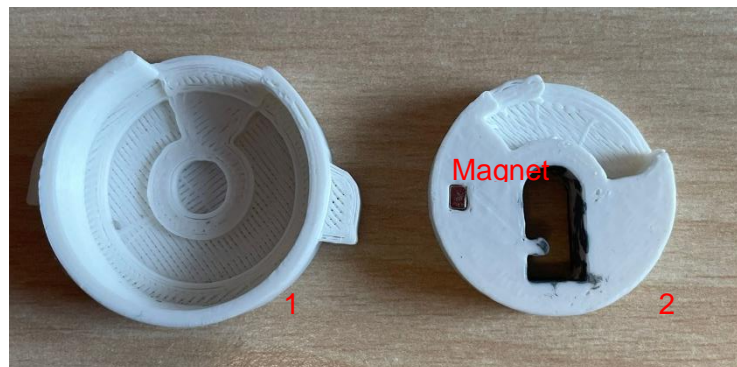


Abbildung 13 Schließmechanismus der Kiste. 1.Stationär, 2.Beweglich.

Im kleineren Teil 2 des Verschlussmechanismus wurde ein kleiner Magnet versenkt. Auf dem größeren Teil des Verschlussmechanismus wurde ein Reed-Kontakt angeklebt. Bei jeder Bewegung des kleineren Teils, d. h. beim Aufschließen oder Zuschließen der Kiste, berührt der Magnet den Reed-Kontakt.

Die Programmierung wurde, wie beim ersten REED-Kontakt, übernommen, nur mit anderen Variablenamen. Dies muss nicht weiter erläutert werden, da die Funktionsweise die gleiche ist.

Die zweite neue Interaktion ist, dass die Kiste beim Öffnen aufleuchtet. Zu diesem Zweck wurden zwei 3.1.12 NeoPixel / WS2812 RGB LEDs an der Unterseite der Kiste angebracht. Diese werden durch denselben REED-Kontakt aktiviert, der auch das Geräusch beim Öffnen und Schließen der kompletten Kiste auslöst.

Im Code ist folgende Anpassung notwendig:

```
void loop() {  
  int proximity = digitalRead(REED_PIN);  
  int lock_open = digitalRead(REED_PIN_LOCK);  
  
  if (proximity == HIGH && !soundCloseChest) {  
  
    if(!SdPlay.setFile("OPEN.AFM")) {  
      while(1);  
    }  
    SdPlay.play();      soundCloseChest = true;  
    leds[0] = CHSV(110,255,255); leds[1] = CHSV(100,255,255);FastLED.show();  
  }  
  
  if (proximity == LOW && !soundOpenChest) {  
  
    if(!SdPlay.setFile("CLOSE.AFM")) {  
      while(1);  
    }  
    SdPlay.play();      soundOpenChest = true;  
    leds[0] = CRGB::Black; leds[1] = CRGB::Black; FastLED.show();  
  }  
}
```

Abbildung 14 Codeschnipsel der Steuerung der NeoPixel

Da der REED-Kontakt bereits korrekt programmiert ist, mussten nur zwei Zeilen (Abbildung 14 rot markiert) in den Code ergänzt werden, damit der NeoPixel funktioniert.

Hier passiert dasselbe, wie im Abschnitt Code beschrieben. Es wurde nur hinzugefügt, dass beim Öffnen der Kiste nicht nur der Sound des Öffnens abgespielt wird, sondern auch, dass die LEDs gelb/rot zu leuchten beginnen. Diese erlöschen, sobald die Kiste wieder geschlossen wird.

