

USBC-PD LABORNETZTEIL

Labornetzteil mit USB-C Eingang

[Specs](#)

100W 20V 5A Labornetzteil mit einstellbarer Spannung in 20mV Schritten +
Überstromschutz

Johannes Melcher-Millner & Manuel Mayrhofer

PD-LabSupply

Von Manuel Mayrhofer & Johannes Melcher-Millner

HTL-Rankweil 4AHEL

09-2023 – 11-2023

Inhaltsverzeichnis

Contents

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	<u>1</u>
<u>ZIELSETZUNG</u>	<u>3</u>
<u>MOTIVATION</u>	<u>3</u>
<u>LÖSUNGSWEG</u>	<u>3</u>
<u>INNOVATION</u>	<u>4</u>
<u>NACHHALTIGKEIT</u>	<u>4</u>
<u>ANWENDUNGSGEBIETE UND ZIELGRUPPE</u>	<u>4</u>
<u>TEAM</u>	<u>5</u>
MANUEL MAYRHOFFER	5
JOHANNES MELCHER-MILLNER	5
<u>BLOCKSCHALTBILD</u>	<u>6</u>
<u>KOMPONENTEN UND SCHALTUNGSBESCHREIBUNG</u>	<u>7</u>
SPANNUNGSVERSORGUNG	7
CONTROLLER	7
PD-TRIGGER IC	9
5V SPANNUNGSVERSORGUNG	9
HALLSENSOR	9
USER INPUTS	10
AUSGÄNGE	10
AUSGANGS MOSFET	10
ESD PROTECTION	11
LECACY: POGOPINS	11
NOISEFILTER	11

CODE	11
<u>SCHALTPLAN V3.1 (LETZTE VERSION MIT PICO PLATINE)</u>	12
<u>SCHALTPLAN V5 (UMFANGREICHSTE PLATINE OHNE FUNKTIONSTESTS)</u>	13
<u>BOARDPLAN TOP</u>	14
<u>BOARDPLAN BOTTOM</u>	15
<u>3D VIEW</u>	16
<u>AUFBAU UND FUNKTIONSTEST DES PROTOTYPS</u>	17
OHNE PICO	17
INITIALISIERUNG	17
33 OHM LAST	18
2W WIDERSTAND	18
100W DAUERLEISTUNGSTEST INCL. WÄRMEBILDFOTOS	19
<u>GEHÄUSE</u>	20
<u>GEWICHT & ABMESSUNGEN</u>	21
<u>WEITERE VORGEHENSWEISE</u>	22
CE ZERTIFIZIERUNG	22
EMV	22
BRANDSCHUTZ	22
SERIENPRODUKTION UND VERKAUF	22
<u>LABSYSTEM</u>	22
MODULE	22
SMPS	22
FUNKTIONSGENERATOR	23
LÖTKOLBEN	23

Zielsetzung

Unser Projektziel war es, ein Gerät zu entwickeln, welches die verbreitetsten Spannungen des USB-C PowerDelivery Standards liefern kann. Diese wären: 5V, 9V, 15V und 20V. Um es als fein justierbares Labornetzteil nutzen zu können haben wir uns jedoch dazu entscheiden auch den PPS-Standard (Programmable Power Supply) zu implementieren, welcher es uns ermöglicht eine beliebige Spannung in einem bestimmten Bereich einzustellen. Ein Überstromschutz wurde dabei ebenso eingeplant.

Ein weiterer wichtiger Punkt war der Formfaktor und die Bedienbarkeit. So haben wir die Platine so klein wie möglich, aber so groß wie nötig gehalten.



PPS hat viele Vorteile gegenüber dem Standard-PD-Protokoll, da es uns ermöglicht, die Spannung in 20-mV-Schritten von 3,3 V bis 24 V und einen Kurzschluss Strom von bis zu 5 A einzustellen, abhängig von der Fähigkeit unserer Quelle.

Wir haben im Wesentlichen ein voll ausgestattetes Labornetzteil entwickelt, das über USB-C versorgt wird und 100 W Leistung mit einem Überstromschutz liefern kann.

Motivation

Labornetzteile sind für beinahe jedes Elektronik Projekt nötig, sind jedoch sehr kostspielig und alles andere als platzsparend. Jedoch fast alle USB-C Netzteile haben im Grunde ähnliche Fähigkeiten, sind sehr leistungsstark und überall erhältlich. Diese Fähigkeiten müssen nur noch ausgenutzt werden und das wird mit diesem Projekt realisiert.

Hier wird unser Produkt(rechts) mit einem konventionellen Netzteil ähnlicher Preisklasse verglichen. Das Konventionelle Netzteil hat dabei allerdings eine Vielzahl an Features nicht.

		
Gewicht	1.46kg	Incl. Gehäuse: 29g
Größe	19 x 9 x 15 cm	6.5 x 3.3 x 1.5 cm

Lösungsweg

Angefangen haben wir das Projekt mit der Suche nach Referenz Projekten, welche bereits realisiert wurden und OpenSource sind, da eine Entwicklung von Grund auf nicht in diesen kurzen

Zeitrahmen passte. So haben wir mehrere Referenz Projekte zusammengefügt, eigene Software und Hardware entwickelt und im Gegenteil zu allen anderen eine eigenständige Benutzeroberfläche hinzugefügt, dass kein weiteres Gerät zur Bedienung nötig ist. Es kann jedoch auch ein weiteres Gerät hinzugezogen werden, um die Standardspannungen anzufragen.

Innovation

Die Innovation in unserem Projekt liegt im Formfaktor, der Flexibilität im Nutzungsgebiet, der Bedienbarkeit und den Kosten des Produktes, da die Kosten auch mit einem guten USBC-Netzteil geringer sind wie die billigsten Labornetzeile. Diese haben allerdings auch meistens keine der oben genannten Eigenschaften.

Nachhaltigkeit

Unser Projekt ist besonders nachhaltig, da keine großen, schweren und teuren Geräte angeschafft werden müssen, welche am Ende ihrer Lebenszeit auch irgendwann im Müll landen. Die Auswirkungen einer möglichen Umrüstung einer Technik Schule sind enorm. Ein durchschnittliches Labornetzteil wiegt mehrere Kilo und beinhaltet große Mengen an Kupfer. Unser Produkt hingegen wiegt wenige Gramm und kostet ein Bruchteil eines konventionellen Labor Netzteils. Somit ist es viel besser erhältlich für Personen oder Firmen mit kleinem Budget. Denn unser Gerät arbeitet in Verbindung mit existierenden Netzteilen wie Handynetzteilen. So kann das gleiche Netzgerät mit USB-C für Handys, Laptops und nun auch unser Labornetzteil verwendet werden. Dies verringert die Menge an Müll erheblich, wenn die Elektronik überfällig wird.

Um unser Produkt noch nachhaltiger zu machen kann das Plastik für den 3D-Druck der Standbeine oder eines Gehäuses aus recyceltem Plastik gedruckt werden. Die Veröffentlichung unserer Dateien auf GitHub trägt auch indirekt zur Nachhaltigkeit bei und hilft uns bei der Entwicklung, da jeder das Projekt weiterentwickeln kann. Weiters können wir unseren Controller direkt auf die Platine löten, um Material zu sparen, statt eine fertige Platine mit Pins etc. zu verwenden.

Wir könnten eine Sammelstation für alte PET-Flaschen eröffnen und dieses dann zu Filament verarbeiten, um damit die Gehäuse zu drucken. Dies hat einen ökologischen Nutzen, da die Flaschen nicht in der Natur oder im Müll landen. Bei diesem Verfahren ist die Qualität des Plastiks nicht so entscheidend wie beim Recycling für z.B. Haushaltsgegenstände, welche in Kontakt mit dem Mund kommen. So kann mehr recycelt werden und die Kosten werden verringert.

Anwendungsgebiete und Zielgruppe

1. Elektronikentwicklung: Zur Versorgung von Schaltungen und Bauteilen während des Prototyping-Prozesses. Das Netzteil bietet präzise Spannungen, kann aber auch bei hohen Leistungen eingesetzt werden.
2. Reparatur von Elektronikgeräten: Für die gezielte Stromversorgung von defekten Komponenten bei Reparaturen.
3. Lehrzwecke: In Bildungseinrichtungen für Demonstrationen und Praktika im Bereich Elektronik. Unsere Lösung ist wesentlich billiger, platzsparender und Recourcen schonender wie konventionelle Labornetzeile.

4. Forschung und Entwicklung: In Laboren für die Versorgung von Versuchsaufbauten und Messinstrumenten.

Damit ist auch die Zielgruppe recht eindeutig definiert. Dieses Produkt ist äußerst nützlich für die Elektronikentwicklung. Dazu gehören Elektronikingenieure und Techniker sowie Hobbyisten.

