

Titel der Aufgabe: Entwurf einer Akku-Schutzbeschaltung

Handlungskompetenz:

Beruf: Elektroniker/in EFZ IPA (PK13)

Lernender:	Name	Stauber	Vorname	Marco Anton
	Adress	Sonneggstrasse 3	PLZ, Ort	8092 Zürich
	Tel. G	+41446325166	Mobile	+41789558500
	E-Mail	marcostauber@bluewin.ch		

Verantwortliche Fachkraft:	Name	Corzillius	Vorname	Marc-Andre
	Tel. G	044 632 29 42	Mobile	044 632 29 42
	E-Mail	corzilliusm@ethz.ch		

Experte 1:	Name	Hänseler	Vorname	Armon
	Tel. G	0794073756	Mobile	0794073756
	E-Mail	info.pk13@gmail.com		

Experte 2:	Name		Vorname	
	Tel. G		Mobile	
	E-Mail			

Bestätigungen:

Der Kandidat/die Kandidatin bestätigt, dass er/sie die vorliegende Dokumentation selbstständig und ohne fremde Hilfe erstellt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet hat. Insbesondere sind alle Übernahmen von Texten und Bildern aus anderen Quellen als solche gekennzeichnet.

Kandidat / Kandidatin
Stauber Marco Anton

22.4.21 *[Signature]*
Datum, Unterschrift

Der Kandidat/die Kandidatin bestätigt, dass er/sie das Arbeitsjournal wahrheitsgetreu sowie nachvollziehbar ausgefüllt hat.

Mit seiner Unterschrift bestätigt **die verantwortliche Fachkraft** auch, dass keine Rechte Dritter verletzt werden. Weiter bestätigt sie, dass das Arbeitsjournal korrekt und vollständig ausgefüllt wurde.

Verantwortliche Fachkraft
Corzillius Marc-Andre

Datum, Unterschrift

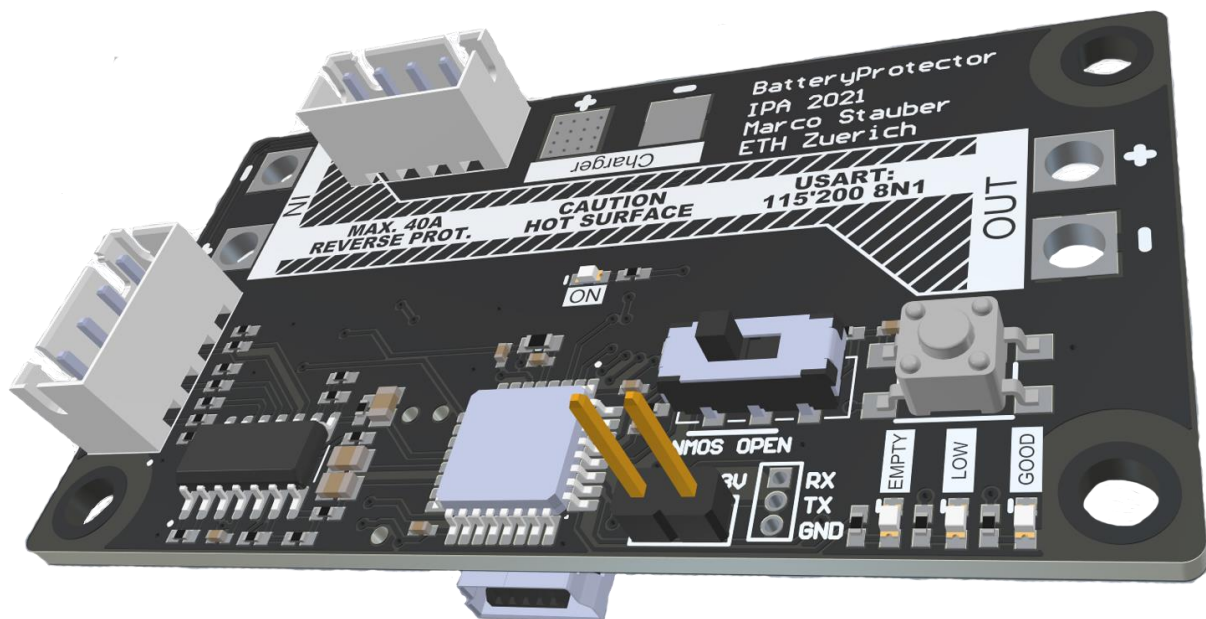
Mit seiner Unterschrift bestätigt **der Hauptexperte**, dass er Korrekturen und Hinweise der verantwortlichen Fachkraft in diesem Bericht zur Kenntnis genommen hat und dass er die Bewertung auf Plausibilität kontrolliert hat.

HauptexperteIn
Hänseler Armon

Datum, Unterschrift



StauberMarco Anton



Dokumentation BatteryProtector IPA 2021 – Marco Stauber

Abgegeben: 22. April 2021

1. Inhaltsverzeichnis

1. Personalien	1
2. Aufgabenstellung	2
3. Kriterien.....	3
4. Planung.....	4
5. Schema.....	5
5.1. Balancer.....	6
5.2. High-Side Switch.....	8
5.2.1. Low-Battery Interrupt.....	9
5.2.2. Manueller Schalter	9
5.3. Power NMOS	10
6. Current Monitor	11
7. Layout	12
7.1. Design Rules.....	13
7.2. High Current Polygons	13
7.3. Wärme	14
8. Ergebnis.....	15
8.1. Fazit	15
8.2. Probleme.....	15
8.3. Verbesserungsmöglichkeiten	15
8.4. Dank	15
9. Referenzen.....	16
9.1. Tools und Webseiten.....	16
9.2. Datenblätter	16
10. Anhang	17
10.1. Aufgabenstellung.....	18
10.2. Planung	22
10.3. Arbeitsjournal.....	23
10.4. Mini Segway Schema	26
10.5. Schema	27
10.6. Layout.....	28
10.7. 3D-Ansicht.....	30
10.8. Mechanische Masse	31
10.9. Stückliste	32

1. Personalien

Experte

Herr Armon Hänseler

Tel: 079 407 37 56

Berufsbildner

Herr Marc-Andre Corzillius

Tel. Geschäft: 044 632 28 61

Tel. Privat: 079 393 19 01

Mail: corzilliusm@ethz.ch

Kandidat

Herr Marco Stauber

Tel. Geschäft: 044 632 51 66

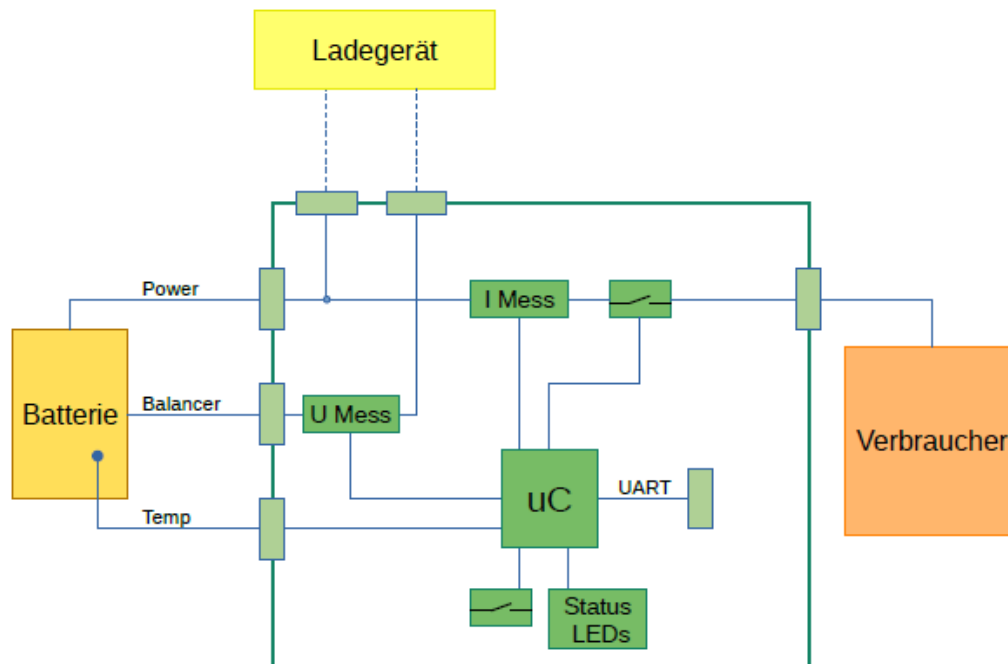
Tel. Privat: 078 955 85 00

Mail: staubema@phys.ethz.ch

2. Aufgabenstellung

Um unsere 3S1P LiPo-Akkus vor Tiefenentladung zu schützen, soll der BatteryProtector die Last abwerfen, sobald die Zellenspannung unter einen Minimalwert fällt. Die Printplatte sollte möglichst klein sein und eine ähnliche Form wie ein Akku haben.

Ziel ist es ein Schema und ein Layout eines PCBs aus dem Blockschaltbild zu erstellen.
Für diese Aufgabe hat man 90 Stunden Zeit.



Diese Voraussetzungen wurden gegeben:

- Der Widerstand des Schaltelements muss kleiner als 1mOhm sein und muss mindestens 35A aushalten können.
- Die Zuleitungen müssen Flächen sein mit mindestens 1cm Breite.
- Die Kupferdicke muss 70um betragen.
- Ein Mikrokontroller übernimmt die Steuerung.
- Spannung der Zellen und der Strom müssen gemessen werden.
- Die gemessenen Werte werden über eine digitale Schnittstelle ausgegeben.
- Es gibt eine Anschlussmöglichkeit für einen Temperatursensor.
- Drei LEDs, die bei einem Tastendruck den Status des Akkus Anzeigen:
 - Grün => Batterie voll
 - Orange => Batterie schwach
 - Rot => Lastabwurf

Optional:

- Anschlüsse für ein Ladegerät

3. Kriterien

Berufsübergreifende Fähigkeiten

Systematisches Arbeiten

- Beschafft Informationen gezielt und selbstständig
- Terminplan erstellt und aktualisiert
- Erarbeitet selbstständig Lösungsvarianten, prüft und begründet sie
- Trifft Entscheidungen und setzt Prioritäten
- Plant Gespräche rechtzeitig und informiert den Fachvorgesetzten täglich über Kritisches
- Dokumentiert ausgeführte Teilarbeiten und Schlussresultat

Kommunikation

- Kommuniziert offen, sachlich und verständlich

Teamfähigkeit, Konfliktfähigkeit

- Arbeitet, wo notwendig mit anderen Fachleuten, beansprucht Unterstützung massvoll, arbeitet sonst selbstständig
- Akzeptiert getroffene Entscheide
- Geht mit Kritik konstruktiv, ruhig und überlegt um

Lernfähigkeit, Umgang mit Wandel

- Reagiert bei entdeckten Fehlern richtig
- Ist engagiert, arbeitet speditiv

Umgangsformen

- Verhält sich gegenüber Personen aus dem Arbeitsumfeld anständig und respektvoll
- Ist pünktlich, ordentlich und zuverlässig

Umweltschutz

- Setzt Ressourcen effizient und kostenbewusst ein

Resultat und Effizienz

Auftragserfüllung

- Führt Auftrag kostenbewusst aus
- Führt Auftrag fachlich richtig und fertigungstechnisch nach Vorgaben aus
- Führt Auftrag zeitlich nach Vorgaben aus
- Hält die betrieblichen Weisungen ein
- Hält vorgegebene Normen (Sicherheitsrichtlinien, Richtlinien) ein
- Setzt Entscheidungen und erkannte Optimierungen um
- Erarbeitet zweckmässige, angemessene Lösung
- Setzt die Qualitätsvorgaben um
- Dokumentiert Änderungen nachvollziehbar

Dokumentation

- Führt Arbeitsjournal täglich und nachvollziehbar, sind Hilfestellungen aufgeführt
- Führt Dokumentation gemäss Ausführungsbestimmungen fachlich richtig aus
- Verfasst Dokumentation sauber und korrekt

4. Planung

Am Anfang erstellte ich einen Plan wie mein Ablauf aussehen sollte. Viele Tage dazwischen fallen wegen Festtagen, Sechseläuten und Militär weg.