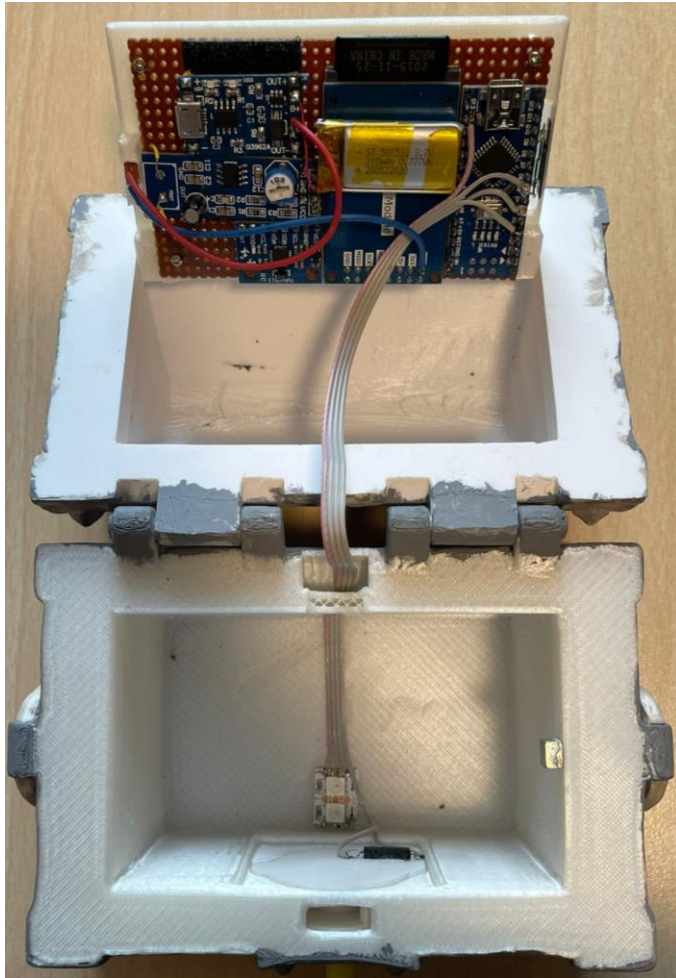


Abbildung 15 Verbindung von LED und Schloss durch Flachbandkabel zum Arduino

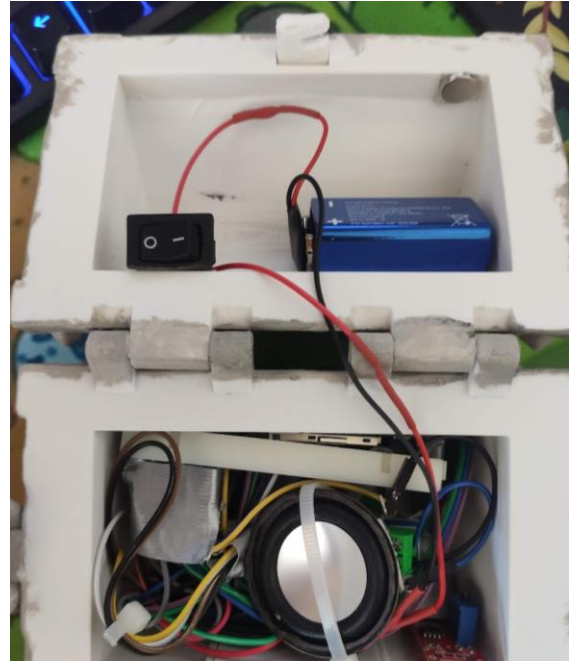


Abbildung 16 Das Artefakt Stand Praxisprojekt zum Vergleich der Platzersparnis

Die elektrische Verbindung dieser beiden neuen Interaktionen wurde mit einem Flachbandkabel realisiert, das durch das Innere der Kiste in die Oberseite der Kiste mit der Elektronik geführt und an den Arduino Nano gelötet wurde (Abbildung 15).

Der NeoPixel wurde direkt an den 3V-Pin des Arduino Nano und an den Masse-Pin gelötet. Der Logik-Pin zur Steuerung des NeoPixels wurde an D5 gelötet und der REED-Kontakt an D3. Der Masse-Pin des Reed-Kontakts wurde an die Masse des NeoPixels gelötet, um ein zusätzliches Kabel einzusparen.

Tabelle 2 Pinbelegung neue Interaktionen

Sensor	Pin Auf dem Sensor	Pin auf Arduino
REED-Kontakt		
	IN	3
	GND	GND
3.1.12 NeoPixel / WS2812 RGB LED		
	3V	3V
	IN	5
	GND	GND

5 Struktur des User-Tests, Hypothesen und Ergebnisse

In diesem Kapitel wird der Aufbau und Prozess des Benutzertests beschrieben und erklärt, wofür die Daten relevant sind. Außerdem werden die aufgestellten Hypothesen noch einmal aufgelistet. Am Ende des Kapitels werden die Ergebnisse beschrieben und ausgewertet.

5.1 Strukturierung des Benutzertests

Für das Testen der Kiste wurde das In-Between Design gewählt. Diese Methode wird verwendet, wenn man eine relativ große und homogene Testgruppe hat. Wichtig ist, dass man diese Methode auch anwendet, wenn die Prüfung einer Bedingung die Prüfung der zweiten Bedingung beeinflusst und man dadurch Vorwissen erlangt.

Für diese Methode wurde die Kiste noch einmal ohne Sensoren und Elektronik nachgebaut. Es gibt also 2 Gruppen für die Durchführung der Tests. Gruppe A ist die „Sensorgruppe“ und Gruppe B ist die „Ohne-Sensor-Gruppe“.

Der Testperson wird das Artefakt auf einem Tisch vorgestellt und der weitere Testablauf wird beschrieben. Während des Tests befindet sich die Testperson in einem leisen und hellen Raum. Um die Kiste richtig zu testen, muss die Umgebung relativ geräuscharm sein. Der Lautsprecher der Kiste kann durchaus laut sein, aber nicht laut genug, um ihn in einer lauten Umgebung zu hören oder zu testen. Der Test beinhaltet die Auseinandersetzung der Testperson mit dem Artefakt. Die Zeit, die die Testperson mit dem Artefakt verbringt, wird dabei erfasst. Die Zeitmessung soll die Hypothese, dass ein sensorgestütztes Artefakt das Nutzererlebnis verbessert, zusätzlich unterstützen. Die Zeiterfassung beginnt ab dem Moment, in dem die Testperson das Artefakt in die Hand nimmt und damit interagiert. Sobald die Testperson fertig ist und das Artefakt wieder auf den Tisch legt, wird die Zeiterfassung gestoppt.

Während der Durchführung werden Eindrücke, Kommentare, Reaktionen und möglicherweise Gefühle aufgeschrieben und später Statistisch ausgewertet.

