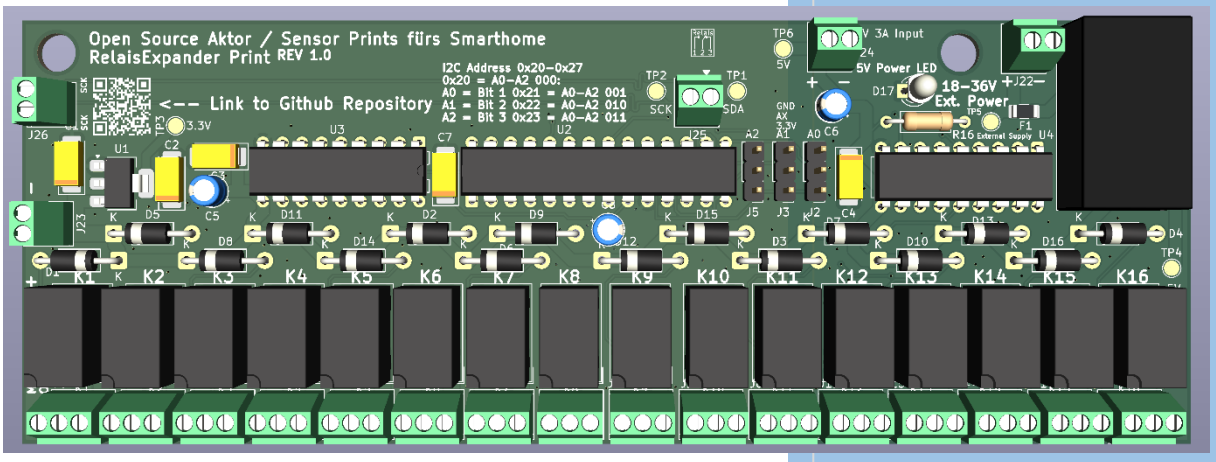
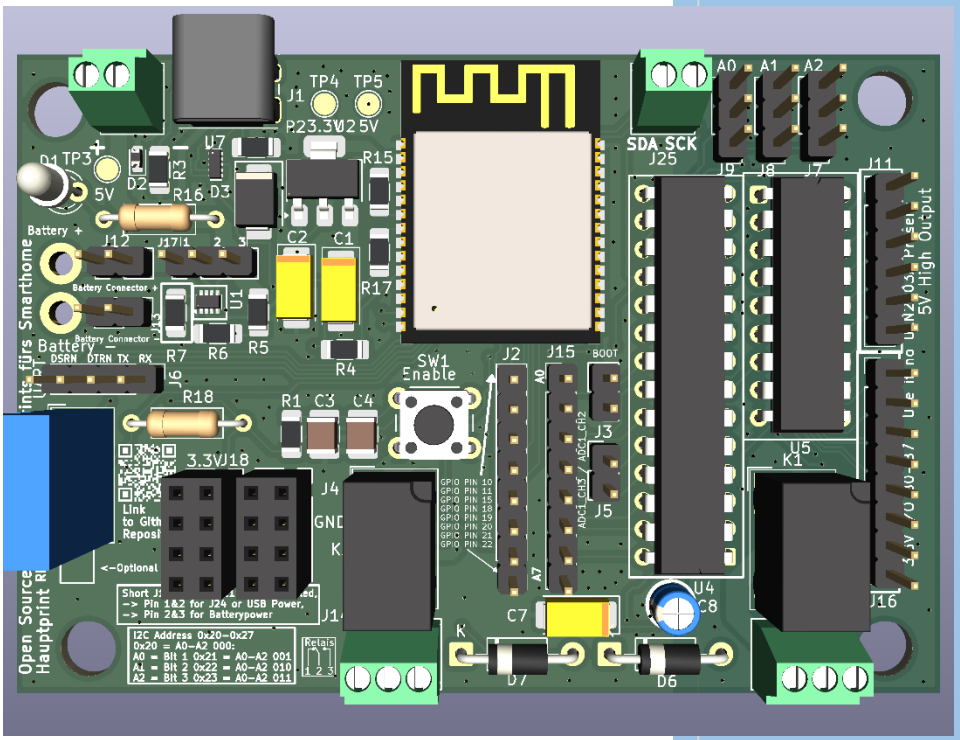
2026

Open-Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome





Diplomarbeit

Diplomand:	Steve Kluser
Lerninstitution:	Teko
Studiengang:	Elektrotechnik
Klassifizierung:	Öffentlich
Diplomcoach:	Stephan Kessler
Datum:	28.10.2026

Open-Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome

Autor

Steve Kluser
steve.kluser@edu.teko.ch

Diplomcoach
Stephan Kessler
stephan.kessler@edu.teko.ch

Diplomexperte

Martin Meier
martin.meier@edu.teko.ch

Auftraggeberschaft
Teko

Inhalt

1 Management Summary 6
1.1 Ausgangslage und Motivation 6
1.2 Zielsetzung 6
1.2.1 Funktionierende Leiterplatten 6
1.2.2 Einfache Erweiterbarkeit 6
1.2.3 Erfolgreicher Dauertest 6
1.3 Lösungskonzept 6
1.3.1 Hauptprint (Sensor Print): 6
1.3.2 Der Relais Expander Print (Aktor Print): 7
1.4 Ergebnisse und Dauertest 7
1.5 Risiken und Community-Feedback 7
1.6 Ausblick und Empfehlung 7
2 Aufgabenstellung 8
2.1 Ausgangslage und Motivation 8
2.2 Zielsetzung 9
3 Pflichtenheft 10
3.1 Funktionale Anforderungen 10
3.2 Allgemeine Anforderungen 10
3.3 Aktor Board 10
3.4 Sensor Board 11
4 Zieldefinition 12
4.1 Funktionierende Leiterplatten 12
4.2 Einfache Erweiterbarkeit für mich und den Endkunden (Bastler) 12
4.3 Erfolgreicher Dauertest, inklusiver Einbindung in ein neues oder Bestehendes Smart Home 12
5 Terminplan 12
6 Projektrisiken 14
6.1 Massnahmen zur Risikominderung 15
7 Lösung der Aufgabe 16
7.1 Verbindung ins Smarthome 16
7.2 Auswahl des geeigneten Mikrocontrollers 16
7.2.1 Was ist ein Mikrocontroller? 16
7.2.2 Vergleich von Mikrocontroller 16
7.2.3 Chipauswahl 19
7.3 Prototypen Iteration 19

7.4 Prototyp 1 Sensor Print 20
7.5 Entscheidung zur Unterscheidung Sensor Print / Aktor Print 21
7.6 Prototyp 2 Sensor Print (Hauptprint) 22
7.6.1 Berechnungen 22
7.6.2 Was ist gelungen? 24
7.6.3 Verbesserungspotenzial 25
7.7 Prototyp 1 Relais Expander Print V0.1 26
7.7.1 Verbesserungspotenzial 27
7.7.2 Was ist gelungen? 27
7.8 Programmierung mit ESP-Home 28
7.9 Einbinden ins Smarthome 30
7.10 Anwendungsbeispiel 31
7.10.1 Planung 32
7.10.2 Gehäuse & Kabelkanal Deckel Zeichnen 32
7.10.3 Schema Zeichnen 34
7.10.4 Schaltschrank Inbetriebnahme 35
7.10.5 Projektabschluss Praxisbeispiel 36
7.10.6 Kostenpunkt 37
7.11 Hauptprint Version 1.0 38
7.11.1 ESP-Home Konfiguration 38
7.11.2 Funktionstest 39
7.11.3 Messungen 39
7.11.4 Kosten 43
7.12 Relais Expander Print Version 1.0 45
7.12.1 Funktionstest 45
7.12.2 Messungen 45
7.12.3 Kostenpunkt 50
8 EMV / EMI 51
8.1 Wie Entsteht EMI 51
8.1.1 Antennen Effekt durch Stromschleifen 52
8.1.2 Schnelle Schaltvorgänge 52
8.1.3 Übersprechen 53
8.1.4 Impedanz Sprünge und Reflexionen 53
9 Missgeschicke 54
9.1 Leiterplatte abgeraucht 54
9.2 IC-Orientierung falsch 54

10 GitHub 55
11 Kundenrückmeldung 57
11.1 Reddit Post 58
11.2 Rückmeldungen 60
12 Kommentar zu KI 67
12.1 Meine Bedenken zur aktuellen Verwendung von KI 68
13 Danksagung 69
14 Schlusswort 70
15 Eigenständigkeitserklärung 71
16 Klassifizierung 72

1 Management Summary

Dieses Management Summary soll einen Überblick verschaffen, worüber diese Diplomarbeit handelt. Es zeigt in wenigen Kapiteln auf, warum diese Arbeit entstanden ist.

1.1 Ausgangslage und Motivation

Der aktuelle Markt für SmartHome-Lösungen ist stark fragmentiert und durch herstellereigene Ökosysteme grosser Konzerne wie Apple (Apple HomeKit) oder Samsung (Samsung Smart Things) aufgeteilt. Benutzer sind häufig von Cloud Anwendungen, geschlossenen Systemen und fehleranfälligen Apps abhängig. Daraus entstand folgendes:
Es sollte eine unabhängige, vollständig Open-Source-basierte Hardwarelösung entwickelt werden. Das System soll vielseitig einsetzbar sein und komplett ohne Gateway, Cloud oder anmelde Masken auskommen.

Es soll einfach funktionieren!

1.2 Zielsetzung

Das Hauptziel dieser Diplomarbeit ist es, eine solide Grundlage für Bastler und Smart-Home Enthusiasten zu schaffen. Hierfür wurden folgende Ziele definiert:

1.2.1 Funktionierende Leiterplatten

Entwicklung von Platinen, die über USB-C programmierbar sind, vielfältige I/O-Funktionen und Bus-Anbindungen wie I^2C, SPI oder UART aufweisen und die geplanten Funktionalitäten, Betriebsfähig zur Verfügung gestellt werden.

1.2.2 Einfache Erweiterbarkeit

Maximale Freiheiten durch die Nutzung ausschliesslich kostenloser Open-Source-Tools (KiCad, FreeCAD, GitHub), damit das Projekt von jedem nachgebaut und/oder verändert werden kann.

1.2.3 Erfolgreicher Dauertest

Fehlerfreie Integration in ein bestehendes System und erfolgreichen Dauertest, um die Funktionalität zu gewährleisten.

1.3 Lösungskonzept

Um die Ziele zu erreichen, wurden zwei Leiterplatten entworfen, welche die Funktionen für Sensor- und Aktor-Print abdecken.

1.3.1 Hauptprint (Sensor Print):

Fungiert als "Gehirn" des Systems und basiert auf dem modernen Mikrocontroller ESP32-C6. Dieser unterstützt wichtige Protokolle wie Wi-Fi 6, Thread, ZigBee und Bluetooth. Ein intelligenter Power-Multiplexer (TPS2116) ermöglicht den automatischen Wechsel zwischen USB- und Batteriebetrieb. Der Print erfasst Sensordaten, stellt einen Webserver bereit und kommuniziert via ESP-Home Schnittstelle mit dem Smarthome.

1.3.2 Der RelaisExpander Print (Aktor Print):

Eine kompakte Aktoren Platine, die über den I^2C-Bus an den Hauptprint angebunden wird. Mit 16 potenzialfreien Relais Kontakten und einer variablen Eingangsspannung von 18–36V (bzw. 24V Industrie-Standard) ist er perfekt für den Einsatz in Schaltschränken konzipiert.

1.4 Ergebnisse und Dauertest

Nach der ersten Design-Iteration V0.1 wurden die Release-Versionen 1.0 auf GitHub und somit der breiten Masse zum Download zur Verfügung gestellt. Als Dauertest und Praxisbeispiel wurde ein komplett bestückter Schaltschrank zur Steuerung eines Büros gebaut. Dieser steuert 16 Steckdosen und läuft seit über zwei Wochen stabil mit diversen Verbrauchern, wie Computer, Staubsauger, Labornetzteil und Oszilloskop. Mithilfe einer Wärmebildkamera wurde die Wärmeentwicklung von den Leiterplatten, der verbauten Komponenten, sowie den Temperaturanstieg im Schaltschrank gemessen.

1.5 Risiken, Community-Feedback und Open-Source Entscheidung

Bereits früh in der Arbeit, wurde bemerkt, dass das grösste Risiko, die Komponenten Verfügbarkeit betrifft. Dieses Risiko konnte vermindert werden, in dem früh in der Planung bereits die komplexeren Teile vorbestellt und/oder die Verfügbarkeit geprüft und bewertet wurde.

Die Idee, die ganze Arbeit Open-Source zu gestalten, war schon seit Beginn gesetzt. Dadurch kann das Produkt mit der Community wachsen oder von verschiedenen Personen weiterentwickelt werden.

Die Reddit Community hat dabei sehr mit ihrem Feedback unterstützt und gezeigt, dass das Projekt auf Interesse stösst.

1.6 Ausblick und Empfehlung

Die aktuellen Leiterplatten basieren auf den Versionen 1.0 und sind in ihrem Design, technisch funktionell. Die in dieser Arbeit erarbeiteten Schemata und Dateien werden in GitHub verewigt und bleiben so erhalten. Der Plan für die Zukunft der Arbeit, besteht daraus, einen Fork zu machen, die Arbeit weiterzuführen und zu verfeinern. Aber ohne Fokus auf einer Diplomarbeit.

2 Aufgabenstellung

Im folgenden Kapitel wird ein kleiner Einblick gegeben, was mich zu diesem Vorhaben bewegte und weshalb es mir wichtig war, eine reine Open-Source-Arbeit durchzuführen.

Diese Arbeit nutzte KI-Tools zur Suche nach passenden Elektrokomponenten, wobei die endgültigen Interpretationen und Schlussfolgerungen eigenständig erarbeitet wurden.
Siehe diesbezüglich Kapitel 12 Kommentar zu KI.

2.1 Ausgangslage und Motivation

Der aktuelle Markt für Smart-Home Lösungen ist in diverse Fronten aufgeteilt. Einerseits steht zum Beispiel Apple und ihr Apple HomeKit[1] welches zu Beginn 2014 nur zertifizierte Geräte für HomeKit zugelassen hatte. Dies hat sich jedoch 2021 geändert, wobei nun diverse Matter Geräte unterstützt werden[2].



Abbildung 1 Beispiel Sensor für Apple HomeKit [3]

Auf einer anderen Seite steht natürlich Samsung und ihr Smart Home System Samsung SmartThings[4] welches einen Monat vor Apple HomeKit veröffentlicht wurde. Zu Beginn hat Samsung eigene Hardware für ihr Ökosystem herausgebracht. Dies änderte sich aber im Jahr 2021, ab da hat sich Samsung nur noch auf die Software und Cloud Service Aspekte fokussiert[5].

Zu allem dazu kommen noch diverse weitere Hersteller, die ihre eigene Vorstellung von einem SmartHome Ökosystem haben. Dies führt dazu, dass ein SmartHome Eigentümer oft mehrere Apps auf seinem Smartphone benötigt, die alle ein Teil seines Zuhauses Steuern.

Ein SmartHome besteht aus vielen Komponenten, die alle gemeinsam den Zweck erfüllen, das Leben des Eigentümers zu vereinfachen. Dies könnte anhand einer automatischen Lamellennachführung an den Storen sein, die aufgrund des Sonnenstandes automatisch für Schatten sorgen oder einen Roboter Staubsauger, der anhand von festgelegten Zeiten die Wohnung saugt.

Meine Motivation besteht darin, ein Produkt zu entwickeln, das vielseitig einsetzbar bleibt und nicht auf einen grossen Konzern angewiesen ist. Es soll eigenständig funktionieren und kein Gateway benötigen. Die Idee besteht darin, einen Print so zu designen, dass alle Möglichkeiten, soweit möglich, offenbleiben, um mit der Hardware interagieren zu können. Es soll einfach und verständlich bleiben, keine App enthalten, bei der zuerst ein Account erstellt werden muss oder die nach einigen Jahren durch eine genau gleiche App ersetzt wird, weil der Hersteller es nicht auf die Reihe bekommen hat, eine fehlerfreie und funktionsreiche App zu entwickeln.

Das beste Beispiel hierfür ist Sonos, es ist eines dieser Unternehmen, die es bis heute nicht geschafft haben, eine vernünftig funktionierende App herauszubringen, die dafür sorgen sollte, dass das Audioerlebnis auch ein Erlebnis ist und nicht zu einem Albtraum wird. Ihr App Debakel hat Weltweit für Schlagzeilen gesorgt und am Ende einen Führungswechsel in der obersten Etage verursacht[6].



Abbildung 2 Entlassener Produktchef Maxime Bouvat-Merlin (links) und CEO Patrick Spence (rechts)

2.2 Zielsetzung

Es wurden Ziele gesetzt, die für die Arbeit massgebend sind, diese wurden in Kapitel 4 Zieldefinition genauer erörtert.

Das oberste Gebot bei der Arbeit sollte es sein, eine gute und einfache Basis zu schaffen, womit jeder diese Leiterplatten nachbauen und erweitern kann. Die erstellten Dateien sollen für alle öffentlich zugänglich sein und nur mit Kostenlosen und Open-Source-Tools bearbeitet werden. Es soll vermieden werden, eine proprietäre Software zu verwenden, da dies eine Abhängigkeit schafft und somit bei z.B. einem Software-Support Ende oder der Einstellung des Programms zu erheblichen Einschränkungen bei der Weiterbearbeitung oder der Programmierung kommt.

3 Pflichtenheft

Das komplette Pflichtenheft ist im Anhang vorhanden. In diesem Kapitel wurde nur essenzieller Inhalt eingefügt.

3.1 Funktionale Anforderungen

In diesem Kapitel werden sämtliche Anforderungen aufgelistet, welche von den Leiterplatten erfüllt werden müssen.

3.1.1 Allgemeine Anforderungen

Die Leiterplatten sind über USB Programmierbar und können einfach in eine Hausautomation integriert werden. Der USB-Port soll als USB-C ausgeführt werden.

Die Leiterplatten sollen erweiterbar und funktionell gestaltet werden, sodass die Leiterplatten von einem technisch versierten Menschen verstanden werden können.

Der Mikroprozessor und die Bauteile sollen so ausgewählt werden, dass auf preislich Günstigere, aber mit den gleichen technischen Spezifikationen, ausgewichen werden kann. Es sollen keine Abhängigkeiten bei z.B. dem Leiterplatten Lieferanten entstehen. Jedem soll die Möglichkeit gegeben werden die Leiterplatten zu verwenden.

Folgende Pins sollen bei dem Mikroprozessor auf dem PCB dem Benutzer zur Verfügung gestellt werden, auch wenn diese aktuell keine Verwendung haben:

- UART
- I^2C
- PWM
- ADC

3.1.2 Aktor Board

Das Aktor Board soll mindestens folgende Funktionen aufweisen:

- Speisungsmöglichkeiten
    - USB
    - 5V
    - Einer Industriegängigen Spannungsversorgung
- Aktoren
    - Genügend Möglichkeiten Aktoren anzuhängen
- Erweiterbarkeit
    - Via Bus-Anbindung

3.1.3 Sensor Board

Das Sensor-Board soll mindestens folgende Funktionen aufweisen:

- Potenzialfreie Relais Kontakte
    - Zum Schalten von z.B. Relais oder Schützen
- Verbindung via eines eingebauten Bus-Systems an eine andere Steuerung
    - I^2C / UART
- GPIO-Ausgänge auf der Leiterplatte
    - Alle Zugänglich
- Erweiterbarkeit
    - Via Bus-Anbindung
    - Optionale Bauteile welche die Leiterplatte um zusätzliche Funktionen ergänzt

4 Zieldefinition

Für die Diplomarbeit wurden drei messbare und projektspezifische Ziele definiert.
Anhand dieser werden Entscheidungen während der Erstellung und Bearbeitung beeinflusst.

4.1 Funktionierende Leiterplatten

Das oberste Ziel, das für die Diplomarbeit ausgesucht wurde, ist das Vorweisen einer funktionierenden Leiterplatte.
Da die Arbeit in Aktor und Sensor Leiterplatten unterteilt wird, bezieht sich der funktionierende Teil hauptsächlich auf das Funktionieren der Leiterplatten, auf dem der Mikrocontroller verweilt.
Die folgenden Unterziele zum Ziel: Funktionierende Leiterplatten, wurden zusätzlich noch wie folgt definiert:

1. Programmierung per USB-C-Kabel möglich
2. Input / Output Funktionen sind gegeben
3. Anbindung an ein Bussystem möglich (I^2C, I^2S, UART, SPI)
4. Kann im Dauerbetrieb betrieben werden

4.2 Einfache Erweiterbarkeit für mich und den Endkunden (Bastler)

Das zweite Ziel, soll die Erweiterbarkeit für den Endkunden Darstellen.
Es soll nicht ein weiteres unnötiges Produkt erstellt werden, dass in kürzester Zeit weggeworfen werden muss, da irgendein Support nicht mehr gegeben ist. Sei dies per App oder Gateway.

Durch die offengelegten Unterlagen wird die Möglichkeit geschaffen, dass jedermann, die Leiterplatten oder die Software nach seinen Wünschen und Erwartungen ergänzen kann.

4.3 Erfolgreicher Dauertest, inklusiver Einbindung in ein neues oder Bestehendes Smart Home

Das dritte Ziel beinhaltet einen erfolgreichen Dauertest, der ca. 1-4 Wochen je nach Fertigstellung der Produkte dauern soll. Der Dauertest soll die Stabilität der Leiterplatten Prüfen und auftretende Fehler aufzeigen. Der Dauertest gilt für mich, als erfolgreich, wenn die Leiterplatten immer noch ihre Werte aufzeichnen, Relais schalten und die Bedienung via Webseite oder Smarthome Einbindung einwandfrei funktioniert. Ein plus Punkt ist die Einbindung in ein weiteres SmartHome, ohne die Einbindung im Ersten zu beeinflussen.

5 Terminplan

Der Terminplan wurde auf der Open-Source Management Software OpenProject[7] erstellt.
OpenProject kann gratis für kommerzielle Zwecke als Docker Container genutzt werden, dies läuft bei mir Zuhause auf meinem Server und wurde mit meiner gekauften Domaine verknüpft und Online geschalten. Dadurch ist es möglich, dass der Diplomcoach zur Terminplanung hinzugefügt werden kann. Weiter ist es mir möglich Besprechungen direkt innerhalb von OpenProject zu erstellen und per Mail eine Einladung an die Teilnehmer zu versenden.

Eine detaillierte Auflösung und einen genauen PDF-Bericht mit diversen Zusatz-Informationen und der IST Zeit zu den einzelnen Arbeitspaketen, werden im Anhang angehängt.

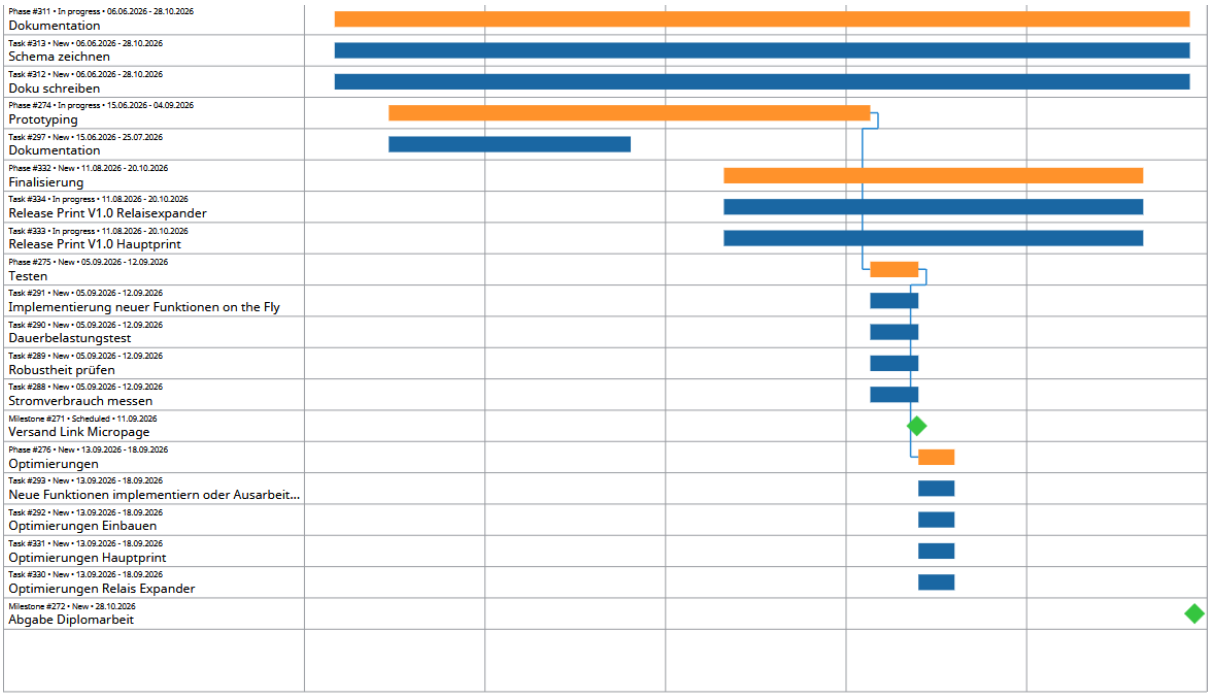


Abbildung 3 Ausschnitt aus Projektplanung

OpenProject erlaubt den Export des Terminplans in diversen Formaten. Die alle für diverse Ansichten verwendet werden und zu einer guten und modernen Projektmanagement Software gehören.

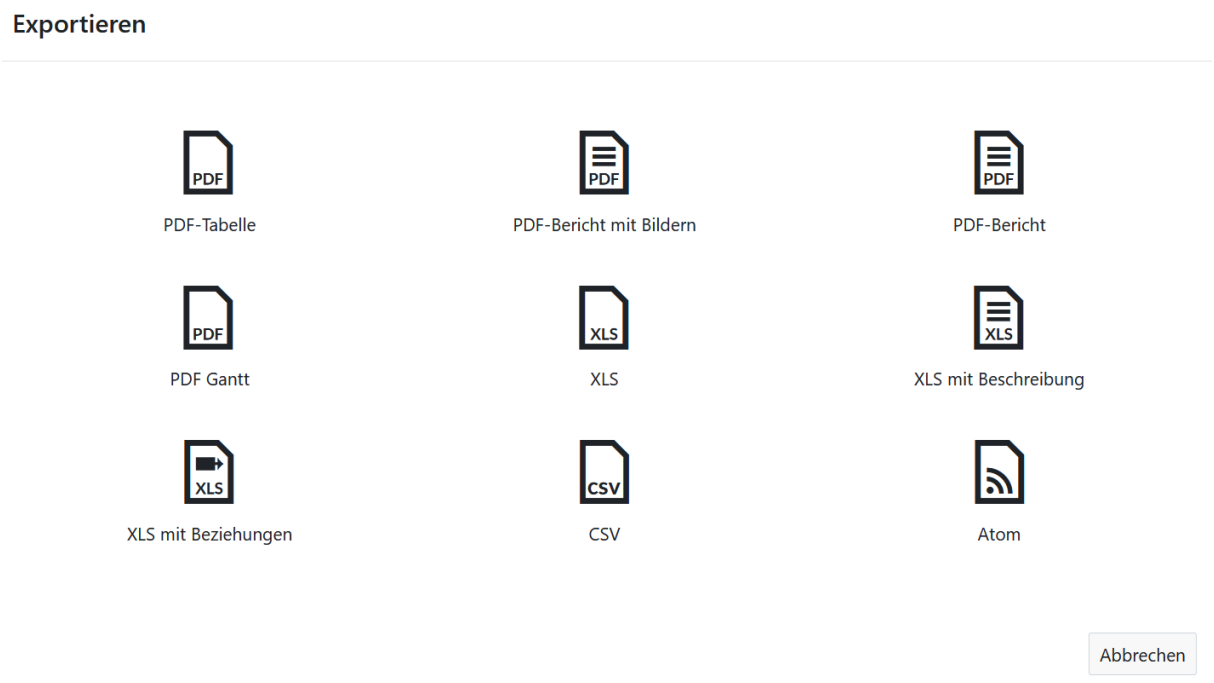


Abbildung 4 Beispiel der Export Formate der Terminplanung

6 Projektrisiken

Anhand einer Risikoanalyse wurde eine Risikomatrix nach Nohl/Thiemecke[8], mit Addition einer Bewertung aufgrund von drei Faktoren erstellt, wobei sich daraus das Schadenspotenzial berechnen lässt.

Die Berechnung des Schadenspotenzials wird als gewichteter Worst-Case-Ansatz bezeichnet und berechnet sich wie folgt:

$$Schadenspotenzial = \frac{(Kosten + Zeit + Qualität) + Max(Kosten,\ Zeit,\ Qualität)}{4}$$

Die Risiken sind durch Erfahrungen bei vergangenen Projekten und meiner Tätigkeit als Servicetechniker gewählt worden. Diese sind in Abbildung 5 Risikomatrix Legende ersichtlich.

Jedes Risiko wurde einem Typen zugewiesen und auf ihren Auswirkungen auf Zeit, Kosten und Qualität auf einer Skala von 0 bis 6 bewertet. Null bedeutet keine Auswirkung, 6 bedeutet erhebliche Auswirkungen auf Kosten/Zeit/Qualität.

Risikomanagement			Auswirkung auf:				
ID	Risikotyp	Risikobeschreibung	Kosten	Zeit	Qualität	Schadenspotentia	Eintrittswahrscheindlichkeit
1	Personelles Risiko	Krankheitsbedingter Ausfall	0	3	5	3.25	5
2	Technisches Risiko	Defekte Hardware	6	3	1	4	2
3	Wirtschaftliches Risiko	Material verfügbarkeit	4	6	5	5.25	4
4	Personelles Risiko	Zeitmanagement	3	4	0	2.75	2
5	Technisches Risiko	Fehlmanipulation während dem Testen	4	4	0	3	4
6	Wirtschaftliches Risiko	Transport- und Logistikrisiken	6	5	1	4.5	2
7	Technisches Risiko	Brandrisiko	4	6	4	5	2
8	Technisches Risiko	Schlechte Komponentenqualität	4	1	6	4.25	3

Abbildung 5 Risikomatrix Legende

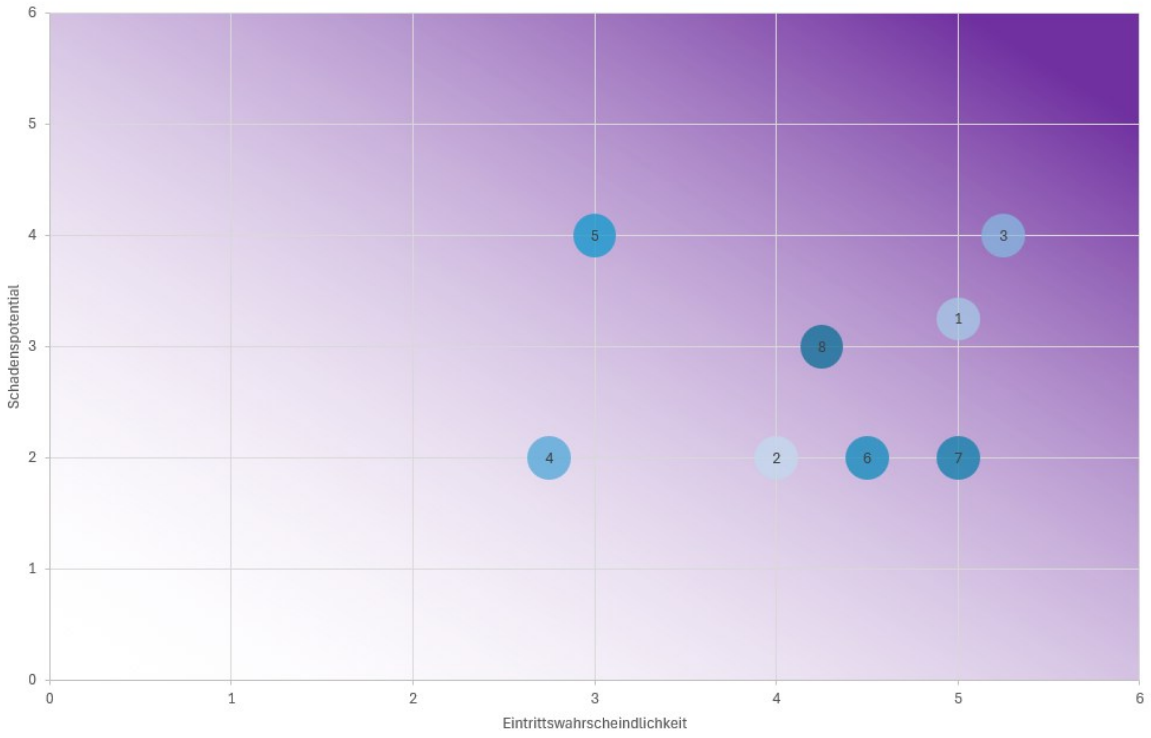


Abbildung 6 Risikomatrix

6.1 Massnahmen zur Risikominderung

Hauptsächlich beschäftigen uns die Risiken 2 und 6, denn diese sind bei einer Arbeit, die 90% von der Verfügbarkeit einzelner Komponenten abhängt, tödlich für das ganze Projekt. Eine Vielzahl an Komponenten wird von diversen Herstellern produziert. Diese weisen jedoch ausser von der Hersteller Kennzeichnung, technisch die gleichen Funktionen auf. Das trifft jedoch nicht auf alle Komponenten zu. Das muss während der Entwicklung beachtet werden, sodass der Erfolg der Arbeit nicht an einem nicht mehr produzierten oder nicht vorrätigen Bauteil scheitert.

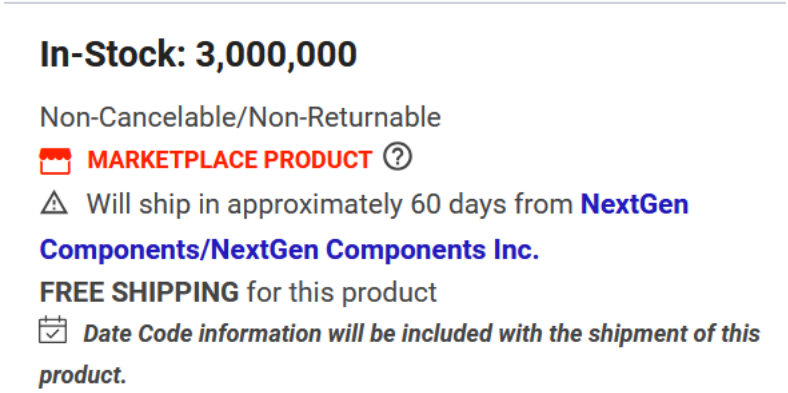


Abbildung 7 Beispielbild Komponenten Lieferzeit

Dazu wurde bei der Lieferung der schnellste Anbieter ausgewählt, was jedoch in höheren Kosten resultierte.

7 Lösung der Aufgabe

Die folgenden Kapitel behandeln die Planung, Ausführung und Optimierung der Diplomarbeit, logisch strukturiert, sodass der Weg zum vollendeten Produkt führt.

7.1 Verbindung ins Smarthome

Die Verbindung ins Smart Home kann durch den Open-Source-IoT-Framework ESP Home bewerkstelligt werden. ESP-Home ist ein Projekt der OpenHome Foundation zu dem auch Home Assistant zählt. ESP-Home selbst, erklärt uns auf der Webseite, wer ihre Zielgruppen sind.

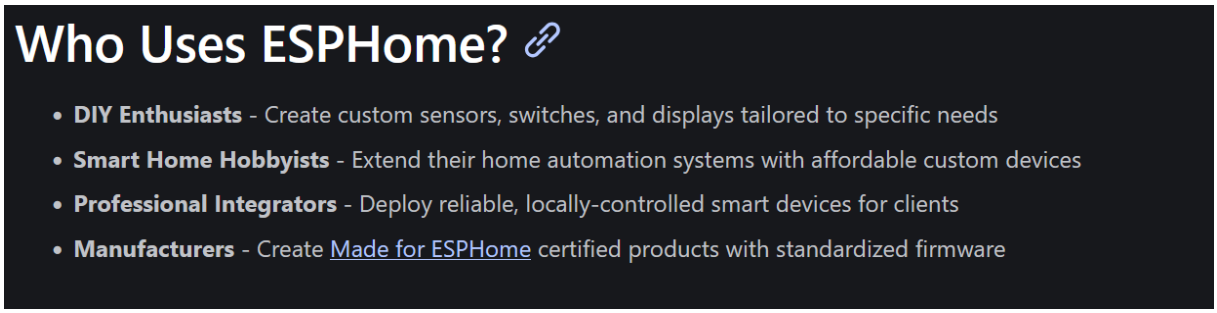


Abbildung 8 Screenshot von ESP-Home Webseite[9]

Folgende Gruppen werden angesprochen:

- Heimwerker
  - Bastler die spezielle Bedürfnisse und Ansprüche haben.
- Smart Home Enthusiasten
  - Personen die ihr Smart Home mit günstigen individuell angepassten Geräten erweitern möchten.
- Professionelle Integratoren
  - Z.B. Athom, die ihre Sensoren mit ESP-Home betreiben, bzw. diese dafür auslegen.[10]
- Hersteller
  - Z.B. Apollo Automation, welche eigene Leiterplatten mit ESP-Home entwickeln und verkaufen.[11]

7.2 Auswahl des geeigneten Mikrocontrollers

In den folgenden Unterkapiteln werden die zur Verfügung stehenden Mikrocontroller verglichen, um den für diese Diplomarbeit am geeignetsten zu finden.

7.2.1 Was ist ein Mikrocontroller?

Mikrocontroller sind Halbleiterchips die einen Prozessor und Peripheriefunktionen enthalten. Arbeits- und Programmierspeicher sind nicht immer Teil der integrierten Schaltung und müssen extern mit geplant werden. Ein Mikrocontroller bringt im Vergleich zu einem Mikroprozessor die technischen Voraussetzungen mit um als kleiner Computer zu funktionieren.

