



TECHNIKERARBEIT

ENTWICKLUNG EINER SMART HOME ZENTRALE AUF BASIS EINES RASPBERRYPI

Felix KUSCHEL & Manuel STARZ

Betreut durch
Matthias KOHLER

19. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort	4
1.1 Einleitung	4
1.2 Projektrahmen	4
1.3 Aufgabenstellung	4
1.4 Zusatzinformationen	4
1.5 Definition Smart Home Zentrale	5
1.6 Datenschutzhinweis	6
2 Zielsetzung	7
2.1 Konzeption	7
2.2 Anforderungen und gewünschte Features	7
3 Herangehensweise	9
3.1 Hardware	9
3.2 Software	9
4 Zeitplan	10
5 Komplettübersicht	11
5.1 Kostenaufstellung	11
6 Hardware	12
6.1 Raspberry Pi 4	12
6.2 Aufbau des Prototypen	12
6.3 Gehäuse	12
6.3.1 Erster Test des Gehäuses	12
6.3.2 Modellentwicklung am Objekt	15
6.3.3 Herstellung des Gehäuses	15
6.4 Erstellung des RPi-HATs	17
7 Software	19
7.1 Überblick	19
7.2 MQTT-Broker	19
7.3 HomeAssistant	19
7.4 MyCrost	19
7.5 HAT-Programm	19
8 Epilog & Fazit	20
8.0.1 L ^A T _E Xvs Word	20
9 Quellen	21
9.1 Dokumentationsquellen	21
9.2 Verwendete Software	21
9.3 Verwendete Hardware	21

10 Anhang	22
10.1 Lastenheft	22
10.2 Gehäuse-Zeichnungen	24
10.3 Hardware-Dokumentationen	29

Erklärung

Wir versichern, dass die vorliegende Abschlussarbeit von uns selbstständig angefertigt und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt wurden. An Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen sind, haben wir dies durch die Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Datum, Ort

Felix Kuschel

Datum, Ort

Manuel Starz

1 Vorwort

1.1 Einleitung

Bei dieser Ausarbeitung handelt es sich um die Abschlussarbeit zur Weiterbildung zum staatlich geprüften Techniker in der Fachrichtung Informationstechnik. Diese Arbeit basiert auf dem in den zwei Jahren erlernten Stoffs sowie selbst erarbeiteten Kenntnissen und dient zur Feststellung des Erreichen des Fortbildungsziel.

1.2 Projektrahmen

Das Projekt zur Erstellung einer Smart Home Zentrale wurde von uns, Felix Kuschel und Manuel Starz, durchgeführt. Der Projektzeitraum war vom 1. September 2020 bis zum 30.03.2021 angesetzt. Es stand zur Umsetzung des Projekts ein ununterrichtsfreier Tag pro Woche zur Verfügung.

Des weiteren wurden die in dem Zeitraum zur Verfügung stehenden Ferien zur Umsetzung des Projekts genutzt. Die Projektbetreuung erfolgten seitens der Schule durch Herr Matthias Kohler. Da das Projekt nicht in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen durchgeführt wurde, gibt es keine weiteren Betreuer. Die Materialkosten für die im Projekt genutzte Hardware wurde von den uns selbst getragen.

1.3 Aufgabenstellung

Das Projekt ist aus dem Zusammenschluss der Abschlussarbeitsideen von uns, Felix Kuschel und Manuel Starz, entstanden und wurde mit Rücksprache mit dem betreuenden Lehrer entwickelt.

Durch die große Verfügbarkeit von Smart Home Geräten und den zahlreichen Standards der Anbieter entschlossen wir uns, eine einfache und leicht zu replizierende Lösung zu entwickeln, die Smart Home Geräte mehrerer Hersteller miteinander verknüpft und so die Notwendigkeit mehrerer verschiedener sogenannter Hubs zu eliminieren.

Des weiteren soll das Gerät noch über einen Touchscreen steuerbar sein und die Werte der verbundenen Smart Home Geräte anzeigen. Dies umfasst unter anderem den Status von Leuchtmitteln, die Werte von Thermostaten sowie den Zustand von Tür- und Fensterkontakten. Die genaue Aufgabenstellung kann dem abgegebenen Lastenheft im Anhang entnommen werden.

1.4 Zusatzinformationen

Die Rohdaten des Projekts wurden der Einfachheit in einem GIT-Projekt zusammengefasst. Dadurch konnten die Durchführenden unabhängig voneinander an dem Projekt und der Dokumentation arbeiten.

Der Link zu dem Projekt lautet:

<https://github.com/Pharias/TAR>

Ursprünglich wurde für die Verwendung des schulinternen GIT verwendet. Dies stand zum Zeitpunkt der Erstellung der Dokumentation allerdings nicht zur Verfügung, weshalb eine Alternative genutzt wurde.

1.5 Definition Smart Home Zentrale



Abbildung 1: Amazon Alexa Echo Show 8



Abbildung 2: Google Nest Hub



Abbildung 3: Glancr Smart Mirror

Smart Home Zentralen, auch **Smart Hubs** oder **Smart Mirrors** genannt, sind Geräte, die als zentraler Knotenpunkt in einem Smart Home Netzwerk sitzen und dort Informationen verarbeiten, weiterleiten und darstellen können.

Diese Geräte werden von den meisten Herstellern mit und ohne Bildschirm geliefert, um entweder ein neues Smart Home aufzubauen oder ein bestehendes Smart Home zu erweitern.

Bei einem Smart-Home-Hub handelt es sich um eine schlaue Zentrale, durch die all deine intelligenten Geräte miteinander vernetzt werden – und dadurch erst wirklich ihren gesamten Leistungsumfang ausschöpfen.¹

Als Smart Home Zentrale können auch Software-Lösungen gezählt werden, die mit den im Netz befindlichen Smart Hubs kommunizieren und die Informationen mit Hilfe eines Web-Interfaces oder einer Smartphone-Anbindung darstellen und steuern können. Beispiele hierfür sind homeassistant.io, openHAB und Google Home.

¹Li (2017): Was ist ein Smart-Home-Hub? Alles über die intelligente Zentrale

1.6 Datenschutzhinweis

Aus Datenschutzgründen sind lokale IP-Adressen und lokale Domänennamen innerhalb der Dokumentation unkenntlich gemacht.

2 Zielsetzung

Als Ziel für das Projekt war ein funktionsfähiges Smart Home Hub mit Zigbee-Anbindung auf Basis eines Raspberry Pi 4 geplant. Im Laufe des Projekts kam dann noch eine Erweiterungskarte für den Raspberry Pi, ein sog. Raspberry Pi HAT, hinzu, welcher aber aufgrund der vorliegenden Lage mit der COVID-19-Pandemie und den damit verbundenen Liefer- und Zollschwierigkeiten verworfen wurde. Die Planung des HAT ist daher nur rudimentär und nicht vollständig, kann aber bei Bedarf nach Beenden des Projekts durchgeführt werden. Das Smart Home Hub in seiner Grundfunktion soll in der Lage sein, die mit ihm verbundenen Geräte über den Zigbee-Standard anzusteuern. Darüber sollte die Möglichkeit einer Erweiterung mit einem Sprachassistenten gegeben sein.