Team

Manuel Mayrhofer



Zuständig für:

- Recherche
- Dokumentation
- Software
- Mithilfe beim Schaltplandesign

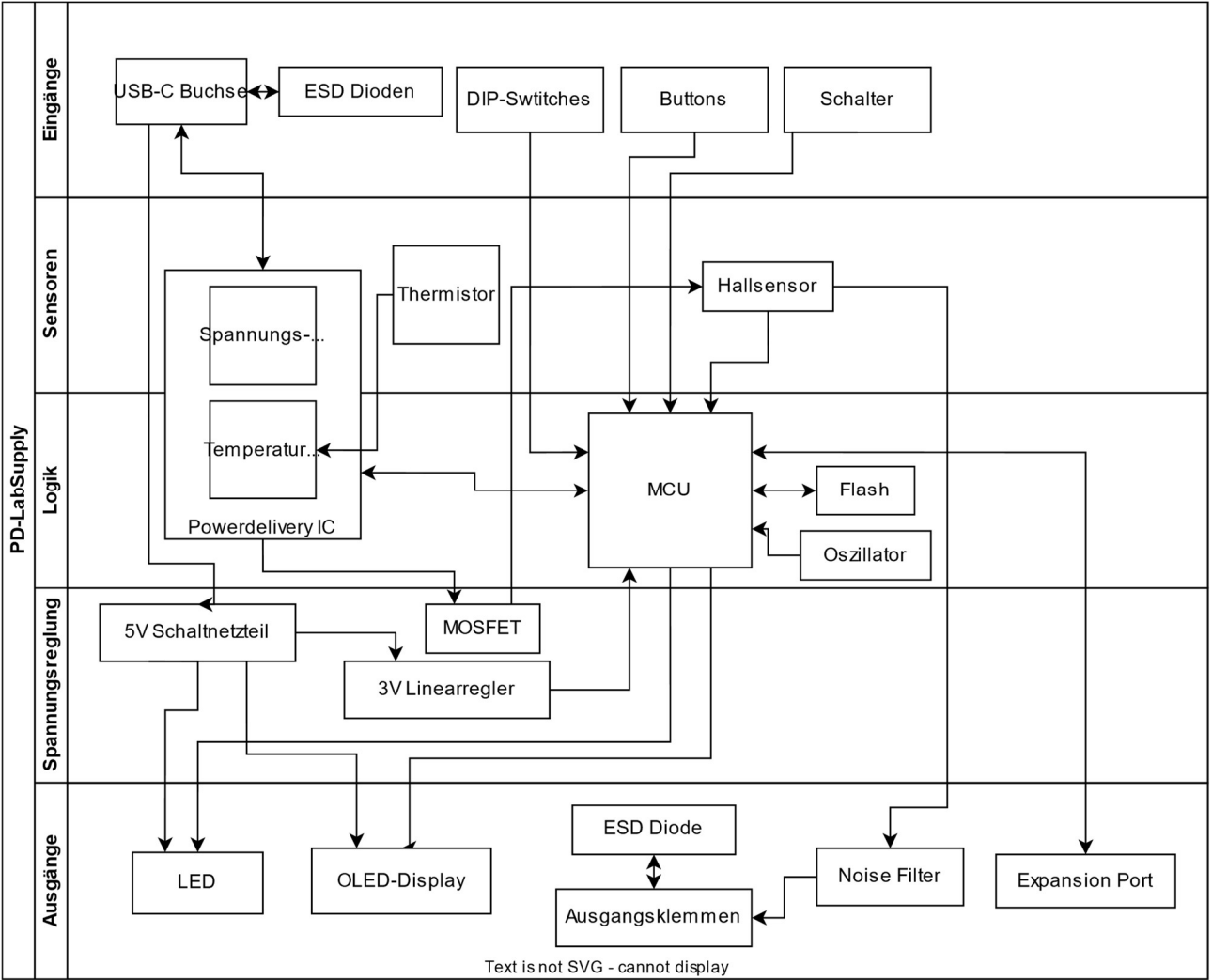
Johannes Melcher-Millner



Zuständig für:

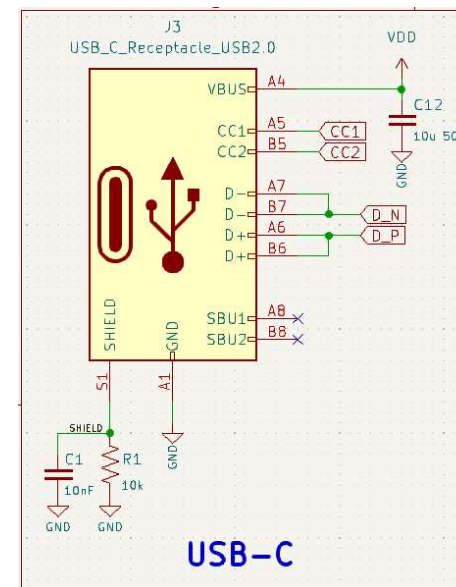
- Schaltplan und Platinen design
- Komponentenauswahl
- Recherche

Blockschaltbild



Komponenten und Schaltungsbeschreibung

Spannungsversorgung



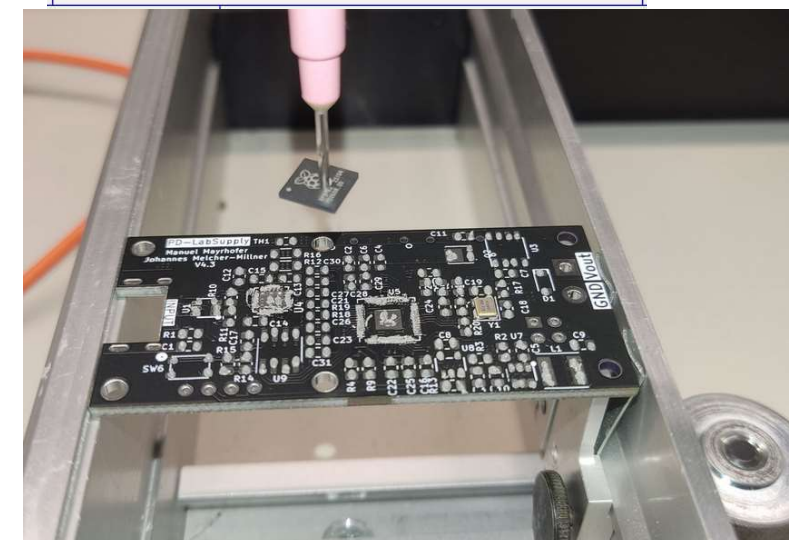
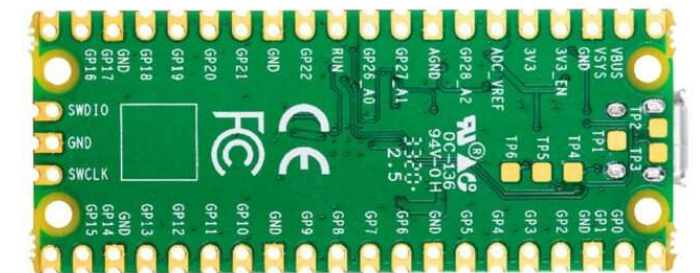
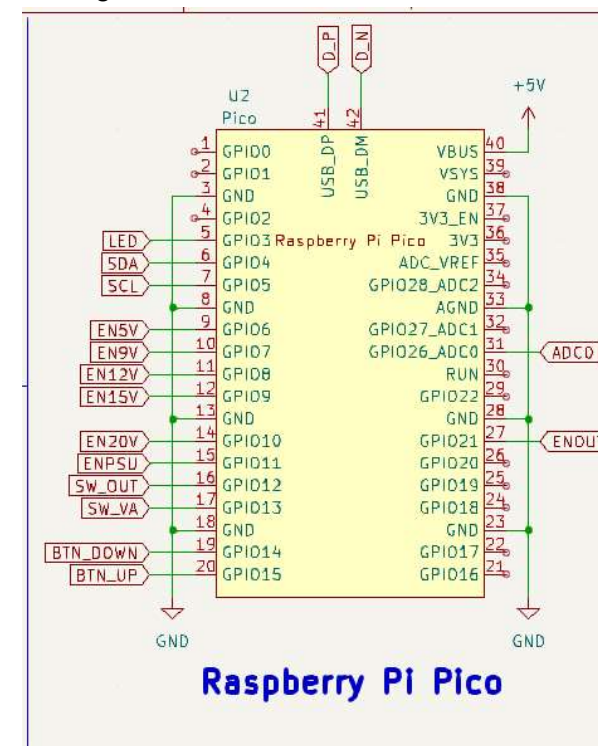
Um das Triggerboard verwenden zu können, benötigt man natürlich eine USB-C Spannungsversorgung, die den PowerDelivery Standard unterstützt, optimalerweise noch zusätzlich mit dem PPS (Programmable Power Supply) - Feature. Solche Netzteile lassen sich jedoch schnell in Elektronikfachmärkten oder auf diversen Online-Shops auffinden.

Wird ein Netzteil ohne PowerDelivery verwendet, kann man zwar die Spannung nicht einstellen, jedoch die Strombegrenzung funktioniert weiterhin.