7.2.2 Vergleich von Mikrocontroller

In diesem Kapitel werden Mikrocontroller auf ihre vor und Nachteile verglichen, um Erkenntnisse darüber zu gewinnen, welcher sich am besten für diese Diplomarbeit eignet.

7.2.2.1 Raspberry Pi Pico

Der Raspberry Pi Pico verfügt über diverse Schnittstellen, die durch die WLAN-Fähigkeit als geeigneter Kandidat infrage kommt.

Übersicht über die vorhandenen Eigenschaften und Spezifikationen:

- Dual-Core Cortex M0+ mit bis zu 133MHz
- On-Chip-PLL ermöglicht variable Kernfrequenz
    - 264kByte Multi-Bank-Hochleistungs-SRAM
- Externer Quad-SPI-Flash mit eXecute In Place (XIP) und 16kByte On-Chip-Cache
- Leistungsstarke Voll-Crossbar-Busstruktur
- On-Board USB1.1 (Gerät oder Host)
- 30 Multifunktions-E/A (vier können für ADC verwendet werden)
    - 1,8-3,3 V E/A-Spannung
- 12-Bit 500ksps Analog-Digital-Wandler (ADC)
- Verschiedene digitale Peripheriegeräte
    - 2 x UART, 2 × I2C, 2 × SPI, 16 x PWM-Kanäle
    - 1 x Timer mit 4 Alarmen, 1 x Echtzeituhr
- 2 x programmierbare E/A-Blöcke (PIO), insgesamt 8 Zustandsautomaten
    - Flexible, benutzerprogrammierbare Hochgeschwindigkeits-E/A
    - Kann Schnittstellen wie SD-Karte und VGA emulieren[12]

Vorteile:

- Preisleistung
- Hobbybereich oft verwendet in Form des Raspberry Pi Picos

Nachteile:

- Der erste Mikrocontroller der Raspberry Pi Foundation
- Der RP2040 allein besitzt keine integrierte WLAN-Anbindung

7.2.2.2 ESP32-Familie

Ein ESP32 eignet sich sehr gut als Plattform für ESP-Home. In der ESP-Familie stehen uns eine breite Auswahl an Mikrocontroller zur Verfügung, von denen wir einen geeigneten aussuchen können.

- ESP32
- ESP32-S2
- ESP32-S3
- ESP32-C2
- ESP32-C3
- ESP32-C5
- ESP32-C6
- ESP32-C61
- ESP32-H2
- ESP32-P4

Es wurden zwei Mikrocontroller ausgewählt und miteinander in den Kapiteln 7.2.2.2.1 und 7.2.2.2.2 genauer verglichen.

7.2.2.2.1 ESP32-C6

Der ESP32-C6 gilt als der Standard im modernen low-power IoT Bereich.[13]

Durch die vollumfängliche Thread / ZigBee Integration, eignet sich der C6 grossartig im Modernen Smart Home. Es wird Wi-Fi 6 und Bluetooth low Energy 5.3 unterstützt.
Durch die Addition eines low-power modes eignet sich der C6 sehr gut für Batterie betriebene Projekte.

Die Eigenschaften im Überblick zu finden auf ESP-Home[14]:

- CPU: RISC-V HP core bis Zu 160 MHz + LP core bis Zu 20 MHz
- Wi-Fi: 802.11 b/g/n/ax 2.4 GHz (Wi-Fi 6)
- Bluetooth: BLE 5.0
- 802.15.4: Thread und ZigBee
- USB: USB-Serial/JTAG
- GPIO: 31 Pins
- UART: 3
- I2C: 2
- SPI: 3
- I2S: 1
- ADC: 7 Channels
- DAC: None

7.2.2.2.2 ESP32-C5

Der ESP32-C5 ist im Vergleich zum C6 der neuere Chip, dies ist jedoch nicht zwingend ein Vorteil. Der C5 kann zwar im Vergleich mithalten und in der CPU sowie der WiFi-Kapazitäten den C6 toppen. Benötigt aber durch den integrierten 5Ghz Chip deutlich mehr Energie als der C5 der nur 2.4Ghz kann.

Die Eigenschaften im Überblick zu finden auf ESP-Home[14]:

- CPU: RISC-V HP core, bis Zu 240 MHz + LP core, bis Zu 40 MHz
- Wi-Fi: 802.11 b/g/n/ax 2.4 GHz + 5 GHz (Wi-Fi 6)
- Bluetooth: BLE 5.0
- USB: USB-Serial/JTAG
- GPIO: 31 Pins
- UART: 3
- I2C: 2
- SPI: 3
- I2S: 1
- ADC: 7 Channels
- DAC: None

7.2.3 Chipauswahl

Bei der Auswahl wurde sich auf die harten Fakten konzentriert, aus Erfahrung wurde sich gegen den RP2040 entschieden, da dieser der erste Mikrochip der Raspberry Pi Foundation ist. Die ersten Chips/Geräte/Software-Releases neigen dazu Kinderkrankheiten zu besitzen.

Der ESP32-C5 besitzt mächtig viel Power und Leistung unter der Haube. Dennoch ist es für diesen Anwendungsfall definitiv Overkill. Da ein Batteriebetrieb eingebaut werden sollte, eignet sich der Chip durch den höheren Stromverbrauch eher weniger.

Der ESP32-C6 eignet sich sehr gut für dieses Projekt. Die Unterstützung für Thread/ZigBee und der daraus resultierenden Matter Anbindung ist er für viele SmartHome Ausgangslagen sehr gut geeignet. Ein kompaktes Modul mit Antenne zur Oberflächenmontage, zu einem günstigen Preis spricht für den ESP32. Die WiFi 6 Unterstützung garantiert eine lange Einsatzmöglichkeit und Bluetooth 5.0 ein zeitgemässes Funktionsspektrum.

Aus diesen Gründen wurde sich für den ESP32-C6 entschieden.



Abbildung 9 Abbildung eines ESP32 Modules zur Oberflächenmontage[15]

7.3 Prototypen Iteration

Bei der Prototypen-Iteration wurde sich an der folgenden Abbildung 10 Auszug aus Embedded System Unterricht bei Narasimhan Sridharan orientiert. Der Erste Prototyp soll zur Demonstration und Machbarkeit des Projektes dienen. Dadurch wird es mir möglich, eine Testumgebung zu schaffen bei der das ESP-Home und der Open-Source-IoT-Framework, geprüft werden kann.

Prototypen-Iterationen - Hardware Ebene

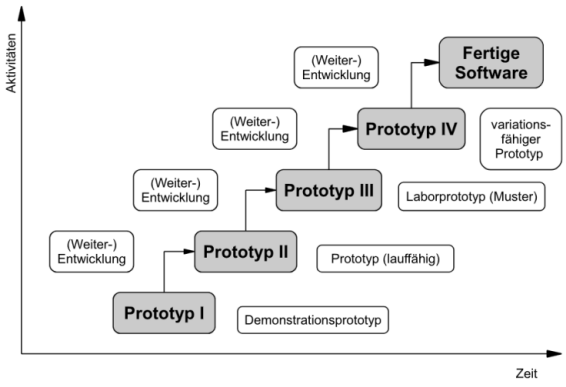


Abbildung 10 Auszug aus Embedded System Unterricht bei Narasimhan Sridharan

7.4 Prototyp 1 Sensor Print

Der Prototyp 1 wurde als Demonstrationsprototyp und Testumgebung für den ESP32 in Kombination mit ESPHome verwendet. Dadurch ist es möglich, die physische und die technische Machbarkeit der Diplomarbeit zu prüfen.

Der Prototyp besteht aus einem ESP32 Entwicklungsboard, einem DHT22[16] Temperatur- / Feuchte-Fühler und einem LDR Sensor Modul[17].

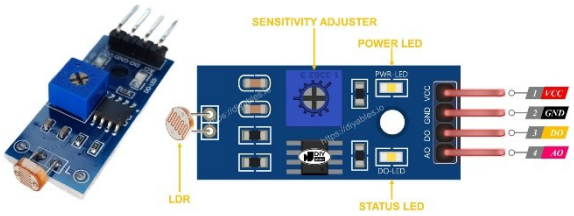


Abbildung 12 LDR Sensor Modul



Abbildung 11 DHT22 Temparatur-/ Feuchtefühler

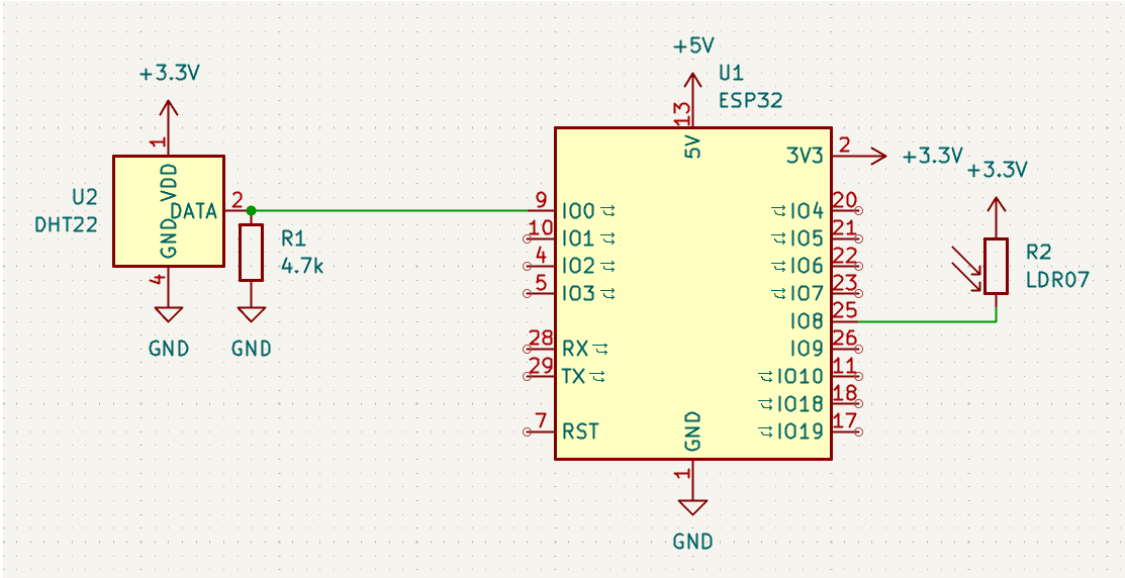


Abbildung 13 Schema Proof of Concept

Der Prototyp misst über einen DHT22 Sensor die Temperatur und Feuchte und stellt diese Informationen auf dem integrierten Web-Server zur Verfügung. Über den eingebauten LDR wird die Helligkeit gemessen und ab einem einstellbaren Wert die Information über Pin 8 auf dem Web-Server dargestellt.

Durch die Integration via Home Assistant kann damit, beispielsweise bei einer Änderung an Pin 8, ein Licht via einer Automation eingeschalten werden.

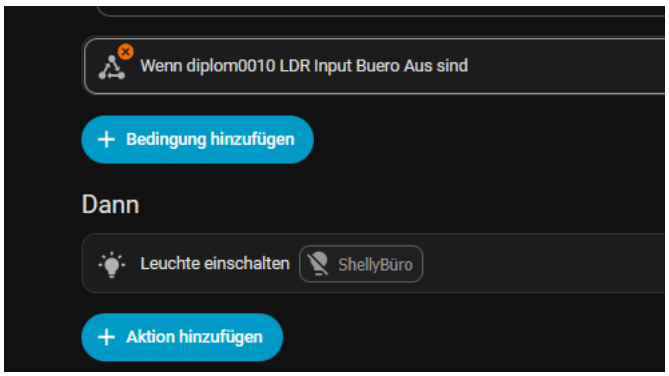


Abbildung 14 (Links) Beispielsautomation in Home Assistant

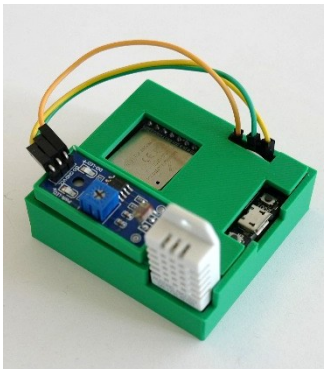


Abbildung 15 Bild (Rechts) Proof of Concept

7.5 Entscheidung zur Unterscheidung Sensor Print / Aktor Print

Nach der Erstellung des Proof of Concept Prototypen, hat die grobe Unterteilung in einen Sensor und Aktor Print zwei Fragen offengelassen.

1. Wie funktioniert die Speisung bei mehreren Relais Ausgängen?
2. Wie können zwei Leiterplatten zueinander Verbunden werden und ist es überhaupt sinnvoll zwei Leiterplatten mit den beinahe identischen Funktionen zu entwerfen?

Folgende Erkenntnisse wurden dazu festgehalten:

- Der Sensor Print kann durch die Verwendung z.B. eines ULN2803A mit Ausgängen erweitert werden, die ohne weiteres ein Relais ansteuern können. Ebenso wäre es durch eine einfache Transistoren Schaltung möglich, das gleiche Ergebnis zu erhalten, jedoch mit mehr Bauteilen.
- Aktoren sind vielfach unbeweglich an der gleichen Stelle und weisen eine dauerhafte Spannungsversorgung auf.
- Bei Aktoren werden vielfach mehrere Relais verwendet, um diverse Funktionen zu erreichen oder eine Kaskadierende Ausschaltung einer z.B. Lüfterwand zu ermöglichen.
- Eine typische Spannungsversorgung, die in der Industrie anzutreffen ist, sind 24V DC-Systeme. Speicherprogrammierbare Steuerungen von z.B. Neuberger, WAGO oder Phoenix Contact funktionieren als 24 Volt Systeme.

Aufgrund dessen wurde der Sensor Print in Hauptprint umbenannt, da dieser das Gehirn darstellt und der Aktor Print in RelaisExpander Print umgetauft, da die Funktion davon, das Schalten von Potenzialfreien Kontakten darstellt.

7.6 Prototyp 2 Sensor Print (Hauptprint)

Der erste Prototyp der mit KiCad gezeichnet und PCBWay zur Leiterplattenherstellung gesendet wurde, hat viele Ideen vereint und dabei geholfen, das finale Produkt zu formen. Nachdem alle Bauteile aufgelötet und eine Inbetriebnahme mit einem Labornetzteil durchgeführt wurde, war der Grundstein für das Ziel: funktionierender Print, gelegt.

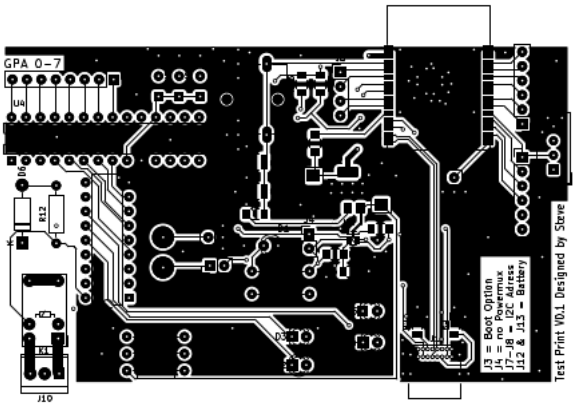


Abbildung 17 Erster PCB, KiCad Ausdruck Gerber Files

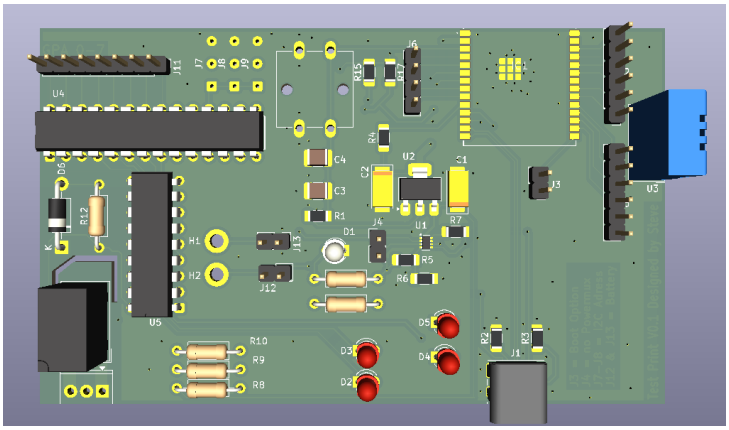


Abbildung 16 KiCad gezeichnete Leiterplatte

7.6.1 Berechnungen

Folgende Berechnungen waren nötig, um die verwendeten Bauteile korrekt zu dimensionieren oder die gewünschten Funktionen an einem Bauteil zu aktivieren.

7.6.1.1 Vorwiderstand LED

Jede Licht Emittierende Diode, kurz LED, benötigt einen Vorwiderstand als Strombegrenzung, um die LED nicht zu beschädigen. Je nach Farbe fällt bei der LED eine kleine, aber messbar abweichende Spannung ab, dies verändert U_D minimal.

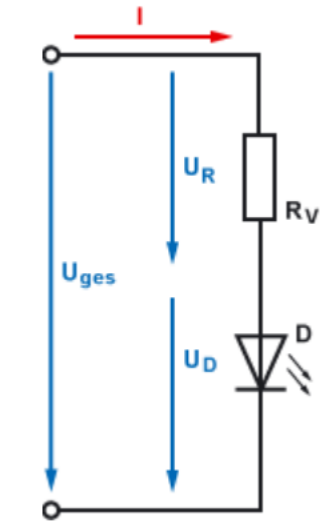


Abbildung 18 Beispielschaltung einer LED mit Vorwiderstand

Standard-LED (I_F/I_{LED} = 10 mA)		
Farbe	**Halbleiter**	**U_F/U_{LED}**
rot	GaAsP	1,6 V
rot	GaP	2,1 V
orange	GaAsP	1,8 V
grün	GaP	2,1 V
gelb	GaP	2,2 V
blau	GaN	2,9 V

Abbildung 19 Tabelle diverser Spannungsabfälle aufgrund der Farbe

Wenn wir die Rechnung mit einer roten LED und als Halbleiter Galliumphosphid (GaP) nehmen und mit der folgenden Formel $Vorwiderstand\ R_V = \frac{U_R}{I}$ fortfahren, erhalten wir einen Widerstand von ca. 300 Ohm.

7.6.1.2 TPS2116DRL

Die Idee einer dualen Spannungsversorgung, die automatisch auf die prioritäre Spannung umschaltet, ist anwenderfreundlich und schafft die Möglichkeit, den Print gleichzeitig mit z.B. einer Batterie oder einem Akkumulator und via USB zu betreiben.

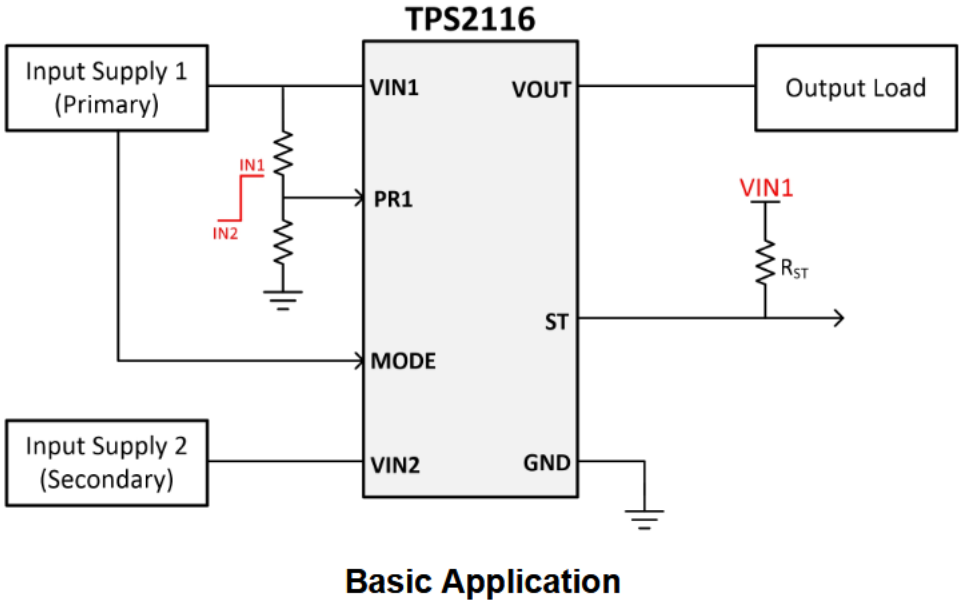
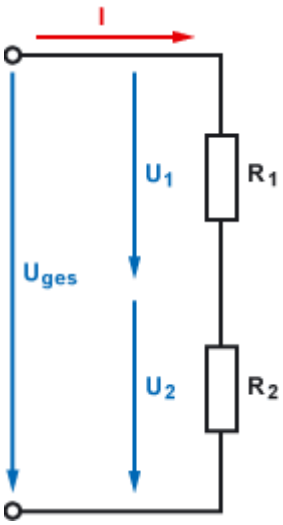


Abbildung 20 Auszug aus Datenblatt TPS2116

Im Datenblatt ist der R_{ST} Widerstand bereits mit 10kOhm angegeben und ist für die Berechnung nicht relevant. Der Spannungsteiler beim Eingang PR1 ist im Datenblatt nicht mit festen Werten angegeben. Der Eingang PR1 schaltet intern automatisch zwischen VIN1 und VIN2 um, sobald die angelegte Spannung von der Hauptspannungsversorgung VIN1 unterhalb der im Spannungsteiler festgelegten Spannung fällt.



Der Strom kann bei unserer Berechnung vernachlässigt werden, da der Eingang PR1 lediglich auf Spannung reagiert und nicht Stromgesteuert ist.

Da die Umschaltung lediglich von Batteriebetrieb und USB-Betrieb wechselt, ist keine genaue Spannungsabhängige Umschaltung der Spannungsversorgung nötig. Deshalb schaltet der TPS2116 bei einer Spannung von 2.5V auf Eingang PR1 zu Eingang PR2 um. Vorausgesetzt, es liegt eine Spannung bei VIN2 an.

Es können diverse Paare von gleichen Widerständen verwendet werden. In diesem Fall wurden zwei 2.5kOhm Widerstände verwendet.

In der Formel $U_2 = \frac{U_{ges} * R_2}{R_1 + R_2}$ erhalten wir demnach eine Spannung von exakt 2.5V

Abbildung 21 Spannungsteiler Theorie

7.6.2 Was ist gelungen?

USB-C-Anschluss:

Der USB-C Anschluss ist eine heikle Angelegenheit. Die Datenleitungslängen müssen zueinander abgestimmt sein. Dies ist in jedem CAD-Programm enthalten und heisst Differenzialpaar. Das sorgt dafür, dass beide Leitungen (D+/D-) exakt gleich lang auf der Leiterplatte geroutet sind.

Grösse:

Es besteht noch viel Optimierungspotenzial bezüglich der Grösse, aber für den ersten Print ist eine Grösse von 100mm auf 60mm sehr gut, denn bei einer Bestellung ist die Grösse ausschlaggebend für den Preis. Im Vergleich ein Print im Format 100mm x 60mm und 120mm x 60mm.

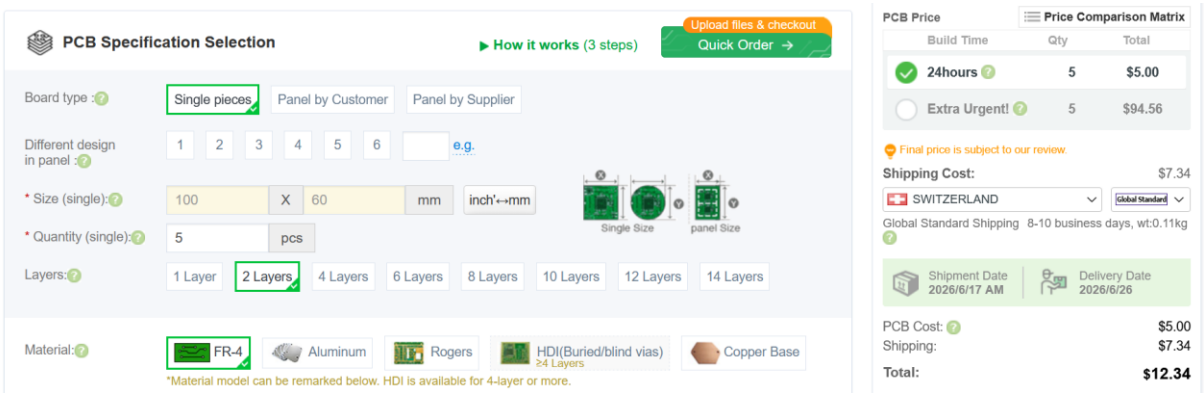


Abbildung 22 PCBWAY Kalkulation 100mm x 60mm

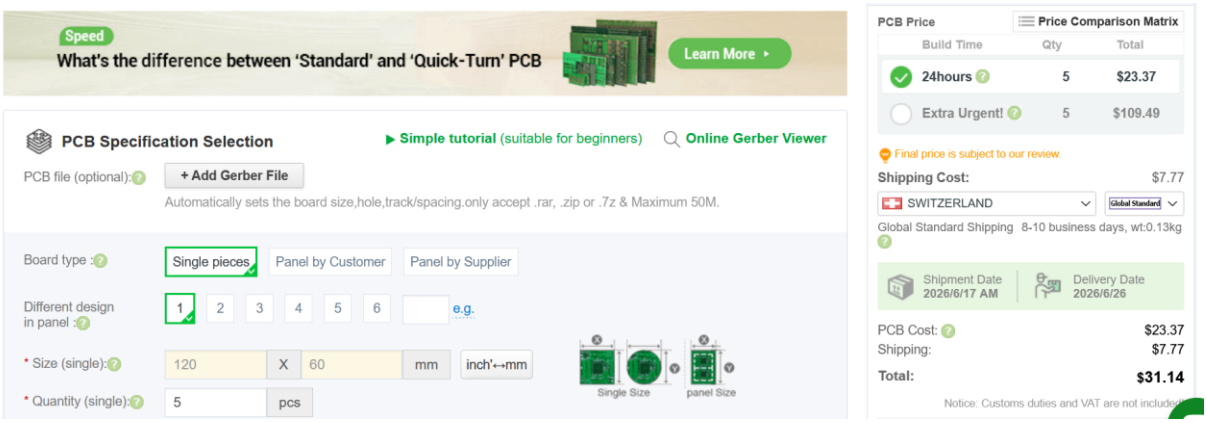


Abbildung 23 PCBWAY Kalkulation 120mm x 60mm

I²C:

Der I²C ist einer der Bus Systeme, die uns der ESP32 zur Verfügung stellt und mit dem viele Sensoren kommunizieren können oder in diesem Fall ein Ein- / Ausgangs Multiplexer.

Der Grund für die Addition eines Multiplexer ist die Erweiterung um weitere I/O Anschlüsse. Der Vorteil einer Abgesetzten I/O ist, dass bei einer Fehlmanipulation der ESP32 keinen Schaden nimmt. Diese wurden zusätzlich mit einem ULN2803 Schaltbaustein erweitert, der die Möglichkeit bietet, einen maximalen Strom von 500mA pro Pin abzugeben. Im Vergleich, der ESP32 kann nur 20mA pro Pin bei 3,3V ausgeben.[18]

Anschlüsse:
Sämtliche PINs auf dem ESP stehen zur Verfügung. Diese können nach Belieben verwendet werden. Durch ESP-Home besteht die Möglichkeit die Pins so zu konfigurieren, wie diese gerade benötigt werden. (In/Out, ADC, One Wire[19], CAN-Bus[20], alle Modis die im Datenblatt ersichtlich und in ESP-Home integrierbar sind)

7.6.3 Verbesserungspotenzial

Mikrochips:
Die eingebauten ICs oder Mikrochips benötigen sogenannte Entkoppelungskondensatoren[21]. Diese sind dafür da um einen schnellen Strombedarf zu decken und sorgen für eine stabile Spannungsversorgung. In der Technik hat es sich bewährt, dass zwei Kondensatoren eingebaut werden. Der erste Kondensator, meist 10 µF, filtert niederfrequente Änderungen, während der zweite Kondensator, meist 100nF, hochfrequente Änderungen filtert.
Gründe für Störungen oder eines Strombedarfs ist zum Beispiel: ein plötzliches Schalten aller Ein-/Ausgänge beim ULN2803A.

Beschriftung:
Beim Erhalt der Leiterplatten, sind die zusätzlichen Beschriftungen im Kupfer, anstatt in Weiss auf der Obersten Schicht, gelandet. Dies ist auf einen falsch gesetzten Parameter in KiCad zurückzuführen.

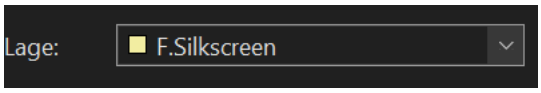


Abbildung 24 Korrekte Lage für Beschriftungen

Testpunkte[22]:
Der PCB sollte für eine saubere Inbetriebnahme und zu Testzwecken, Testpunkte aufweisen.
Die Testpunkte können z.B. dafür verwendet werden, um die Spannungen auf dem Board zu messen oder um einen Bus mit einem Oszilloskop zu messen und eventuelle Fehler bei der Telegrammübertragung festzustellen.

Zusätzlich ermöglicht es bei korrekter Anwendung die Kaskadierende Messung der Spannungen, die einem Aufschluss auf z.B. Defekte Komponenten ermöglichen.

Beispielsweise: Spannungsversorgung 24V-> 5V → 3.3V



Abbildung 25 Beispielbild von Testpunkten

Layout:
Das Layout ist bei dieser Version noch sehr rudimentär verteilt, die Komponenten können viel enger aneinander liegen und dadurch kann an Grösse und Kosten gespart werden.

Anschlüsse:
Der Print ist technisch funktionsfähig, jedoch wurden Abgriffe für den I²C Bus, 5V Spannungsversorgung, 3.3V Spannung und diverse Möglichkeiten, um eine Verbindung zu Ground herzustellen, vergessen.

Ground-Verbindungs-Pads:
Alle Pads, die schematisch mit der Erde verbunden sind, sollten als sogenannte Thermalrelief Pads[23] ausgeführt werden. Das Problem an einer 100% Verbindung von Pad zur Groundfläche besteht darin, dass die Groundfläche eine enorme thermale Kapazität aufweist, die dazu in der Lage ist, die Wärme vom Lötkolben grossflächig zu verteilen. Das führt dazu, dass sämtliche Ground Verbindungen nur mit einem sehr heissen Lötkolben und bei langem Kontakt zu den Pins, gelötet werden können.

7.7 Prototyp 1 Relais Expander Print V0.1

Im Zuge der Arbeit, wurde die Entscheidung getroffen, den Relais Print so zu designen, dass dieser an den Sensor Print bzw. Hauptprint via I²C angehängt werden kann. Aufgrund des Aufbaus können bis zu 8x16 Relais an einen Hauptprint angehängt werden. Der Print ist **nicht** dafür gedacht, 230V zu schalten, da bei 230V diverse Sicherheitsaspekte bedacht werden müssten, die nicht in der aktuellen Grösse des Prints umsetzbar wären.

Sicherheitsaspekte[24]:

- Abstand zwischen den Leiterbahnen
- Sicherheitsausfräsungen
- Berührungsschutz
- Kupferdicke
- Designen nach IEC 62368-1

Deshalb ist die Leiterplatte für 24V Engineered.
24 Volt ist ein in der Industrie weit verbreiteter Standard um Relais/Sensoren/Aktoren und Steuerungen mit Spannung zu versorgen.

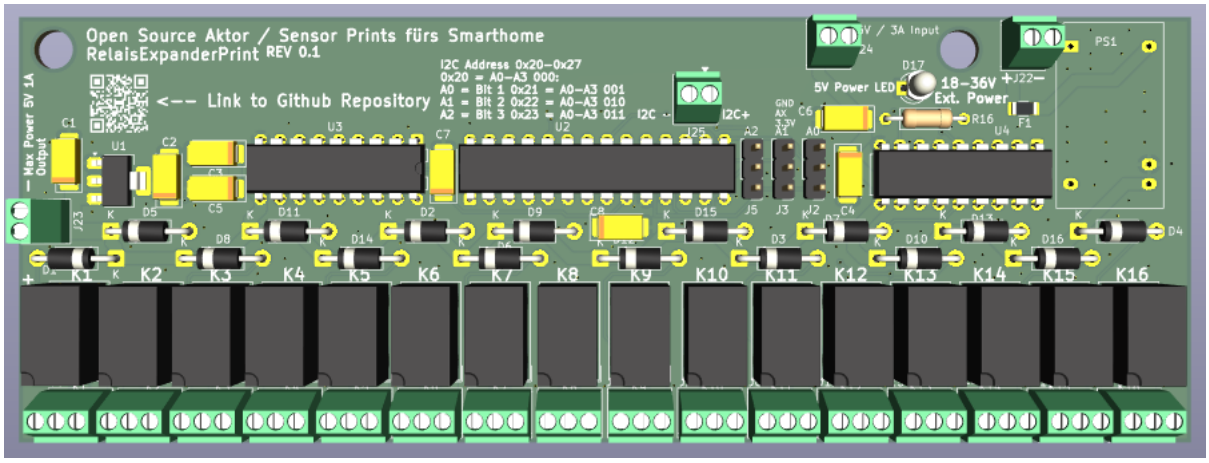


Abbildung 26 Relais Expander Print Rev 0.1

7.7.1 Verbesserungspotenzial

Beschriftung:

Bei den Beschriftungen sind Fehler bei der Beschreibung der I^2C Adressen am MCP23017_SP entstanden. Die Anschlüsse sind A0 bis A2 und nicht wie fälschlicherweise A3 auf dem Board vermerkt. Zusätzlich kann die Platzierung der Komponentenbeschreibungen verbessert werden.

Der Wechsler Kontakt der Relais ist nicht auf dem Board beschrieben. Aktuell müsste der Kunde im Schema nach der Anschlussbelegung suchen und diese auf das Board anwenden. Dies wird bei der Revision 1.0 mit folgender Zeichnung angepasst:



Abbildung 27 Screenshot Beschriftung für Relais

Kondensatoren:

Die Kondensatoren bei den ICs sind alle als Keramikkondensatoren ausgeführt, es sollten aber eigentlich Keramik und Elektrolyt Kondensatoren in parallel sein. Dies hilft der Filterung von Störeinflüssen, die auf die Spannungsversorgung der IC wirkt. Der Grund ist in Kapitel 7.6.3 Verbesserungspotenzial beschrieben.

7.7.2 Was ist gelungen?

Grösse:

Die Eng aneinanderliegenden Komponenten haben zu einem sehr Platz optimiertem Print geführt. Solch eine kompakte Bauweise unterstützt die Verwendung in engstem Raum mit maximaler funktioneller Nutzung. Bei einer kleinen fünfer Serie, wie bei dieser Bestellung, macht das nicht einen enormen Ökologischen Unterschied, wenn jedoch mehrere Hunderte davon bestellt würden, rechnet sich eine Einsparung von einem Zentimeter schon auf einen gesparten Meter Material aus.

Spannungsversorgung:

Durch die Verwendung eines TracoPower TEL 15-2411 Bauteiles, ist eine Spannungsversorgung zwischen 18 – 36V möglich. Das TracoPower TEL 15-2411 kann durch z.B. ein TEL 15-1211 ersetzt werden, sodass eine Speisung von 9-18V ermöglicht wird. Dies ist direkt im Schema vermerkt.

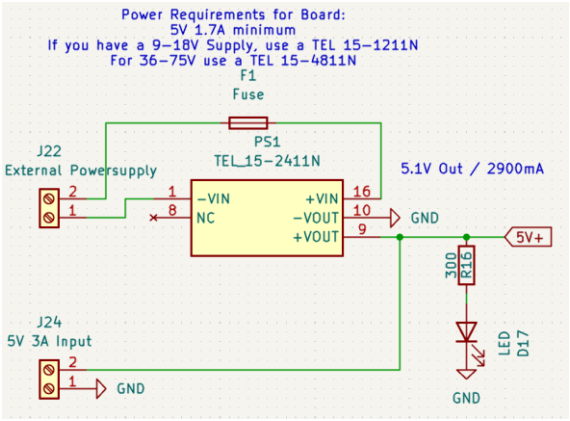


Abbildung 28 Auszug aus RelaisExpander Print Schema

7.8 Programmierung mit ESP-Home

Die Programmierung mit ESP-Home vom Hauptprint, müssen wir zuerst ein Grundsetup durchführen. Das Grundsetup benötigen wir, um mit unserer angeschlossenen Hardware kommunizieren zu können. Bei dem Hauptprint beinhaltet dies, das Setup des Webservers, den I^2C Bus, die WLAN-Verbindungsdaten und den Temperatur- / Feuchte-Fühler. Sämtliche Konfigurationen können direkt von der ESP-Home Webseite bezogen werden.

```
esphome:
  name: diplom0010
  friendly_name: diplom0010

esp32:
  board: esp32-c6-devkitc-1
  framework:
    type: esp-idf

# Enable logging
logger:

# Enable Home Assistant API
api:
  encryption:
    key: "**************************"

ota:
  - platform: esphome
    password: "**************************"

wifi:
  ssid: WIFI_NAME_HERE
  password: ************************

  # Enable fallback hotspot (captive portal) in case wifi connection fails
  ap:
    ssid: "Diplom0010 Fallback Hotspot"
    password: "NCfgPLLuyqu1"

captive_portal:
web_server:
  port: 80
  version: 3
  local: True
  sorting_groups:
   - id: sorting_group_Sensors
     name: "Sensoren"
     sorting_weight: 10
   - id: sorting_group_outputs
     name: "Outputs"
     sorting_weight: 20
```

Abbildung 29 Standard Software Setup mit konfiguriertem Webserver

Der ESP-Home Device Builder, validiert für uns die Programmierung, bevor wir diese auf den ESP32 laden können. Wenn uns ein Fehler unterläuft, lässt das Programm keinen Download zu und verhindert so, dass wir einen fehlerhaften Softwarestand installieren.