2.1 Konzeption

Zu Beginn des Projekts haben wir uns gemeinsam auf Nachforschung begeben und uns bereits vorhandene Open-Source-Lösungen im Bereich Smart Home angeschaut. Dabei sind wir neben dem Smart Mirror GLANCR auch auf die Gesamtlösung homeassistant.io sowie openHAB gestoßen. Darauf hin haben wir ein Grundkonzept in unserem Lastenheft zusammengefasst und dieses in Absprache mit unserem Betreuungslehrer, Herr Kohler, ausgearbeitet.

Nach Abgabe des Lastenhefts haben wir uns dann an die Beschaffung der unserer Meinung nach nötigen Komponenten für das Projekt gemacht.

2.2 Anforderungen und gewünschte Features

Die Anforderungen an das Projekt lauteten demnach wie folgt:

- Anbindung von ZigBee-fähigen Endgeräten
- Steuerung der angebundenen Endgeräte
- Übermittlung der Zustände der angebundenen Geräte an z.B. ein Smartphone

Diese Anforderungen lassen sich mit einem Raspberry Pi und einem Zigbee-USB-Stick realisieren. Darüber hinaus waren von unserer Seite noch folgende Features gewünscht:

- Ein- und Ausgabe über einen Touch-Bildschirm
- Einbindung eines Sprachassistenten zur Steuerung der eingebundenen Endgeräte

Nach Fortschritt des Projekts kam bei einer Rücksprache mit unserem Projektbetreuer die Idee auf, einen Raspberry Pi Hat speziell für das Projekt zu entwickeln. Dieser sollte die Hardware des Projekts falls möglich auf einer Platine vereinen, die dann auf den Raspberry Pi aufgesteckt werden konnte.

Diese Erweiterungsplatine sollte folgende Eigenschaften besitzen:

- ZigBee-Controller und Antenne

- NFC-Controller und Antenne
- RGB-LED zur Statusanzeige
- Anschluss für Lüfter
- Sensoren für:
 - Luftfeuchtigkeit
 - Temperatur
 - Luftdruck
- Pins zum Anschluss an Versuchsaufbau für Laborgebrauch

Die Erweiterungsplatine wurde aber wie zuvor aufgrund der aktuellen Pandemie-Situation und den damit verbundenen Beschaffungsschwierigkeiten verworfen. Darauf wurde dann klar, dass eine Erstellung eines Installationsskripts für den Raspberry Pi eine sinnvolle Ergänzung der Projektarbeit wäre. Zusätzlich haben wir ein Gehäuse für die Hardware geplant, um das Endprodukt so wertiger gestalten zu können.

3 Herangehensweise

Nach Festlegung der Anforderungen haben wir uns dann mit der Beschaffung und der Einrichtung der benötigten Materialien gemacht. Hierfür haben wir zum Teil bereits vorhandene Hardware, z.B. den Raspberry Pi 4 mit weiteren Komponenten wie dem Touch-Bildschirm und den Lautsprechern sowie dem Mikrofon ergänzt.

3.1 Hardware

3.2 Software

4 Zeitplan

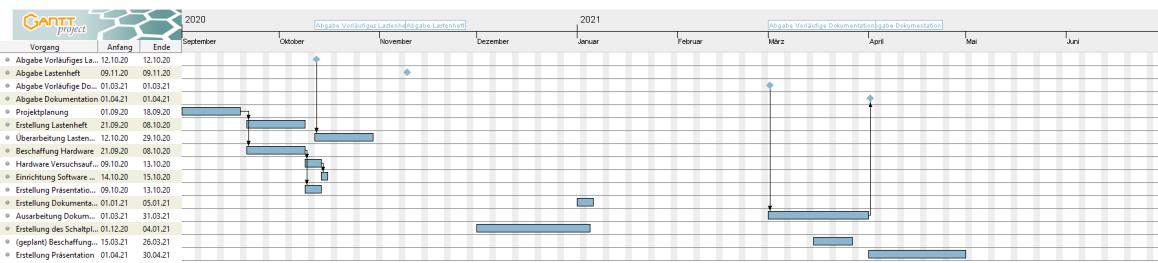


Abbildung 4: gantt-Diagramm des Projektablaufs

5 Komplettübersicht

5.1 Kostenaufstellung

Nachfolgen haben wir die Kosten des Projekts aufgelistet.

Produkt	Menge	Kosten/Stk	Kosten/Gesamt
Raspberry Pi 4 Modell B 8GB	1	87,22€	87,22€
SanDisk Extreme microSD 128 GB	1	19,99€	19,99€
SUNFOUNDER RPi 10.1" Touch Display	1	129,99€	129,99€
Noctua NF-A4x10 5v	1	12,90€	12,90€
ITSTUFF CC2531 Zigbee USB-Stick	1	14,90€	14,90€
ITSTUFF Alu-Kühlkörper Set RPi 4	1	4,91€	4,91€
Eightwood SMA Verlängerung	1	7,99€	7,99€
VCE 5,5mm Stecker & Buchse	1	8,29€	8,29€
dasFilament PTGE schwarz 1,75mm	1	24,95€ ²	11,61€ ³
Gesamtkosten			XXX€

5.1.1 Kostenberechnung für die 3D-Druckteile

Die Kosten der 3D-Druckteile lassen sich in zwei Einzelpositionen, Material und Energie. Die Materialkosten lassen sich leicht berechnen, da wir die Kosten der Spule Filament mit 24.95€ und einem Gewicht von 800g Filament auf der Spule. Dies bedeutet einen Preis von 0,02(74...)€ pro Gramm verwendetem Filament. Der Druck der Gehäuseteile verbraucht 423g Material, dass heißt, dass die Materialkosten sich auf 11,61€ belaufen.

Die Energiekosten zu berechnen ist etwas komplexer. Der 3D-Drucker verbraucht circa 120W pro Stunde, was bei einem Strompreis von 22,3€ct / kWh bedeuten würde, dass wir pro Stunde etwa 2,676€ct Stromkosten haben. Bei einer Gesamtdruckzeit von 36 Stunden und 36 Minuten ergibt sich also Stromkosten von 97,922,3€ct.

Zählt man nun die Kosten für Material und energie zusammen, ergibt sich ein Fertigungspreis von 12,59€.

²Kosten der Spule (800g).