Controller

Das Herzstück des Prototyps ist derselbe Prozessor, welcher auch auf dem berühmten Raspberry Pi Pico verbaut ist. Dieser wurde bereits in Form des Raspberrys für die ersten Prototypen verwendet, wurde allerdings später durch den Chip selbst auf der eigenen Platine ersetzt, um eine starke Miniaturisierung zu erreichen. Zusätzlich ist dieser Prozessor sehr gut erhältlich und exzellent dokumentiert, was die Arbeit damit unheimlich verbessert.

Durch die Verwendung einer fertigen Platine bei den ersten Prototypen, welche aufgesteckt wird, war es uns beim Testen möglich den Controller einfach zu wechseln, wenn er einen Fehler hatte oder gar defekt war.

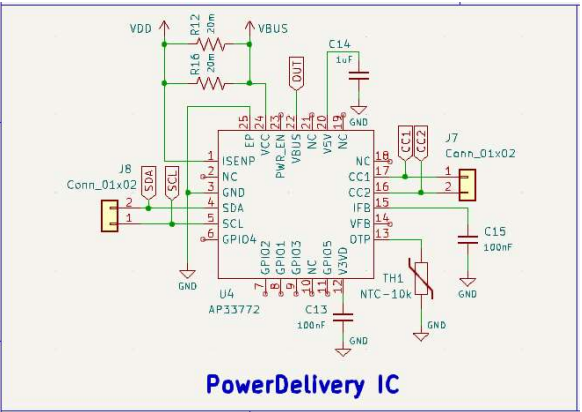


Das obere Bild zeigt die Raspberry PI Platine wie man sie kaufen kann. Für das Produkt jedoch haben wir uns entschieden den Prozessor des Pico's(RP2040) direkt auf unserem PCB zu verbauen. Die von uns entwickelte Platine (schwarz auf der linken Seite) ist jedoch fast gleich groß wie die originale Platine, hat jedoch die volle Funktionalität des beschriebenen Labornetzteiles.

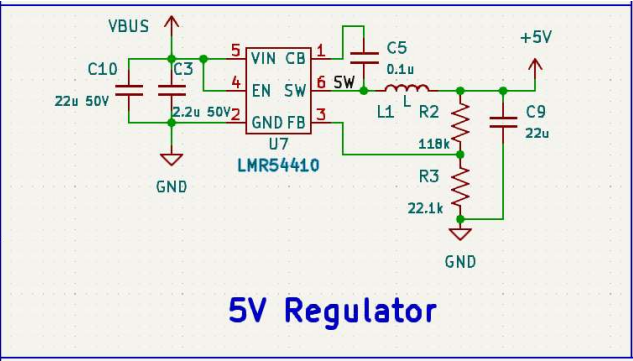
PD-Trigger IC

Als kommunikationsschnittstelle wurde der AP33772 USBC-Sink-Controller gewählt aus verschiedensten Gründen.

- Sehr umfangreiche Features wie:
 - PPS-Support
 - Strom und Spannungsmessung
 - Eingebauter Überstromschutz
 - Temperaturmessung über externen Thermistor
 - Kommunikation über I2C
 - 3.3-24V
- Eine bereits existierende Library in c die als Basis für das Projekt verwendet wurde
- Kosten und Erhältlichkeit



5V Spannungsversorgung



Um den Pico konstant mit 5V DC zu versorgen ist eine Form von Spannungsregler nötig, welcher bei einer stark variablen Eingangsspannung eine gleichmäßige Ausgangsspannung liefert.

Hierfür haben wir und für den LMR54410, einen 1.1Mhz synchronen Leistungswandler, entschieden. Dieser hat eine Eingangsspannung von 4.5 bis 36V und kann konstant 1A liefern.

Diese Spannungsversorgung stellte sich allerdings aufgrund der EMV als problematisch dar und war auch zu teuer für eine Serienproduktion und brauchte zu viel Platz auf der Platine. Daher wurde sie in der neuesten Version durch einen anderen IC ersetzt, welcher es uns ermöglichen sollte, bis auf 3.3 V runterzugehen, ohne, dass der Rest der Schaltung abschaltet. Da dieses Gerät noch nicht getestet wurde wird es in der Dokumentation noch nicht beschrieben, ist allerdings auf dem Schaltplan der V5 zu sehen.

Hallsensor

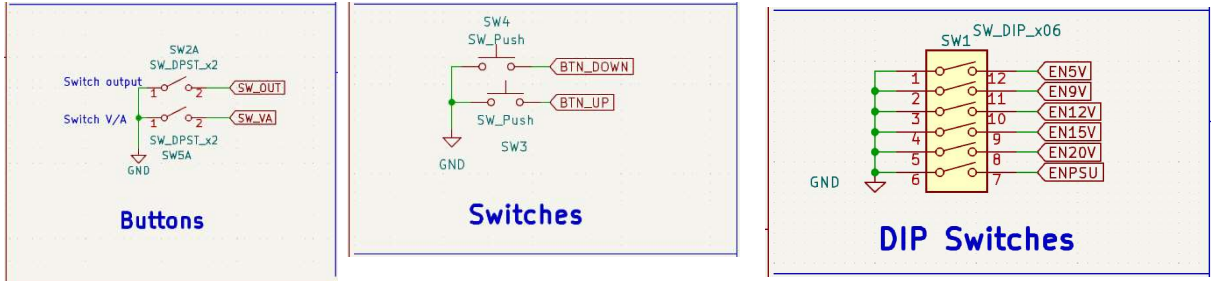
Der Hallsensor wird als zusätzliche Strommessung verwendet. Mit ihm kann der Überstromschutz realisiert werden und zusätzlich die Ausgangsleistung und die angeschlossene Last berechnet und angezeigt werden. Dieser wird statt einem Shunt Widerstand verwendet, da er eine viel genauere, Temperatur unabhängige Messung ermöglicht. Es wird ein Modell mit 0.4V/A verbaut, durch den der Strom in reverse fließt da der ADC am Pico nur max 3.3V (durch Vref) messen kann und mit dem Bias des Hall Sensors (~2.51V) wird dies überschritten.

User Inputs

Als Eingabe wird ein Dip-Switch mit 7 Schaltern verwendet, bei dem die Standardspannungen und das PPS-Feature eingestellt werden können.

Sind mehrere Schalter aktiv, wird die Niedrigste der gewählten Spannungen aktiviert.

Zusätzlich zum Dip-Switch sind zwei Schalter auf der Seite des PCBs angebracht. Einen um den Output togglen zu können. Den Zweiten, um einzustellen können, ob man mit den Up and Down Buttons die Spannung oder den Kurzschlussstrom verstellt.

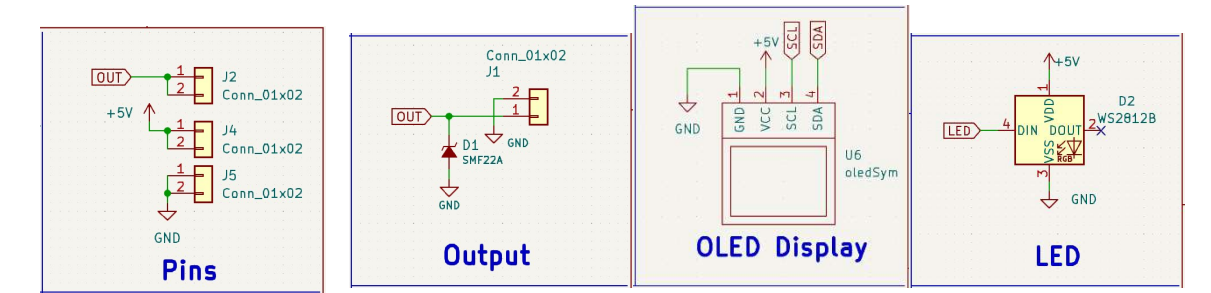


Ausgänge

Als Ausgabe wird ein 0.96“ OLED-Display verwendet um genaue Daten anzuzeigen, plus eine RGB LED um besondere Fälle wie einen Überstrom klar darzustellen.

Angezeigt wird die eingestellte Spannung, die gemessene Spannung am Ausgang, der eingestellte Kurzschlussstrom, der Reale Strom, die Leistung, die Last am Ausgang und die Temperatur des Systems.

Beim Einstecken des USB-C Netzteils zeigt das Netzteil die Spezifikationen der Spannungsquelle an. Etwa ob PPS unterstützt wird, die maximale und minimale Spannung und den maximalen Strom. Diese Werte werden automatisch als Grenze für das PPS-Feature gesetzt.