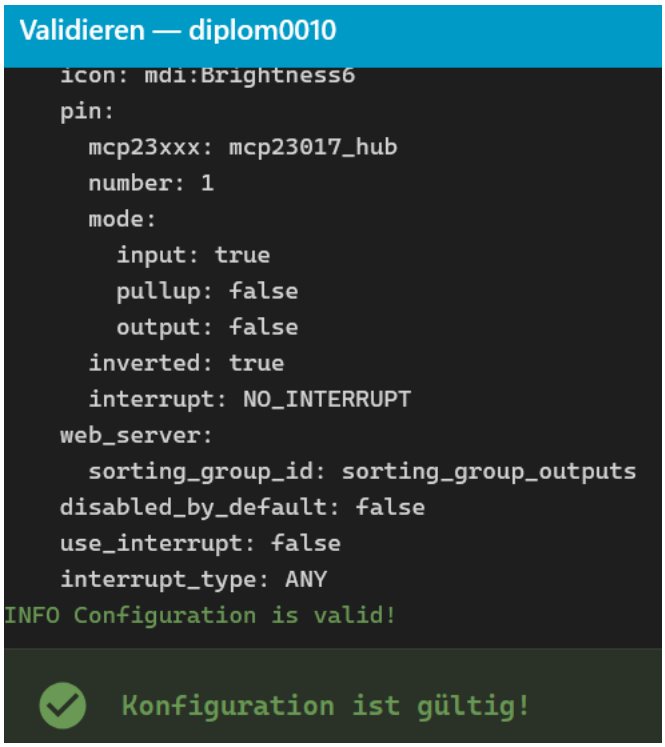


Abbildung 30 ESP-Home Validierung

Durch die Aktivierung des Webservers, sind wir unabhängig vom Smarthome System und verlieren keine Funktionen. Der Webserver kann ohne Einfluss von der Integration in z.B. Home Assistant betrieben werden.

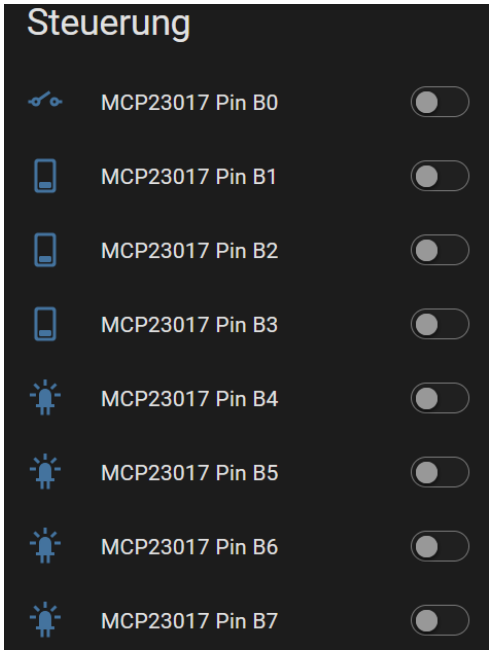


Abbildung 32 Screenshot aus Home Assistant

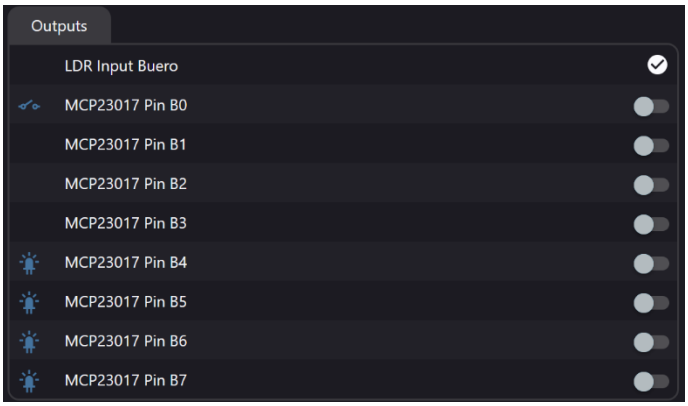


Abbildung 31 Screenshot Webserver vom selben Print

7.9 Einbinden ins Smarthome

ESP Home Geräte werden nativ von Home Assistant unterstützt und übernimmt automatisch alle programmierten Funktionen als sogenannten Entitäten. Diese können innerhalb des Home Assistenten in z.B. Skripten oder Automationen verwendet werden. Sofern sich der Hauptprint im gleichen Netzwerk wie der Home Assistenten befindet, wird der Print automatisch erkannt und uns zur einfachen Einbindung mit einem Klick zur Verfügung gestellt.

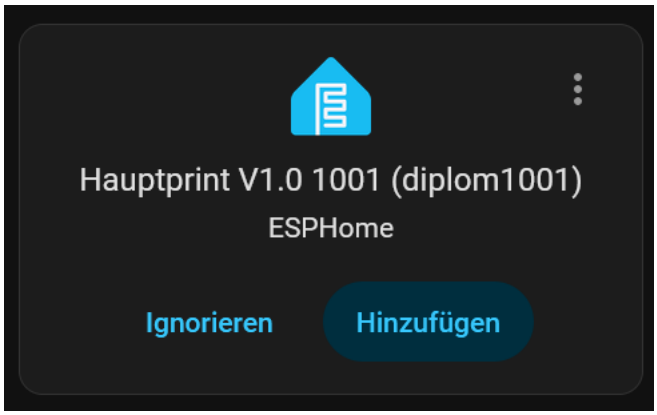


Abbildung 33 Einbindung des Hauptprints in Home Assistant

Die in der Konfiguration eingestellten Schalter, Eingänge oder Zustände werden direkt mit importiert und passen sich nach einem Update selbständig innerhalb von wenigen Sekunden an.

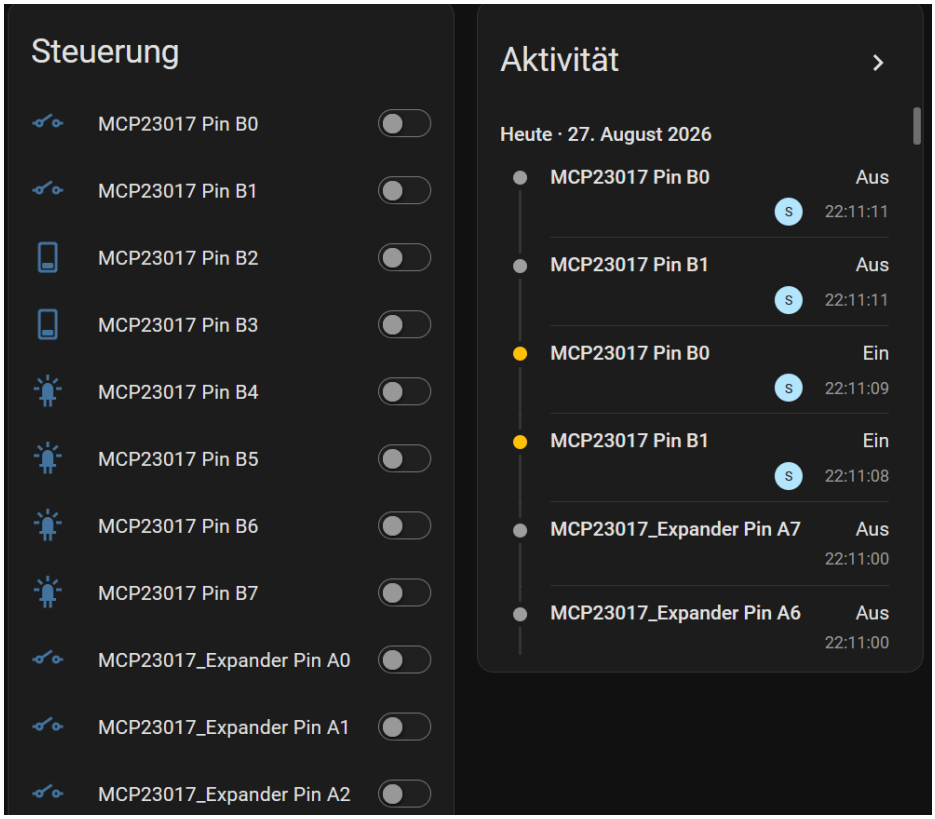


Abbildung 34 Ansicht nach Integration in Home Assistant

7.10 Anwendungsbeispiel

Wenn der Sensor Print zusammen mit einem Aktor Print verwendet wird, eröffnen sich neue Möglichkeiten. Ein Beispiel wird anhand eines Praxisbeispiels demonstriert. Die Idee dahinter ist aufgrund eines Sicherheitshinweises von einem E-Scooter entstanden. Der Sicherheitshinweis ist in Abbildung 35 Auszug aus dem Benutzerhandbuch, Seite 16 ersichtlich.

> Setzen Sie die Batterie keinen Temperaturen über 50 °C oder unter -20 °C aus (lassen Sie den Roller beispielsweise nicht längere Zeit direkt in der Sonne stehen bzw. lassen Sie die Batterie beispielsweise nicht in einem Auto liegen, das in der Sonne steht.) Werfen Sie das Batterie-Pack nicht ins Feuer; andernfalls kann die Batterie versagen, überhitzen oder einen weiteren Brand entfachen. Wenn der Roller länger als 30 Tage nicht gefahren wird, laden Sie die Batterie vollständig auf und stellen Sie das Fahrzeug an einem trockenen und kühlen Ort ab. Laden Sie die Batterie alle 60 Tage neu auf, um sie vor Beschädigungen zu schützen, die nicht mehr von der Garantie abgedeckt sind.
>
> Der Roller darf ausschließlich mit Original-Akkus verwendet werden und das Laden des Rollers darf ausschließlich mit dem im Lieferumfang des Rollers enthaltenen Original-Ladeadapter (oder einem sonstigen herstellerseitig als kompatibel zugelassenen Akkumodell oder Ladeadaptermodell) durchgeführt werden.
>
> Laden Sie die Batterie vor jedem Gebrauch auf, um ihre Nutzungsdauer zu maximieren. Das Batterie-Pack erbringt eine höhere Leistung bei normalen Temperaturen; unter 0 °C sinkt die Leistung. Ab -20 °C ist die Reichweite beispielsweise nur noch halb so groß oder kleiner als bei Normaltemperatur. Sobald die Temperatur ansteigt, wird wieder die gewohnte Reichweite erreicht. Weitere Informationen finden Sie in der Mi Home-/Xiaomi Home-App.
>
> Das externe flexible Kabel dieses Transformators kann nicht ausgetauscht werden; falls das Kabel beschädigt wird, muss der Transformator entsorgt und durch einen neuen ersetzt werden.

Abbildung 35 Auszug aus dem Benutzerhandbuch, Seite 16

Wie in Abbildung 35 ersichtlich, soll der Scooter alle 60 Tage und bei Nichtbenutzung von mehr als 30 Tagen, aufgeladen werden. Dies müsste z.B. in einem Keller von Hand erledigt werden. Durch eine Automatisierung und der Verwendung von den Leiterplatten, könnte der E-Scooter dauerhaft eingesteckt bleiben und die Spannungsversorgung über Automationen Ein oder Aus geschalten werden.

7.10.1 Planung

Das Praxisbeispiel soll in einem Schaltschrank untergebracht werden, der genügen Platz aufweist, um die verwendeten Komponenten einzubauen. Um die Grösse des Schaltschranks sauber bestimmen zu können, wird ein Schema benötigt, dass alle Komponenten beinhaltet. Zusätzlich müssen Gehäuse für die Leiterplatten gezeichnet werden, um diese auf einer DIN-Schiene im Schaltschrank montieren zu können. [25]

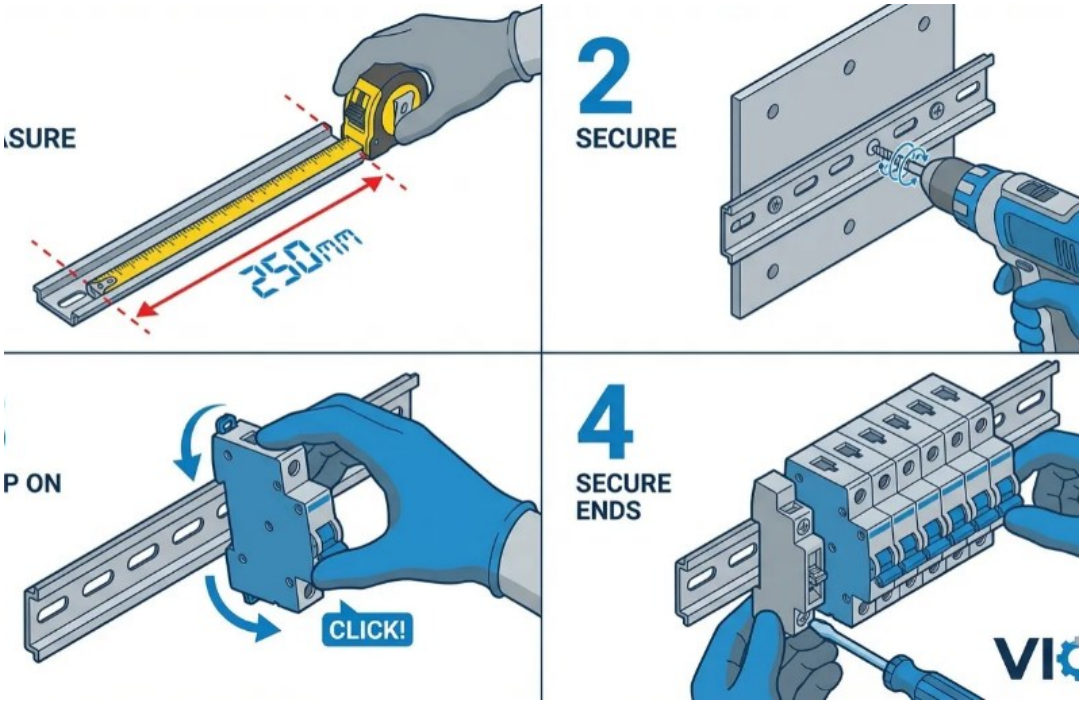


Abbildung 36 Verwendungsbeispiel einer DIN-Schiene

DIN-Schienen sind kosteneffiziente und standardisierte Produkte, die von vielen Produkthersteller unterstützt werden und bieten einen festen Halt für alle Komponenten im Schaltschrank.

7.10.2 Gehäuse & Kabelkanal Deckel Zeichnen

Im KiCad können die Leiterplatten als STL Datei[26] exportiert werden. Diese Datei kann in ein CAD Programm importiert werden um ein Gehäuse anhand der realen Grössenbedingungen zu zeichnen. Dazu wurde FreeCAD[27] verwendet. FreeCAD ist ein weiteres Open-Source Tool, dass gratis verfügbar ist und im Vergleich mit einem bezahlten CAD wie SolidWorks[28] für unseren Anwendungsbereich mehr als ausreichend mit Funktionen ausgestattet ist.

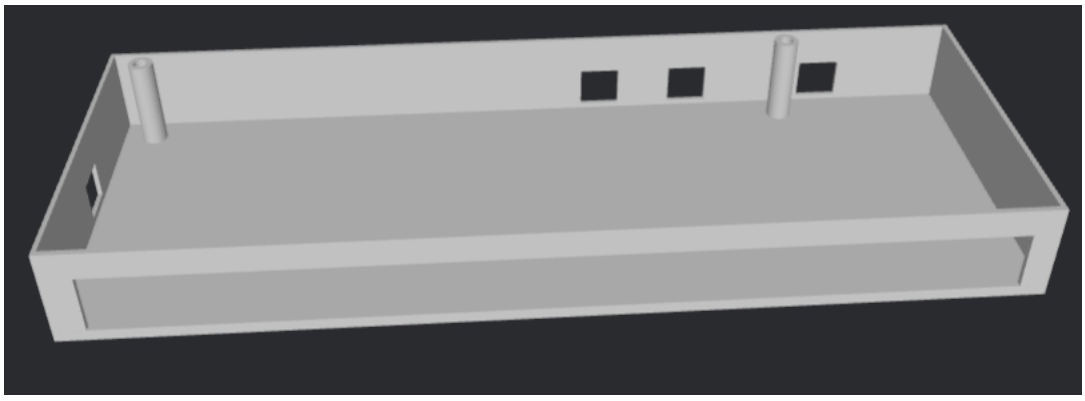


Abbildung 37 Gehäuse für RelaisExpander Print

7.10.2.1 DIN-Schienen Befestigung

Um die Befestigung auf der DIN-Schiene zu gewährleisten, wurde auf MakerWorld[29] eine DIN-Schienenhalterung gesucht und gefunden, welche via Sekundenkleber an das Gehäuse geklebt wurde.
Die Datei läuft unter der «Creative Commons Attribution Share Alike Lizenz»[30].

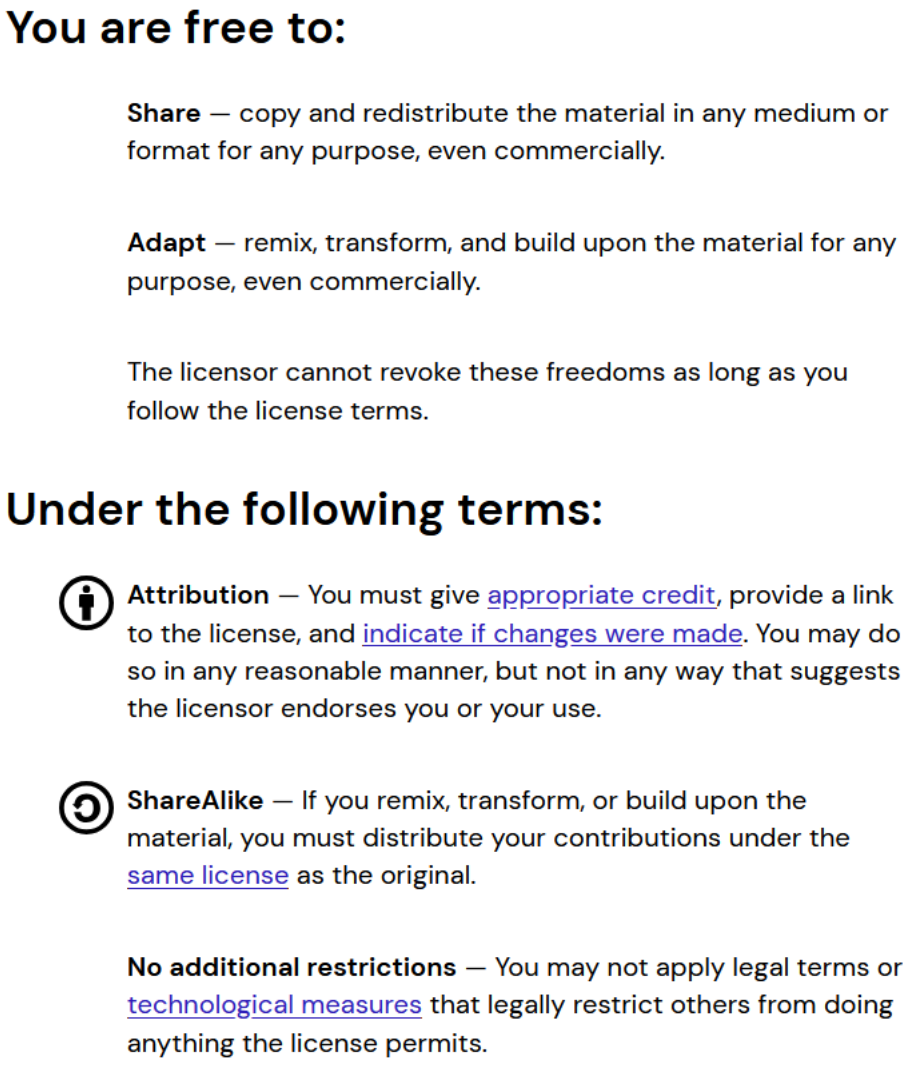


Abbildung 38 Lizenzerklärung

Mehr zu diesem Thema ist in der Danksagung vermerkt.

7.10.2.2 Kabelkanal Deckel zeichnen

Die Firma Neuberger hat grosszügigerweise, einen Kabelkanal mit 2 Meter Länge zur Verfügung gestellt. Jedoch ist in ihrem Lager kein Deckel dafür verfügbar. Deshalb wurde mit FreeCAD ein neuer Deckel gezeichnet.

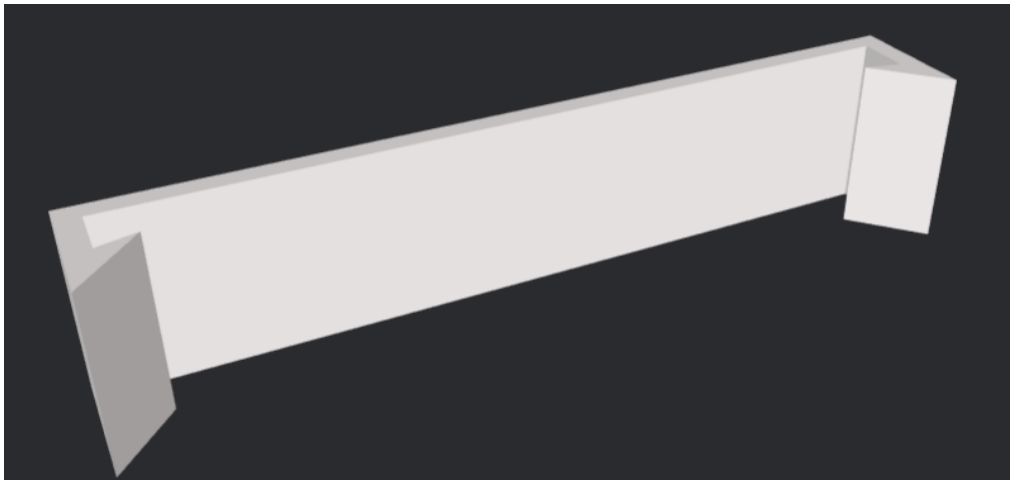


Abbildung 39 Gezeichneter Kabelkanal

7.10.3 Schema Zeichnen

Das Schema wurde mit dem Open-Source-Programm QElectroTech[31] gezeichnet. QElectroTech wird unter der GNU/GPL Lizenz[32] vertrieben und ist ein Open-Source Programm, das auf Windows, Linux und Mac funktioniert. Das komplette Elektro-Schema ist im Anhang ersichtlich.

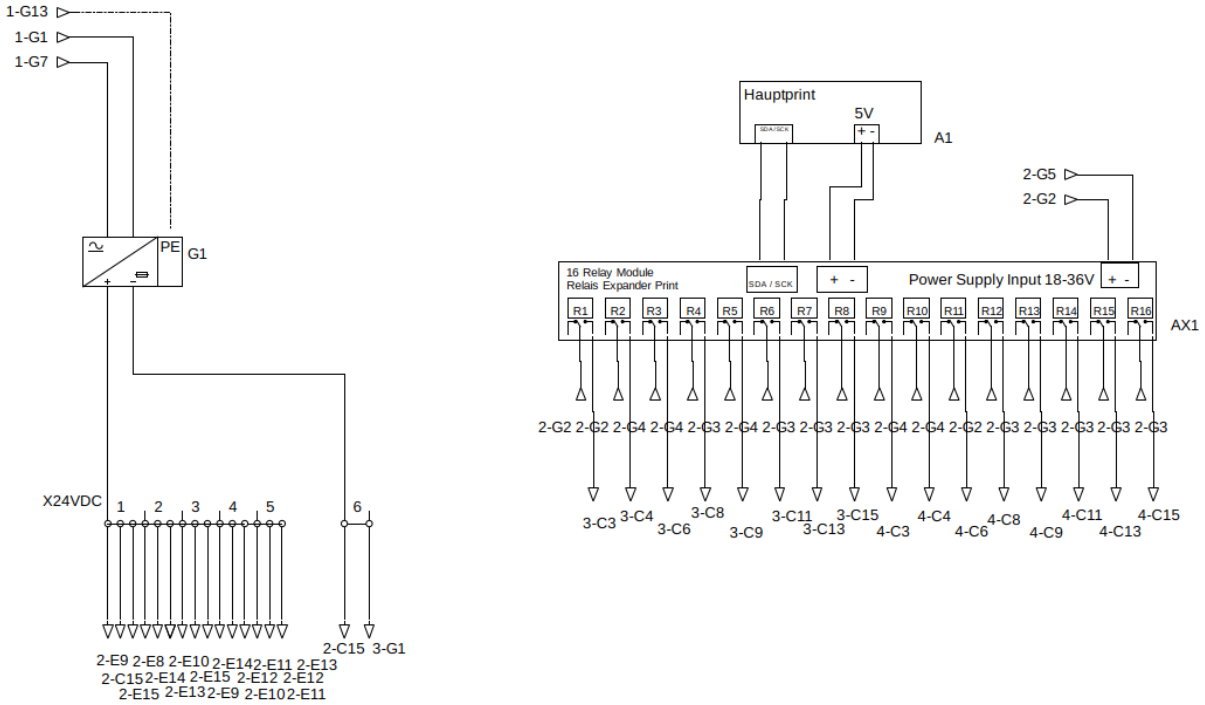


Abbildung 40 Auszug aus Schema Praxisbeispiel

7.10.4 Schaltschrank Inbetriebnahme

Beim Zusammenbau des Schaltschranks wurde nach Schema verdrahtet und mit einem Isolationsmessgerät ausgemessen und kontrolliert. Die zulässige Last an den verbauten Finder Installationsschützen Typ 22.32[33] beträgt nach Datenblatt 25A.

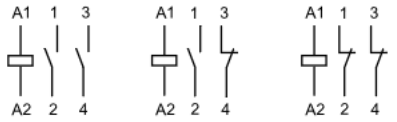
	22.32.0.xxx.xxx0	
	U_N (12-24-48-60-120-230)V AC (50/60 Hz) / DC U_{min}- U_{max} (0.8-1.1)U_N P 2 VA / 2.2 W	
	 **22.32...x3x0** **22.32...x5x0** **22.32...x4x0**	
	25 A 440 V AC (EN 61095)	
	AC1 / AC-7a (250 V)	6250 VA
	AC3 / AC-7b	10 A
	AC5a (250 V)	15 A
	AC15 (230 V AC)	1800 VA
	M (230 V AC)	1 kW
	DC1 (24/110/220)V	(25/5/1)A
	AC-7c	- (10 A - **22.32...4xx0**)
		800 W (2000 W - **22.32...4xx0**)
		300 W (800 W - **22.32...4xx0**)
	CFL–LED	100 W (200 W - **22.32...4xx0**)
	(–25...+50)°C	
	IP20	

Abbildung 41 Technische Eigenschaften Finder Typ 22.32

Die 25A beziehen sich jedoch auf DC-1: nicht induktive oder schwach induktive Last und Widerstandsöfen, nicht direkt auf unser Anwendungsgebiet. Die relevante Gebrauchskategorie für dieses Projekt bezieht sich unteranderem auf AC-7b: Motorlasten für Haushaltsanwendungen[34].

7.10.5 Projektabschluss Praxisbeispiel

Der gebaute Schaltschrank funktioniert seit über 2 Wochen Stabil und steuert aktuell eine Büroräumlichkeit. Die eingebauten Installationsschützen weisen eine hohe Zuverlässigkeit auf. Das Metall Gehäuse dämpft nur das W-Lan Signal und wirkt nicht als kompletter faradayscher Käfig. Sollte in naher Zukunft dies zum Problem werden, kann immer noch ein LAN-Chip zur Leiterplatte hinzugefügt werden.

Die verwendeten Automationen in Home Assistant starten per Wake on Lan einen Rechner, wenn die zugehörige Steckdose eingeschalten wird. Die zugehörigen Monitore werden über eine zweite Steckdose geschalten, da die Monitore zusätzlich mit einer Dockingstation verbunden sind und nicht mit dem Rechner zusammen verwendet werden müssen.

Im Schaltschrank befindet sich das Schema und die Datenblätter für die Installationsschützen. Sodass bei einer zukünftigen Änderung, direkt sämtliche Informationen zur Verfügung stehen.



Abbildung 42 Praxisbeispiel Schaltschrank

7.10.6 Kostenpunkt

Das Praxisbeispiel ist nicht günstig. Es hat aber einen erheblichen Vorteil gegenüber marktüblichen Lösungen. Im Vergleich mit den geschalteten Steckdosen von IKEA, den E1902 TRÅDFRI Control Outlet, unterscheiden sich die Endresultate nicht. Beide können Steckdosen schalten. Jedoch ist in keinem Datenblatt von IKEA ersichtlich, zu welcher Gebrauchskategorie die Steckdosen verwendet, werden können[35]. IKEA rät nur davon ab diese bei z.B. einer Waschmaschine zu verwenden, da die Relais dann einen höheren Verschleiss aufweisen können.

Tabelle 1 Kostenpunkt Praxisbeispiel

Referenz	Anzahl	Bauteil	Kosten in CHF
A1	1x	Hauptprint	40.27
AX1	1x	Relais Expander Print	87.82
F1	1x	Sicherung 10A	8.00
G1	1x	Netzteil 24V DC	30.00
X1-16	16x	Steckdosen	88.80
K1-16	16x	Installationsschützen	310.10
Diverses	1x	Klemmen, Kabelkanal, DIN-Schiene	20.00
Gehäuse	1x	Schaltschrank	123.95
##			
Gesamtkosten Praxisbeispiel			**708.94 CHF**

Im Vergleich würde die gleiche Lösung von IKEA mit Fernbedienung, 13.00 Franken pro Stück Kosten. Dies verursacht bei 16 Steckdosen, Kosten in Höhe von 208 Franken. Das ist ein Unterschied von 500 Franken. Ob sich die Differenz lohnt, zeigt die Zukunft. Sobald z.B. Integrationen von IKEA nicht mehr in Home Assistant kompatibel sind oder wenn die ersten Steckdosen nach einigen Jahren ersetzt werden müssen.

7.11 Hauptprint Version 1.0

Die Version 1.0 beinhaltet sämtliche Verbesserungen die in der vorhergehenden Version 0.1 im Kapitel 7.6 festgestellten Probleme oder mögliche Erweiterungen, die im Laufe der Arbeit aufgekommen sind.

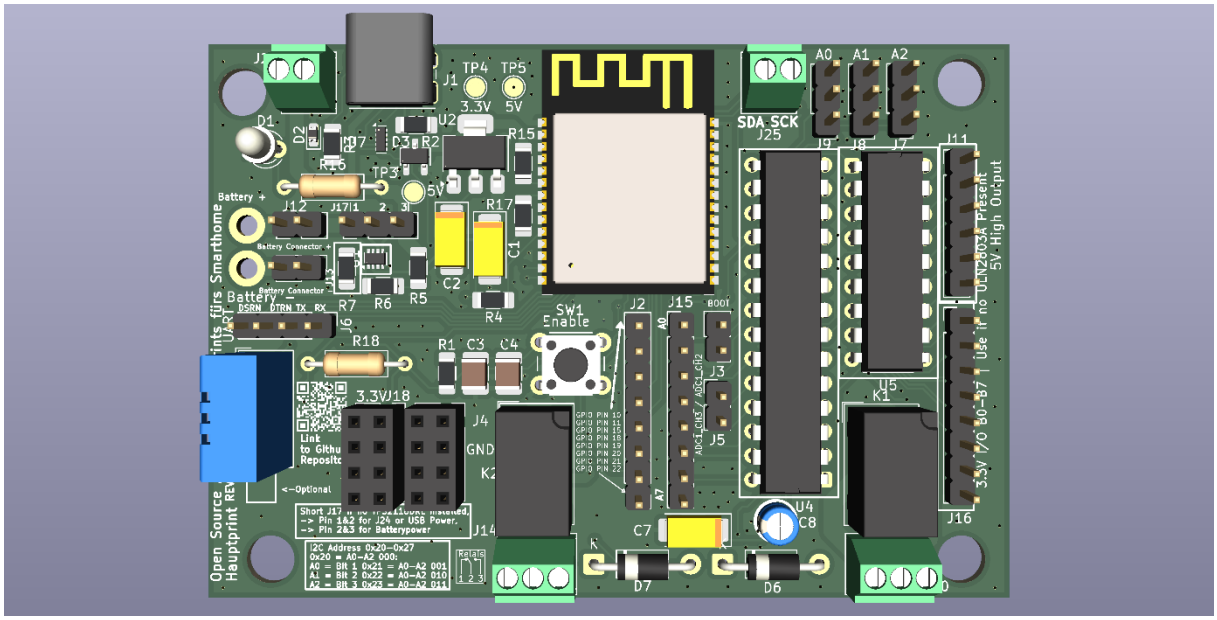


Abbildung 43 Hauptprint V1.0 Release Version

7.11.1 ESP-Home Konfiguration

Mithilfe des Konfigurators in ESP-Home können die verwendeten Komponenten bzw. Funktionen gesucht und via Mausklick automatisch hinzugefügt werden.



Abbildung 44 Ausschnitt aus ESP-Home Konfiguration

Im Falle des MCP2317 Baustein, müssen wir die Ausgänge selbstständig konfigurieren. Die Integrationen erleichtern einiges, jedoch muss noch selbständig Hand angelegt werden, um alle vorhandenen Funktionen zu verwenden.

7.11.2 Funktionstest

Die Spannungen sind alle Vorhanden und in den benötigten Toleranzen. Die Relais lassen sich Ansteuern und die I²C-Adresse des I/O Multiplexers lässt sich variabel einstellen. Der verbaute DHT11 liefert plausible Temperatur- und Feuchte-Werte. Der Webserver läuft stabil und der Verbindungsaufbau mit dem WLAN dauert weniger als 3 Sekunden nach Boot. Das Updaten via ESP-Home Dashboard läuft ohne Probleme.

Die Wifi-Reichweite sollte bis ca. 300 Meter in freiem Gelände Betragen.[36]
Dieser Test wurde anhand eines stationären Routers und der weitesten Entfernung, an deren der Print noch im Netzwerk Ansprechbar und Aktionen durchgeführt werden können, getestet und die Distanz abgemessen. Anhand von Google Maps konnte die ungefähre Reichweite auf ca. 240 ± 20 Meter bestimmt werden. Die Abweichung von ca. 20 Meter ergibt sich aus der Ungenauigkeit vom GPS.[37]

	WLAN 2,4 GHz	WLAN 5 GHz	Bluetooth®
Datendurchsatz	++	++	-
Robustheit	-	+	++
Reichweite	50 bis 300m	50 bis 300m	10 bis 300m
Lokale Systemdichte	-	-	+
Roaming	++	++	-
Große Netzwerke	++	++	-
Niedrige Latenz	-	-	++
Geschwindigkeit Verbindungsaufbau	+	+	-
Stromverbrauch	-	-	+

Abbildung 45 Wi-Fi Reichweite

7.11.3 Messungen

Im Folgenden Kapitel wird die Wärmeentwicklung der Leiterplatte und die Qualität der gewandelten Gleichspannungen, inklusive der Einspeisung via USB behandelt.

Das verwendete Oszilloskop ist ein RIGOL 1054z.[38]

Die Wärmebildkamera ist eine Bosch Professional GTC 600C.[39]

Als Multimeter wurde ein Fluke 179 eingesetzt[40].

7.11.3.1 Stromverbrauch

Der Hauptprint hat einen geringen Stromverbrauch:

- Beim Start: ca. 100mA
- Betrieb: ca. 70mA
- Sleep Mode: ca. 200µA bis 1mA
    - Bei einer 750mAh Batterie beträgt die theoretische Laufzeit ungefähr einen Monat.
    - Standard Li-Ion Akkus haben ca. 3450mAh was ca. 4-5 Monate Laufzeit bedeutet.

$$theoretische\ Laufzeit = \frac{Nennkapazität}{Verbrauch}$$

7.11.3.2 Temperatur

Jeder stromdurchflossene Leiter erzeugt Wärme aufgrund des Widerstandes. Dies ergibt die Leistung und berechnet sich wie folgt: $P = I^2 * R$

Durch die Möglichkeit, Zugriff auf eine Wärmebildkamera zu haben, wurde diese genutzt, um die Temperatur im ausgeschalteten und danach im Betriebszustand zu messen, anstelle einer Berechnung.

Messbereich*	-20 °C bis +600 °C
Messgenauigkeit IR*	± 2,0 °C
Auflösung	0.1 °C

Abbildung 48 Messgenauigkeit Wärmebildkamera

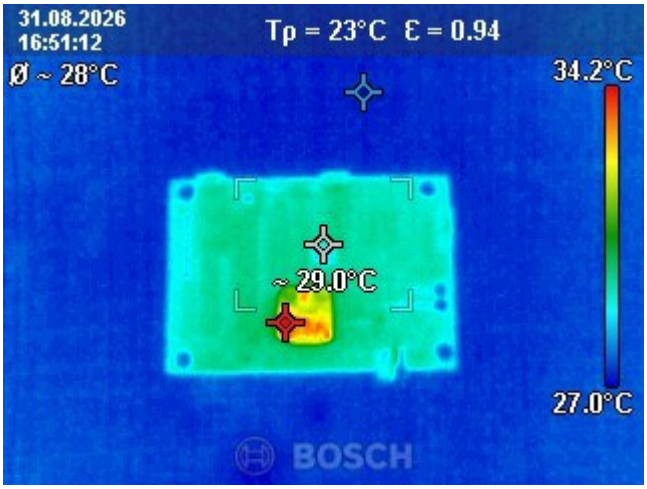


Abbildung 46 Wärmebild kalter Zustand



Abbildung 47 Wärmebild nach 2 Minuten Betrieb

Die Bilder zeigen deutlich, dass die wärmsten Komponenten, der Spannungswandler und Powermux ist. Die höchste Temperatur beträgt 35.7 ± 2.0°C.

Die Temperatur hat sich auch nach 10 Minuten nicht verändert und kann als Betriebstemperatur angesehen werden.

7.11.3.3 Oszilloskop

Via Oszilloskop wurden die Spannungsversorgung und die Busqualität gemessen.

