

Hochschule Luzern

Technik & Architektur



Formula Student Electric

Bachelor-Thesis im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnologie, BAT

Verfasst von:
Florian Minnig

Betreut von:
Prof. Erich Styger
Prof. Rolf Mettler

Horw, 10. Juni 2021

Klassifikation: Nach Rücksprache

Bachelor-Thesis an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur

Titel	Formula Student Electric
Diplomandin/Diplomand	Minnig, Florian
Bachelor-Studiengang	Bachelor Elektrotechnik und Informationstechnologie
Semester	FS21
Dozentin/Dozent	Mettler, Rolf und Styger, Erich
Expertin/Experte	Scheuer, Gerald

Abstract Deutsch

Diese Bachelor-Thesis beschreibt die Konstruktion des Rennwagens alvier, welcher für das Formula Student Projekt vom Akademischen Motorsportverein Zürich (AMZ) entworfen wird. Die Arbeit beschreibt die Fertigung und Inbetriebnahme eines LV Akkus sowie des dazu gehörigen LV Supply PCBs. Zusätzlich wird das System TSAL Driver beschrieben und die Anpassung dieses PCBs zum Allradantrieb beschrieben. Des Weiteren behandelt diese Arbeit die verschiedenen elektrischen Systeme des HV Akkus. Darunter sind die Inbetriebnahme eines neuen HV PCBs und die Anpassung dieses PCBs, so dass es Regelkonform wurde. Es wird auch die Fertigung und die Inbetriebnahme eines neuen Fan Supply PCBs aufgezeigt. Zum Schutz der systemkritischen Signale wird sowohl, dass EMV Konzept wie auch das Grounding Konzept erläutert und aufgezeigt, wie dieses im Rennwagen umgesetzt werden. Die Fertigung und Implementierung der erwähnten Arbeitspakete werden in dieser Arbeit genau erklärt und es wird auf die aufgetretenen Probleme und den aktuellen Stand jedes Arbeitspaketes eingegangen.

Abstract Englisch

This bachelor thesis describes the construction of the racing car alvier, which is designed for the Formula Student project of the Academic Motorsport Club Zurich (AMZ). The thesis describes the production and commissioning of an LV battery and the corresponding LV supply PCB. In addition, the TSAL Driver system is described and the adaptation of this PCB to the four-wheel drive is described. Furthermore, this thesis deals with the different electrical systems of the HV battery. Among them are the commissioning of a new HV PCB and the adaptation of this PCB to make it compliant. The production and commissioning of a new fan supply PCB is also shown. To protect the system-critical signals, both the EMC concept and the grounding concept are explained and shown how they are implemented in the race car. The production and implementation of the work packages mentioned is explained in detail in this paper and the problems encountered and the current status of each work package are discussed.

Ort, Datum Luzern, 10.6.2021
© Minnig Florian, Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Inhaltsverzeichnis

I	Abkürzungen	iv
II	Einleitung	v
	Formula Student	v
	Reglement	v
	Disziplinen	v
	Organisation	viii
	Akademischer Motorsportverein Zürich	viii
	Teamstruktur <i>alvier</i>	viii
	Modul <i>Electronics</i>	ix
	Zeitplan	x
1	Arbeitspakete	1
2	LV Akku	3
	2.1 Ausgangslage	3
	2.2 Planung neuer LV Akku	4
	2.3 Fertigung des 6S8P LV Akku	5
	2.4 Anpassungen der Software	5
	2.5 Inbetriebnahme	6
	2.6 Fazit	6
3	LV Supply	8
	3.1 Ausgangslage	8
	3.2 Fertigstellung des Layout	8
	3.3 Test PCB DC/DC Wandler	10
	3.4 Inbetriebnahme PCB	11
	3.5 Fazit	12
4	TSAL und Lichter	13
	4.1 Ausgangslage	13
	4.2 Systembeschreibung TSAL	13
	4.3 Systembeschreibung Lichter	14
	4.4 Anpassung TSAL Driver	15
	4.5 Fazit	15
5	HV Akku	16
	5.1 Einleitung	16
	5.2 HV PCB Inbetriebnahme	17
	5.3 Anpassung HV PCB	18
	5.4 Fan Supply PCB	19
	5.5 Accumulator Management System (AMS)	20

