

Entwicklung einer portablen Spielekonsole auf ARM-Basis

Bachelorarbeit

im Fachgebiet Mechatronik/Feinwerktechnik



TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
GEORG SIMON OHM

Vorgelegt von:	Max Kippenberg
Studienbereich:	Mechatronik/Feinwerktechnik
Matrikelnummer:	2400986
Erstgutachter:	Prof. Dr. Matthias Hopf
Zweitgutachter:	Prof. Dr. Ralph Lano

© 2016

Dieses Werk einschließlich seiner Teile ist **urheberrechtlich geschützt**. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Prüfungsrechtliche Erklärung

Ich, Max Kippenberg, Matrikel-Nr. 2400986, versichere, dass ich die Arbeit selbständig verfasst, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, alle benutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Unterschrift

Kurzfassung der Arbeit:

Die Konsolen vergangener Generationen faszinieren eine große Gruppe von Menschen, die immer noch gerne die Inhalte ihrer Jugend konsumieren. Die technische Umsetzbarkeit einer portablen Spielekonsole, welche als Emulationsplattform für ältere Konsolen dient, soll untersucht werden. Dazu wird ein Prototyp entwickelt und aufgebaut. Die Schwierigkeiten und Probleme bei der Umsetzung werden herausgearbeitet. Zusätzlich werden die Akzeptanz und der Wunsch des Marktes nach einem derartigen Produkt erforscht. Der rechtliche Hintergrund für die Emulation und ein verkaufsfertiges Produkt wird beleuchtet. Abschließend werden die Kosten, der Aufwand und die allgemeinen Hindernisse für eine Marktreife diskutiert.

Abstract:

Gamingconsoles of previous generations still fascinate a huge group of people, still delighted to consume the content of their youth. The technical possibility of the realisation of a portable gaming console, which serves as an emulation-platform for older consoles, is to be determined. Therefore a prototype is developed and built. The troubles and problems during the implementation are looked upon. Additionally the acceptance and requirement of the market for such a product is explored. The legal background for emulation and a market-ready product is surveyed. Terminatory the expenses, the effort and the general obstacles to get the product ready for the market are discussed.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Stand der Technik.....	2
1.2.1	Smartboy von Hyberkin Lab	2
1.2.2	Super Game Pi von Adafruit Industries	3
1.2.3	Projekte von Einzelpersonen.....	4
1.3	Ziel der Arbeit.....	5
1.4	Aufbau der Arbeit.....	5
2	Ausführung.....	6
2.1	Hardware	6
2.1.1	Wahl der Plattform.....	8
2.1.2	Wahl der Komponenten	11
2.1.2.1	Display	11
2.1.2.2	Audio	13
2.1.2.3	Eingabe	14
2.1.2.4	Versorgung	16
2.1.2.5	Zusätzliche Komponenten	18
2.1.3	Zusammenfassung Hardwareauswahl.....	18
2.1.4	Fliegender Aufbau	20
2.1.5	Zusammenfassung Hardware.....	22
2.2	Software	23
2.2.1	Mögliche Distributionen.....	23
2.2.1.1	Retropie.....	23
2.2.1.2	recalbox-os	23
2.2.2	Vergleich und Auswahl.....	24
2.2.3	Anpassungen	25
2.2.3.1	Ausgabe	25
2.2.3.2	Eingabe.....	26
2.2.3.3	Ton	27
2.2.4	Regelung Lautstärke/Helligkeit	28
2.3	Gehäuse	28
2.3.1	Verwendete Software	29
2.3.2	Konstruktion.....	29
2.3.3	3D-Druck	34

2.3.4	LaserCut.....	36
2.3.5	Lackierung	36
3	Aufbau.....	37
4	Rechtliche Hinweise.....	41
5	Umfrage	44
5.1	Erstellung des Umfragebogens	44
5.2	Durchführung.....	44
5.3	Ergebnisse	44
6	Fazit und kritische Bewertung.....	47
7	Ausblick.....	48
7.1	Zusätzliche Eigenschaften	48
7.2	Marktfähigkeitsanalyse	49
7.3	Persönliche Ziele	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Designprojekt "GAME BOY 1UP" von Florian Renner [11]	1
Abbildung 2: Veröffentlichtes Design von Hyberkin Media im April 2015 [12]	2
Abbildung 3: Super Game Pi der Firma Adafruit Industries [14]	3
Abbildung 4: „PiStation Portable“ von drewsrobots [15].....	4
Abbildung 5: Portable Raspberry Pi der "Ben Heck Show" [16]	4
Abbildung 6: Gameboy Nano von Rasmus Hauschild [17]	4
Abbildung 7: Projekt von Florian Renner [11] mit Beschriftungen zur Analyse	6
Abbildung 8: 3D-Design des Raspberry Pi 3 Modell B [21].....	9
Abbildung 9: 3D-Design des Raspberry Pi Zero [22].....	10
Abbildung 10: Adafruit TFP401 im Größenvergleich mit einem weit verbreiteten Decoderboard	12
Abbildung 11: Maße des gewählten Lautsprechers [26].....	13
Abbildung 12: Anschlussplan der gewählten Klinkenbuchse [27]	14
Abbildung 13: Gewählter Verstärker im Größenvergleich.	14
Abbildung 14: Verschiedene Taster im Größenvergleich	15
Abbildung 15: Schaltplan der Elektronik nach Auswahlprozess.....	18
Abbildung 16: Fliegender Aufbau.....	20
Abbildung 17: Schaltplan nach fliegendem Aufbau	22
Abbildung 18: Frontend Emulationsstation von RetroPie und recalbox-os [36]	24
Abbildung 19: Oberseite in geteilter Ansicht von vorne und hinten.....	30
Abbildung 20: Schnittdarstellung der Befestigung der Eingabe. Ansicht von rechts.	31
Abbildung 21: Mechanismus der Schultertasten in Detailansicht.....	32
Abbildung 22: Erstellte HDMI Kabel auf der linken, sowie deren Erstellung auf der rechten Seite.	32
Abbildung 23: Platzierung der Komponenten in der Unterseite	33
Abbildung 24: Schnittdarstellung der Gesamtbaugruppe mit minimaler Bauhöhe	33
Abbildung 25: Baugruppendarstellung in Explosionsansicht	34
Abbildung 26: Drucke vorläufiger Versionen	35
Abbildung 27: Bearbeiteter Raspberry Pi 3 im Vergleich mit einem Raspberry Pi 2	37
Abbildung 28: Konsole im geöffneten Zustand	40
Abbildung 29: Finaler Schaltplan.....	41
Abbildung 30: Fertiggestellter Prototyp.....	47

Übersicht und Erklärung der verwendeten Formelzeichen und nicht geläufigen Abkürzungen

Ω	Ohm
A	Ampere
Ah	Amperestunde
ARM	A dvanced R ISC M achines: Bestimmte Prozessor-Architektur [1]
cm	Centimeter
cm²	Kubikzentimeter
DSI	D isplay S erial I nterface: Standard für die Kommunikation von Display-Kontrollern [2]
EDID	E xtended D isplay I dentification D ata: Speicher für die Eigenschaften einer Anzeige [3]
FDM	F used D eposition M odeling: Verfahren im 3D-Druck
g	Gramm
GPIO	G eneral P urpose I nput O utput
Hz	Hertz
ISP	I n S ystem P rogrammer
LCD	L iquid C hrysal D isplay. Eine Technik in Bildschirmen [4]
LiPo	L ithium P olymer: Technik für Energiespeicher
LVDS	L ow V oltage D ifferential S ignaling: Schnittstellen-Standard für Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung dar [5]
m	Meter
mA	Milliampere
ml	Milliliter
mm	Millimeter
NiMH	N ickel M etal H ydrid: Technik für Energiespeicher
OLED	O rganic L ight E mitting D iode. Technik für Bildschirme/Raumbeleuchtung [6]
PLA	P olyactic A cid: Kunststoff
ROM	R ead O nly M emory: Speichertechnik
SBC	S ingle B oard C omputer: Einplatinencomputer.
TTL	T ransistor- T ransistor- L ogik: Technik für logische Schaltungen[7]
W	Watt
X86/X64	Prozessorarchitekturen [8]

Definition wichtiger Begrifflichkeiten für diese Arbeit

Emulation	Unter Emulation versteht man die Nachbildung eines Computersystems durch ein anderes Computersystem. [9]
Retro	Bezeichnet im allgemeinen Elemente frühere Stilrichtungen [10]. Im Rahmen dieser Arbeit werden damit hauptsächlich die Spielekonsolen vor der Jahrtausendwende zusammen mit deren Spielgefühl, Optik, Haptik, Bedienung und Spielen bezeichnet.
Spiel(e)konsole	Dabei handelt es sich um Computer oder computerähnliche Geräte, die in erster Linie für Videospiele entwickelt werden.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Generation der 1990er Jahre wurde stark von den damals aufkommenden portablen Spielekonsolen beeinflusst. So kann heute fast jede(r) 20 bis 30-Jährige(r) von eigenen Erfahrungen mit dem Gameboy berichten. Diese fallen meist sehr euphorisch, positiv und auch sentimental aus. Kaum verwunderlich ist es daher, dass man immer öfter Menschen dieser Generation beobachten kann, welche die Spiele ihrer Jugend auf dem Smartphone emulieren oder sogar auf ihrem alten Gameboy spielen. Ersteres fällt dabei allerdings wesentlich häufiger auf, da wohl die wenigsten noch ihre alten Konsolen besitzen oder diese sich noch in einem bespielbaren Zustand befinden. Allerdings kann die Emulation auf dem Smartphone und die damit verbundene Toucheingabe niemals das damals so geliebte Spielgefühl wiederaufleben lassen. So zeigt sich der Spieler wahrscheinlich zunächst euphorisch die Klänge und Bilder seiner Kindheit wiederzuentdecken, allerdings stellt sich zumeist schnell Ernüchterung, aufgrund des durch die Steuerung veränderten Spielgefühl, ein.

Ein Designprojekt von Florian Renner, einem Grafikdesigner aus München, hat daher meine Aufmerksamkeit geweckt und dazu geführt, eine technische Realisierbarkeit einer portablen Spielekonsole, welche ältere Titel verschiedener Konsolen emulieren kann und dabei den Kritikpunkt der Smartphones mit Toucheingabe ausräumen kann, zu prüfen.



Abbildung 1: Designprojekt "GAME BOY 1UP" von Florian Renner [11]

Der Designer übernimmt hier die Designelemente des originalen Gameboy und ordnet diese um einen aktuelleren, größeren Bildschirm mit Breitbildformat an. Das entstehende Design verbindet dadurch moderne und „retro“ Elemente. [11]

Diese Idee hat mich dazu bewogen eine technische Umsetzbarkeit im Rahmen dieser Bachelorarbeit zu eruieren. Weiterhin sollen die wirtschaftlichen Aspekte sowie die Nachfrage nach einem solchen Produkt bewertet werden. Das Projekt umfasst zudem eine große Vielfalt an Themengebieten die im Studium erlernt wurden, deren Kombination die Mechatronik ausmachen.

1.2 Stand der Technik

Um erste Anhaltspunkte über zu planende Funktionen zu finden, werden aktuell am Markt befindliche Produkte untersucht. Hier wurde erwartet, dass derartige Produkte noch nicht am Markt vorhanden sind. Dennoch wurden einige ähnliche Ansätze gefunden, die in eine gleich oder ähnliche Richtung zielen. Im Folgenden wird nun eine Auswahl von Produkten und Projekten vorgestellt, welche ein ähnliches Ziel wie diese Arbeit verfolgen.

1.2.1 Smartboy von Hyberkin Lab

Das amerikanische Unternehmen Hyberkin Lab hat nach der Veröffentlichung eines Bildes eines Hardware Emulators für Smartphones, welches zunächst als Aprilscherz gedacht war, so viel Zuspruch erhalten, dass die hardwaretechnische Entwicklung dieses Produktes angestoßen wurde. Dieses soll nun Ende des Jahres 2016 veröffentlicht werden.



Abbildung 2: Veröffentlichtes Design von Hyberkin Media im April 2015 [12]

Es handelt sich dabei um einen Hardwareemulator, dem ein Smartphone zu Grunde liegt. Das Telefon wird in einen großen Schacht gesteckt, wodurch in etwa der halbe Bildschirm zur Darstellung der Spielinhalte dient. Die andere Hälfte ist mit den gewohnten Tasten eines Gameboy belegt – also D-Pad, ABXY sowie Start und Select. Diese Tasten drücken auf die verdeckte Hälfte des Bildschirms und sind so präpariert, dass das Smartphone diese Eingaben verarbeiten kann. Somit wird die ungewohnte Bedienung der Spiele direkt über den Touchscreen umgangen und ein Gefühl von Hardwaretasten vermittelt. Die eigentliche Besonderheit dieser Entwicklung ist aber ein zusätzlicher Schacht auf der Rückseite des Hardwareemulators. In diesen können die Originalspiele des Game Boy oder Game Boy Color eingesteckt und abgespielt werden. Erst diese Funktion macht das Zusatzteil zum Hardwareemulator und ermöglicht somit sogar ein legales spielen der alten Spiele auf dem Smartphone. Es kann bereits eine Entwicklerversion vorbestellt werden. Diese kostet etwa 60\$. Das Gerät soll aktuell nur für Android Endgeräte verfügbar gemacht werden. [13]

Diese Entwicklung ist für diese Arbeit sehr interessant, da auch hier ein Ansatz verfolgt wird, welcher durch eine angenehme Bedienung punkten möchte. Auch das Designkonzept ist an den original Game Boy angelehnt. Zudem ist die Verwendung der Originalspiele eine echte Innovation auf diesem Gebiet.

1.2.2 Super Game Pi von Adafruit Industries

Die Firma Adafruit mit Sitz in New York hat sich in den letzten Jahren einen Namen gemacht für qualitativ hochwertige Hardware, die sich vor allem an Experimentierfreudige richtet, welche eigene Elektronikprojekte umsetzen wollen. Um die eigenen Produkte im Einsatz zu zeigen und auch zu bewerben, entwickelt das Unternehmen deshalb immer wieder Projekte, die deren Komponenten verwenden und somit den Einsatz demonstrieren.

So wurden mehrere Spielkonsolen entworfen. Alle basieren auf unterschiedlichen Versionen des Raspberry Pi, einem bekannten SBC. Für diese Konsolen werden Bundles aus verwendeten Teilen im eigenen Shop angeboten, um Menschen zum Nachmachen zu motivieren. Dazu werden immer ausführliche Anleitungen mit Bildern und Videos geliefert, welche das Nachbauen erleichtern sollen.



Abbildung 3: Super Game Pi der Firma Adafruit Industries [14]

Die Version welche dem in dieser Arbeit verfolgten Ansatz am nächsten kommt, ist der „Super Game Pi“. Dieser verwendet unter anderem einen 5“ TFT Monitor, einen Analog Stick, Stereo Lautsprecher und einen Raspberry Pi A+. Eingefasst werden die Komponenten in ein eigens entwickeltes Gehäuse für den 3D Druck. Alle verwendeten Einzelteile, bis auf das Gehäuse und zwei Tasten, werden im Adafruit Shop vertrieben. Viele der Komponenten sind dabei Eigenentwicklungen der Firma, wie der Laderegler, der HDMI Decoder oder auch der Audio Verstärker.

Softwareseitig setzt Adafruit auf „RetroPie“, einer speziellen Distribution für Emulation auf dem Raspberry Pi. In Kapitel 2.2.1.1 wird auf diese Distribution noch einmal genauer eingegangen. Die Modifikationen an der Software, die für das Projekt vorgenommen werden müssen werden auch ausführlich in der Anleitung beschrieben.

Der Super Game Pi richtet sich damit vor allem an Bastler mit einer Ambition für Retrospiele und Elektronik. Gleichzeitig wird versucht das Niveau der notwendigen Änderungen möglichst gering zu halten und dabei möglichst genau zu beschreiben und anzuleiten. [14]

Dieses Projekt ist dabei für die vorliegende Arbeit sehr interessant, da der Ansatz im Grunde der gleiche ist, nur, dass das ein höherer Fokus auf der Nachbaubarkeit liegt, als auf dem Design und damit Haptik und Optik.

1.2.3 Projekte von Einzelpersonen

Es existieren auch viele Projekte von Einzelpersonen, die ihre Arbeit im Internet teilen. Nachfolgend werden exemplarisch einige Vertreter mit ihren Besonderheiten vorgestellt um den Nutzen für dieses Projekt herauszufinden.



Abbildung 4: „PiStation Portable“ von drewsrobots [15]

In Abbildung 4 ist ein Projekt zu sehen, welches einen ähnlichen Ansatz wie das Projekt von Adafruit Industries in Punkt 1.2.2 wählt. Die Besonderheit liegt dabei in den beleuchteten Knöpfen und dem verwendeten analogen Display. Im Kern agiert hier ein Raspberry Pi B erster Generation, welcher wiederum softwareseitig von RetroPie bedient wird. [15]

Das herausstechende für diese Arbeit ist allerdings das ansprechende Design und die

Haptik, welche zwar nur durch die Bilder eingeschätzt werden kann, aber wohl gut ergonomisch umgesetzt worden ist.

Element 14, eines der größten Versandhäuser für Elektronik produziert die Web Serie „The Ben Heck Show“ bei der Ben Heckendorne und sein Team jede Woche interessante Elektronik - projekte entwerfen. Eines dieser Projekte war im Jahr 2013 eine mobile Konsole auf Basis des Raspberry Pi, die in Abbildung 5 dargestellt ist. Das Besondere dabei ist, dass hier großer



Abbildung 5: Portable Raspberry Pi der "Ben Heck Show" [16]

Wert auf ein optisch hochwertiges Endprodukt gesetzt wurde. Techniken wie 3D-Druck und Lasercut verschiedener Materialien kamen zum Einsatz, um in Kombination ein Produkt zu schaffen, welches zumindest auf den ersten Blick marktreif wirkt. Vor allem die Elemente, die per Laser ausgeschnitten wurden und die Knöpfe aus Acrylglas mit den Beschriftungen, geben dem Projekt ein sehr professionelles Aussehen. [16]



Abbildung 6: Gameboy Nano von Rasmus Hauschild [17]

Der Game Boy Nano ist eine weitere interessante Adaption des Dänen Rasmus Hauschild. Hier wurde ein Raspberry Pi Zero verbaut, um diese enorm kleine Bauform zu ermöglichen. Auch dieses Projekt setzt auf die Software „RetroPie“.

Diese Adaption sei hier vermerkt um auf die geringen Dimensionen zu verweisen, welche mit einem solchen Aufbau erreicht werden können. [17]

1.3 Ziel der Arbeit

Nach der Analyse des Marktes können die Aspekte festgelegt werden, welchen in dieser Arbeit größere Bedeutung zukommen soll. So hat die Analyse gezeigt, dass bereits viele ähnliche Projekte entstanden sind, wovon einige sogar auf eine Marktreife hoffen können. Allerdings weisen die wenigsten die Qualität und Einfachheit der Bedienung, sowie einen einfachen Aufbau auf. Dies wäre jedoch nötig um als ein marktfertiges Produkt eingeschätzt werden zu können.

Es soll daher grundsätzlich eruiert werden, inwiefern eine Entwicklung einer portablen Spielekonsole bei einem sehr geringen Budget möglich ist. Dabei wird ein professionell anmutendes Endergebnis angestrebt, welches - von außen betrachtet - den Anschein eines marktfertigen- und fähigen Produktes aufweist. Auch soll eine möglichst einfache technische Realisierung verfolgt werden, um ein Nachbauen der Konsole zu ermöglichen. Die Qualität der Bedienung ist von hoher Bedeutung.

Weiterhin soll herausgefunden werden, ob für ein solches Produkt ein Markt bestehen kann. Dabei orientiert sich diese Arbeit optisch an den Entwürfen von Florian Renner [11]. Ebenso ist immanent, dass es sich bei dem zu entwickelnden Produkt um eines handelt, welches andere Systeme emuliert, da im Rahmen dieser Arbeit keine eigenen Spiele entwickelt werden können. Als zusätzlicher Wunsch wird eine maximale Bauhöhe von 20mm angestrebt.

1.4 Aufbau der Arbeit

Bedingt durch die Art der Abschlussarbeit handelt es sich bei der folgenden Ausarbeitung größtenteils um einen Projektbericht mit vertiefenden Erklärungen zum Auswahl-, Entwicklungs- und generellen Entstehungsprozess. Dabei unterteilt sich die Arbeit in die drei großen Themengebiete Hardware, Software und Konstruktion. Ergänzend dazu folgen rechtliche Grundlagen sowie eine kurze Marktbefragung.

Der Aufbau orientiert sich an den „Allgemeinen Richtlinien zur Anfertigung wissenschaftlich-technischer Arbeiten“ von Professor Dr. E. Schönherr und Professor Dr. Stefan Ströhla der TH Nürnberg vom Oktober 2015, sowie an der Latex Vorlage für Abschlussarbeiten an der TH Nürnberg von Stefan Macke [18]. Der Zitationsstil befolgt die ISO 690-2010.

2 Ausführung

Dieses Kapitel beschreibt die Vorgehensweise bei der Verwirklichung des Projektes. Der Aufbau ist weitestgehend chronologisch, sowie gleichzeitig in die großen Themengebiete unterteilt. Da es nicht möglich ist diese Überpunkte sequenziell abzuarbeiten, wird die Unterteilung in Kategorien gegenüber der Chronologie priorisiert.

2.1 Hardware

Die Hardware orientiert sich am Design von Florian Renner [11]. Um die benötigten Komponenten zu ermitteln, wird dieses zunächst analysiert.

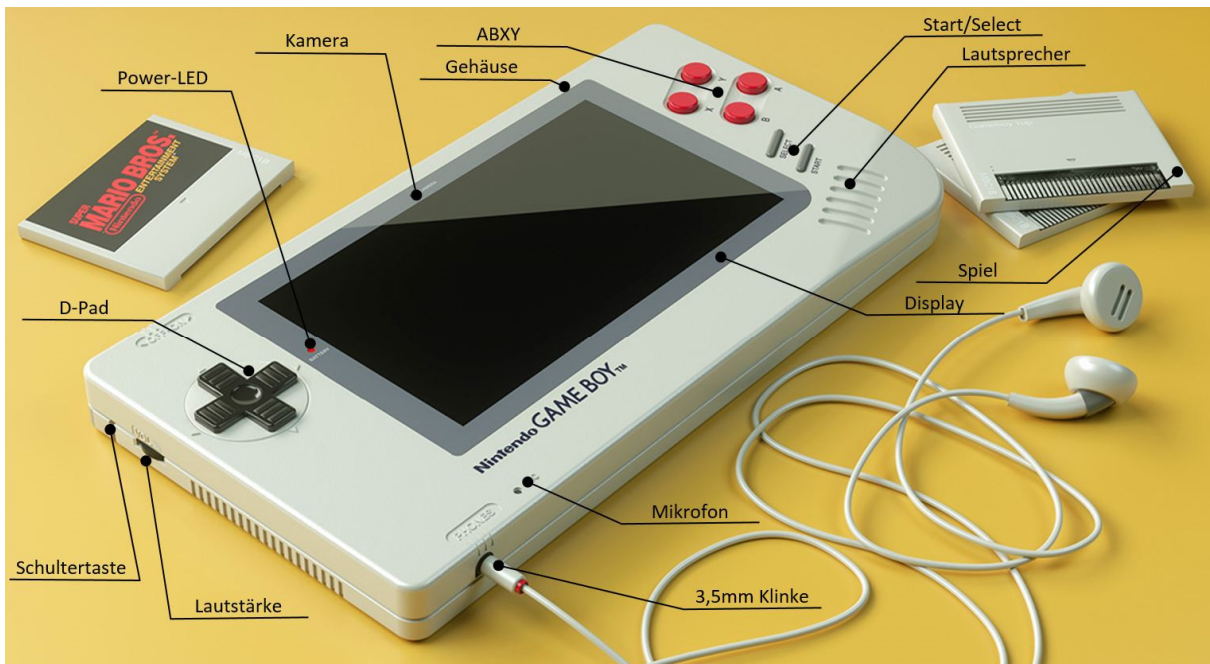


Abbildung 7: Projekt von Florian Renner [11] mit Beschriftungen zur Analyse

In obenstehender Abbildung werden die einzelnen Komponenten dargestellt. Im Folgenden werden diese nun diskutiert und ergeben Anforderungen an die Hardware.

Das Offensichtliche zuerst: Die Konsole benötigt ein Gehäuse. Auf diesen Punkt wird unter dem Punkt 2.3 näher eingegangen. Weiterhin erkennt man das Display, welches für eine mobile Konsole essentiell ist. Als weitere audiovisuelle Komponenten lassen sich eine Kamera, ein Mikrofon, ein Lautsprecher und die 3,5mm Klinkenbuchse erkennen. Für die Eingabeoptionen wird hier mit ABXY, D-Pad, Start/Select und den beiden Schultertasten, also insgesamt zehn Knöpfen gearbeitet. Eine Benachrichtigung über den Betriebszustand gibt die Power-LED. Die Lautstärke wird über ein Drehrad an der Seite geregelt.

Weitere Komponenten sind nicht direkt aus der Abbildung ersichtlich, lassen sich aber über die normalen Anforderungen an eine portablen Spiele erschließen. So wird eine berechnende Einheit benötigt, in diesem Fall ein System, welches möglichst gut andere System nachbilden kann. Weiterhin wird eine Energieversorgung benötigt. Diese setzt sich zusammen aus einer Einheit, welche Energie speichern kann und einem passenden Laderegler zu dieser Einheit. Zusätzlich wird durch die Verwendung des Lautsprechers ein Verstärker benötigt. Auch ein Speicher für System und Spieldaten ist essentiell.

Die so gewonnenen Informationen führen über zur Wahl der einzelnen Komponenten.

Diese Auswahl wird natürlich auch durch das gegebene Budget begrenzt. Daher ist es nötig die verfügbaren Mittel auf die einzelnen Teile zu verteilen um stets den Rahmen zu wahren. Für diesen Zweck wird im Folgenden eine Tabelle angelegt welche eine erste Idee über die Aufteilung und die zu wählenden Komponenten gibt. Dabei sind alle Preise zunächst Schätzpreise ohne vorher eine Recherche durchgeführt zu haben. Diese Schätzpreise basieren daher nur auf den Erfahrungen des Autors. Eine Verschiebung dieser der Verteilung ist deshalb, ebenso wie die Erfordernis von weiteren Komponenten, wahrscheinlich.

Die finanzielle Obergrenze wird zu Beginn des Projektes auf 250€ gesetzt.

Tabelle 1: Schätzpreise der Komponenten

<i>Lfd. Nr</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Schätzpreis</i>
Verarbeitung			
1	1	ARM SBC	50,00 €
2	1	Verstärker	5,00 €
3	1	Speicher	20,00 €
Ausgabe			
4	1	Display	50,00 €
5	1	Lautsprecher	5,00 €
Eingabe			
6	1	Mikrofon	5,00 €
7	1	Kamera	10,00 €
Versorgung			
8	1	Akku	15,00 €
9	1	Laderegler	20,00 €
			Summe: 170,00 €

Mit diesen ersten Einschätzungen wird klar, dass sich dieses Projekt am Rand der finanziellen gesteckten Grenze bewegt. Bei dieser Aufstellung sind viele kleinere Komponenten wie beispielsweise Kabel, Schalter/Taster und Leuchtdioden, aber auch die Kosten für ein Gehäuse noch nicht aufgeführt, da diese Komponenten stark von den zu wählenden Basis-Komponenten und noch nicht festgelegten Eigenschaften des Endproduktes abhängen. Auch die zu verwendende Eingabemethode wird noch nicht aufgeführt. Um die verschiedenen Möglichkeiten dafür herauszufinden ist eine Recherche nötig.