Am Ende dieses Tests wird die Testperson gebeten, den Fragebogen auszufüllen, der auf der Grundlage des UEQ (User Experience Questionnaire) erstellt wurde. Dieser Teil soll die Hypothese untermauern, dass ein sensorgestütztes Artefakt die Benutzererfahrung im Vergleich zu einem Artefakt ohne Sensoren verbessert (*Hinderks, UEQ, 2018*).

5.2 Hypothesen

Die erste Hypothese H1, die mit dem Nutzertest belegt oder widerlegt werden soll, ist, dass ein sensorgestütztes Artefakt die User Experience im Vergleich zu einem Artefakt ohne Sensoren verbessert. Die Einschätzung ist, dass die Sensoren die User Experience deutlich verbessern und das Artefakt immersiv machen, denn die ersten Rückmeldungen für das Artefakts im Entwicklungsprozess waren positiv und energisch.

Es wurde unter anderem direkt gefragt, wie viel es kosten würde, ein solches Artefakt nachzubauen. Das Interesse war also von Beginn an nachzuweisen.

Die daraus resultierende Nullhypothese H0_1 lautet, dass die Sensorunterstützung für Artefakte die User Experience nicht verbessert.

5.3 Auswertung

Die Daten aus dem UEQ werden mit dem UEQ Data Analysis Tool ausgewertet (*Hinderks, UEQ, 2018*). Die Fragen des UEQ sind in der Bewertung in zufälliger Reihenfolge angeordnet. Die Bewertungsskala reicht von 1 bis 7, wobei 1 nicht immer die beste und 7 nicht immer die schlechteste Bewertung ist. Dies soll bei der Auswertung zeigen, ob die Testperson beim Ausfüllen des UEQ aufmerksam war.

Im UEQ werden 6 Aspekte gemessen und bewertet:

Attraktivität: Allgemeiner Eindruck des Produkts. Mögen die Nutzer*innen das Produkt oder mögen sie es nicht?

Durchschaubarkeit: Ist es einfach, sich mit dem Produkt vertraut zu machen und zu lernen, wie man es benutzt?

Effizienz: Können die Benutzer*innen ihre Aufgaben ohne großartigen Aufwand lösen?

Steuerbarkeit: Haben die Benutzer*innen das Gefühl, die Interaktion zu kontrollieren? Ist die Interaktion mit dem Produkt sicher und vorhersehbar?

Stimulation: Ist es spannend und motivierend, das Produkt zu benutzen? Macht es Spaß, das Produkt zu benutzen?

Originalität: Ist das Design des Produkts kreativ und originell? Weckt es das Interesse der Nutzer*innen?

Das UEQ-Data Analysis Tool wandelt die Daten aus dem UEQ-Fragebogen in eine logische Reihenfolge um, indem es die Ergebnisse des Fragebogens auf einer Skala von -3 bis +3 ordnet und so die Ergebnisse sinnvoll gestaltet. Dabei ist -3 das schlechteste und +3 das beste Ergebnis.

Die Unterschiede zwischen den beiden Versionen des Artefakts werden grafisch dargestellt und erläutert. Interessante Kommentare und Reaktionen werden aus den Interviews zusammengefasst und wiedergegeben.

Die Nutzungsdauer der Artefakte wird mit einem durchschnittlichen Wert angegeben.

Im Fragebogen wurde auch gefragt, wie viel die Testperson für das Artefakt zahlen würde. Am Ende wird ein Durchschnittspreis angegeben und mit den Materialkosten für das Projekt verglichen, und je nach Ergebnis wird ein realistischer Preis angegeben.

5.4 Ergebnisse und Interpretation

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Benutzertests, der Zeitmessung sowie die Kommentare und Reaktionen der Testpersonen dargestellt und ausgewertet. Darüber hinaus werden die im Projekt verwendeten Materialkosten mit dem im Fragebogen ermittelten Durchschnittspreis der Kiste verglichen.

Zunächst werden die Ergebnisse der Kiste mit den verbauten Sensoren (Abbildung 17, 18, 19) dargestellt. In Abbildung 17 befinden sich die tabellarisch dargestellten Antworten der befragten Personen.

Scale means per person					
Attractiveness	Perspicuity	Efficiency	Dependability	Stimulation	Novelty
2,33	3,00	1,25	1,25	1,25	2,25
2,50	2,00	1,75	0,00	2,25	2,50
2,83	3,00	2,25	2,00	2,00	2,25
1,00	2,25	0,50	1,00	0,75	1,25
1,50	2,00	0,25	1,67	2,50	1,25
1,00	2,00	0,25	0,75	0,75	1,25
1,83	-0,50	1,00	1,00	1,25	-0,75
2,33	0,25	1,25	0,50	1,25	1,25
1,83	1,50	1,00	0,00	2,50	2,25
2,67	2,00	1,25	0,00	2,25	2,50

Abbildung 17 Auswertung UEQ der Kiste mit Sensorik

Daraus ergeben sich die folgenden Mittelwerte in jeder Kategorie:

Attraktivität	↑ 1,983
Durchschaubarkeit	↑ 1,750
Effizienz	↑ 1,075
Steuerbarkeit	↑ 0,817
Stimulation	↑ 1,675
Originalität	↑ 1,600