5.6	Fazit	20
6	EMV und Grounding	21
6.1	Einleitung	21
6.2	EMV	21
6.3	Grounding	22
6.4	Fazit	23
7	Design	24
7.1	Einleitung	24
7.2	Organisation Modul- und Systempräsentationen	24
7.3	Organisation Fahrdynamik Fragestunden	24
7.4	Magazin Uploads	25
7.5	Erstellung Design Unterlagen	25
7.6	Fazit	25
8	Zusätzliche Arbeiten	26
8.1	Bestücken Inverter PCBs	26
8.2	Weitere Arbeiten am Inverter	26
8.3	Testen	27
8.4	Ordner für elektrische Abnahme	27
9	Schlussdiskussion	28
9.1	Rückblick	28
9.2	Fachliches Fazit	28
9.3	Schlusswort	29
	Abbildungsverzeichnis	30
	Tabellenverzeichnis	31
	Literatur- und Quellenverzeichnis	31
9.4	Quellen	31
	Literatur- und Quellenverzeichnis	31
A	Anhang	32
1.1	Anhang 1	32
1.2	SD-Speicherkarte	32
1.3	Schema LV Supply	33
1.4	Schema TSAL Driver	49
1.5	Schema Angepasstes HV PCB	53
1.6	Messungen DC/DC Wandler LV Supply	68
1.7	Energieabschätzung	71

I | Abkürzungen

AIR	Accumulator Isolation Relais
AMS	Accumulator Management System
AMZ	Akademischer Motorsportverein Zürich
ARH	Active Ride Height
CAD	Computer Aided Design
CAN	Controller Area Network
EMB	Energymeter Box
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ESF	Electrical System Form
ESO	Electrical System Officer
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
FSA	Formula Student Austria
FSC	Formula Student Combustion
FSD	Formula Student Driverless
FSE	Formula Student Electric
FSG	Formula Student Germany
FSN	Formula Student Netherlands
HSLU	Hochschule Luzern
HV	High Voltage
HVIL	High Voltage Indicator Light
IC	Integrated Circuit
IMD	Insulation Monitoring Device
MCM	Mini-CAN-Modul
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MRF	magnetorheologische Flüssigkeit
MRH	Main Roll Hoop
POF	Polymeric optical fiber
PWM	Pulsweitenmodulation
RWS	Rear Wheel Steering
SAE	Society of Automotive Engineers
SC	Shutdown Circuit
TS	Tractive System
TSAL	Tractive System Active Light
VCU	Vehicle Control Unit

II | Einleitung

Formula Student *

Formula Student ist ein internationaler Ingenieurswettbewerb, in dem Studenten aus verschiedenen Fachrichtungen einen Rennwagen entwickeln. Der gesamte Wettbewerb besteht aus drei verschiedenen Kategorien. Diese unterscheiden sich zwischen Formula Student Combustion (FSC), Formula Student Electric (FSE) und Formula Student Driverless (FSD). Die Fahrzeuge werden bei FSC mit einem Verbrennungsmotor angetrieben, in FSE hingegen mit einem oder mehreren Elektromotoren. Bei FSD fahren die Fahrzeuge ohne Fahrer, der Antrieb ist dabei nicht vorgeschrieben.

Reglement

Alle Wettbewerbe unterliegen dem Formula Society of Automotive Engineers (SAE) Reglement. Von allen durch den AMZ besuchten Wettbewerben werden zusätzliche Verschärfungen zum Formula SAE Reglement vorgeschrieben. Die Organisatoren vom Formula Student Germany (FSG) geben ein komplett eigenständiges Regelwerk für die Saison 2020/2021 heraus. Dieses Reglement ist zu grossen Teilen an das Formula SAE Reglement angelehnt und wird auch von anderen Organisatoren übernommen.