Es wird klar, dass der Preis der zu wählenden Komponenten in diesem Projekt eine große Rolle spielt. Zusätzlich ist eine Beschädigung der Komponenten im Laufe der Arbeit als sehr kritisch anzusehen, da das Budget nicht für Ersatzteile ausgelegt ist.

2.1.1 Wahl der Plattform

Für diese Arbeit kommt eigentlich nur ein kompaktes Komplettsystem (SBC) in Frage, da eine Entwicklung eines eigenen Layouts mit selbst gewählten Komponenten wie Prozessoren, Speichern und Controllern zu viel Aufwand, sowohl in zeitlicher als auch finanzieller Hinsicht darstellt. Ein Schätzpries von 50€ wird vor der Suche angesetzt und soll auch nicht überschritten werden, um Budgetengpässe zu vermeiden.

Weiterhin schränkt der Titel der Arbeit die Auswahl insofern ein, dass nur ARM-Prozessoren verwendet werden können. Dies stellt allerdings kein großes Hindernis, da die meisten Systeme in diesem Preisbereich ohnehin auf Prozessoren dieser Klasse setzen. Systeme mit X64 oder X86 Architektur, welche die größte Konkurrenz für ARM-Prozessoren darstellen, bewegen sich jenseits der 50€ Marke.

Eine weitere Einschränkung ist die benötigte Fähigkeit der Emulation. Dies wird aber hauptsächlich durch die verwendete Software bestimmt. Zwar kann eine Emulation sicherlich durch den Einsatz bestimmter Prozessoren und Grafikprozessoren profitieren, der Grundstein ist hier aber immer die Software. Daher sollte nach Möglichkeit nach einem System gesucht werden, welches bereits bekannt dafür ist, gut dafür geeignet zu sein diese Anforderung zu erfüllen, da durch die Bekanntheit eine größere Unterstützung durch viele Einzelpersonen im Internet gegeben ist. Aus einer größerer Bekanntheit folgt oft auch eine potentere Emulation, da diese Systeme eher dazu neigen auf Softwareseite spezifischer angepasst zu werden um möglichst viel der gegebenen Leistung für die Emulation verwenden zu können. Somit sind die Wahl der Plattform und der Software stark miteinander verknüpft und erfolgen parallel.

Die Marktanalyse hat bereits gezeigt, dass sehr viele Systeme auf den Raspberry Pi setzten und die Software „RetroPie“ zur Emulation verwenden. Daher wird zunächst in dieser Richtung nach einer passenden Plattform gesucht.

Der Raspberry Pi ist ein Einplatinencomputer (SBC) in der Größe einer Kreditkarte. Er wird seit Mitte 2011 vertrieben und ist seitdem in immer wieder verbesserten Versionen erschienen. Ursprünglich war das Ziel des Projektes Kindern den Zugang zu Computern und insbesondere zum Programmieren zu erleichtern. Das sollte vor allem über den Preis von etwa 40€ bewerkstelligt werden. Durch diesen geringen Preis für einen komplett funktionsfähigen Computer hat sich aber schnell eine riesige Nutzerbasis um den kleinen Rechner gebildet und mit der steigenden Nutzerzahl entstanden auch viele neue Anwendungsgebiete für das System. Die bekanntesten Adaptionen kümmern sich hier um das eigene Mediacenter, Hausautomation, die eigene Cloud oder auch um die Emulation von anderen Systemen. [19]

Der damals entstandene „Hype“ um den Kleincomputer hat die Entwicklung von vielen Derivaten anderer Firmen losgetreten. So existiert heute eine Vielzahl von ähnlichen Boards, welche durch jeweils etwas abweichende Eigenschaften versuchen sich einen Anteil am Markt zu sichern. Viele haben sogar den Namen des Vorfahren Raspberry Pi adaptiert und nennen sich in Anlehnung daran etwa Banana Pi, Orange Pi oder auch Nano Pi. Daraus folgt eine große Auswahl für den Suchenden und auch die Möglichkeit das am besten passende Board für das gestellte Problem zu wählen. Dennoch ist hier immer darauf zu achten, dass auch hier immer eine Software verfügbar sein sollte, welche den Ansprüchen an das Projekt genüge tragen kann.

So ist auch für dieses Projekt die Verfügbarkeit von Software der treibende Grund für die Entscheidungsfindung. Da sich bei der Recherche herausstellt, dass die bekannteren, größeren Distributionen (näheres dazu in Kapitel 2.2.1) für Emulation alle auf den Raspberry Pi setzen und nur sehr vereinzelt auf Konkurrenzplattformen Unterstützt werden. Daher wird auch für diese Arbeit die Verwendung eines Raspberry Pi angestrebt um maximale Kompatibilität der Plattform sicherzustellen.

Die Raspberry Pi Foundation hat nach dem Erfolg des „Ur-Pi“ immer wieder neue Nachfolger vorgestellt, immer mit neuen Features aber auch Modellen mit anderen Dimensionen. Daher ist auch noch innerhalb der Raspberry Pi Familie noch eine Auswahl nötig. Die Entscheidung erfolgt hier hauptsächlich zwischen Bauform und Leistung.

Das Modell des ursprünglichen Raspberry Pi wird dabei als „B“ bezeichnet. Darauf folgend wurden Modelle in der Bauform „A“ mit etwas geringen Dimensionen, und „Zero“, mit einem sehr kompakten Design vorgestellt. Bauform „A“ wird für dieses Projekt nicht in Erwägung gezogen, da hier das letzte Modell Ende 2014 erschienen ist und damit technisch hinter den anderen beiden Modellen abgefallen ist [20]. Daher wird nachfolgend die Einsetzbarkeit der aktuellen Generation des Raspberry Pi B und Zero für das Vorhaben diskutiert.

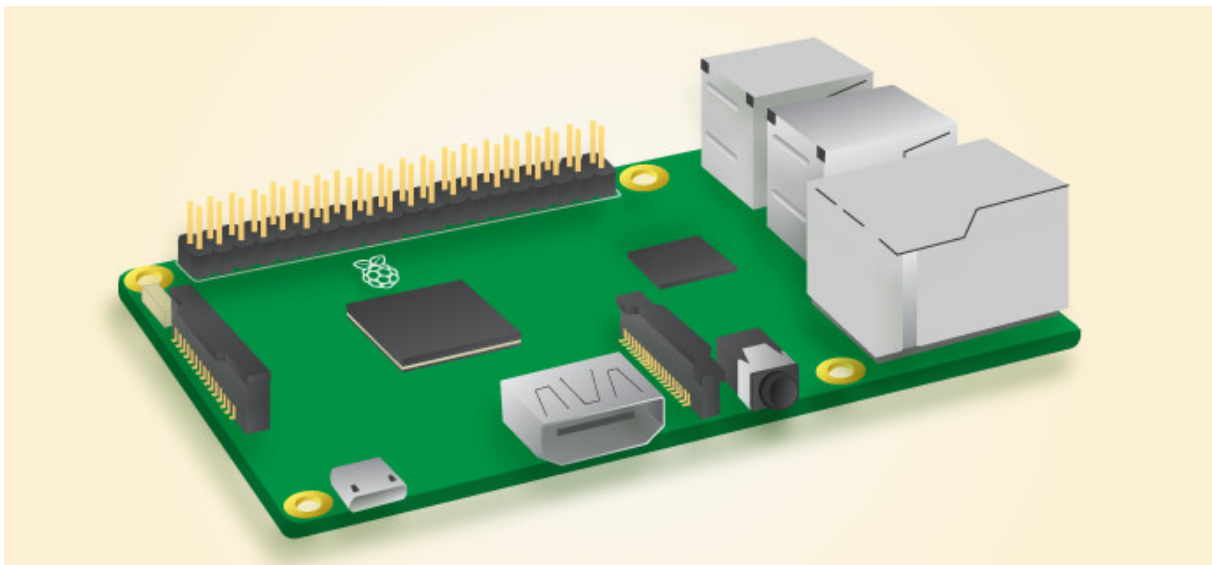


Abbildung 8: 3D-Design des Raspberry Pi 3 Modell B [21]

Der Raspberry 3 Modell B wurde Anfang 2016 vorgestellt. Die Neuerungen gegenüber dem Vorgänger umfassen eine Integration von W-LAN und Bluetooth sowie den Einsatz eines neuen 4-Kern-Prozessors auf ARM-Basis. Damit hat der SBC einen großen Leistungszuwachs gegenüber dem Vorgänger erfahren. Da schon das Vorgängermodell gute Ergebnisse bei der Emulation erzielt hat, sind hier mindestens gleichwertige Qualitäten zu erwarten. [21]

Die neu verbaute Konnektivität erspart den Einsatz von USB-Modulen, welche zusätzlichen Raum beanspruchen würden. Das größte Hindernis für das vorliegende Vorhaben ist die Bauhöhe des Moduls. Diese beträgt an der höchsten Stelle etwa 18mm, wodurch die Realisierung eines Endproduktes, welches maximal 20mm in der Höhe misst, nahezu unmöglich erscheint. Allerdings wird die Überlegung angestellt, die hohen THT Komponenten, wie die USB Sockel und den Ethernet Anschluss, sowie den GPIO Header zu entfernen, da diese ohnehin nicht gebraucht werden. Alle Verbindungen die von diesen Komponenten benötigt werden, können direkt mit dem PCB verlötet werden. Die daraus resultierende Höhe würde dann nur noch ca. 9mm betragen und vom HDMI Anschluss begrenzt werden. Die Bildausgabe kann per HDMI oder DSI Anschluss erfolgen. Audiotechnisch stehen Ton aus dem HDMI Anschluss und die 3,5mm Klinken Buchse zur Verfügung. Das Modell B erfüllt somit schon viele Anforderungen, die für die Erfüllung der Aufgabe benötigt werden.

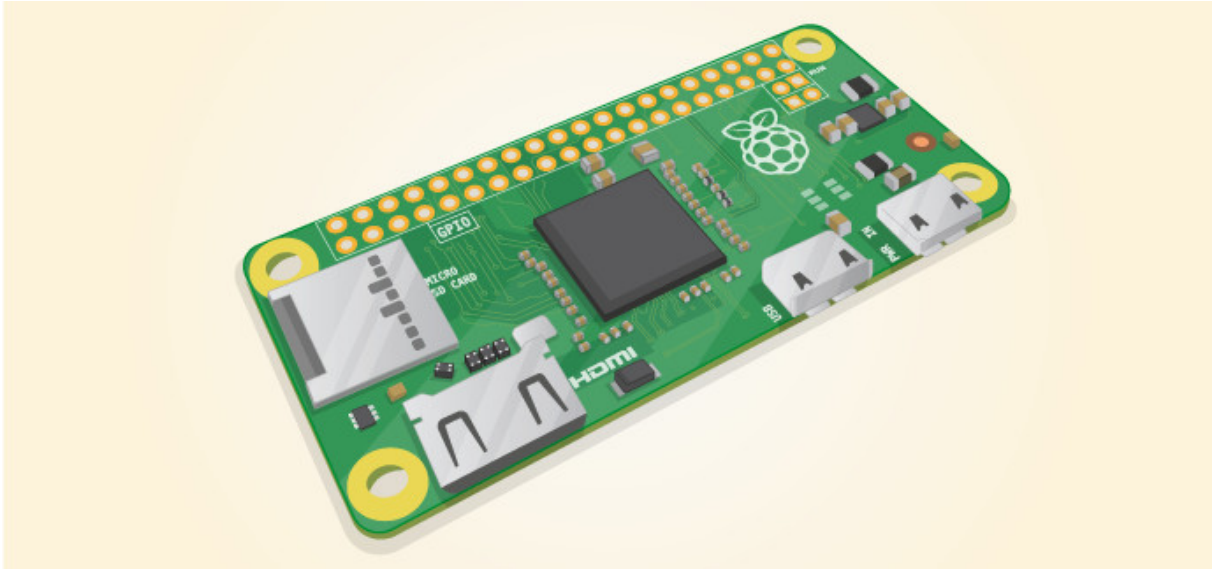


Abbildung 9: 3D-Design des Raspberry Pi Zero [22]

Ende 2015 kündigte der CEO der Raspberry Foundation, Eben Upton, ein neues Modell des Raspberry Pi an: Den Raspberry Pi Zero. Dieser setzt auf den Prozessor des ersten Pi Modell B, allerdings mit einer signifikanten Takterhöhung. Zusätzlich bietet der Zero die vollen 40 GPIO Pins der neueren Pi Modelle, jedoch ohne bereits eingelötete Pins. Bildausgabe erfolgt durch den Mini-HDMI Anschluss. Analoge Tonausgabe ist bei diesem Modell, ebenso wie Netzwerkkonnektivität, nicht verbaut. USB Geräte können über den USB OTG Anschluss betrieben werden. Das Besondere am Raspberry Pi Zero ist, neben einer physischen Dimension von 65mm x 30mm x 5mm, der Preis: Eben Upton kündigte das Modell für \$5 an. Der Computer war anfangs sogar eine Beigabe zur Zeitschrift „The MagPi“. [23]

Vor allem bedingt durch den Preis, konnte die Raspberry Pi Foundation erneut einen „Hype“ um eines ihrer Geräte auslösen. Der Ansturm war dabei so hoch, dass eine Verfügbarkeit des Kleinstrechners auch noch nach einem halben Jahr nach der Vorstellung kaum gegeben war. Neben der Verfügbarkeit existieren aber auch weitere Punkte, welche die Verwendung des Pi Zero für diese Arbeit erschweren. So wird hier die Verwendung der Bildausgabe über HDMI erzwungen. Zusätzlich dazu muss ein Adapter von Mini HDMI auf HDMI verwendet werden, da kein passendes Display mit Mini HDMI gefunden wurde (Weiteres hierzu in Punkt 2.1.2.1). Auch die analoge Audioausgabe-Möglichkeit gestaltet sich kritisch, da der Ton aus dem HDMI Signal extrahiert werden muss, wofür ein weiterer Baustein nötig ist. Hinzu kommt, dass auch eine Netzwerkfähigkeit über W-Lan für das Produkt geplant ist, wodurch ein weiteres Modul mit zusätzlichem USB OTG Adapter benötigt wird. Fasst man diese gesamten zusätzlich benötigten Komponenten zusammen ergibt sich weder ein Preis- noch ein Platzbedarfvorteil gegenüber einem Modell B für den Raspberry Zero. Auch die Anzahl der Systeme welche emuliert werden können wird durch die Verwendung des betagten Prozessors beschränkt. Schätzungsweise können hier nur Systeme emuliert werden, welche vor den 1990er Jahren erschienen sind. Der Raspberry Pi 3 ist fähig Systeme nachzubilden, welche bis etwa Anfang der 2000er Jahre erschienen sind.

Bedingt durch die vorgehenden angeführten Nachteile wird die Verwendung des Raspberry Pi Zero nicht in Betracht gezogen.

Die Wahl der Software ergibt gleichzeitig, dass die großen bekannten Emulationsplattformen nativ ausschließlich SBC's der Raspberry Pi Foundation bedienen. Zwar existieren noch zahlreiche weitere interessante Kandidaten, welche die Hardwareanforderungen teils sogar besser erfüllen, allerdings ist

für diese Arbeit die Emulation das entscheidende Kriterium. Der Raspberry Pi 3 Modell B wird daher als Plattform gewählt. Mit einem Preis von 42€ liegt dieser auch unterhalb des Schätzwertes.

2.1.2 Wahl der Komponenten

Ausgehend von der gewählten Plattform, werden im Folgenden die zusätzlich benötigten Komponenten ausgewählt. Auch hier wird versucht chronologisch und der Wichtigkeit nach vorzugehen.

2.1.2.1 Display

Der Anzeige der Inhalte kommt ein hoher Stellenwert zu. Die Darstellungsqualität soll in guter Auflösung und möglichst blickwinkelstabil erfolgen. Zudem entscheidet das verwendete Display die letzten Dimensionen der Konsole maßgeblich, daher wird dieser Baustein zuerst beleuchtet, um die gewünschten Proportionen erhalten zu können.

Die erste Grundsatzfrage, die sich bei der Wahl des Displays stellt ist, ob ein Touchscreen verwendet werden soll. Diese Möglichkeit wird allerdings gleich verworfen, da sowohl die Bedienung der gängigen Emulationsoberflächen per Touch noch nicht funktioniert und somit ein großer Arbeitsaufwand bei der Software entstehen würde, als auch da sich zu Beginn dieser Arbeit die Prämisse gesetzt wurde, die Bedienung so weit wie möglich einer „Retro-Konsole“ nachzuempfinden.

Eine weitere Grundsatzfrage ist, ob die Signalübertragung digital oder analog erfolgen soll. Der Raspberry Pi schränkt diese Wahl nicht ein, da der SBC beide Ausgabemöglichkeiten beherrscht. Analoge Übertragung bietet den Vorteil von schmalen Kabeln und kleiner Steuerelektronik für das Display. Der größte Kritikpunkt ist allerdings ein etwas verwaschenes Bild, bedingt durch die analoge Technik. Daher kann ein analoges Display nicht die Schärfe der Darstellung eines Displays erreichen, welches über diskrete, sprich digitale, Signale angesteuert wird. Da nun bei einer kleinen portablen Konsole die Lesbarkeit von Texten eine Rolle spielt, wird nach einem digitalen Display gesucht.

Weiterhin wird eine passende Größe festgelegt. Hier erscheint ein durchschnittliches Smartphone Display mit etwas 4,5" - 5" Bildschirmdiagonale zu klein. Das Display eines kleinen Tablets mit etwa 7" wird als zu groß erachtet. Als optimal wird als ein Display mit etwa 6" angesetzt.

Diese ersten Einschätzungen stützen sich hauptsächlich auf die Zeichnungen der Vorlage von Florian Renner [11] an denen sich dieses Projekt grob orientiert und deren Relation von Bedienelementen zu Display. Um die unterschiedlichen Inhalte darstellen zu können, wird für dieses Projekt ein Farbdisplay Verwendung finden müssen das über eine Pixelmatrix. Damit schränkt sich die Auswahl der Displaytechnik auf LCD ein. Andere Technologien, wie beispielsweise OLED, liegen zwar im Bereich des Möglichen, sind aber in dieser Größe nicht gängig und würden deshalb den Verfügungsrahmen des Projektes überschreiten.

Nach der Festlegung der Größe und der Technologie des Displays muss über dessen Ansteuerung nachgedacht werden. Der zuvor gewählte Raspberry Pi 3 verfügt über zwei verschiedene Möglichkeiten ein Display der angepeilten Größe digital anzusteuern. Zum einen ist ein HDMI Ausgang vorhanden, zum anderen aber auch eine DSI Schnittstelle. DSI ist hier zunächst interessanter, da bei dieser Methode das Display direkt ohne Controllerboard angeschlossen werden kann, was Kosten und Platz im Gehäuse einspart. Problematisch ist allerdings, dass es sich bei dieser Schnittstelle um eine proprietäre handelt. Daher ist nur wenig über diese Schnittstelle bekannt und es ist auch nur ein Display für diese Schnittstelle für den Raspberry Pi auf dem Markt. Dieses wird von der Raspberry Foundation selbst entwickelt und vertrieben. Es misst 7" in der Diagonale und scheidet deshalb aus. Das Display des iPhone 4 wird auch über diese Schnittstelle angesteuert, allerdings verfügt dieses über einen anderen Anschluss, dessen Pinbelegung nicht bekannt ist. Vermutlich könnte man dieses dennoch verwenden, allerdings wäre das mit einem enormen Aufwand verbunden und der Erfolg nicht

sichergestellt, zudem misst das Display nur 3,5" in der Diagonale. Daher wird auch diese Option verworfen. Die verfügbare Anzahl an Displays mit DSI Protokoll ist verschwindend gering, daher wird auf ein Display gesetzt, das sich mit HDMI ansteuern lässt.

Das codierte HDMI Signal aus dem Raspberry Pi muss bei dieser Möglichkeit aber immer decodiert werden um es anzeigen zu können. Daher wird für jedes Display auch eine dedizierte Ansteuerung benötigt, was wiederum die Kosten und den Platzbedarf im Gehäuse steigert. Recherchen zeigen, dass die meisten Displays direkt über LVDS oder TTL angesteuert werden. Da hierbei auch auffällt, dass die Ansteuerung bei vielen Displays sehr groß und vor allem auch hoch ausfällt wird eine Ansteuerung gesucht, die vorrangig wenig Platz einnimmt um das Gehäuse schlank zu halten. Die Anbindung des Displays wird auf unterschiedliche Weisen gelöst, meistens findet jedoch ein Flachbandkabel Einsatz, was für die hier angezielte Anwendung aufgrund des geringen Platzbedarfes auch als positiv erachtet wird.

Die Suche nach 6" Displays mit HDMI Decoder ist erfolglos. Die 6" Klasse ist nicht gängig genug um hier Verwendung finden zu können. Gleichzeitig wird festgestellt, dass die Wahl entweder auf ein 5" oder ein 7" fallen muss, da nur diese beiden Möglichkeiten für Privatpersonen zugänglich sind. Die Diagonalen weichen zwar von diesem Werten ab, bewegen sich aber immer in einem schmalen Korridor darum.

Zusätzliche Überlegungen schließen ein 7" Display aus, da die Dimensionen des Endproduktes sonst die einer gut tragbaren Konsole überschreiten. Weiterhin wird ein Großteil des Stromverbrauches solcher mobilen Geräte von deren Display, genauer deren Beleuchtung, verursacht. Mit größerer Diagonale steigt damit auch der Stromverbrauch, deshalb wird die Diagonale auf 5" festgelegt.

Hier ergibt die Suche mehrere vielversprechende Ergebnisse. Dabei fällt auf, dass die meisten Pakete aus Display und Decoder den gleichen Decoder verwenden. Dieser kann verschiedene Displays, sowohl über LVDS und TTL ansteuern und verfügt auch über mehrere Eingänge und fällt daher entsprechend groß aus. Ein Größenvergleich zu dem später gewählten Decoder ist in Abbildung 10 zu sehen. Die Gruppe der Displays die diesen Decoder verwenden wird daher ausgeschlossen, da vor allem die Höhe des Gehäuses stark ausgedehnt werden müsste.

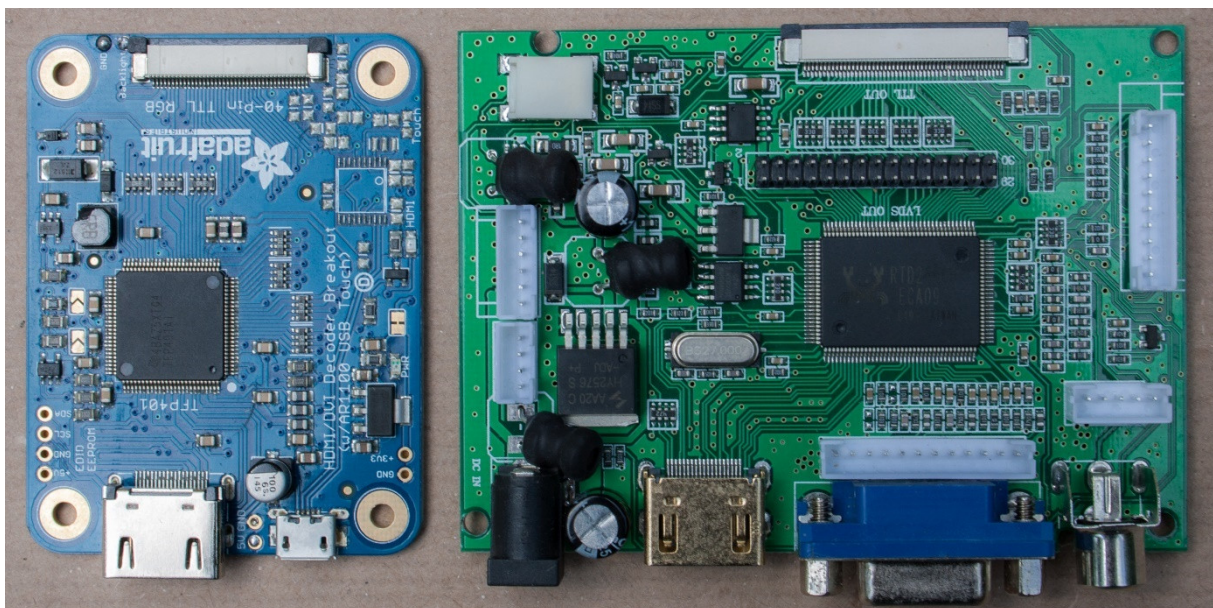


Abbildung 10: Adafrit TFP401 im Größenvergleich mit einem weit verbreiteten Decoderboard

Das vielversprechendste Produkt wird von der Firma Adafruit vertrieben. Diese Firma hat sich auf Elektronikkomponenten spezialisiert. Es werden eigens entwickelt und produzierte Komponenten vertrieben, die stets durch Qualität und Funktion herausragen können. Auch Anleitungen zu Projekten mit den eigenen Produkten werden kostenlos angeboten. Ein Beispiel dazu wurde bereits in Kapitel 1.2.2 erwähnt.

So wird auch ein eigens entwickelter HDMI Decoder für eine Vielzahl an Displays angeboten. Die Anbindung ans Display erfolgt über ein 40-poliges Flachbandkabel. Zusätzlich lässt sich die Hintergrundbeleuchtung des Displays durch einen PWM Eingang am Decoderboard regeln. Die Dimensionen des Boards sind mit 66 mm x 56 mm x 13 mm zwar immer noch groß, aber deutlich schlanker als alle anderen gefunden Vertreter. Zudem ist die höchste Komponente des Boards der HDMI Anschluss und somit in der Höhe so klein wie möglich. Mit einem Preis von 25€ liegt das Board auch sehr gut im geschätzten Rahmen. [24]

Es sind auch 5" Displays beim gleichen Händler verfügbar, welche mit nur einer Dicke von etwa 4 mm wenig zur Endhöhe beitragen und mit dem beschriebenen Decoderboard kompatibel sind. Mit einer Auflösung von 840 x 480 Pixel, ist auch die Qualität der Darstellung bei der gegebenen Displaygröße durchaus ausreichend. Das Display kostet 32€ und befindet sich damit auch unter dem zunächst geschätzten Preis. [25]

Diese Kombination wird als die Bestmögliche befunden und wird daher gewählt. Zusätzlich wird noch eine Verlängerung für das 40-polige Flachbandkabel für 5€ ausgesucht, um die Platzierbarkeit der Komponenten im Gehäuse zu erleichtern. Zusätzlich werden noch einzelne HDMI Stecker mit Lötanschlüssen ausgewählt um daraus ein Kabel mit passender Länge und Flexibilität herstellen zu können. Fertig konfektionierte Kabel sind nur in Längen über 10cm verfügbar, was wiederum Platzprobleme im Gehäuse verursachen würde. Zudem ist bei diesen die Flexibilität stark eingeschränkt. Eine freie Anordnung der Komponenten im Gehäuse wird dadurch enorm erschwert. Auch feste Adapter schränken diese Freiheit ein und nehmen zu viel Platz ein.

2.1.2.2 Audio

Der gewählte SBC bietet die Möglichkeit der Audioausgabe über 3,5mm Klinke oder HDMI. Da die Nutzung des Signals aus dem HDMI-Anschluss mit größerem Aufwand verbunden ist, da hierfür noch zusätzlich ein Baustein Nötig benötigt wird, welcher das Audiosignal extrahiert, wird diese Option nicht gewählt. Zwar bietet diese Möglichkeit eine vermeintlich bessere Qualität des Audiosignals, allerdings ist der zusätzliche Platzbedarf durch einen Audio Extractor enorm. Auch finanziell wirkt sich diese Option sehr negativ aus. Daher wird die analoge Ausgabe per 3,5mm Klinkenbuchse angestrebt.