BatteryProtector, IPA 2021, Marco Stauber													Soll		Ist			
Woche Tag Datum Tätigkeit	1		2	3		4		5		6		7	8		9	10		11
	1 22.3.21	2 24.3.21	3 25.3.21	4 29.3.21	5 7.4.21	6 8.1.21	7 12.1.21	8 14.4.21	9 15.4.21	10 21.4.21	11 22.4.21							
Planung/Vorbereitung	<div></div> <div></div>																	
Bauteil Suche	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>																
Library		<div></div> <div></div>																
Schema			<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>														
Abgabe Schema				<div></div> <div></div>														
Schema Korrektur					<div></div> <div></div>													
Layout					<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>	<div></div> <div></div>
Zwischengespräch																		
Dokumentation																		
Dokumentation feinschliff																		
Abgabe																		

5. Schema

Das Schema besteht aus vielen einzelnen Schaltungen.

Die Power Supply Schaltung habe ich mit dem TI Webench Power Designer generieren lassen, damit diese zuverlässig und effizient den Strom liefern kann, der benötigt wird um die anderen Bauteile zu speisen. Aus den generierten Schaltungen wählte ich eine aus die nicht zu viel Platz einnimmt, denn Platzmangel war ein grosses Problem des Layouts. Die Suche ergab eine Schaltung mit dem IC TPS561201DDCR Spannungsregler.

Laut der Simulation im Power Designer hat dieses Bauteil eine Effizienz von 87% bei 50mA@3.3V und wird 31°C warm. Maximal dürfen nur 780mA fliessen.

Für den Mikrokontroller wollte ich einer von STM der L0 Serie auswählen. Der Grund dazu war um den Stromverbrauch minimal zu halten und ich die STM Mikrokontroller am besten kenne.

Zuerst habe ich mit der STM32CubeMX Software nach einen passenden Mikrokontroller mit den Peripherien die ich brauche. Die Liste die ich davon erhielt musste ich mit dem Inventar auf Digikey abgleichen. Da viele fast ausverkauft waren, wurde es schwierig einen zu finden, der noch verfügbar sein wird, wenn wir den Print bestücken.

Um Bauteile zu sparen werden die Feedback-LEDs direkt vom Kontroller mit Strom versorgt. Programmiert wird über einen TAG-Connect mit SWD.

Die gemessenen Daten werden über UART an eine Stiftleiste und einem FTDI Chip weitergeleitet. Diese wandelt es in ein USB Signal um, um schlussendlich die Daten über ein USB Mini Stecker auszugeben. Die Standard Baud-Rate habe ich schon auf 115'200 8n1 festgelegt, welche auch auf dem Print beschriftet ist.

Der anschliessbare Temperatursensor bekommt eine Speisung von 3.3V. Am anderen Anschluss befinden sich ein Widerstand für einen Spannungsteiler und ein Tiefpass RC-Filter welcher an den ADC des Mikrokontrollers angeschlossen ist. Der Tiefpass ist hier auf 100Hz ausgelegt.

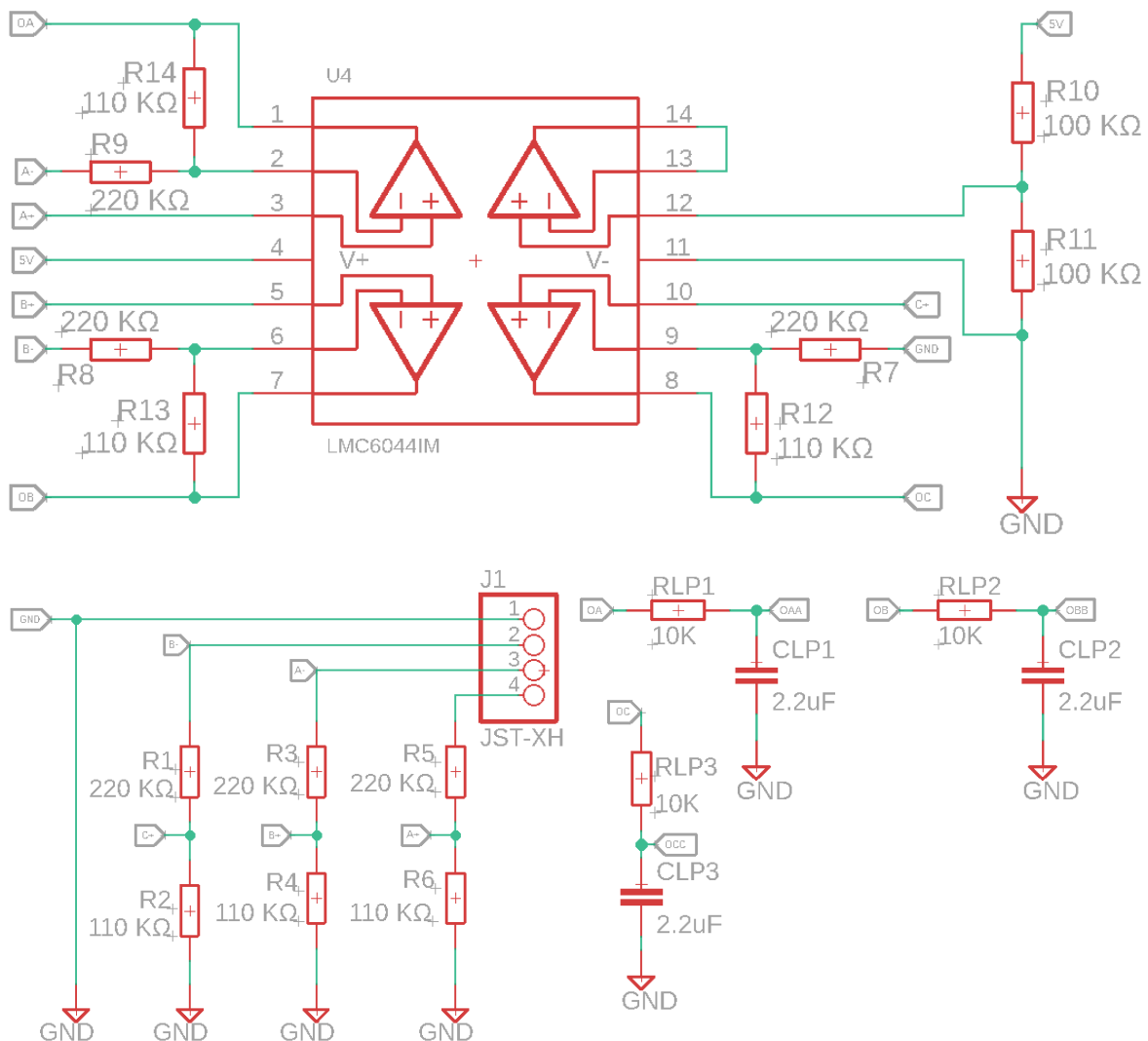
Der Widerstand R13 für den daraus resultierenden Spannungsteiler muss man selber noch bestimmen.

Um den Akku wieder zu laden, befinden sich die Anschlüsse auf der Vorderseite, in Form von Pads.

5.1. Balancer

Ein anderes Projekt im IDSC sind die Mini-Segways. Diese besitzen eine Schaltung um die Zellen eines 3S1P Akku zu messen. Das war genau das was ich brauche. Das ganze Schema befindet sich im Anhang.

In der originalen Schaltung aus dem Mini-Segway wird der LMC6044 benutzt, welcher mit mindestens 4.5V versorgt werden muss. Diese Spannung ist auf dem Print nicht vorhanden. Aus diesem Grund wurde dieser durch den LM324KADR ausgetauscht, welcher den gleichen Footprint und Aufbau besitzt, dafür nur 3V braucht.



Da die Zellen einen Wert von 3.6V bis 4.2V haben können und der ADC nur 3.3V verträgt, wird die Zellenspannung als erstes durch einen Spannungsteiler gedrittelt.

$$U_{C+min} = 3.6V \quad U_{C+max} = 4.2V$$

$$R1 = R3 = R5 = 220k\Omega \quad R2 = R4 = R6 = 110k\Omega$$

$$U_{C+min} = U_{B-} \times \frac{R2}{R1 + R2} = 3.6V \times \frac{110k\Omega}{220k\Omega + 110k\Omega} = 1.2V$$

$$U_{C+max} = U_{B-max} \times \frac{R2}{R1 + R2} = 4.2V \times \frac{110k\Omega}{220k\Omega + 110k\Omega} = 1.4V$$

Danach wird mit einem Operationsverstärker die geteilte Spannung 1.5-mal verstärkt.

$$R7 = 220k\Omega \quad R12 = 110k\Omega$$

$$V_U = 1 + \frac{R12}{R7} = 1 + \frac{110k\Omega}{220k\Omega} = 1.5$$

$$U_{OUTmin} = U_{C+min} \times V_U = 1.2V \times 1.5 = 1.8V$$

$$U_{OUTmax} = U_{C+max} \times V_U = 1.4V \times 1.5 = 2.1V$$

Die RC-Schaltung dient als Filter, vor Störungen da die resultierende Spannung ein Verhältnis von 0.5V/V zur Zellenspannung hat und sich zwischen dem „Akku-voll“ und „Akku-leer“ Zustand nur in einem Bereich von 300mV befindet.