Abbildung 18 Mittelwert der Auswertung von dem UEQ für die Kiste mit Sensoren

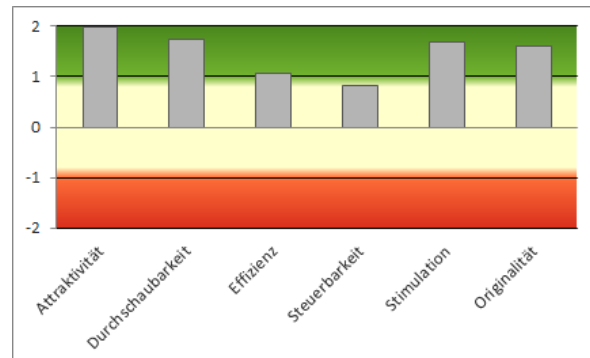


Abbildung 19 Grafische Darstellung der Mittelwerte der Kiste mit

Das UEQ-Tool gibt Folgendes an: „Es ist aufgrund der Berechnung von Mittelwerten über eine Reihe verschiedener Personen mit unterschiedlichen Meinungen und Antworttendenzen (z. B. die Vermeidung extremer Antwortkategorien) äußerst unwahrscheinlich, Werte über +2 oder unter -2 zu beobachten.“ (Hinderks, UEQ, 2018).

Da es keinen Wert größer als 2 gibt, bietet das UEQ-Datenanalysetool eine Option mit nur 2 als Höchstwert.

Die niedrigsten Werte für die Kiste mit den Sensoren sind hier deutlich sichtbar. Effizienz und Steuerbarkeit/Zuverlässigkeit.

Die Abbildungen 20 und 21 zeigen die Daten des Benutzertests mit der Kiste ohne Sensoren.

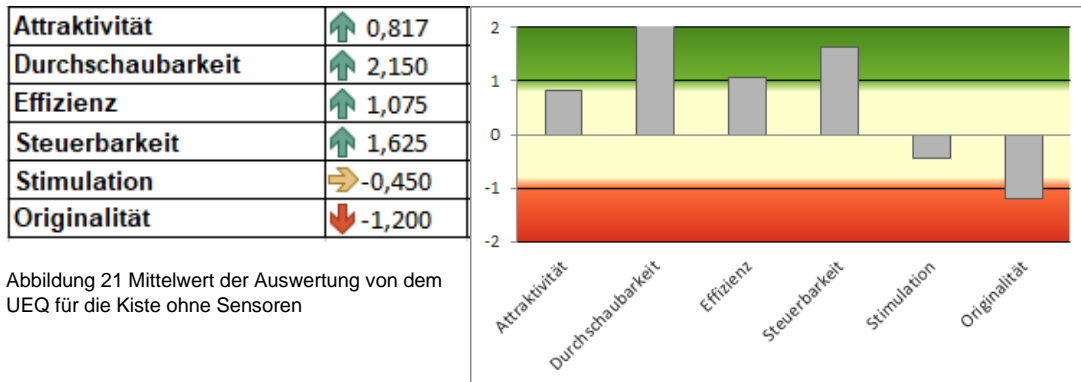


Abbildung 21 Mittelwert der Auswertung von dem UEQ für die Kiste ohne Sensoren

Abbildung 20 Grafische Darstellung der Mittelwerte der Kiste ohne

Auf den ersten Blick schneidet die Kiste mit den Sensoren besser ab, was die Neuartigkeit der Stimulation und die Attraktivität betrifft.

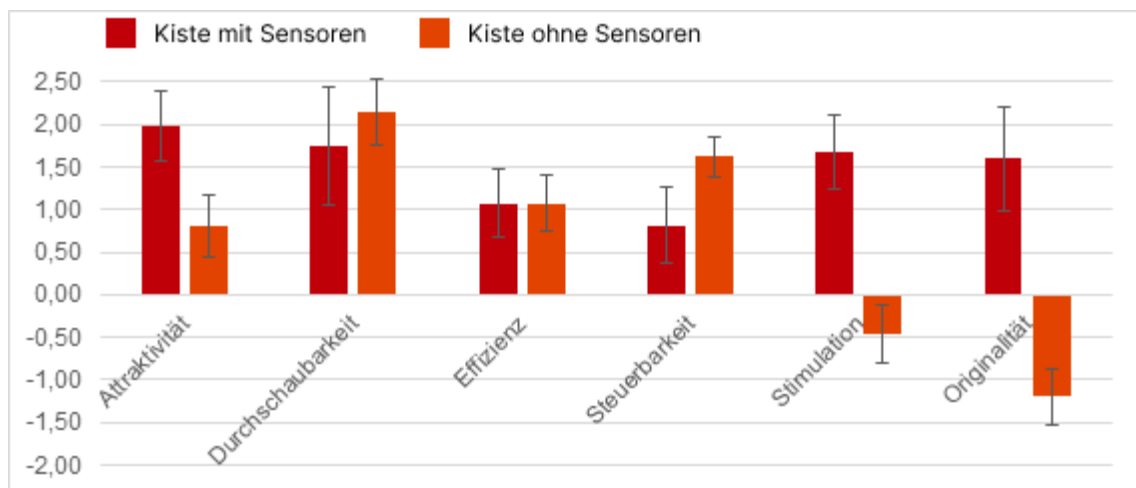


Abbildung 22 Direkter Vergleich der 2 Kisten

Der UEQ beschreibt die Skala wie folgt:

„Werte zwischen -0,8 und 0,8 stehen für eine mehr oder weniger neutrale Bewertung der entsprechenden Skala, Werte > 0,8 für eine positive Bewertung und Werte < -0,8 für eine negative Bewertung.“ (Hinderks, UEQ, 2018).