Bei der Audioausgabe soll auf einen einzelnen Lautsprecher gesetzt werden, da viele Konsolen der betrachteten Zeit auch nur Mono Soundausgabe bieten. Zudem wird dadurch viel Platz eingespart. Für diese Aufgabe wird aufgrund des Platzbedarfs ein möglichst flacher Lautsprecher gesucht, welcher dennoch in der Lage ist, das Spielgeschehen in ausreichender Lautstärke und Qualität zu untermalen.

Die Recherche ergibt hier zahlreiche Optionen, daher wird ein Kandidat ausgewählt, welcher aufgrund seiner Maße ins Gesamtbild passt. Belastbarkeit und Impedanz stehen bei der Auswahl im Hintergrund, da die Aufgabe eine sehr geringe Belastung darstellt, welche von jedem Lautsprecher erfüllt werden kann. Ein Miniaturlautsprecher der Firma Visaton wird gewählt. [26]

Zusätzlich zu diesem internen verbauten Lautsprecher soll auch noch die Möglichkeit geschaffen werden, Kopfhörer mit dem Gerät zu verbinden. Diese verfügen hauptsächlich über einen 3,5mm Klinken -

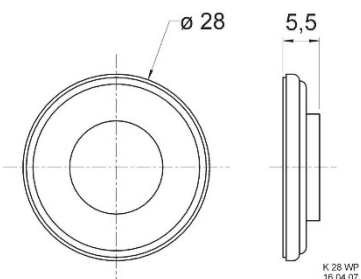


Abbildung 11: Maße des gewählten Lautsprechers [26]

Model No.	Schematic
FC68129	

Abbildung 12: Anschlussplan der gewählten Klinkenbuchse [27]

internen Aufbau, wie die Buchse des SBC aufweist. Dadurch wird es möglich diese Buchse direkt parallel zur originalen Buchse zu verlöten. Anhand des Anschlussdiagramms wurde daher eine Buchse der Firma Cliff gewählt. [27]

Anschluss. Der Raspberry Pi bietet diesen Anschluss bereits, allerdings ist absehbar, dass die Anschlüsse dessen im finalen Gehäuse nicht mehr von außen zugänglich sind. Daher wird zusätzlich eine Buchse benötigt, welche im Gehäuse verbaut wird um diese Eigenschaft zu realisieren. Hier existieren viele verschiedene interne Anschlussarten der Buchsen. Um eine bestmögliche Kompatibilität mit dem Raspberry zu ermöglichen wird daher nach einer Option gesucht, welche den gleichen

Zusätzlich zu diesen Komponenten wird noch ein Verstärker benötigt, welcher den Lautsprecher betreiben kann, da die Leistung aus der Klinkenbuchse nicht genügt, um eine ausreichende Lautstärke zu erreichen.

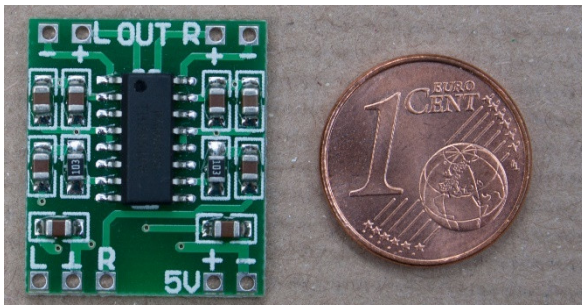


Abbildung 13: Gewählter Verstärker im Größenvergleich.

Die Anforderungen an diesen sind gering. Der Verstärker muss nur einen Kanal verstärken können, welcher maximal ein Watt Ausgangsleistung haben soll. Zusätzlich spielen hier auch noch die Faktoren Kosten, Platzbedarf und Effizienz eine große Rolle. Die Analyse zeigt, dass hier viele Module vorhanden sind, welche die Anforderungen erfüllen. Daher wird der günstigste und kleinste Verstärker gewählt. Dabei handelt es sich um einen Class-D Verstärker. Diese Klasse steht für den inneren Aufbau mit einem sehr hohen Wirkungsgrad und ist daher sehr gut für das Vorhaben geeignet. Aufgebaut ist dieser um einen PAM8403 Chip. Dieser bietet eine maximale Ausgangsleistung von 3 Watt auf zwei Kanälen. Die Versorgung erfolgt auch hier mit 5V. Das Eingangssignal muss analog sein und kann somit vom Raspberry Pi aus der 3,5mm Klinke geliefert werden. Die Lautstärke kann bei dieser Anordnung mittels Software oder durch den Einsatz eines einfachen Potentiometers vor dem Lautsprecher geregelt werden.

Die Anforderungen an diesen sind gering. Der Verstärker muss nur einen Kanal verstärken können, welcher maximal ein Watt Ausgangsleistung haben soll. Zusätzlich spielen hier auch noch die Faktoren Kosten, Platzbedarf und Effizienz eine große Rolle. Die Analyse zeigt, dass hier viele Module vorhanden sind, welche die Anforderungen erfüllen. Daher wird der günstigste und kleinste Verstärker gewählt. Dabei handelt es

2.1.2.3 Eingabe

Für die Eingabe ist kein Schätzpreis veranschlagt worden, da mögliche Konzepte hier nicht von Beginn an einschätzbar sind. Daher muss zunächst eine Recherche über mögliche Optionen erfolgen. Bei der Wahl der Eingabe bieten sich eine Vielzahl an Möglichkeiten. Alle folgenden Lösungsansätze zielen darauf ab, per GPIO mit dem Raspberry Pi zu kommunizieren. Auch die Verwendung von USB Controllern für die Eingabe ist möglich, wird aber aufgrund des zusätzlichen Platzbedarfes dessen schon zu Beginn ausgeschlossen. Grundsätzlich soll die Eingabemöglichkeit nach Vorbild des Projektes von Florian Renner [11] gestaltet werden. Dieser verwendet das Layout eines Gameboy mit zusätzlichen Tasten X und Y sowie zwei Schultertasten, was dem Layout eines Super Nintendo Controller entspricht. Nachfolgend sind einige Lösungsansätze angeführt, aus welchen die für das Projekt am besten passende Option gewählt wird.

Die erste angedachte Möglichkeit sind einfache Taster für die Durchsteckmontage. Diese existieren in zahlreichen Ausführungen mit unterschiedlichen Größen, Höhen und Druckpunkten. Zudem sind diese mit wenigen Cent pro Stück auch sehr günstig und gleichzeitig zuverlässig. Einige Beispiele sind in Abbildung 14 dargestellt.

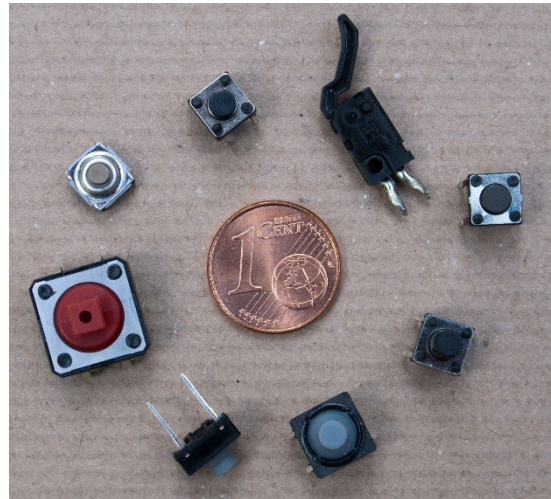


Abbildung 14: Verschiedene Taster im Größenvergleich

Diese Taster können auf einer einfachen Lochrasterplatine verlötet werden, da diese meistens das Standard-Lochrastermaß von 2,54mm verwenden. Diese so erstellen Platinen können im Gehäuse fixiert werden und so die Aufgabe der Eingabe übernehmen. Allerdings bietet diese Möglichkeit viele Nachteile. Hier ist die eingeschränkte Anordnung der

Taster durch die Lochrasterplatine ein Punkt. So können die Taster nicht beliebig frei positioniert werden, wodurch auch die endgültige Haptik der Konsole eingeschränkt wird. Zudem benötigt diese Anordnung auch ein ordentliches Maß an Höhe. So sind die niedrigsten Taster etwa 5mm hoch. Dazu kommt eine Lochrasterplatine von 2mm Höhe. Abgeschlossen werden sollte diese Anordnung durch „Kappen“ auf der Oberseite, welche ein einfacheres Betätigen der Knöpfe und eine bessere Optik ermöglichen. Zusammengerechnet ergibt sich eine Höhe von schätzungsweise 15mm alleine für die Anordnung der Eingabe. Der ausschlaggebende Kritikpunkt ist allerdings, dass diese Taster einen sehr geringen Hub und harten Druckpunkt haben. Damit können diese nicht das Gefühl eines Retro-Controllers erzeugen und bieten nicht genug Komfort um ein längeres Benutzen zu ermöglichen. Da aber die möglichst akkurate Nachbildung des Spielgefühls einer alten Konsole bei dieser Arbeit eine zentrale Rolle spielt wird dieser Lösungsansatz verworfen.

Die zweite Option, die in Betracht gezogen wird, ist die Verwendung eines Controllers eines Super Nintendo. Schon bedingt durch die gewünschte Tastenanordnung liegt diese Möglichkeit nahe. Diese Controller sind heute sehr beliebt als Eingabemethode für kleinere Spiele am Computer. Daher bietet der Markt viele Nachbauten der Original Nintendo Controller, welche optisch und haptisch kaum von deren Vorbild zu unterscheiden sind. Der größte Unterschied liegt in der Verwendung der USB-Schnittstelle anstelle des ursprünglichen proprietären Anschlusses. Dadurch lassen sich diese Controller sehr einfach mit unterschiedlicher Hardware nutzen, da die USB Schnittstelle sehr weit verbreitet ist. Da für diese Arbeit von der Verwendung von USB Geräten Abstand gehalten werden soll um zusätzlichen Platzbedarf zu vermeiden, wird dieser Controller in seine Bestandteile zerlegt. Die Vorgehensweise sieht hier vor die benötigten Teile an das Projekt zu adaptieren und per GPIO nutzbar zu machen. Dafür wird das verbaute PCB des Controllers in einzelne Abschnitte zersägt, an passenden Stellen per Kabel mit dem GPIO des Raspberry Pi verbunden und im Gehäuse verbaut. Der Vorteil bei dieser Vorgehensweise ist, dass, bedingt durch den internen Aufbau des Controllers, die Anordnung der Tasten schon gruppiert wird. Daher ist beispielsweise der Abstand der Tasten ABXY fest definiert und schon gut eingestellt, wodurch eine angemessene Haptik ohne viel Aufwand zu erzielen ist. Zudem messen die benötigten Teile in Summe nur etwa 10mm, was eine enorme Ersparnis an Höhe im Gehäuse bewirkt. Mit zusätzlichen Kosten von etwa 10€ kann diese Option die erste finanziell zwar nicht überbieten, wird aber dennoch aufgrund der überwiegenden positiven Punkte präferiert.

Bedingt durch die Prämisse das Spielgefühl alter Konsolen nachzubilden, wird keine weitere Möglichkeit gefunden. Die Bedienung vergangener Konsolen basierte auf Tastern und dem damit verbundenen Hub derer. Somit ist die Verwendung solcher in dieser Arbeit nahezu unumgänglich, da andere Eingabeprinzipien diese Eigenschaft nicht bieten.

Daher wird die zweite Option für die Verwirklichung der Eingabe gewählt. Diese besticht durch großen Hub und dadurch angenehme Bedienung. Auch die Bauhöhe profitiert von dieser Wahl.

In der ersten Auflistung der benötigten Hardware sind sowohl Mikrofon als auch Kamera als zusätzliche Eingabemethoden ausgewählt. Allerdings wird die Verwendung einer Kamera im Laufe des Projektes als unpassend erachtet, da zum einen die gewählte Software das Kamerabild nicht mehrwertbringend verarbeiten kann und zum anderen, dass dadurch auch viel Platz im Gehäuse eingenommen wird. Zudem ergibt sich aus dieser Entscheidung auch eine finanzielle Entlastung. Ein Mikrofon ist einfacher zu adaptieren, benötigt nicht viel Platz und ist kostengünstig. Deshalb wird ein günstiges Mikrofon bestellt über dessen Einsatz im Projektverlauf entschieden wird.

2.1.2.4 Versorgung

Die Konsole soll mobil einsetzbar sein, daher ist auch ein Versorgungskonzept mit Akku anzustreben. Daraus folgt, dass sowohl ein Baustein benötigt wird, welcher einen Akku laden kann, als auch ein Baustein welcher die Akkuspannung zuverlässig auf ein Niveau bringt mit welchem alle verwendeten Komponenten umgehen können – in diesem Projekt 5V.

Um die benötigten Komponenten auszuwählen, muss zunächst der zu erwartende Verbrauch des gesamten Systems herausgefunden werden. Da sich das System aber noch im Auswahlprozess befindet wird der Verbrauch zunächst großzügig geschätzt, um die Anforderungen an die Stromversorgung genauer zu definieren.

Alle Schätzwerte geben den Stromverbrauch bei 5V an, woraus sich die benötigte Leistung errechnen lässt. Für den Raspberry Pi wird hier ein maximaler Verbrauch von 1A angenommen [28]. Es werden keine Geräte per USB versorgt, die LAN-Verbindung wird nicht verwendet. Die Bildausgabe per HDMI verbraucht hiervon etwa 50mA. Der Verbrauch des Displays wird mit etwa 500mA angenommen [29]. Alle anderen Komponenten benötigen wesentlich weniger Energie, daher ergibt sich ein Wert von etwa 1,5A. Um auf der sicheren Seite zu sein, wird die Versorgung so ausgelegt, dass 2A dauerhaft geliefert werden können.

Aufgrund der hohen Energiedichte und der guten Verfügbarkeit bietet sich bei einer solchen mobilen Anwendung ein LiPo-Akku an. Der Nachteil dieser Akkus liegt hauptsächlich an der benötigten Ladeelektronik. Diese ist weitaus aufwendiger als bei vielen anderen Akku-Technologien wie NiMH oder Blei-Akkus. [30]

Spannung und Strom müssen immer genau überwacht werden, da beispielsweise bei zu niedriger Spannung des Akkus ein Aufladen nicht mehr möglich sein kann. Bei falscher Benutzung sind auch Rauchentwicklung und Brand möglich. Dennoch wird diese Technologie hier gewählt, da die Energiedichte für die mobile Anwendung besticht und die Gefahren mit einem guten Laderegler enorm minimiert werden.

Bei der Wahl des LiPo-Akkus sind hauptsächlich folgende Faktoren entscheidend: Kapazität, Stromfähigkeit und die Dimension. Eine Faustformel besagt, dass der maximal ausgegebene Strom (in Ampere) in etwa zwei Mal der Kapazität (in Wattstunden) betragen darf. Demzufolge muss der zu wählende Akku für dieses Projekt eine Mindestkapazität von einer Ah besitzen. Bei dieser Kapazität würde das System, ausgehend von einem Dauerverbrauch von 2A, eine theoretische Laufzeit von einer halben Stunde erreichen. Da sich das System bei normalem Gebrauch aber nicht durchgängig im Höchstlastbereich bewegen wird ist hier eine Laufzeit von etwa einer Stunde realistischer. Ein Akku mit einer solchen Kapazität nimmt einen Raum von etwa 8cm² ein.

Allerdings ergibt sich der Raum und auch die Form, welche der Akku höchstens einnehmen darf erst in der Konstruktion und ist somit in der Auswahlphase noch schwer abschätzbar. Da es sich hier zudem um eine prototypische Entwicklung handelt, wird einer langen Laufzeit ein geringerer Stellenwert zugemessen. Hier steht zunächst die möglichst geringe Dimension der Konsole im Vordergrund. Aus diesem Grund wird ein Akku mit 2Ah und den Maßen 5,5cm x 7,5cm x 1cm gewählt [31]. Bei diesem Akku ist folglich mit einer Laufzeit von etwa zwei Stunden zu rechnen, wobei der Platzbedarf noch sehr gering ist, was für diesen Prototyp als guter Kompromiss erachtet wird.

Laderegler für diese Akkutypen existieren zahlreich, es gibt auch kombinierte Regler, welche die Spannung des Akkus in 5V wandeln. Diese Regler würden beide benötigten Bausteine für die Versorgung in ein Modul zusammenfassen, was eine Raumersparnis mit sich bringt. Daher wird nach Modulen dieser Bauweise gesucht.

Die Bausteine bieten unterschiedliche weitere Eigenschaften, welche diesem Projekt zu Gute kommen können. So gibt es Regler für mehrere Akkus, wodurch die Laufzeit auch im Nachhinein noch erhöht werden kann, wenn die Konstruktion ergibt, dass noch Raum im Gehäuse vorhanden ist. Der Markt bietet weiterhin Module die Ladestände per LED oder über ausgeführte Pins ausgeben können, den Ausgang über einen ausgeführten Pin ausschalten können, oder auch ein Laden während des Betriebes ermöglichen. Der letzte hier aufgeführte Punkt liefert für diese Arbeit einen großen Mehrwert, da bedingt durch die geringe Akkukapazität durch diese Eigenschaft ein gleichzeitiges Benutzen und Laden der Konsole ermöglicht wird. Diese Eigenschaft ist für ein finales Produkt ohnehin unumgänglich und wird daher als Festforderung determiniert. Auch die Ausgabe des Ladestandes mit der Möglichkeit einer externen Anzeige ist sehr wertvoll und wird in einem Endprodukt für nötig erachtet. Mit der Ausgabe des Ladestandes über einen ausgeführten Pin des Reglers, ergibt sich die Möglichkeit diesen Pin mit dem Raspberry Pi auszulesen und über Software Anpassungen den Ladestand in der Oberfläche anzuzeigen. Der hierfür nötige Softwareaufwand ist allerdings noch nicht abzuschätzen, da noch keine Distribution festgelegt wurde. Somit ist diese Eigenschaft zwar wünschenswert, für den Prototyp aber nicht zwingend notwendig. Dem Laden mehrerer Zellen wird eine geringere Priorität zugeordnet, da für den Fall, dass in der Konstruktion genug Platz für einen größeren Akku bleibt, dieser einfach den Platz des bereits gewählten einnehmen kann. Zudem sind Regler, die ein Ausgleichen und Laden mehrerer Zellen beherrschen kostspieliger, weshalb von der Verwendung von mehreren Zellen abgesehen wird.

Die gestellten Anforderungen werden immer noch von vielen Produkten erfüllt, daher wird ein gutes Modell von einem bereits verwendeten Hersteller ausgesucht.

Der Powerboost 1000C von der Firma Adafruit, von welcher bereits der HDMI Decoder und das Display gewählt wurden, bietet die Möglichkeit den Ausgang per ausgeführten Pin auszuschalten, einen Ausgangsstrom von maximal 2,5A, LEDs und Pins die über den Ladestand, Unterspannung und Operationszustand informieren, einen Ladestrom von 1A und eine Effizienz von mindestens 90%. Zum Laden ist eine MicroUSB-Buchse fest verlötet. [32]

Da so aber die Positionierung des Moduls und somit das Raummanagement der gesamten Komponenten eingeschränkt wird, wird zusätzlich ein Micro USB-Modul vorgesehen, das frei platziert werden kann. [33]

Micro USB wird hier gegenüber Mini USB bevorzugt, da die meisten Geräte derzeit über Micro USB geladen werden und somit ein Großteil der Nutzer bereits ein entsprechendes Ladegerät besitzt.

Der Laderegler kann stabile 5V liefern und somit den Raspberry Pi direkt über dessen GPIO versorgen. Die eigene Versorgung des Raspberry Pi wird somit umgangen, wodurch ein zusätzlicher Verbrauch durch die Versorgungselektronik des SBC vermieden wird. Daraus folgt eine höhere Energieeffizienz

der Versorgung. Allerdings werden somit auch die Schutzschaltungen des Raspberry Pi umgangen, weshalb hier nun besonders auf richtige Polung geachtet werden muss, sowie Spannungsspitzen zu vermeiden sind.

2.1.2.5 Zusätzliche Komponenten

Natürlich werden für den Aufbau auch noch viele weitere kleine Teile verwendet. Allerdings ergeben sich viele davon erst in der Konstruktion, der Softwarewahl und im endgültigen Aufbau. Daher ist der Auswahlprozess der Kernkomponenten abgeschlossen. Eine Stückliste aller im Endprodukt verwendeten Komponenten ist im Anhang A2 zu finden.

2.1.3 Zusammenfassung Hardwareauswahl

Von den ausgewählten Komponenten wird ein Schaltplan erstellt. Dadurch wird sichergestellt, dass alle benötigten Verbindungen realisiert werden können. Zusätzlich werden so die genauen Verbindungsstellen und Pins festgehalten, was im Nachhinein ein Verwechseln der Anschlusspunkte vermeidet.

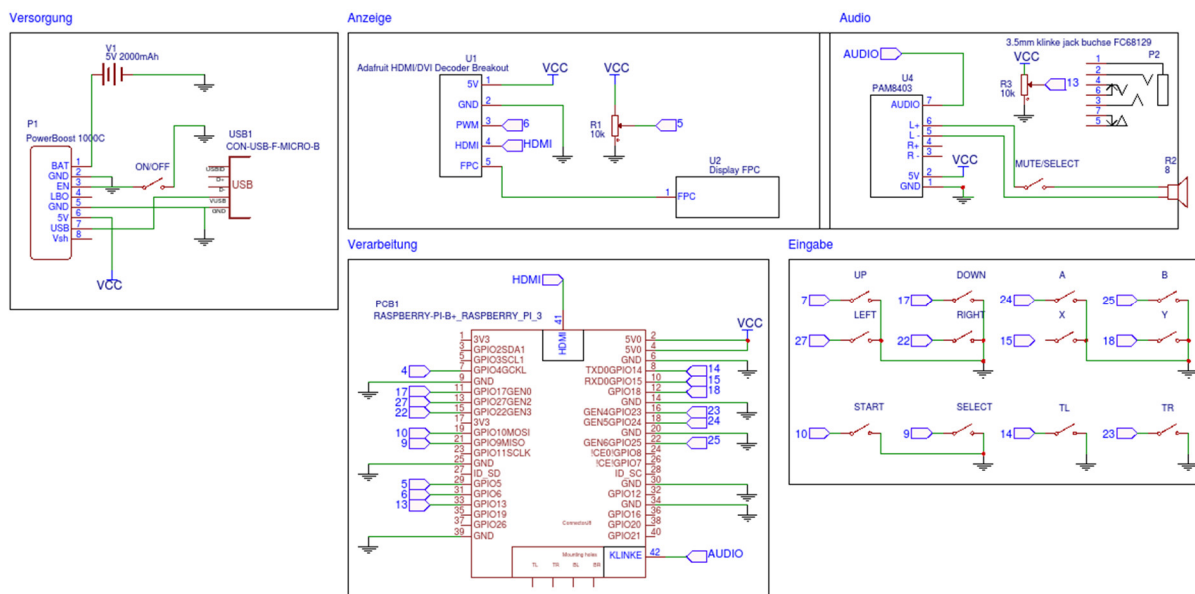


Abbildung 15: Schaltplan der Elektronik nach Auswahlprozess

Im Folgenden soll nun noch auf die nicht im Auswahlprozess erwähnten Eigenschaften im Schaltplan eingegangen werden.

Unter dem Abschnitt Anzeige ist hier die noch nicht näher beschriebene Dimm-Schaltung für das Display eingezeichnet. Dabei wird die Spannung an einem Potentiometer abgegriffen und vom SBC über einen Analog-Digital-Konverter eingelesen. In Abhängigkeit von dieser eingelesenen Spannung erzeugt der Raspberry Pi an einem anderen GPIO-Pin ein PWM-Signal, welches zum Decoderboard geführt wird und von diesem zum Dimmen des Displays verwendet wird. Die entsprechende Logik wird also von einem Programm auf dem Raspberry Pi übernommen.

Ein Potentiometer im Abschnitt Audio wird an Pin 13 des SBC eingelesen. Dadurch wird die Lautstärke aus dem Klinke Anschluss und somit die des Lautsprechers geregelt. Zusätzlich ist ein Schalter MUTE/SELECT verbaut, der den Lautsprecher komplett ausschalten kann. Das wäre auch an der Versorgungsspannung des Verstärkers möglich, allerdings wird erwartet, dass dadurch bei An- und Ausschaltvorgängen Störgeräusche vom Lautsprecher abgegeben werden. Daher wird dieser Weg im Schaltplan nicht gewählt, obwohl dadurch nicht energieeffizient gearbeitet wird. Zusätzlich dazu ist unter der Rubrik der zweite Klinkeanschluss dargestellt. Durch diesen wird gewährleistet, dass der

Raspberry Pi freier im Gehäuse platziert werden kann, aber auch, dass Kopfhörer oder andere externe Wiedergabegeräte verwendet werden können. Dazu soll bei der Nutzung von Kopfhörern der interne Verstärker deaktiviert werden und die Audioausgabe nur noch über die angesteckten Kopfhörer erfolgen. Da beide Wiedergabemöglichkeiten aber von der gleichen Quelle, also dem Klinkenanschluss des SBC, versorgt werden, muss das Einstecken eines Klinkensteckers detektiert werden können um daraufhin den internen Verstärker abzuschalten. Der Raspberry Pi kann bereits eingesteckte Klinkengeräte erkennen, allerdings verfügt der Verstärker über keinen ausgeführten Pin über welchen der Ausgang abgeschaltet werden kann. Somit muss vom SBC die Versorgungsspannung des Verstärkers unterbrochen werden um den internen Lautsprecher zu deaktivieren. Da dem SBC aber nicht zugemutet wird eine Last von bis zu 6W über einen GPIO Pin zu schalten, wird für diese Eigenschaft eine zusätzliche Schaltung benötigt. Die Realisierung dieser ist nach Auswahl der Komponenten noch nicht erfolgt und daher nicht im Schaltplan aufgeführt.

Die Eingabe ist in Gruppen aufgebaut. Dabei teilen sich A, B, X und Y eine Ground Leitung. Die gleiche Vorgehensweise erfolgt beim D-Pad, sowie Start und Select. Dadurch wird schon im Schaltplan klar, dass diese Taster später jeweils nur eine Ground Leitung benötigen um unnötige Kabel zu vermeiden.

Zuletzt ist noch anzumerken, dass auch auf eine Anführung des Mikrofons verzichtet wird, da auch hier ein zusätzlicher Verstärker nötig ist, um dieses am Raspberry Pi zu nutzen. Die Ausgangsleistung des Kondensator Mikrofons ist hier nicht ausreichend, um ein nutzbares Audiosignal an den Raspberry zu liefern.

Für die im Schaltplan verwendeten Potentiometer werden im aufgebauten System Drehpotentiometer verwendet, welche auch in Retro-Konsolen oft zum Einsatz kommen und daher gut die Haptik einer solchen darstellen können. Auch der Game Boy, welcher ein Vorbild dieser Arbeit ist, verwendet zur Regelung der Lautstärke ein solches Potentiometer.

2.1.4 Fliegender Aufbau

Mit Hilfe des erstellten Schaltplanes wird die gesamte bisher geplante Schaltung zunächst in einem fliegenden Aufbau realisiert, um deren Funktion zu testen. Auch an dieser Stelle sind die Übergänge zum Kapitel Software fließend, da bei diesem Aufbau natürlich auch die entsprechende Software nötig ist um diesen überhaupt testen zu können. Daher sind in diesem Kapitel nun die Probleme aufgeführt, die mit der Hardware in Verbindung zu setzen sind, sowie deren Lösungsansätze. Die Probleme auf Softwareseite werden in Punkt 2.2 Software näher beleuchtet.