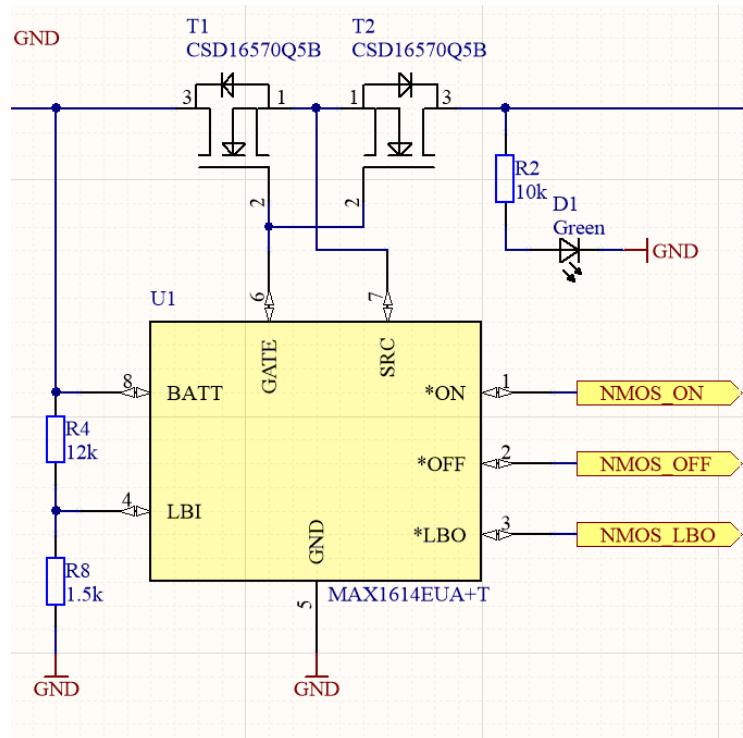
Die Spannung aus dem Teiler wäre auch genug klein für den Mikrokontroller, aber zum Schutz von den einzelnen Zellen, wurden die Widerstände extra gross gewählt und der Operationsverstärker dient gleichzeitig auch als Buffer.

Mit diesen Widerständen und dem Operationsverstärker fliessen maximal 13.3uA pro Zelle.

$$I_{OP} = 600nA \quad \text{Aus Datenblatt}$$

$$I_{max} = I_{OP} + \frac{4.2V}{110k\Omega + 220k\Omega} = 600nA + 12.7uA = 13.3uA$$

5.2. High-Side Switch



Um den NMOS als High-Side Switch zu treiben brauche ich dazu den MAX1614EUA+T. Der IC besitzt zusätzlich diese Funktionen:

- Die Akkuspannung wird durch einen Spannungsteiler an den Pin LBI angeschlossen. Fällt die Spannung an diesem Pin unter 1.2V schaltet der Open Drain Pin !LBO auf logisch «0».
- Die Pins !ON und !Off werden benötigt um den internen On/Off Latch zu steuern. !ON ist dabei das !SET und !OFF das !RESET. Hinter beiden Pins befinden sich eine Stromquelle die als Pull-Up dient.
- Unterstützt zwei NMOS gegeneinander geschaltet. Für den Schutz im Fall das man die Input Anschlüsse vertauscht.

Um den IC zu steuern wird für !ON PA0 und für !OFF PC15 gebraucht.

$\overline{\text{ON}}$	$\overline{\text{OFF}}$	STATE
0	0	OFF
0	1	ON
1	0	OFF
1	1	LAST VALID STATE

5.2.1. Low-Battery Interrupt

Als zusätzliche Sicherheit brauche ich zu dem Balancer den !LBO Pin dazu. Da der LBI Pin ein Treshhold von 1.2V hat, braucht er einen Spannungsteiler mit der Akkuspeisung.

$$V_{LOWbat} = 3 \times 3.6V = 10.8V \quad V_{TH} = 1.2V$$

$$V_{LOWbat} = \frac{R4 + R8}{R8} \times V_{TH}$$

$$R8 = 1.5k\Omega$$

$$R4 = \frac{V_{LOWbat}}{V_{TH}} \times R8 - R8 = \frac{10.8V}{1.2V} \times 1.5k\Omega - 1.5k\Omega = 12k\Omega$$

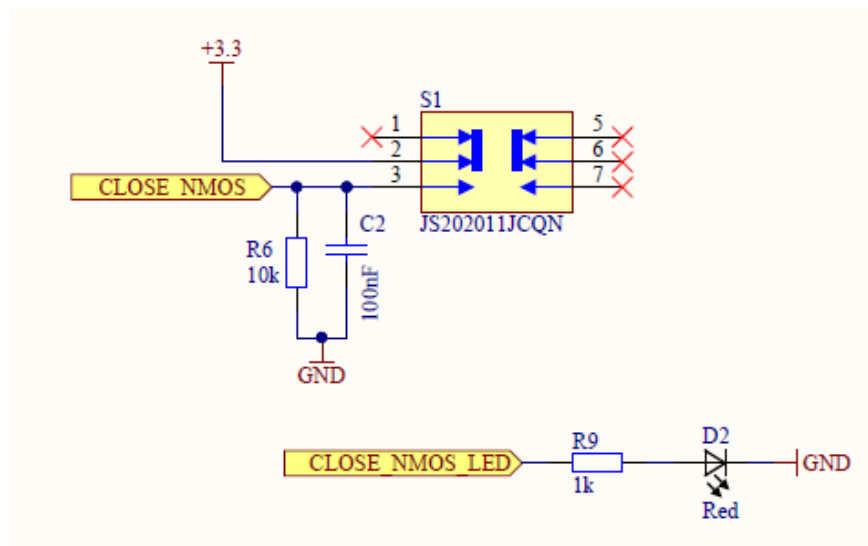
Fällt die Spannung des Akkus nun unter 10.8V, geht der Open Drain Ausgang !LBO auf logisch «0».

Der dazugehörige Pin PC14 muss als Input mit Pull-Up initialisiert werden.

5.2.2. Manueller Schalter

Ein zusätzlicher Schalter auf dem Print gibt die Möglichkeit den Gate Driver über den Mikrokontroller, manuell zu steuern. Wenn der Schalter auf die richtige Position geschaltet wird, kriegt der Mikrokontroller am Pin PB6 ein logisches «1». Der Widerstand und der Kondensator sind für die Entprellung des Schalters da.

Das dazugehörige rote LED wird vom Mikrokontroller entweder durch einen Timer oder manuell über den GPIO Pin PB7 gesteuert.



5.3. Power NMOS

Der CSD16570Q5B ist ein N-Channel Power MOSFET

Absolute Werte:

- $I_{Dmax} = 100A$
- $V_{DS} = 25V$.
- $V_{GS} = \pm 20V$
- $P_D = 3.2W$ ohne Kühlkörper ($R_{0JA} = 40^\circ C/W$)
- $P_D = 195W$ mit Kühlkörper ($R_{0JC} = 0.8^\circ C/W$)
- $T_J = -55$ bis $150^\circ C$

Der MAX1614 liefert eine Gate-Source Spannung V_{GS} von 8V, was $R_{DS(on)}$ auf $0.6m\Omega$ reduziert.

Der Spannungsabfall V_{DS} beträgt bei einem Strom von 40A 30mV.

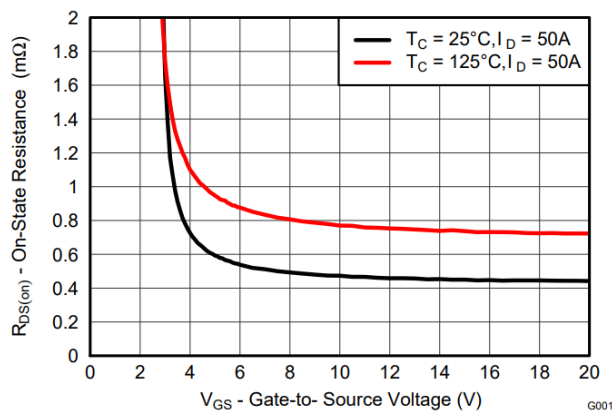


Figure 7. On-State Resistance vs Gate-to-Source Voltage

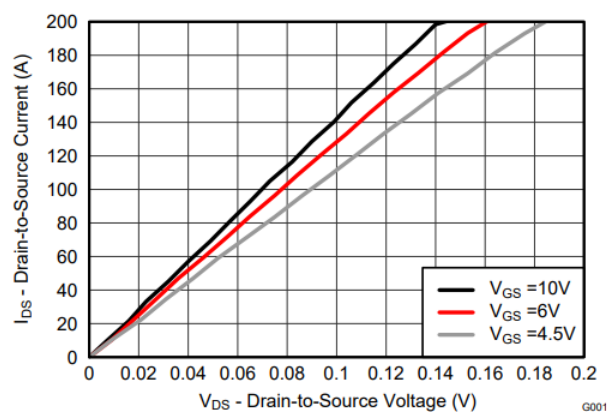
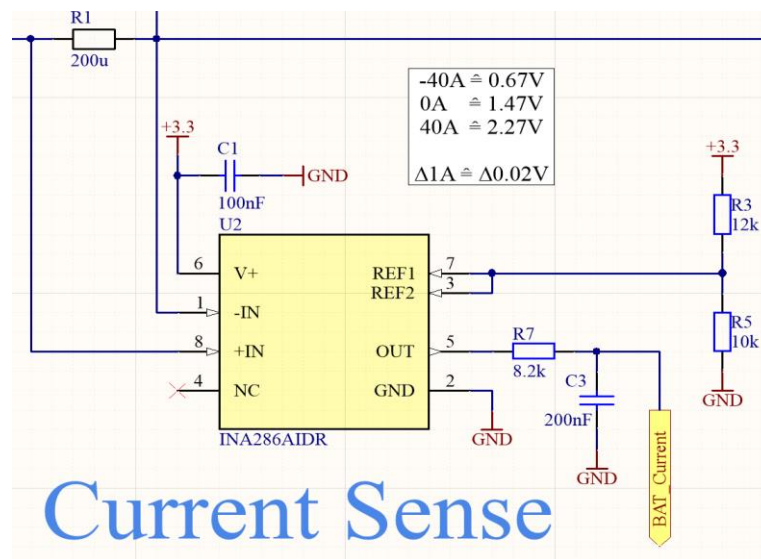


Figure 2. Saturation Characteristics

Wenn beide NMOS durchschalten, leuchtet ein grünes LED mit der Beschriftung «ON».

6. Current Monitor



INA286AIDR ist ein bidirektionaler Current Shunt Monitor. Er besitzt ein Gain von 100V/V und die Möglichkeit mehrere davon an eine Daisy Chain anzuschliessen.

Mit dem Referenz Eingang kann man den Ausgang beeinflussen. Der Spannungsteiler an Ref gibt dem Ausgang eine Referenzspannung für 0A.

Bei einem Strom von 40A hat man über den Shunt 8mV

$$U_{Shunt} = R1 \times I = 200\mu\Omega \times 40A = 8mV$$

Mit dem Gain von 100V/V kriegt man für +40A +0.8V und für -40A -0.8V.

$$\Delta U_{OUT+} = U_{Shunt} \times G = 8mV \times 100 = 800mV$$

$$\Delta U_{OUT-} = -U_{Shunt} \times G = -8mV \times 100 = -800mV$$

Pro Ampere hat man also 20mV am Ausgang.