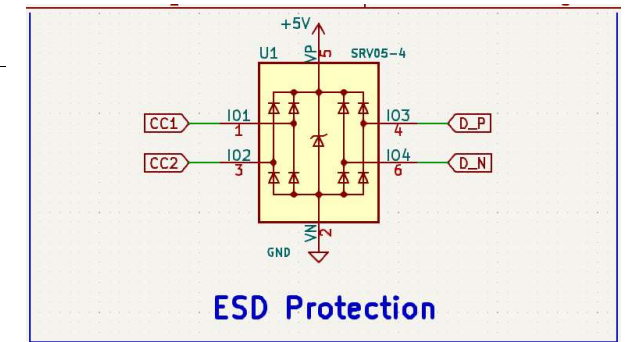


Ausgangs Mosfet

Um den Spannungsausgang deaktivieren zu können haben wir einen P-Channel high side Mosfet eingebaut. Dieser kann hohe Lasten schalten und hat dank den 13mOhm RDCon einen geringen Spannungsabfall. Dies ist vorteilhaft, um eine möglichst genaue Ausgangsspannung zu erreichen.

ESD Protection

Beim ESD Schutz haben wir Inspiration an Referenzprojekten genommen und eine SRV05-4 TVS Diode verbaut. Diese kann temporär eine Eingangsspannung von $\pm 15\text{kV}$ ableiten und verträgt eine Leistung von 60W.



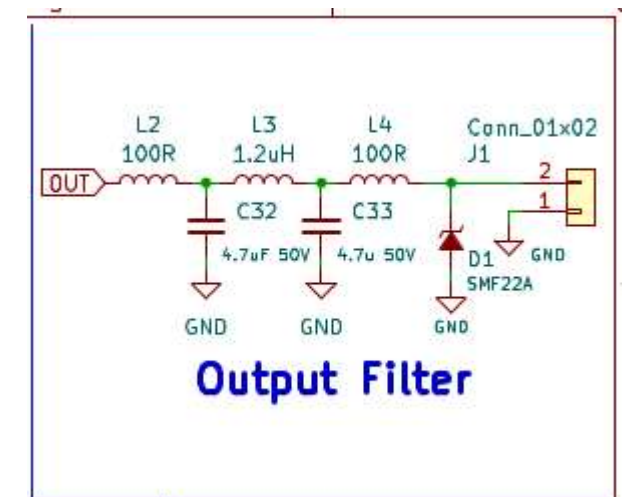
Lecacy: Pogopins

Um auf dem Prototypen den Pico über den USB-C Port programmieren zu können, wurden sogenannte Pogopins auf der Platine platziert, welche die Datensignale über Testpads an der Unterseite des Controllers einspeist. Diese Pins sind gefedert und stellen somit immer einen perfekten Kontakt mit der Platine her. Bei den neuen Versionen wird die offensichtlich nicht mehr verwendet da sich der RP2040 Chip direkt auf dem PCB befindet.



Noisefilter

Da Handynetzteile aus unserer eigenen Erfahrung keine wirklich schöne Ausgangsspannung liefern und unser Schaltnetzteil unter Last möglicherweise Störungen auf den Ausgang übertragen könnte, haben wir uns dazu entschieden einen einfachen LC-Filter am Ausgang zwischenschalten um hochfrequente Störungen zu filtern.



Code

Der Pico wird mit der Arduino IDE programmiert da die bereits vorhandene Library für den USB-Controller auf C geschrieben ist ([Link to library](#)). Diese Library wurde jedoch stark modifiziert, um einige Fehler auszubessern und Funktionen, welche für uns relevant waren hinzuzufügen.

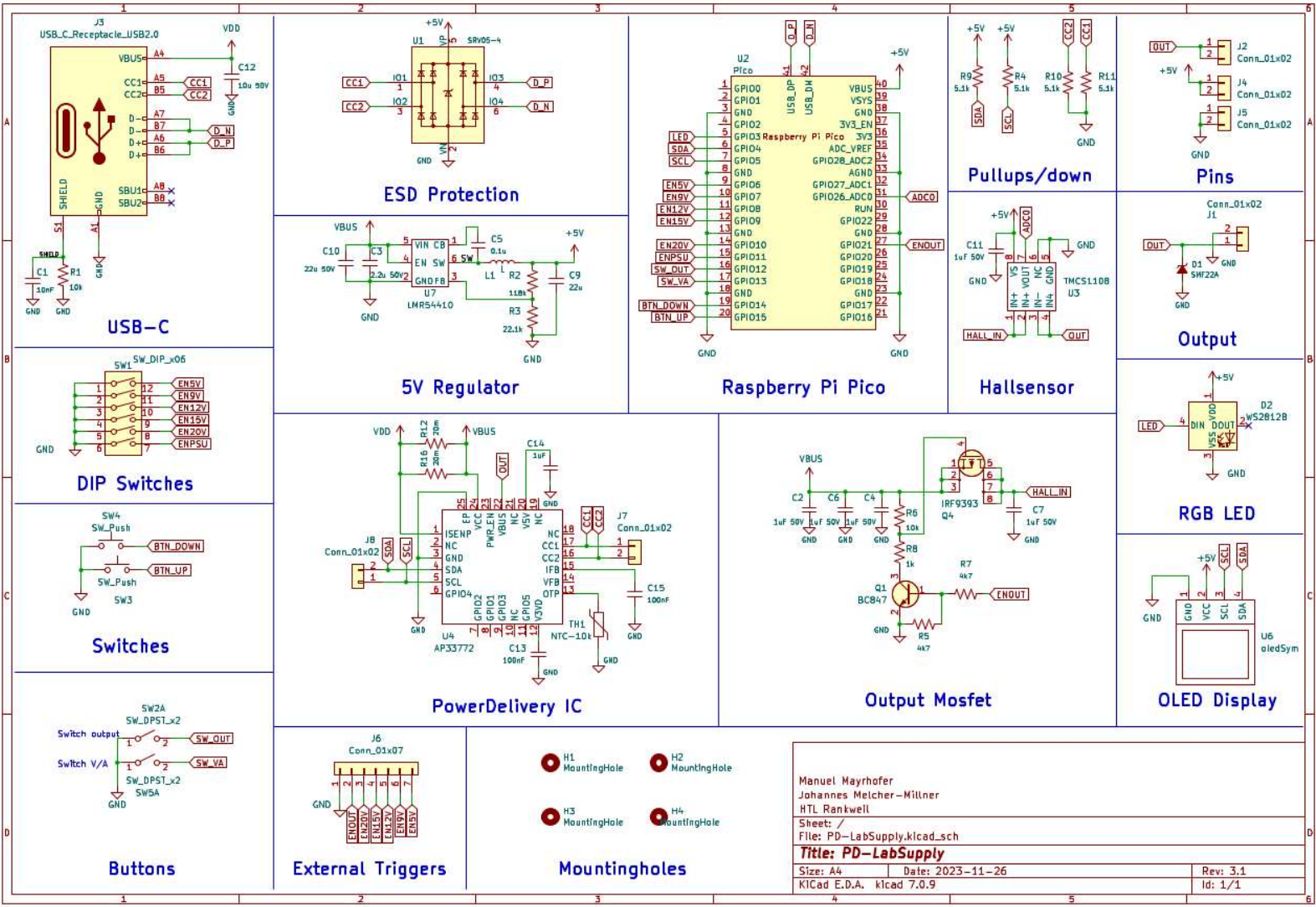
Für die RGB LED und das OLED-Display werden weitere Standardlibrarys verwendet.

Eine genaue Codebeschreibung haben wir hier nun nicht eingefügt, da es mehrere hundert Zeilen im Programm sind und alles auf GitHub öffentlich einzusehen ist.