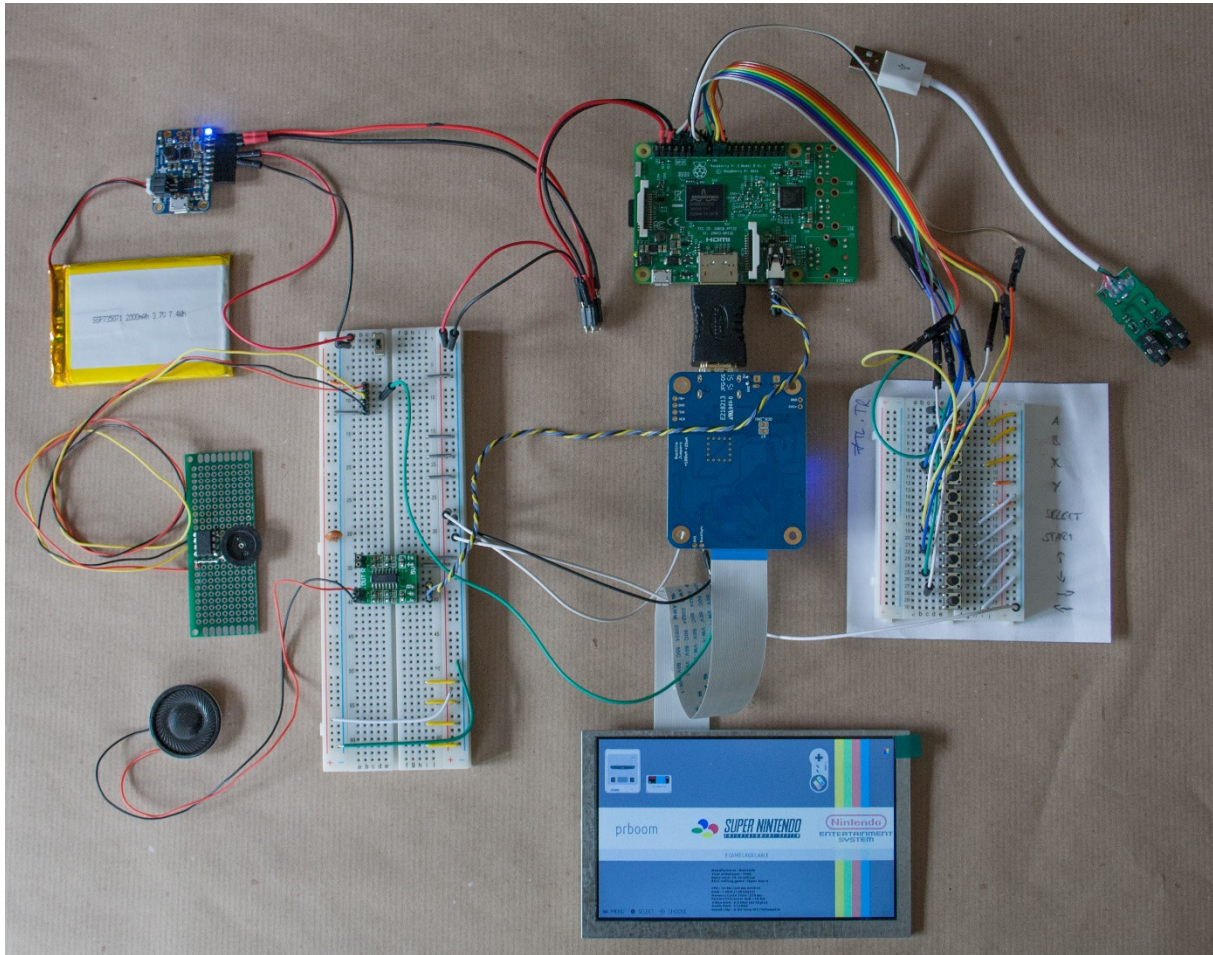


Abbildung 16: Fliegender Aufbau

In Abbildung 16 ist der fliegende Aufbau in der finalen Form dargestellt. Hierbei sind schon einige Änderungen gegenüber dem ursprünglichen Schaltplan erkennbar. Diese werden nachfolgend diskutiert.

Begonnen bei der Spannungsversorgung in der oberen linken Ecke der Abbildung ist zu beachten, dass der zusätzliche Micro USB Anschluss noch nicht verbaut ist, da dieser für den Aufbau in dieser Form nicht relevant ist. Weiterhin ist auf die dickeren Kabel zu achten, welche über einen Verteilerblock zum Raspberry Pi führen. Diese werden benötigt, da bei Verwendung von dünneren Kabeln die Spannung nicht ausreichend für einen Betrieb des SBC ist. Eine Spannung von unter 4,65V wird vom Raspberry Pi durch ein buntes Quadrat im rechten oberen Eck des Bildschirms angezeigt. Das kann durch ein zu schwaches Netzteil, eine zu hohe Übertaktung, zu niedrige Akkuspannung oder auch durch zu dünne Kabel hervorgerufen werden. Im dargestellten Bild ist das auf eine geringe Akkuspannung zurückzuführen. Die Versorgung des Systems über die GPIO Pins stellt sich als problemlos heraus.

Auch die Eingabemethode per GPIO funktioniert problemlos. In diesem Aufbau sind hierfür einfache Taster verwendet, da diese in einem fliegenden Aufbau wesentlich einfacher zu nutzen sind. An dieser Stelle wird aber auch die Eingabe über die gewählte Methode getestet. Hierbei zeigt sich, dass die kontaktierenden Gummipads einen Widerstand von mehreren bis Ω einigen $k\Omega$ aufweisen. Die Eingabe funktioniert problemlos.

Der Displaycontroller ist zunächst über einen kurzen HDMI-Stecker mit dem SBC verbunden, auch hier aus Gründen der einfacheren Handhabung. Ein selbst gelötetes HDMI-Kabel wird auch getestet und funktioniert unter den gestellten Anforderungen auch problemlos. Hier ist anzumerken, dass dies mit höher Auflösung und zusätzlichen Anforderungen an die HDMI Verbindung problematischer ist, da die Leitungen sehr anfällig für Störungen sind. Daher sind Kabel mit höheren Spezifikationen wie zusätzlichem Ethernet oder 3D-Fähigkeit mit verdrehten differentiellen Paaren für die Signalleitungen und zusätzlicher Abschirmung ausgestattet. Die geringe Auflösung des Bildschirms bewirkt in diesem Projekt allerdings, dass auch einfache Kabel als Signalleitungen ausreichend sind ohne Störungen zu verursachen.

Der Verstärker ist auf einem Steckbrett aufgebaut und mit dem Raspberry Pi über den Klinkeanschluss und dem Lautsprecher verbunden. Diese Anordnung ist zwar funktionsfähig, jedoch ist die Qualität des ausgegebenen Tones nicht zu gebrauchen, daher sind auch die weiteren Komponenten in diesem Aufbau nicht im Einsatz um die Fehlerquellen zu minimieren. Recherchen ergeben, dass die analoge Audioqualität des Raspberry Pi nicht gut, aber zumindest brauchbar ist. In diesem Aufbau sind die Störgeräusche allerdings so dominierend, dass eine Verwendung nicht möglich ist. Daher werden verschiedene andere Verstärker, Kabel und Lautsprecher ausprobiert um einen Fehler an der Hardware auszuschließen. Diese Tests ergeben allerdings das gleiche schlechte Resultat. Daher wird auf Softwareseite nach Fehlern gesucht, was in Kapitel 2.2.3 Anpassungen näher erläutert wird.

Es lassen sich hier zwar Verbesserungen erzielen, allerdings wird nie ein Level erreicht, welches als annehmbar eingestuft wird. Anpassungen der Hardware sind unumgänglich. Deshalb wird ein Test der Audioausgabe über eine USB Sound-Karte durchgeführt. Der Aufbau des Verstärkers und des Lautsprechers bleibt dabei bestehen, als einzige Änderung kommt der Signaleingang von der externen Soundkarte. Dieser Test ist erfolgreich und die Ausgabequalität dieser Anordnung annehmbar. Daher wird weiterhin der Ansatz verfolgt die Audioausgabe über eine zusätzliche USB-Soundkarte zu bewerkstelligen. Daraus folgen zwar zusätzlicher Platzbedarf, erhöhter Energieverbrauch und auch mehr Kosten, allerdings wird eine angemessene Audioausgabe als essentiell erachtet. Weiterhin ergibt sich daraus noch ein größerer Nachteil: Die Nutzung einer zusätzlichen 3,5mm Buchse für die Wiedergabe auf externen Audiogeräten zusätzlich erschwert. Daher wird angepeilt den internen Lautsprecher, wie im ersten Schaltplan dargestellt, per Schalter deaktivieren zu können für den Fall, dass externe Audiogeräte verwendet werden. Der Eingang des Verstärkers und die zusätzliche Buchse werden daher parallelgeschaltet.

Eine weitere Änderung ist die verbaute Dimm-Schaltung. Diese ist separat auf einem PCB aufgebaut und nun unabhängig vom SBC. Das liegt darin begründet, dass die zunächst verwendete Distribution keine tiefgreifenderen Änderungen am System zulässt. Somit ist es unmöglich, die am Potentiometer anliegende Spannung einzulesen und ein passendes PWM Signal auszugeben. Daher wird für diesen Zweck ein zusätzlicher Micro Controller verwendet.

Da die geforderte Aufgabe mit einem Ein- und einem Ausgang sehr simpel ist, wird hier auf einen ATTINY85 [34] gesetzt, welcher mithilfe von Arduino programmiert wird. Dazu wird ein weiterer Arduino Uno als ISP verwendet. Der ATTINY verwendet die gleiche Versorgungsspannung wie der Rest des Systems und ist daher gut geeignet. [34]

Im Folgenden ist der Code aufgeführt, der für das Dimmen eingesetzt wird.

```

1.   int PWM_out = 1;
2.   int ANALOG_in = A3;
3.   void setup() {
4.       pinMode(PWM_out, OUTPUT);
5.       pinMode(ANALOG_in, INPUT);
6.   }
7.   void loop() {
8.       int ANALOG = analogRead(ANALOG_in); // Read analog voltage on pin 2 (A1)
9.       analogWrite(PWM_out, ANALOG / 4); // Output analog read to PWM pin.
           Divide by 4 to fit in one byte
10.  }

```

Codeausschnitt 1: Display-Helligkeitsreglung über ATTINY85 und Potentiometer.

Dabei wird die Spannung am analogen Pin 3 eingelesen und mit Hilfe eines 1024 Bit Analog-Digital-Umsetzers in einen digitalen Wert übersetzt. An Pin D1 wird daraufhin ein PWM Signal mit dem vom eingelesenen Wert abhängigen Dutycycle ausgegeben. Der eingelesenen Wert muss dafür noch durch vier geteilt werden, da die Funktion „analogWrite“ nur Werte von 0 bis 255 Bit akzeptiert und der eingelesene Wert bis zu 1024 Bit lang ist.

Die so realisierte Anordnung funktioniert fast fehlerfrei. Das Display lässt sich dimmen. Wird ein bestimmter Schwellwert unterschritten, wird die Hintergrundbeleuchtung komplett ausgeschaltet. Allerdings flackert die Hintergrundbeleuchtung, wenn die Helligkeit sehr langsam nahe des beschriebenen Schwellwertes geregelt wird. Die Erklärung für dieses Verhalten ist wohl eine zu geringe Frequenz des PWM Signals in diesem Bereich. Allerdings ist eine Anpassung der Frequenz mit Arduino nicht möglich. Zudem wird vermutet, dass der ATTINY85 auch nicht in der Lage ist eine ausreichend höhere Frequenz zu generieren. Da die Schaltung aber bis auf das erwähnte Problem tadellos funktioniert, wird diese auch so weiter übernommen, da der Aufwand des Einsatzes eines schnelleren Micro Controllers sowohl finanziell als auch zeitlich nicht im Rahmen dieser Arbeit liegt.

2.1.5 Zusammenfassung Hardware

Bedingt durch die Probleme und Lösungen aus dem fliegenden Aufbau wird auch der Schaltplan entsprechend aktualisiert.

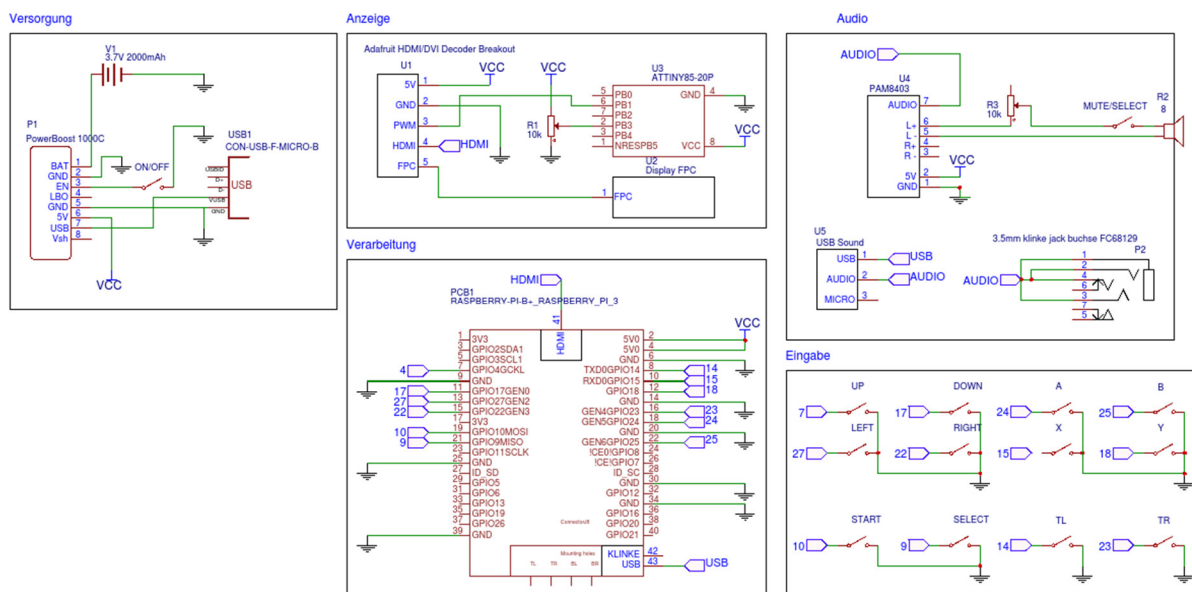


Abbildung 17: Schaltplan nach fliegendem Aufbau

Hinzuweisen ist hier auf die Ausführung des Signales „AUDIO“ als Bus. Dieser setzt sich aus den Leitungen der 3,5mm Klinke zusammen, also Masse, Signal links und Signal rechts.

Die Dimm-Schaltung mit dem ATTINY85 ist eingezeichnet. Auch die Lautstärkeregelung des internen Lautsprechers über ein Potentiometer ist dargestellt. Die Anschlüsse der zusätzlichen Klinkenbuchse sind nicht alle belegt, da diese in dieser Konfiguration nicht gewinnbringend verwendet werden können um einen eingesteckten Klinkenstecker zu erkennen. Der Raspberry Pi ist um den USB-Bus ergänzt, welcher zu Beginn nicht verwendet werden sollte und daher nicht aufgeführt war.

Die Versorgung und die Eingabe erfahren keine Änderungen, da der Test dieser Einheiten problemlos verläuft.

2.2 Software

Die Software spielt bei der Emulation eine dominierende Rolle. Diese Arbeit soll sich aber nicht damit beschäftigen einen eigenen Emulator zu entwickeln, da allein diese Programmieraufgabe wohl den Rahmen einer Bachelorarbeit überschreiten kann. Zudem wird sich zum Ziel gesetzt mehrere unterschiedliche alte Konsolen emulieren zu können. Deshalb ist es nötig bereits erhältliche Emulatoren für dieses Projekt zu verwenden. Die Verfügbarkeit von solchen Emulatoren und vor allem ganzen Distributionen, welche die Emulatoren schon in ein einfach zugängliches und nutzerfreundliches Paket packen, war schon bei der Auswahl der Hardware ein ausschlaggebender Faktor. Unter diesem Gesichtspunkt wird auch der Raspberry Pi als Plattform für diese Arbeit gewählt, da hierfür schon in verschiedenen Projekten Distributionen entwickelt werden, welche bereits ein gutes Maß an Bekanntheit bieten.

2.2.1 Mögliche Distributionen

An dieser Stelle sollen nun die für das Projekt als relevant befundenen Distributionen kurz vorgestellt und anschließend verglichen werden um daraufhin eine Auswahl zu treffen.

2.2.1.1 Retropie

Der bekannteste Vertreter der Distributionen auf dem Gebiet der Emulation ist „Retropie“. Bereits Mitte 2012 wird dieses Projekt ins Leben gerufen um Emulation auf dem Raspberry Pi Model B der ersten Generation einfacher und zugänglicher zu gestalten. Die Nutzerzahlen sind seitdem enorm gestiegen und das Projekt ist über die Zeit auch im Umfang stark gewachsen.

Das Projekt nutzt dabei mehre andere Projekte und führt diese zusammen. Es basiert auf „Raspbian“ [35], einer Debian Distribution speziell für den Raspberry Pi. Das Frontend, also die Oberfläche zur Navigation, wird von „EmulationStation“ [36] gestaltet. „Retroarch“ ist mit „Libretro“ [37] die API mit der die verschiedenen Emulatoren ins System integriert werden. Durch die Nutzung dieser und weiterer Pakete entsteht eine sehr ansehnliche Distribution die fähig ist über 50 verschiedene Systeme auf dem Raspberry Pi nachzubilden. [38]

2.2.1.2 recalbox-os

Ein weiteres interessantes Projekt wird unter dem Namen „recalbox-os“ entwickelt. Diese Distribution hat bisher nur einen Bruchteil der Bekanntheit von Retropie erlangt, obwohl das gleiche Ziel, also die einfachere Gestaltung der Emulation auf dem Raspberry Pi, verfolgt wird. Dennoch ist das Anfang 2015 ins Leben gerufenen Projekt für diese Arbeit sehr interessant und gewinnt auch immer mehr Nutzer.

Genau wie bei Retropie werden hier viele verschiedene Projekte zusammengeführt. Auch hier wird „EmulationStation“ [36] als Frontend verwendet. „Retroarch“ mit „Libretro“ [37] bildet die Basis für die Emulation. Allerdings setzt das ganze System auf ein GNU/Linux [39] Basissystem. Dadurch wird dem Nutzer der Zugang zu über 40 Emulatoren ermöglicht. [40]

2.2.2 Vergleich und Auswahl

Auf den ersten Blick sind so gut wie keine Unterschiede zwischen den beiden Distributionen zu erkennen. Das liegt im Frontend „EmulationStation“ [36] begründet, welches beide Systeme verwenden. Ein großer Unterschied ist daher im Hauptmenü nicht zu erkennen.



Abbildung 18: Frontend Emulationsstation von RetroPie und recalbox-os [36]

Allerdings erkennt man tiefer im System doch größere und bedeutendere Unterschiede, welche auf verschiedene Ziele der beiden Projekte zurückzuführen sind. Diese Unterschiede und die daraus resultierenden Vor- und Nachteile für diese Arbeit werden in diesem Kapitel eruiert und im Anschluss eine Distribution ausgewählt.

RetroPie verfolgt den Ansatz eines sehr offenen und anpassungsfähigen Systems. Pakete lassen sich hier problemlos nachinstallieren, falls eine zusätzliche Funktionalität gefordert ist. Recalbox-os verfolgt dagegen den Ansatz die gesamte Systemeinrichtung sehr einfach und nutzerfreundlich zu gestalten. Dies wird allerdings dadurch realisiert, dass dem Nutzer Rechte genommen werden. Tiefgreifendere Änderungen am System sind nicht möglich. Von Beginn an ist Recalbox-os hier zwar mit mehr Features, wie beispielsweise der Nutzung von GPIO-Controllern, ausgestattet, allerdings lassen sich alle diese zusätzlichen Funktionen auch im Nachhinein in RetroPie realisieren.

Hier ist also die Entscheidung zu treffen, ob Recalbox-os, mit seinen beschnittenen Rechten, aber von Beginn an größerem Funktionsumfang für dieses Projekt brauchbar ist. Daher werden nun die Vorteile von Recalbox-os genauer beleuchtet. Das Frontend „Emulationsstation“ [36] hat bei diesem System einige Änderungen erfahren. So wird ein spezielles Theme verwendet, im Hauptmenü wird Musik abgespielt und die Einstellmöglichkeiten direkt über das Menü sind weitaus größer als bei RetroPie. So ist es möglich, sich direkt mit einem W-Lan Netzwerk zu verbinden oder auch zusätzliche Bluetooth Controller anzuschließen. Die bereits erwähnte Möglichkeit der Nutzung von GPIO-Controllern kann auch direkt im Menü konfiguriert werden. Dazu müssen lediglich die gewünschten Tasten mit vorgegebenen GPIO Pins verbunden werden. Dies wird über die Bibliothek „mk_arcade_joystick_rpi“ [41] realisiert, welche direkt im System integriert ist. Für diese Arbeit ist diese Eigenschaft ein großer Vorteil, da die Eingabe per GPIO realisiert werden soll. Ein weiterer Vorteil der geschlossenen Architektur des Systems ist, dass dieses meist stabiler läuft, da nur die fest vorinstallierten Module

Einfluss auf die Stabilität nehmen können. Das kommt auch der Emulationsfähigkeit zu Gute, welche in vielen Fällen besser ausfällt als unter Retropie. Updates für das System werden automatisch eingespielt, was problemlos funktioniert, da die zu aktualisierenden Module durch das geschlossene System unveränderlich sind. Unter Retropie müssen Updates manuell und jeweils für einzelne Module ausgeführt werden. Dieser Vorgang ist daher auch weitaus fehleranfälliger.

Recalbox-os verfügt über „Master-Konfigurationsdateien“. In diesen können bestimmte Werte global geändert werden. So kann beispielsweise eine bestimmte Eingabemethode an einer zentralen Stelle für alle Emulatoren festgelegt werden. Diese Konfigurationsdateien erleichtern die Einrichtung enorm. Retropie kann diese Option aufgrund des offenen und modularen Aufbaus nicht anbieten, weshalb eine Vielzahl von Konfigurationsdateien existieren, welche die Eigenschaften einzelner Systembausteine beeinflussen. Diese sind nicht immer einfach ausfindig zu machen und viele Änderungen müssen in vielen unterschiedlichen Dateien erledigt werden.

Der größte Vorteil von Retropie liegt dagegen in der weitaus größeren Community. Das Projekt ist schon einige Jahre älter und hat eine größere Nutzerbasis und Bekanntheit erlangt. Daher sind Fehler meistens einfach zu beheben, da die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass der selben Fehler bereits von einem Nutzer mitsamt Lösungsvorschlag dokumentiert ist.

Aufgrund der aufgeführten Punkte wird zunächst recalbox-os für dieses Projekt ausgewählt, da hier keine Nachteile durch die geschlossene Architektur zu erwarten sind und die Vorteile des Systems somit überwiegen.

Allerdings ergeben sich im Fliegenden Aufbau (2.1.4) Probleme welche mit dieser Distribution nicht lösbar sind. Eine Änderung des Wiedergabegerätes auf eine USB Soundkarte ist nicht möglich, da eine so tiefe Anpassung im System nicht vorgesehen ist und keine Konfigurationsdatei diese Änderung zulässt. Da der Ton aber ein essentieller Bestandteil des Spielerlebnisses ist, wird der Aufbau mit Retropie getestet. An recalbox-os ist nur die Änderung der Auflösung der Anzeige nötig um das System – bis auf den Ton – komplett lauffähig zu machen. Diese Änderung ist in Kapitel 2.2.3.1 für Retropie und recalbox-os beschrieben.

2.2.3 Anpassungen

An Retropie müssen weitere Änderungen vorgenommen werden, welche in den folgenden Kapiteln beschrieben sind. Auf die korrespondierenden Änderungen an recalbox-os wird auch kurz eingegangen.

2.2.3.1 *Ausgabe*

Die erste Veränderung betrifft die Auflösung der Ausgabe. Der Raspberry kann die Auflösung der angeschlossenen Anzeige nicht detektieren und spricht daher zunächst jedes Gerät mit einem fest eingestellten Wert an. Daher wird auf dem Bildschirm im Ausgangszustand nichts angezeigt. Die benötigten Informationen, also die Eigenschaften des Bildschirms, werden in der EDID auf der Displaycontrollerplatine gespeichert. Für den Fall der verwendeten Platine ist hier nur eine Einstellung hinterlegt: 800 x 480 Pixel bei 60 Hertz. Das gewählte Display verfügt über eben diese Auflösung, daher wird das Display von dem Controllerboard mit der richtigen Auflösung angesprochen. Ein Ändern der EDID ist deshalb nicht nötig. Da der Raspberry Pi auf diese Informationen keinen Zugriff hat, müssen diese manuell in der `/boot/config.txt` eingestellt werden. Diese Konfigurationsdatei wird von Systemen verwendet, die auf Raspbian [35] basieren. Hier wird die Auflösung des Frontend – also EmulationStation [36] – eingestellt. Die Auflösung innerhalb der Emulatoren kann hieraus übernommen werden. Dies ist aber nicht immer der Fall, weshalb diese Änderung auch in den Konfigurationsdateien einzelner Emulatoren vorgenommen werden muss, wenn auffällt, dass beim Start des Emulators kein Bild angezeigt wird.

```
1.     hdmi_group = 2
2.     hdmi_mode = 87
3.     hdmi_cvt 800 480 60 6
```

Codeausschnitt 2: Anpassung der Konfigurationsdatei config.txt in Retropie

Im obenstehenden Codeausschnitt sind die Änderungen aufgeführt, die an der config.txt vorgenommen werden müssen um eine Ausgabe auf dem gewählten Display zu ermöglichen.

In der ersten Zeile wird dabei die HDMI Gruppe definiert. Dabei wird zwischen typischen Fernsehern (Gruppe 1) und wie im vorliegenden Fall, Monitoren (Gruppe 2) unterschieden. Mit der Einstellung `hdmi_group = 0` wird die Gruppe automatisch aus der EDID ausgelesen werden, was im vorliegenden Fall nicht möglich ist. Der in Zeile zwei definierte HDMI Modus ist ein nicht vorher spezifizierter. Über den Modus können direkt vorgegebene Auflösungen zusammen mit Bildwiederholraten eingestellt werden. Allerdings ist die hier vorliegende Konfiguration nicht aufgelistet. Daher muss der Modus auf einen unbekanntes Wert gesetzt werden und die Auflösung sowie die Bildwiederholrate in Zeile drei manuell definiert werden. Dabei legen die ersten beiden Zahlen die Auflösung, die dritte die Wiederholrate und die vierte das Seitenverhältnis fest. Die 6 steht hier für ein Verhältnis von 15:9. [42]

Die Änderung die für das gleiche Verhalten an recalbox-os bewirken werden in der `recalbox.conf` eingepflegt. Hier muss folgende Zeile eingefügt werden:

```
151.     global.videomode = DMT 87 HDMI
```

Codeausschnitt 2: Anpassung der Konfigurationsdatei recalbox.conf in recalbox-os

Diese Anpassung ändert die Auflösung und die Bildwiederholrate global und wird auch in allen Emulatoren angewendet.