In Abbildung 22 sind die Daten im direkten Vergleich. Die Ergebnisse werden wie folgt interpretiert:

Die Attraktivität beschreibt, wie das Artefakt bei den Befragten ankommt. Für die Kiste ohne Sensoren beträgt der Wert 0,817, was bedeutet, dass die Attraktivität hier neutral ist. Die Kiste mit der Sensorik hat einen Wert von 1,983. Laut dem Analysetool ist dies

ein ausgezeichnetes Ergebnis. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Sensorik den Eindruck der Kiste überdurchschnittlich steigert.

Die Durchschaubarkeit beschreibt, ob es für die Nutzer einfach ist, sich mit dem Produkt vertraut zu machen und zu lernen, wie es zu verwenden ist. Für die Kiste ohne Sensoren liegt der Wert bei 2,15, was bedeutet, dass die Kiste sehr leicht zu verstehen und zu bedienen ist. Das Ergebnis kann wahrscheinlich darauf zurückgeführt werden, dass die Kiste nur eine Interaktion hat, nämlich das Öffnen und Schließen der Kiste.

Die Kiste mit der Sensorik hat einen Wert von 1,75. Dies ist ein sehr gutes Ergebnis, wenn man bedenkt, dass in der Kiste verschiedene Interaktionen eingebaut sind, die die Nutzer*innen erst einmal finden und verstehen müssen.

Die Effizienz beschreibt, wie schnell die Nutzer die Aufgaben lösen und ob ein hoher Aufwand erforderlich war. Interessanterweise sind die Werte für beide Kisten mit 1,075 gleich. Dieses Ergebnis ist darauf zurückzuführen, dass die Kiste in beiden Fällen gleich aussieht und auch die gleiche Ausgangsfunktion hat, nämlich das Schloss. Einige Nutzer*innen hatten damit Schwierigkeiten, was die Bewertung in beiden Fällen erklären könnte.

Die Steuerbarkeit beschreibt, ob die Nutzer*innen das Gefühl haben, die Kontrolle über die Interaktion zu haben und ob sie sicher und vorhersehbar ist. Die Kiste ohne Sensoren liegt bei 1,625 und die Kiste mit Sensoren bei 0,817. Bei der Kiste ohne Sensoren kommt es zu einem deutlich höheren Wert aufgrund ihrer Vorhersehbarkeit. Es gibt kein Feedback und die einzige Interaktion ist das entriegeln, öffnen und schließen der Kiste. Der Wert für die Kiste mit Sensoren liegt im neutralen Bereich. Ein Grund dafür ist, dass die Töne in der Kiste manchmal hängen bleiben oder zu oft wiederholt werden.

Der Punkt der Stimulation beschreibt, ob das Produkt spannend und anregend ist und ob es Spaß macht, es zu benutzen. Die Ergebnisse sind hier sehr unterschiedlich. Die Kiste ohne Sensoren liegt bei -0,45, während die Kiste mit Sensoren bei 1,675 liegt. Dieses Ergebnis ist durch die Sensoren zu rechtfertigen. Hier zeigt sich ganz deutlich, dass die Sensoren in der Kiste den Spaßfaktor und die daraus resultierende Stimulation enorm erhöhen.

Die Originalität beschreibt, ob das Produkt kreativ und originell genug ist, um das Interesse der Nutzer*innen zu wecken. Auch hier liegen die Ergebnisse weit auseinander. Die Kiste ohne Sensoren liegt bei -1,2 wobei die Kiste mit Sensoren bei 1,6 liegt. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da das einfache Objekt ohne Sensoren nicht originell ist und kaum Raum zum explorieren bietet. Das Artefakt mit den Sensoren hingegen ist mit einem Wert von 1,6 in seiner Originalität gut umgesetzt.

Die Dauer der Nutzung ist für jede Testperson erfasst. Insgesamt wurden 20 Proband*innen befragt wobei jeder Gruppe jeweils 10 Testpersonen zugeteilt wurden. Die durchschnittliche Nutzungsdauer der Kiste ohne Sensoren beträgt 31,2 Sekunden. Die Kiste mit den Sensoren hat dagegen eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 1 Minute und 31 Sekunden. Das sensorunterstützte Artefakt wird 291% länger genutzt als das Objekt

ohne Sensoren. Dies deutet darauf hin, dass die Nutzererfahrung mit dem sensorunterstützten Artefakt besser ist als mit der ohne Sensoren.

In der folgenden Tabelle 3 erfolgt eine Kostenaufstellung der verbauten Elemente. Der Gesamtwert der Kiste beläuft sich auf einen Materialwert von 53,50 €. Dabei wird die in das Projekt investierte Arbeitszeit nicht berücksichtigt.

Den durch die Befragung ermittelten Preis, welchen die Nutzer*innen bereit sind zu zahlen, beläuft sich auf 25,50 €.