Die Qualität der 5V Spannungsversorgung hat einen Einfluss auf die 3.3V Versorgung. Um eine sehr schlechte Spannungsversorgung dennoch nutzbar zu machen, müsste auf den Leiterplatten mehr Filter eingesetzt werden. Dies trifft aber bei einem USB-Netzteil selten zu.

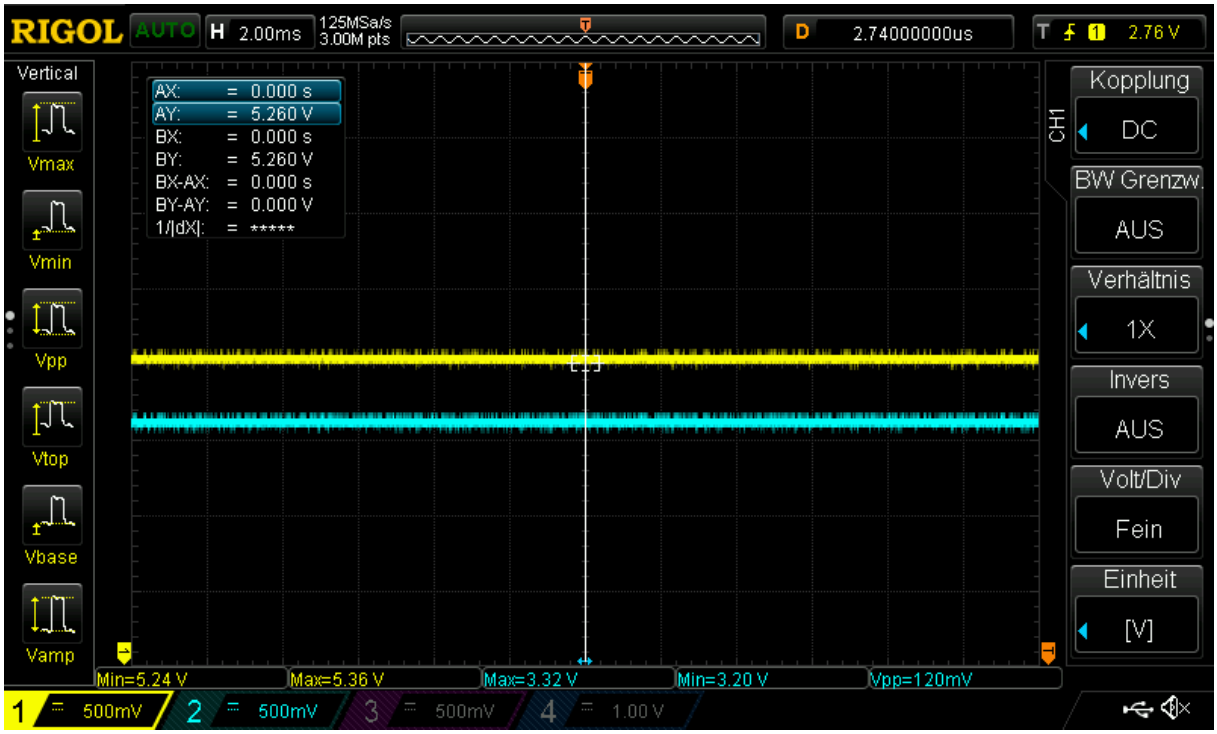


Abbildung 49 Spannungsversorgung 5V und 3.3V mit USB-Netzteil

In der Abbildung 50 ist zu erkennen, welchen Einfluss die Spannungsversorgung auf die Qualität des I^2C Busses hat. Dies ist besonders auffällig, wenn es mit der Busqualität vom Praxisbeispiel verglichen wird. Siehe Abbildung 51.

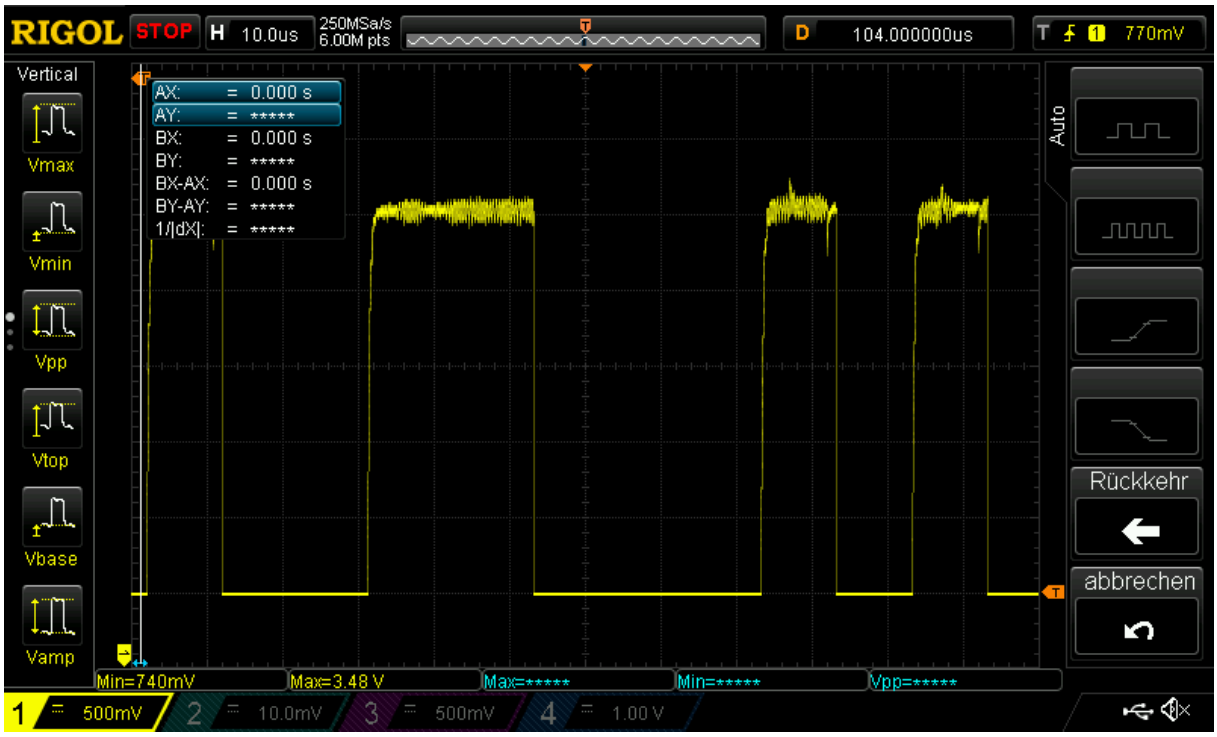


Abbildung 50 I²C Einfluss Spannungsversorgung

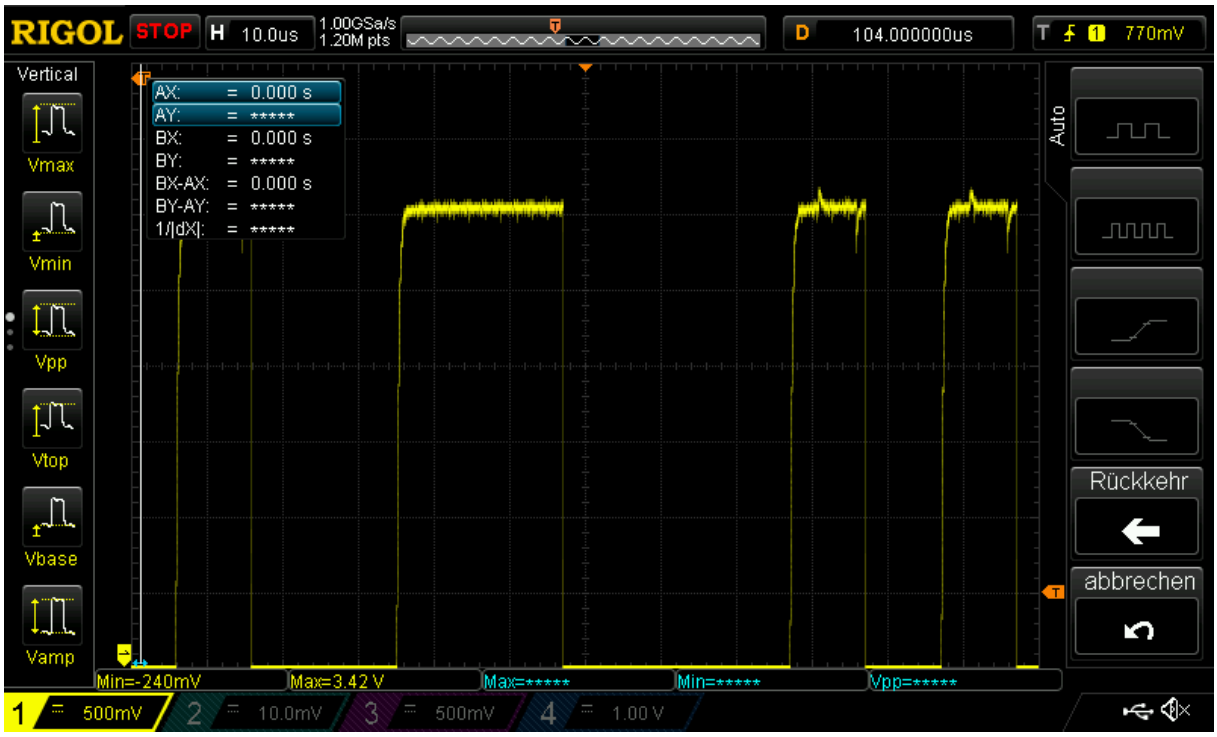


Abbildung 51 I²C Einfluss Spannungsversorgung Praxisbeispiel

7.11.4 Kosten

Die Kosten für die Leiterplatten sind in der folgenden Tabelle auf eine Leiterplatte heruntergerechnet. Der Preis ist aber immer davon abhängig wie viele Komponenten bestellt werden, der Preis kann bis zu 1/3 des Einzelstückpreises betragen.

MENGE	STÜCKPREIS	GESAMTPREIS
1	1.11000 $	1.11 $
10	0.69400 $	6.94 $
50	0.51240 $	25.62 $
100	0.45350 $	45.35 $
500	0.34992 $	174.96 $

Abbildung 52 Beispielbild einer Preisreduzierung aufgrund der Menge

Tabelle 2 Kostenübersicht Hauptprint

Referenz	Anzahl	Bauteil	Kosten in CHF
C1	1x	10 µF Tantal-Kondensator (CP)	0.48
C2	1x	22 µF Tantal-Kondensator (CP)	0.52
C3	1x	1 µF Keramikkondensator (1210)	0.12
C4	1x	0.1 µF Keramikkondensator (1210)	0.10
C7	1x	100 nF Tantal-Kondensator (CP)	0.44
C8	1x	10 µF Elektrolytkondensator (radial)	0.08
D1	1x	LED 3 mm	0.12
D2	1x	ESD441 TVS-Diode (TI)	0.08
D3	1x	Zenerdiode 3.9V (TSOT-23)	0.16
D6, D7	2x	1N4007 Diode	0.10
J1	1x	USB-C Buchse (GCT USB4085-GF-A)	0.73
J10, J14	2x	Schraubklemme 3-Pol, 2.54mm	1.73
J24, J25	2x	Schraubklemme 2-Pol, 2.54mm	1.16
K1, K2	2x	Relais Omron G5V-1 (5V)	2.20
R1, R4, R7	3x	Widerstand 10k (1206)	0.09
R15, R17	2x	Widerstand 2.2k (1206)	0.09
R16	1x	Widerstand 300R (axial)	0.08
R18	1x	Widerstand 4.7k (axial)	0.08
R2, R3	2x	Widerstand 5.1k (1206)	0.09
R5, R6	2x	Widerstand 2.5k (1206)	0.09
SW1	1x	Taster 6mm	0.12
U1	1x	TPS2116DRLR (TI, Power-Mux)	0.64
U2	1x	AMS1117-3.3 (SOT-223)	0.08
U3	1x	DHT11 Sensor	2.02
U4	1x	MCP23017-E/SP (DIP-28)	1.36
U5	1x	ULN2803A (DIP-18)	1.94
U6	1x	ESP32-C6-WROOM-1-N8	2.30
U7	1x	TPD4E02B04DQAR (TI, ESD-Schutz)	0.89
Diverses	1x	Stiftleisten	1.38
##########			
Leiterplatte	1x	Mindeststückzahl: 5 für 5.-	1.00
Lieferkosten	1x	Geschätzte Lieferkosten	20.00
Gesamtkosten pro Leiterplatte			**40.27 CHF**

Der finale Preis ist abhängig davon wie viele Leiterplatten überhaupt gebraucht werden und ob diverse Komponenten, die Optional sind, weggelassen werden. Dadurch kann eine zusätzliche Einsparung von bis zu 10 Franken erzielt werden.

7.12 Relais Expander Print Version 1.0

Der Relais Expander Print hat sich zu Version 0.1 um Kleinigkeiten verbessert. Die Revision 0.1 wurde bereits sehr kompakt ausgearbeitet, was dazu führte, dass nur kleinere technische Anpassungen gemacht werden mussten. Zusätzlich gab es noch kleinere Beschriftungen die angepasst oder geändert werden mussten.

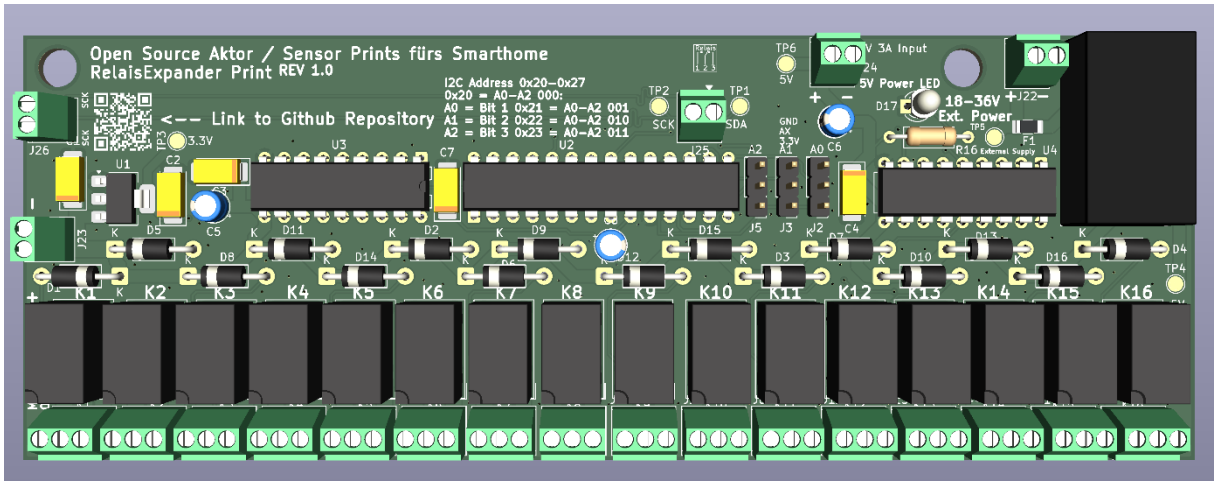


Abbildung 53 RelaisExpander V1.0 Release Version

7.12.1 Funktionstest

Die Leiterplatte wird mit 18-36 Volt oder mit 5V verbunden und via dem Hauptprint angesteuert. Der Hauptprint wird direkt über den J23 Header mit Spannung versorgt.

Die Relais schalten von links nach rechts alle der Reihe nach Ein und lassen sich auch wieder ausschalten. Die Ansteuerung funktioniert auch nach mehrmaligen Zyklen. Die Spannungsversorgung bleibt stabil und bricht nicht zusammen, wenn alle Relais gleichzeitig schalten.

Durch die vorhandenen Adressier-Pins, könnten bis zu 8 Leiterplatten aneinandergehängt werden. Dies wurde mit drei Leiterplatten überprüft, ob mehrere Leiterplatten zusammen funktionstauglich sind. Da es technisch gesehen schon zwei MCP23017 Bausteine auf Aktor und Sensor-Print beinhaltet, war das Ergebnis vorhersehbar.

7.12.2 Messungen

Im folgenden Kapitel werden Messungen durchgeführt.
Das Verwendete Oszilloskop ist ein RIGOL Ds1054z.[38]

7.12.2.1 Speisung

Die Spannung vom selbstgebauten Labornetzteil hat einen Jitter von 200mV.
Dies ist eine sehr geringe Hysterese und als Referenz ausreichend.

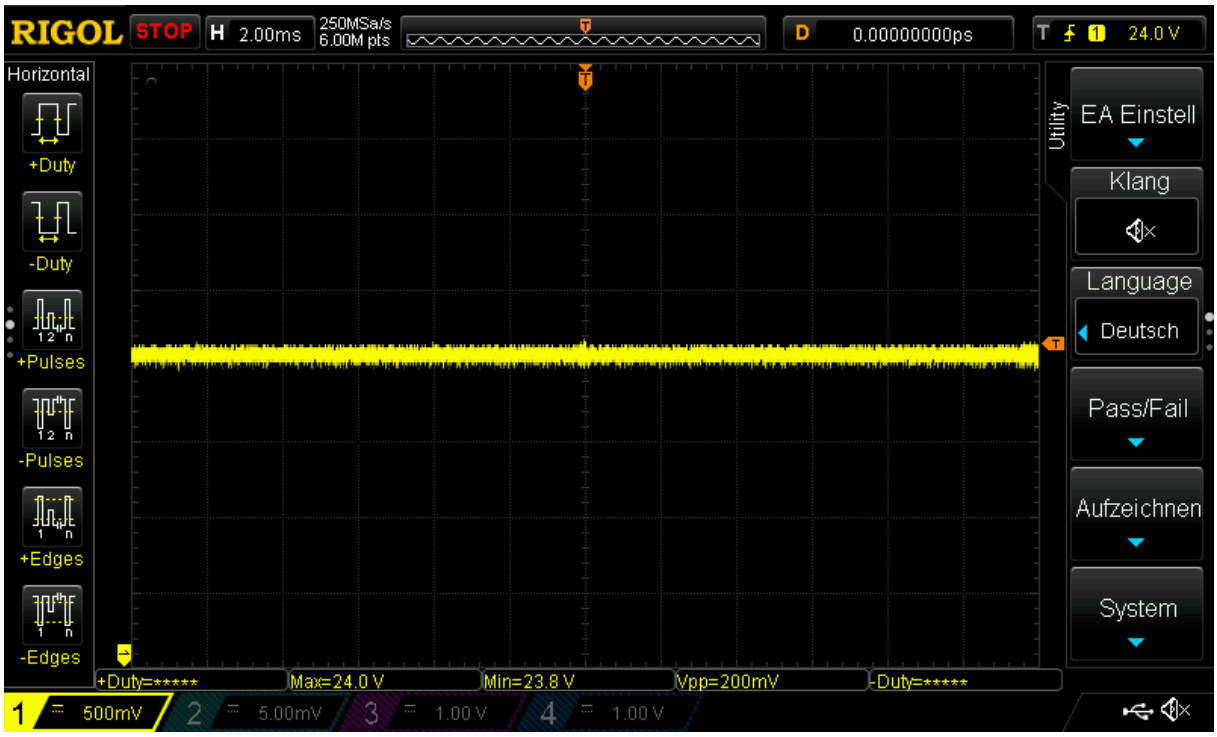


Abbildung 54 24V Speisung Jitter

7.12.2.2 5.1V Spannungsversorgung von TEL15-2411

Der TEL15-2411 DC/DC Wandler von Traco Power, wird laut Datenblatt ohne Kondensatoren verwendet. Die Jitter Spannung von 520mV liegt bei all unseren Komponenten in der Toleranz und ist laut Datenblatt eine erwartbare Abweichung. Dies könnte optimiert werden, ist aber in diesem Anwendungsfall nicht notwendig. Da die folgenden Komponenten bereits Kondensatoren zur Signalfilterung verwenden.

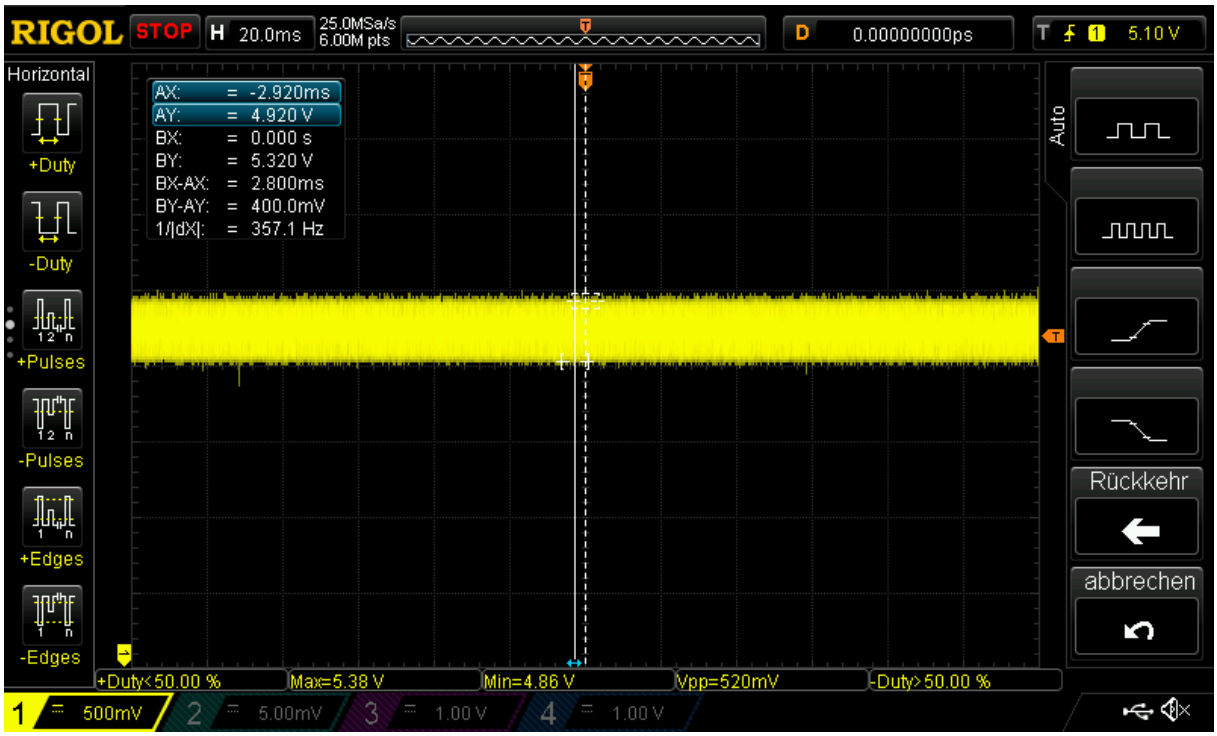


Abbildung 55 5.1V Jitter

7.12.2.3 3.3V Spannungsversorgung von AMS1117

Die 3.3V Spannungsversorgung für die ICs weisen einen Jitter von 460mV auf. Dies, bei einer Abtastrate von 200 µS.

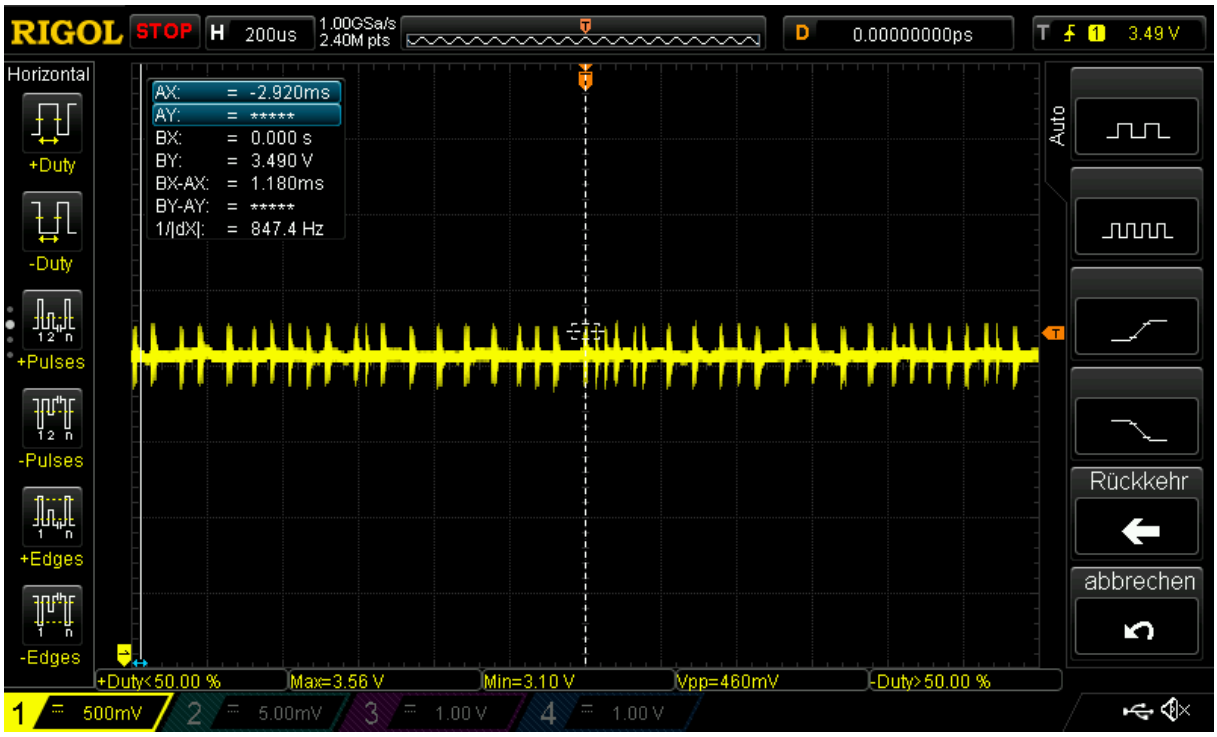


Abbildung 56 3.3V Jitter

Das wirkt zuerst hoch, wenn wir jedoch direkt an den ICs-Messen, wo zusätzliche Kondensatoren zugeschalten wurden, sehen wir die Filterfunktionen der in parallel geschalteten Kondensatoren. Dabei kann festgestellt werden, dass von einer Vpp (Peak zu Peak) von 460mV auf 380mV gefiltert wurde.

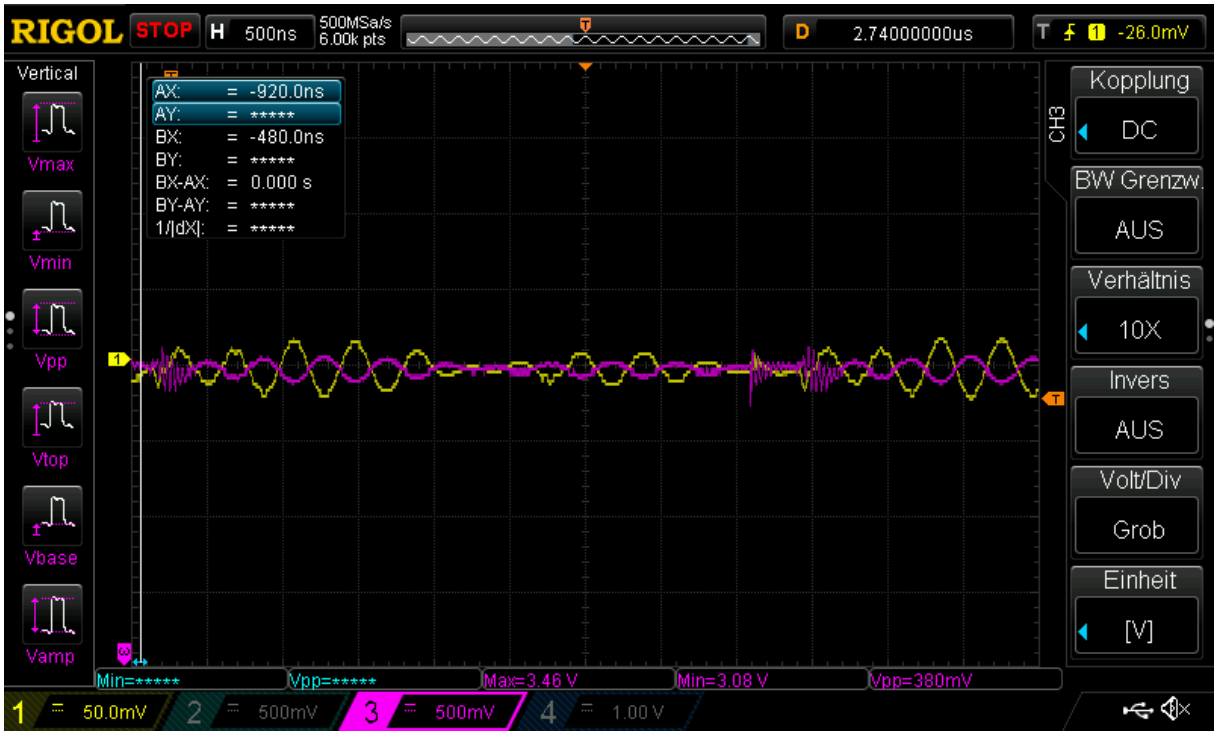


Abbildung 57 IC-Spannungsversorgung direkt an Pin (Violett) zu 5.1V Spannungsversorgung für AMS1117 (Gelb)

7.12.2.4 Versuch mit Extra-Filterung

Aus Kapitel 7.12.2.2 lässt sich resultieren, dass an der Spannungsversorgung noch weitere Kondensatoren benötigt werden könnten. Deshalb wurde die 5.1V Spannungsversorgung mit zwei zusätzlichen Kondensatoren (22uF Keramik- und 10uF Elektrolyt-Kondensator) ausgestattet, um zu sehen, welche Auswirkungen diese auf die Signalqualität haben. Es wurde jedoch als nicht relevant genug eingestuft.

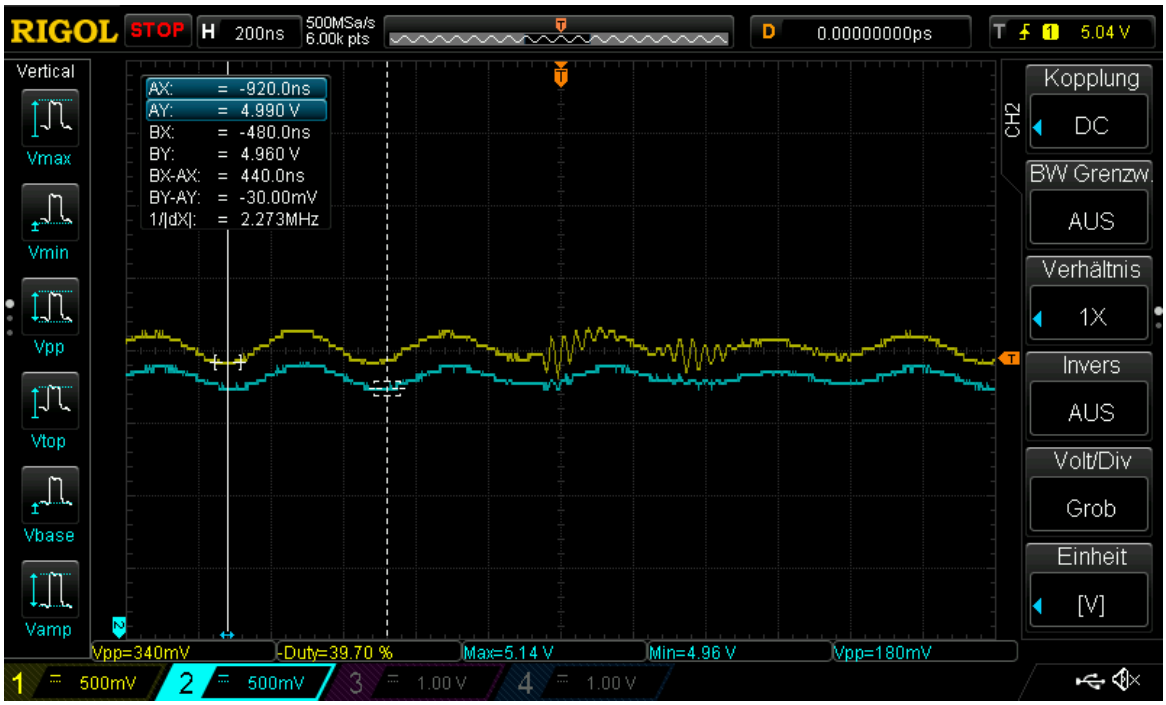


Abbildung 58 Gelb 24V Jitter im Vergleich mit 5.1V Jitter mit extra Kondensatoren (Blau)

7.12.3 Kostenpunkt

Die Kosten für die Leiterplatten sind in der folgenden Tabelle auf eine Leiterplatte heruntergerechnet. Der Preis ist aber immer davon abhängig wie viele Komponenten bestellt werden, der Preis kann bis zu 1/3 des Einzelstückpreises betragen

Tabelle 3 Kostenpunkt Aktor-Print

Referenz	Anzahl	Bauteil	Kosten in CHF
C1, C5, C6, C8	4x	10 µF Tantal-Kondensator (CP)	0.48
C2	1x	22 µF Tantal-Kondensator (CP)	0.52
C3, C4, C7	3x	100 nF Tantal-Kondensator (CP)	0.44
D1 - 16	16x	1N4007 Diode	0.10
D17	1x	LED 3 mm	0.12
F1	1	Sicherung (1206)	0.20
J6, J7, J8, J9, J10, J11, J12, J13, J14, J15, J16, J17, J18, J19, J20, J21	16	Schraubklemme 3-Pol, 2.54mm	13.84
J24, J25	4x	Schraubklemme 2-Pol, 2.54mm	2.32
K1-16	16x	Relais Omron G5V-1 (5V)	17.60
PS1	1x	Traco Power TEL15-2411	25.00
R16	1x	Widerstand 300R (axial)	0.08
U2	1x	AMS1117-3.3 (SOT-223)	0.08
U4	2x	MCP23017-E/SP (DIP-28)	2.72
U5	1x	ULN2803A (DIP-18)	1.94
Diverses	1x	Stiftleisten	1.38
##########			
Leiterplatte	1x	Mindeststückzahl: 5 für 5.-	1.00
Lieferkosten	1x	Geschätzte Lieferkosten	20.00
Gesamtkosten pro Leiterplatte			**87.82 CHF**

Die teuersten Komponenten sind die Relais und der DC/DC Wandler von Traco. Es ist nicht gelungen günstigere und gleichwertige Komponenten zu finden, es ist aber möglich den DC/DC Wandler wegzulassen und ein genügend starkes 5V Netzteil zu verwenden.

8 EMV / EMI

«EMV-gerechtes Leiterplattendesign: Alles andere als schwarze Magie» Artikel, Zuken [41]

8.1 Wie entsteht EMI

EMI entsteht durch vier Hauptursachen, die beim Leiterplatten Design beachtet werden müssen, da diese zu ungewollten Störungen führen können. Dadurch werden Messungen, Antennensignale oder Regelungen beeinflusst, obwohl der eigentliche Aufbau funktionieren würde.