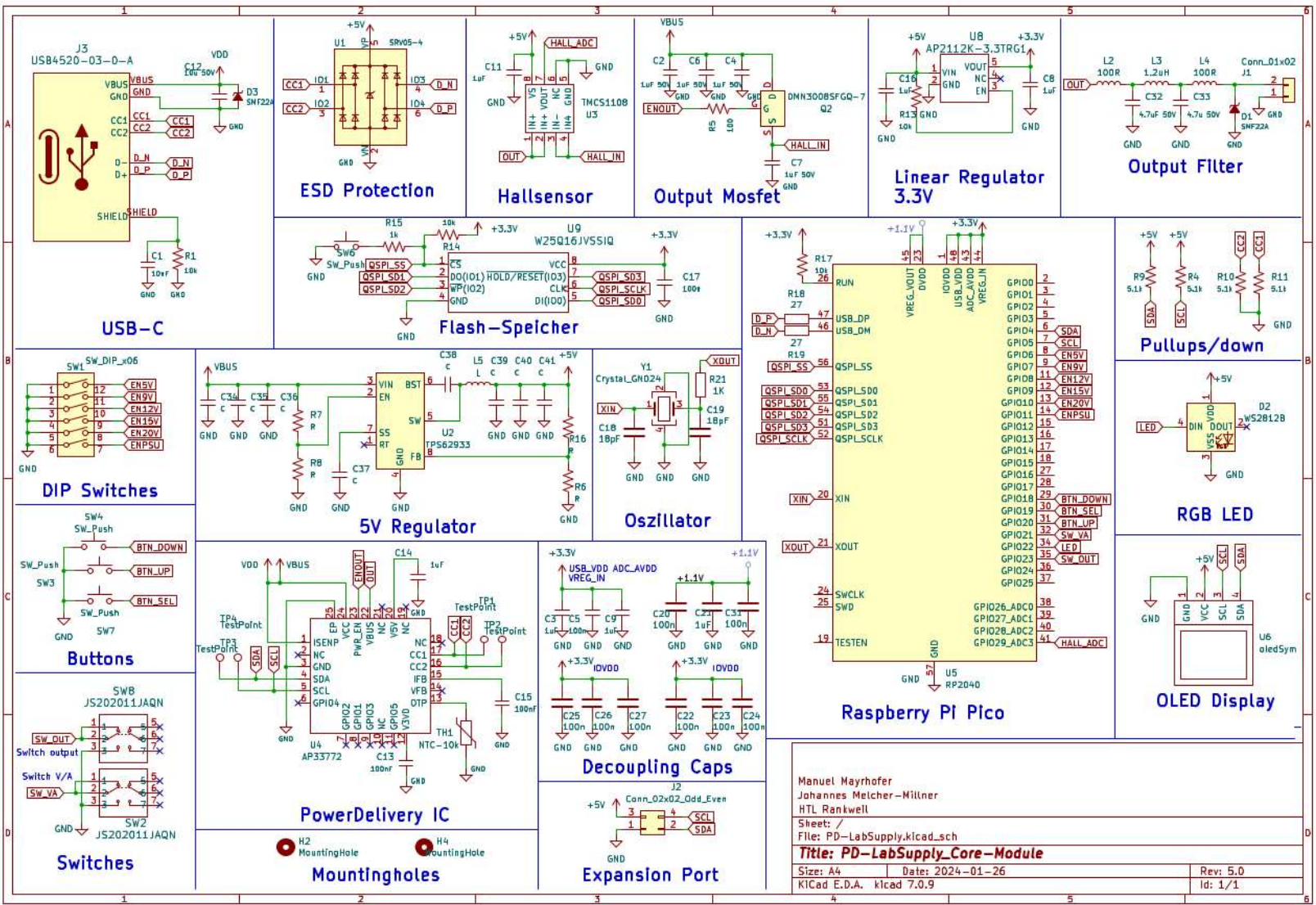
Link zu Github: [GitHub](#)

Link zu Onedrive: [Hardware](#)

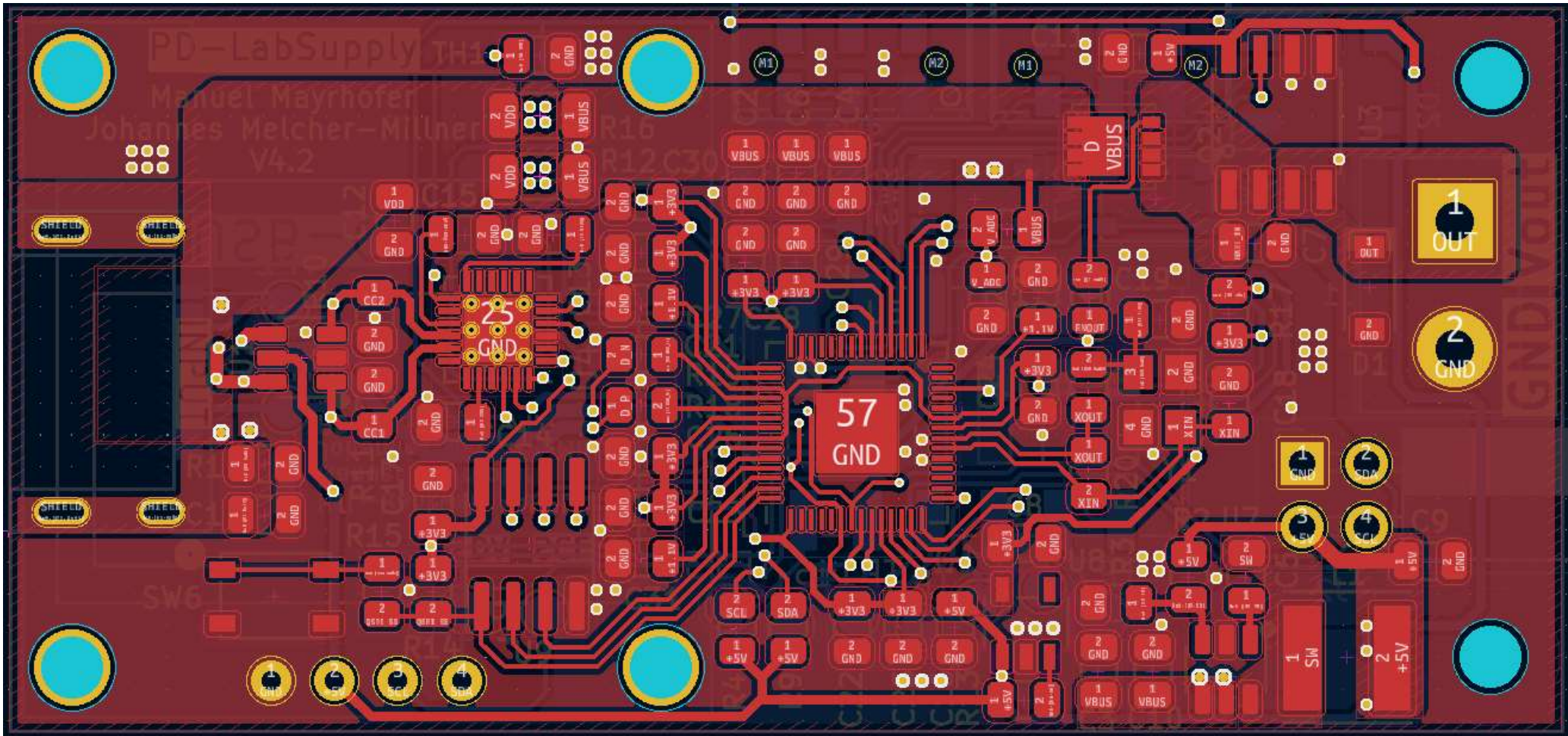
Schaltplan v3.1 (letzte Version mit Pico Platine)



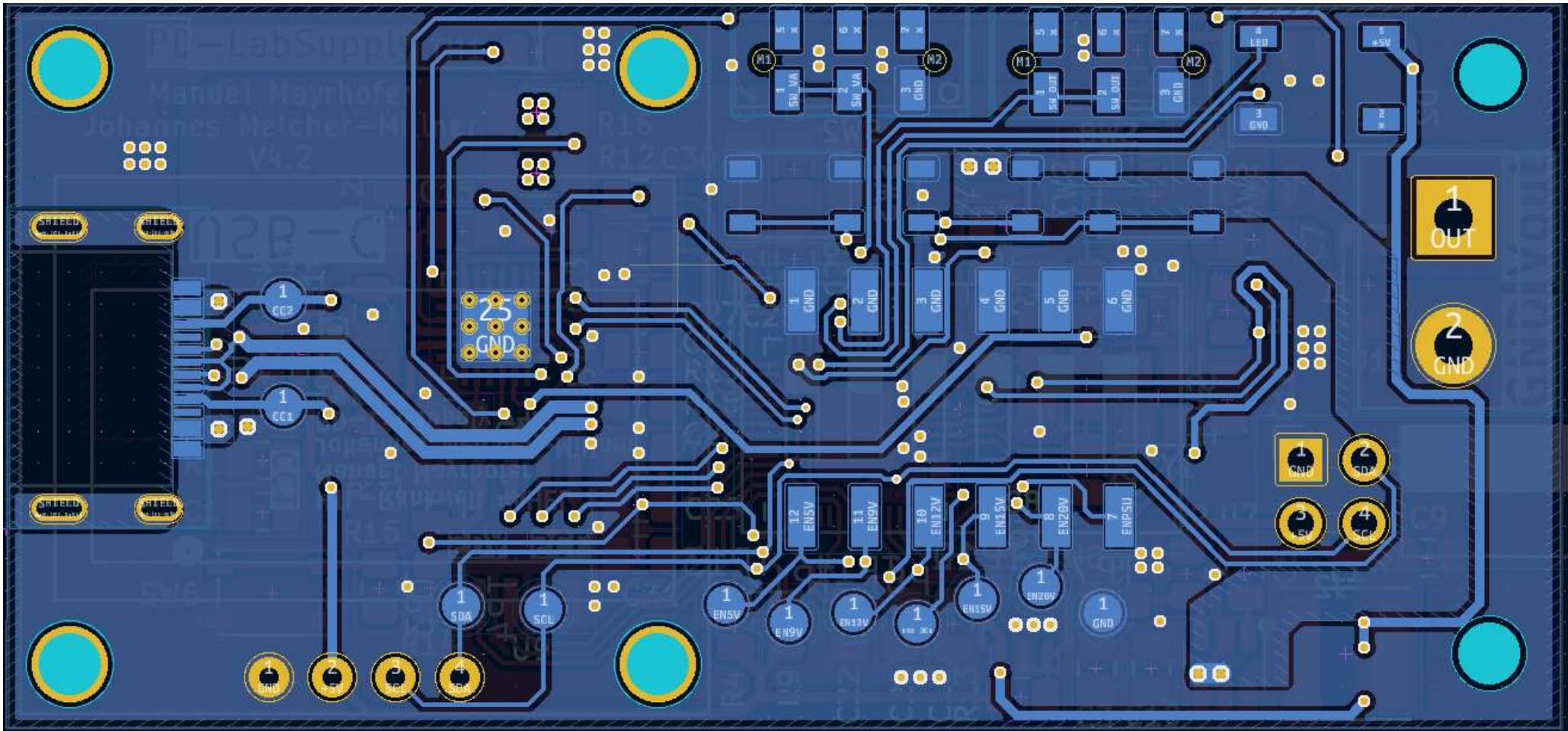
Schaltplan v5 (umfangreichste Platine ohne Funktionstests)