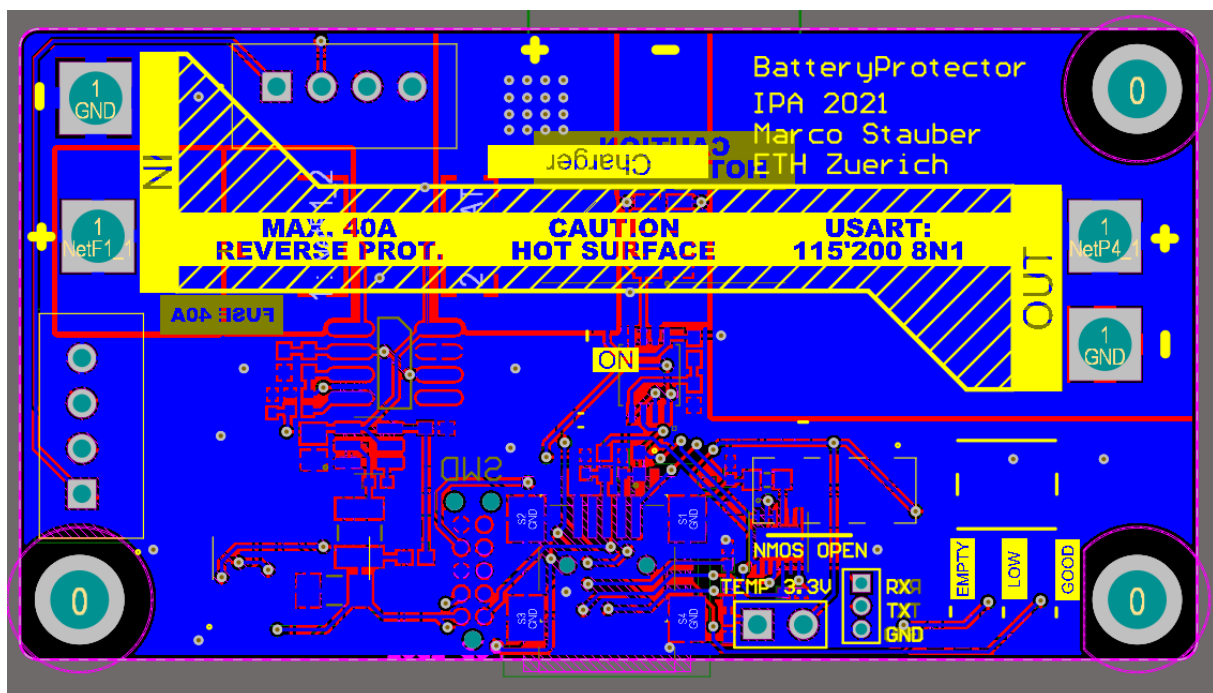
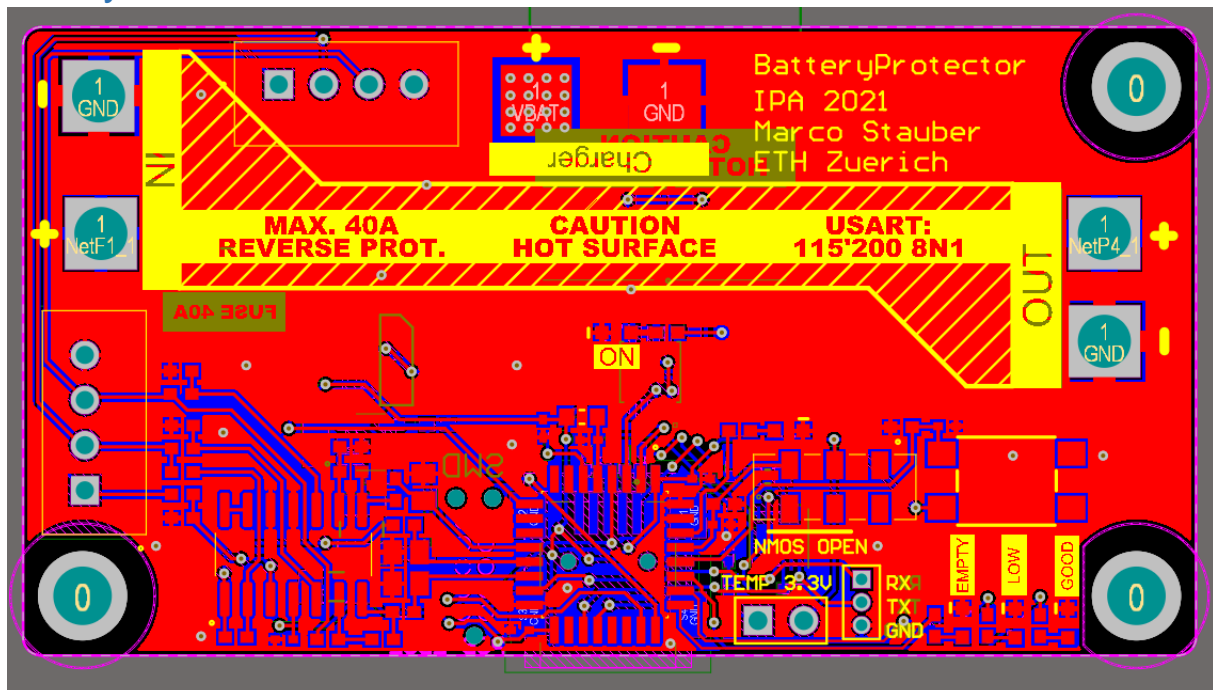
$$\Delta U_{OUT_{1A}} = R1 \times I \times G = 200\mu\Omega \times 1A \times 100 = 20mV$$

Um die Spannung nun innerhalb von 3.3V passend zu zentrieren, nimm ich eine Referenzspannung von 1.5V. Für den Spannungsteiler nehme ich Werte aus der E24 Reihe die am nächsten sind.

$$U_{REF} = U_B \times \frac{R5}{R3 + R5} \Rightarrow R3 = R5 \times \left(\frac{U_B}{U_{REF}} - 1 \right) = 10k\Omega \times \left(\frac{3.3V}{1.5V} - 1 \right) = 12k\Omega$$

Das RC-Glied dient als Störungsfilter.

7. Layout



Das Hauptproblem war der Platz. Ich konnte den Print mit der Zeit immer mehr verkleinern, indem die Bauteile komplett neu angeordnet habe oder sie auf die Rückseite platzierte. Nun ist der Print 65mm x 35mm gross.

Auf dem Print sind 3 x M3 Löcher als Montagemöglichkeit vorhanden. Hätte es vier, wäre der Print noch grösser geworden.

Auf der Top-Seite sind im Silkscreen die LEDs beschriftet und nötige Infos wie:

- Maximal zulässiger Strom
- Baud Rate
- UART Konfiguration
- «Reverse Protection»
- I/O

Zusätzlich ist auf beiden Seite eine «Achtung, heisse Oberfläche» Warnung.

Um den Mikrokontroller zu programmieren befindet sich auf der Rückseite den Anschluss für den TagConnect, inklusive der Beschriftung das SWD genutzt werden muss.

Das PCB muss eine Kupferdicke von 70µm besitzen.

7.1. Design Rules

Die Werte für die Design Rules habe ich aus der «Capabilities» Seite von JLCPCB.com entnommen.

7.2. High Current Polygons

Damit der Strom möglichst gleichmässig fliesst ist die Versorgungsleitung eine gerade Linie. Für jeden Abschnitt (d.h. Sicherung zu Shunt; Shunt zu NMOS etc.) gibt es ein eigenes Polygon mit der nötigen Grösse.

Für das GND des Akkus wird ein Polygon gebraucht das so gross ist wie der Print.

Die Breite der einzelnen Polygone habe ich mit dem PCB Toolkit errechnet.

7.3. Wärme

Die Bauteile die am meisten Wärme produzieren sind die beiden N-Mosfets. Beide haben eine Verlustleistung von je 1.2W bei 40A.

$$P = I \times U_{DS} = 40A \times 30mV = 1.2W$$

Mit einem Wärmewiderstand von $R_{0JA} = 50^{\circ}C/W$ erwärmen sie sich auf $85^{\circ}C$ bei einer Umgebungstemperatur von $25^{\circ}C$.

$$\theta_{NMOS} = R_{0JA} \times P + \theta_A = 50^{\circ} \frac{C}{W} \times 1.2W + 25^{\circ}C = 85^{\circ}C$$

$85^{\circ}C$ liegen immer noch im Arbeitsbereich.

Jeder Kühlkörper mit einem kleineren Wärmewiderstand als $49.2^{\circ}C/W$ wäre umso besser.

Angenommen der NMOS sollte $50^{\circ}C$ nicht übersteigen. Der Junction-to-Case Wärmewiderstand beträgt $0.8^{\circ}C/W$.

$$R_{0CA} = \frac{\theta_{NMOS} - P \times R_{0JC} - \theta_A}{P} = \frac{50^{\circ}C - 1.2W \times 0.8 \frac{^{\circ}C}{W} - 25^{\circ}C}{1.2W} = 20^{\circ} \frac{C}{W}$$

Man braucht dafür einen Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand von $20^{\circ}C/W$ oder weniger.

Wenn man einen Kühlkörper für beide NMOS brauchen will, ist die Leistung doppelt so hoch und der maximale Wärmewiderstand vom Kühlkörper weniger als die Hälfte.

$$R_{0CA} = \frac{\theta_{NMOS} - P \times R_{0JC} - \theta_A}{P} = \frac{50^{\circ}C - 2.4W \times 0.8 \frac{^{\circ}C}{W} - 25^{\circ}C}{2.4W} = 9.6^{\circ} \frac{C}{W}$$

Die N-Mosfets befinden sich beide auf der Rückseite des Prints wo es genug Platz für einen Kühlkörper hat. Da es keine Löcher hat um einen zu montieren braucht es ein klebendes Wärmeleitmittel. Da dieses Wärmeleitmittel auch einen Wärmewiderstand besitzt muss man diese Formel anwenden um die Temperatur zu bekommen.

$$\theta_{NMOS} = P \times (R_{0JC} + R_{0CW} + R_{0WA}) + \theta_A$$

8. Ergebnis

8.1. Fazit

Mit der Zeiteinteilung habe ich mich gut eingeschätzt. Einzelne Probleme die dazwischen wieder aufkamen konnte ich schnell lösen und somit im Zeitplan bleiben. Ich konnte vieles dazu lernen, da ich noch nie etwas mit hohen Strömen zu tun hatte, wie zum Beispiel die thermischen Probleme die mit dem hervortreten. Das Endprodukt gefällt mir und ich bin zufrieden mit meiner Leistung.

8.2. Probleme

Es kamen einzelne Probleme hervor wie eine falsch überlegte Schaltung, ein Bauteil das nicht mehr verkauft wird oder die thermischen Werte der beiden NMOS. Ich musste die Sicherung, Shunt, NMOS sowie der Current Monitor und der Gate Driver von der Vorderseite auf die Rückseite platzieren. So haben die NMOS jetzt auch Platz für einen Kühlkörper.

8.3. Verbesserungsmöglichkeiten

Die IPA:

Ich wollte ich schon von Anfang an immer wieder Bilder und Textausschnitte aus dem Datenblatt, in die Dokumentation einfügen. Anstelle das umzusetzen, hatte ich es mir mehr gemerkt was ich in der Doku haben will und wie.

Der Print:

Der Balancer könnte eine grössere Auflösung vertragen, würde zwar mehr Platz brauchen. Testpunkte könnten noch nützlich sein. Jedoch dachte ich das alle relevanten Messpunkte schon an Pads und Löcher vorhanden sind.

Die grüne LED D1 wird auch leuchten wenn der Akku verkehrt angeschlossen ist.