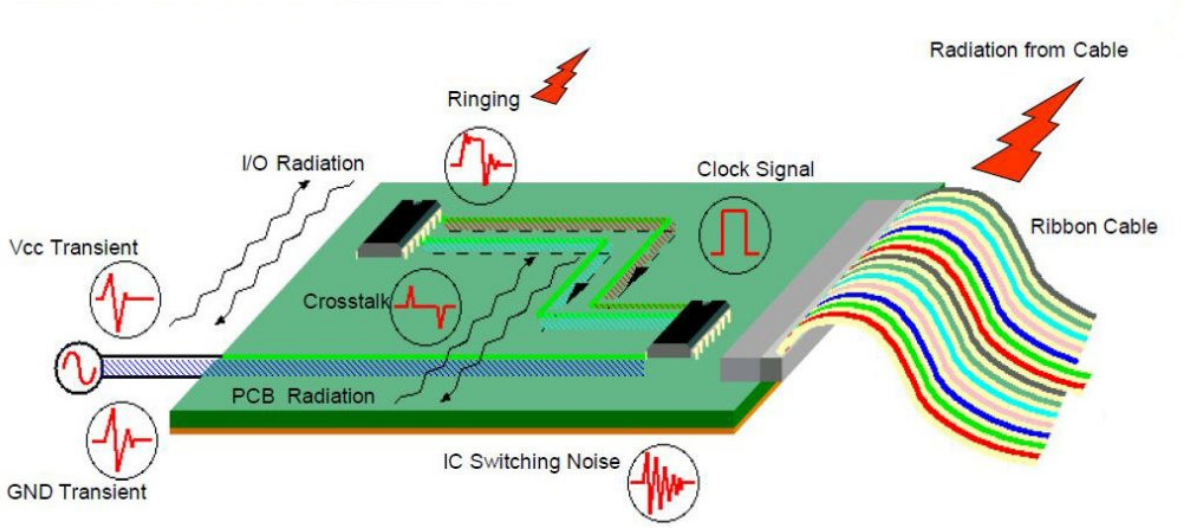


Abbildung 59 EMI auf einem PCB-Beispiel

8.1.1 Antennen Effekt durch Stromschleifen

Jeder stromdurchflossene Leiter strahlt ein kleines Feld ab. Dies führt bei Leiterplatten teilweise zu ungewollten Effekten, da jeder kleine Einfluss auf die Schaltung einen Effekt hat oder haben könnte. Dies ist besonders relevant bei Hochgeschwindigkeits-Signalen. Dieses Feld kann durch z.B. eine Masse-Fläche verkleinert werden. Da die Feldlinien, wie in Abbildung 60 ersichtlich, auf die naheliegenden Bahnen geleitet werden. Dies beschreibt eine Lösung und zusätzlich das nächste Problem, siehe dazu Kapitel 8.1.3. [42]

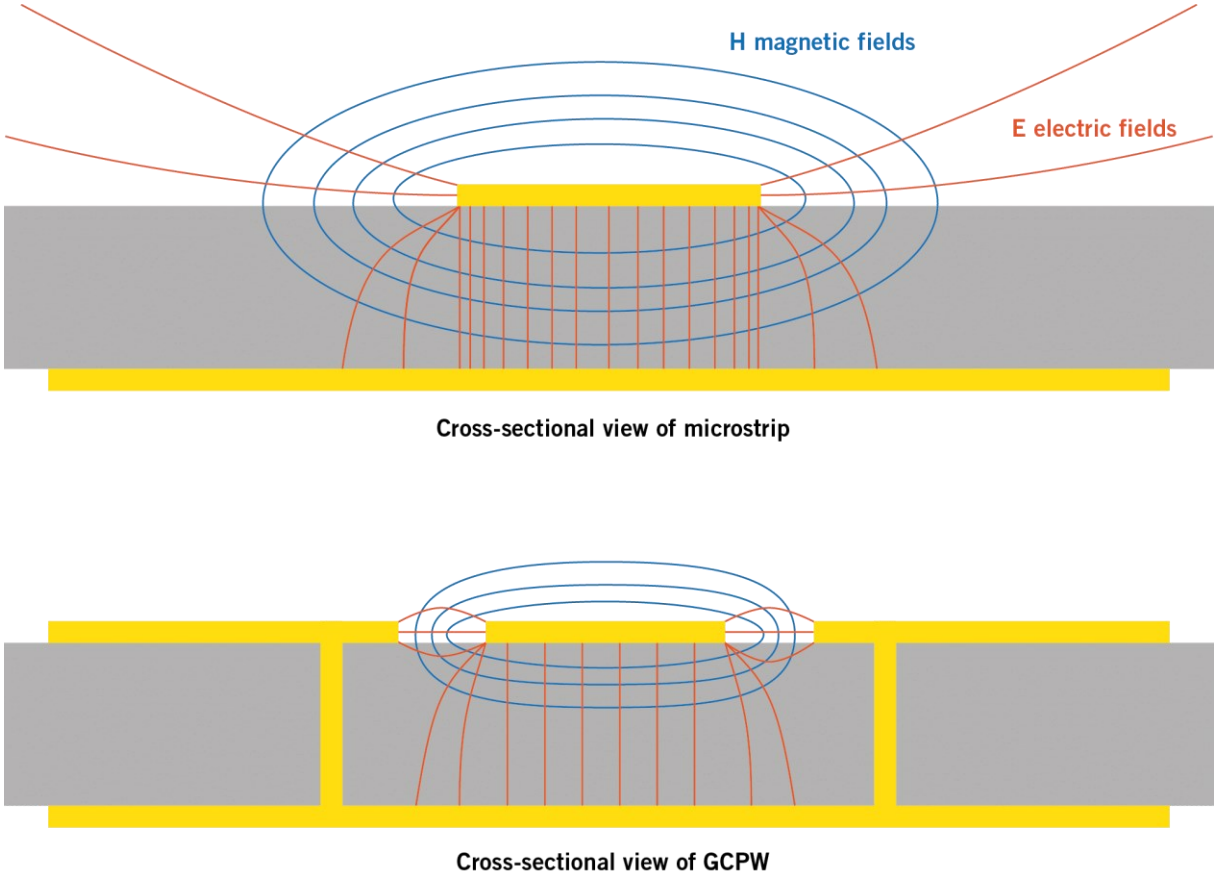


Abbildung 60 Antennen Effekt bei Leitern

8.1.2 Schnelle Schaltvorgänge

Schnelle Schaltvorgänge, können z.B. von einem Mikrocontroller oder einem Netzteil stammen. Diese verursachen eine Störung, die in der Arbeit von Wolfgang Wegst und Heinz Rebholz an der Hochschule Konstanz an einem Leistungsregler untersucht wurden.
Nachfolgend ein Zitat aus ihrer Arbeit:

«Im Kraftfahrzeug werden immer häufiger Leistungsregler verwendet, bei denen die Leistung durch schnelle Schaltvorgänge geregelt wird. Diese schnellen Schaltvorgänge verursachen Pulse, die sich auf den Versorgungsleitungen ausbreiten. Solche Pulse sind nicht gewünscht und werden als leitungsgeführte Störungen (Funkstörspannung) bezeichnet.» Wolfgang Wegst, Heinz Rebholz, Möglichkeit zur Vereinfachung der EMV-Simulation gepulster Schaltnetzteile[43].

Die Schlussfolgerung aus ihrer Arbeit, beschreibt das Vorhandensein des Layouts, um die Geometrie in der Simulation abzubilden, da eine reine Simulation mit den Bauteilen ohne Einfluss von Geometrie nur bis zu wenigen Megahertz aussagekräftig ist.

8.1.3 Übersprechen

Das sogenannte Übersprechen beschreibt das Phänomen, wenn 2 elektrisch leitende Elemente parallel, mit einem Dielektrikum dazwischen, Kondensator ähnliche Eigenschaften aufweisen und eine Verbindung zueinander herstellen. Dieses Phänomen hat vor allem in der Hochfrequenztechnik einen erheblichen Einfluss auf die Signale.[44]

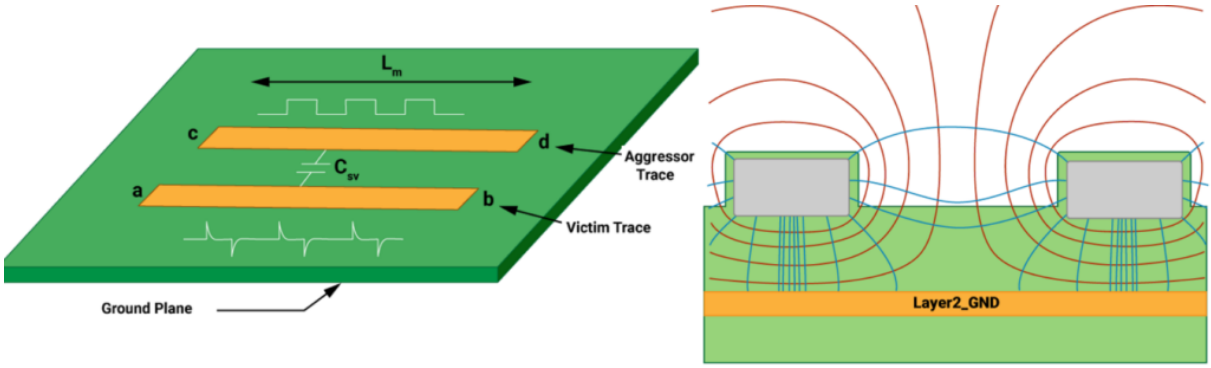


Abbildung 61 Crosstalk Beispielbild

8.1.4 Impedanz Sprünge und Reflexionen

Wenn hochfrequente Signale über eine Leiterbahn laufen, müssen die Leiterbahnen den gleichen Leitungswiderstand aufweisen. Es kann bei variabler Leiterbahnbreite oder einem fehlenden Abschlusswiderstand dazu führen, dass das Signal am Ende reflektiert. Dies führt zu einem Schwingen und einer Signalüberlagerung.

8.1.4.1 Impedanz Anwendungsfall

Die Impedanz ist beispielsweise bei Antennenkabel wichtig, wobei einer der Standardwerte, 50 Ohm beträgt.

«*50 Ohm ist der beste Kompromiss aus den Impedanzen, die den geringsten Verlust, die maximale Leistung und die maximale Spannung ergeben.*» Zachariah Peterson, Altium [45]

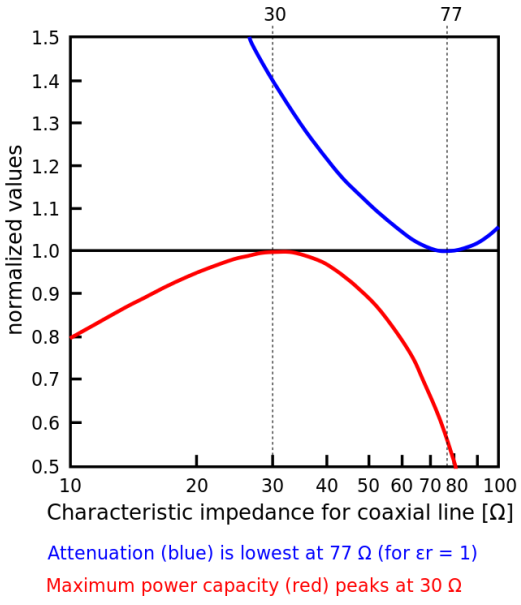


Abbildung 62 Kompromiss zwischen Verlust und Leistung

9 Missgeschicke

Dieses Kapitel behandelt alle Missgeschicke, die während der Arbeit stattgefunden haben

9.1 Leiterplatte abgeraucht

Beim Testen mit dem Hauptprint in der Revision 0.1 ist aufgrund der schlechten Wärmeübertragung und den daraus resultierenden schlechten Lötstellen eine Lötbrücke beim Powermux entstanden, die beim Anhängen von zwei Spannungsversorgungen einen Kurzschluss zwischen den beiden Leitungen verursachte und so den Powermux, den DC/DC Wandler und den ESP32 zerstörte. Der ESP32 wurde mit 5V oder mehr direkt versorgt. Die maximale Eingangsspannung des ESP 32 beträgt jedoch nur 3.6 Volt.

Table 6-1. Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	–0.3	3.6	V
T_{STORE}	Storage temperature	–40	105	°C

Abbildung 63 Auszug Datenblatt ESP32 C6 Wroom 1

9.2 IC-Orientierung falsch

Während dem Lötprozess wurde der IC U4 (siehe Abbildung 64) auf dem Hauptprint falsch herum eingelötet.
Das Missgeschick ist erst bei der Inbetriebnahme aufgefallen. Die Leiterplatte und der ESP32 wurden bereits mit Spannung versorgt und auch der IC U4 wurde an den dafür vorhergesehenen Anschlüssen versorgt. In der Regel ist dies der absolute Supergau, da der IC nur begrenzt Spannung verträgt und vor allem nicht an Ausgänge die nun als Eingänge fungieren. Die Hoffnung bestand darin, dass der IC unbeschadet ausgelötet und danach korrekt eingelötet werden könnte, da am IC selber keine Beschädigung zu sehen war[46]. Dies war auch der Fall.

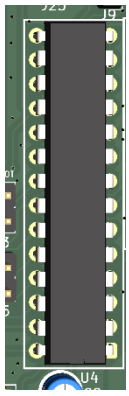


Abbildung 64 IC U4

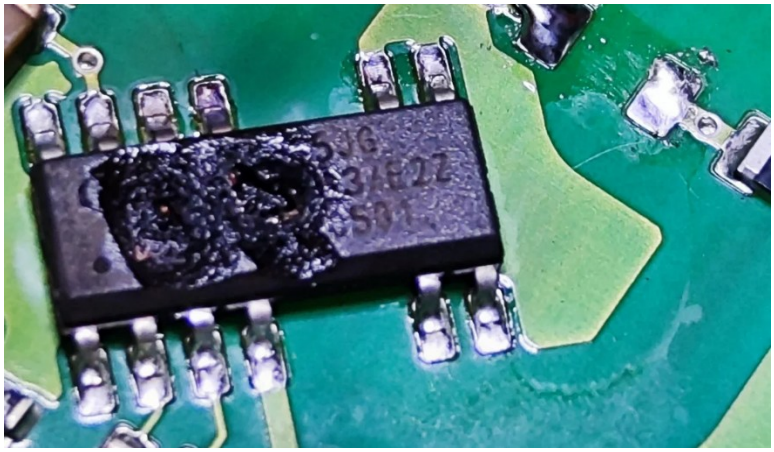


Abbildung 65 Beispielbild eines verbrannten IC

10 GitHub

Um die Diplomarbeit für alle zur Verfügung zu stellen, wurde GitHub verwendet.
Git ist ein von Linus Torvalds entsprungenes Versionierungs System.[47] Dies eignet sich für Open-Source Projekte, da jeder das Projekt als Ganzes herunterladen, bearbeiten und weiterentwickeln kann.

In GitHub wird keine herkömmliche Anleitung für den Benutzer erstellt. Die benötigten Informationen sollen bestmöglich in der sogenannten «Readme.txt» Datei erfasst werden. Die Readme Datei wird beispielsweise bei einem Projekt Download mitgeliefert und soll als Wegweiser und Beschreibung dienen. Das Readme selbst ist eine reine Textdatei, die einen einfachen Einstieg ermöglicht. Die Projekt Readme sieht wie folgt aus:

«*Diplomarbeit-2026*

Offizielle Repository fuer die Diplomarbeit von Steve

There will be an introduction in German before I switch to Englisch and Explaining the Projekt.

Idee: *Die Idee ist es Leiterplatten zu designen, die in einem neuen oder bestehenden SmartHome mit einfachen Schritten integrierbar ist. Es soll eine einfache, aber funktionsreiche Leiterplatte, die z.B. im Fall des Aktor Prints, per I2C an bereits vorhandene Steuerungen verwendet und erweitert werden können.*

Meine Qualifikationen: *Ich bin gelernter Automatiker und interessiere mich seit meiner Kindheit fuer viele Technik relevante Themen. Schulisch war ich schon immer einer dem die Themen Kunst und Sprachen weniger interessierten im Vergleich zu Mathe, Physik und Handarbeit. Mit 23 hatte ich eine Entscheidung getroffen, mich Schulisch weiterzubilden. Dies ist bis jetzt immer noch eine Entscheidung, die ich nicht bereue. Der Weg zu dieser Diplomarbeit war steinig und hart, hatte aber viel Spass gemacht. Eine Leiterplatte hatte ich einmalig in der Lehre mit meinem damaligen Lehrlingsbetreuer gezeichnet, dies aber danach nie mehr wiederholt. Das Programm damals hie Eagle.*

Die Ausführung: *Zu diesem Repo existiert noch meine Arbeit die ich parallel dazu Schreibe. Die Idee des Repo ist es die notwendigen Daten: KiCad, Gerber Files, Gehause oder Programmzeilen fuer spaetere Vorhaben zu Speichern und der breiten masse zur Verfügung zu stellen. Sämtliche Erarbeiteten Schema oder CAD Files sind hier zu finden. Die Arbeit werde ich nicht auf das Repo hochladen.*

Haftungsausschluss: *Ich bin weder fuer die korrekte Anwendung noch meine Fehler Verantwortlich, saemtliche Schaeden die durch alle Dateien auf diesem Repo verursacht wurden, sind alleinig dem*

Anwender zuzuschreiben. Die Leiterplatten sind von keinem Pruefunternehmen abgenommen oder auf ihre Sicherheit geprueft worden. Bei Verwendung sind alle Regeln der Technik zu beachten.

##

Official repository for Steve's diploma thesis.

***Idea** The concept is to design printed circuit boards (PCBs) that can be easily integrated into a new or existing smart home system. The goal is to create simple yet feature-rich PCBs—such as the actuator board—that can connect to existing control systems via I2C.*

***My Qualifications** I am a trained automation technician and have been interested in many tech-related topics since childhood. At school, I was always less interested in art and languages compared to math, physics, and practical crafts. At 23, I made the decision to further my education—a choice I still do not regret today. The path to this diploma thesis was rocky and hard, but it was also a lot of fun. I designed a printed circuit board (PCB) once during my apprenticeship with my mentor at the time, but never repeated the process after that. The software back then was called EAGLE.*

***Implementation** In addition to this repository, I am writing my written thesis in parallel. The purpose of this repo is to store the necessary project files—such as KiCad files, Gerber files, enclosure models, or code lines—for future reference. I will not be uploading the written thesis itself to this repository.*

***Disclaimer** I am not responsible for the correct application of these files, nor for any errors within them. Any damages caused by files in this repository are solely the responsibility of the user. The PCBs have not been certified or safety-tested by any official inspection body. When using them, all applicable engineering standards and safety codes must be strictly followed.*

***What to expect:** You will be able to order a the Following PCB from your favorite PCB Manufacturer, the Files and a basic Enclosure designed in FreeCAD is included in the Folders*

***Hauptprint aka the Brain** It's purpose is being able to be integrated in to your existing SmartHome while offering a wide range of preconfigured In/Output. The ESP32 C6 Wroom1 supports Thread/ZigBee, Wi-Fi 6 (2.4gHz only!), Bluetooth 5.0, UART, I2C and I2S.*

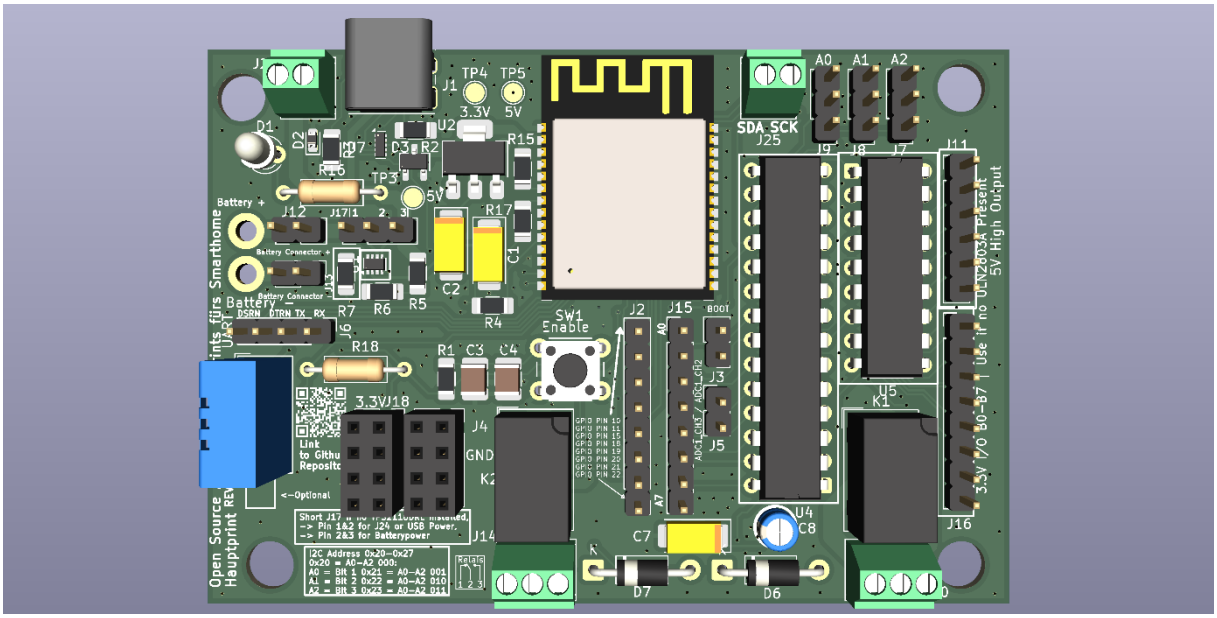


Abbildung 66 Bild von Github Readme

The RelaisExpanderPrint aka the Switchmaster

The RelaisExpanderPrint was designed with compatibility and versatility in mind. The Idea was to create a 16x Relays Switching device with Potential-free contacts in mind, as you would find on a PLC or in a Switching Cabinet. Its size is as compact as I was able to design it with an Power-supply input that support different Voltage Levels depending on your needs. The TracoPower Component (PS1) is interchangeable in its product line so you can choose Supply Voltages ranging from 9V,12V,24V or up to 75V DC.

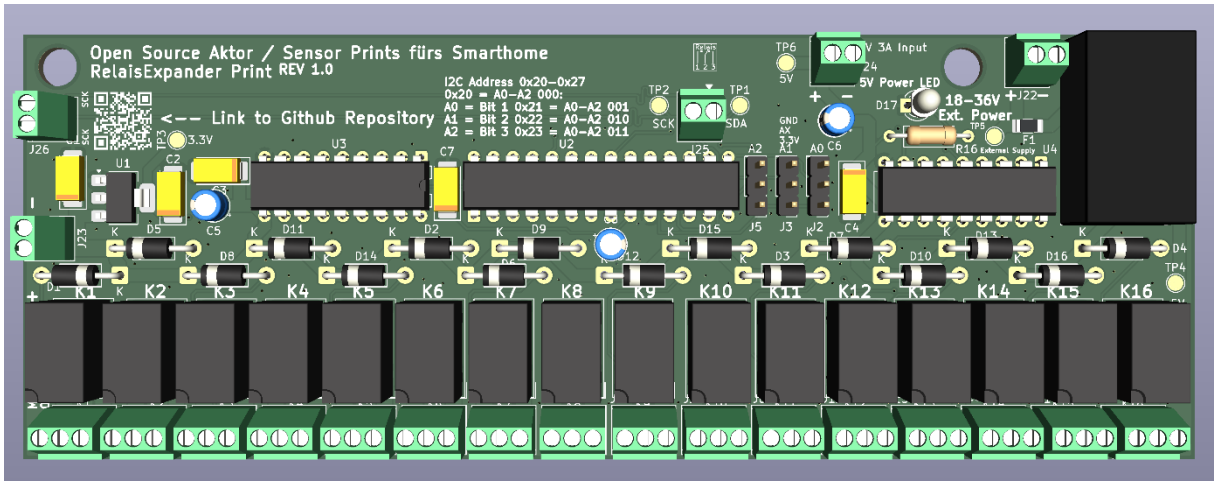


Abbildung 67 Bild von Github Readme

Programming

The Project is designed to be used with ESP-Home. Configuration is up to you, the basis is a ESP32 C6 Wroom1 with I2C lines pre routed and battery connectors pre installed with a Powermux for dual Power Supply input simultaniously.

There is an Example Code in the RelaisExpander PCB Folder for every Relay. Which helps you to understand how to use it in your Project.

IMPORTANT INFORMATION

This Repo will be Closed on the 28th of October, there will be no new Update on here. I might Fork it on my non School Github Page if anyone is interested. » Steve Kluser, Readme von GitHub [48]

11 Kundenrückmeldung

Die Diplomarbeit hat als Kunde keine Firma oder Personen, sondern spricht eher eine Personengruppe an, die gerne Basteln oder ihr SmartHome erweitern möchten. Die Tüftler und Denker die aktuell gar noch nicht wissen, dass dieses Projekt existiert. Um eine Rückmeldung zu erhalten, wurde auf der Plattform Reddit[49] die Arbeit vorgestellt und um Kritik und Rückmeldung gebeten.

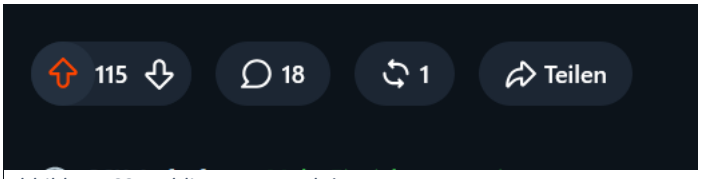


Abbildung 68 Reddit Post Interaktionen

11.1 Reddit Post

Auf Reddit wurde ein Post erstellt, der auf Englisch die SmartHome Community auf dieses Produkt aufmerksam macht und es kurz Erläutert. Der Post besteht aus 3 Teilen. Der erste ist eine kurze Vorstellung dieser Arbeit und was einen Erwartet. Danach folgt die Vorstellung der beiden Leiterplatten und die wichtigsten Angaben zu den Funktionen. Am Ende folgt eine bitte, eine Rückmeldung zu hinterlassen, die in diese Arbeit einfliessen könnte.

«*Hello SmartHome folks of reddit*

I'm currently in the final stages of my diploma thesis in school and I would like to share my custom hardware I built from scratch. I designed 2 PCBs for usage in an already existing or new Smart Home. The Idea was to design everything only with OpenSource Software and distribute everything via GitHub.

I've designed two specific boards for this.

1. The Hauptprint aka the Brain (Picture 1)

- *Its purpose is being able to be integrated into your existing SmartHome while offering a wide range of pre-configured In/Outputs. There are optional Components which you won't have to solder onto for it to work. The ESP32 C6 Wroom1 supports Thread/ZigBee, Wi-Fi 6 (2.4gHz only!), Bluetooth 5.0, UART, I2C and I2S, which should be plenty for your needs.*

2. The RelaisExpanderPrint aka the Switchmaster (Picture 2)

- *The RelaisExpanderPrint was designed with compatibility and versatility in mind. The Idea was to create a 16x Relays Switching device with Potential-free contacts in mind, as you would find on a PLC or in a Switching Cabinet. Its size is as compact as I was able to design it with a Power-supply input that supports different Voltage Levels depending on your needs. The TracoPower Component (PS1) is interchangeable in its product line so you can choose Supply Voltages ranging from 9V,12V,24V or up to 75V DC. You can integrate it without the Hauptprint due to its I^2C Controllability.*

Both are fully compatible with ESP-Home and Home Assistant.

These are technically only the second and third PCBs I've ever designed, so there will be some Jank involved! However, the PCBs themselves are fully functional and working.

The project will be worked on up to the 28th of October. That's the date when I must submit my thesis and am not allowed to work on it anymore.

For the thesis itself I need to write a section about "Customer response" which I would like to fill with responses from reddit.

So, I ask you:

Would you kindly take a look, share your thoughts/critiques, and help me write an awesome thesis? I'd appreciate feedback on the layouts, component choices, or even just how you would personally use these in your own home!

Link to GitHub: https://github.com/Steve-Teko/Diplomarbeit-2026 (Yes, some parts are in German, but for the sake of reddit and GitHub I switched to English after the introduction)

Picture 3 shows how I used both PCBs in one Project to test the durability, longevity and practicality. It's Essentially an oversized and overengineered Power Distribution Box.

TL; DR Yes the Bioshock reference war necessary. Now would you kindly…….» Steve Kluser, Reddit Post, [50]

11.2 Rückmeldungen

Der Benutzer tasty2bento hat mir einen sehr detaillierten Bericht auf GitHub hinterlassen, der für eine Revision der Leiterplatten, gute Punkte beinhaltet. Auf einige wurden in diesem Kapitel eingegangen.

*«**Review notes on HauptprintV1 (ESP32-C6-WROOM-1 board)***

Hi Steve — following up on the Reddit thread, as promised.

***Where this came from:** you posted a render of the board and asked for comments. What caught my eye visually was the antenna region - specifically that the base board is not cut away underneath the module's antenna. That prompted a closer look, and since the KiCad files are here in the repo I went through them properly rather than guessing from the picture.*

***How it was produced:** I used an AI assistant (Claude) to clone the repo and parse HauptprintV1/HauptprintV1/HauptprintV1.kicad_pcb and the schematics directly, so the coordinates and net names below come from the actual design files, not from the render. I've sanity-checked the findings but I haven't built or measured the board, so treat this as a design review rather than test results. Some of it may be intentional or already on your list - ignore whatever doesn't apply. Hope it's useful.*

Nice work overall, by the way. For a board this early in your PCB experience the fundamentals are in much better shape than usual - see the "What's good" section at the end.

- ***1. Antenna: the keep-out is fine, the cut-out is missing***

As mentioned in my Reddit post - the cut-out is missing.

What's correct:

- *The module is at the top board edge with the antenna pointing outward. Right orientation.*
- *The Espressif footprint's built-in antenna keepout rule area (absolute x 147.00–165.00, y 65.25–71.25) is genuinely respected. Point-testing the filled zone polygons shows **no copper on F.Cu or B.Cu inside the keep-out**, and none in the ~0.75 mm strip between the keep-out and the board edge either. No tracks or vias intrude. The pour didn't flood in, which is the usual failure mode here.*

What's missing:

- ***No cut-out and no overhang.** Board edge is at y = 64.505; the antenna area starts at y = 65.25. So there is full 1.6 mm FR4 under the entire antenna, with only 0.75 mm of board beyond it. Espressif's guidance is explicit: if the antenna cannot extend beyond the board edge, put the feed point as close to the edge as possible and then **cut the base board away on both sides of the antenna and below it** to remove the dielectric loading. A plain rectangular notch in Edge.Cuts under the antenna footprint is a cheap fix and costs no board area you're using.*
    - *Refs: ESP32-C6 PCB Layout Design, ESP32-C6 Hardware Design Guidelines §"Positioning a Module on a Base Board". »* GitHub Review / Issue, [51]

Hier wird auf folgende Beschreibung in den espressif Unterlagen hingewiesen:

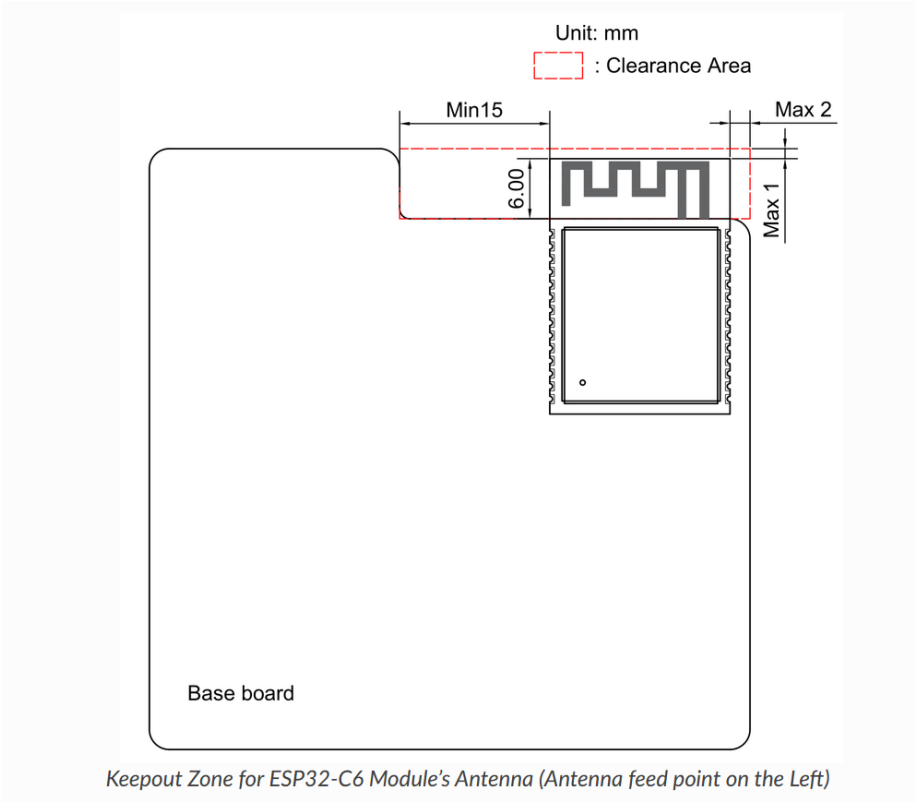


Abbildung 69 Freibereiche um die Antenne des ESP32

Diese sehen vor, dass an der Antenne ein Bereich freigelassen werden muss, um so wenig Störquellen wie möglich in der Nähe der Antenne zu platzieren.

*«**Ground pour is flush against the keep-out on both sides**, on both layers - copper present at x = 146.5 and x = 165.6 at the antenna's y band. The KiCad footprint's keep-out is only as wide as the module; Espressif's own keep-out figure is noticeably larger than that. Pulling the pour back a few mm laterally would help.*

- ***Metal in the antenna plane.** Measured courtyard-edge to keep-out-edge distances:*

Part	Distance	Note
TP5 (5 V test pad)	**1.50 mm**	bare copper pad in the antenna plane
J25 (I²C screw terminal)	**2.50 mm**	metal screw cage, and user wiring exits right past the antenna
R15 (I²C pull-up)	3.41 mm	
U2 (AMS1117 tab)	3.42 mm	large copper tab
TP1 (SDA test pad)	3.72 mm	
U4 (MCP23017)	5.26 mm	
J1 (USB-C shell)	~8 mm	metal shell

- *J25 is the one I'd move first. It's not just the connector, it's the wires the user will run from it, which will sit alongside the radiator for however long the cable is.*

***Suggested fix:** clear the whole top-edge strip. Move J25, TP1/TP2 and TP4/TP5 down/away from the antenna band, pull the pour back laterally, and add the notch in Edge.Cuts. Since this is a thesis, an antenna-range comparison before/after would make a good results section.*

- ***2. The module has no local decoupling (I'd fix this before the antenna as it's pretty important)***

U6's 3V3 pad (pin 2) is at (147.25, 74.01). Nearest capacitors on the 3.3 V rail:

Cap	Value	Net	Distance to U6 pin 2
C2	22 µF	3.3V	**15.3 mm**
C7	100 nF	3.3V	**44.3 mm**
C8	10 µF	3.3V	**47.6 mm**

*C7 and C8 are physically next to U4, so they're effectively the MCP23017's decoupling. That means **there is no 100 nF anywhere near the module at all**, and the nearest bulk cap is 15 mm away. (C1, 10 µF, is on 5V+ - the LDO input, not the module rail.)*

A C6 doing Wi-Fi TX draws several hundred mA in short bursts. Feeding that through ~15 mm of trace inductance with no HF cap locally is a classic cause of brownout resets, Wi-Fi instability and avoidable radiated noise. Espressif's reference puts 100 nF + 10 µF right next to pin 2. If you don't do this you could be wondering why you are getting brownouts all the time and thinking it's your power supply.

***Fix:** 100 nF + 10 µF within a couple of mm of U6 pin 2, with a short via to the ground pour.*

Related, same class of issue:

- *U5 (ULN2803A) has no decoupling on its 5V+ COM rail.*
- *U1 (TPS2116) has no input capacitors on 5V USB or 5V Battery. The datasheet asks for ~1 µF on each input; C1 covers the output only. »* GitHub Review/Issue [51]

Es wird empfohlen, mehrere verschiedene Kondensatoren an den U1, U5 und U6 Bauteilen hinzuzufügen, um kurze Stromspitzen auszumerzen, die unsere Chips in einen sogenannten Brownout Zustand versetzen könnten. Brownout sind automatische Resets von Mikrocontrollern, die durch das Absinken der Versorgungsspannung, unter einen mindestwert, verursacht werden.

«3. Definite bugs

- ***3.1 USB-C shield is floating***

All four SH pads on J1 have no net assigned in the PCB file. The shell is electrically floating, which is bad for both ESD and EMC. Tie it to GND directly, or via the usual 1 MΩ ∥ 4.7 nF if you want a soft connection. » GitHub Issue Review / Issue [51]

Dieser Abschnitt betrifft die Verbindung des USB-C Gehäuses mit GND. Dies wird üblicherweise via einer Widerstand und Kondensator Kombo gelöst, sollte eine weiche Verbindung gewünscht werden.

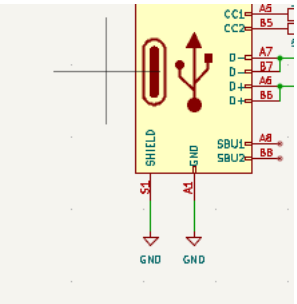


Abbildung 70 KiCad Auszug Shield

«3.2 J24 ("5V 3A Input") is hard-paralleled with USB VBUS

J24 pin 2 is on the net 5V USB — the same net as J1's VBUS pins. If someone connects both an external 5 V supply and a USB cable, the two sources are directly tied together and will back-feed each other (including back into a PC's USB port).

Related: J17 (pins 1 = 5V Battery, 2 = 5V+, 3 = 5V USB) jumpers the ***mux output*** *5V+ straight onto one of the mux inputs, which bypasses the TPS2116 entirely. If the mux is also active it will fight the jumper.*

Suggestion: *route J24 into the second TPS2116 input rather than paralleling it onto VBUS, and reconsider what J17 is for. At minimum add a fuse and reverse-protection on the external input.»* GitHub Issue Review / Issue [51]

Es wird empfohlen, den J24 Anschluss (Pin 2) an den VIN2 vom U1 zu verbinden. Dies resultiert in einer gleichen Versorgung von USB und J24. Das wurde in der Erstellung von V1.0 Übersehen.

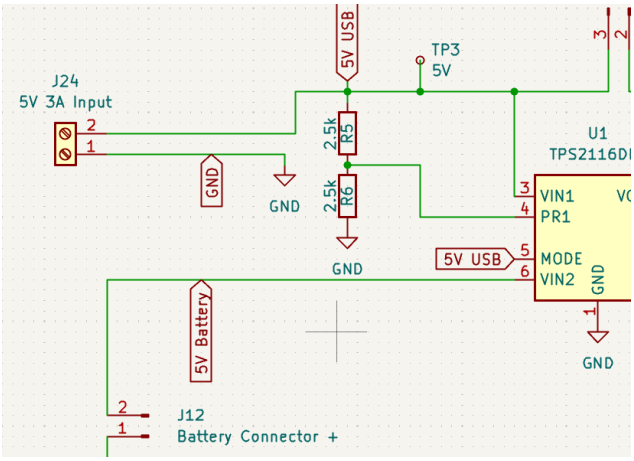


Abbildung 71 KiCad Ansicht

«3.3 USB D+/D− cross layers

Both nets are routed across F.Cu and B.Cu with vias: D+ is 38.28 mm over 33 segments, D− is 41.40 mm over 57 segments — about 3 mm of mismatch. This will almost certainly still work at USB full speed, so it's not urgent, but the convention is: one layer, side by side, constant spacing, as short as possible, over unbroken ground, no vias.

- ***3.4 No UART0 / no auto-reset***

Module pins 24 and 25 (U0RXD/GPIO17 and U0TXD/GPIO16) are unconnected. The J6 header labelled "UART" is on GPIO4/GPIO5, with UART_DTRN/UART_DSRN going to GPIO0/GPIO1 — plain GPIOs, so there is no DTR/RTS auto-reset circuit driving EN and IO9.