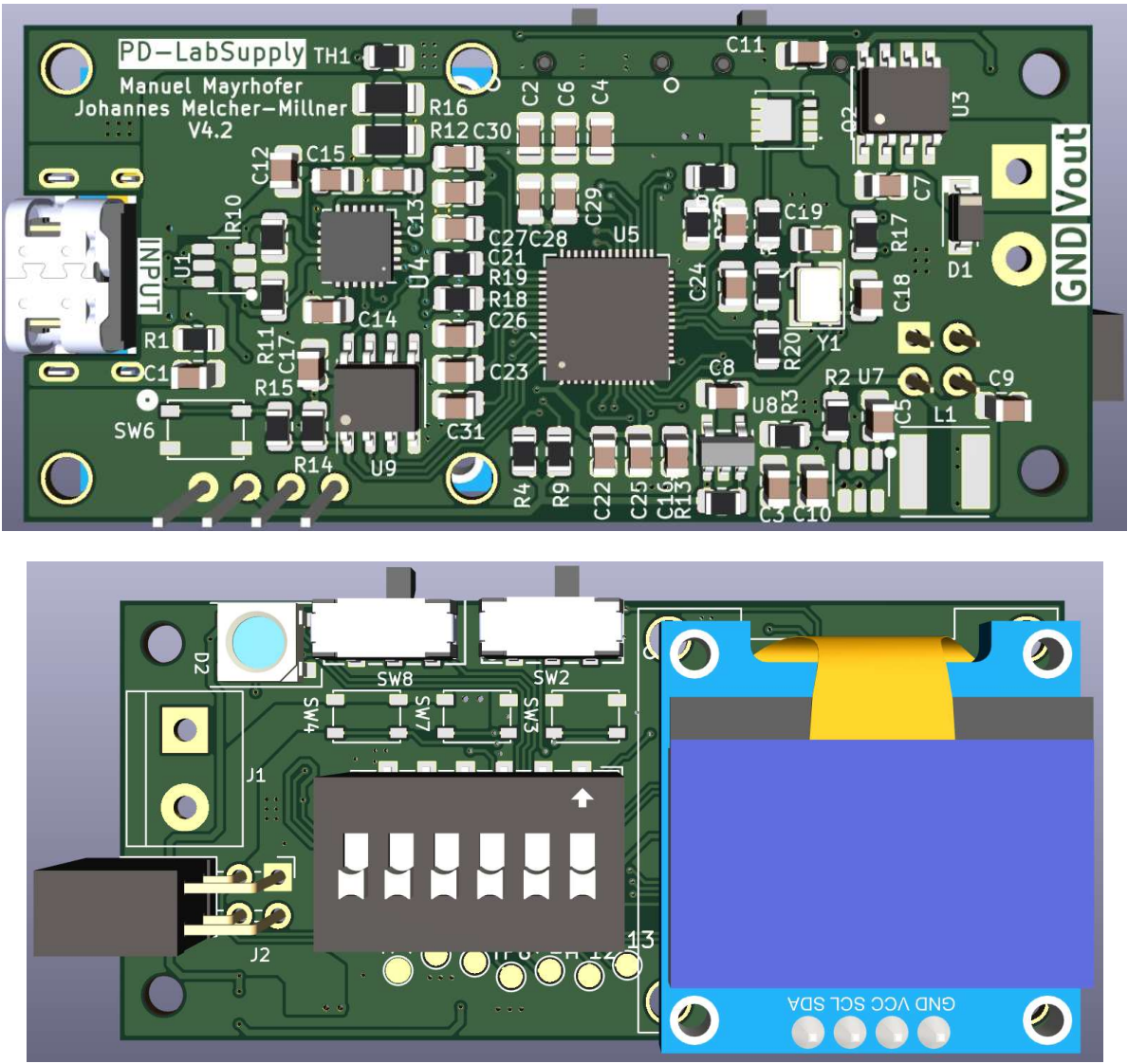
Boardplan Top



Boardplan Bottom



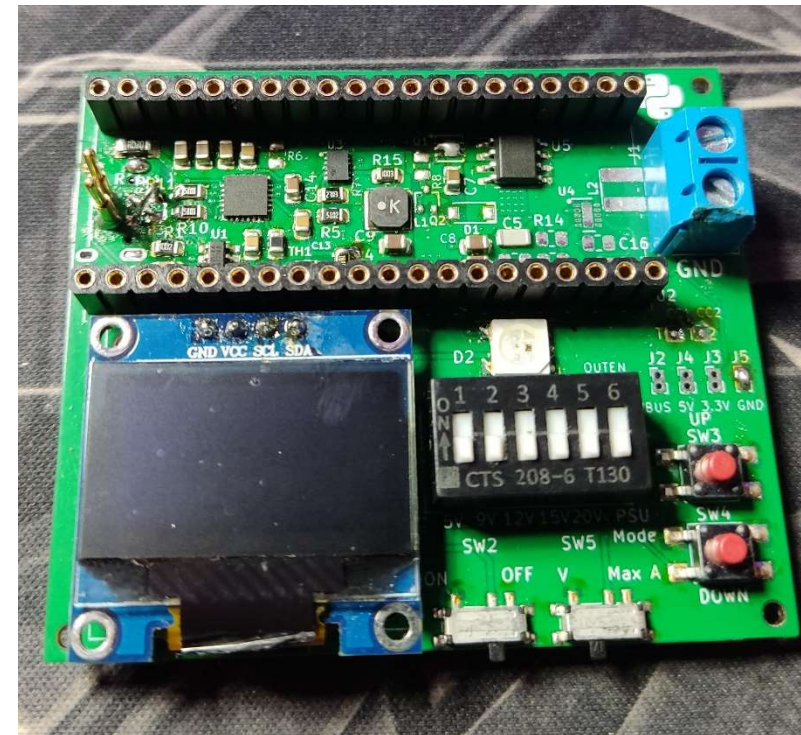
3D View



Aufbau und Funktionstest des Prototyps

Für die Test wurde noch die Version 2.2 verwendet. Mittlerweile sind wir bei Version 4.3 angelangt, welche ohne Modifikation funktioniert, wesentlich kleiner und billiger ist. Folgende Bilder zeigen den Aufbau des Prototyps und ein paar Tests. Insgesamt waren bis zu diesem Punkt allerdings 15 Revisionen des Schaltplanes notwendig.

Ohne Pico



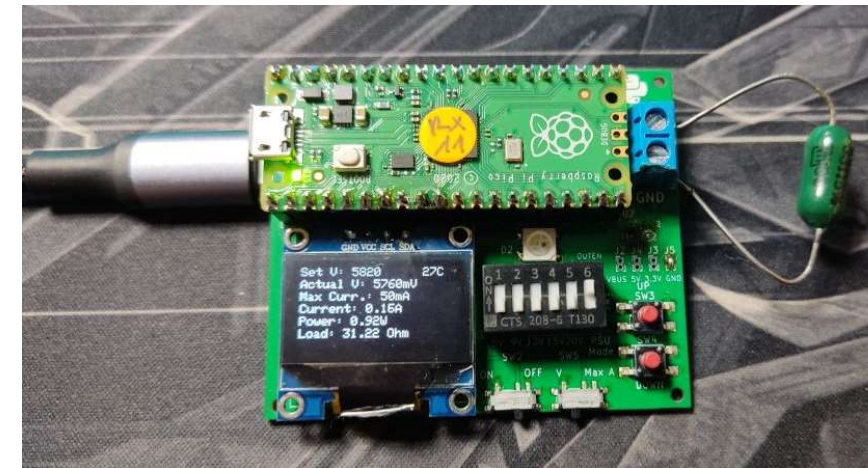
Initialisierung



Bei der Initialisierung zeigen wir am OLED-Display die Spannungen und Ströme an, welche die Quelle unterstützt. Zusätzlich werden softwareseitig alle nicht verfügbaren Spannungen automatisch von der Auswahl ausgeschlossen.