³Kosten verwendetes Material für Gehäusedruck

6 Hardware

6.1 Raspberry Pi 4

6.2 Aufbau des Prototypen

6.3 Gehäuse

6.3.1 Erster Test des Gehäuses

Zur Erstellung des Gehäuses haben wir die Maße des Bildschirms als Anhaltspunkt genommen. Das Gehäuse befand sich zu diesem Zeitpunkt bei Felix Kuschel, der die Messungen vornahm. Der Bildschirm hatte an der Hinterseite eine Erhebung, weshalb er diese ebenfalls ausgemessen hatte. Die Maße beliefen sich dann auf:

- 255,5 mm Breite
- 167 mm Höhe
- Kantenradius 10 mm



Abbildung 5: Abmessungen Bildschirm Rückseite

Die Maße an der Rückseite übermittelte er Manuel Starz als Bild. Anhand dieser Maße hat Manuel Starz dann in Fusion 360 eine Grundplanzeichnung erstellt und ein 3D-Modell gefertigt.

Nach Überprüfung der Maße mussten wir dann allerdings feststellen, dass der zur Verfügung stehende 3D-Drucker, ein Ender 3 Pro der Firma Creality3D, ein maximales Druckvolumen von 235x235x220mm besitzt und somit das Gehäuse nicht wie ursprünglich geplant aus einem Stück sondern in mehreren Teilen gedruckt werden musste. Hierfür war eine Änderung der Konstruktion von Nöten. Das Gehäuse besteht nun aus vier Teilen, zwei bilden jeweils die Seitenwände während zwei den

Deckel des Gehäuses bilden. Die Teile werden mit langen M3 Senkkopfschrauben verbunden, die zusätzlich als Verschluss des Gehäuses dient.

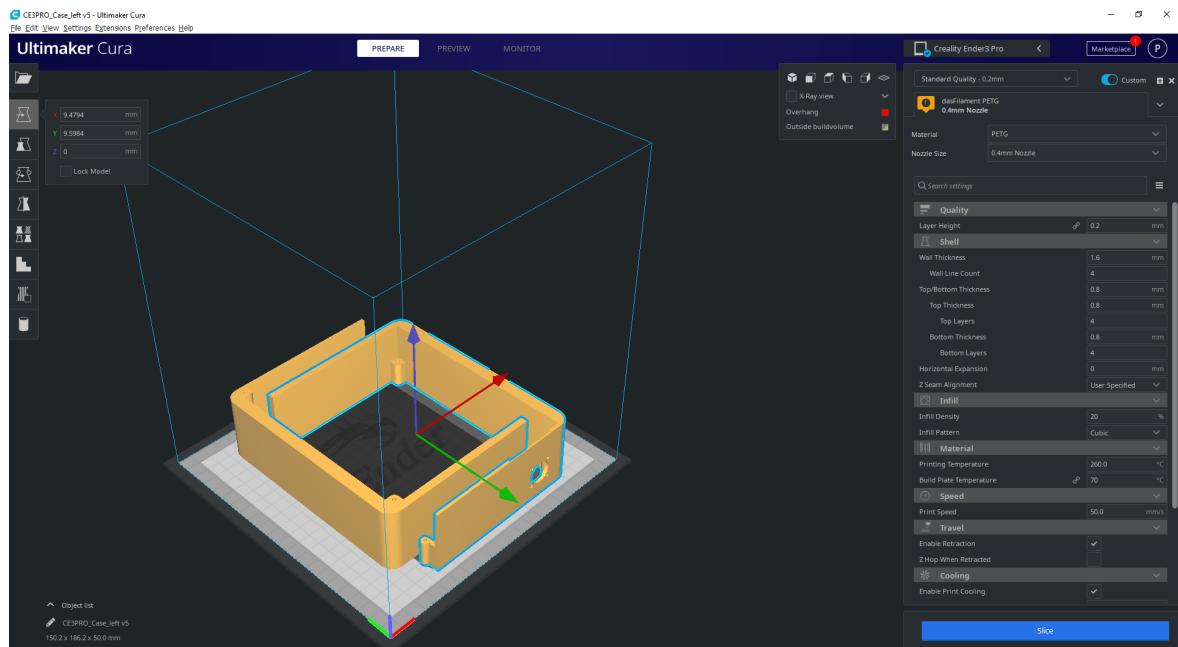


Abbildung 6: Platzierung der beiden Gehäusewände in CURA

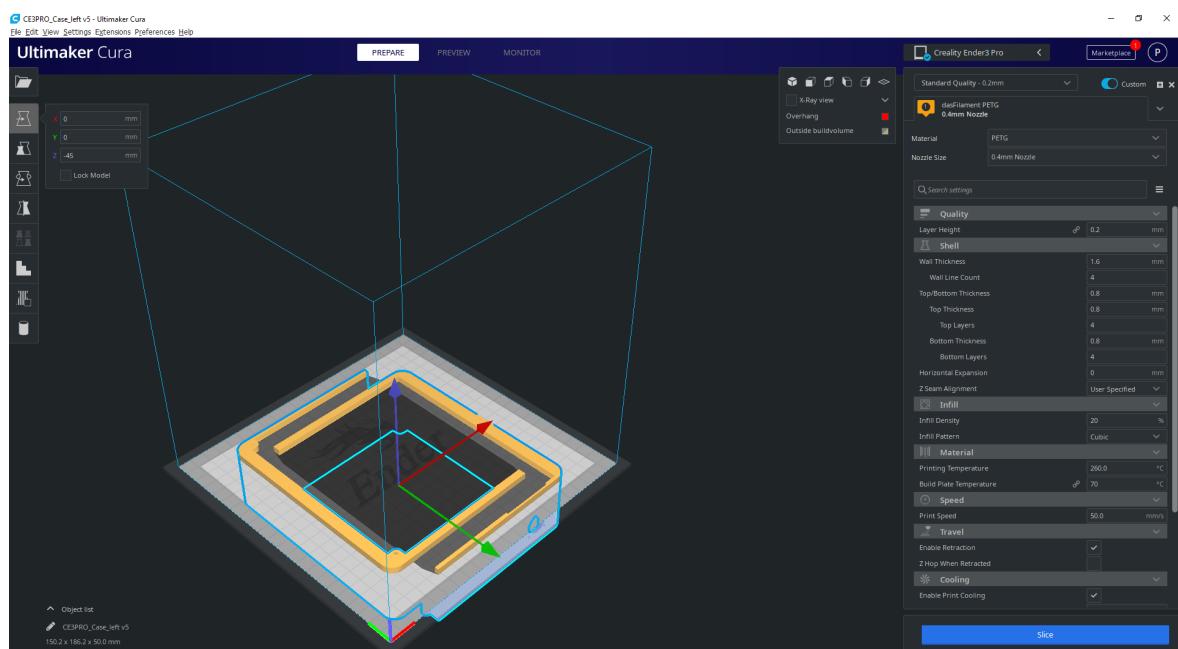


Abbildung 7: Verschiebung der Modelle entlang der Z-Achse um 45mm

Um die Genauigkeit der Konstruktion zu testen, hat Manuel Starz eine 5 Millimeter hohe Testschablone ausgedruckt, die an den Bildschirm angelegt werden kann. Diese entstand mit Hilfe des Slicers CURA (vgl. Abbildung 6), in dem die Modelle der beiden Seitenteile so angeordnet wurden, dass lediglich 5 Millimeter des Teils im druckbaren Bereich des Druckers verblieben (vgl. Abbildung 7).