*Consequence: the **only** programming path is the built-in USB Serial/JTAG, and entering download mode always requires manually holding the BOOT jumper while pressing EN. That works, but it's worth being deliberate about it. I'd also make BOOT a momentary push button like SW1 rather than the 2-pin jumper J3 — it's the thing you'll be pressing most during development.*

- ***3.5 Strapping pins on general-purpose headers***

*On the ESP32-C6 the strapping pins are **GPIO4, GPIO5, GPIO8, GPIO9 and GPIO15**. This board exposes GPIO15 on J2 and GPIO4/GPIO5 on J6. GPIO8 correctly has its 10 k pull-up (R4) and GPIO9 has the BOOT jumper, so the boot-critical ones are handled — but anything a user wires to J2 pin 3 or to J6 must be high-impedance at reset. Worth a line in the README and ideally on the silkscreen.*

- ***4. Smaller points***
- ***MCP23017 INTA/INTB are unconnected.** Routing them to spare ESP GPIOs would let ESPHome use interrupts instead of polling. Cheap, and a nice feature to have.*
- ***A0/A1/A2 address jumpers have no default pull-downs.** If a jumper isn't fitted the address pin floats and the expander's address is undefined. Either add 10 k pull-downs or make "jumper must always be fitted" very prominent.*
- ***TPS2116 ST output goes nowhere.** R7 pulls it up to 5V USB and the net terminates there. It's a free "running on battery" indicator — route it to a GPIO or an LED.*

- ***D3 (3.9 V zener) across the 3.3 V rail*** *— zeners have a soft knee, so a 3.9 V part will leak measurably at 3.3 V over temperature, and if the rail ever really did go high there's no fuse to open. Consider a proper TVS with the right standoff, or drop it.*
- ***D2 (ESD441) on VBUS*** *— worth double-checking the working/standoff voltage is ≥ 5.5 V. A part sized for a 5 V signal will conduct on a 5 V rail with tolerance.*
- ***AMS1117-3.3 thermals.*** *At 5 V in and a few hundred mA of Wi-Fi burst you're dissipating close to a watt in a SOT-223. It'll work, but it's hot, its quiescent current is poor for battery use, and its dropout rules out running from a discharged cell. A small buck or a modern low-Iq LDO would suit a battery-capable board better.*
- ***I²C pull-ups.*** *R15/R17 at 2.2 k are on-board and permanent. If the RelaisExpander board also has pull-ups, the parallel value gets low. Making them jumper-selectable (or DNP by default on one board) avoids that. Also, J25 takes I²C off-board on screw terminals with no series resistors and no TVS — for smart-home cable runs I'd add both.*
- ***DHT11 placement and choice.*** *It's on-board, inside an enclosure, sharing a PCB with an LDO and two relays — it will read warm. And DHT11 itself is ±2 °C / ±5 %RH with 1 Hz sampling. An AHT20 or SHT4x on the I²C bus you already have would be more accurate, cheaper, and would free up GPIO23.*
- ***Relay ratings / safety marking.*** *The G5V-1 is a signal relay (roughly 1 A / 30 VDC) and the Phoenix MPT 2.54 mm terminals have nowhere near mains creepage and clearance. The general disclaimer in the README isn't enough for this — I'd put an explicit "SELV / low voltage only — NOT for mains" on the silkscreen next to J10/J14 and in the docs. Someone will otherwise see "relay output" and reach for 230 V.*
- ***Silkscreen collisions.*** *Visible in the render: the "P.2 / 3.3V / 5V" labels overlap near TP4/TP5; "GND" and "K…" are clipped under J4 and K2; "J14" is clipped; and the text block on the left edge runs off the board outline. Worth a pass with the 3D viewer and silkscreen-overlap DRC before you send Gerbers.*
- ***Layer count.*** *Espressif prefers 4 layers for C6 designs. For this application 2 layers with a solid pour is a reasonable compromise, but it's worth stating that trade-off explicitly in the thesis rather than leaving it implicit.*

- ***5. What's good***

These are good:

- *TPS2116 power mux for dual supply, rather than diode-ORing.*
- *TPD4E05U06 ESD protection on D+/D−.*
- *EN handled properly: 10 k pull-up, RC, and a dedicated button.*
- *GPIO8 pull-up and a GPIO9 BOOT option present — the boot strapping is correct.*
- *USB-C CC1/CC2 both have their own 5.1 k pull-downs (R2/R3). Frequently botched.*
- *ULN2803 COM correctly tied to 5V+, plus discrete flyback diodes across the relay coils. Belt and braces.*

- *MCP23017 RESET tied high - good easy one to forget.*
- *351 stitching vias, minimum copper-to-board-edge distance of 1.00 mm, four mounting holes.*
- *Dedicated 2×4 GND (J4) and 3.3 V (J18) headers, and the I²C address table printed on the silkscreen. Both are user-friendly touches.*
- *The keep-out being clean at all means the rule area was set up correctly, which is the part most people get wrong.*

I hope this is helpful. I must give a shout out to Claude as it's a tool we now use every day and I know it may be classed as cheating in school but not at work. You still need good base training but the kind of double checking it can do is really helpful. Good luck with the Diplomarbeit. .» GitHub Issue Review / Issue [51]

Es gab auch einiges, das gut umgesetzt wurde und eine gewisse Sicherheit und Stabilität gewährleistet. Wie zum Beispiel die Verbindung der beiden GND Ebenen oder der ESD Schutz am USB.

Weiter haben Benutzer Tipps oder Anregungen gegeben oder einfach ein «Looks fantastic!» gepostet.



Abbildung 72 Reddit Kommentar

Der ganze Reddit Post ist unter diesem Link aufrufbar[52]:

https://www.reddit.com/r/smarthome/s/PPpk7rwZGE

12 Kommentar zu KI

Die Verwendung von KI während dieser Arbeit bezieht sich rein auf Recherchen zu verschiedenen Komponenten, die in den Leiterplatten zur Anwendung kommen.
In der Welt der Elektronikkomponenten[53] existieren weltweit über Millionen von spezifischen Bauteilen, einige davon sind in der Abbildung 73 Verschiedene elektronische Bauelemente ersichtlich.

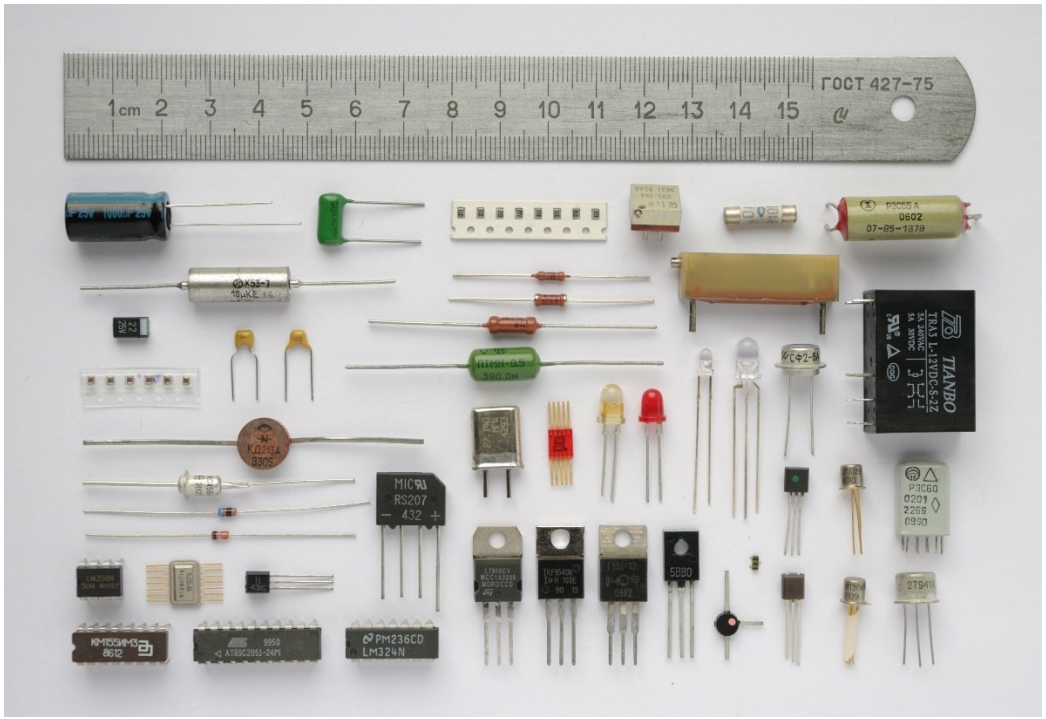


Abbildung 73 Verschiedene elektronische Bauelemente

Durch die massive Anzahl an Komponenten ist es für Neulinge in diesen Bereichen eine enorme Herausforderung die korrekten Komponenten herauszusuchen oder diese überhaupt im Internet zu finden. Im untenstehenden Text folgen alle Komponenten, die via KI herausgesucht wurden, die Antwort beinhaltet die direkt verwendete oder eine ähnliche Komponente. Nur die Existenz, der korrekte Namen oder die Familienbezeichnung half bei der weiteren Suche und der Erarbeitung enorm.

Tabelle 4 Verwendung von KI während der Diplomarbeit

KI-Tool	**Eingegebener Text**	**Verwendeter Ausschnitt, siehe Anhang für komplette Antwort**
Gemini im Pro 3.1 Modus[54]	komponente für einen umschaltung zwischen 2 spannungs-versorgungen	1. Power Multiplexer (Power MUX) ICs Das ist die eleganteste und modernste Lösung für Gleichspannung (DC) in Platinendesigns. Ein Power MUX erkennt, wenn die primäre Spannungsquelle abfällt, und schaltet automatisch und nahezu verzögerungsfrei auf die sekundäre Quelle um. Vorteile: Kein Spannungsabfall, nahtlose Umschaltung, integrierte Schutzfunktionen (Überspannung, Kurzschluss). Beispiel-Komponenten:

		Texas Instruments TPS2121 / TPS2113: Sehr beliebte Chips, bei denen man die Priorität der Quellen und Schwellenwerte genau einstellen kann. Nexperia NX301119: Für geringere Ströme und mobile Anwendungen.

12.1 Meine Bedenken zur aktuellen Verwendung von KI

KI wird meiner Meinung nach zu sehr für einfache Aufgaben verwendet. Bei Unterhaltungen mit meinen Kollegen auf der Arbeit oder im Privaten sprechen viele von täglichem Gebrauch der KI. Dabei werden einfache Aufgaben, die jedermann mit einigen Denk-Minuten selbständig hätte lösen können, einfach in die KI gespiesen, da diese das ja schon erledigt. Das finde ich persönlich eine schlechte und gänzlich falsche Art mit der KI umzugehen. Der Reiz die Aufgabe selbst zu lösen, Individualität und seine eigene Art in seine Arbeit einfliessen zu lassen, fällt komplett weg. Viele Arbeiten, die ich im Verlauf des Studiums gesehen habe, sehen essenziel gleich aus, da diese aus der gleichen KI stammen. Es entfallen diverse Aspekte bei der Erarbeitung, die eine solche Arbeit formen und ihr sozusagen eine Seele geben. KI kann jeder verwenden, aber eine ausgeklügelte und geformte Arbeit nicht.
In meinem bekannten Kreis existieren Personen, die die Entwicklung der neuen Generationen mitverfolgen können und sehen welche Schäden aktuell entstehen. Kinder können keine Aufsätze mehr schreiben, da die KI einen 5-seitigen Aufsatz innerhalb von 10 Sekunden generiert, während den Prüfungen, die im Namen des digitalen Zeitalters, am Laptop durchgeführt werden, können per Drag & Drop oder Copy & Paste prüfungsrelevante Dinge in die KI gespiesen werden. Vor allem in Mathe, denn da ist die KI besonders stark. Nichts leichter als eine Bruchrechnung oder eine Physik Aufgabe bei der eine Geschwindigkeit zweier Fahrzeuge berechnet werden muss.

Mit dieser Erkenntnis bin ich nicht allein, sogar der SRF hat dazu einen Beitrag veröffentlicht[55].
Im Beitrag ist von 9 von 10 Schülern die Rede, welche KI regelmässig in der Schule verwenden.
In dem Beitrag wurde Stefan Wolter mit folgenden Worten Zitiert:

«Ein produktiver Umgang mit KI würde bedingen, dass die Lehrpersonen die Schülerinnen und Schüler anweisen, wie sie KI nutzen können, ohne selbst das Denken zu verlernen.»
Stefan Wolter Direktor der Schweiz. Koordinationsstelle für Bildungsforschung.

Weiter ist von einer Schweizer KI die Rede, die Themen wie Datenschutz und den Umgang behandeln soll. Der Umgang selbst mit dem Thema Datenschutz ist jedoch an vielen Schulen, teils ohne oder mit fehlenden Vorgaben Omnipräsent.

Ich sehe finstere Zeiten auf die Schweizer Wirtschaft und die Bildung zukommen. Meine Hoffnungen liegen beim Bund, dass dieser einen geeigneten Weg findet damit umzugehen und die Qualität der Schüler, Studenten und Lehrabgänger auf einem Schweizer Standard in Sachen Bildung halten kann.

13 Danksagung

Ich möchte mich bei der OpenProject GmbH bedanken, da Sie aufgrund meiner Anfrage über eine Kostensenkung für eine Einzellizenz, Kostenlos ihr Produkt zur Verfügung gestellt haben.
Die Lizenz beinhaltete ein Jahr kostenlose Premium Nutzung der Projektmanagement Software OpenProject für bis zu 5 registrierte Benutzer. Dies hat mir sehr viel während der Arbeit erleichtert und ich konnte mich vollkommen auf die Ausführung der Arbeit konzentrieren.

Ich möchte mich bei meinem Arbeitgeber, der Firma Neuberger AG und der Neuberger GmbH, bedanken. Die Unterstützung, welche ich über die drei Jahre erhalten habe und der Unterstützung während meiner Diplomarbeit, verhalf mir zu meinem erfolgreichen Abschluss der Diplomarbeit. Ich durfte für die Erstellung des Schaltschrankes zur Demonstration vom Relais Expander Prints, Finder Relais, DIN-Schienen und Kabelkanäle, aus dem Lager entnehmen und für die Arbeit einsetzen. Ebenso durfte ich die teure Wärmebildkamera ausleihen, solange ich sie benötige oder bis ein Techniker diese für eine Wartung einsetzen muss.

Einen Dank geht an den Benutzer Francesc auf MakerWorld der die Originaldatei entworfen hat und an QuarzZ der einen Remix davon erstellt hat. Die DIN-Schienenhalterung läuft unter der «Creative Commons Attribution Share Alike Lizenz» weshalb ich diese frei nutzen kann, mit der entsprechenden Erwähnung. Dies ersparte einiges an Designarbeit um meine Gehäuse bzw. Leiterplatten auf die DIN-Schiene Montieren zu können.

Ich möchte mich vor allem bei allen Reddit Nutzern bedanken, die sich die Zeit genommen haben, meinen Post anzuschauen und einen Kommentar zu hinterlassen. Vor allem der Benutzer tasty2bento hat sich Zeitgenommen, um meine Arbeit in Claude hochzuladen, eine Review auf GitHub zu hinterlassen und mir viel Glück zu wünschen. Dies hatte ich nicht erwartet.

14 Schlusswort

Die Diplomarbeit hat nun ein Ende und ich bin sehr zufrieden mit meiner Erreichten Arbeit. Ich habe meiner Meinung nach eine Arbeit abgeliefert, die einem HF-Niveau entsprechen und die auf einer technischen und fachlichen Ebene sehr gut umgesetzt wurde. Ich bin mir jedoch auch bewusst, dass in den Leiterplatten noch einiges an Potenzial steckt und durch diverse Anpassungen noch Kompaktere und kostengünstigere Versionen möglich sind. Ich bin davon überzeugt, dass meine Leiterplatten, einigen Personen auf dieser Welt neue Möglichkeiten zur Verfügung gestellt haben, um ihr SmartHome weiter zu verbessern oder solch ein Unterfangen überhaupt zu starten.

Ich bin auch sehr zufrieden, dass ich meine mir gestellten Ziele erreichen konnte. In der Tabelle 5 mache ich ein Resümee dazu.

Die ganze Arbeit hat mir sehr viel Spass gemacht, aber auch sehr viele Nerven gekostet. Ich konnte mich selbst noch besser kennenlernen und meine Stärken, aber auch meine Schwächen zusammen in einer Arbeit vereinen.

Tabelle 5 Zielerreichung

Ziel (gemäss Kapitel 4)	Status	Bemerkung
4.1 Funktionierende Leiterplatten	Erreicht	Hauptprint und Relais Expander Print (V1.0) sind gefertigt und lauffähig. Die Programmierung über USB-C mit ESP-Home sowie die Bussysteme (I2C) funktionieren einwandfrei.
4.2 Einfache Erweiterbarkeit für mich und den Endkunden (Bastler)	Erreicht	Sämtliche Entwicklungsdaten (KiCad, FreeCAD) sind Open Source und für die Community zur freien Anpassung auf GitHub dokumentiert und veröffentlicht.
4.3 Erfolgreicher Dauertest, inklusiver Einbindung in ein neues oder Bestehendes Smart Home	Erreicht	Die native Einbindung in Home Assistant wurde erfolgreich abgeschlossen. Das Praxisbeispiel (Büro-Steuerung im Schaltschrank) läuft im Dauertest seit über zwei Wochen fehlerfrei und stabil. Der Hauptprint sowie der Relais Expander Print sind in zwei Smarthome Systeme gleichzeitig integriert und lassen sich von beiden aus Ansteuern.

15 Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Die wörtlich oder inhaltlich den im Literaturverzeichnis aufgeführten Quellen und Hilfsmitteln entnommenen Stellen sind in der Arbeit als Zitat bzw. Paraphrase kenntlich gemacht.

Diese Diplomarbeit ist noch nicht veröffentlicht worden. Sie ist somit weder anderen Interessenten zugänglich gemacht noch einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden.

Steve Kluser

Ort, Datum:
Obfelden, 28. Oktober 2026

Unterschrift:



16 Klassifizierung

Diese Diplomarbeit ist mit der Vertraulichkeitsstufe „Öffentlich“ klassifiziert.

Das bedeutet, dass diese Arbeit keinen Einschränkungen unterliegt, sämtliche in dieser Diplomarbeit vorhandenen Dateien, Code ausschnitte oder verwendeten Hilfsmittel stehen gänzlich zur Verfügung.

Der Inhalt darf nach Abschluss des Prüfungsverfahrens uneingeschränkt gelesen, zitiert und von der TEKO, der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Glossar

Begriff	Definition/Erklärung
RISC-V	RISC-V ist eine offene, freie und lizenzgebührenfreie Befehlssatzarchitektur für Mikroprozessoren. RISC-V steht für Reduced Instruction Set Computers.[56]
IoT	Internet of Things, Internet der Dinge oder Allesnetz. Vernetzung vieler Geräte über Netzwerke und Systeme, um z.B. Sensor daten in einer Cloud zu speichern.
Matter	Lizenzfreier und quelloffener Verbindungsstandard für die Hausautomatisierung.[57]
Thread	Thread ist eine energiesparende Drahtlos-Mesh-Netzwerktechnologie mit geringem Stromverbrauch für IoT-Produkt.[58]
ZigBee	Ist eine Spezifikation für drahtlose Netzwerke mit geringem Datenaufkommen und Stromverbrauch, wie es in der Hausautomatisierung vorkommt.[59]
LDR	Ein Fotowiderstand, englisch Light Dependent Resistor, ist ein lichtempfindlicher elektrischer Widerstand, der seinen Widerstand ändert je nach Menge an Licht, das auf die Sensorfläche fällt.[60]
STL	Standard-Dateiformat für den 3D-Druck und CAD-Anwendungen. Es beschreibt die reine Oberflächengeometrie eines dreidimensionalen Objekts als Netz, das aus unzähligen kleinen Dreiecken besteht, jedoch keine Informationen zu Farbe oder Textur speichert.[61]
IC	Abkürzung für Integrated Circuit, generell verwendete Abkürzung für viele Mikroprozessoren und Bauteile die in einem schwarzen Gehäuse kommen.
EMV / EMI	EMV bedeutet Elektromagentische Verträglichkeit wobei EMI, Elektromagnetische Interferenzen bedeutet.

Literaturverzeichnis

[1] „Smart Home Zubehör - Alle Zubehörprodukte“, Apple (CH). Zugegriffen: 14. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.apple.com/ch-de/shop/accessories/all/homekit

[2] „HomeKit“, *Wikipedia*. 31. März 2026. Zugegriffen: 14. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=HomeKit&oldid=265755903

[3] F.-O. Grün, „System-Check: Apple HomeKit im Test“, digitalzimmer. Zugegriffen: 14. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.digitalzimmer.de/artikel/test/system-check-apple-homekit/

[4] „Smart Home mit Samsung SmartThings | Samsung Schweiz“, Samsung ch. Zugegriffen: 14. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.samsung.com/ch/smartthings/

[5] „SmartThings“, *Wikipedia*. 10. Juli 2026. Zugegriffen: 14. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=SmartThings&oldid=1363512325

[6] „Sonos: Führungswechsel nach App-Debakel“, Digitec. Zugegriffen: 14. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.digitec.ch/de/page/sonos-fuehrungswechsel-nach-app-debakel-36359

[7] „OpenProject - Open Source Project Management Software“, OpenProject.org. Zugegriffen: 7. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.openproject.org/

[8] „Risikomatrix“, *Wikipedia*. 13. April 2025. Zugegriffen: 28. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Risikomatrix&oldid=255088312

[9] „ESPHome“, ESPHome - Smart Home Made Simple. Zugegriffen: 11. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://esphome.io/

[10] „Athom Technology Tasmota ESPHome WLED ESP32 ESP8266 Smart Home Shenzhen,China“, AthomTech. Zugegriffen: 11. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.athom.tech

[11] „AIR-1 Air Quality Sensor For Home Assistant“, Apollo Automation. Zugegriffen: 11. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://apolloautomation.com/products/air-1

[12] „Raspberry Pi Pico WH, RP2040 + WLAN Mikrocontroller-Board, mit Headern - kaufen bei BerryBase“, BerryBase - The Maker Shop. Zugegriffen: 7. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.berrybase.ch/raspberry-pi-pico-wh-rp2040-wlan-mikrocontroller-board-mit-headern

[13] D. Admin, „ESP32 Selection Guide - 2026“, DroneBot Workshop. Zugegriffen: 11. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://dronebotworkshop.com/esp32-2026/

[14] „ESP32 Platform“, ESPHome - Smart Home Made Simple. Zugegriffen: 11. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://esphome.io/components/esp32/

[15] „ESP32-C61-WROOM-1-N8R2“, DigiKey Electronics. Zugegriffen: 15. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.digikey.ch/de/products/detail/espressif-systems/ESP32-C61-WROOM-1-N8R2/26763158

[16] „Arduino - DHT22 | Arduino Tutorial“, Arduino Getting Started. Zugegriffen: 24. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-dht22

[17] „Arduino - LDR Module | Arduino Tutorial“, Arduino Getting Started. Zugegriffen: 24. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-ldr-module

[18] „ULN2803C Datenblatt, Produktinformationen und Support | TI.com“. Zugegriffen: 15. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ti.com/product/de-de/ULN2803C#tech-docs

[19] „1-Wire“, *Wikipedia*. 29. Februar 2024. Zugegriffen: 1. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=1-Wire&oldid=242679642

[20] „Controller Area Network“, *Wikipedia*. 13. Juni 2026. Zugegriffen: 1. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Controller_Area_Network&oldid=267916702

[21] „Entkopplungskondensatoren in der Elektronik verstehen“. Zugegriffen: 28. Juni 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wonderfulpcb.com/de/blog/understanding-decoupling-capacitors-electronics/

[22] „Testpunkt“, *Wikipedia*. 14. Juli 2026. Zugegriffen: 19. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Testpunkt&oldid=268785055

[23] „Thermal relief“, *Wikipedia*. 20. September 2023. Zugegriffen: 19. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermal_relief&oldid=1176213906

[24] M. Faheemuddin, „PCB Line Spacing, Creepage, and Clearance“, Sierra Circuits. Zugegriffen: 12. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.protoexpress.com/blog/importance-pcb-line-spacing-creepage-clearance/

[25] C. E. G. CO.,LTD, „What Is a DIN Rail?“, https://www.cncele.com/. Zugegriffen: 19. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://~^(?<subdomain>.+)\\.cncele\\.com$:443/blog/what-is-a-din-rail/

[26] „Was ist eine STL-Datei? - Visiativ Glossar ✔“, Visiativ CH. Zugegriffen: 19. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.visiativ.ch/de/glossar/stl-datei/

[27] „FreeCAD: Your own 3D parametric modeler“. Zugegriffen: 19. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.freecad.org/

[28] „Die Lösung für 3D-CAD, Konstruktion und Produktentwicklung“. Zugegriffen: 19. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.solidworks.com/de

[29] „DIN rail mount | DIN-Schienenhalterung – Kostenloses 3D-Druckmodell – MakerWorld“. Zugegriffen: 19. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://makerworld.com/de/models/1824545-din-rail-mount

[30] „Deed - Attribution-ShareAlike 4.0 International - Creative Commons“. Zugegriffen: 19. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

[31] „QElectroTech – Free electrical diagram software (Windows, Mac, Linux)“. Zugegriffen: 19. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://qelectrotech.org/index.php

[32] „GNU General Public License v2.0 - GNU Project - Free Software Foundation“. Zugegriffen: 19. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gnu.org/licenses/old-licenses/gpl-2.0.en.html

[33] „findernet.com/de/deutschland/series/serie-22-installationsschutze-25-40-63-a/type/typ-22-32-installationsschutze/“. Zugegriffen: 4. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.findernet.com/de/deutschland/series/serie-22-installationsschutze-25-40-63-a/type/typ-22-32-installationsschutze/

[34] „Gebrauchskategorie“, *Wikipedia*. 6. Juni 2025. Zugegriffen: 4. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Gebrauchskategorie&oldid=256738947

[35] „Bedienungsanleitung Ikea TRÅDFRI 303.648.00 (Deutsch - 92 Seiten)“. Zugegriffen: 4. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bedienungsanleitu.ng/ikea/tradfri-30364800/anleitung?p=18

[36] „WiFi WLAN | IIoT Industrie 4.0“. Zugegriffen: 13. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wachendorff-prozesstechnik.de/wireless/wifi-wlan/

[37] „Standort in Google Maps finden und dessen Genauigkeit verbessern - Android - Google Maps-Hilfe“. Zugegriffen: 13. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://support.google.com/maps/answer/2839911?hl=de&co=GENIE.Platform%3DAndroid

[38] „RIGOL | Startseite | Deutsch“. Zugegriffen: 8. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.rigol.com/de_DE/index.html

[39] „PRO GTC 600 C Wärmebildkamera | Bosch Professional“. Zugegriffen: 31. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bosch-professional.com/ch/de/products/gtc-600-c-0601083500

[40] „Echteffektivwert-Digitalmultimeter Fluke 179“. Zugegriffen: 3. Oktober 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.fluke.com/de-de/produkt/elektrische-pruefungen/digitalmultimeter/fluke-179

[41] L. Schuetze, „EMV-gerechtes Leiterplattendesign: Alles andere als schwarze Magie“, Deutsch. Zugegriffen: 13. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.zuken.com/de/blog/emv-gerechtes-leiterplattendesign/

[42] asahoglund, „Wie man die EMV-Leistung beim PCB-Design und bei der Herstellung optimiert“, NCAB Group Germany. Zugegriffen: 21. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ncabgroup.com/de/blog/emv-leistung-beim-pcb-design/

[43] W. Wegst und H. Rebholz, „Möglichkeit zur Vereinfachung der EMV-Simulation gepulster Schaltnetzteile“.

[44] „Minimizing Ways of Crosstalk in PCB“. Zugegriffen: 21. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.nextpcb.com/blog/pcb-crosstalk

[45] „50-Ohm-Impedanz: Woher sie kommt und warum wir sie verwenden | Altium“. Zugegriffen: 21. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://resources.altium.com/de/p/mysterious-50-ohm-impedance-where-it-came-and-why-we-use-it

[46] „Miele Waschmaschinen-Netzteilplatine, verbrannter IC : r/AskElectronics“. Zugegriffen: 29. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.reddit.com/r/AskElectronics/comments/1ranlw1/miele_washing_machine_power_board_burnt_ic/?tl=de

[47] „Linus Torvalds“, *Wikipedia*. 22. August 2026. Zugegriffen: 26. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Linus_Torvalds&oldid=1370652562

[48] „Steve-Teko/Diplomarbeit-2026: Offizielle Repository fuer die Diplomarbeit von Steve“. Zugegriffen: 10. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://github.com/Steve-Teko/Diplomarbeit-2026

[49] „Reddit SmartHome“. [Online]. Verfügbar unter: https://www.reddit.com/r/smarthome/

[50] Steve-diploma-thesis, „Thanks :D“, r/smarthome. Zugegriffen: 10. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.reddit.com/r/smarthome/comments/1w8un5p/diploma_thesis/p8zezaa/

[51] Steve-Teko, *Steve-Teko/Diplomarbeit-2026*. (2. September 2026). HTML. Zugegriffen: 13. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://github.com/Steve-Teko/Diplomarbeit-2026

[52] DecisionOk5750, „Nice! What are those…“, r/smarthome. Zugegriffen: 7. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.reddit.com/r/smarthome/comments/1w8un5p/diploma_thesis/p89byly/

[53] „Liste elektrischer Bauelemente“, *Wikipedia*. 7. Juli 2025. Zugegriffen: 28. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Liste_elektrischer_Bauelemente&oldid=257702990

[54] „Google Gemini“, Gemini. Zugegriffen: 28. Juli 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://gemini.google.com

[55] „KI in Schulen: 90 Prozent der Jugendlichen nutzen KI im Schulalltag“, Schweizer Radio und Fernsehen (SRF). Zugegriffen: 29. August 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.srf.ch/news/schweiz/ki-im-klassenzimmer-schulen-hinken-den-schuelerinnen-bei-der-ki-nutzung-hinterher

[56] „RISC-V“, *Wikipedia*. 4. September 2026. Zugegriffen: 5. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=RISC-V&oldid=270219304

[57] „Matter (Standard)“, *Wikipedia*. 2. August 2026. Zugegriffen: 5. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Matter_(Standard)&oldid=269324385

[58] „Thread (Netzwerkprotokoll)“, *Wikipedia*. 22. Oktober 2025. Zugegriffen: 5. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Thread_(Netzwerkprotokoll)&oldid=260811590

[59] „zigbee - Google Suche“. Zugegriffen: 5. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=zigbee

[60] „Fotowiderstand“, *Wikipedia*. 25. September 2025. Zugegriffen: 5. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fotowiderstand&oldid=260052834

[61] „STL (Dateiformat)“, *Wikipedia*. 23. November 2025. Zugegriffen: 5. September 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=STL_(Dateiformat)&oldid=261804855

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Beispiel Sensor für Apple HomeKit [3] 8
Abbildung 2 Entlassener Produktchef Maxime Bouvat-Merlin (links) und CEO Patrick Spence (rechts) 9
Abbildung 3 Ausschnitt aus Projektplanung 13
Abbildung 4 Beispiel der Export Formate der Terminplanung 13
Abbildung 5 Risikomatrix Legende 14
Abbildung 6 Risikomatrix 14
Abbildung 7 Beispielbild Komponenten Lieferzeit 15
Abbildung 8 Screenshot von ESP-Home Webseite[9] 16
Abbildung 9 Abbildung eines ESP32 Modules zur Oberflächenmontage[15] 19
Abbildung 10 Auszug aus Embedded System Unterricht bei Narasimhan Sridharan 19
Abbildung 11 DHT22 Temparatur-/ Feuchtefühler 20
Abbildung 12 LDR Sensor Modul 20
Abbildung 13 Schema Proof of Concept 20
Abbildung 14 (Links) Beispielsautomation in Home Assistant 21
Abbildung 15 Bild (Rechts) Proof of concept 21
Abbildung 16 KiCad gezeichnete Leiterplatte 22
Abbildung 17 Erster PCB, KiCad Ausdruck Gerber Files 22
Abbildung 18 Tabelle diverser Spannungsabfälle aufgrund der Farbe 22
Abbildung 19 Beispielschaltung einer LED mit Vorwiderstand 22
Abbildung 20 Auszug aus Datenblatt TPS2116 23
Abbildung 21 Spannungsteiler Theorie 23
Abbildung 22 PCBWAY Kalkulation 100mm x 60mm 24
Abbildung 23 PCBWAY Kalkulation 120mm x 60mm 24
Abbildung 24 Korrekte Lage für Beschriftungen 25
Abbildung 25 Beispielbild von Testpunkten 25
Abbildung 26 Relais Expander Print Rev 0.1 26
Abbildung 27 Screenshot Beschriftung für Relais 27
Abbildung 28 Auszug aus RelaisExpander Print Schema 27
Abbildung 29 Standard Software Setup mit konfiguriertem Webserver 28
Abbildung 30 ESP-Home Validierung 29
Abbildung 31 Screenshot Webserver vom selben Print 29
Abbildung 32 Screenshot aus Home Assistant 29
Abbildung 33 Einbindung des Hauptprints in Home Assistant 30
Abbildung 34 Ansicht nach Integration in Home Assistant 30
Abbildung 35 Auszug aus dem Benutzerhandbuch Seite 16 [25] 31
Abbildung 36 Verwendungsbeispiel einer DIN-Schiene 32
Abbildung 37 Gehäuse für RelaisExpander Print 32
Abbildung 38 Lizenzerklärung 33
Abbildung 39 Gezeichneter Kabelkanal 34
Abbildung 40 Auszug aus Schema Praxisbeispiel 34
Abbildung 41 Technische Eigenschaften Finder Typ 22.32 35
Abbildung 42 Praxisbeispiel Schaltschrank 36
Abbildung 43 Hauptprint V1.0 Release Version 38
Abbildung 44 Ausschnitt aus ESP-Home Konfiguration 38
Abbildung 45 Wi-Fi Reichweite 39

Abbildung 48 Messgenauigkeit Wärmebildkamera 40
Abbildung 46 Wärmebild kalter Zustand 40
Abbildung 47 Wärmebild nach 2 Minuten Betrieb 40
Abbildung 49 Spannungsversorgung 5V und 3.3V mit USB-Netzteil 41
Abbildung 50 I^2C Einfluss Spannungsversorgung 42
Abbildung 51 I^2C Einfluss Spannungsversorgung Praxisbeispiel 42
Abbildung 52 Beispielbild einer Preisreduzierung aufgrund der Menge 43
Abbildung 53 RelaisExpander V1.0 Release Version 45
Abbildung 54 24V Speisung Jitter 46
Abbildung 55 5.1V Jitter 47
Abbildung 56 3.3V Jitter 48
Abbildung 57 IC-Spannungsversorgung direkt an Pin (Violett) zu 5.1V Spannungsversorgung für AMS1117 (Gelb) 48
Abbildung 58 Gelb 24V Jitter im Vergleich mit 5.1V Jitter mit extra Kondensatoren (Blau) 49
Abbildung 59 EMI auf einem PCB-Beispiel 51
Abbildung 60 Antennen Effekt bei Leitern 52
Abbildung 61 Crosstalk Beispielbild 53
Abbildung 62 Kompromiss zwischen Verlust und Leistung 53
Abbildung 63 Auszug Datenblatt ESP32 C6 Wroom 1 54
Abbildung 64 IC U4 54
Abbildung 65 Beispielbild eines verbrannten IC 54
Abbildung 66 Bild von Github Readme 56
Abbildung 67 Bild von Github Readme 57
Abbildung 68 Reddit Post Interaktionen 57
Abbildung 69 Freibereiche um die Antenne des ESP32 61
Abbildung 70 KiCad Auszug Shield 63
Abbildung 71 KiCad Ansicht 64
Abbildung 72 Reddit Kommentar 66
Abbildung 73 Verschiedene elektronische Bauelemente 67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Kostenpunkt Praxisbeispiel 37
Tabelle 2 Kostenübersicht Hauptprint 44
Tabelle 3 Kostenpunkt Aktor-Print 50
Tabelle 4 Verwendung von KI während der Diplomarbeit 67
Tabelle 5 Zielerreichung 70

Anhang

- KI-Antworten
- Pflichtenheft
- Terminplan
- Kostenauswertung
- Schemata
    - Prototyp
    - Hauptprint
    - RelaisExpander
    - Praxisbeispiel
- Kickoff-Meeting
- Abschluss-Meeting

KI-Antworten

Frage 1: komponente für einen umschaltung zwischen 2 spannungsversorgungen

Antwort:

Für die Umschaltung zwischen zwei Spannungsversorgungen (z. B. Hauptnetzteil und Batterie-Backup) gibt es verschiedene elektronische Komponenten, abhängig davon, ob du Gleichspannung (DC) oder Wechselspannung (AC) schaltest und wie nahtlos der Übergang sein muss.

Hier sind die gängigsten Lösungen, sortiert von einfachen Schaltungen bis hin zu hochintegrierten ICs:

1. Power Multiplexer (Power MUX) ICs

Das ist die eleganteste und modernste Lösung für **Gleichspannung (DC)** in Platinendesigns. Ein Power MUX erkennt, wenn die primäre Spannungsquelle abfällt, und schaltet automatisch und nahezu verzögerungsfrei auf die sekundäre Quelle um.

- **Vorteile:** Kein Spannungsabfall, nahtlose Umschaltung, integrierte Schutzfunktionen (Überspannung, Kurzschluss).
- **Beispiel-Komponenten:**
  - **Texas Instruments TPS2121 / TPS2113:** Sehr beliebte Chips, bei denen man die Priorität der Quellen und Schwellenwerte genau einstellen kann.
  - **Nexperia NX301119:** Für geringere Ströme und mobile Anwendungen.

2. Ideale Dioden (Ideal Diode Controller / OR-ing)

Normale Dioden verursachen einen Spannungsabfall (und damit Wärme). Ideale Dioden-Controller umgehen dieses Problem, indem sie MOSFETs steuern. Sie lassen den Strom nur in eine Richtung fließen, verhalten sich also wie eine Diode, aber ohne den Verlust. Wenn du zwei davon zusammenschaltest (OR-ing), gewinnt automatisch die Quelle mit der minimal höheren Spannung.

- **Vorteile:** Extrem effizient, sehr wenig Abwärme, gut für höhere Ströme.
- **Beispiel-Komponenten:**

- **LTC4412 (Analog Devices / Linear Tech):** Ein echter Klassiker für die verlustarme Umschaltung zwischen Netzteil und Akku.
- **LM66100 (Texas Instruments):** Sehr kompakt, ideal für kleine Platinen.