Während der Initialisierung wird auch der Hallsensor, welcher zur Strommessung ist, kalibriert. Daher sollte beim Start keine Last angeschlossen sein.

33 Ohm Last

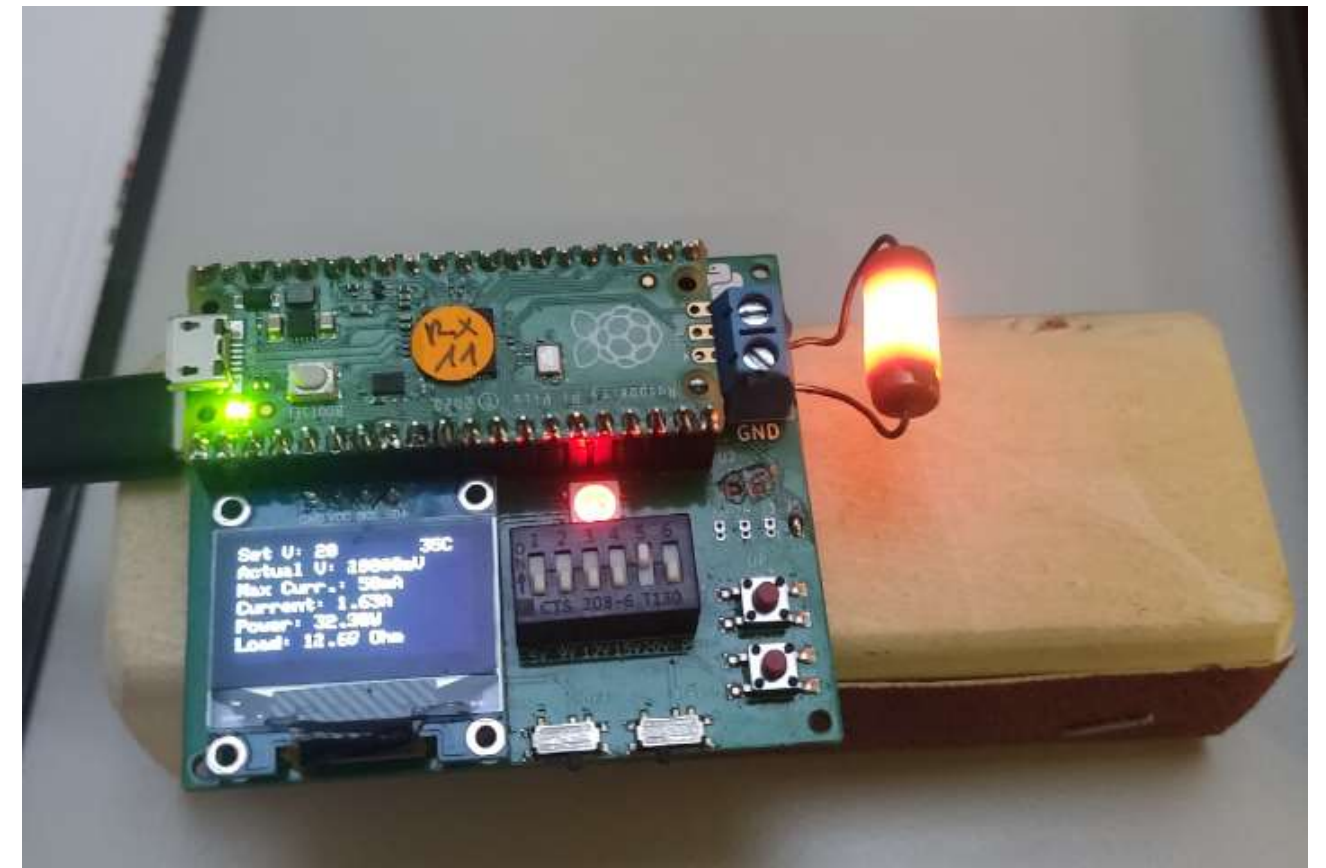


In diesem Aufbau wurde noch ein Hall Sensor mit einer geringeren Auflösung von 200mV/A verwendet. In der neuesten Version wird ein um weiten genauerer verwendet. Dies ist der Grund, warum die 33Ohm Last auf nur 31Ohm geschätzt wird. Mit dem neuen Hall Sensor (Auflösung 400mV/A) kann man wesentlich genauere Ergebnisse erwarten.

Um die Wärmeableitung unserer Platine zu testen wurde ein Leistungstest bei Raumtemperatur mit einer Labor Last durchgeführt bei der 100W Dauerleistung verbraucht wurden. Währenddessen ist das PCB mit einer Wärmebildkamera observiert worden mit dem Ergebnis, dass das wärmste Bauteil der 10mOhm Shunt ist. Dieser hat im eingeschwungenen Zustand 80°C. Dieser ist im Produkt nicht mehr verbaut, da dies nur ein Backup zum Hallsensor war.

2W Widerstand

Mit unserem Gerät kann man sogar einen gewöhnlichen Lastwiderstand in eine „Glühbirne“ verwandeln, welche auch schon zum Löten verwendet wurde.



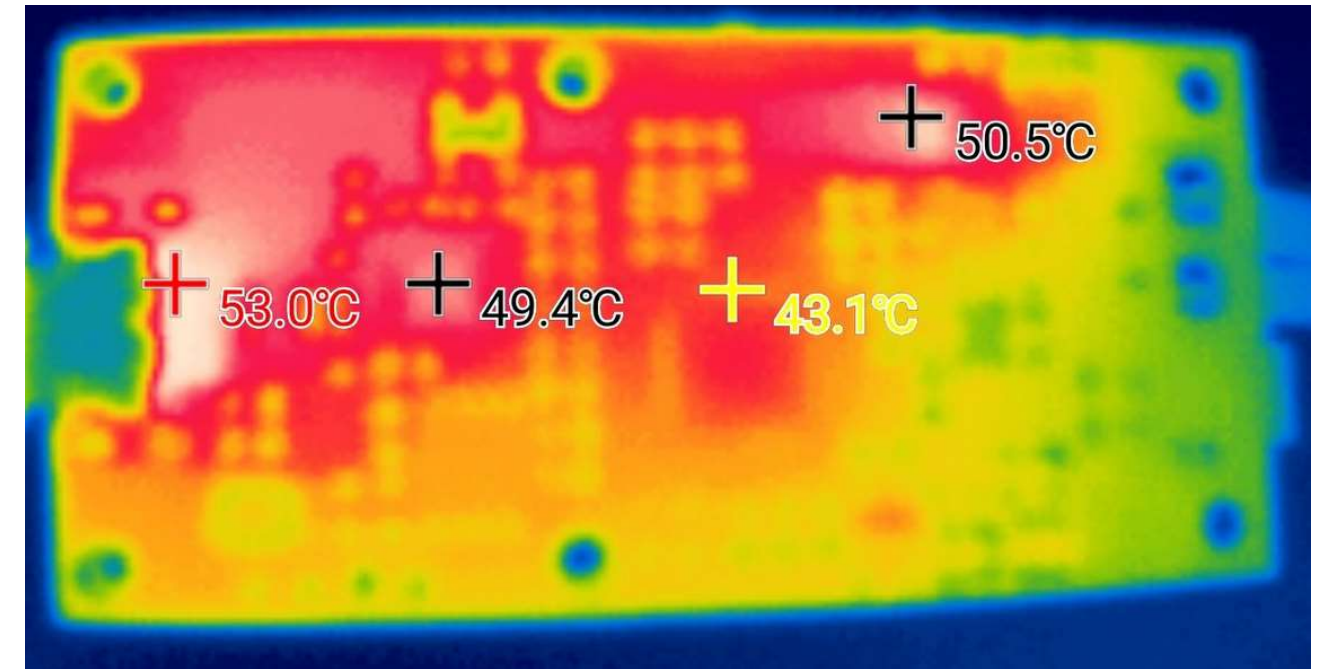
100W Dauerleistungstest incl. Wärmebildfotos

Der Dauerleistungstest wurde mit einer Elektronischen Laborlast durchgeführt. Es wurden über mind. 10min >98W verbraucht. Man kann auch gut erkennen das die Leistungsangabe, sowie auch die Widerstandsangabe recht genau stimmen.