Wenn man das Ladegerät anschliesst muss der Mikrokontroller zuerst den Rückfluss vom Strom erkennen bis der dann die NMOS sperrt.

8.4. Dank

Ich Bedanke mich bei meinem Lehrmeister Marc-Andre Corzillius und Mitarbeiter Marcus Aaltonen für ihre Unterstützung.

9. Referenzen

9.1. Tools und Webseiten

TI Webench Power Designer:

<https://webench.ti.com/power-designer/switching-regulator>

STM32CubeMX:

<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>

PCB Toolkit:

<https://saturnpcb.com/saturn-pcb-toolkit/>

JLCPCB Capabilities:

<https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities>

9.2. Datenblätter

CSD16570Q5B:

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/csd16570q5b.pdf?HQS=dis-dk-null-digikeymode-dsf-pf-null-ww&ts=1618989720097>

MAX1614:

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1614.pdf>

INA286AIDR:

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina286.pdf?HQS=dis-dk-null-digikeymode-dsf-pf-null-ww&ts=1619000738248>

STM32L021K4T6:

<https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/86/a6/5f/95/33/50/4e/d6/DM00206858.pdf/files/DM00206858.pdf/jcr:content/translations/en.DM00206858.pdf>

10. Anhang

- Aufgabenstellung
- Planung
- Arbeitsjournal
- Mini Segway Schema
- Schema
- Layout
- 3D-Ansicht
- Mechanische Masse
- Stückliste

10.1. Aufgabenstellung

ENTWURF EINER AKKU- SCHUTZBESCHALTUNG



5.3.2021

IPA Aufgabenstellung

[IPA 2021 Marco Stauber]

Entwurf einer Akku-Schutzbeschaltung

Motivation

Die Gruppe von Prof. Frazzoli des Instituts für Dynamische Systeme und Regelungstechnik (IDSC, Institut for Dynamic Systems and Control) forscht im Bereich autonomer Systeme. In verschiedenen Projekten werden immer wieder Lithium-Polymer-Akkus zur Stromversorgung eingesetzt. Diese Akkus haben den Nachteil dass sie bei Tiefentladung beschädigt werden.

In der Vergangenheit kam es immer wieder zu beschädigten Akkus durch Tiefentladung. Es kam daher der Wunsch auf den Schutz der Akkus aus den Händen der Studenten zu nehmen und zu automatisieren.

Ziel dieser IPA ist es eine Schutzschaltung («BatteryProtector») zu entwerfen die zwischen Akku und Verbraucher geschaltet wird und den Verbraucher bei einer drohenden Tiefentladung abwirft.

Projektübersicht

Der im Institut am häufigsten eingesetzte Akku-Typ ist ein LiPo-Akku vom Aufbau 3S1P. Daher soll die Schutzschaltung auf diesen Typ ausgelegt werden.

Es soll die Spannung der einzelnen Zellen gemessen werden. Unterschreitet eine Zelle die Minimalspannung soll über ein passendes Schaltelement der Verbraucher abgetrennt werden.

Um einen möglichst hohen Strom in den Verbraucher zu ermöglichen soll der Serienwiderstand des Schaltelements klein sein (kleiner 1m Ohm, Strombelastbarkeit grösser 35 A). Die Zuleitung soll als Fläche (mindestens 1 cm breit) ausgeführt werden. Die Kupferdicke soll 70 um Betragen.

Der Stromverbrauch des Verbrauchers soll gemessen werden können.

Ein Microcontroller übernimmt die Steuerung. Eine digitale Schnittstelle (z.B. USART) soll das Auslesen des Speichers sowie der momentanen Messwerte ermöglichen.

LEDs sollen den Status anzeigen (grün = Batterie voll, orange = Batterie schwach, rot = Lastabwurf). Die LEDs sollen in der Regel deaktiviert sein und nur über Tastendruck kurzzeitig eingeschaltet werden.

Es soll eine Anschlussmöglichkeit für einen Temperatursensor geben um die Temperatur der Zelle messen zu können.

Die mechnischen Dimensionen können frei gewählt werden. Allerdings soll die Printplatte möglichst klein und gut passend zur typischen Akkuform gewählt werden.

Entwurf einer Akku-Schutzbeschaltung

Optional sollen Anschlüsse für das Ladegerät vorgesehen werden, so dass der BatteryProtector auch in ein Gerät verbaut werden kann. Diese Anforderung soll nur erfüllt werden wenn dadurch die anderen Bedingungen (vor allem: möglichst kleine Bauform) nicht zu stark eingeschränkt werden.

Die IPA umfasst den Entwurf des Schemas inklusive der Bauteilauswahl sowie das Layouten der Printplatte (PCB). Im Anschluss an die IPA wird die Leiterplatte produziert, im Labor bestückt und getestet. Danach soll die Software entwickelt werden.

Aufgabenstellung IPA

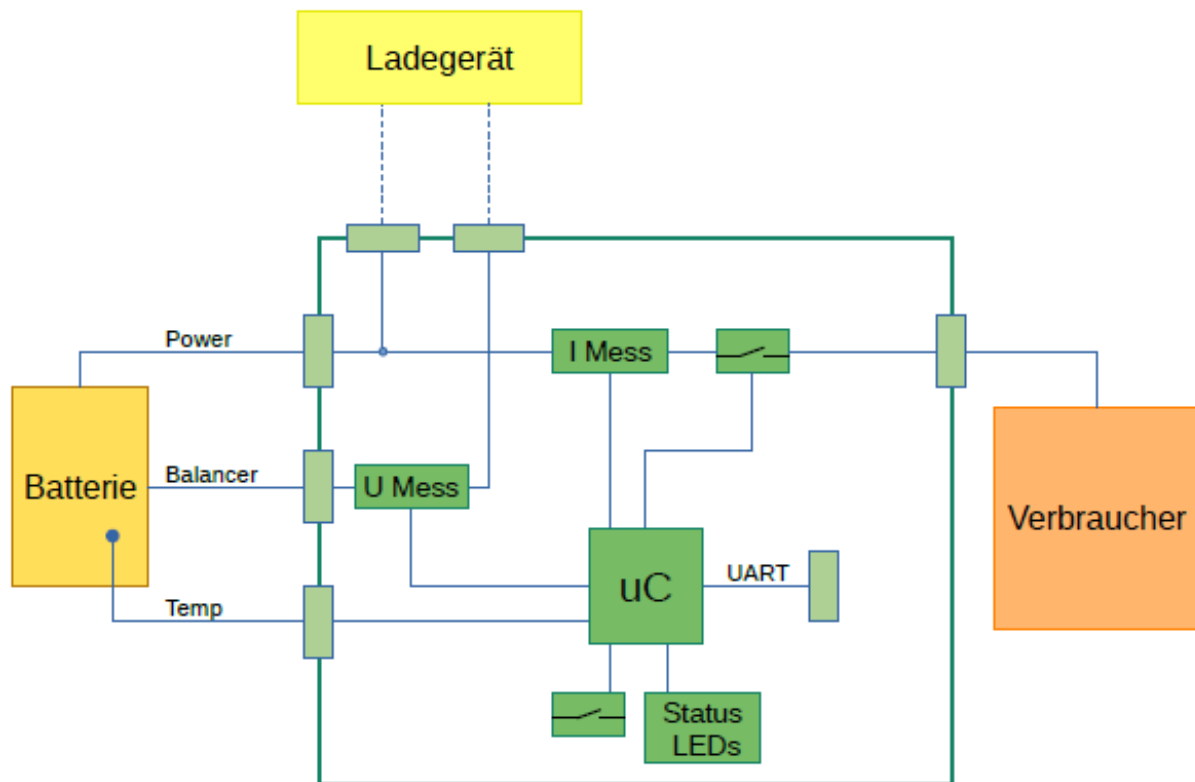
Entwurf der Leiterplatte des BatteryProtector.

Es sind folgende Aufgaben zu bewältigen:

- Schema auf Basis des Grobschemas erstellen
- Mechanische Dimensionen festlegen (LiPo-Muster zur Hilfe nehmen)
- Entwurf der Leiterplatte

Entwurf einer Akku-Schutzbeschaltung

Grobschema



10.2. Planung

BatteryProtector, IPA 2021, Marco Stauber											
Tätigkeit	1			2	3		4			Ist	
	Soll			Soll	Soll						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
Woche Tag Datum	22.3.21	24.3.21	25.3.21	29.3.21	7.4.21	8.1.21	12.1.21	14.4.21	15.4.21	21.4.21	22.4.21
Planung/Vorbereitung	<div><div></div><div></div><div></div></div>										
Bauteil Suche	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>									
Library	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>									
Schema	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>							
Abgabe Schema	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>							
Schema Korrektur	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>						
Layout	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
Zwischengespräch	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
Dokumentation	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
Dokumentation feinschliff	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>
Abgabe	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div><div></div></div>

10.3. Arbeitsjournal

IPA 2021

Marco Stauber

Arbeitsjournal

BatteryProtector

Datum	Tätigkeit	Zeit
22.03.2021	Start IPA. Zusammenfassung von Aufgabenstellung erstellt. Fragen zur Aufgabenstellung geklärt. Planung und Zeiteinteilung erstellt und ausgefüllt. Dokumente vorbereitet.	09:00-11.15 2h 15 min
22.03.2021	Bauteile gesucht und in die Stückliste eingetragen. Schaltungen bestimmt die nicht von der Aufgabe definiert wurden.	12:00-16:30 4h 30 min
24.03.2021	Differenzschaltung für Strommessung simuliert. Current ICs meist für kleinere Ströme ausgelegt und sehr kleine Ausgangsspannungen. Bei Differenzschaltungen ist der Verstärker einstellbar. Tieferen Messwiderstand gesucht. Für 200uOhm anstelle 500uOhm entschieden Problem: Bei Ladevorgang muss Schaltelement sperren. Wie erkenne ich das? Gelöst: Den Ladestrom über eine Differenzschaltung messen und anschliessend über den ADC einlesen. Der uC sperrt den PMOS. Weitere Bauteile in der Liste hinzugefügt. Bauteil Footprints und Symbole für Schema und Layout zusammengesucht und begonnen die Library zusammenzufügen.	08:20 – 12:15 12:45 – 17:05 8h 15min
25.3.2021	Entschied mich von PMOS auf NMOS um, wegen dem tieferen Rds(on) Wert. Benötigt andere Ansteuerung als der NMOS. Lösung mit einem PMOS und einem Bipolar Transistor für eine Steuerung mit der 3.3V uC Spannung. Fertigstellung der Library. Beginn mit dem Schema. Speisespannung mit TI Workbench generiert.	8:00 – 12:30 13:00 – 16:42 8h 12min