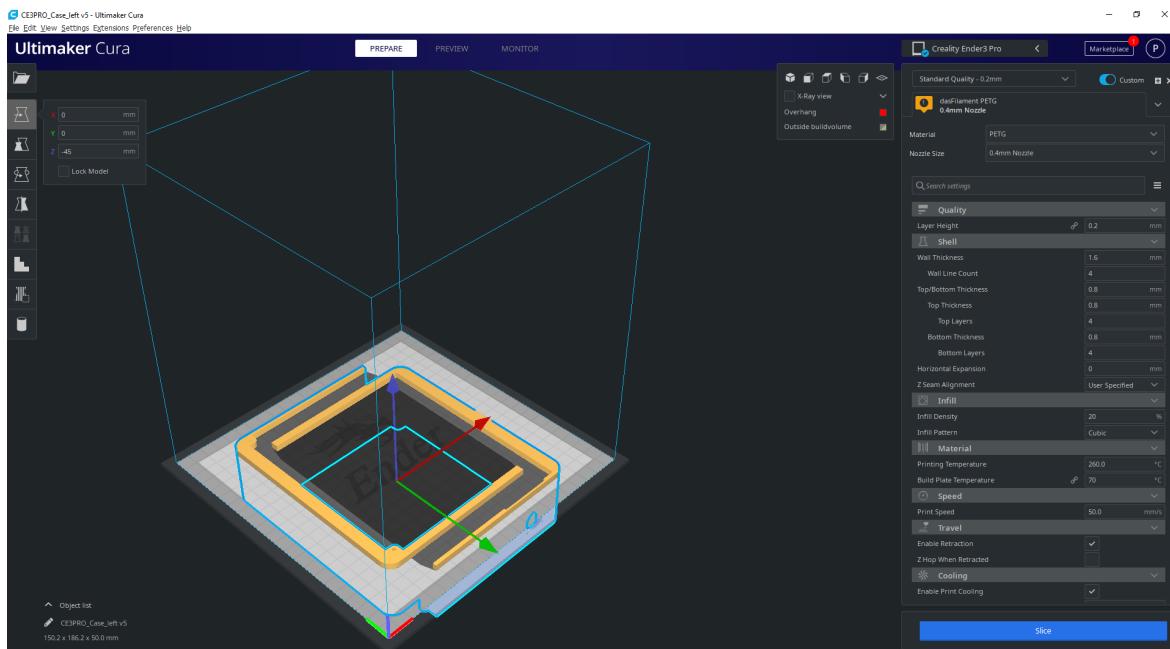


Abbildung 8: Slicen der Modelle



Abbildung 9: Passung des Testdrucks

6.3.2 Modellentwicklung am Objekt

Nachdem das Testmodell (vgl. Abbildung 9) nicht zu 100 % gepasst hat, hat Manuel Starz die Abmessungen neu geklärt und diese in Fusion 360 übertragen (vgl. 10.2). Um Material für den 3D-Druck zu sparen, wurde die Zeichnung dann im Maßstab 1:1 auf Papier gedruckt, ausgeschnitten und angelegt.

Da hier einige Maße noch nicht gestimmt haben, hat Manuel Starz den Plan überarbeitet (vgl. 10.2). Diese neuen Bemaßungen waren dann korrekt.

Daraufhin wurde dann die Zeichnung in zwei eigenständige Dateien gesplittet, um die linke und die rechte Seite des Gehäuses zu konstruieren.

6.3.3 Herstellung des Gehäuses

Zur Herstellung des Gehäuses kommt ein 3D-Drucker der Marke Creality 3D zum Einsatz. Der stark modifizierte Ender 3 Pro von Manuel Starz (vgl. 10) druckt die zuvor erstellten STL-Dateien mit PETG-Filament der Firma dasfilament. Der für den 3D-Druck nötige G-Code wird mit Ultimaker CURA generiert und mit Hilfe von OctoPrint (vgl. 11) an den Drucker übertragen. Das Gehäuse besteht aus vier Einzelteilen, je zwei Teile für die Seitenwände und zwei Teile für den Deckel.

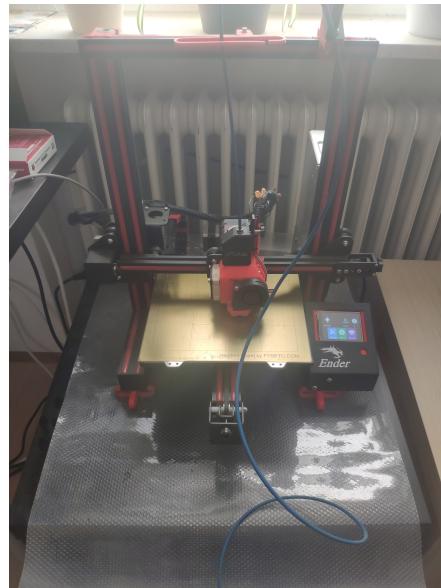


Abbildung 10: 3D-Drucker Ender 3 Pro (mod)

Die gedruckten Teile (vgl. 12) werden dann zum Teil mit Zwei-Komponenten-Epoxidkleber verbunden (vgl. 13 & 14) und mit Hilfe von Schleifpapier (vgl. ??) und einigen Schichten Klarlack zu einem klavierlackähnlichen Finish veredelt (vgl. 16). Die Seitenwände werden dann mit dem Bildschirm mit Hilfe des Zwei-Komponenten-Epoxidklebers permanent verklebt. Die Rückseite besteht der Einfachheit halber aus zwei identischen, punktsymmetrischen Teilen, die ebenfalls miteinander verklebt wurden.

Laut Ultimaker CURA beträgt die Gesamtdruckdauer des Gehäuses 36 Stunden 36 Minuten und verbraucht insgesamt 423 Gramm des verwendeten Filaments

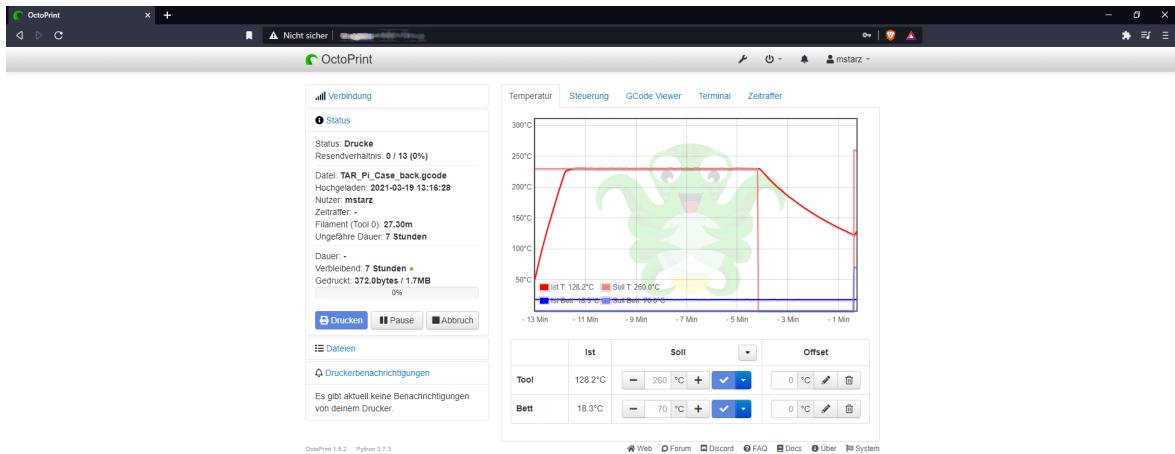


Abbildung 11: OctoPrint-Weboberfläche



Abbildung 12: Ausgedruckte Teile des Gehäuses

(das Filament PETG Schwarz). Damit belaufen sich die Materialkosten des Gehäuses auf 11,61€.