2.2.3.2 Eingabe

Retropie verfügt von Haus aus über keine Möglichkeit direkt Eingaben per GPIO zu verarbeiten. Daher wird zunächst versucht die gleiche Bibliothek zu verwenden, die auch von recalbox-os benutzt wird um die Eingabe zu ermöglichen. Zwar lässt sich diese problemlos nach-installieren, allerdings ohne direkte Funktionsfähigkeit. In recalbox-os verweist eine Eingabemöglichkeit direkt auf diese Bibliothek. Im Retropie dagegen kann das System das Vorhandensein dieser Möglichkeit nicht feststellen. Um die neue Eingabemethode dennoch nutzbar machen zu können müssten wiederum viele kleinere Änderungen tief im System vorgenommen werden. So müsste man die festgestellten GPIO Signale auf eine andere Eingabemethode wie beispielsweise eine Tastatur mappen, damit die Bibliothek auch in Retropie genutzt werden kann, da die Implementierung einer komplett neuen Eingabemethode zu tief greift. [41]

Da bei der Recherche aber eine andere vielversprechende Bibliothek gefunden wird, die bereits eben genau das oben beschriebene macht, wird zunächst versucht diese Bibliothek zu nutzen.

Diese Bibliothek wurde von der bereits mehrfach erwähnten Firma Adafruit Industries auf dem Raspberry 1 entwickelt. Dabei werden die GPIO Eingaben einfach auf Tasten einer Tastatur gemappt. Somit kann alles was per Tastatur bedient werden kann auch per GPIO bedient werden. Die Bibliothek lässt sich einfach über das github-repository auf Retropie nach-installieren. [43]

Im nachfolgenden Codeausschnitt wird nun auf die Änderungen eingegangen die an der Konfigurationsdatei `retrogame.c` vorgenommen werden müssen um eine richtige Tastenbelegung zu ermöglichen.

```
129. // GPIO_PIN  KEYBOARD_KEY  CONTROLLER_ACTION  KEY_NUMBER_KEYBOARD
130. { 4,         KEY_UP      }, // UP      103
131. { 17,        KEY_DOWN   }, // DOWN    108
132. { 27,        KEY_LEFT  }, // LEFT    105
133. { 22,        KEY_RIGHT }, // RIGHT   106
134. { 10,        KEY_LEFTCTRL }, // START   29
135. { 9,         KEY_ENTER }, // SELECT  28
136. { 15,        KEY_Q     }, // A       16
137. { 18,        KEY_W     }, // B       17
138. { 24,        KEY_A     }, // X       30
139. { 25,        KEY_S     }, // Y       31
140. { 23,        KEY_D     }, // TL      32
141. { 14,        KEY_E     }, // TR      18
```

Codeausschnitt 2: Anpassung der Konfigurationsdatei `retrogame.c`

Hier werden bestimmten GPIO Pin's in der ersten Spalte entsprechenden Tasten einer Tastatur in Spalte zwei zugewiesen. Diese Tasten entsprechen wiederum einer bestimmten Action eines Super Nintendo Controllers, welche in der dritten Spalte kommentiert sind. Die GPIO Pins wurden hier aus der Vorlage für die `mk_arcade_joystick_rpi` [41] Bibliothek für `recalbox-os` übernommen, da der Aufbau bereits in dieser Form vorliegt. Die Tasten auf der Tastatur und deren korrespondierende Action auf einem SNES Controller sind durch Retropie fest definiert. Die in der letzten Spalte ergänzten Nummern der einzelnen Tasten auf einer Tastatur beschreiben die Information die eigentlich in der zweiten Spalte übergebenen Information stecken und sind hier nur ergänzend aufgeführt.

Die Tastatur ist immer als Eingabemethode definiert, daher funktionieren diese Änderungen ohne ein spezielles Eingabegerät zu definieren.

Für die selbe Änderung in `recalbox-os` muss lediglich die Eingabemethode GPIO über das Frontend ausgewählt werden und die Tasten an vorgegebene GPIO Eingänge angeschlossen sein. Daraufhin ist die Eingabemethode global definiert und funktioniert in jedem Emulator.

2.2.3.3 Ton

Um die Probleme bei der Tonausgabe zu beheben wird zunächst versucht die Ausgabequalität der Soundkarte des Raspberry Pi zu verbessern. Dazu wird in der Datei `/boot/config.txt` die nachfolgenden Zeilen eingefügt.

```
1. Audio_out_rate=44100
2. Audio_driver=sdl
```

Codeausschnitt 3: Anpassung der Konfigurationsdatei `config.txt`

Dadurch wird die Samplerate auf 44100Hz - die höchst mögliche - gesetzt. Zusätzlich wird der verwendete Treiber auf „sdl“ verändert. Beide Änderungen fordern die Soundkarte mehr, sollen aber auch ein besseres Ausgangssignal liefern. Allerdings bewirken die Änderungen im vorliegenden Fall keine wahrnehmbare Verbesserung.

Um dennoch eine ordentliche Audioausgabe gewährleisten zu können, wird die Qualität des Tons über eine USB Soundkarte getestet. Dafür müssen einige tiefgreifendere Änderungen vorgenommen werden. Dabei wird einer Anleitung aus dem github Repository von Retropie gefolgt. [44]

Dabei wird eine zusätzliche Datei `/etc/asound.conf` erstellt, in welcher die angeschlossene USB Soundkarte als Standardausgabegerät definiert wird. Das Resultat dieser Soft- und Hardwareänderung

ist eine deutlich klarere Tonausgabe. Zwar scheint auch der gewählte Lautsprecher qualitativ weniger geeignet zu sein, allerdings ist der ausgegebene Ton jetzt klar als solcher zu erkennen. Auch muss beachtet werden, dass in dieser Anwendung hauptsächlich der Spielesound alter Konsolen abgespielt werden wird, welcher meist sehr einfach gehalten ist. Daher ist schon von der Quelle kein hochwertiger Sound mit großer Bandbreite zu erwarten, weshalb die nun gewählte Hardware als adäquat bezeichnet werden kann.

In Fortgang der Entwicklung wurde dennoch wieder zurück auf recalbox-os gewechselt, da mit einem Update die Unterstützung von USB Soundkarten eingepflegt wurde. Die Distribution bietet dadurch für den vorliegenden Fall keine Einschränkungen mehr und bietet nur Vorteile gegenüber Retropie.

2.2.4 Regelung Lautstärke/Helligkeit

Die Einstellung verschiedener Niveaus für die Lautstärke des internen Lautsprechers, sowie angeschlossener Audiogeräte als auch der Helligkeit der Hintergrundbeleuchtung soll zunächst in Software realisiert werden. Allerdings wird dieser Weg durch die erste Wahl der Distribution unterbunden. Da nun die Lösung des vorliegenden Problems aber noch unter der Verwendung von recalbox-os durchgeführt wird, wird auch dieser Ansatz für Retropie übernommen, da dieser ohnehin innerhalb des prototypischen Aufbaus einige Vorteile bietet.

Für die gewünschte Aufgabe werden daher zwei Potentiometer ausgewählt. Die Funktionsweise derer in der vorliegenden Anwendung ist bereits in Kapitel 2.1.3 näher beschrieben.

Der große Vorteil in der Verwendung von Potentiometern gegenüber reiner Software-Regelung liegt darin, dass Helligkeit und Lautstärke auch während dem spielen verändert werden kann, ohne den Emulator zu beenden. Zudem erinnert die Verwendung von Potentiometern auch an Retro-konsolen, in welchen diese Art der Regelung sehr häufig zum Einsatz kommt.

2.3 Gehäuse

Bedingt durch den prototypischen Aufbau ist die Auswahl bei der Gehäusewahl und dessen Herstellungsverfahren sehr beschränkt. Einige dieser Gehäusetypen und ihre Herstellungsverfahren werden im Folgenden kurz diskutiert und im Anschluss auf das Gewählte hingeführt werden.

Zunächst existiert die Option ein vorgefertigtes Gehäuse zu kaufen und an die Anforderungen anzupassen. Diese Möglichkeit ist zwar sehr kostengünstig, wird allerdings nicht in Betracht gezogen, da so die Optik und die Platzierung der Komponenten sehr vom gewählten Gehäuse abhängt. Dadurch ist es nicht mehr möglich das angezielte professionell und marktreif anmutende Äußere zu erzielen.

Weiterhin könnte das Gehäuse aus Teilen aus einem Lasercutter aufgebaut werden. Hierbei wäre eine üppige Materialwahl wie etwa Acrylglas oder Holz denkbar. Die gängige Vorgehensweise dabei ist zusammensteckbare Platten auszuschneiden, welche in Kombination ein Gehäuse der gewünschten Geometrie formen. Die Problematik bei dieser Technik ist, dass der Aufbau von runden und erhöhten Geometrien kaum möglich ist. Zwar ist es möglich mehrere Lagen von Platten übereinander zu lagern und zu verkleben, allerdings bleibt das Endergebnis immer etwas „eckig“ und kantig. Die Stärken dieser Technologie liegen nicht im Aufbau von aufwendigen Gehäusen, vielmehr im Zusammenspiel mit anderen Technologien um einzelne Teile des Gehäuses anzufertigen. So ist der Lasercutter beispielsweise ideal dafür geeignet eine Scheibe auszuschneiden, welche vor dem Display im endgültigen Gehäuse platziert wird, oder auch um „Gravuren“ auf zuvor in anderen Verfahren gefertigten Teilen zu platzieren.

Ein weiteres Verfahren, welches im Bereich des Möglichen liegt, ist das CNC-Fräsen. Hierbei wird subtraktiv gearbeitet und die gewünschte Kontur aus dem vollen Material gefräst. Auch hier ist eine große Vielfalt an Materialien möglich. So lassen sich neben Acrylglas und Holz auch Werkstoffe wie

Aluminium verarbeiten. Allerdings ist dieses Verfahren sehr kosten- und zeitintensiv. Zudem wird die Geometrie durch die Freiheitsgrade der Fräse limitiert. Unterschnitte und Überhänge sind mit dieser Technologie nur mit sehr speziellem Maschinen möglich. Daher muss schon in der Konstruktion bedacht werden, was mit diesem Verfahren möglich ist und was zu vermeiden ist. Allerdings gilt dieser Grundsatz für die meisten Verfahren, ist aber beim CNC-Fräsen besonders wichtig.

Der 3D-Druck ist ein Verfahren, welches in den letzten Jahren immer mehr an Popularität erlangt hat. Auch in der allgemeinen Bevölkerung ist dieses Verfahren mittlerweile bekannt. Durch diese Steigerung der Bekanntheit, hat die Technologie, die schon seit mehreren Jahrzehnten existiert, einen großen Aufschwung erlebt. Viele neue Hersteller haben neue Produkte entwickelt und das Verfahren an sich verbessert und vor allem vereinfacht. Neben der finanziellen Schwelle für den Einstieg ist auch die Komplexität für weniger ausgebildete Personen drastisch gesunken. Die meisten Drucker im Einsteigerbereich arbeiten nach dem FDM-Verfahren. Bei diesem Verfahren wird aufgeschmolzener Kunststoff extrudiert und in Schichten übereinandergelegt. Dadurch lassen sich auch schwierige Geometrien mit Überhängen und Unterschnitten realisieren, welche durch ein Fräsverfahren nicht hergestellt werden können. Dabei gibt es eine Vielzahl an druckbaren Materialien, von einfachen Kunststoffen bis hin zu Hochleistungskunststoffen welche beispielsweise hohen Temperaturen widerstehen können oder elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Es existieren auch professionelle Geräte, welche Metalle verarbeiten können, dafür aber auch andere Verfahren nutzen. Der größte Negativpunkt des 3D-Druck ist hohe Verarbeitungszeit. Zudem können stark belastbare Teile nur mit professionelleren Geräten gefertigt werden, da hier zum Beispiel Glasfasern mit eingedruckt werden können. Für Prototypen, die hauptsächlich geringen Kräften und Umweltverhältnissen ausgesetzt sind, eignet sich dieses Verfahren aber sehr gut. Für eine Serienproduktion wird danach meist auf Spritzgusstechnik gesetzt.

Da in dieser Arbeit durchaus komplexere Geometrien verwendet werden sollen und auch auf ein finanziell günstiges Verfahren gesetzt werden soll, wird der 3D-Druck nach dem FDM Verfahren für die Prototypenerstellung gewählt. Zudem handelt es sich dabei um eine derzeit aufstrebende Technologie mit ständigen Verbesserungen, was einen zusätzlichen Anreiz darstellt, tiefgreifendere Einblicke in dieses Verfahren zu erhalten.

2.3.1 Verwendete Software

Zur Konstruktion kommt das 3D-CAD Programm Solid Works in der Version 2015 der Firma Dessault Systems zum Einsatz.

2.3.2 Konstruktion

Vor Beginn werden bestimmte Gesichtspunkte festgelegt, nach welchen konstruiert werden muss, damit die erstellte Geometrie auch mit dem gewählten Herstellungsverfahren realisierbar ist. Hier ist wichtig, dass Überhänge von über 45° vermieden werden. Zudem ist die Dicke der dünnsten Wände durch den Durchmesser der Düse des Extruders limitiert. Dieser beträgt im vorliegenden Fall 0,4mm. Gut eingestellte 3D-Drucker die nach dem FDM Verfahren arbeiten können Brücken, also gewisse Strecken freischwebend drucken, wenn sowohl feste Start- und Endpunkte existieren. Ein Druckbeginn ohne Anhaltspunkt freischwebend in der Luft ist nicht möglich.

Bedingt durch diese Einschränkungen wird ein zwei Schalen Design gewählt. Das Gehäuse teilt sich demnach in eine Ober- und eine Unterseite auf. In diese werden die Komponenten montiert. Daraufhin werden die beiden Schalen zusammengesetzt und verbunden. Die Art der Verbindung wird im Laufe der Konstruktion festgelegt.

Begonnen wird mit der Oberseite. Hier sind sowohl die Eingabetasten als auch das Display vorgesehen um welche sich das Design entwickelt. Daher wird damit begonnen eine Geometrie zu entwerfen, welche diese Komponenten aufnimmt.

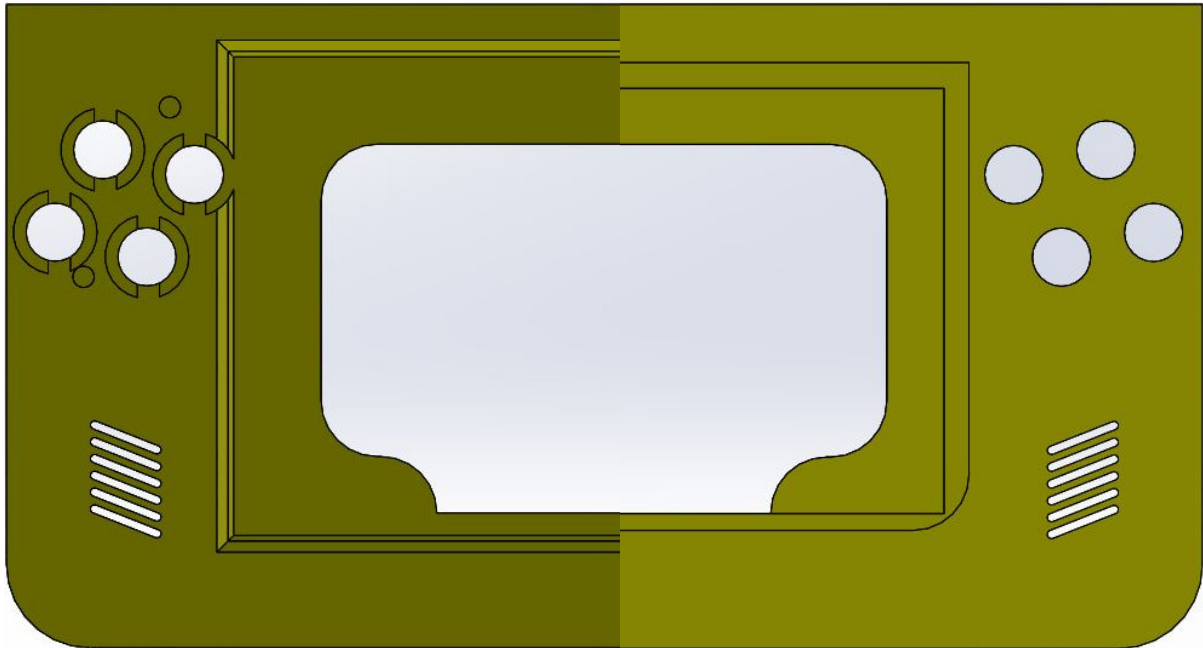


Abbildung 19: Oberseite in geteilter Ansicht von vorne und hinten

Hier wird ein Rahmen zur Aufnahme des Displays und Aussparungen für die Tasten, welche sich an denen des zerlegten Controllers orientieren, vorgesehen. Um diese Elemente entwickelt sich das Gehäuse. Dabei werden immer wieder zusätzlich Elemente aufgenommen und der aktuelle Stand immer wieder gedruckt und nicht passende Eigenschaften ausgebessert. Eine Schwierigkeit bei der Oberseite ist die Befestigung der Tasten. Hier wird eine Plastiktaste in das dafür Vorgesehene Loch gesetzt. Darauf folgt eine Gummimembran mit leitenden Flächen, die einen Kontakt auf der darüber liegenden Leiterplatte schließen. Diese Leiterplatte wird aus dem PCB des Controllers geschnitten und ist daher relativ unförmig und benötigt einen neuen Weg der Befestigung. Dabei werden verschiedene Lösungswege betrachtet:

- Befestigung der Leiterplatten über Abstandhalter von der Unterseite aus, die das PCB mit der Verbindung der beiden Gehäusehälften festpressen.
- Klammern aus Metall, die mit der Oberseite verschraubt werden und die Leiterplatte an der Stelle halten.
- Zusätzliche Leiterplatte, die über die eigentliche geschraubt wird und somit das PCB fixiert.
- 3D-gedruckte Halterungen, die mit der Oberseite verschraubt werden.

Die erste Möglichkeit wird hier schnell verworfen, da durch diesen Aufbau zu viel Platz in der Unterschale verschwendet wird, wodurch nicht mehr gewährleistet werden kann, dass genug Platz für die restlichen Komponenten bleibt. Auch das Ziel der geringen Bauhöhe wird durch dieses Vorgehen gefährdet.

Klammern aus Metall erweisen sich in der Fertigung kritisch. Zudem wird ein seitliches Verrutschen dabei kaum unterbunden. Daher wird auch diese Option nicht weiterverfolgt.

Die Befestigung mit einer zusätzlichen Lochrasterplatine und 3D-gedruckte Halterungen unterscheiden sich in der Art der Befestigung nur gering. Eine zusätzliche Lochrasterplatine zur Befestigung bedeutet eine Höhenzunahme von etwa 1mm. Dazu kommen noch die Schraubenköpfe mit schätzungsweise

1mm zusätzlicher Höhe. Diese Bauhöhe von etwa 2mm soll mit 3D-gedruckten Teilen unterboten werden. Da aber nicht klar ist, ob entsprechende Teile genügend Stabilität besitzen werden zunächst Testteile mit unterschiedlicher Dicke angefertigt, um deren Stabilität zu prüfen. Dabei fällt auf, dass bereits 1mm starke Platten genug Stabilität aufweisen um das PCB und die Tasten an Ort und Stelle halten zu können. Zusätzlich dazu können die Schraubenköpfe hier versenkt werden, wodurch die zusätzliche Höhe für die Befestigung nur einen Millimeter beträgt. Daher wird dieser Weg zur Befestigung der Eingabe gewählt.

In der Oberseite werden dafür herausstehende Löcher vorgesehen, um die M2 Schrauben aufzunehmen. Für jede Seite werden hier sechs Schrauben angesetzt. In Abbildung 20 ist die Befestigung in einem Schnittbild dargestellt. Dabei sind die hier betrachteten Komponenten Blau hervorgehoben. Die Obere Schale ist dabei die Oberseite der Konsole. Hier sind die Löcher für die Schrauben zu erkennen. Darunter folge die verwirklichte Haltegeometrie mit den entsprechend gesenkten Löchern für die Schrauben.

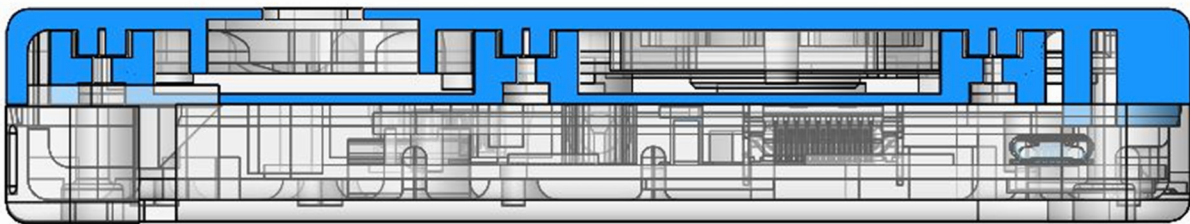


Abbildung 20: Schnittdarstellung der Befestigung der Eingabe. Ansicht von rechts.

Nachdem die Befestigung der Eingabe geklärt ist, werden Seitenwände hochgezogen. Zunächst noch in unbestimmter Höhe. Eine korrespondierende Unterschale, ebenfalls mit zunächst beliebiger Wandhöhe wird erstellt und auch gedruckt. Darin werden die verbliebenen Komponenten platziert. Zunächst werden allerdings Schultertasten und dazu passende Ausschnitte in der Unterschale entworfen. Dies ist hier der nächste Schritt, da die Funktion der Schultertasten noch nicht festgelegt ist und nun in der Konstruktion umgesetzt wird.

Die Funktionalität aus dem Originalcontroller kann hier nicht übernommen werden, da hierfür zu viel Raum beansprucht wird. Im Original wird mit Leiterplatten gearbeitet, die von einem leitenden Elastomer kontaktiert werden. Allerdings sind diese Leiterplatten bereits 16mm breit und müssen vertikal platziert werden. Durch die bereits entstandene Geometrie der Oberseite müssten diese auf den Haltern der Eingabetasten platziert werden, wodurch die gesetzte maximale Höhe von 20mm bereits überschritten wird. Daher wird nach einer anderen Möglichkeit gesucht die Schultertasten zu verwirklichen. Hier wird wieder mit verschiedenen Drucktastern experimentiert. Zwar verfügen die Tasten dadurch über geringen Hub, allerdings werden die Schultertasten in früheren Spielen nur sporadisch verwendet. Verschiedene Schultertasten werden entworfen und mit unterschiedlichen Tastern getestet. Das Ergebnis ist zwar nicht optimal, erfüllt aber den Zweck. Zusätzlich kann durch diese Arbeitsweise auch die maximale Bauhöhe eingehalten werden. Dazu werden Schultertasten entworfen, welche auf den Haltern der Taster in der Oberseite gleiten und von der Unterseite in Position gehalten werden. Diese werden durch eine zusätzliche Extrusion auf den Haltern in der Oberseite an einer Stelle Drehbar gelagert. Zusätzlich dazu werden auf den Haltern Aufnahmepunkte für die entsprechenden Drucktaster vorgesehen. Hier muss sehr genau gearbeitet, da die Drucktaster durch den geringen Hub nur wenig Spiel zulassen, weshalb die Aufnahmen sehr genau positioniert werden müssen. Die entsprechende Umsetzung im CAD ist in Abbildung 21 dargestellt.

Abbildung 21: Mechanismus der Schultertasten in Detailansicht

Die Halterung der Tasten in der Oberseite ist hier Blau dargestellt. Die Schultertaste kann sich um die zusätzliche Extrusion leicht drehen. Unten links ist die Aufnahme für den Drucktaster dargestellt. Die Schultertaste hat an der Unterseite eine Feder, die sich mit etwas Spiel im Zwischenraum zwischen blauer Halterung und Oberseite bewegen kann (Nut). Mit aufgesetzter Unterseite ist die Schultertaste damit fixiert und kann sich nur noch in der gewünschten Richtung bewegen.

Nach der Realisierung der Schultertasten folgt die Platzierung der verbliebenen Komponenten in der Unterschale. Im hierfür erstellten Druck werden die Komponenten frei bewegt und in verschiedene Positionen gebracht um eine optimale räumliche Anordnung zu finden. Dabei wird darauf geachtet, dass korrespondierende Anschlüsse möglichst nahe beisammen liegen. Hierfür wird auch an dieser Stelle ein HDMI Kabel angefertigt um Platz einzusparen. Hier wurden mehrere Möglichkeiten durchdacht und dafür verschiedene Kabel erstellt. Eine Auswahl ist in Abbildung 22 dargestellt.

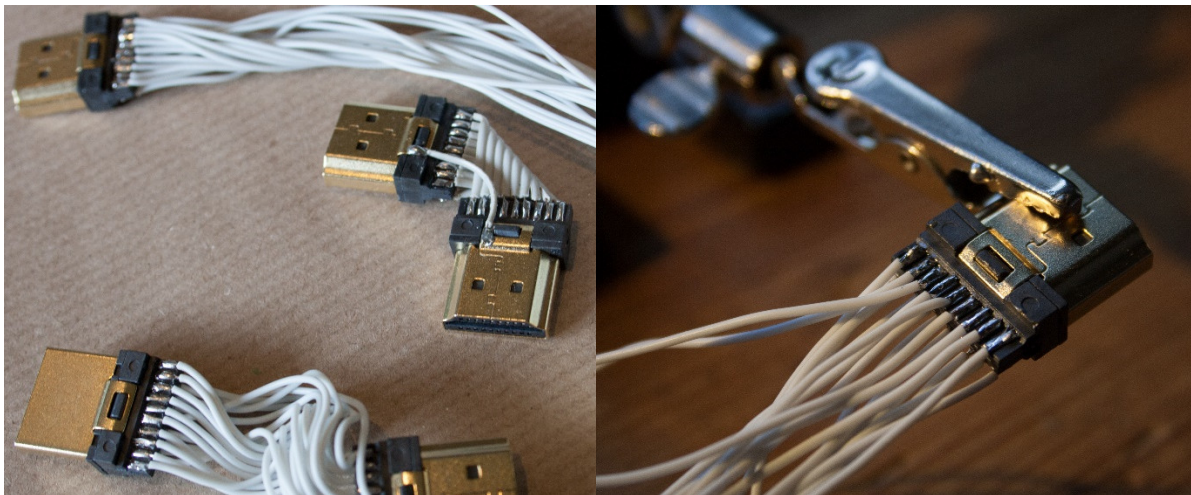


Abbildung 22: Erstellte HDMI Kabel auf der linken, sowie deren Erstellung auf der rechten Seite.

Da die Anforderungen an das HDMI Kabel sehr gering sind, kommt dieses auch ohne zusätzliche Abschirmung und die Verdrillung der differentiellen Paare aus. Die Ansteuerung des Displays über die erstellten Kabel funktioniert somit problemlos. Mit steigenden Anforderungen, wie etwa FullHD oder 3D Inhalten, wären diese Kabel wahrscheinlich überfordert.

In Abbildung 23 ist nun die finale Platzierung der Komponenten in einem bereits fortgeschrittenen Stadium dargestellt. Begonnen unten links mit dem Raspberry Pi 3, darüber liegend einer USB Soundkarte ohne Gehäuse und Anschlüssen. Im Zentrum der TFP401 mit dem Laderegler oberhalb und dem LiPo-Akku rechts daneben. Die im fliegenden Aufbau verwendete Dimm-Regelung für das Display hat in diesem Aufbau keinen Platz gefunden und musste daher auf einem neuen PCB in unterschiedlicher Anordnung aufgebaut werden. Hier am rechten Rand dargestellt. Auch die Schultertasten sind in dieser Anordnung bereits vorhanden. Unter dem TFP401 verbirgt sich zusätzlich der PAM8404 Verstärker.