3. Schottky-Dioden (Dioden-ODER-Schaltung)

Die absolut einfachste Methode für kleine Bastelprojekte. Man schaltet einfach in jede der beiden Zuleitungen eine Diode, bevor sie zusammengeführt werden. Die Quelle mit der höheren Spannung versorgt die Schaltung.

- **Vorteile:** Sehr günstig, extrem simpel, keine komplexe Beschaltung nötig.
- **Nachteile:** Spannungsabfall (bei Schottky-Dioden ca. 0,3 V bis 0,5 V). Bei höheren Strömen entsteht viel Verlustleistung (Abwärme).

4. Relais / Schütze

Wenn es um **Wechselspannung (AC)** (z. B. 230 V Netzspannung) oder sehr hohe DC-Ströme geht, sind mechanische Relais oft die beste Wahl. Ein Umschaltrelais (Wechsler) hält die Verbindung zur primären Quelle. Fällt diese aus, fällt das Relais ab und schließt den Kontakt zur sekundären Quelle (z. B. einem Wechselrichter).

- **Vorteile:** Galvanische Trennung, kann hohe Spannungen und Ströme sicher schalten.
- **Nachteile:** Umschaltzeit ist relativ langsam (einige Millisekunden). Ein Mikrocontroller oder PC würde in dieser Zeit eventuell neu starten, weshalb oft noch Kondensatoren zur Pufferung benötigt werden. Mechanischer Verschleiß.

5. Automatic Transfer Switch (ATS)

Wenn du nicht auf Bauteilebene auf einer Platine arbeitest, sondern fertige Geräte (z. B. Hausstrom, Server-Racks oder Wohnmobile) umschalten willst, suchst du nach einem ATS (Automatischer Transferschalter). Diese fertigen Module schalten bei Stromausfall automatisch auf einen Generator oder eine Batterie-Notstromversorgung um.

Um welche Spannungen geht es?

Diplomarbeit Pflichtenheft

Projektbezeichnung	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Projektleiter	Steve Kluser
Erstellt am	06.07.2026
Letzte Änderung am	02.10.2026 16:39:00
Status	[Release]
Aktuelle Version	1.0

Änderungsverlauf

Nr.	Datum	Version	Geänderte Kapitel	Art der Änderung	Autor	Status
1	06.07.2026	0.1	Alle	Erstellung	Steve Kluser	-
2	29.08.2026	0.2	Alle	Ergänzung	Steve Kluser	-
3	04.09.2026	1.0	4	Detaillierter Beschrieben	Steve Kluser	-Release

Inhalt

1 Einleitung 3
2 Allgemeines 3
2.1 Projektbezug 3
2.2 Rollen und Ansprechpersonen 3
3 Konzept 4
3.1 Ziel der Diplomarbeit 4
4 Funktionale Anforderungen 4
4.1 Allgemeine Anforderungen 4
4.2 Aktor Board 4
4.3 Sensor Board 5

1 Einleitung

Dieses Pflichtenheft soll die Idee für meine Diplomarbeit auf Papier bringen und die Funktionen der Leiterplatten aufzeigen.

2 Allgemeines

Allgemeine Informationen über das Projekt.

2.1 Projektbezug

Diese Diplomarbeit soll diverse Fächer, die ich während meines Studienganges an der TEKO zum Elektrotechniker HF besucht habe, verbinden und so das gelernte praktisch in einem Projekt zusammengeführt und umgesetzt werden.

Folgende Fächer sind vertreten:

- Projektmanagement
- Elektrotechnik
- Elektronik
- Mikroprozessortechnik
- Digitaltechnik
- Informationstechnologien
- Schriftliche Kommunikation

2.2 Rollen und Ansprechpersonen

Folgende aufgeführte Personen sind in dieser Arbeit involviert oder als Ansprechpartner in der Diplomarbeit relevant

Rolle(n)	Name	E-Mail
Diplomand	Steve Kluser	Steve.kluser@edu.teko.ch
Diplomcoach	Stephan Kessler	Stephan.kessler@edu.teko.ch

3 Konzept

In diesem Kapitel erläutere ich die Alle Funktionen, die vom Aktor- / Sensor Print erfüllt werden muss

3.1 Ziel der Diplomarbeit

Das Ziel der Diplomarbeit ist die Entwicklung und Fertigung einer modularen Hardware-Plattform für die Heimautomation, bestehend aus Sensor- und Aktor-Leiterplatten.

Der Fokus liegt auf der Reproduzierbarkeit durch Dritte ("Open Hardware"). Daher umfasst die Arbeit nicht nur das physikalische Design der Leiterplatten (PCBs), sondern auch die Bereitstellung einer vollständigen Dokumentation, Fertigungsdaten (Gerber-Files) und Software zur Verfügung gestellt auf einer öffentlich zugänglichen Plattform (z.B. GitHub).

Am Ende der Arbeit liegen funktionsfähige Prototypen vor, deren Einsatzfähigkeit anhand einer Demonstration unter Beweis gestellt wird. Die Entwicklung erfolgt ausschliesslich unter Verwendung von Open-Source- oder Freeware-Tools und alle Dateien stehen zur Verfügung und könnten während der Demonstration von den beteiligten Heruntergeladen und angepasst werden.

4 Funktionale Anforderungen

In diesem Kapitel werden sämtliche Anforderungen aufgelistet, welche von den Leiterplatten erfüllt werden.

4.1 Allgemeine Anforderungen

Die Leiterplatten sind über USB Programmierbar und können einfach in eine Hausautomation integriert werden. Der USB-Port soll als USB-C ausgeführt werden.

Die Leiterplatten sollen erweiterbar und funktionell gestaltet werden, so dass die Leiterplatten von einem technisch versierten Menschen verstanden werden können.

Der Mikroprozessor und die Bauteile sollen so ausgewählt werden, das auf preislich günstigere, aber mit den gleichen technischen Spezifikationen, ausgewichen werden kann. Es sollen keine Abhängigkeiten bei z.B. dem Leiterplatten Lieferanten entstehen. Jedem soll die Möglichkeit gegeben werden die Leiterplatten zu verwenden.

Folgende Pins sollen bei dem Mikroprozessor auf dem PCB dem Benutzer zur Verfügung gestellt werden, auch wenn diese aktuell keine Verwendung haben:

- UART
- I^2C
- PWM
- ADC

4.2 Aktor Board

Das Aktor Board soll mindestens folgende Funktionen aufweisen:

- Speisungsmöglichkeiten
    - USB
    - 5V
    - Einer Industriegängigen Spannungsversorgung

- Aktoren
    - Genügend Möglichkeiten Aktoren anzuhängen
- Erweiterbarkeit
    - Via Bus-Anbindung

4.3 Sensor Board

Das Sensor Board soll mindestens folgende Funktionen aufweisen:

- Potenzialfreie Relais Kontakte
    - Zum Schalten von z.B. Relais oder Schützen
- Verbindung via eines eingebauten Bus-Systems an eine andere Steuerung
    - I^2C / UART
- GPIO-Ausgänge auf der Leiterplatte
    - Alle Zugänglich
- Erweiterbarkeit
    - Via Bus-Anbindung
    - Optionale Bauteile welche die Leiterplatte um zusätzliche Funktionen ergänzt

Terminplan



- Phase #273 • Closed • 04.06.2026 — Planung
- Task #280 • Closed • 04.06.2026 — Open Source Programm fuer Printerstellung su...
- Milestone #270 • Closed • 04.06.2026 — Start der Diplomarbeit
- Phase #311 • Closed • 06.06.2026 - 28.10.2026 — Dokumentation
- Task #317 • Closed • 06.06.2026 - 28.10.2026 — Risikomanagement
- Task #313 • Closed • 06.06.2026 - 28.10.2026 — Schema zeichnen
- Task #312 • Closed • 06.06.2026 - 28.10.2026 — Doku schreiben
- Phase #274 • Closed • 15.06.2026 - 04.09.2026 — Prototyping
- Task #298 • Closed • 15.06.2026 - 25.07.2026 — Bestellung Aktor Print V0.1
- Task #297 • Closed • 15.06.2026 - 25.07.2026 — Dokumentation
- Task #296 • Closed • 15.06.2026 - 25.07.2026 — Aktor Print erstellen
- Task #295 • Closed • 15.06.2026 - 25.07.2026 — Proof of Concept erstellen und Testen
- Task #286 • Closed • 15.06.2026 - 25.07.2026 — Bestellung Prototyp 1 Hauptprint V0.1
- Task #285 • Closed • 15.06.2026 - 25.07.2026 — Testprint Hauptprint 0.1 erstellen
- Task #284 • Closed • 15.06.2026 - 25.07.2026 — KICAD Kennenlernen
- Task #329 • Closed • 26.07.2026 - 04.09.2026 — Gehause Zeichnen
- Phase #332 • Closed • 11.08.2026 - 20.10.2026 — Finalisierung
- Task #422 • Closed • 11.08.2026 - 20.10.2026 — Gehause Zeichnen fuer finale Versionen
- Task #419 • Closed • 11.08.2026 - 20.10.2026 — GitHub ergaenzen
- Task #334 • Closed • 11.08.2026 - 20.10.2026 — Release Print V1.0 Relaisexpander
- Task #333 • Closed • 11.08.2026 - 20.10.2026 — Release Print V1.0 Hauptprint
- Milestone #277 • Closed • 05.09.2026 — Bestellung Prototyp

28.10.2026

Steve Kluser

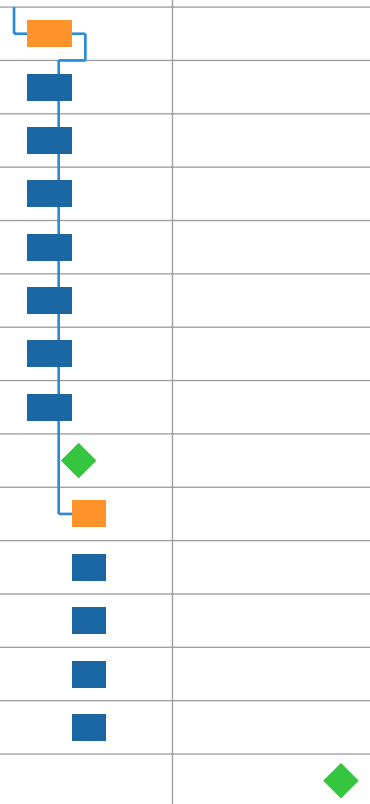
X

Open-Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome

Terminplan

2026

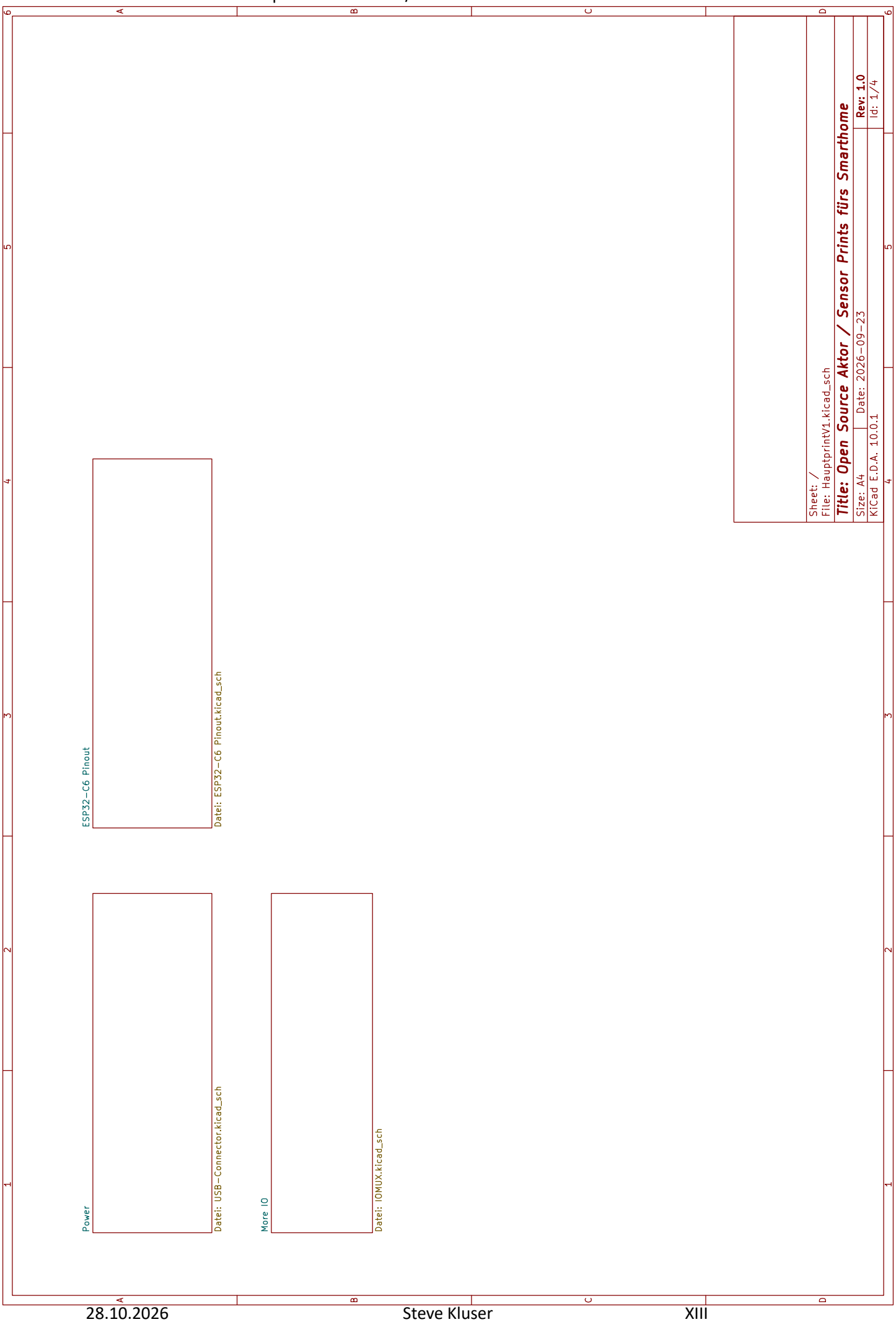
Q2	Q3	Q4
Phase #275 • Closed • 05.09.2026 - 12.09.2026 Testen		
Task #421 • Closed • 05.09.2026 - 12.09.2026 EMV Thema		
Task #420 • Closed • 05.09.2026 - 12.09.2026 Potenzielle Kunden auf Reddit Fragen		
Task #418 • Closed • 05.09.2026 - 12.09.2026 Funktionaler Test im Schaltschrank		
Task #291 • Closed • 05.09.2026 - 12.09.2026 Implementierung neuer Funktionen on the Fly		
Task #290 • Closed • 05.09.2026 - 12.09.2026 Dauerbelastungstest		
Task #289 • Closed • 05.09.2026 - 12.09.2026 Robustheit prüfen		
Task #288 • Closed • 05.09.2026 - 12.09.2026 Stromverbrauch messen		
Milestone #271 • Closed • 11.09.2026 Versand Link Micropage		
Phase #276 • Closed • 13.09.2026 - 18.09.2026 Optimierungen		
Task #293 • Closed • 13.09.2026 - 18.09.2026 Neue Funktionen implementiern oder Ausarbeit...		
Task #292 • Closed • 13.09.2026 - 18.09.2026 Optimierungen Einbauen		
Task #331 • Closed • 13.09.2026 - 18.09.2026 Optimierungen Hauptprint		
Task #330 • Closed • 13.09.2026 - 18.09.2026 Optimierungen Relais Expander		
Milestone #272 • Closed • 28.10.2026 Abgabe Diplomarbeit		

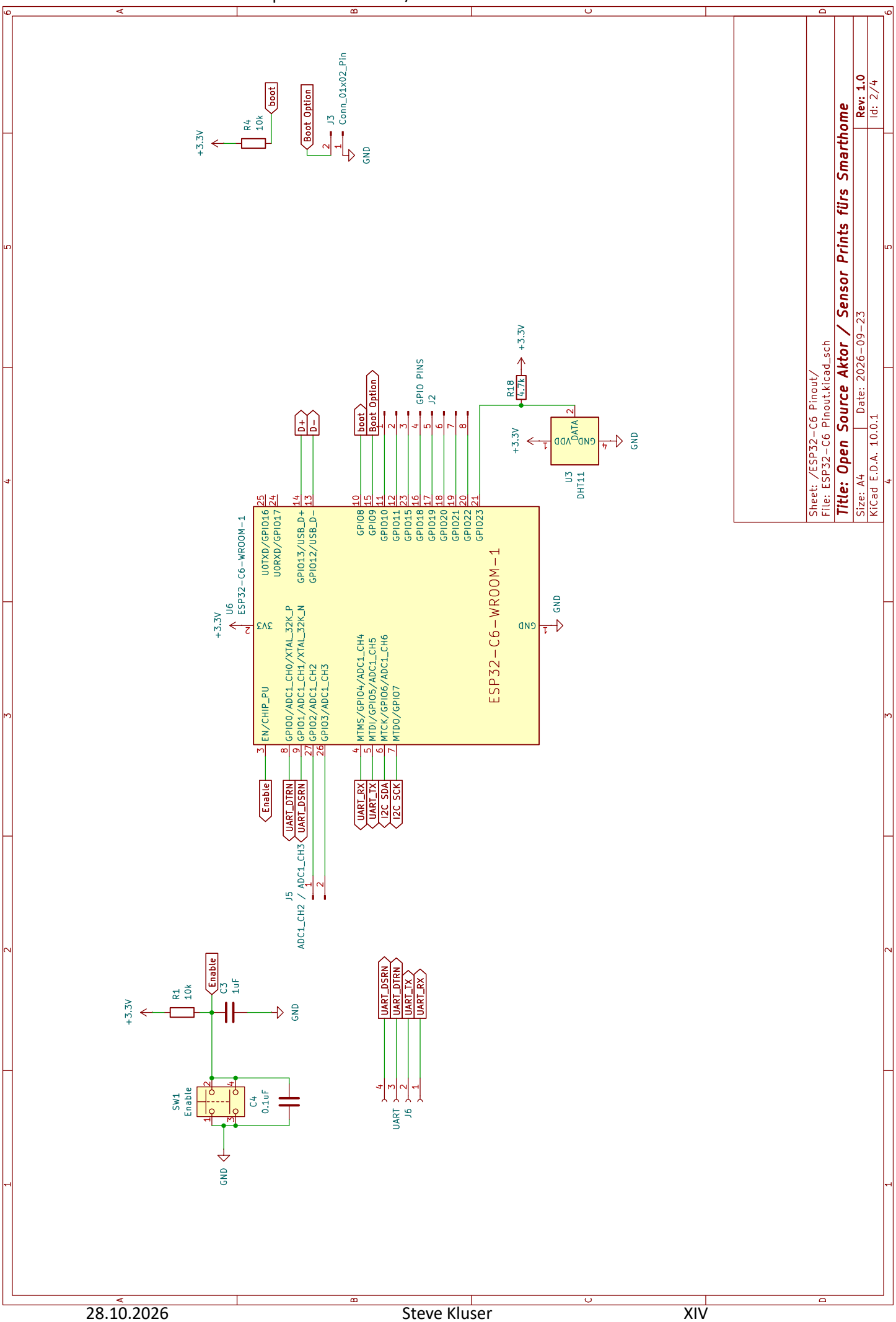


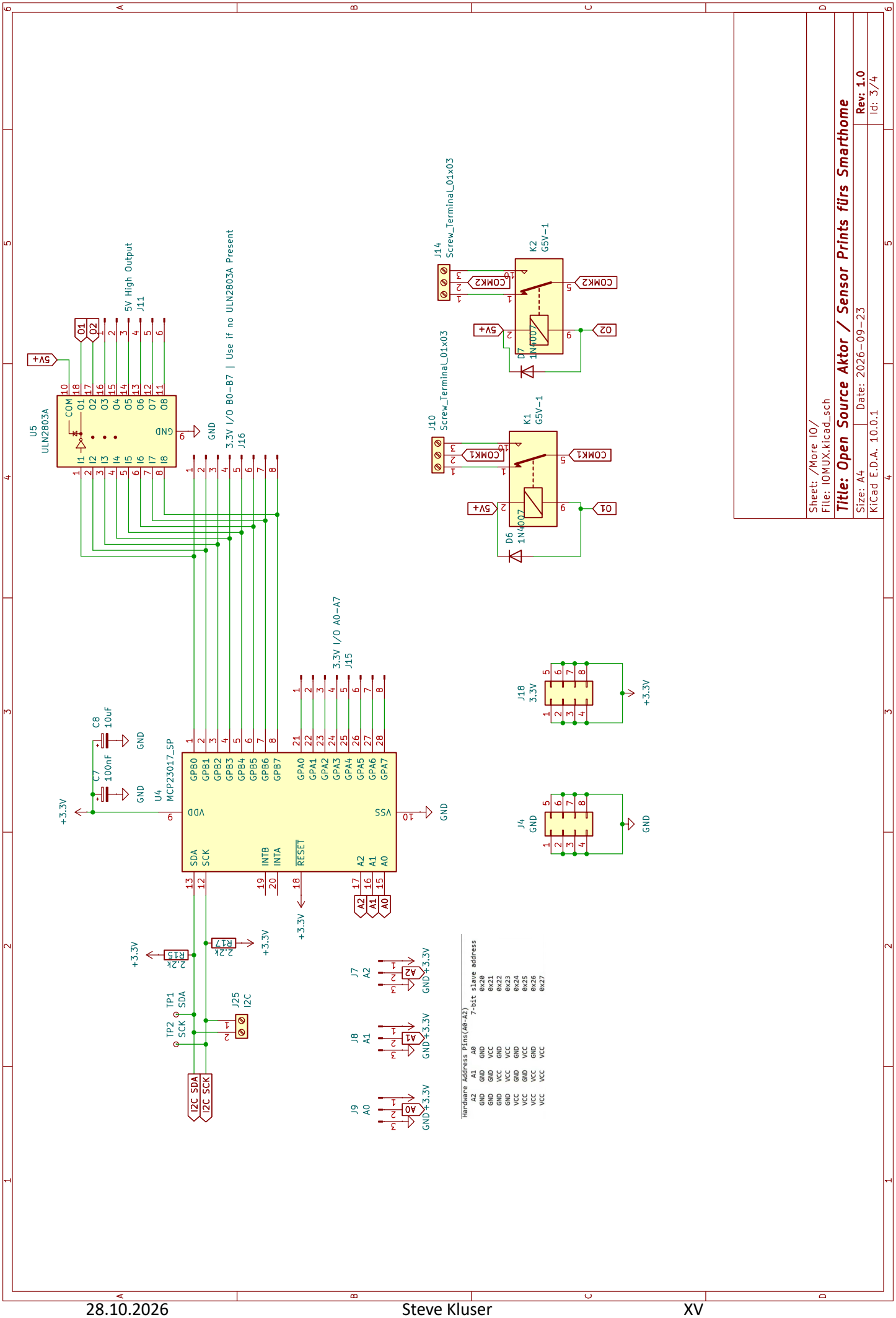
Kostenauswertungen (19.10.2026)

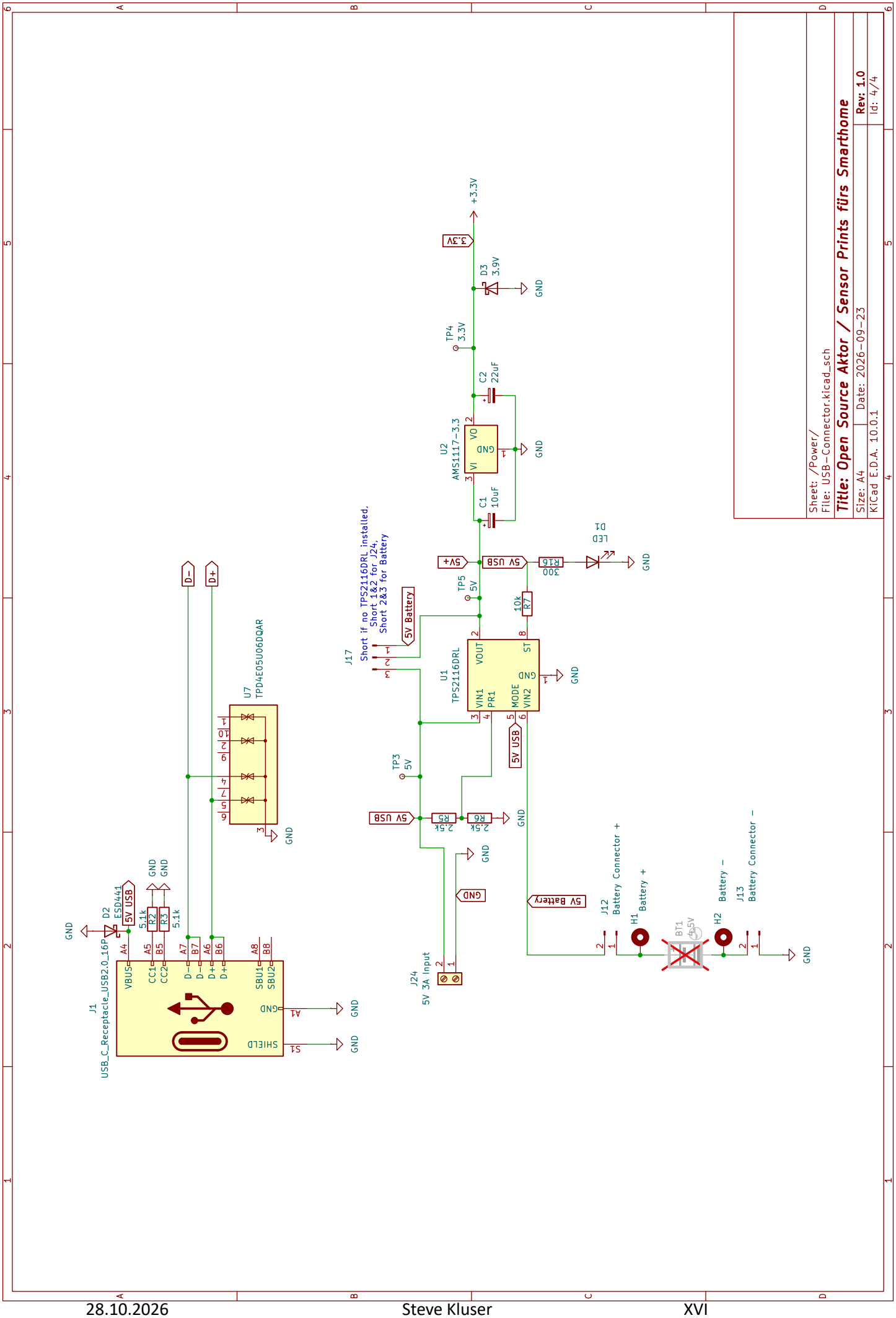
Datum der Buchung	Benutzer	Aktivität	Arbeitspaket	Kommentar	Projekt	Stücke	Kostentyp	Kosten
2026-05-15	Steve Kluser	Ausführung	Task #284: KICAD Kennenlernen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	5.00	Personal	0.00 CHF
2026-06-04	Steve Kluser	Ausführung	Task #283: Wichtige Dokumente Hochladen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	0.50	Personal	19.25 CHF
2026-06-04	Steve Kluser	Ausführung	Task #278: Gannt Diagramm Erstellen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.50	Personal	57.75 CHF
2026-06-04	Steve Kluser	Ausführung	Task #281: Github Implementierung wo Moeglich	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	0.50	Personal	19.25 CHF
2026-06-07	Steve Kluser	Ausführung	Task #282: Mikrocontroller heraussuchen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	0.50	Personal	19.25 CHF
2026-06-07	Steve Kluser	Ausführung	Task #280: Open Source Programm fuer Printerstellung suchen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-06-10	Steve Kluser	Ausführung	Task #294: Kompetenzprofil ausfüllen & Lebenslauf anpassen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	6.00	Personal	231.00 CHF
2026-06-10	Steve Kluser	Ausführung	Task #287: Pflichtenheft erstellen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00 CHF
2026-06-10	Steve Kluser	Ausführung	Task #295: Proof of Concept erstellen und Testen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00 CHF
2026-06-17	Steve Kluser	Ausführung	Task #282: Mikrocontroller heraussuchen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-06-17	Steve Kluser	Ausführung	Task #284: KICAD Kennenlernen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-06-17	Steve Kluser	Ausführung	Task #285: Testprint Hauptprint 0.1 erstellen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	10.00	Personal	385.00 CHF
2026-06-17	Steve Kluser	Ausführung	Task #296: Aktor Print erstellen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-06-21	Steve Kluser	Ausführung	Task #296: Aktor Print erstellen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	4.00	Personal	154.00 CHF
2026-06-21	Steve Kluser	Ausführung	Task #285: Testprint Hauptprint 0.1 erstellen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-06-28	Steve Kluser	Ausführung	Task #297: Dokumentation	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	6.00	Personal	231.00 CHF
2026-06-28	Steve Kluser	Ausführung	Task #286: Bestellung Prototyp 1 Hauptprint V0.1	Fehler bei der Erstellung der Dateien, neuerstellung	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-06-28	Steve Kluser	Ausführung	Task #296: Aktor Print erstellen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-07-08	Steve Kluser	Ausführung	Task #317: Risikomanagement	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-07-08	Steve Kluser	Ausführung	Task #295: Proof of Concept erstellen und Testen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-07-10	Steve Kluser	Ausführung	Task #329: Gehause Zeichnen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	4.00	Personal	154.00 CHF
2026-07-10	Steve Kluser	Ausführung	Task #298: Bestellung Aktor Print V0.1	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-07-11	Steve Kluser	Ausführung	Task #285: Testprint Hauptprint 0.1 erstellen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-07-28	Steve Kluser	Ausführung	Task #312: Doku schreiben	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	15.00	Personal	577.50 CHF
2026-07-28	Steve Kluser	Ausführung	Task #297: Dokumentation	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	5.00	Personal	192.50 CHF
2026-08-03	Steve Kluser	Ausführung	Task #285: Testprint Hauptprint 0.1 erstellen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00 CHF
2026-08-03	Steve Kluser	Ausführung	Task #333: Release Print V1.0 Hauptprint	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-08-09	Steve Kluser	Ausführung	Task #418: Funktionaler Test im Schaltschrank	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	4.00	Personal	154.00 CHF
2026-08-13	Steve Kluser	Ausführung	Task #418: Funktionaler Test im Schaltschrank	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	5.00	Personal	192.50 CHF
2026-08-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #334: Release Print V1.0 Relaisexpander	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	4.00	Personal	154.00 CHF
2026-08-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #333: Release Print V1.0 Hauptprint	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-08-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #281: Github Implementierung wo Moeglich	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-08-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #293: Neue Funktionen implementiern oder Ausarbeiten	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-08-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #418: Funktionaler Test im Schaltschrank	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00 CHF
2026-08-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #329: Gehause Zeichnen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	4.00	Personal	154.00 CHF
2026-08-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #290: Dauerbelastungstest	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00 CHF
2026-08-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #291: Implementierung neuer Funktionen on the Fly	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00 CHF
2026-08-19	Steve Kluser	Ausführung	Task #313: Schema zeichnen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	5.00	Personal	192.50 CHF
2026-08-19	Steve Kluser	Ausführung	Task #312: Doku schreiben	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-08-19	Steve Kluser	Ausführung	Task #333: Release Print V1.0 Hauptprint	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	7.00	Personal	269.50 CHF
2026-08-19	Steve Kluser	Ausführung	Task #334: Release Print V1.0 Relaisexpander	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	5.00	Personal	192.50 CHF
2026-08-22	Steve Kluser	Ausführung	Task #334: Release Print V1.0 Relaisexpander	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00 CHF
2026-08-22	Steve Kluser	Ausführung	Task #333: Release Print V1.0 Hauptprint	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00 CHF
2026-08-22	Steve Kluser	Ausführung	Task #419: GitHub ergaenzen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50 CHF
2026-08-22	Steve Kluser	Ausführung	Task #422: Gehause Zeichnen fuer finale Versionen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	4.00	Personal	154.00 CHF
2026-08-26	Steve Kluser	Ausführung	Task #313: Schema zeichnen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	9.00	Personal	346.50 CHF
2026-08-26	Steve Kluser	Ausführung	Task #422: Gehause Zeichnen fuer finale Versionen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	12.00	Personal	462.00 CHF
2026-08-26	Steve Kluser	Ausführung	Task #419: GitHub ergaenzen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-26	Steve Kluser	Ausführung	Task #419: GitHub ergaenzen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-26	Steve Kluser	Ausführung	Task #418: Funktionaler Test im Schaltschrank	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-26	Steve Kluser	Ausführung	Task #333: Release Print V1.0 Hauptprint	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-27	Steve Kluser	Ausführung	Task #422: Gehause Zeichnen fuer finale Versionen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-27	Steve Kluser	Ausführung	Task #330: Optimierungen Relais Expander	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-27	Steve Kluser	Ausführung	Task #419: GitHub ergaenzen	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-27	Steve Kluser	Ausführung	Task #334: Release Print V1.0 Relaisexpander	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-27	Steve Kluser	Ausführung	Task #333: Release Print V1.0 Hauptprint	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-27	Steve Kluser	Ausführung	Task #297: Dokumentation	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	5.00	Personal	192.50 CHF
2026-08-29	Steve Kluser	Ausführung	Task #290: Dauerbelastungstest	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-29	Steve Kluser	Ausführung	Task #330: Optimierungen Relais Expander	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-29	Steve Kluser	Ausführung	Task #333: Release Print V1.0 Hauptprint	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF
2026-08-29	Steve Kluser	Ausführung	Task #334: Release Print V1.0 Relaisexpander	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50 CHF

2026-08-29	Steve Kluser	Ausführung	Task #422: Gehause Zeichnen fuer finale Versionen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50	CHF
2026-08-29	Steve Kluser	Ausführung	Task #422: Gehause Zeichnen fuer finale Versionen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50	CHF
2026-08-29	Steve Kluser	Ausführung	Task #283: Wichtige Dokumente Hochladen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-01	Steve Kluser	Ausführung	Task #419: GitHub ergaenzen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50	CHF
2026-09-01	Steve Kluser	Ausführung	Task #334: Release Print V1.0 Relaisexpander	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-01	Steve Kluser	Ausführung	Task #333: Release Print V1.0 Hauptprint	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-01	Steve Kluser	Ausführung	Task #297: Dokumentation	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50	CHF
2026-09-01	Steve Kluser	Ausführung	Task #291: Implementierung neuer Funktionen on the Fly	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-01	Steve Kluser	Ausführung	Task #420: Potenzielle Kunden auf Reddit Fragen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-01	Steve Kluser	Ausführung	Task #331: Optimierungen Hauptprint	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-06	Steve Kluser	Ausführung	Task #290: Dauerbelastungstest	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-06	Steve Kluser	Ausführung	Task #420: Potenzielle Kunden auf Reddit Fragen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00	CHF
2026-09-06	Steve Kluser	Ausführung	Task #418: Funktionaler Test im Schaltschrank	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-07	Steve Kluser	Ausführung	Task #289: Robustheit prüfen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-08	Steve Kluser	Ausführung	Task #288: Stromverbrauch messen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00	CHF
2026-09-08	Steve Kluser	Ausführung	Task #334: Release Print V1.0 Relaisexpander	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-08	Steve Kluser	Ausführung	Task #333: Release Print V1.0 Hauptprint	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-08	Steve Kluser	Ausführung	Task #287: Pflichtenheft erstellen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	4.00	Personal	154.00	CHF
2026-09-08	Steve Kluser	Ausführung	Task #331: Optimierungen Hauptprint	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	3.00	Personal	115.50	CHF
2026-09-10	Steve Kluser	Ausführung	Phase #276: Optimierungen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00	CHF
2026-09-10	Steve Kluser	Ausführung	Task #419: GitHub ergaenzen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00	CHF
2026-09-10	Steve Kluser	Ausführung	Phase #332: Finalisierung	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	5.00	Personal	192.50	CHF
2026-09-10	Steve Kluser	Ausführung	Task #312: Doku schreiben	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00	CHF
2026-09-10	Steve Kluser	Ausführung	Task #287: Pflichtenheft erstellen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #289: Robustheit prüfen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	5.00	Personal	192.50	CHF
2026-09-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #293: Neue Funktionen implementiern oder Ausarbeiten	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	7.00	Personal	269.50	CHF
2026-09-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #331: Optimierungen Hauptprint	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	6.00	Personal	231.00	CHF
2026-09-16	Steve Kluser	Ausführung	Task #330: Optimierungen Relais Expander	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	1.00	Personal	38.50	CHF
2026-09-30	Steve Kluser	Ausführung	Task #421: EMV Thema	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	4.00	Personal	154.00	CHF
2026-09-30	Steve Kluser	Ausführung	Phase #275: Testen	-	-	Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome	2.00	Personal	77.00	CHF
									10,087.00	**CHF**


ESP32-C6 Pinout
Datei: ESP32-C6 Pinout.kicad_sch
Power
Datei: USB-Connector.kicad_sch
More IO
Datei: IOMUX.kicad_sch
Sheet: /
File: HauptprintV1.kicad_sch
Title: Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Size: A4
Date: 2026-09-23
Rev: 1.0
KiCad E.D.A. 10.0.1
Id: 1/4


Title: Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Rev: 1.0
Date: 2026-09-23
Size: A4
Id: 2/4
KiCad E.D.A. 10.0.1
Sheet: /ESP32-C6 Pinout/
File: ESP32-C6 Pinout.kicad_sch
ESP32-C6-WROOM-1
U6
ESP32-C6-WROOM-1
GPIO PINS
J2
Boot Option
boot
Enable
UART_RX
UART_TX
I2C SDA
I2C SCK
UART_DTRN
UART_DSRN
D+
D-
R4
10k
J3
Conn_01x02_Pin
R18
4.7k
U3
DHT11
DATA
GND
VDD
J5
ADC1_CH2 / ADC1_CH3
R1
10k
C3
1uF
C4
0.1uF
SW1
Enable
J6
UART
+3.3V
GND