Platzhalter-Bild

Abbildung 13: Verklebung des Gehäusedeckels

Platzhalter-Bild

Abbildung 14: Verklebung der Gehäuseseiten

6.4 Erstellung des RPi-HATs

Platzhalter-Bild

Abbildung 15: Abschleifen der Gehäuseaußenseite

Platzhalter-Bild

Abbildung 16: Fertig lackiertes Gehäuse

7 Software

- 7.1 Überblick
- 7.2 MQTT-Broker
- 7.3 HomeAssistant
- 7.4 MyCrost
- 7.5 HAT-Programm

8 Epilog & Fazit

8.0.1 \LaTeX vs Word

Danke Herr Kohler. Ihre fast 2 Jahre langes Gejammer über WYSIWYG-Dokumenteneditoren haben dazu geführt, dass wir uns in den letzten Zügen der Dokumentation dazu entschlossen haben, OHNE JEGLICHE VORERFAHRUNG diese in \LaTeX zu schreiben. Ich hoffe, Sie sind stolz auf das Monster, dass Sie geschaffen haben...

9 Quellen

9.1 Dokumentationsquellen

Quellen, die in Fußnoten innerhalb dieser Dokumentation erwähnt wurden.

- Li (2017): Was ist ein Smart-Home-Hub? Alles über die intelligente Zentrale
<https://www.otto.de/updated/ratgeber/erklaert-was-ist-ein-smart-home-hub-80634/>

9.2 Verwendete Software

Software	Verwendung	Version
Raspberry Pi OS	Betriebssystem und Oberfläche für Hardware	5.4
Home Assistant	Betriebssystem und Oberfläche für Smart Home	5.12
KiCad EDA	Erstellung von Schaltplan und Gerber-Datei des Hats	5.1.8
TexMaker	Erstellung der Dokumentation	5.0.4
Fusion360	Erstellung von Gehäusemodell	2.0.9849
CURA	Erstellung von G-Code für 3D-Drucker	4.7
GanttProject	Erstellung von Gantt-Diagrammen	3.0.3

9.3 Verwendete Hardware

Hardware	Verwendung	Version
Raspberry Pi	Hauptplatine für die Smart Home Zentrale	Version 4B (8GB)
CC2531 Zigbee USB Stick mit Firmware	USB-Stick mit ZigBee-Chip	Rev 2.4
Sunfounder 10.1 Touch Screen	Bildschirm und Input für die Smart Home Zentrale	Unbekannt

10 Anhang

10.1 Lastenheft

	TAR	Erstellt am: 04.06.2020 13:35:00
SmartHome e.V. An der Ecke 12 70707 Kleinstadt	Lastenheft	

Lastenheft

I. VERANLASSUNG

Der Smart-Home Sektor wird zu einem immer größer werdenden Markt und immer mehr Hersteller liefern neue Produkte um das eigene Haus zu steuern. Um einen zentralen Informationspunkt oder eine zentrale Steuereinheit einzurichten, soll ein Produkt entwickelt werden, welches sich mit Smart-Home-Anwendungen verschiedener Hersteller verbinden kann, um deren Produkte dann per Touchscreen oder wahlweise per Sprachassistent steuern kann.

II. PROJEKTUMFELD

Für das Projekt stehen diverse Smart-Home-Komponenten zur Verfügung, darunter unter anderem die Smart-Lampen von IKEA, Phillips Hue und diverse Zigbee Komponenten.

III. ZIELBEDINGUNG

Das Produkt soll eine Lösung zur Verknüpfung von Smart-Home-Geräten via Zigbee-Bridge darstellen und einen Sprachassistenten integrieren, in diesem Fall MyCroft. Darüber soll das Produkt als zentrale Steuereinheit für die angebundenen Sensoren und Geräte dienen und den Status dieser in einem kompakten Display darstellen.

IV. PRODUKTEINSATZ

Das Produkt dient zur Steuerung eigener Zigbee fähiger Smart-Home-Komponenten. Als solches kann es vom Kunden im eigenen Netz integriert werden und dient dort als Steuerung oder Übersicht der eigenen Smart-Home-Geräten

V. PRODUKTMERKMALE

- V.1. Hardware in einem Gehäuse (Touch-Bildschirm mit Raspberry Pi 4B als „Gehirn“)
- V.2. Dashboard-Funktion für Smart-Home-Geräte
- V.3. Integration von Zigbee, MQTT
- V.4. GUI erstellt über Java oder als WebUI (eventuell als Smartphone-App)
- V.5. Mögliche Integration von Sprachassistenten MyCroft

VI. PRODUKTDATEN

Das Gerät soll neben Daten der Sensoren (Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit, etc.) auch den Zustand von anderen Smart-Home-kompatiblen Geräten anzeigen können (ein- oder ausgeschaltet, Fenster offen, etc.)