Tabelle 3 Materialkosten für das Artefakt

Material:	Kosten:
Filament für den Druck	250g 7,50€
Arduino Nano	11€
MH-SD Card Reader	5€
LiPo Akku	5€
Gy-521	5€
LM386	3€
TP4056	3€
Lochrasterplatine	2€
REED-Kontakt x 2	2€
NeoPixel	5€
Lautsprecher	2€
Sonstige	3€

Einige interessante Rückmeldungen wurden im Folgenden zusammengefasst. Das meiste positive Feedback bezieht sich auf den Sound der Kiste. Die Geräuschwiedergabe erweckt das Artefakt zum Leben und animiert die Probanden dazu, mehr Funktionen der Kiste erkunden zu wollen. Ebenfalls wird die Kreativität und das Design der Kiste gelobt. Des Weiteren lädt die Kiste zum Experimentieren ein und strahlt eine angenehme Atmosphäre aus. Das Interesse an der Funktionsweise und der Art der Verbauung ist mehrfach deutlich geworden. Ein Proband schaute sich während der Interaktion sogar die Elektronik an und war begeistert, wie gut sie im oberen Teil der Kiste versteckt ist.

Die wenigen negativen Kommentare beziehen sich auf die Funktionen. Die meisten Testpersonen wollten mehr Funktionen entdecken, als derzeit eingebaut sind. Am häufigsten wurde das Licht in der Box kritisiert. Es wurden Lösungsvorschläge angegeben, wie zum Beispiel mehr LEDs oder einen Diffusor einzubauen. Des Weiteren wurde vorgeschlagen, die Kiste mit alternativen Klängen zu versehen, sodass beim Schließen oder Öffnen der Kiste nicht immer das gleiche Geräusch zu hören ist, sondern ein Pool von verschiedenen Klängen, aus dem das Programm wählen kann.

6 Diskussion

In diesem Kapitel werden weitere Gestaltungsmöglichkeiten des Artefakts diskutiert und wie es in Zukunft erweitert werden kann. Darüber hinaus werden die Ergebnisse des Benutzertests kommentiert und persönliche Meinungen dazu dargelegt.

6.1 Zukünftige Verbesserungen

Das Artefakt wurde in dieser Bachelorarbeit aufgewertet und ästhetisch konstruiert und designt. Allerdings ist das Artefakt noch nicht vollkommen. Die Benutzertests zeigen, inwieweit die Benutzer*innen das Artefakt verwenden. Die Beobachtungen ergeben, dass die meisten Benutzer*innen das Problem haben, dass sie nicht wissen, wie das Schloss an der Kiste funktioniert. Die meisten Probanden überdrehen das Schloss, ähnlich dem einer Tür, über den Bereich des Möglichen. Dadurch kann es zu einer Beschädigung des Schlossmechanismus kommen. Eine Lösung wäre ein komplett neues Schloss einzubauen oder das vorhandene so zu verändern, dass es sich komplett herumdrehen lässt.

Aus der Auswertung des Fragebogens ging ebenfalls hervor, dass die meisten Benutzer*innen gerne mehr Licht im Artefakt sehen würden. Die zwei LEDs sind zu wenig für die Größe dieser Kiste. Von daher wäre es ein guter Schritt, mehr LEDs in der Kiste zu installieren, um mehr visuelles Feedback zu erhalten. Es wäre auch eine gute Ergänzung, die LEDs mit einem Diffusor abzudecken. Ein Diffusor sorgt dafür, dass das Licht gestreut wird und nicht nur einen Bereich beleuchtet. Da das Licht sehr von der Akkuleistung abhängig ist, wäre es keine schlechte Idee, einen größeren Akku einzubauen. Der aktuelle Akku hat eine Kapazität von 210 mAh (Milliamperestunden).

Die Befragten wünschten sich auch mehr Feedback durch Interaktionen. Ein Verbesserungsvorschlag wäre daher, noch mehr Sinne der Nutzer*innen anzusprechen. Dies könnte durch eine haptische Rückmeldung erreicht werden, wie zum Beispiel in Form einer Vibration durch einen Motor. So könnte man, unter anderem, das Gefühl der Bewegung von Münzen in der Kiste zu simulieren.

Schlussendlich könnte man die Platine noch einen Schritt weiter verbessern. Die Grundidee dieser Bachelorarbeit war es, die Platine in einem Layoutprogramm zu entwerfen, um sie professionell von der Industrie fertigen zu lassen. Dies scheiterte jedoch an den fehlenden Kenntnissen und Werkzeugen. Wenn diese Weiterentwicklung der Platine erfolgt, ist es auch denkbar, die Platine so klein zu gestalten, dass sie dann in verschiedene Artefakte eingebaut werden kann. Auf diese Weise könnte man ein Modul entwerfen, das mit geringem Aufwand Objekte mit Sensoren zum Leben erweckt.

6.2 Weitere Gestaltungsmöglichkeiten

Einige der Teilnehmer*innen des Benutzertests sind mir aus einem Pen & Paper Spielkreis bekannt. Diese Testpersonen schlugen vor, dass solche Artefakte auch für Pen & Paper-Spiele verwendet werden könnten, um das Spiel immersiver zu gestalten. Zum

Beispiel für einen Würfelturm oder andere Spielelemente. Dieser Vorschlag hat mir gut gefallen und deshalb werde ich nach meiner Bachelorarbeit weiter an diesem Thema arbeiten. Vielleicht wird sich das Objekt ändern, aber die Technologie wird auf jeden Fall weiterentwickelt.