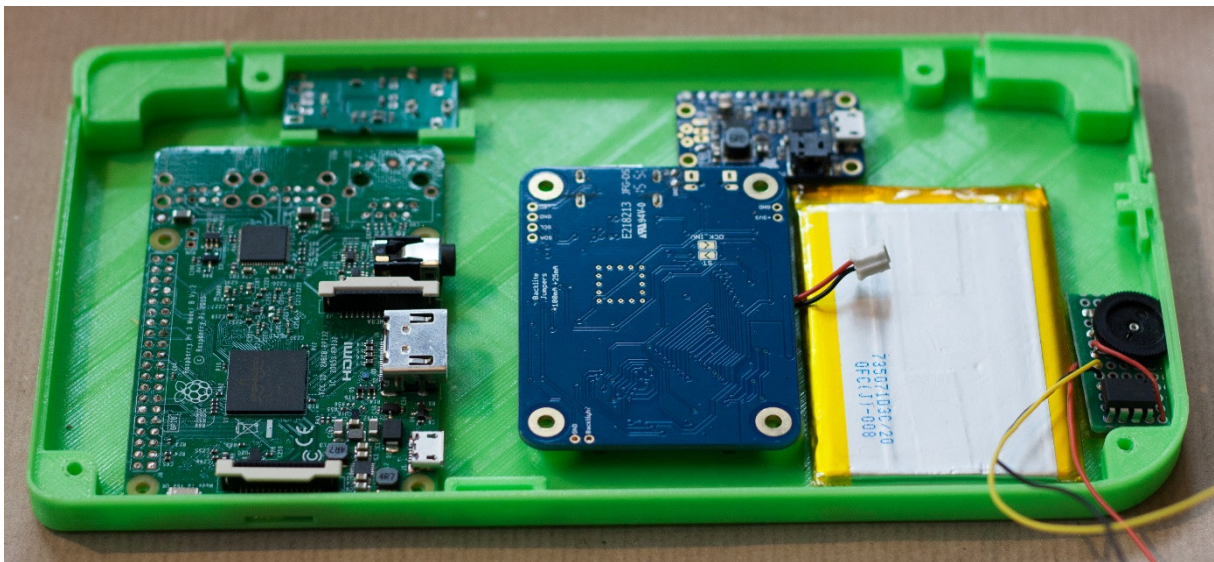


Abbildung 23: Platzierung der Komponenten in der Unterseite

Die Komponenten werden entweder über vorhandene Schraublöcher auf dafür vorgesehenen „Stelzen“ festgeschraubt oder, falls diese nicht vorhanden sind, in Rahmen eingefasst, in welche diese eingepresst werden. Das ist für die USB-Soundkarte und den Verstärker der Fall. Der Dimm-Regler und der Akku werden noch nicht näher spezifiziert festgeklebt.

Für die genaue Platzierung der Komponenten wird eine Gesamtbaugruppe im CAD erstellt um Überschneidungen zu vermeiden und eine möglichst geringe Bauhöhe zu ermöglichen. Bei dieser Platzierung fällt auf, dass kein angemessener Platz für das Potentiometer zu Regelung der Lautstärke gefunden werden kann. Hier hilft auch keine Erhöhung der Bauhöhe. Verschiedene andere Anordnungen werden ausprobiert, allerdings ohne Erfolg. Daher wird beschlossen, die Lautstärke in diesem Prototyp ausschließlich per Software zu regeln und das Potentiometer nicht zu verbauen. Die Micro USB Ladebuchse und die Klinkenbuchse werden in der Oberseite untergebracht.

Nachdem die Komponenten platziert sind, wird über die Baugruppenzeichnung die minimal mögliche Höhe in dieser Anordnung ermittelt und die Außenwände entsprechend angepasst.



Abbildung 24: Schnittdarstellung der Gesamtbaugruppe mit minimaler Bauhöhe

In Abbildung 24 ist nun ein Schnitt durch die gesamte Baugruppe dargestellt. Die limitierenden Faktoren in der Höhe sind hier zwischen Oberschale und TFP401 sowie dem Halter für den Taster der

rechten Schultertaste und dem Raspberry Pi. Zwar wäre eine minimale Höhe von etwa 19 mm auch möglich, allerdings wird die Höhe auf 20 mm festgesetzt um auch genug Raum für Kabel und nicht genau passende Teile zu lassen. Die Prämisse der maximalen Bauhöhe wird damit erfüllt.

Daraufhin werden alle Komponenten angepasst um diese in das nun festgesetzte Design zu passen. Zusätzlich werden Kabelführungen und Löcher für LEDs, die Micro SD Karte des Raspberry Pi, sowie der Ein/Ausschalter vorgesehen.

Zuletzt werden Elemente platziert, über die die beiden Gehäusehälften mit M4 Schrauben verbunden werden können. Falls an dieser Stelle kein Platz mehr für diese Verbindungsmöglichkeit gewesen wäre, wäre mit Clips gearbeitet worden, welche die beiden Hälften verbinden. Das ist in der heutigen Zeit ein gängiger Weg um Gebäudeteile zu verbinden. Allerdings ist das mit dem FDM-Verfahren nur schwer zu realisieren und sollte deshalb auch vermieden werden. Ein Platz zur Verbindung mit Schrauben wird daher immer mitberücksichtigt und wird nur fallen gelassen, wenn dieser zwangsläufig für andere Komponenten benötigt wird.

Somit ergeben sich viele unterschiedliche Zeichnungen für die einzelnen Teile, welche nachfolgen noch einmal in zusammengefasst in der Gesamtbaugruppe in einer Explosionsansicht dargestellt sind.

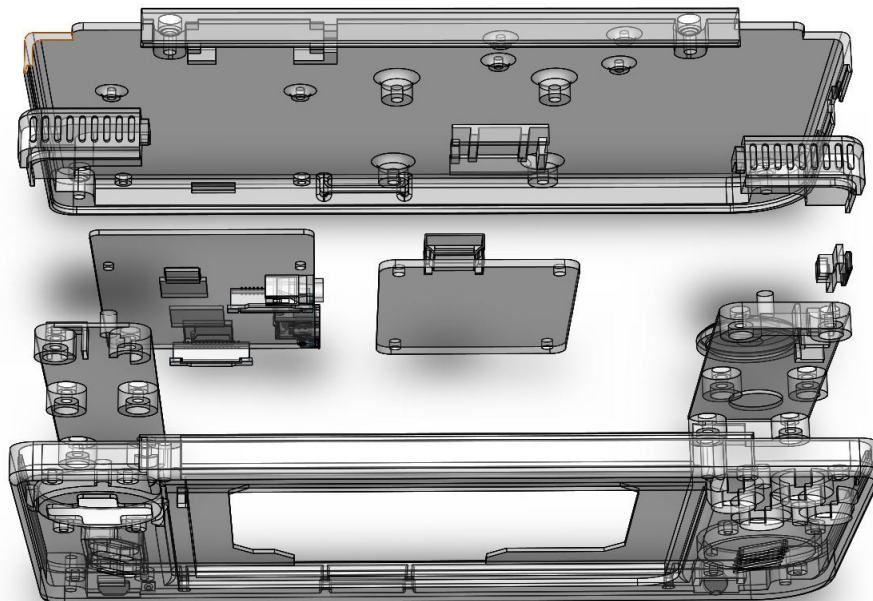


Abbildung 25: Baugruppendarstellung in Explosionsansicht

2.3.3 3D-Druck

Die im CAD erstellen Geometrien werden mit einem 3D-Drucker erstellt, der nach dem FMD Verfahren arbeitet. Dabei handelt es sich um einen Einsteigerdrucker der Firma Tronxy mit der Modellbezeichnung P802MA. Dieser verfügt über einen Bauraum von 220 mm x 220 mm x 240 mm, ein beheiztes Bett und setzt auf die Marlin Firmware. Dieser Drucker ist eine Adaption des Reprap Prusa i3 Designs, eines der meist verbreiteten Designs derzeit. Der Drucker kann verschiedenste Materialien verarbeiten. [45]

Das Material, welches sich am einfachsten drucken lässt ist PLA. Dieses hat einen geringen Ausdehnungskoeffizienten und kann daher auch bei größeren Teilen verwendet werden ohne sich beim Abkühlen zu stark zu kontrahieren. Das Material ist dafür etwas spröde, mechanisch nicht sehr stark belastbar und verformt sich bei Temperaturen jenseits der ca. 70°C. Allerdings sind diese Einschränkungen für das vorliegende Modell weniger von Bedeutung, da weder starke mechanische

Belastungen, noch erhöhte Temperaturen zu erwarten sind. Daher werden alle Teile mit diesem Material gedruckt. Zum Einsatz kommt hier ein PLA der Firma eSUN [46]. Hier werden verschiedene Materialien verschiedener Hersteller getestet, jedoch konnte keines die Qualität des Gewählten erreichen.

Die wohl größte Schwierigkeit beim 3D-Druck ist die Adhäsion der ersten Schicht. Hier gibt es verschiedenste Ansätze um die erste Lage Material sicher mit der Druckplattform zu verbinden. Auch an dieser Stelle wurden unterschiedliche Methoden getestet. Haarspray auf der Aluminium Plattform, Maler Klebeband auf der Plattform, Klebestift auf der Plattform, Dauerdruckplatten, direkt auf Glasplatten sowie Glasplatten in Verbindung mit Haarspray oder Klebestift. Klebeband funktioniert hier meistens zuverlässig und ist auch die am meist verbreitete Methode, gibt aber keine glatte Oberfläche. Die Dauerdruckplatten eignen sich wohl am besten, da sie eine sehr gute Adhäsion bieten und auch eine angemessen glatte Oberfläche des Endergebnisses liefern. Allerdings sind die getesteten Platten teuer und verlieren schnell an Adhäsionskraft. Alle Kombinationen mit Klebestift erweisen sich als nicht zuverlässig. Eine Glasplatte in Verbindung mit Haarspray ergibt eine gute Adhäsion der ersten Schicht und das beste Oberflächenfinish. Allerdings kommt es hier in etwa der Hälfte der Drucke zu einem Ablösen des Druckes von der Oberfläche, wenn der Druck schon weiter fortgeschritten ist und damit einem vergeblichen Versuch. Dennoch werden die finalen Teile mithilfe dieser Methode gedruckt.

Im Laufe des Projektes werden hier 1 - 2 Kilogramm Material verbraucht, da immer wieder der aktuelle Stand des Modelles gedruckt und verbessert wird.



Abbildung 26: Drucke vorläufiger Versionen

In Abbildung 26 sind einige gedruckte Modelle der Ober- und Unterseiten vergangener Versionen abgebildet. Diese werden fortlaufend nummeriert und mit Druckparametern versehen um die Qualität der Ausdrücke ständig verbessern zu können. Hier sind auch die verschiedenen PLA Ableger unterschiedlicher Hersteller zu sehen. Insgesamt werden etwa 30 Unter- und Oberseiten gedruckt.

Bei allen Drucken fällt auf, dass Ober- und Unterseiten nicht immer aufeinanderpassen. Hier gibt es nur bestimmte Kombinationen die aufeinanderpassen. Dies wird zunächst mit der geringeren Genauigkeit des günstigen 3D-Drucker begründet. Allerdings zeigt sich nach weiteren Drucken, dass die Ursache wohl in der Geometrie der x-Achsen Aufhängung liegt. Dies fällt bei kleineren Drucken nicht auf, da die Abweichung nur gering ist. Bei den Großen Ober- und Unterseiten, die in unterschiedlichen Orientierungen gedruckt werden, fällt dieser Fehler so sehr ins Gewicht, dass diese nicht mehr zusammenpassen. Daher passen auch immer nur bestimmte Teile aufeinander, weil diese in der zueinander passenden Orientierung auf dem Druckbrett gedruckt wurden. Da aber keine zuverlässige und schnelle Lösung für das Problem gefunden werden kann, werden die finalen Teile so orientiert, dass sie zusammengebaut werden können. Im finalen Produkt fällt das auch nur auf, wenn man ein Geodreieck an die Seiten hält: diese sind nicht rechtwinklig zueinander. Auch an der eingesetzten Acrylglasscheibe ist diese Abweichung bei genauerem Hinsehen erkennbar. Eine Reparatur des Druckers war nicht möglich, da hierdurch der Zeitplan gefährdet wird.

Die finalen Teile wurden mit einer Schichthöhe von 0,15mm bei einer Düsentemperatur von 200°C und einer Heizbetttemperatur von 70°C gedruckt. Drei bis vier Außenlagen wurden dabei solide gedruckt. Der Rest wird mit einer Dichte von 25% gedruckt. Die Einzelteile sind weitestgehend frei von großen Fehlern. Allein die Unterseite löst sich an einer Ecke von der Druckplattform. Allerdings ist das entstandene Modell noch geometrisch passend und wird daher dennoch verwendet.

Alle Teile werden mit einem Messer und Feilen nachbearbeitet, wenn diese nicht optimal passen. Die Qualität aller Teile wird als passend aber nicht optimal bewertet. Mit dem verwendeten Drucker wird nie die gewünschte Güte erreicht.

2.3.4 LaserCut

Wie bereits erwähnt wird die Scheibe vor dem Display aus Acrylglas mit dem Lasercutter geschnitten. Die Dicke der Scheibe wurde in der Konstruktion mit 2 mm veranschlagt. Die Länge und die Breite werden aus der fertig gedruckten Oberseite gemessen, da die Maße von der Vorlage abweichen. Auch die Höhe weicht etwas von den geplanten 2 mm ab und beträgt im Model nur noch etwa 1,5 mm. Diese hohe Abweichung kommt daher, dass dieser Teil als Überhang gedruckt wird und von Unterstützungs-Material getragen wird. In so einem Fall sind derartige Abweichungen normal. Da aber auch die Displayauflage nach dem gleichen Prinzip gedruckt wird, bleibt genug Platz für das Display.

Um den Ausschnitt mit dem Lasercutter anfertigen zu können, muss die gewünschte Kontur als Pfad vorliegen. Die Anfertigung dessen ist komplizierter als erwartet, gelingt aber dennoch. Die Kontur wird aus 2 mm dickem Acrylglas geschnitten, da dies gängiger ist als 1,5 mm dickes Material und die überstehende Scheibe nur wenig stört.

2.3.5 Lackierung

Um die optischen Eigenschaften der 3D-gedruckten Teile weiter zu verbessern, werden zunächst mehrere Testteile mit Acrylfarbe lackiert. Es soll damit eruiert werden, ob der Lack in der Lage ist die Oberflächenstruktur der Teile zu verbessern, indem die „Furchen“, die bedingt durch das FDM-Verfahren immer entstehen, geschlossen werden. Es werden unterschiedliche Teile, die auf unterschiedlichen Oberflächen gedruckt werden, getestet. Zusätzlich dazu wird auch ein Glanzlack getestet.

Stellenweise sind hier Verbesserungen der Oberfläche nach etwa zehn Lackschichten erkennbar. In einzelnen Bereichen entsteht eine glattere Oberfläche. Ein großer Unterschied zwischen den auf unterschiedlichen Oberflächen gedruckten Modelle lässt sich nicht erkennen. Es sind jedoch immer Unreinheiten im Lack zu erkennen, die auf die lange Trockenzeit zwischen den einzelnen Schichten an der Außenluft zurückzuführen sind, da sich hier viele Partikel ablagern, die das Endergebnis wieder

verschlechtern. Ein reinerer Innenraum kann dieses Problem beheben, ist in diesem Fall aber nicht verfügbar.

Der Einsatz von Klarlack auf farbigem Lack bewirkt eine strukturelle Änderung und stellenweise Blasenbildung. Das lässt auf ungewünschte chemische Reaktionen zwischen dem PLA des Modelles und er beiden Lacke schließen und macht das lackierte Modell unbrauchbar.

Insgesamt fallen diese Tests wenig befriedigend aus und liefern keine zuverlässigen Ergebnisse. Daher wird auf eine Lackierung des finalen Modelles verzichtet, da die Risiken einer fehlerhaften Lackierung zu groß sind.

Lediglich die ausgeschnittene Acrylglascheibe wird von innen lackiert. Hier wird ein Rahmen lackiert, welcher den aktiven Bereich des Bildschirms einfasst. Dadurch wird der Bereich des 3D-gedruckten Gehäuses versteckt, der unter der Scheibe liegt. Dieses Vorgehen findet derzeit in den meisten technischen Anwendungen mit Bildschirmen Anwendung und verleiht dem Display so einen professionellen Charakter.

3 Aufbau

Nach Abklärung aller technischen Probleme im fliegenden Aufbau und der darauffolgenden Konstruktion und Fertigung eines passenden Gehäuses werden die Komponenten nun final verbaut.

Die Vorgehensweise ist hier die sequenzielle Platzierung der einzelnen Komponenten mit anschließender Kabelverlegung zum Zielort. Die Kabel werden hier zunächst lose und in Überlänge liegengelassen, wenn die Zielkomponente noch nicht verbaut ist. Dabei werden immer schwarze Kabel als Masseleitung verwendet. Die restliche Farbwahl ist in Ermangelung an Kabel frei gewählt. Somit steht rot nicht zwangsweise für die 5V Leitung, sondern wird auch für Signalkabel verwendet. Die Komponenten werden zunächst noch frei hängend platziert und nicht festgeschraubt um am Ende ein gutes Kabelmanagement aufbauen zu können. Sobald eine neue funktionstüchtige Einheit eingepflegt ist, wird diese im Zusammenspiel mit dem bereits vorhandenen Restsystem getestet.

Zunächst werden die nicht benötigten Anschlüsse des Raspberry Pi entfernt. Die Netzwerk-Buchse kann hier ausgelötet werden. Die USB-Buchsen müssen zerstört werden und in Teilen abgetragen werden, da diese nicht nur fest gelötet, sondern auch verklemmt sind. Dadurch ist es nicht möglich diese einfach auszulöten. Die GPIO Steckerleiste wird in einzelne Abschnitte getrennt und ausgelötet.

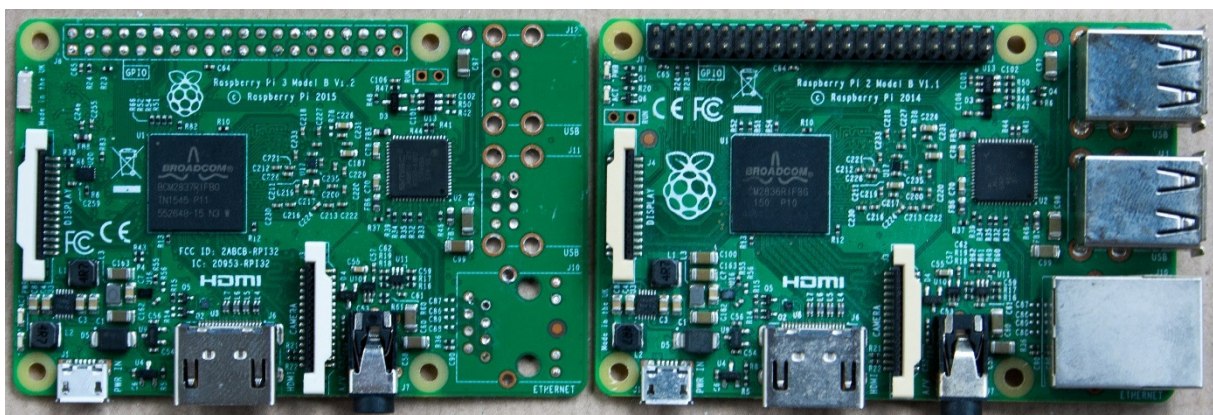


Abbildung 27: Bearbeiteter Raspberry Pi 3 im Vergleich mit einem Raspberry Pi 2

Der SBC wird nach diesem Prozess getestet und ist weiterhin voll funktionsfähig.

Begonnen wird der Aufbau bei den Hauptkomponenten der Spannungsversorgung, also dem Powerboost 1000, sowie der Micro USB Buchse. Der Akku wird erst zum Schluss fest platziert und nur
© Max Kippenberg

immer wieder zu Testzwecken angeschlossen. Von der Micro USB Buchse zum Eingang des Ladereglers wird ein doppeltes Kabelpaar aus roten und schwarzen Leitungen gelegt. Vom Ausgang des Reglers wird ein weiteres doppeltes Kabelpaar zum Ort des Raspberry Pi gelegt. Zwar sind die verwendeten Kabel bis 2A freigegeben, was in der Theorie ausreichend ist, allerdings traten hier schon im fliegenden Aufbau merkliche Spannungsabfälle auf. Da die verlegten Kabel hier auch noch länger sind als im vorherigen Aufbau wird ein zusätzliches Paar verwendet um ausreichend Sicherheit in der Versorgung zu gewährleisten. Das wird nur in den beiden aufgezählten Fällen praktiziert, da diese Komponenten den mit Abstand größten Stromfluss benötigen. Allen anderen Komponenten genügt ein einzelnes Kabelpaar. Mit danach temporär angeschlossenem Akku und Ladegerät wird die Funktionalität bestätigt.

Darauf folgen die Komponenten der Oberseite, die unter den angefertigten Haltern sitzen. Diese sind von hoher Priorität, da hier alle Eingabemöglichkeiten sitzen. Dazu wird zunächst der Lautsprecher zusammen mit einem Kunststoffgitter am vorgesehenen Ort platziert und mit Kabeln versehen. Die ausgeschnittenen Platinen des Super Nintendo Controller werden mit doppelseitigem Montageklebeband auf die Halter geklebt. Von diesen Platinen gehen Leitungen zum Ort des Raspberry Pi. Die zusätzlichen Kunststoffmembranen und die Tasten werden platziert. Darüber werden die beiden Halter mit M2 Zylinderkopfschrauben geschraubt. Hierbei brechen zwei Halter aus der Oberseite aus. Diese sind für die angesetzten Kräfte etwas unterdimensioniert und müssten breiter dimensioniert werden. Auch die Verwendung von größeren Schrauben ist an dieser Stelle empfehlenswert. Dennoch reichen die verbleibenden Befestigungspunkte aus um die Halter zuverlässig zu befestigen. Dabei fällt auf, dass im Bereich der Eingabepatinen eine deutliche Ausbeulung stattfindet. Hier steuert das Montageklebeband und die Kabel die zwischen Platine und Halterung liegen zu viel Höhe bei. Dieser Platzbedarf wurde in der Konstruktion nicht ausreichend dimensioniert. Die Halter sind in der Lage diesen Höhenunterschied auszugleichen und die Komponenten sicherzuhalten. Die Start- und Selecttasten sind schwergängig. Das liegt an einem falsch ausgemessenen Winkel, weshalb die Tasten nun etwas klemmen. Der geometrische Fehler des verwendeten Druckers verstärkt diesen Fehler zusätzlich. Die Funktion derer und der anderen Tasten wird aber mit einem Multimeter bestätigt. Die Platinen teilen sich eine Masseleitung, die an der Micro USB Buchse abgegriffen wird.

Die Taster der Schultertasten werden verkabelt und mit Epoxid-Harz-Kleber fixiert. Die Abstände der Schultertasten zu den korrespondierenden Tastern wird mit Klebestreifen angepasst um ein Betätigen zu ermöglichen. Der An/Aus-Schalter, der auch auf einer Halterung lokalisiert ist wird mit der gleichen Methode befestigt. Bedingt durch die vorher beschriebene Ausbeulung des Halters kann der gedruckte Aufsatz für diesen Schalter nicht mehr platziert werden. Dieser Aufsatz wird daraufhin im CAD abgeändert um dennoch an die vorgesehene Stelle passen zu können und daraufhin gedruckt und eingebaut.

Zuletzt wird noch die 3,5mm Klinkenbuchse in der Oberseite befestigt und verkabelt. Die Oberseite ist damit bis auf den Bildschirm abgeschlossen.

In der Unterseite werden zuerst die Komponenten für die Tonausgabe platziert und zusammengeschlossen, da der Verstärker unter dem HDMI Decoder liegt. Die Klinkenbuchse wird direkt mit der Klinkenbuchse des Raspberry Pi verbunden. Diese sind daraufhin parallelgeschaltet. Ein Umschalten zwischen internem Lautsprecher und der Buchse ist so per Software möglich. Die Tonausgabe kann nicht direkt getestet werden, da das Eingangssignal aus der USB Buchse des Raspberry Pi stammt. Die Leuchtdioden der einzelnen Komponenten bestätigen aber zumindest die korrekt angeschlossene Spannungsversorgung.

Die Decoder Platine für das Display wird angeschlossen. Dazu wird noch die Dimm-Schaltung mit Epoxid-Harz-Kleber in die Unterschale geklebt und verkabelt. Das Display wird temporär angeschlossen

um die Funktion der Helligkeitsregelung zu bestätigen. Die Bildausgabe kann noch nicht getestet werden, da der Raspberry Pi als Quelle noch nicht verbaut ist. Dieser wird nach dem Test platziert und an die verbliebenen Kabel angeschlossen. Die Zuordnung der richtigen Tasten erfolgt dabei mit einem Multimeter. Die Leitungen werden direkt in die Löcher der abmontierten Stiftleiste eingelötet. Hier wird auf einen möglichst schrägen Winkel abgezielt, da die Kabel später unter dem Raspberry Pi liegen und keine zusätzliche Höhe verursachen sollen.

HDMI Kabel und 3,5mm Klinenstecker werden angeschlossen und die USB Soundkarte an den Raspberry Pi angeschlossen. Damit sind alle Komponenten angeschlossen. Ein Test bestätigt die Funktionstüchtigkeit der Gesamtschaltung.

Die Platinen werden festgeschraubt. Dabei fällt auf, dass die gedruckten Löcher für die Schrauben teilweise zu groß sind und die Schrauben daher nicht angezogen werden können. Da ist darauf zurückzuführen, dass der Durchmesser der Löcher noch mit einem anderen Kunststoff ausgelegt wurde. Der nun gewählte erlaubt eine maßgenauere Herstellung, wodurch die Löcher näher am Nennmaß der Zeichnung liegen und daher nicht mehr passen. Deshalb werden die Schrauben mit Epoxid-Harz-Kleber in die Löcher geklebt um die Platinen zu fixieren. Der Platz unterhalb des Raspberry Pi ist etwas zu gering bemessen, daher steht auch dieser mehr hervor als geplant. Dadurch ergeben sich aber keine Komplikationen, da über dieser Platine nicht direkt andere Komponenten folgen.

Das Display wird eingeklebt. Darüber wird die vorbereitete Acrylglasplatte geklebt. Hier wird an einer Ecke zu viel Kleber aufgetragen, wodurch etwas Kleber beim Anpressen der Platte auf das Display gelangt. Deshalb wird die Platte noch einmal entfernt und die Kleberspuren beseitigt. Dadurch gelangt allerdings zusätzlicher Staub zwischen Display und Platte. Zusätzlich dazu zieht der Kleber beim Abziehen Fäden, die vereinzelt aufs Display gelangen. Diese lassen sich nicht mehr rückstandsfrei entfernen und sind daher auch im Endprodukt noch sichtbar.

Die Konsole wird geschlossen und getestet. Alles funktioniert wie vorgesehen. Einzig die Dimm-Schaltung verursacht zusätzlich zum bereits festgestellten flackern Spannungsprobleme beim Raspberry Pi. Dies äußert sich in einem Flackern der Power LED des SBC wenn das PWM Signal der Dimm-Schaltung im unteren Bereich gehalten wird. Der Einplatinencomputer wird dadurch zwar gestört, funktioniert aber weiterhin. Ein Kondensator zwischen 5V und Masse könnte dieses Problem vermutlich beheben, wird hier aber nicht verbaut. Der W-LAN Empfang ist bei geschlossenem Gehäuse deutlich schlechter und funktioniert daher nur in Sichtweite zum Router.