VII. ABLAUFORGANISATION

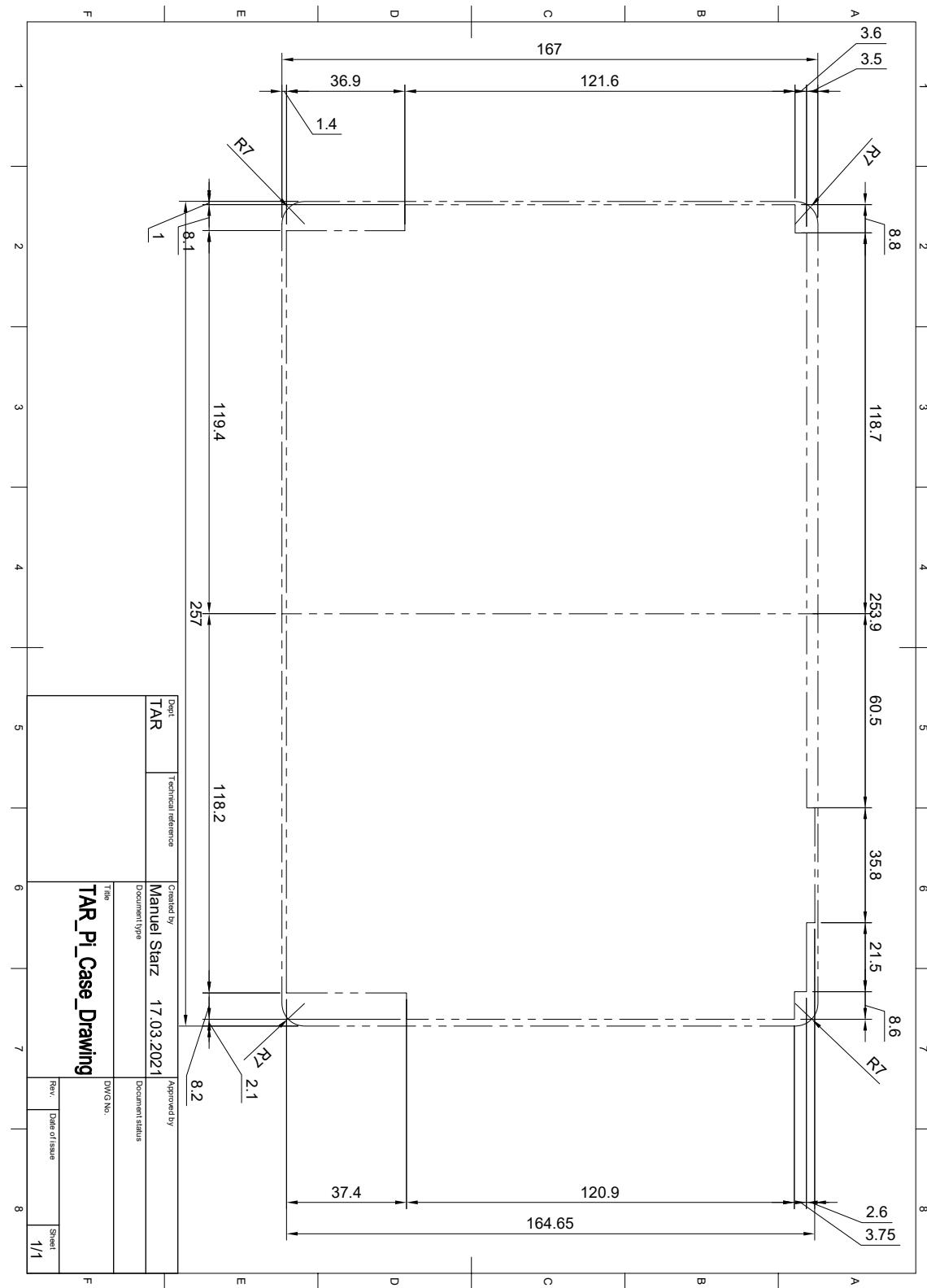
Die Abläufe für die in Punkt V genannten Vorgänge entsprechen zum Großteil dem geplanten Umfang des Projekts. Zusätzlich soll noch ein Gehäuse entwickelt werden, dass die Hardware (Bildschirm, SBC, Mikrofon und eventuell Kamera und Netzteil) in einem Gerät vereint. Weitere Produktfähigkeiten werden bei Bedarf nachgereicht. Der Projektlauf soll als SCRUM stattfinden, ein Sprint hat die geplante Dauer von einem Monat.

 it.schule stuttgart	TAR	Erstellt am: 04.06.2020 13:35:00
	Lastenheft	

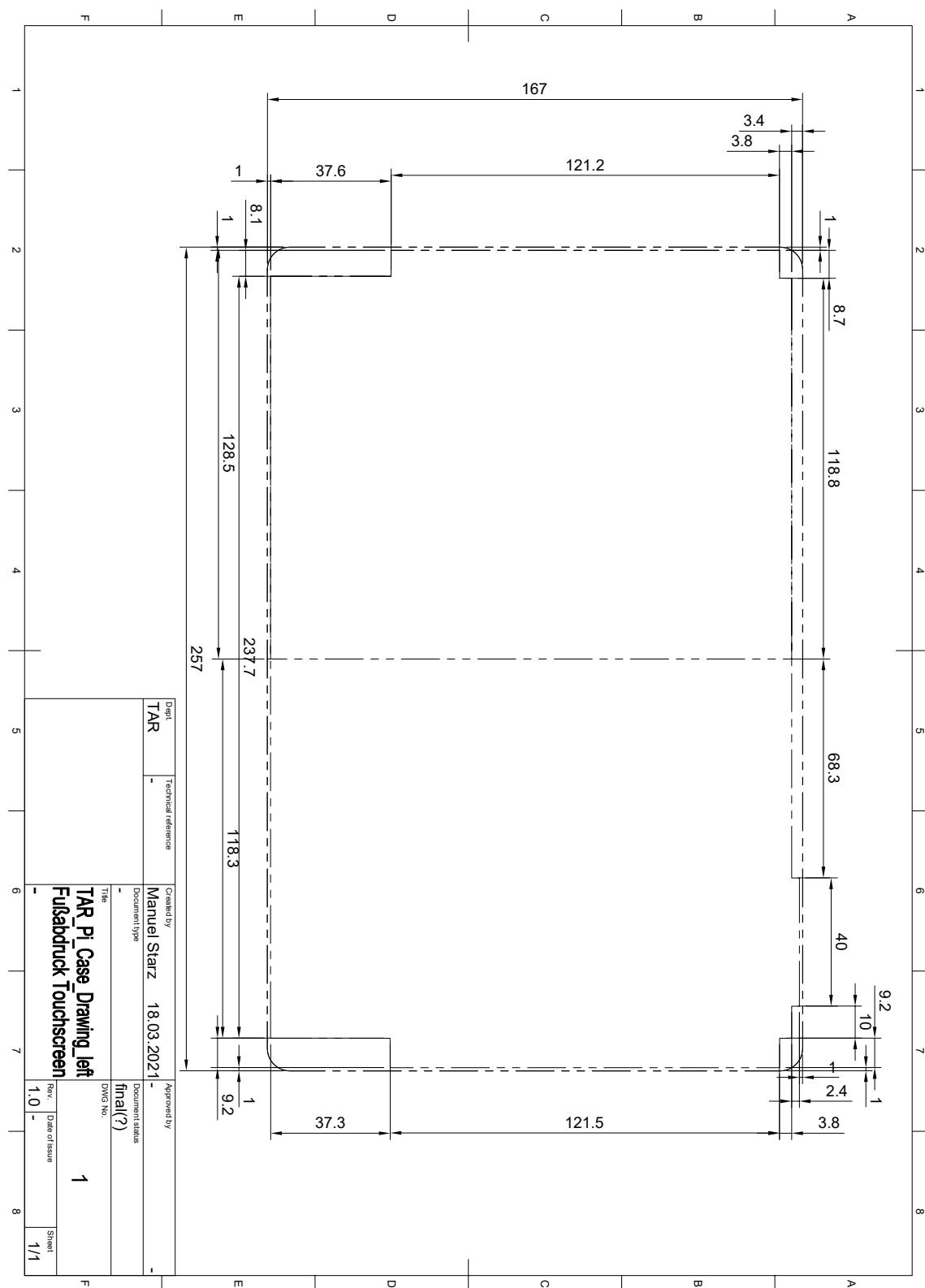
VIII. PRODUKTLEISTUNG

	Sehr gut	Gut	Normal	Nicht Relevant
Funktionalität		x		
Bedienerfreundlichkeit	x			
Änderbarkeit		x		
Erweiterbarkeit			x	