6.3 User-Test

Der Benutzertest hat viele Eindrücke hervorgebracht und sowohl erwartete, als auch unerwartete Ergebnisse. Zu erwarten war, dass die Kiste mit den Sensoren eine höhere Attraktivität, Stimulation und Originalität aufweist. Das Ergebnis hat sich auch bestätigt. In allen drei Punkten erhielt die Kiste mit den Sensoren den besseren Wert.

Das Ergebnis der Steuerbarkeit der Kiste mit den Sensoren war jedoch verblüffend. Die Kiste ohne Sensoren schnitt besser ab als die Kiste mit Sensoren. Die Interaktionen in der sensorgesteuerten Kiste sind nicht besonders anspruchsvoll in ihrem Umgang, weswegen das Ergebnis erstaunlich ist. Andererseits hat die Kiste ohne Sensoren keine anderen Interaktionen als das Öffnen und Schließen der Kiste. Wahrscheinlich ist das der Grund, warum die Kiste ohne Sensoren besser in der Steuerbarkeit ist, weil es einfach nichts zu steuern gibt.

Die Effizienz ist auch deshalb interessant, weil sie gleich bewertet wurde. Effizient beschreibt, ob der Benutzer die Aufgaben schnell und ohne großartigen Aufwand lösen kann. Ich glaube, dass Effizienz bei diesem Artefakt nicht wirklich gemessen werden kann, weil es in meinen Augen keine wirkliche Aufgabe an sich gibt. Die Kiste ist auch nicht dazu gedacht, schnell gelöst zu werden. Daher ist Effizienz als Benutzererfahrung für dieses Artefakt nicht geeignet. Die Durchschaubarkeit ist auch bei der Kiste ohne Sensoren besser. Das ist deshalb gerechtfertigt, weil die Kiste ohne Sensoren wirklich schnell durchschaut ist. Man kann sie öffnen und im besten Fall mit den beweglichen Griffen spielen. Vielleicht ist es sogar gut, dass die Kiste mit den Sensoren nicht durchschaubarer ist als die Kiste ohne Sensoren, denn dann wüsste der Benutzer schnell, was auf ihn zukommt.

Ein letztes Statement zu den Benutzertests. Die Benutzertests haben in meinen Augen bewiesen, dass das Artefakt mit den Sensoren ein deutlich besseres Benutzererlebnis bietet als die Kiste ohne Sensoren.

6.4 Preis

Die Umfrage ergab auch einen durchschnittlichen Preis, den die Nutzer*innen für dieses Artefakt mit Sensoren zu zahlen bereit wären.

Noch einmal zur Erinnerung: Die puren Materialkosten für dieses Projekt liegen bei 53,50 €. Der durchschnittliche Preis, den der Nutzer zu zahlen bereit wäre, liegt bei 25,50 €. Leider ist das nicht einmal die Hälfte. Der Preis ist also viel zu niedrig. Wenn man noch die Arbeitszeit kalkulieren würde, jetzt wo man das Know-how hat, würde ich das Projekt

mit 70 € bewerten. Ich könnte mir vorstellen, weitere sensorgesteuerte Objekte herzustellen, aber keine Kopien. Ich wäre sehr daran interessiert, ein weiteres Objekt mit Sensoren auszustatten. Das Interesse im Freundeskreis war groß, wie oben schon beschrieben, zum Beispiel in der Pen & Paper-Spielrunde als ein Artefakt, das das Spiel immersiver macht.

7 Fazit

Im Zusammenhang mit der Hypothese H1, dass sensorunterstützte Artefakte die Benutzererfahrung verbessern, wurde eine Umfrage durchgeführt. Die Umfrage hat ergeben, dass Gegenstände, die mit Sensoren aufgerüstet wurden, in der Tat ein besseres Benutzererlebnis bieten als Gegenstände ohne Sensoren, aber nur die Punkte Attraktivität, Stimulation und Originalität sind absolut aussagekräftig, denn diese Punkte liegen alle deutlich höher als das Ergebnis von der Kiste ohne Sensoren. Die anderen Punkte sind entweder gleich oder etwas niedriger bewertet. Dies ist jedoch wahrscheinlich auf die Komplexität der Kiste zurückzuführen.

Die Ursprungsidee, eine Platine aus einem PCB-Layout zu erstellen, scheiterte leider an den fehlenden Kenntnissen und Werkzeugen. Der Vorschlag, die Platine auf einer Lochrasterplatine zu entwerfen und zu bauen, ist jedoch sehr gut gelungen. Alle Komponenten, Sensoren und andere Elektronik wurden auf der Lochrasterplatine angebracht und zusammengelötet, um Platz zu sparen. In Zukunft sollte man die Platine jedoch besser mit einem Layoutprogramm entwickeln und sie anfertigen lassen, die Platinen sind dadurch robuster und damit weniger fehleranfällig.

Ebenso wird das Artefakt nicht mehr von einer Blockbatterie, sondern von einem LiPo-Akku angetrieben. Dieser lässt sich unkompliziert mit einem USB-Kabel aufladen, da die Platine zum Laden des Akkus ebenfalls auf der Lochrasterplatine untergebracht wurde. Außerdem sind LiPo-Akkus in verschiedenen Kapazitäten erhältlich, deshalb ist es sehr einfach, sie bei Bedarf zu ersetzen oder aufzuwerten. Falls dieses Artefakt in Zukunft erweitert wird, ist absehbar, dass der Akku eine größere Kapazität haben sollte. Zum Beispiel für den Fall, dass in Zukunft mehr LEDs in das Artefakt eingebaut werden.