IPA 2021

Marco Stauber

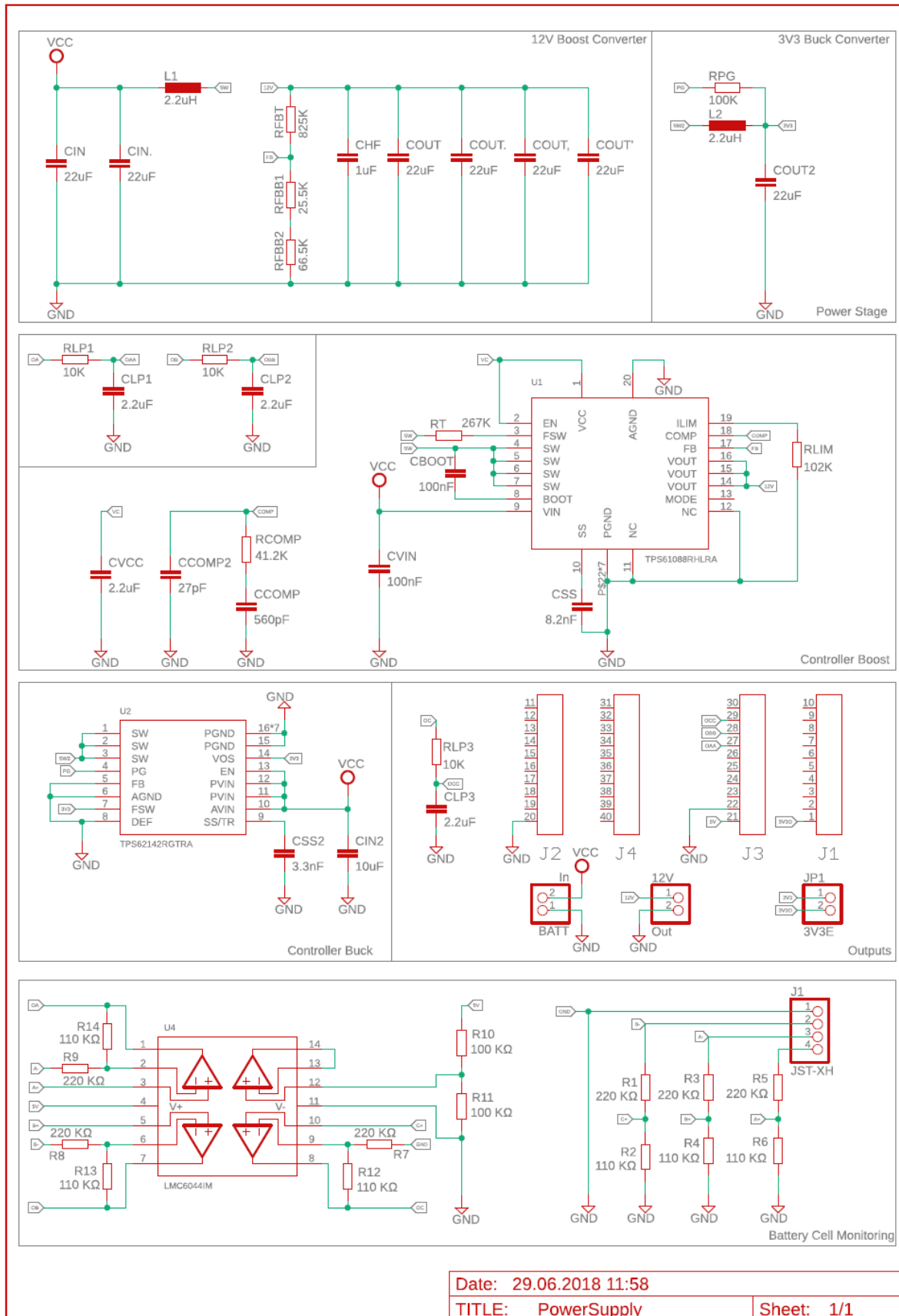
29.3.2021	<p>NMOS Ansteuerung nun mit Gate Driver. Schema für Gate Driver angepasst.</p> <p>Neuer Current Monitor, mit rückwärts Kompatibilität für Ladestrom.</p> <p>Schema fertig gestellt und an Mac geschickt zur Überprüfung.</p>	<p>07:35 – 11:15 12:00 – 16:50 8h 30min</p>
7.4.2021	<p>Schema Verbesserungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Balancer Schaltung war falsch und wurde korrigiert. • Temperatur Sensor Anschluss fehlte. • LED werden nun direkt vom uC versorgt. • Schalter um den NMOS zu sperren direkt an den Gate Driver angeschlossen. • RC Filter bei Temperatur Sensor und Ausgang von Current Monitor hinzugefügt. Werte ausstehend. • 12V zu 5V Wandler auf 3.3V angepasst und 5V zu 3.3V Wandler entfernt. • Stützkondensatoren für Akkueingang und Print Ausgang entfernt. <p>Print Grösse angepasst und Bauteile in Gruppen vorbereitet. Anstelle für 50A nur noch für 40A ausgelegt, da der Print sonst zu gross wird. Problem mit dem PCB Toolkit: Welchen Standard muss ich nehmen, um den zulässigen Strom für eine gewisse Leiterbahnbreite zu errechnen? = IPC2152.</p>	<p>08:30 – 12:30 13:00 – 17:15 8h 15min</p>
8.4.2021	<p>OP für Balancer braucht min. 4.5V Powersupply. Neuer OP mit gleichem Aufbau und Gehäuse gesucht.</p> <p>Taster um den NMOS zu sperren sowie die rote LED direkt an den uC angeschlossen.</p> <p>RC-Glieder mit einer Grenzfrequenz von 100Hz berechnet.</p> <p>Bauteile und Polygons platziert. Hatte viel Mühe um möglichst kompakt zu gestalten.</p> <p>Design Rules für Polygon und Pads/Vias mit viel Strom angepasst.</p> <p>uC Anschlüsse noch einmal überarbeitet, damit es zum Layout einfacher ist.</p> <p>Bereit um die Leiterbahnen zu ziehen.</p>	<p>08:00 – 12:15 12:45 – 17:00 8h 30min</p>

IPA 2021

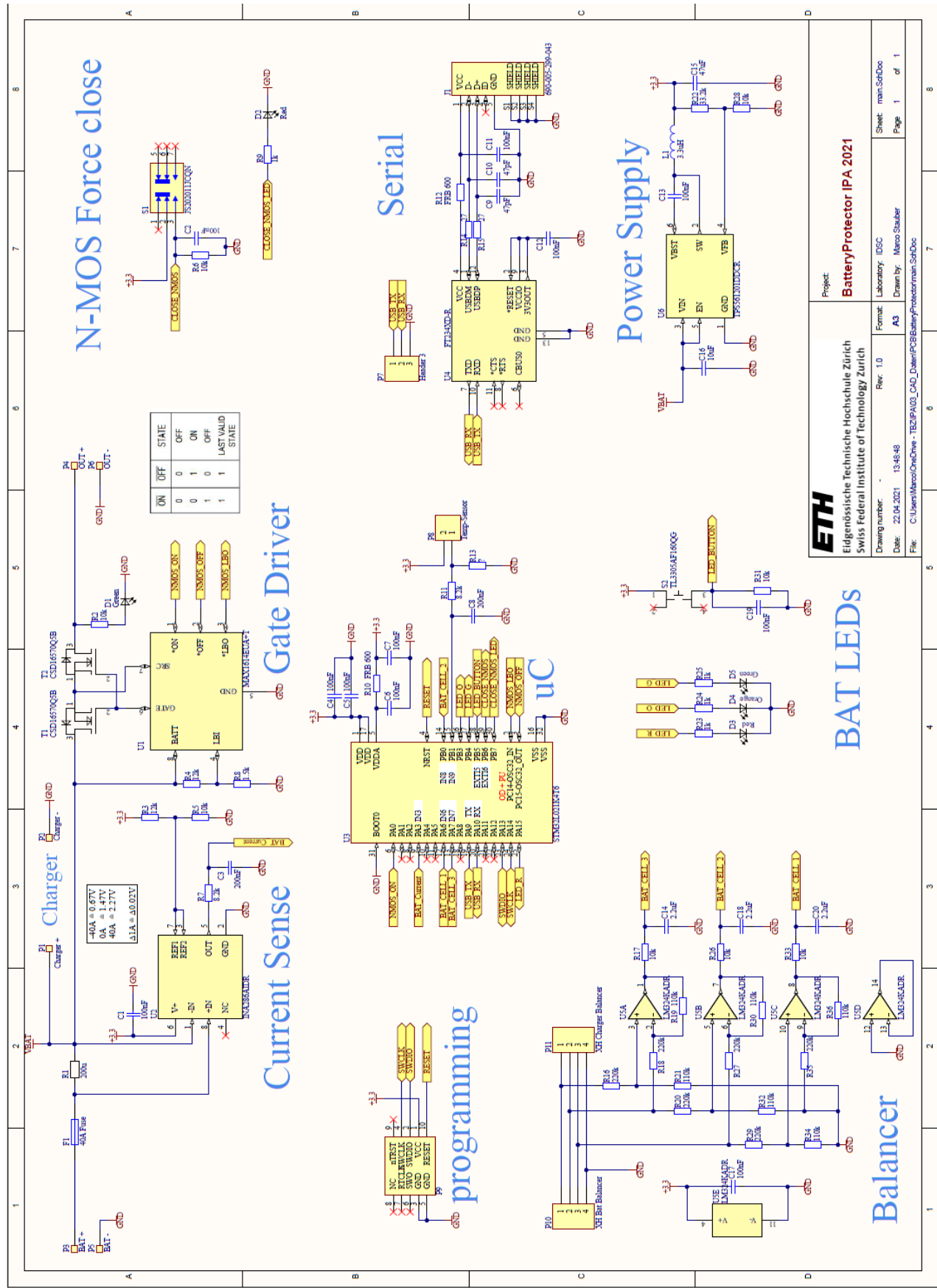
Marco Stauber

12.4.2021	<p>Flinke Sicherung durch träge ersetzt -> Stromspitzen beim Einschalten.</p> <p>Nur noch 3 anstelle von 4 M3 Löcher zum Montieren. Print noch kleiner gemacht.</p> <p>Bauteile sind ab jetzt auf beiden Seiten. Braucht weniger Platz.</p> <p>RX und TX auf der UART Stiftleiste vertauscht. Leiterbahnen im Layout gezogen und DRC gemacht .</p> <p>Beschriftung hinzugefügt.</p>	<p>07:35 – 11:15 12:00 – 16:35 8h 15min</p>
14.4.21	<p>Layout Power Supply Schaltung mehr an die Layout Guidelines aus dem Datenblatt angepasst.</p> <p>Zwischengespräch mit Armon Hänseler.</p> <p>Beschriftung auf Print verbessert und neue hinzugefügt.</p> <p>Grundstruktur für Doku erstellt. Terminplan, Schema, Layout und Aufgabenstellung in Doku eingefügt.</p>	<p>07:35 – 08:30 09:00 – 11:15 12:00 – 16:35 7h 45min</p>
15.4.21	<p>Doku wurde nicht auf die Cloud synchronisiert und habe jetzt kein Zugriff darauf.</p> <p>Der Spannungsteiler für den LBI Pin beim Gate Driver wurde falsch gewählt und jetzt korrigiert.</p> <p>Text für: Schema Allgemein, Balancer und Gate Driver geschrieben.</p>	<p>08:00 – 12:15 13:00 – 17:00 8h 15min</p>
21.4.21	<p>Text vom 15.4 eingefügt.</p> <p>Formatierung macht Probleme. Warte damit bis zum Schluss.</p> <p>Mikrokontroller gewechselt, war nicht mehr verfügbar.</p> <p>Abgabeleistung der NMOSs und des Shunts ausgerechnet. Bei 40A braucht es dringend einen Kühlkörper auf den NMOS. Hat kein Platz für einen Kühlkörper: Sicherung, Shunt, beide NMOS, Gate Driver und Current Monitor jetzt auf der Rückseite. Beschriftung geändert. Ladeanschlüsse sind nun Pads und nicht mehr Löcher.</p> <p>Weitere Abschnitte in der Doku geschrieben.</p>	<p>07:45 – 11:15 12:10 – 16:50 8h 10min</p>
22.4.21	<p>Schluss (Fazit etc.) geschrieben</p> <p>Vorbereitung für die Abgabe. Anhänge hinzugefügt. Formatierung und Korrektur.</p> <p>Abgabe</p>	<p>07:35 – 11:15 12:00 – 16:00 7h 40 min</p>
		<p>Total: 88h 16min</p>