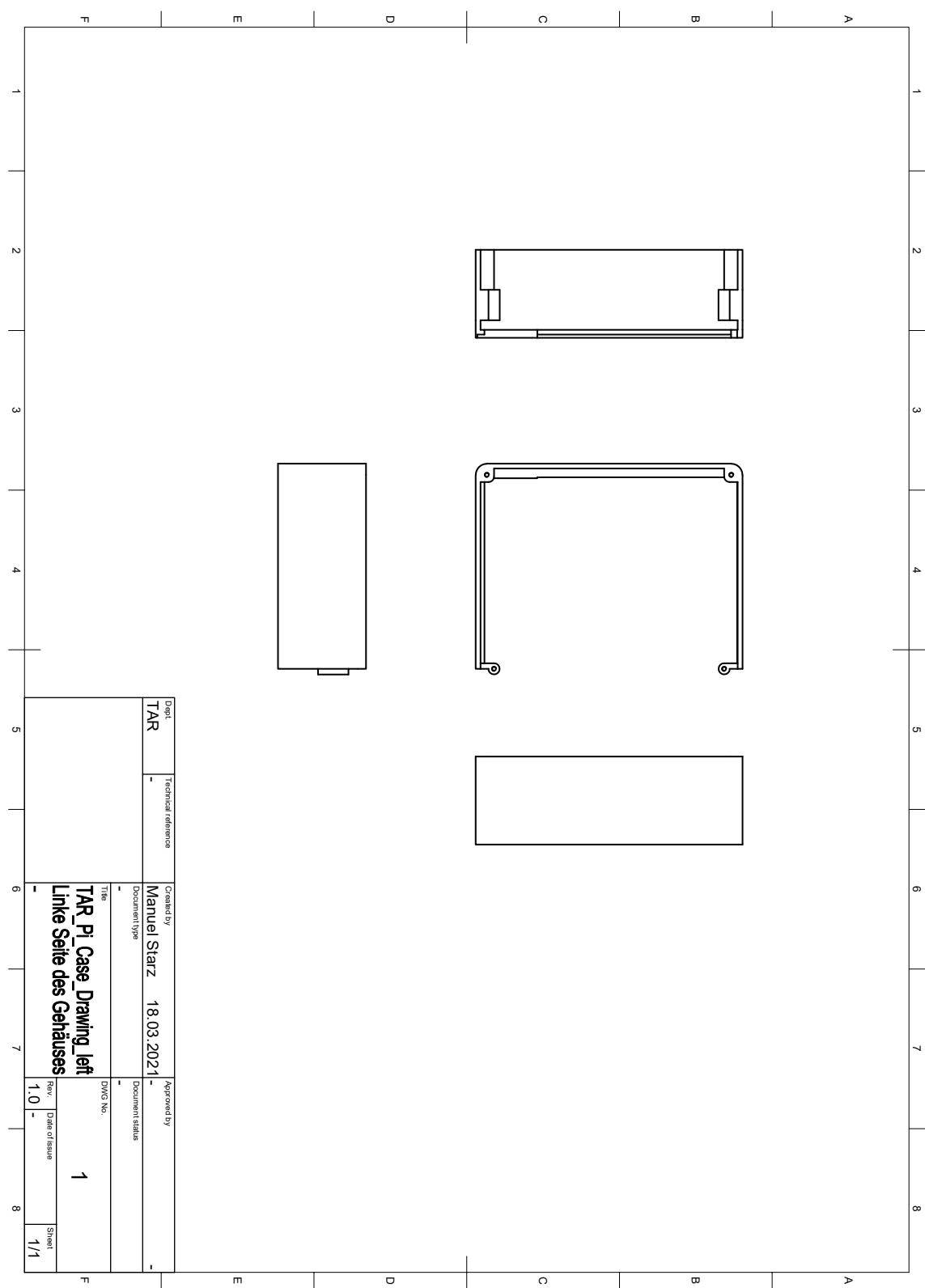
10.2 Gehäuse-Zeichnungen



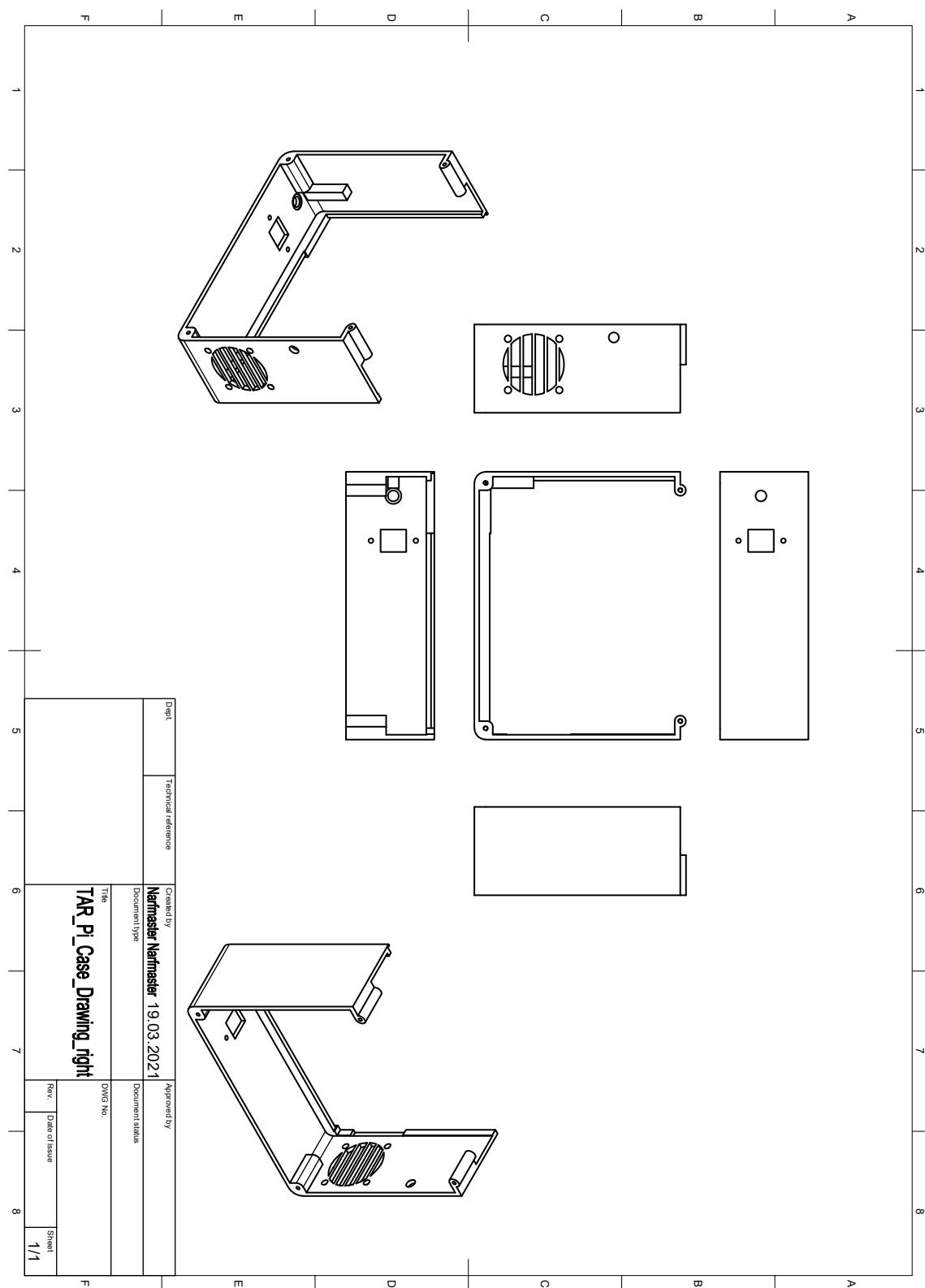
Erster Versuch der Zeichnung des Fußabdrucks des Gehäuses