Um abschließende Änderungen auszuführen wird das Gehäuse geöffnet. Der Abstand der Schultertaster zu deren gedruckten Aufsätzen, wird mit klebenden Kartonstreifen ausgeglichen, damit die Taster ordentlich betätigt werden können.

Zusätzlich wird ein 56Ω Widerstand vor den Lautsprecher gelötet, da dessen maximale Lautstärke als zu hoch empfunden wird. Hier fällt auf, dass die Lautstärkeregelung, die bereits in Software vorliegt nicht für die USB Soundkarte funktioniert. Daher kann nur eine fixe Lautstärke ausgegeben werden. Ein internes Potentiometer könnte noch an diesem Punkt verbaut werden. Darauf wird allerdings verzichtet, da der Nutzen einer nicht von außen zugänglichen Regelung als sehr gering erachtet wird.

Die störenden, hellen LEDs der USB-Soundkarte werden abgelötet. Die LED für den Zustand des Ladereglers wird in die Oberseite, die LED für das Anzeigen eines Ladevorganges neben die Micro USB Buchse verlegt. Hier fällt auf, dass eine Dual-LED aus zwei LEDs in einem Gehäuse neben der Micro USB Buchse für das zusätzliche Anzeigen eines vollen Akkus sinnvoller gewesen wäre. Die restlichen LEDs werden belassen, da diese bei späterer etwaiger Fehlersuche von Nutzen sein können und im geschlossenen Gehäuse kaum störend auffallen. Auch der Stromverbrauch dieser einzelnen LEDs ist zu vernachlässigen.

Als letzter Schritt folgt das Aufräumen der Leitungsstränge. Diese laufen hauptsächlich in den im Modell vorgesehen Kabelführungen. Diese sind allerdings an einigen Stellen unterdimensioniert, weshalb nicht alle Kabel hierdurch geführt werden können. Deshalb werden die zusätzlichen Kabel mit Kabelbindern am Kabelbaum befestigt. Auf den Einsatz von Schrumpfschläuchen muss meistens verzichtet werden, weil diese nicht in der Nähe der aus PLA gefertigten Teile erhitzt werden können, da diese schmelzen bevor sich die Schrumpfschläuche kontrahieren. In Abbildung 27 ist das Endergebnis dargestellt.



Abbildung 28: Konsole im geöffneten Zustand

Abschließend wird das Gehäuse geschlossen und mit M4 Schrauben verschraubt, dazu muss noch eine Schraube des HDMI Decoders entfernt werden, da diese die Adapterplatine des 40-poligen FPC-Kabels behindert. Der komplette Aufbau benötigt etwa 2 Tage. Die Bedienungsanleitung befindet sich im Anhang A1, eine endgültige Stückliste aller benötigten Teile im Anhang A2.

Der Schaltplan wird noch einmal aktualisiert und an die Änderungen angepasst, die noch während dem Aufbau vorgenommen werden, oder während der Konstruktion eingeführt werden.

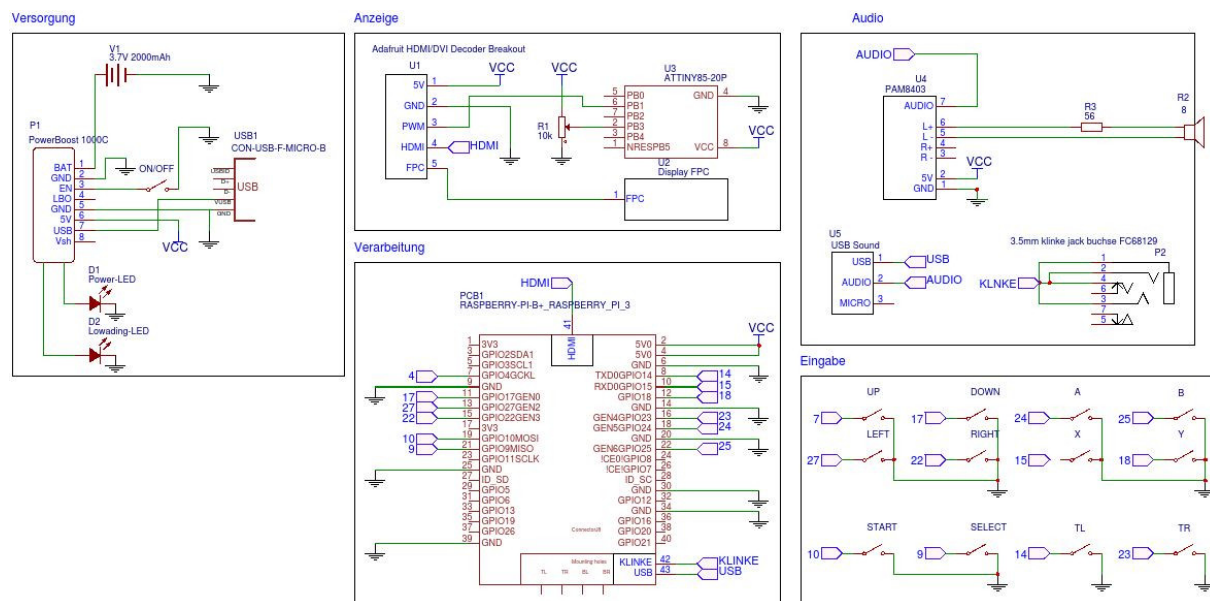


Abbildung 29: Finaler Schaltplan

4 Rechtliche Hinweise

Zu Beginn dieses Kapitels muss darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der folgenden Ausführung nur um die Meinung des Autors handelt. Eine zuverlässige rechtliche Abhandlung benötigt eine juristische Ausbildung, die hier nicht vorhanden ist. Dennoch werden die rechtlichen Grundlagen des Projektes hier diskutiert, sind aber dementsprechend mit Vorsicht zu genießen.

Der Ausgangspunkt ist das Betriebssystem recalbox-os. Die verwendeten Emulatoren können Spiele von unterschiedlichen Firmen und Konsolen wiedergeben. Dabei muss immer ein Abbild des Originalspiels in einem für den Emulator spezifischen Format vorliegen. Dieses Abbild kann von den Original Medien, wie etwa den "Speicherkarten" eines Gameboy oder der Universal Media Disk (UMD) einer Playstation Portable gewonnen werden. Dafür ist in den meisten Fällen spezielle Hardware von Nöten, da die meisten Hersteller der Zeit proprietäre Speichermedien für die Spiele verwendeten.

Der wesentlich häufiger genutzte Weg ist allerdings der Bezug der Abbilder aus dem Internet. Hier haben sich große Portale entwickelt, die die entsprechenden Inhalte kostenlos zum Download anbieten. Das ist natürlich an Einfachheit nicht zu überbieten, daher wird auch in den meisten Fällen dieser Weg gewählt. Auch die Auswahl ist hier immens groß. Es werden sogar Spiele angeboten, welche den Markt niemals erreicht haben. Bei vielen Spielen ist es zudem gar nicht mehr möglich das Originalmedium zu beziehen, da diese mittlerweile einen gewissen Seltenheitswert erreicht haben und daher nur noch sehr selten verkauft und teuer werden.

Nun kursieren viele unterschiedliche Meinungen über die Legalität der Nutzung solcher ROMs. Allesamt haben diese aber eines gemein: Sie sind nur Meinungen und haben noch keine fundierte rechtliche Grundlage. Die Gesetzgebung hat diesen Bereich noch nicht klar definiert und auch Präzedenzfälle sind bisher kaum vorhanden. Daher sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass diese Ausführung größtenteils auf der Einschätzung unterschiedlicher Personen beruht und daher mit Vorsicht zu genießen ist, solange die rechtliche Lage nicht eindeutig geklärt ist.

In den meisten Fällen wird davon ausgegangen, dass das Anfertigen der Kopie eines Spieles nach § 69d UrhG, welches im Eigentum der kopierenden Person befindet, legal ist, wenn dabei nach § 95a UrhG kein Kopierschutz umgangen wird.

§ 69d UrhG - Ausnahmen von den zustimmungsbedürftigen Handlungen

(2) Die Erstellung einer Sicherungskopie durch eine Person, die zur Benutzung des Programms berechtigt ist, darf nicht vertraglich untersagt werden, wenn sie für die Sicherung künftiger Benutzung erforderlich ist.

§ 95a UrhG - Schutz technischer Maßnahmen

(1) Wirksame technische Maßnahmen zum Schutz eines nach diesem Gesetz geschützten Werkes oder eines anderen nach diesem Gesetz geschützten Schutzgegenstandes dürfen ohne Zustimmung des Rechtsinhabers nicht umgangen werden, soweit dem Handelnden bekannt ist oder den Umständen nach bekannt sein muss, dass die Umgehung erfolgt, um den Zugang zu einem solchen Werk oder Schutzgegenstand oder deren Nutzung zu ermöglichen.

Allerdings haben die meisten Spiele der betrachteten Ära keinen Kopierschutz in Softwareform. Die Inhalte lassen sich also mit der entsprechenden Hardware ungehindert kopieren. Nun ist aber nicht geklärt, ob bereits die Ausführung und Form der Medien einen Kopierschutz darstellt, welcher mit der Verwendung von spezieller Hardware bereits umgangen wird.

Da das eigenständige Anfertigen dieser Sicherheitskopien aber mit großem Aufwand verbunden ist, da zusätzliche Hardware benötigt wird und somit nur von versierteren Nutzer angewendet wird, ist die wesentlich interessante Frage, ob der Download der entsprechenden Inhalte aus dem Internet legal ist.

Hier ist zunächst klar definiert: Wenn sich das gewünschte Medium nicht im Original im Besitz der Person befindet ist der auch der Download nicht legal, da nach §69d UrhG nur eine Sicherungskopie, also eine Kopie eines im Besitz befindlichen Medium und keine Privatkopie erlaubt ist. Die Anfertigung einer Privatkopie ist nach § 53 UrhG für Software ausgeschlossen.

§ 53 UrhG - Vervielfältigungen zum privaten und sonstigen eigenen Gebrauch

(1) Zulässig sind einzelne Vervielfältigungen eines Werkes durch eine natürliche Person zum privaten Gebrauch auf beliebigen Trägern, sofern sie weder unmittelbar noch mittelbar Erwerbszwecken dienen, soweit nicht zur Vervielfältigung eine offensichtlich rechtswidrig hergestellte oder öffentlich zugänglich gemachte Vorlage verwendet wird. Der zur Vervielfältigung Befugte darf die Vervielfältigungsstücke auch durch einen anderen herstellen lassen, sofern dies unentgeltlich geschieht oder es sich um Vervielfältigungen auf Papier oder einem ähnlichen Träger mittels beliebiger photomechanischer Verfahren oder anderer Verfahren mit ähnlicher Wirkung handelt.

Der nächste betrachtete Fall ist folglich die Betrachtung unter dem Umstand, dass sich das gewünschte Original im Besitz der Person befindet und die Sicherungskopie aus dem Internet bezogen werden soll.

Auch hier kann nur § 53 UrhG zu Rate gezogen werden, obwohl hier Software ausgeschlossen wird. Ein spezifisches Gesetz für Software ist aber noch nicht vorhanden, sondern derzeit in Arbeit. Daher soll sich dennoch an § 53 UrhG orientiert werden. Demnach ist es untersagt die Vervielfältigungsstücke

öffentlich zu verbreiten. Das bedeutet für den Fall Software, dass das Hochladen und Anbieten der Titel verboten ist. Somit haben die entstandenen Portale für ROMs in Deutschland keine rechtliche Grundlage.

§ 53 UrhG - Vervielfältigungen zum privaten und sonstigen eigenen Gebrauch

(6) Die Vervielfältigungsstücke dürfen weder verbreitet noch zu öffentlichen Wiedergaben benutzt werden. Zulässig ist jedoch, rechtmäßig hergestellte Vervielfältigungsstücke von Zeitungen und vergriffenen Werken sowie solche Werkstücke zu verleihen, bei denen kleine beschädigte oder abhanden gekommene Teile durch Vervielfältigungsstücke ersetzt worden sind.

Nun bezieht sich dieser Abschnitt aber nur auf die Verbreitung, im vorliegenden Fall also auf den Upload der Dateien. Der Download durch eine Person ist dadurch nicht abgedeckt. Das ist auch der zurzeit größte Streitpunkt. Hier lässt sich kein Gesetz finden, welches das Problem eindeutig abdeckt. Daher bewegt man sich hier in einer noch undefinierten Grauzone. Für den Fall von Filmen ist die Gesetzgebung hier schon wesentlich weiter, da der Markt viel größer ist und somit die großen Filmstudios mit Nachdruck versuchen das illegale Verteilen der Werke im Internet zu unterbinden. Diese Gesetze lassen sich aber nicht 1:1 auf den Bereich Software übertragen. Auch ist der Markt hier wesentlich kleiner und die Wahrscheinlichkeit einer rechtlichen Verfolgung wesentlich geringer.

Da aber auch hier Wachstum vorhanden ist und die großen Spieleschmieden auch Interesse an der Wahrung ihres Eigentums haben ist hier zu erwarten, dass die Gesetzeslage auch auf diesem Feld in den nächsten Jahren genauer definiert werden wird.

Nun könnte man nach dem Grundsatz „Nulla poena sine lege“ agieren, da ohne vorhandene rechtliche Grundlage auch keine Verfolgung stattfinden kann. Allerdings sollte man sich wohl an den bereits geschaffenen Gesetzen für Filme orientieren. Daher sollte auch mit gesundem Menschenverstand klar sein, dass ein Download einer ROM nicht legal sein kann, wenn man das Original nicht sein Eigen nennt. Für den Fall, dass man das entsprechende Spiel besitzt, bewegt man sich schon eher im legalen Bereich. [47, 48, 49]

Zusammenfassend kann man sagen, dass die rechtliche Lage auf diesem Gebiet sehr undurchsichtig und zu diesem Zeitpunkt nicht klar definiert ist. Zudem wurde hier nur der deutsche Raum betrachtet. Andere Länder haben hier sehr unterschiedliche Regelungen, welche auch stark von den deutschen abweichen können.

Auch für die Marktfähigkeit der vorliegenden Arbeit stellt dieser Gesetzeszustand ein großes Problem dar. Bei diesem Projekt werden hauptsächlich Inhalte verwendet, welche nach der derzeitigen Lage in den meisten Fällen wohl nicht benutzt werden dürften. Somit wäre das Endprodukt eine Konsole welche ohne Spiele ausgeliefert werden muss. Die zusätzlichen Inhalte müssen demzufolge vom Endverbraucher bezogen werden. Dabei begibt sich dieser mindestens in eine rechtliche Grauzone. Zudem ist dieser Vorgang für den gemeinen Verbraucher wohl zu aufwendig und ein großes Hindernis bei der Benutzung der Konsole. In der heutigen Zeit muss jeder Vorgang so einfach wie möglich gestaltet werden, da die Nutzer sonst schnell an Gefallen und Interesse verlieren. Das vorliegende Projekt wäre also allein schon durch diese Einschränkung gefährdet.

Zusätzlich ist anzumerken, dass sich diese Arbeit designtechnisch an ein bereits vorhandenes Designprojekt anlehnt [11]. Auch der Künstler hat in diesem Fall Anspruch auf eine Beteiligung, die zunächst geklärt werden muss. Allerdings verwendet dieser nur die Designmerkmale des originalen Gameboy der Firma Nintendo. Daher wäre zudem zu klären, inwiefern hier Patente dieser Firma in Bezug auf das Design verletzt werden.

Insgesamt scheint der rechtliche Rahmen für das Projekt sehr kritisch. Eine Verwirklichung ginge daher mit schwierigen und wohl langjährigen Rechtsfällen überein, welche zunächst geklärt werden müssten. Dadurch, dass hier auch Großkonzerne wie Nintendo involviert sind, wäre mit großen Kosten zu rechnen, welche für ein einfaches Startup Projekt nur sehr schwer zu stemmen sind. Dennoch müssten diese Fragen geklärt werden, bevor eine Entwicklung gestartet werden kann und um Unterstützung, beispielsweise durch Crowdfunding gebeten werden kann, da der Anspruch der Nutzer entsprechender Portale enorm gestiegen ist. Somit wäre die finanzielle Last durch die Rechtsfragen zunächst vom Begründer selbst zu tragen, was kaum machbar erscheint.

5 Umfrage

Um die Marktfähigkeit besser einschätzen zu können, wird eine kurze Umfrage erstellt.

5.1 Erstellung des Umfragebogens

Die Umfrage zielt darauf ab die Akzeptanz und das Bedürfnis nach einer mobilen Konsole, wie sie in dieser Arbeit entwickelt wird, herauszufinden. Dafür werden erst allgemeine Fragen gestellt, um den Probanden einordnen zu können. Hier ist das Geschlecht, das Alter, die Berufsgruppe und die Vergangenheit mit Videospiele relevant. Im Anschluss an diese Fragen wird dem Probanden der Prototyp überreicht. Die Testperson soll nun eigenständig die Funktion des Gerätes herausfinden und testen. Nach abgeschlossenem Test werden der erste Eindruck, Bedienung, Optik, Haptik und Umfang der Konsole auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet. Zusätzlich dazu soll noch beantwortet werden, ob der Proband in Erwägung zieht das Produkt zu kaufen und welchen Preis selbiger dafür zahlen würde, gemäß dem Fall die Frage wird mit „ja“ beantwortet. Abschließend ist noch Platz für Verbesserungsvorschläge, Lob und Kritik.

Der Umfragebogen befindet sich im Anhang A3.

5.2 Durchführung

Der Prototyp wird den Testern zusammen mit dem Umfragezettel ausgehändigt. Den Probanden wird zusätzlich mitgeteilt, wie man von einem Spiel zurück zur Oberfläche EmulationStation gelangt. Der Rest des Tests erfolgt komplett explorativ. Dem Tester werden während des Tests keine zusätzlichen Fragen beantwortet. Die Test-Zeit ist nicht beschränkt. Neun Personen nehmen an dem Test teil.

5.3 Ergebnisse

Alle Tester finden sich problemlos und schnell in das Gerät ein. Das Einschalten des Gerätes gelingt immer schnell, auch die Navigation durch die Oberfläche erscheint allen Testern intuitiv. Hier fällt auf, dass der Punkt Intuition auf der Umfrage zusätzlich hätte bewertet werden sollen. Im Schnitt nehmen sich die Personen etwa zehn Minuten Zeit für den Test.

Die Tester werden über die allgemeinen Fragen in Gruppen eingeteilt. Alle Tester befinden sich in der Altersgruppe 15 – 25 Jahre. Acht von Neun sind männlich und führen entweder technische Berufe aus oder sind Studenten. Eine weibliche Testerin ist Studentin im sozialen Bereich. Alle Tester haben in ihrer Jugend Erfahrungen mit Computer- oder Konsolenspielen gesammelt.

Für die Auswertung der gerätespezifischen Bewertung wird der Wertung eine entsprechende Schulnote von eins bis fünf zugeordnet, wobei eins sehr gut und fünf sehr schlecht darstellt.

Tabelle 2: Auswertung der gerätespezifischen Bewertung

	Wertung
Erster Eindruck	1,5
Bedienung	2,5
Optik	2,25
Haptik	2,375
Umfang	1,625

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Hier fällt auf, dass sowohl der erste Eindruck und der Umfang sehr gut bewertet werden. Bedienung, Optik und Haptik schneiden etwas schlechter ab und befinden sich zwischen „gut“ und weder „gut“ noch „schlecht“. Daraus lässt sich erkennen, dass der erste Eindruck zwar sehr positiv ausfällt, allerdings bei genauerer Betrachtung nicht ganz die der Erwartung des Testers erfüllen kann.

Nach dieser Bewertung werden die Tester gefragt, ob sie einen Kauf in Erwägung ziehen würden. Hier antworten fünf von neun Testern mit „ja“. Die darauffolgende Frage nach dem Preis wird sehr unterschiedlich beantwortet. Hier ergibt sich eine Spanne von 20€ bis 250€. Der Mittelwert liegt bei 74€, der Median bei 75€. Hier fällt auf, dass die Wertvorstellungen sehr weit auseinandergehen und teils sehr unrealistisch sind. Hier wird in den meisten Fällen wohl auch der getestete Prototyp an sich betrachtet und nicht über den Wert eines finalen Produktes nachgedacht. Das Ergebnis dieses Punktes ist daher auch aufgrund der sehr geringen Anzahl an Testpersonen nur wenig aussagekräftig.

Zum Abschluss der Umfrage wird noch um Verbesserungsvorschläge, Lob und Kritik am Produkt gebeten. Die von den Testern aufgeführten Punkte werden im Folgenden in Listenform dargestellt. Dabei handelt es sich immer um wörtliche Zitate der von den Testern aufgeschriebenen Kommentaren. Falls ein Punkt öfter genannt wird, befindet sich die Häufigkeit der Nennung in einer Klammer hinter dem Kommentar.

Genannte Verbesserungsvorschläge:

- Andere Farbe
- Lautstärkeregler (5)
- Beschriftung der Tasten (3)
- Bootscreen
- Knöpfe zu weit auseinander (2)
- Die leeren Flächen neben dem Bildschirm könnten verkleinert werden
- Kante links unten abrunden
- Eigen-design-bares Gehäuse
- In verschiedenen Farben anbieten
- Kompatibel mit dem Smartphone zwecks Social-Media Interaktionen
- Erweiterungen im App-Store und Playstore natürlich kostenpflichtig
- Tasten verbessern
- Bessere Bearbeitung der Kanten

Bei diesen Verbesserungsvorschlägen sticht zunächst der fehlende Lautstärkeregler heraus. Das Fehlen dessen ist bereits erläutert und stellt für den Nutzer des Prototyps einen großen Kritikpunkt dar. Weiterhin wird die Beschriftung der Tasten von drei Testern gewünscht. Auch dieser Punkt ist nur ein Problem des Prototyps und würde in einem finalen Produkt sicherlich vorhanden sein. Eine Beschriftung ist im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, da ein ordentliches Ergebnis nur mit aufwendigen Technologien erreicht werden kann. Für dieses Testgerät wurde daher hierauf verzichtet, zumal die Eingabe von einer sehr bekannten Konsole übernommen wurde und daher auch ohne Beschriftung für einen Großteil der Personen sehr intuitiv erscheint.

Zwei Personen halten den Abstand der Tasten für falsch. Das kann damit erklärt werden, dass die Tasten ABXY des originalen Super Nintendo Controller hier leicht gedreht wurden um das Gehäuse schmaler gestalten zu können. Die entsprechenden Personen sind hier wahrscheinlich den originalen Controller gewohnt, weshalb diese Änderung auffällt.

Weiterhin werden einige Punkte kosmetischer Natur genannt. Diese beziehen sich auch immer auf den Prototypen, welcher bedingt durch die verwendeten Techniken noch viele äußerliche Macken aufweist, die hier auffallen. Ein finales Produkt, welches im Spritzguss-Verfahren gefertigt werden würde, erfüllt viele der angeführten Verbesserungsvorschläge.

Die einmal genannte Kompatibilität mit dem Smartphone für die Interaktion mit Sozialen Medien soll für dieses Projekt explizit vermieden werden, da ein Produkt geschaffen werden soll, welches sich rein auf das Retro-Gaming-Gefühl konzentriert. Allerdings scheint diese Eigenschaft weniger gewünscht zu sein. So wird auch eine App-Store Erweiterung gewünscht, über welche zusätzliche Inhalte bezogen werden können. Für eine Erfüllung dieses Vorschlages müssten viele rechtliche Fragen geklärt sein und auch eine Zusammenarbeit sowohl mit den Konsolen- als auch mit den Spieleherstellern erfolgen.

Die restlichen genannten Punkte beziehen sich auf Kinderkrankheiten des Prototyps und sind daher weniger von Relevanz.

Die darauf genannten Lob- und Kritikpunkte werden nun gegenübergestellt und diskutiert. Auch hier handelt es sich um wörtliche Zitate.

Lob:

- Gameboy Style (2)
- handlich, gut transportierbar
- All-in-One Emulator
- sieht qualitativ sehr gut aus, gute Größe
- Super Idee
- gute Musik/Ton (2)
- große Vielfalt
- Nostalgie erfüllt
- gute Stabilität der Hardware
- großer Bildschirm (2)
- Micro USB Port (2)
- Optik

Kritik:

- Knöpfe könnten leichter zu drücken sein
- etwas klobig
- Steuerkreuz fühlt sich bei diagonalen Richtungen schwammig an
- Leichte Verzögerung einzelner Spiele
- Druckknöpfe rechts+links oben sollten leichter zu bedienen sein

Gelobt und gleichzeitig kritisiert wird hier die Dimension des Prototyps, die Größe des Bildschirms wird allerdings nur gelobt. Auch die Qualität der Audioausgabe kann überzeugen. Zudem wird positiv herausgestellt, dass die Konsole per Micro USB Port aufgeladen werden kann. Auch die Idee, das grundsätzliche Design mit der Anlehnung an den originalen Gameboy, die Idee, der Nostalgiefaktor und die Stabilität der Hardware werden gelobt. Das Lob der Vielfalt bezieht sich wahrscheinlich auch auf die große Auswahl an Emulatoren und Spielen, welche allerdings nicht durch dieses Projekt bestimmt wird.

Kritik wird hauptsächlich an der Eingabe geübt. Die Nutzung der ausgebauten Controller-Eingabe scheint hier noch nicht optimal zu funktionieren. Die Kritik der Verzögerung in einzelnen Spielen ist auf die Emulations-Geschwindigkeit des Raspberry Pi zurückzuführen und ist in diesem Projekt daher nicht beeinflussbar.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Umfrage mit der geringen Anzahl an Testern nicht sehr aussagekräftig ist, aber dennoch gute Ansätze liefern kann.

So wird klar, dass den Testern kaum bewusst ist, dass es sich hier um einen sehr frühen Prototyp handelt, welcher kaum mit einem finalen Produkt verglichen werden kann. Dieser Punkt hätte stärker kommuniziert werden müssen, als den Probanden das Gerät ausgehändigt wurde. Auch fehlt den Testern der technische Hintergrund um den Stand einschätzen zu können, was in wenig realistischen Preisschätzungen und meist wenig hilfreichen Kommentaren resultiert.

Auch ist die Testgruppe zu homogen, meist mit ähnlichem Alter und Interessensgebieten sowie Ausbildungs- und Berufsverhältnissen. Eine größere Vielfalt an Testern ist nötig um fundierter Aussagen treffen zu können. Allerdings handelt es sich hier eigentlich um die Zielgruppe, die mit dieser Entwicklung angesprochen werden sollte. Somit fällt hier auf, dass weniger Interesse an einem solchen Produkt besteht, als zunächst angenommen wurde. Auch die Preisvorstellungen sind kaum realisierbar, auch nicht für ein finales Produkt.

6 Fazit und kritische Bewertung

In diesem Projekt konnten viele Themengebiete des Studiums einfließen und praktisch vertieft werden. Die Wahl des Themas halte ich daher rückblickend für optimal. Zwar gab es im Laufe des Projektes immer wieder Probleme, mit denen nicht zu rechnen war, dennoch konnte der grobe Zeitplan eingehalten werden. Vor allem die Probleme bei der Tonausgabe haben den Zeitplan gefährdet, weshalb die Audiolösung im derzeitigen Zustand zwar als funktional, aber kaum als optimal bezeichnet werden kann. Hier besteht der größte Nachbesserungsbedarf. Auch der häufige Wechsel der Distribution hat den Zeitplan deutlich ausgereizt und hätte vermieden werden können. Zudem bleibt das optische Gesamtergebnis hinter den persönlichen Erwartungen zurück, vor allem, weil der 3D-Druck nicht die gewünschte Qualität erreichen konnte. Das könnte jedoch einfach durch den Einsatz eines professionelleren Gerätes behoben werden.