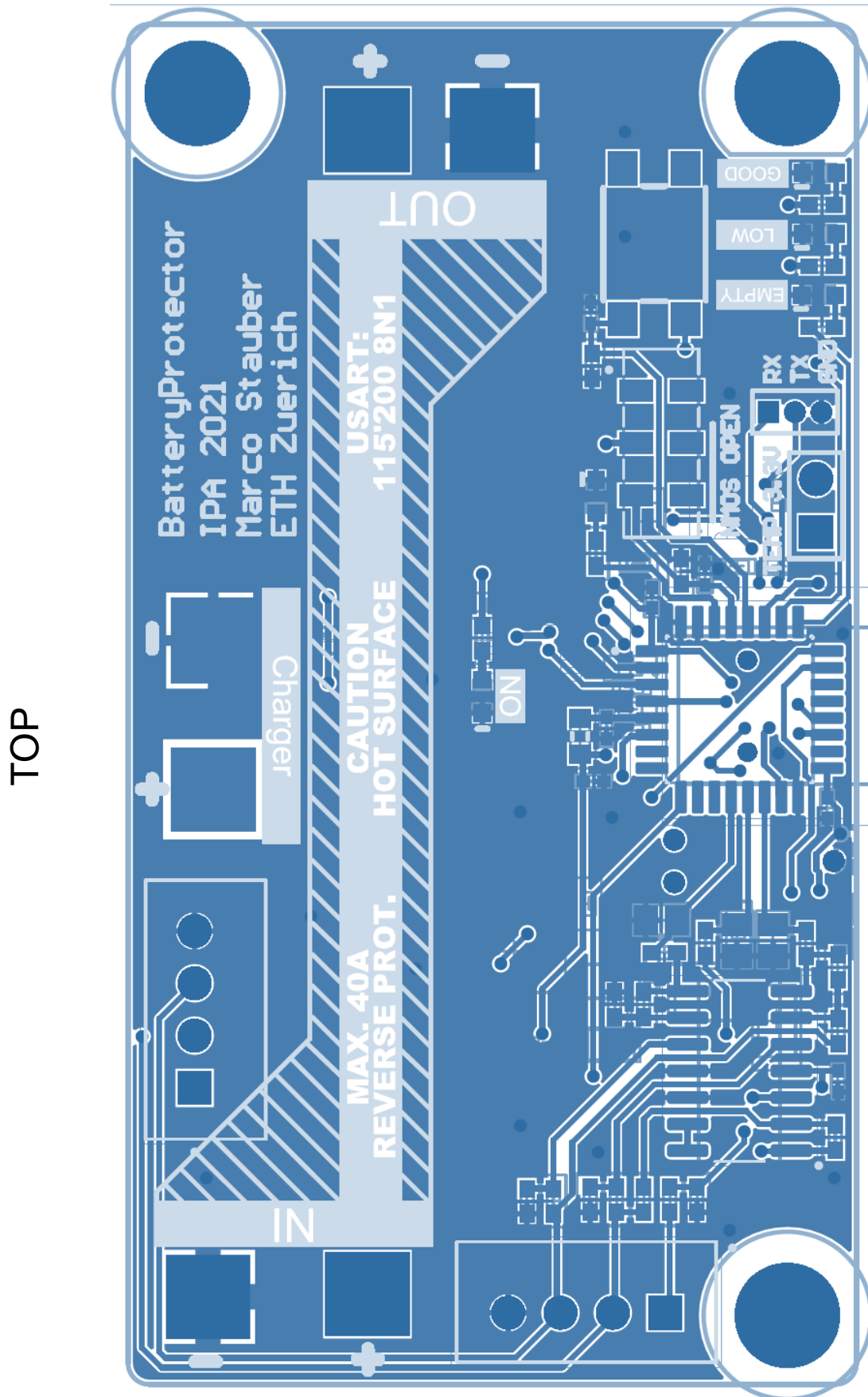
10.4. Mini Segway Schema



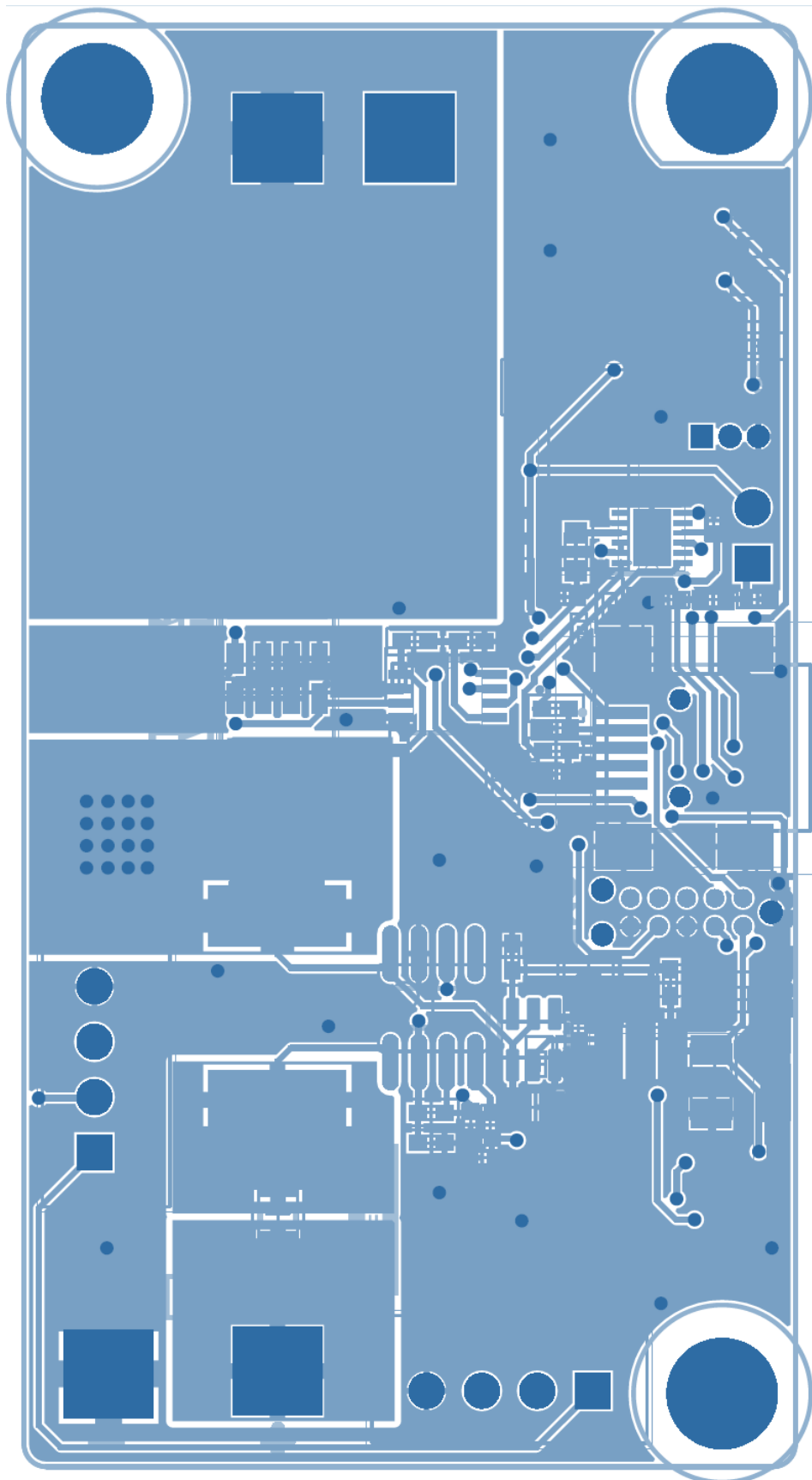
10.5. Schema



10.6. Layout

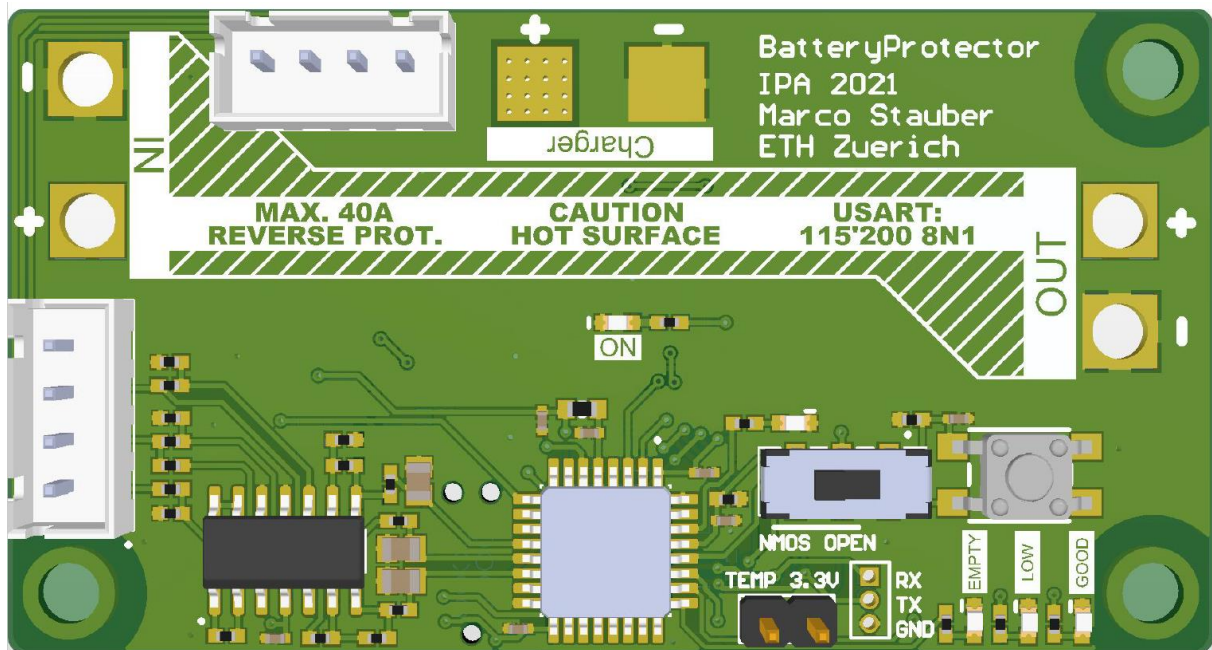


BOT

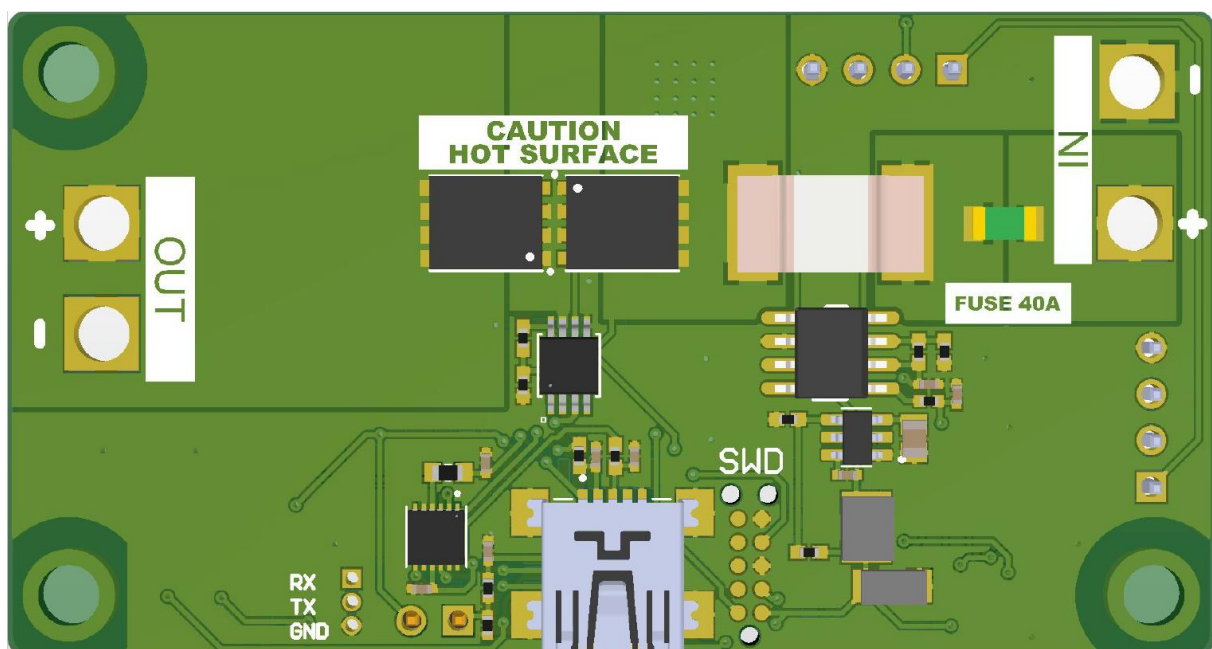


10.7. 3D-Ansicht

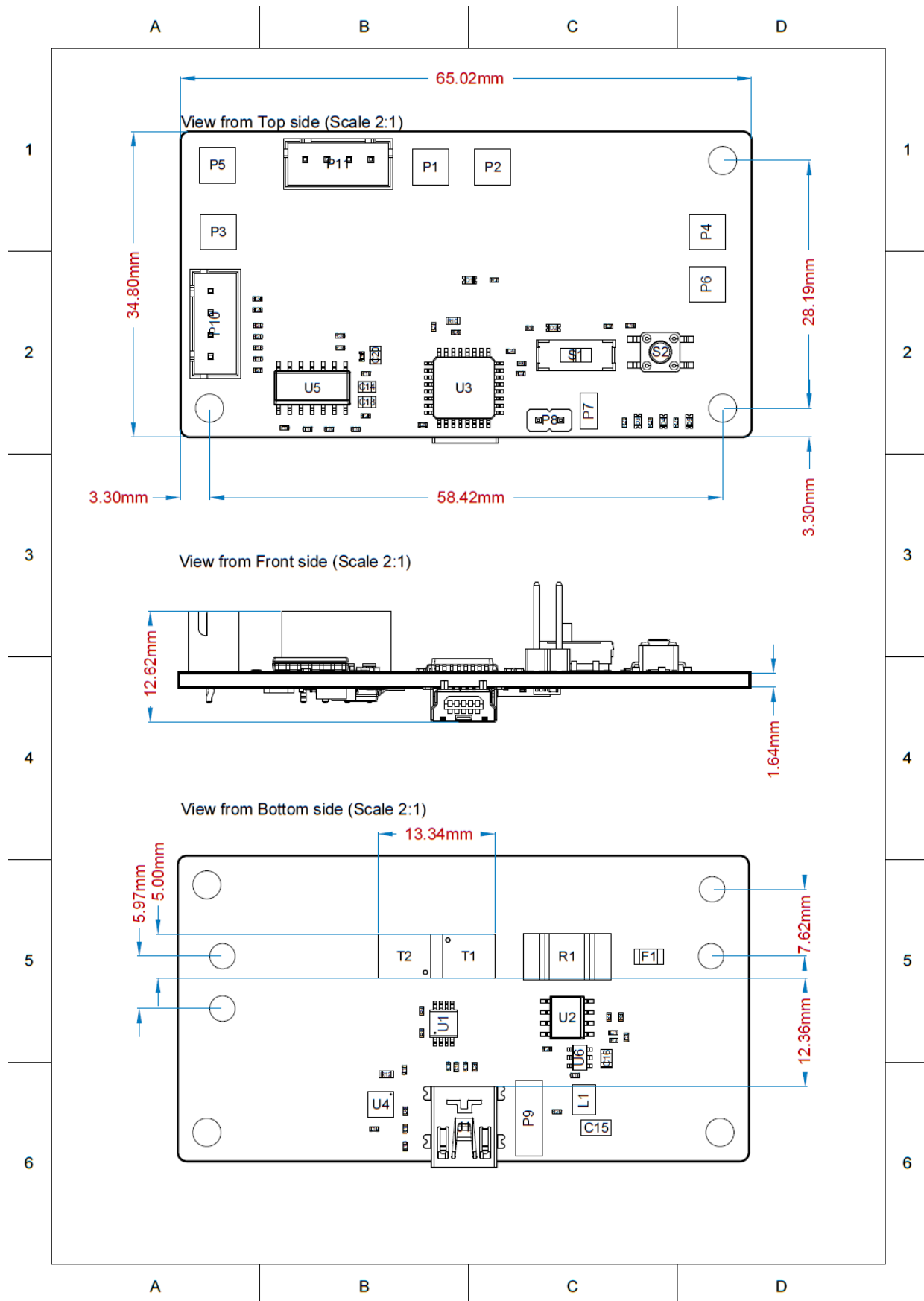
Top



Bot



10.8. Mechanische Masse



10.9. Stückliste

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
100nF	capacitor	C1, C2, C4, C5, C6, C7, C11,	CAP_0402i_1005m -L	Cap	11
200nF	capacitor	C12, C13, C17, C19	CAP_0402i_1005m -L	Cap	2
47pF	capacitor	C3, C8	CAP_0402i_1005m -L	Cap	2
2.2uF	capacitor	C9, C10	CAP_0402i_1005m -L	Cap	2
47uF	capacitor	C14, C18, C20	CAP_0805i_2012m -L	Cap	3
10uF	capacitor	C15	CAP_1206i_3216m -n	Cap	1
		C16	CAP_0805i_2012m -L	Cap	1
Green	LED Indication	D1, D5	0603_LED	LTST-C191KRKT	2
Red	LED Indication	D2, D3	0603_LED	LTST-C191KRKT	2
Orange	LED Indication	D4	0603_LED	LTST-C191KRKT	1
40A Fuse	Fuse	F1	FUSE_1206i_3216M_N	Fuse	1
690-005-299-043	USB - mini B USB 2.0	J1	EDAC_690-005-299-043	690-005-299-043	1
3.3uH	Inductor	L1	IND_1210i_3225m -L	Inductor	1
Charger +		P1	AWG-10-Hole-1	Pin	1
Charger -		P2	AWG-10-Hole-1	Pin	1
BAT +		P3	AWG-10-Hole-1	Pin	1
OUT +		P4	AWG-10-Hole-1	Pin	1
BAT -		P5	AWG-10-Hole-1	Pin	1
OUT -		P6	AWG-10-Hole-1	Pin	1
Header 3	Header, 3-Pin	P7	1.27mm HDR1X3	Header 3	1
Temp-Sensor	Header, 2-Pin	P8	HDR1X2	Header 2	1