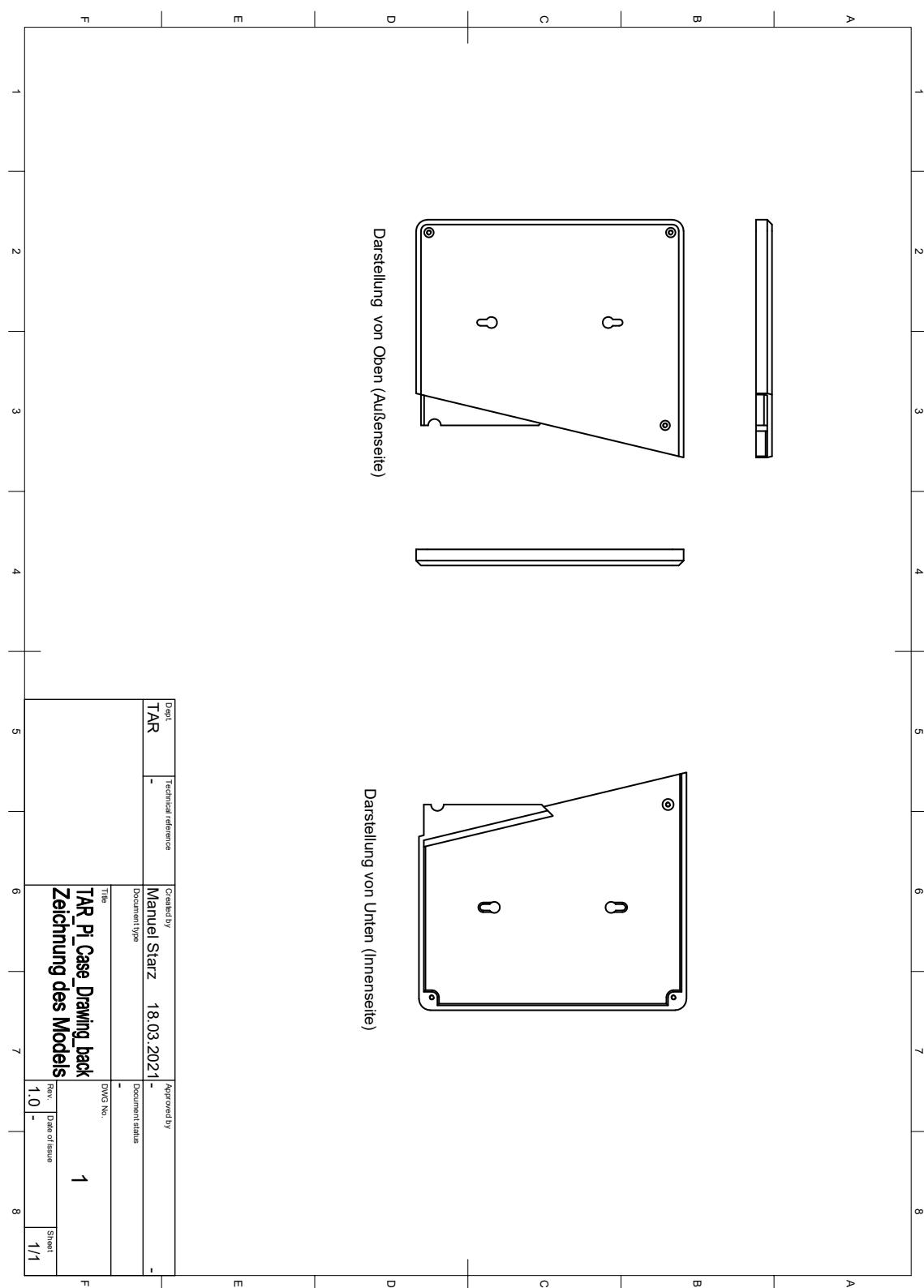
Finale Version der Zeichnung des Fußabdrucks des Gehäuses



Linker Teil des Gehäuses



Rechter Teil des Gehäuses



Ein Teil des Gehäusesdeckels

10.3 Hardware-Dokumentationen

Durch den Umfang der einzelnen Dokumentationen hier nur eine Auflistung der Dokumentationen mit dem Link zu den PDF im GIT-Projekt bzw. den Herstellerseiten.

- Raspberry Pi:
https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/bcm2711/rpi_DATA_2711_1p0.pdf
- MiFare MFRC522:
<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf>
- CC2531 ZigBee SoC:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2531.pdf>
- ATmega128RFA1-ZU:
https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8266-MCU_Wireless-ATmega128RFA1_Datasheet.pdf

Abbildungsverzeichnis

1	Amazon Alexa Echo Show 8	5
2	Google Nest Hub	5
3	Glancr Smart Mirror	5
4	gantt-Diagramm des Projektablaufs	10
5	Abmessungen Bildschirm Rückseite	12
6	Platzierung der beiden Gehäusewände in CURA	13
7	Verschiebung der Modelle entlang der Z-Achse um 45mm	13
8	Slicen der Modelle	14
9	Passung des Testdrucks	14
10	3D-Drucker Ender 3 Pro (mod)	15
11	OctoPrint-Weboberfläche	16
12	Ausgedruckte Teile des Gehäuses	16
13	Verklebung des Gehäusedeckels	17
14	Verklebung der Gehäuseseiten	17
15	Abschleifen der Gehäuseaußenseite	18
16	Fertig lackiertes Gehäuse	18