Zur weiteren Entwicklung und für die Möglichkeit, ein vergleichbares Projekt aufzubauen, habe ich den Schaltplan und den Arduino-Code in ein öffentliches Repo auf Github¹ hochgeladen.

Literaturverzeichnis

Texas Instruments. (2021). *Data Sheet (National Semiconductor)*.

Bagwell, C. (2015, Februar 22). *GitHub*. Retrieved Oktober 12, 2022, from sox: <https://github.com/cbagwell/sox/blob/master/README.sh>

CiferTech. (2019, Oktober 8). *create.arduino.cc*. Retrieved November 4, 2022, from What Are NeoPixel LEDs?: <https://create.arduino.cc/projecthub/CiferTech/what-are-neopixel-leds-3e7962>

Comparación Arduino Uno – Arduino Nano. (2019, Dezember 16). Retrieved Oktober 25, 2022, from <https://robots-argentina.com.ar/didactica/comparacion-arduino-uno-arduino-nano/>

Draeger. (2021, Oktober 8). *draeger-it*. Retrieved Oktober 3, 2022, from Arduino Lektion 90: Reed Kontakt Sensor Modul: <https://draeger-it.blog/arduino-lektion-90-reed-kontakt-sensor-modul/>

Hackerspace Ffm e.V. (2015, April 7). *hackerspace-ffm*. Retrieved Oktober 12, 2022, from SimpleSDAudio: <https://www.hackerspace-ffm.de/wiki/index.php?title=SimpleSDAudio>

Harley, D., Aneesh P. Tarun, Daniel Germinario, & Ali Mazalek. (2017). *Tangible VR: Diegetic Tangible Objects for Virtual Reality Narratives*. Edinburgh.

Hermann. (2021, Juli 29). *Arduino Technische Daten*. Retrieved Oktober 3, 2022, from starthardware: <https://starthardware.org/arduino-uno/>

Hinderks, A., Martin Schrepp, & Jörg Thomaschewski. (2018). *User Experience Questionnaire*. Retrieved from ueq-online: <https://www.ueq-online.org/>

KUPFERLACKDRAHT. (2017, September 19). Retrieved November 15, 2022, from HEERMANN - Kupferlackdrähte, Backlackdrähte und Hochfrequenzlitzen: <https://www.heermann-gmbh.de/fertigungsprogramm/kupferlackdraht>

Learning about Electronics. (n.d.). Retrieved Oktober 12, 2022, from How to Connect a LM386 Audio Amplifier Chip to a Circuit: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/How-to-connect-a-LM386-audio-amplifier-chip>

Lochrasterplatine. (2022, August 11). Retrieved Oktober 25, 2022, from Multi-CB Leiterplatten: <https://www.multi-circuit-boards.eu/glossar/Lochrasterplatine.html>

Locker, A. (2022, Juli 6). *all3dp.com*. Retrieved from Best 3D Printer Slicer Software: <https://all3dp.com/1/best-3d-slicer-software-3d-printer/>

Luber. (2019, Mai 23). *Was ist eine SD-Karte?* Retrieved November 21, 2022, from Storage-Insider: <https://www.storage-insider.de/was-ist-eine-sd-karte-a-832276/>

Matthies, D. J., Felix M. Manke, Franz Müller, Charalampia Makri, Christoph Anthes, & Dieter Kranzlmüller. (2014). *VR-Stepper: A Do-It-Yourself Game Interface*. arXiv. doi:<https://doi.org/10.48550/arxiv.1407.3948>

- McRoberts, M. (2010). *Beginning Arduino*. Technology in Action.
- mybotic. (2017, September 19). *Micro SD Card Tutorial*. Retrieved November 21, 2022, from Instructables: <https://www.instructables.com/Micro-SD-Card-Tutorial/>
- nkaaf. (2022, Mai 30). *arduino-ide-v1-basics*. Retrieved Oktober 12, 2022, from github: <https://github.com/arduino/docs-content/blob/main/content/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics/arduino-ide-v1-basics.md>
- Ruben. (2018, Mai 17). *rlopezxl.com*. Retrieved Oktober 27, 2022, from TP4056 Charger: <https://rlopezxl.com/blog/power-your-projects-with-a-built-in-lithium-battery-and-a-tp4056-charger/>
- Schoeffler, M. (2021, Januar 6). *mschoeffler*. Retrieved Oktober 13, 2022, from How to use the GY-521 module: <https://mschoeffler.com/2017/10/05/tutorial-how-to-use-the-gy-521-module-mpu-6050-breakout-board-with-the-arduino-uno/>
- Sherman, W. R. (2018). *Understanding Virtual Reality*. Elsevier Inc.
- Spadafora, M. (2016, Februar 14). Designing the Behavior of Interactive Objects. *Proceedings of the TEI '16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, p. 70. doi:10.1145/2839462.2839502
- Wiki. (2018, September 26). *exp-tech*. Retrieved Oktober 4, 2022, from LiPo Akkus: <https://www.exp-tech.de/blog/wiki-lipo-akkus>