Tag-Connect TC2050-IDC-NL	10-pin pogo pin programing port	P9	TC2050-IDC-NL	TC2050-IDC-NL	1
XH Bat Balancer	Header, 4-Pin	P10	JST_B4B-XH-A(LF)(SN)	Header 4	1
XH Charger Balancer	Header, 4-Pin	P11	JST_B4B-XH-A(LF)(SN)	Header 4	1
200u	RES 200 UOHM 1% 3W	R1	WSL3921L2000FEA	WSL3921L2000FEA	1
10k	Resistor	R2, R5, R6, R17, R26, R28, R31,	RES_0402i_1005m -N	Res	8
12k	Resistor	R33	RES_0402i_1005m -N	Res	2
8.2k	Resistor	R3, R4	RES_0402i_1005m -N	Res	2
1.5k	Resistor	R7, R11	RES_0402m_1005i -L	Res	2
1k	Resistor	R8	RES_0402i_1005m -N	Res	1
FRB 600	Resistor	R9, R23, R24, R25	RES_0402i_1005m -N	Res	4
?	Resistor	R10, R12	RES_0603i_1608m -N	Res	2
27	Resistor	R13	RES_0402m_1005i -L	Res	1
220k	Resistor	R14, R15	RES_0402i_1005m -N	Res	2
110k	Resistor	R16, R18, R20, R27, R29, R35	RES_0402i_1005m -N	Res	6
33.2k	Resistor	R19, R21, R30, R32, R34, R36	RES_0402i_1005m -N	Res	6
JS202011JCQN	Slide Switch DPDT SMD	R22	RES_0402i_1005m -N	Res	1
TL3305AF160QG		S1	SW_JS202011JCQN	JS202011JCQN	1
CSD16570Q5B	Power NMOS	S2	TL3305AF160QG	TL3305AF160QG	1
MAX1614EUA+T	No Description Available	T1, T2	CSD16570Q5B	CSD16570Q5B	2
INA286AIDR	No Description Available	U1	21-0036K_MXM-L	MAX1614EUA+T	1
STM32L021K4T6	ARM® Cortex®-M0+ STM32L0	U2	D0008A_M	INA286AIDR	1
FT234XD-R		U3	QFP80P900X900X160-32N	STM32L051K6T6	1
LM324KADR		U4	DFN-12_FTD	FT234XD-R	1
TPS561201DDCR	Synchronous Step-Down Voltage Regulator	U5	SOIC127P600X175-14N	LM324KADR	1
		U6	SOT95P280X110-6N	TPS561201DDCR	1