Abbildung 30: Fertiggestellter Prototyp

Leider konnten den Punkten „Rechtliche Hinweise“ und der Umfrage nur wenig Beachtung geschenkt werden, da hierfür wesentlich mehr Zeit hätte eingeplant werden müssen. Diese Punkte der Arbeit sind daher nur kürzer angeschnitten und erreichen nicht die gewünschte Tiefe. Hier überschreitet der gewünschte Umfang die zur Verfügung stehende Zeit. Daher hätte im Vorfeld auf einen der beiden

Punkte verzichtet werden sollen um einen derer genauer betrachten zu können. Vor allem die Umfrage liefert daher keine wirklich aussagekräftigen Ergebnisse.

Insgesamt wurde die Arbeitsbelastung für dieses Projekt falsch eingeschätzt, weshalb die Konsole auch nicht den persönlich gewünschten Zustand erreichen kann.

Trotz der genannten negativen Punkte sehe ich das Projekt als Erfolg an, da viele Inhalte aus dem Studium aufgefrischt und zusätzlich Neue erlernt werden konnten. Auch das Ergebnis ist kein Fehlschlag und kann einen angemessenen Zustand erreichen.

7 Ausblick

Im Folgenden werden Ideen und Optionen für das Projekt aufgeführt, die im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt wurden, jedoch in einem finalen Produkt nach Meinung des Autors Anwendung finden sollten. Zusätzlich soll ein Ausblick gegeben werden, welche Möglichkeiten zwar wünschenswert, aber nicht zwingend notwendig sind. Auch soll nochmals diskutiert werden ob ein solches Produkt Marktfähigkeit besitzt und was dafür nötig wäre.

7.1 Zusätzliche Eigenschaften

Viele zusätzliche Features wurden während der Erarbeitung des Projektes angedacht und zumeist verworfen. Viele dieser Eigenschaften benötigen ein eigenes Design um funktionieren zu können, wären aber in einem finalen Produkt sehr wünschenswert und werden daher hier aufgeführt.

- **Externer HDMI-Anschluss**

Durch den Einsatz eines zusätzlich verbauten HDMI Anschlusses der von außen zugänglich ist, kann die mobile Konsole mit einem Fernseher verbunden werden und die Inhalte somit auf einem größeren Bildschirm darstellen. Zusätzliche dazu können weitere Controller per Bluetooth angeschlossen werden wodurch zusammen mit anderen gespielt werden kann. So könnte eine potente, einfach zu transportierende Partykonsole geschaffen werden. Dafür wird allerdings ein Prozessor benötigt, der zwei Bildschirme bedienen kann, oder zwischen zwei HDMI Ausgängen wechseln kann.

- **Shop für zusätzliche Inhalte**

Dieser auch in der Umfrage genannte Punkt sollte in einem finalen Produkt realisiert werden, damit der Nutzer einfach neue Inhalte erhalten kann. Das System von recalbox-os, bei dem die zusätzlichen Inhalte in einen freigegebenen Netzwerkordner gelegt werden, ist für ein verkaufsfähiges Produkt zu nutzerunfreundlich. Durch den Einsatz eines „App-Stores“ könnte dieses Problem gelöst werden. Durch die Nutzung von Smartphones ist der Nutzer bereits an dieses Procedere gewöhnt. Allerdings müssen für die Erstellung eines solchen Stores enorme rechtliche Fragen geklärt werden und Partnerschaften mit den Spieleherstellern eingegangen werden um die Inhalte legal anbieten zu können.

- **Social Media Integration**

Dieser Punkt wird in der Umfrage gewünscht. Der Autor verfolgt mit diesem Projekt das Ziel den Fokus komplett auf das Spielerlebnis zu lenken. Durch Meldungen aus sozialen Netzwerken wird dieses Erlebnis gestört. Allerdings existiert wohl ein großes Verlangen am Markt danach seine Erfolge mit anderen zu teilen. Daher ist auch über eine Integration von sozialen Netzwerken nachzudenken. Dies kann dann auch in einer wenig störenden Form erfolgen, bei der beispielsweise keine Meldungen über das aktuelle Spiel gelegt werden und nur im Hauptmenü verfügbar sind, wodurch das Spielerlebnis nicht unterbrochen wird.

- **Zusätzliche Sensorik**

Durch die Verwendung von zusätzlichen Sensoren wird Gyroskop und Beschleunigungsmesser oder auch Mikrofon und Kamera können alternative Eingabemethoden für die Inhalte entwickelt werden. Auch zusätzliche Anwendungen, wie beispielsweise Videotelefonie, sind dadurch möglich. Auch die Verwendung von GPS kann eine Option sein. So können neue entstehende Spieltypen wie das beliebte „Pokémon-Go“ bedient werden, die auf „Virtual-Reality“ setzen.

- **Add-On System**

Durch die Implementierung eines Add-On Systems, könnten zusätzlichen Inhalte von verschiedenen Personen entwickelt werden, die dann einfach vom Nutzer per „App-Store“ installiert werden können, um somit das System an die eigenen Bedürfnisse anzupassen. Durch die Verwendung eines quelloffenen Systems können hier auch tiefgehende Änderungen möglich gemacht werden. Zusätzlich dazu wird dadurch der Nutzerbasis die Möglichkeit gegeben Inhalte zu entwickeln, wodurch der Produzent entlastet wird.

7.2 Marktfähigkeitsanalyse

Neben der Analyse der rechtlichen Lage unter Punkt 4 soll auch die technische Machbarkeit eingeschätzt werden. Für ein finales Produkt muss zwangsläufig ein eigenes Layout entwickelt werden. Ein Verkauf ist im derzeitigen Zustand nicht vorstellbar, da die Kosten für Material, Komponenten und vor allem Zusammenbau nicht tragbar sind. Die Kosten für Material und Komponenten liegen bei etwa 200€. Dazu kommt eine Aufbauzeit von mindestens 6 Stunden bei eingearbeitetem Bearbeiter und vorbereiteten Teilen. Zusätzlich eine Druckzeit für das Gehäuse von etwa einem Tag. Ein Verkaufspreis unterhalb von 350€ wäre daher nicht realisierbar.

Bei der Realisierung eines eigenen Designs muss ein anderer Prozessor verwendet werden, da die Raspberry Foundation diesen für den Raspberry Pi speziell fertigen lässt. Auch das Design des Raspberry kann nicht 1:1 übernommen werden, da dieses nicht unter einer Open-Source Lizenz veröffentlicht wird. Somit muss ein eigenes Design entwickelt werden, was sich zwar durchaus an den in diesem Projekt verwendeten Komponenten orientieren kann, diese aber nicht kopieren darf. Durch diese Änderungen ist auch die Kompatibilität zur verwendeten Software nicht mehr garantiert, wodurch auch auf dieser Seite wieder ein enormer Aufwand entsteht. Die Vorteile des eigenen Designs sind ein wesentlich geringerer Raumbedarf, sowie ein potentieller geringerer Energiebedarf, da viele Komponenten nicht verwendet werden müssen. Beispielsweise wird kein USB oder Netzwerkcontroller benötigt, der derzeit auf dem Raspberry vorhanden ist. Das Audioproblem kann kostengünstiger und zuverlässiger gelöst werden. Auch kann eine eigene Eingabe realisiert werden. Hier könnten Taster für die Durchsteckmontage verwendet werden, welche über eine Gummikappe und damit über großen Hub und ein angenehmes „Druckgefühl“ verfügen. Diese Taster sind bereits in Abbildung 14 auf Seite 15 unten dargestellt. Diese wurden in diesem Projekt nicht eingesetzt, da die Entwicklung zum Zeitpunkt des Fundes dieser schon zu weit fortgeschritten war.

Ein eigenes Layout hätte somit durchaus Potential. Hier wird geschätzt, dass das bestückte PCB bei einem Volumen von etwa 100 Stück pro Los ca. 60€ kosten würde. Dazu kommt der Bildschirm, welcher bei großem Abnahmevolumen etwa 8€ [50] kostet. Zusammen mit einem spritzgegossenen Gehäuse sowie Tasten und weiteren Komponenten wie Lausprecher und Speicher ergibt sich ein Produktionspreis von schätzungsweise 100€. Dafür müssen aber bereits hohe Stückzahlen produziert werden und Spritzgussformen erstellt worden sein, die enorm kostspielig sind. Zusammen mit Entwicklung und Gewinnmarge ergibt sich so ein Verkaufspreis von etwa 200€. Das betrachtet

allerdings nur die Massenfertigung. Diesen Zustand zu erreichen kostet wahrscheinlich einige Millionen Euro. Eine Realisierung per Crowdfunding wird daher als sehr kritisch betrachtet.

Zudem müssen alle rechtlichen Fragen im Vorfeld geklärt werden. Schon allein dieses Unterfangen ist kostspielig und nicht unbedingt erfolgsversprechend.

Daher sehe ich die einzige Möglichkeit ein derartiges Gerät auf den Markt zu bringen in der Kooperation mit einem großen Hersteller, in diesem Fall wahrscheinlich Nintendo. In keinem anderen Szenario schätze ich die Hürden als überwindbar ein.

7.3 Persönliche Ziele

Persönlich setzte ich mir zum Ziel die noch vorhandenen Fehler bei der Tonausgabe zu verbessern und eine kurze Anleitung zum Nachbauen des Projektes im Internet zu veröffentlichen. Die Entwicklung eines marktreifen Produktes sehe ich als zu schwierig an. Zudem schätze ich die Erfolgchancen sehr gering ein. Eine zusätzliche Umfrage im Internet könnte hier weitere Klarheit schaffen.

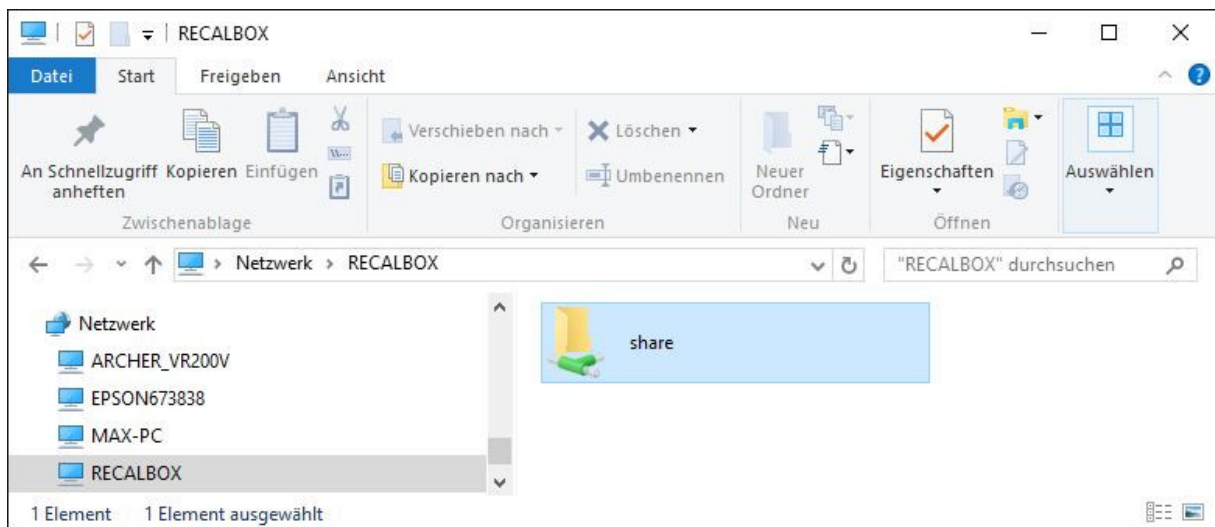
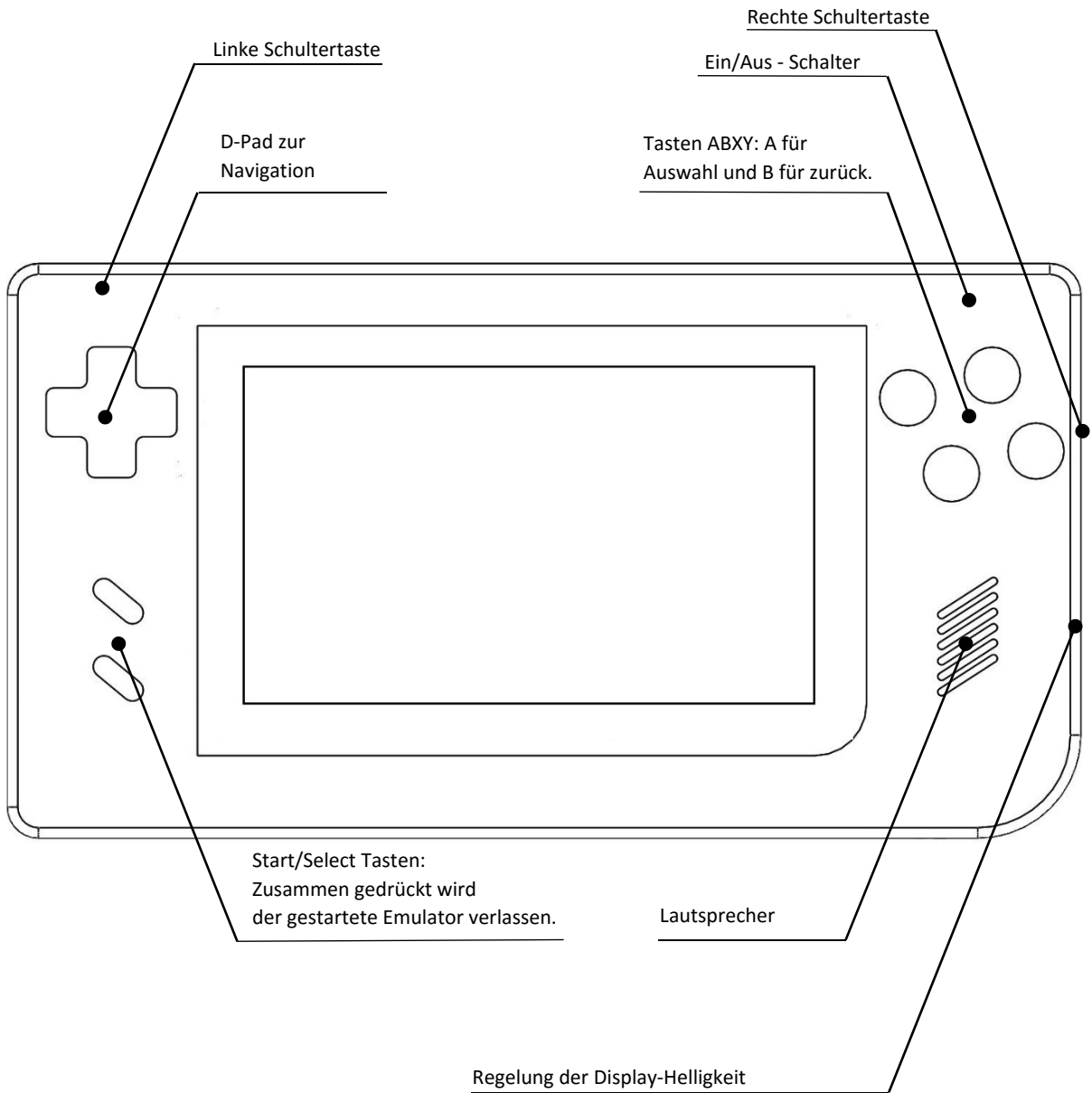
Quellenverzeichnis

- [1] *ARM* [viewed 4 May 2016]. Available from: <http://de.wikipedia.org/wiki/ARM-Architektur>.
- [2] *DSI* [viewed 5 May 2016]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Display_Serial_Interface.
- [3] *EDID* [viewed 7 August 2016]. Available from:
https://de.wikipedia.org/wiki/Extended_Display_Identification_Data.
- [4] *LCD* [viewed 30 April 2016]. Available from:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Fl%C3%BCssigkristallanzeige>.
- [5] *LVDS* [viewed 30 April 2016]. Available from:
https://de.wikipedia.org/wiki/Low_Voltage_Differential_Signaling.
- [6] *OLED* [viewed 30 April 2016]. Available from:
https://de.wikipedia.org/wiki/Organische_Leuchtdiode.
- [7] *TTL* [viewed 30 April 2016]. Available from: <https://de.wikipedia.org/wiki/Transistor-Transistor-Logik>.
- [8] *X86/X64* [viewed 1 May 2016]. Available from: <http://www.softwareok.de/?seite=faq-System-Allgemein&faq=13>.
- [9] *Emulation* [viewed 5 May 2016]. Available from: <http://de.wikipedia.org/wiki/Emulator>.
- [10] *Retro* [viewed 5 May 2016]. Available from: <http://www.duden.de/rechtschreibung/retro>.
- [11] FLORIAN RENNER. *Game Boy 1up* [online] [viewed 2 March 2016]. Available from:
<http://www.florian-renner.com/game-boy-1up>.
- [12] *Smartboy* [viewed 23 April 2016]. Available from: <http://gizmodo.com/hyperkin-wants-to-turn-your-phone-into-a-gameboy-1694604968>.
- [13] *Smartboy* [viewed 23 May 2016]. Available from: <http://hyperkinlab.com/smartboy-development-kit/>.
- [14] *Super Game Pi* [viewed 23 May 2016]. Available from: <https://learn.adafruit.com/super-game-pi/overview>.
- [15] DREWSROBOTS. *PiStation Portable* [online] [viewed 29 May 2016]. Available from:
<http://drewsrobots.blogspot.de/2015/06/building-my-ppsp-pystation-portable.html>.
- [16] *Portable Raspberry Pi* [viewed 10 July 2016]. Available from:
<https://www.youtube.com/watch?v=7DVyHE8MJLY>.
- [17] RASMUS HAUSCHILD. *Gameboy NANO* [online] [viewed 23 April 2016]. Available from:
<http://www.thingiverse.com/thing:1334253>.
- [18] STEFAN MACKE. *Latex Vorlage* [online]. 24 April 2009, 12:00 [viewed 27 March 2016]. Available from: <http://blog.stefan-macke.com/2009/04/24/latex-vorlage-fuer-meine-masterarbeit-an-der-ohm-hochschule-nuernberg/>.
- [19] *Raspberry Pi* [viewed 3 May 2016]. Available from: <https://www.raspberrypi.org>.
- [20] *Raspberry A+* [viewed 3 May 2016]. Available from:
<https://www.raspberrypi.org/products/model-a-plus/>.
- [21] *Raspberry Pi 3* [viewed 3 May 2016]. Available from:
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>.

- [22] *Raspberry Pi Zero* [viewed 3 May 2016]. Available from: <https://www.raspberrypi.org/products/pi-zero/>.
- [23] EBEN UPTON. *RASPBERRY PI ZERO: THE \$5 COMPUTER* [online]. 26 November 2015, 12:00 [viewed 18 May 2016]. Available from: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-zero/>.
- [24] *Adafruit TFP401* [viewed 29 March 2016]. Available from: http://www.exp-tech.de/adafruit-ftp401-hdmi-dvi-decoder-to-40-pin-ttl-breakout-without-touch?__SID=U.
- [25] *Adafruit 5" TTL Display* [viewed 29 March 2016]. Available from: <http://www.exp-tech.de/5-0-40-pin-800x480-tft-display-without-touchscreen>.
- [26] *Miniaturlautsprecher* [viewed 21 March 2016]. Available from: <https://www.conrad.de/de/miniaturlautsprecher-28-mm-geraesch-entwicklung-75-db-8-nennbelastbarkeit-1-w-500-hz-inhalt-1-st-710739.html?insert=U0>.
- [27] *3,5mm Klinken Buchse* [viewed 21 March 2016]. Available from: <https://www.conrad.de/de/klinken-steckverbinder-35-mm-buchse-einbau-horizontal-polzahl-4-stereo-schwarz-cliff-fc68129-1-st-736730.html>.
- [28] *Raspberry Pi: Grundlagen der Energieversorgung / Stromversorgung* [viewed 3 March 2016]. Available from: <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/raspberry-pi/1912111.htm>.
- [29] *Datenblatt KD50G21-40NT-A1* [viewed 3 May 2016]. Available from: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/KD50G21-40NT-A1.pdf>.
- [30] ROLF ZINNIKER. *Merkblatt Batterien und Akkus* [online]. 25 August 2003, 12:00 [viewed 18 March 2016]. Available from: http://www2.ife.ee.ethz.ch/~rolfz/batak/Merkblatt_Batterien_und_Akkus.pdf.
- [31] *Datenblatt LiPo-Akku 2000mAh* [viewed 6 August 2016]. Available from: [http://www.exp-tech.de/pdf/products/Battery/G01657-2000mAh-735071-1S1P-P-1S4543AB\(149KD+AO8820\)-JST-PH-2P.pdf](http://www.exp-tech.de/pdf/products/Battery/G01657-2000mAh-735071-1S1P-P-1S4543AB(149KD+AO8820)-JST-PH-2P.pdf).
- [32] *Adafruit Powerboost 1000C* [viewed 3 March 2016]. Available from: <https://www.adafruit.com/product/2465>.
- [33] *MicroUSB Breakout* [viewed 3 March 2016]. Available from: <https://www.pololu.com/product/2592/specs>.
- [34] *Datenblatt Atmel ATTINY* [viewed 6 August 2016]. Available from: http://www.atmel.com/images/atmel-2586-avr-8-bit-microcontroller-attiny25-attiny45-attiny85_datasheet.pdf.
- [35] *Raspbian* [viewed 7 August 2016]. Available from: <http://www.raspbian.org/>.
- [36] *EmulationStation* [viewed 7 August 2016]. Available from: <https://github.com/Aloshi/EmulationStation>.
- [37] *Libretro* [viewed 7 August 2016]. Available from: <https://github.com/libretro>.
- [38] *Retropie* [viewed 7 August 2016]. Available from: <https://github.com/retropie/RetroPie-Setup>.
- [39] *GNU/Linux* [viewed 7 August 2016]. Available from: <http://getgnulinux.org/en/>.
- [40] *recalbox-os* [viewed 7 August 2016]. Available from: <https://github.com/recalbox/recalbox-os>.
- [41] *mk_arcade_joystick_rpi* [viewed 7 August 2016]. Available from: https://github.com/recalbox/mk_arcade_joystick_rpi.

- [42] *config.txt* [viewed 7 August 2016]. Available from:
<https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/config-txt.md>.
- [43] *Adafruit-Retrogame* [viewed 9 August 2016]. Available from:
<https://github.com/adafruit/Adafruit-Retrogame>.
- [44] *RetroPie Soundkonfiguration* [viewed 30 August 2016]. Available from:
<https://github.com/retropie/RetroPie-Setup/wiki/Sound-Issues>.
- [45] *Tronxy P802MA* [viewed 28 August 2016]. Available from: <http://de.aliexpress.com/item/Auto-level-3D-printer-Reprap-prusa-i3-DIY-kits-automatic-leveling-melzi-marlin-firmware-with-2roll/32605215439.html>.
- [46] *eSUN Filament* [viewed 28 August 2016]. Available from: <http://www.esun3d.net/>.
- [47] DR. THORSTEN BRAUN. *Rechtsfragen von Filesharing-Systemen aus Sicht des deutschen Urheberrechts* [online]. 24 January 2001, 12:00 [viewed 16 August 2016]. Available from:
<http://www.hgb-leipzig.de/~vgrass/semi- Napster/braun-thesen.html>.
- [48] *MAME FAQ:ROMs* [viewed 16 August 2016]. Available from:
<http://wiki.mamedev.org/index.php?title=FAQ:ROMs>.
- [49] *Rechtliches zu ROMs und Emulatoren* [viewed 16 August 2016]. Available from:
<http://pokefans.net/artikel/roms/rechtliches>.
- [50] *Display im MassenkauF*. Available from:
<https://world.taobao.com/item/36906645501.htm?spm=a312a.7700714.0.0.25TMSJ#detail>.

- A Angang
- A1 Bedienungsanleitung



Neue Inhalte können einfach in dem automatisch verfügbaren Netzwerkordner abgelegt werden und sind nach einem Neustart verfügbar.

A2 Stückliste

Lfd. Nr.	Anzahl	Einheit	Bezeichnung	Hersteller	Herstellernummer
1	1	Stück	Raspberry Pi 3	Raspberry Foundation	20160008
2	1	Stück	Micro SD 32 GB	Kingston	SDC4/32GB
3	1	Stück	5" LCD Display	-	KD50G21-40NT-A1
4	1	Stück	HDMI TTL Controller	Adafruit Industries	2218
5	1	Stück	Powerboost 1000C	Adafruit Industries	2465
6	1	Stück	LiPo Akku 2Ah 3,7V	-	735071
7	1	Stück	40-Pin FPC Extension Board	fttlcdcn	800020
8	1	Stück	40-Pin Adapter	fttlcdcn	800020
9	2	Stück	HDMI Stecker	Connfly	2050003634601
10	1	Stück	LED rot	Kemo	S036
11	1	Stück	LED grün	Kemo	S036
12	1	Stück	USB SNES Controller	-	-
13	1	Stück	Lautsprecher	Visaton	2909
14	1	Stück	3,5mm Klinkebuchse	Cliff	FC68129
15	1	Stück	PAM8404 Verstärker	-	-
16	1	Stück	Micro USB Breakout	Polulu	2592
17	1	Stück	Mini Slide Switch	Polulu	1408
18	1	Stück	Drehpotentiometer 10K	Dealmux	B503
19	2	Stück	SMD Button	-	-
20	ca. 5	m	Kabel 26AWG Silicon Mantel	Adafruit Industries	1882
21	ca. 120	g	PLA Kunststoff orange	eSUN	6922572211070
22	20	Stück	M2x5 DIN84	Toolcraft	814610
23	4	Stück	M3x6 DIN84	Toolcraft	814679
24	4	Stück	M4x14 ISO4762	-	-
25	ca. 10	g	Epoxy Kleber	Toolcraft	2050002401877
26	ca. 5	ml	Buntlackspray Schwarz	decostyle	23215573
27	ca. 10	g	Lötzinn	fixpoint	5106
28	1	Stück	Kunststoffgitter	-	-
29	5	cm	Montage Klebeband 8mm	XSY	-
30	1	Stück	ATTINY85	Atmel	-
31	1	Stück	Lochrasterplatine 2x8cm	-	-

A3 Umfragebogen

Allgemeine Fragen zum Einstieg:

1. Wie alt sind sie?

0-15 15-25 25-35 35-45 45-55 55 +
O O O O O O

2. Sie sind

männlich weiblich
O O

3. Sie gehören folgender Berufsgruppe an:

technisch sozial wirtschaftlich Schüler/Student andere
O O O O O

4. Haben Sie in ihrer Jugend Computer- oder Konsolenspiele gespielt?

ja nein
O O

Gerätespezifische Bewertung:

	Sehr gut				Sehr schlecht
Erster Eindruck	O	O	O	O	O
Bedienung	O	O	O	O	O
Optik	O	O	O	O	O
Haptik	O	O	O	O	O
Umfang	O	O	O	O	O

Würden sie das Produkt kaufen? Ja O Nein O

Wenn ja, wieviel würden Sie dafür ausgeben? _____ €

Verbesserungsvorschläge:

Lob:

Kritik:

A4 Verwendete Software

Microsoft: Word 365 Plus

Website: <https://products.office.com/de-de/>

Adobe: Illustrator CC

Website: <https://www.adobe.com/products/illustrator.html>

Swiss Academic Software: Citavi 5.3.1.0

Website: <http://www.citavi.com/de/swiss-academic-software.html>

EasyEDA LCC: EasyEDA 3.8.2

Website: <https://easyeda.com/>

Ultimaker: Cura 15.04.6

Website: <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>

Dessault Systems: Solid Works 2015

Website: <http://www.solidworks.de/>