Title: Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Rev: 1.0
Date: 2026-09-23
Size: A4
Id: 3/4
KiCad E.D.A. 10.0.1
Sheet: /More IO/
File: IOMUX.kicad_sch
U4 MCP23017_SP
U5 ULN2803A
K1 G5V-1
K2 G5V-1
D6 1N4007
D7 1N4007
J10 Screw_Terminal_01x03
J14 Screw_Terminal_01x03
J11 5V High Output
J16 3.3V I/O B0-B7 | Use if no ULN2803A Present
J15 3.3V I/O A0-A7
J18 3.3V
J4 GND
J25 I2C
J7 A2
J8 A1
J9 A0
C8 10uF
C7 100nF
R15 2.2K
R17 2.2K
TP1 SDA
TP2 SCK
I2C SDA
I2C SCK
5V+
+3.3V
GND
Hardware Address Pins(A0-A2)
7-bit slave address
0x20
0x21
0x22
0x23
0x24
0x25
0x26
0x27


Title: Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Rev: 1.0
Date: 2026-09-23
Size: A4
Id: 4/4
KiCad E.D.A. 10.0.1
Sheet: /Power/
File: USB-Connector.kicad_sch
+3.3V
3.3V
D3
3.9V
GND
TP4
3.3V
C2
22uF
U2
AMS1117-3.3
VI
VO
GND
C1
10uF
D1
LED
R16
300
5V+
5V USB
TP5
5V
10k
R7
J17
Short if no TPS2116DRL installed,
Short 1&2 for J24,
Short 2&3 for Battery
5V Battery
U1
TPS2116DRL
VIN1
PR1
VOUT
GND
MODE
VIN2
ST
TP3
5V
R5
2.5k
R6
2.5k
J24
5V 3A Input
5V Battery
J12
Battery Connector +
H1
Battery +
BT1
3.5V
H2
Battery -
J13
Battery Connector -
D-
D+
U7
TPD4E05U06DQAR
J1
USB_C_Receptacle_USB2.0_16P
VBUS
CC1
CC2
D-
D+
SBU1
SBU2
SHIELD
D2
ESD441
5V USB
R2
5.1k
R3
5.1k

Steve Kluser

28.10.2026

XVII

Open-Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome

I2C Expander

Datei: I2C Expander.kicad_sch

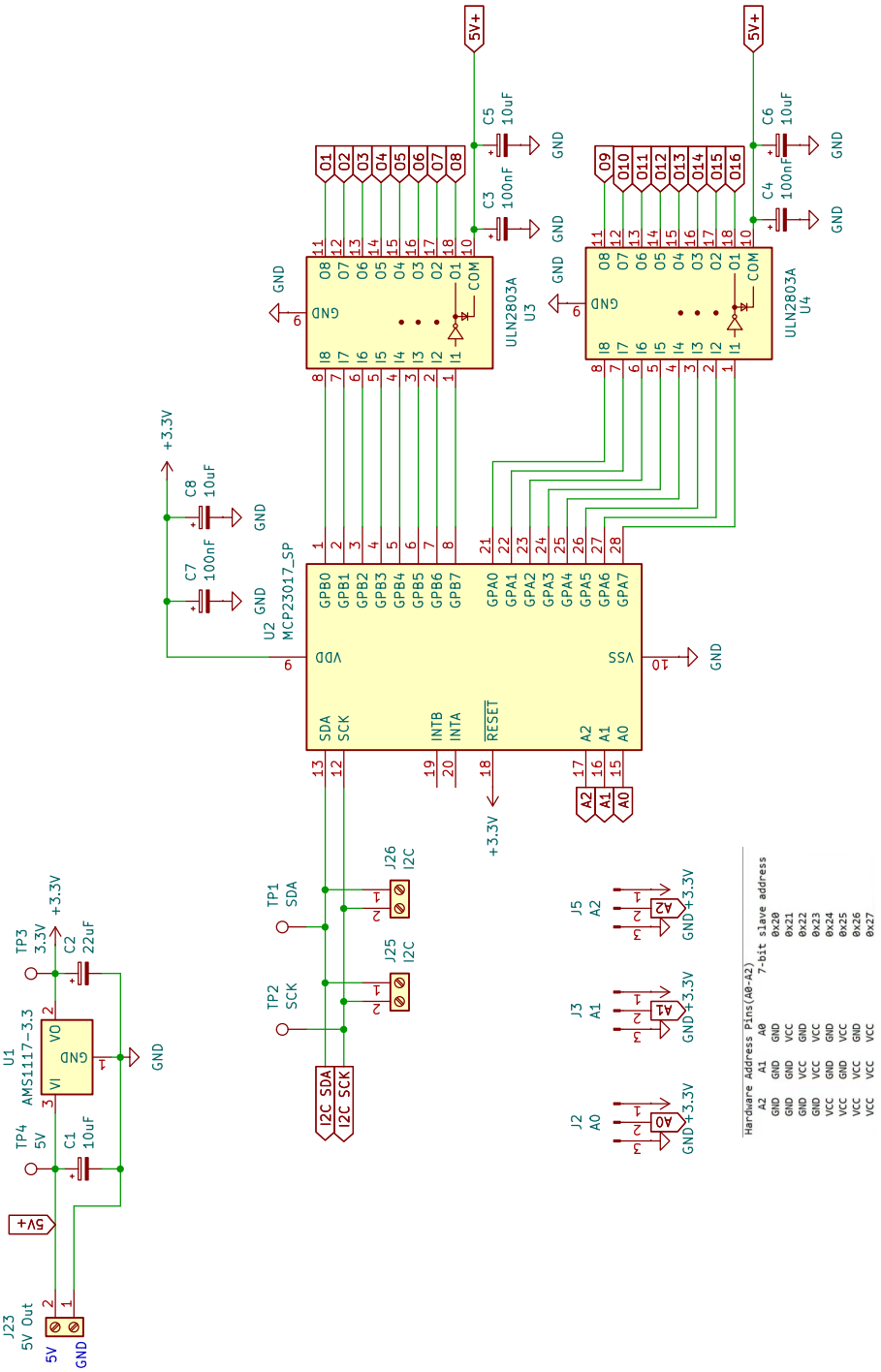
Relais

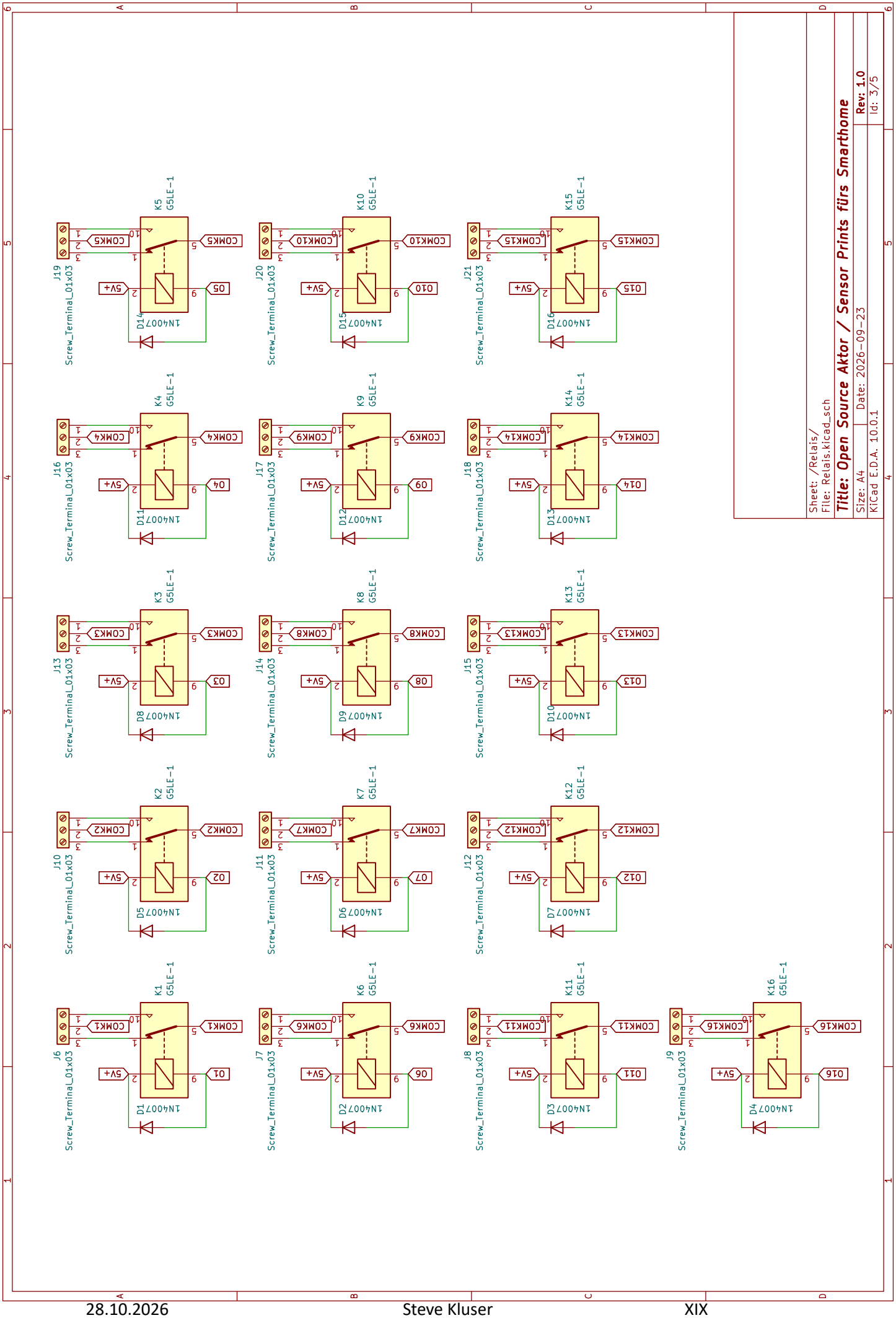
Datei: Relais.kicad_sch

Sheet: /
File: RelaisExpander Print V1.0.kicad_sch

Title: Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome

Size: A4	Date: 2026-09-23	**Rev: 1.0**
KiCad E.D.A. 10.0.1		Id: 1/5


Title: Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Rev: 1.0
Date: 2026-09-23
Size: A4
Id: 2/5
KiCad E.D.A. 10.0.1
Sheet: /I2C Expander/
File: I2C Expander.kicad_sch
U2 MCP23017_SP
U3 ULN2803A
U4 ULN2803A
U1 AMS1117-3.3
J23 5V Out
J25 I2C
J26 I2C
J2 A0
J3 A1
J5 A2
TP1 SDA
TP2 SCK
TP3 3.3V
TP4 5V
C1 10uF
C2 22uF
C3 100nF
C4 100nF
C5 10uF
C6 10uF
C7 100nF
C8 10uF
5V+
+3.3V
GND
I2C SDA
I2C SCK
Hardware Address Pins(A0-A2)
7-bit slave address
0x20
0x21
0x22
0x23
0x24
0x25
0x26
0x27


Title: Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Rev: 1.0
Date: 2026-09-23
Size: A4
Id: 3/5
KiCad E.D.A. 10.0.1
Sheet: /Relais/
File: Relais.kicad_sch
K1 G5LE-1
K2 G5LE-1
K3 G5LE-1
K4 G5LE-1
K5 G5LE-1
K6 G5LE-1
K7 G5LE-1
K8 G5LE-1
K9 G5LE-1
K10 G5LE-1
K11 G5LE-1
K12 G5LE-1
K13 G5LE-1
K14 G5LE-1
K15 G5LE-1
K16 G5LE-1
J1 Screw_Terminal_01x03
J2 Screw_Terminal_01x03
J3 Screw_Terminal_01x03
J4 Screw_Terminal_01x03
J5 Screw_Terminal_01x03
J6 Screw_Terminal_01x03
J7 Screw_Terminal_01x03
J8 Screw_Terminal_01x03
J9 Screw_Terminal_01x03
J10 Screw_Terminal_01x03
J11 Screw_Terminal_01x03
J12 Screw_Terminal_01x03
J13 Screw_Terminal_01x03
J14 Screw_Terminal_01x03
J15 Screw_Terminal_01x03
J16 Screw_Terminal_01x03
J17 Screw_Terminal_01x03
J18 Screw_Terminal_01x03
J19 Screw_Terminal_01x03
J20 Screw_Terminal_01x03
J21 Screw_Terminal_01x03
D1 1N4007
D2 1N4007
D3 1N4007
D4 1N4007
D5 1N4007
D6 1N4007
D7 1N4007
D8 1N4007
D9 1N4007
D10 1N4007
D11 1N4007
D12 1N4007
D13 1N4007
D14 1N4007
D15 1N4007
D16 1N4007
5V+
O1
O2
O3
O4
O5
O6
O7
O8
O9
O10
O11
O12
O13
O14
O15
O16
COMK1
COMK2
COMK3
COMK4
COMK5
COMK6
COMK7
COMK8
COMK9
COMK10
COMK11
COMK12
COMK13
COMK14
COMK15
COMK16

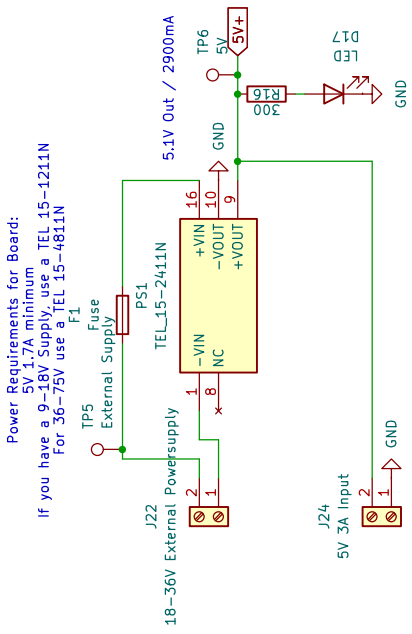
Sheet: /
File: external_power.kicad_sch

Title: Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome

Size: A4 | Date: 2026-09-23 | Rev: 1.0
KiCad E.D.A. 10.0.1 | Id: 4/5

External Power

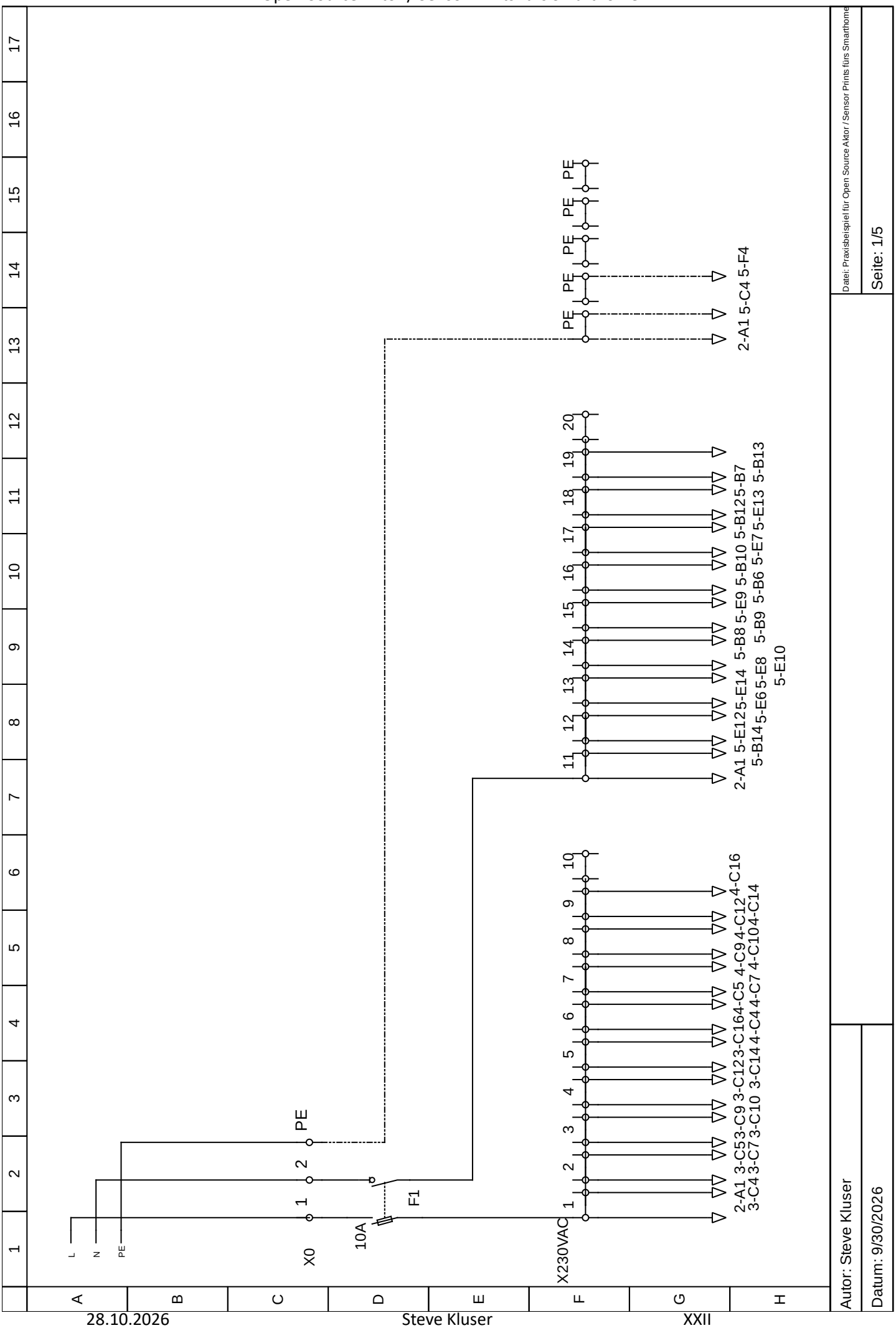
Datei: External Power.kicad_sch

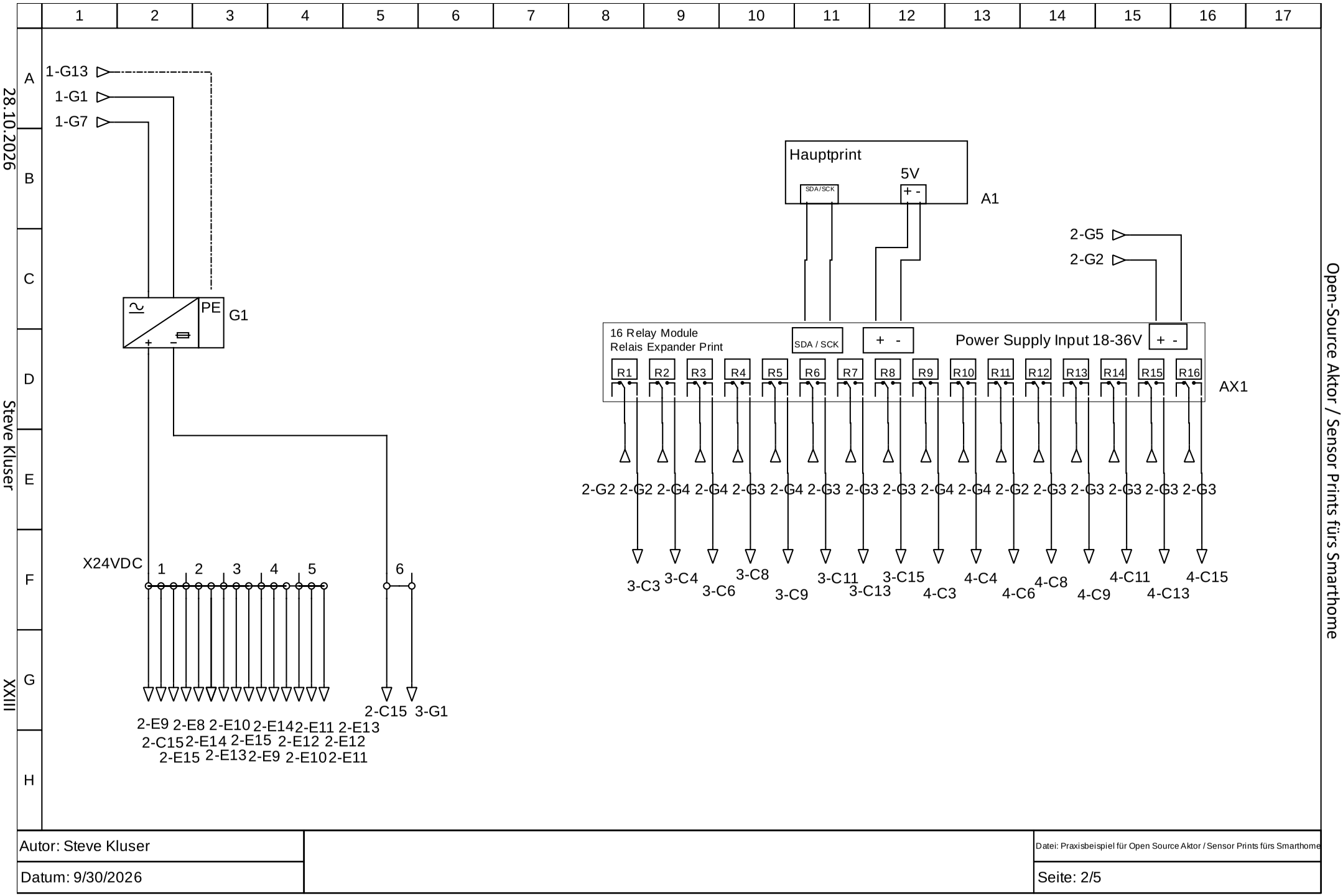


Sheet: /External Power/
File: External Power.kicad_sch

Title: Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome

Size: A4 | Date: 2026-09-23 | **Rev: 1.0**
KiCad E.D.A. 10.0.1 | Id: 5/5


L
N
PE
X0
1
2
PE
10A
F1
X230VAC
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2-A1 3-C5 3-C9 3-C12 3-C16 4-C5 4-C9 4-C12 4-C16
3-C4 3-C7 3-C10 3-C14 4-C4 4-C7 4-C10 4-C14
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
2-A1 5-E12 5-E14 5-B8 5-E9 5-B10 5-B12 5-B7
5-B14 5-E6 5-E8 5-B9 5-B6 5-E7 5-E13 5-B13
5-E10
PE
PE
PE
PE
PE
PE
2-A1 5-C4 5-F4
Datei: Praxisbeispiel für Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Seite: 1/5
Autor: Steve Kluser
Datum: 9/30/2026



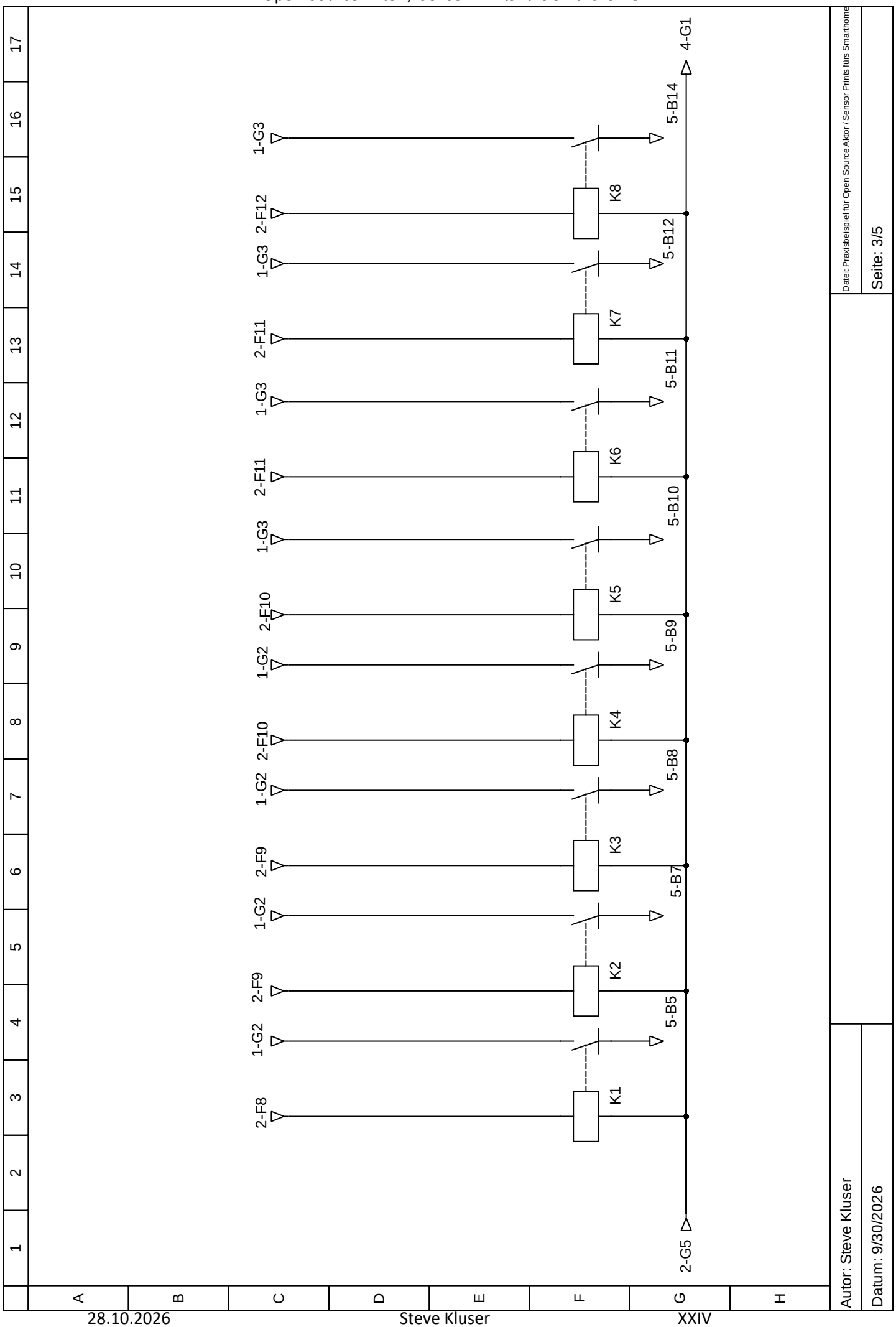
28.10.2026

Steve Kluser

XXIII

Open-Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome

Autor: Steve Kluser		Datei: Praxisbeispiel für Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Datum: 9/30/2026		Seite: 2/5

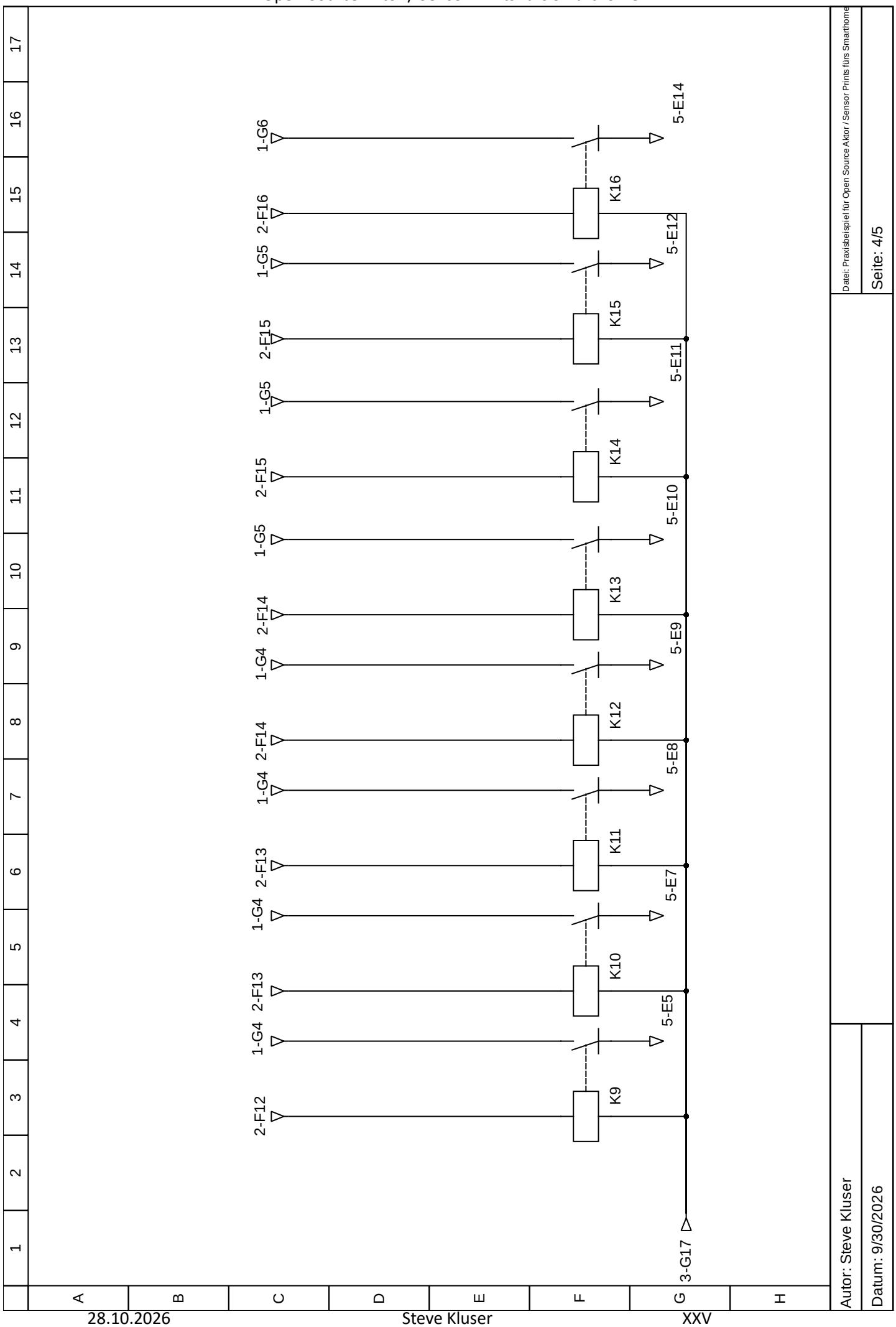


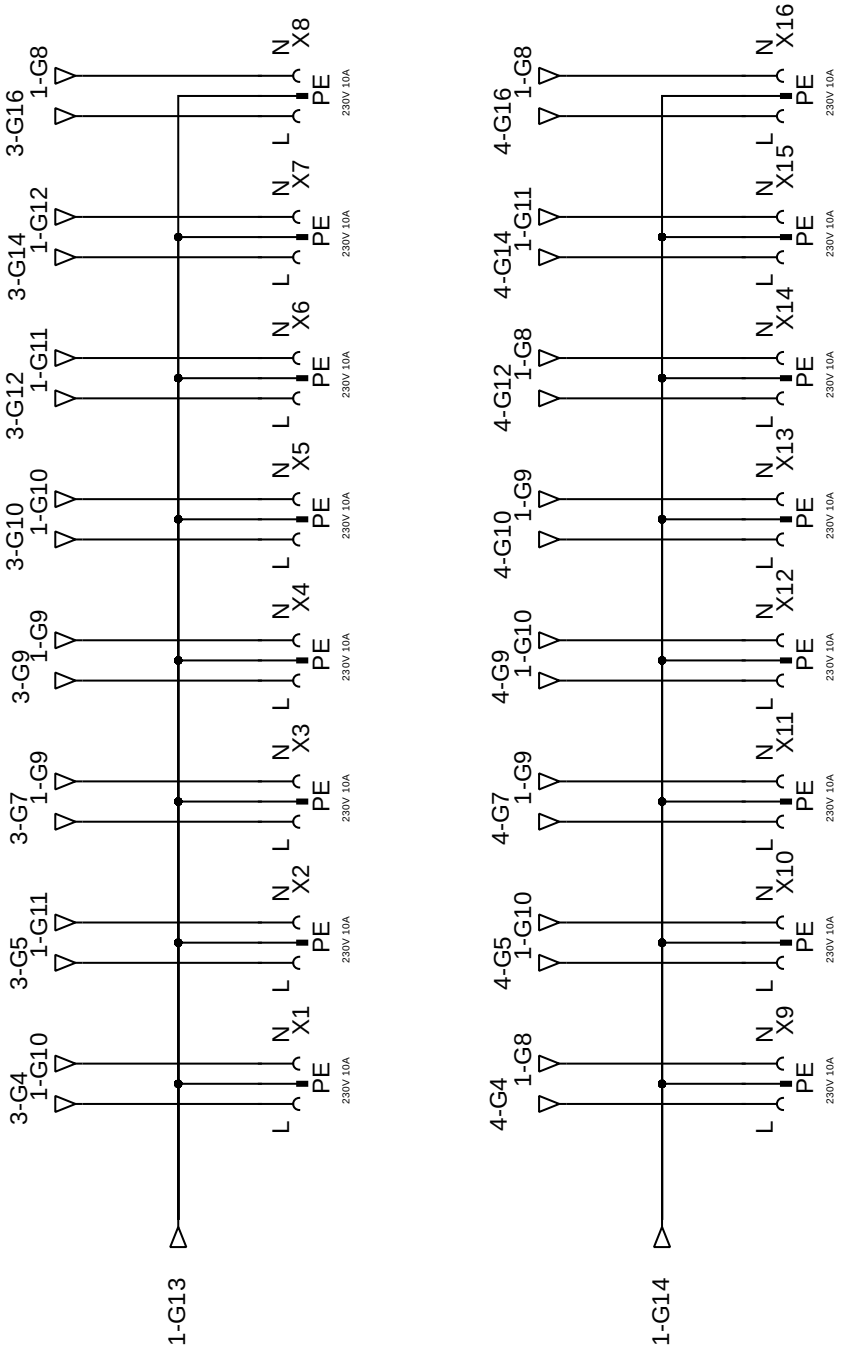
Datei: Praxisbeispiel für Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome

Seite: 3/5

Autor: Steve Kluser

Datum: 9/30/2026


1-G6
2-F16
K16
5-E14
1-G5
2-F15
K15
5-E12
1-G5
2-F15
K14
5-E11
1-G5
2-F14
K13
5-E10
1-G4
2-F14
K12
5-E9
1-G4
2-F13
K11
5-E8
1-G4
2-F13
K10
5-E7
1-G4
2-F12
K9
5-E5
3-G17
Datei: Praxisbeispiel für Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome
Seite: 4/5
Autor: Steve Kluser
Datum: 9/30/2026



Autor: Steve Kluser

Datum: 9/30/2026

Datei: Praxisbeispiel für Open Source Aktor / Sensor Prints fürs Smarthome

Seite: 5/5

Kickoff-Meeting mit Stephan

Datum: 05.08.2026 09:00

Ort: Teams

Fragen und Punkte zur Besprechung:

- GitHub Integration funktioniert aktuell nicht.
- Passt die Struktur so?
- Erklärung von meiner Idee
- Pflichtenheft in Ordnung so?
- Planung?
- Risikomanagement mehr Erklärung?
- Standortbestimmung in Bezug auf die Zielsetzung
- Aufzeigen allfällig aufgetretener Probleme (technische, logistische, theoretische etc.) mit Lösungsvorschlägen •
- Fragen zur Vorbereitung der Präsentation sowie Onlinepublikation, Qualifikationsprofil

Prototypen Vorstellung von Proof of Concept und Prototyp 1

Github integration funktioniert aktuell nicht.

- Problem 1 Tag vor Meeting behoben. Die Dateien werden mit Github Desktop hochgeladen.

Passt die Struktur so?

- Struktur ist gut, soll mich an das gelernte im Unterricht halten.

Erklärung von meiner Idee:

- Prototypen vorgestellt und Funktion und Idee beschrieben. Ziel ist es das Projekt auch nach der Diplomarbeit weiter zu betreuen.

Planung:

- Planung auf OpenProject gezeigt, erklärt und Abarbeitung erklärt. Stephan kennt das Programm bereits

Risikomanagement mehr Erklärung?

- So umsetzen wie im Unterricht gelernt, die Teko hat da keine konkreten Vorgaben in den Unterlagen

Standortbestimmung in Bezug auf die Zielsetzung

- Gute realistische Ziele

Aufzeigen allfällig aufgetretener Probleme (technische, logistische, theoretische etc.) mit Lösungsvorschlägen

- Keine Konkreten Probleme vorhanden, aktuell haben alle eine Lösung.

Fragen zur Vorbereitung der Präsentation sowie Onlinepublikation, Qualifikationsprofil

- Allgemeines, Richtlinien Besprechung und Widersprüchliches in den Unterlagen der Teko, Qualifikationsprofil besprochen. Sieht gut aus.

Abschlussgespräch mit Stephan

Datum: 10.09.2026 17:00

Ort: Teams

Fragen und Punkte zur Besprechung:

Zusammen mit Stephan die Diplomarbeit angeschaut, Erstellten Print und Praxisbeispiel vorgestellt.

- Objektiver Wissenschaftsstil
  - Keine Ich Formen verwenden
- Abgrenzungen von selbstgeschriebenen Texten, Wie Einfügen und Umgang mit englischen Texten.
  - Sämtliche selbstgeschriebenen Texte auf Reddit oder GitHub als Zitat einfügen.
  - Es kann erwartet werden, dass der Leser dieser Arbeit Grundkenntnisse in Englisch aufweist.

- Visuelle Abgrenzung von Reviews
  - Die Review von Github kann als Zitat eingefügt werden, Kursiv.
  - https://github.com/Steve-Teko/Diplomarbeit-2026/issues

- Umgang mit Redditpost
  - Stephan Reddit Post gesendet
  - Rückmeldung gezeigt
  - Einfluss in Arbeit dokumentiert
  - https://www.reddit.com/r/smarthome/s/PPpk7rwZGE

- Status der Diplomarbeit:
  - Keine weiteren Anmerkungen von Stephan zu meiner Diplomarbeit vorhanden

Finalisierung ausstehend, dem Abschluss steht nichts mehr im Wege. Es fehlen keine Bauteile und es hat keine ausstehenden Liefertermine.