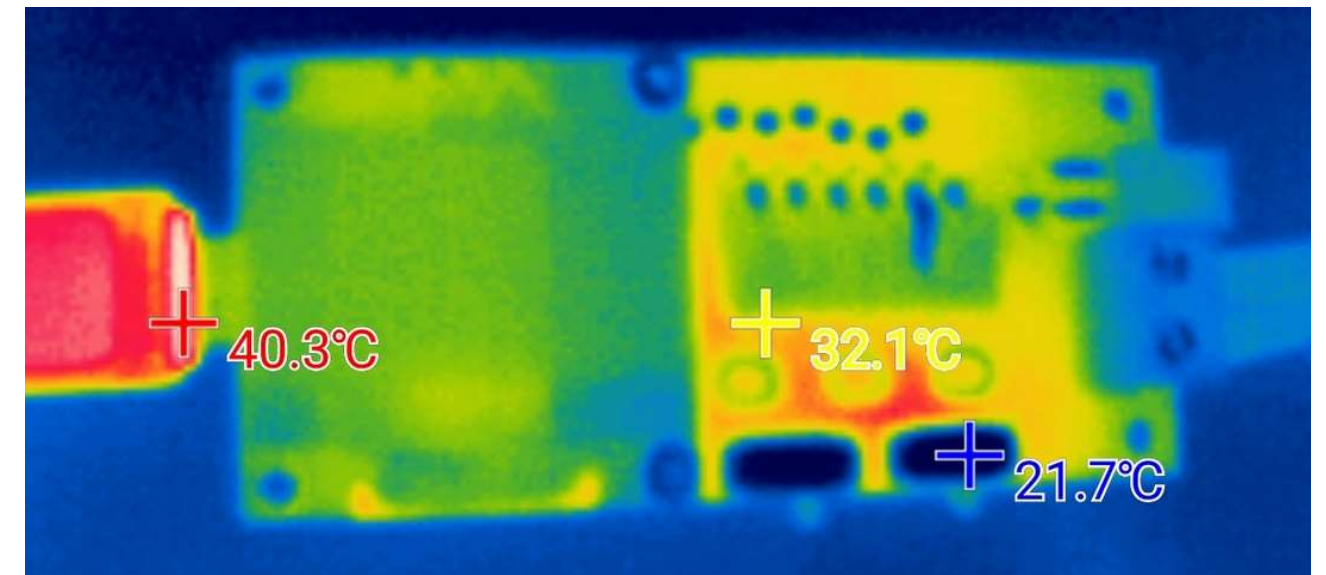


Um die thermischen Auswirkungen des Lasttests zu sehen haben wir uns eine Wärmebildkamera zugelegt, welche man einfach ans Handy anstecken kann, um die Analyse zu vereinfachen. Zusätzlich wurden die Messwerte jedoch mit einem geeichten Messgerät aus der Schule validiert.

Rückseite mit der ganzen Elektronik:



Vorderseite: Display, Schalter und Knöpfe

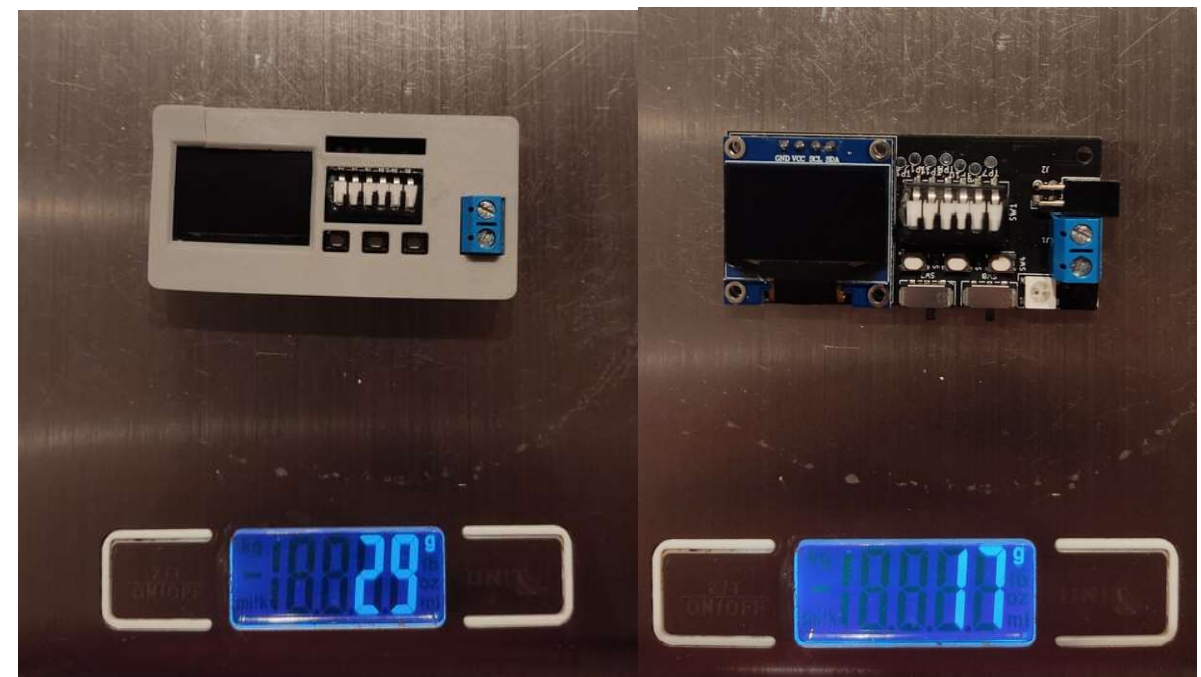


Gehäuse

Bei den Gehäusen wurden verschiedene Konzepte durchgedacht. Bisher umgesetzt wurde ein Gehäuse aus Plastik, welches in einem Resin Printer gedruckt wurde.



Gewicht & Abmessungen



6.5 x 3.3 x 1.5 cm

Weitere Vorgehensweise

CE Zertifizierung

Unser Produkt fällt nicht in die Kategorie „Netzteile“ sonder gehört zu DCDC Wandler im Niederspannungsbereich. Somit müssen wir nur eine sehr limitierte Anzahl an Tests durchführen.

EMV

Die Elektro Magnetische Verträglichkeit wird in den Testing-Hallen bei Zumtobel geprüft.

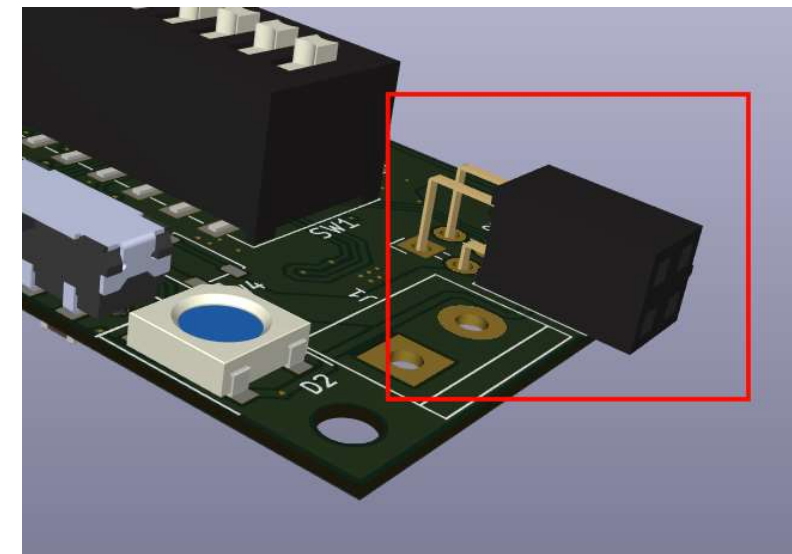
Brandschutz

Hier wird unter erhöhter Umgebungstemperatur aprupter Lastenwechsel durchgeführt. Auch werden Überspannungen sowie negative Spannungen angelegt. Auch werden diverse Kurzschlusszenarien simuliert.

Serienproduktion und Verkauf

Die Serienproduktion wird mit einer neuen PCB Version umgesetzt welche alle SMD Bauteile auf nur einer Seite hat. Um dies zu ermöglichen wechseln wir auf SMD Größe 0402 und auf ein 4 Layer PCB. Dies kann von einem Supplier automatisch bestückt werden.

LabSystem



Die Zukunft dieses Projektes enthält wesentlich mehr als nur weitere Revisionen des PCBs. Das Vorhaben ist weitere Module zu entwickeln die man einfach an das Netzteil anstecken kann.

Dafür ist auch schon ein Connector vorgesehen mit dem das Modul über SDA und SCL mit dem Netzteil kommuniziert.

Module

SMPS

Das Modul das aktuell entwickelt wird ist das SMPS Modul (Switch Mode Power Supply). Die ermöglicht es auch bei einem nicht PPS fähigen Netzteil Spannungen in 20mV Schritten anzupassen. Es hat jedoch auch noch andere große Vorteile. Es ist möglich mit einem Netzteil das

5V liefert 20V zu generieren. Auch mit einem 20V 1A Netzteil kann mit dem SMPS 5V 4A ausgegeben werden. Das SMPS wird:

- Spannungen von 0.8-22V
- In 20mV Schritten
- Ströme bis zu 6.35A

Der IC: [tps55288](#)

Funktionsgenerator

Dieses Modul ist geplant für die Diplomarbeit.

Lötkolben

Das Netzteil hat genug Leistung einen Lötkolben anzutreiben also wird ein Modul entwickelt, welches einen Lötkolbenanschluss hat.