In diesem Dokument wird jeweils Bezug auf das FSG Reglement Saison 2020 genommen. Aufgrund des Ausfalls der Wettbewerbe in der Saison 2020 wurden die Reglemente unverändert für 2021 übernommen.

Disziplinen

Die Organisatoren bewerten nicht nur die Fahrleistung der Fahrzeuge, sondern auch das Vorgehen bei der Fahrzeugentwicklung. Es wird zwischen statischen und dynamischen Disziplinen unterschieden. Die Punkteverteilung der einzelnen Disziplinen ist in Abbildung II.I ersichtlich. (Formula Student Germany, 2020)

Engineering Design Das Engineering Design ist hinsichtlich Punktevergabe die wichtigste statische Disziplin. Die Bewertung der Entwicklung des Fahrzeugs wird von Experten aus der Industrie durchgeführt. Die Experten legen grossen Wert auf die Entscheidungsfindung und die Umsetzung der Konzepte. Mit dem „Design Report“ werden die Konzepte des Fahrzeugs und deren Umsetzung erläutert. Dieser wird vorgängig an die Eventorganisatoren eingereicht.

*Dieses Kapitel entstand in Zusammenarbeit mit allen Elektrotechnikstudenten aus der Vorlage von (Elektrotechnik Studenten, 2018)

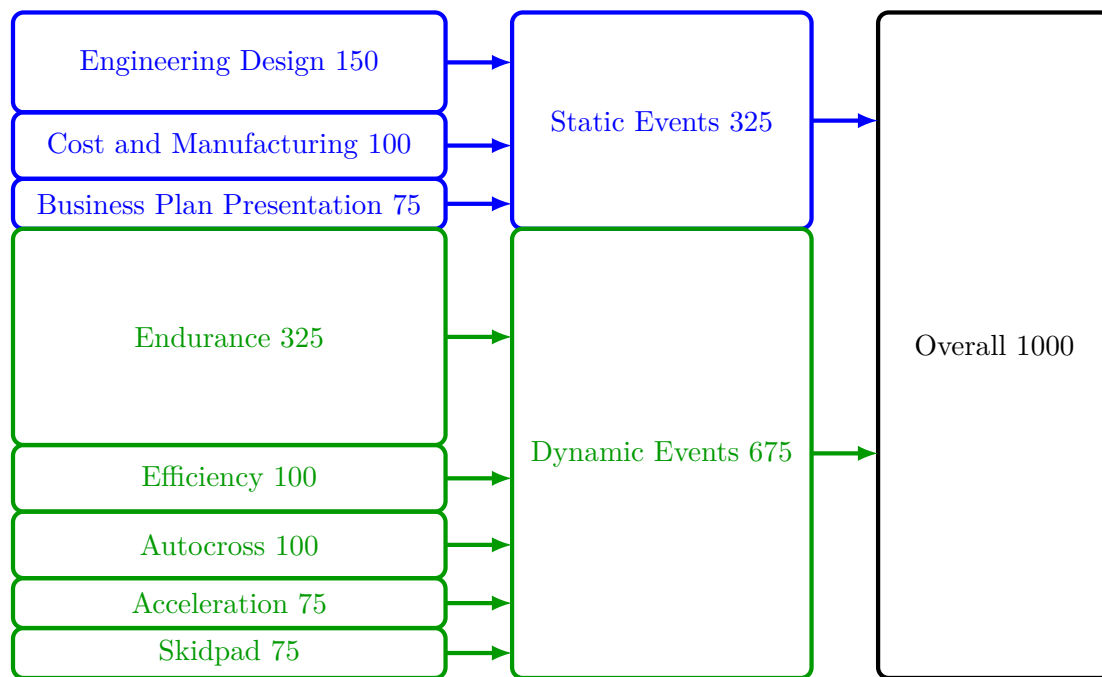


Abbildung II.I: Punkteverteilung Formula Student nach FSG Regelwerk (Formula Student Germany, 2020); in Anlehnung an (Elektrotechnik Studenten, 2016)

Cost and Manufacturing Am „Cost and Manufacturing“ Event wird das Verständnis über die verschiedenen Herstellungsprozesse und den damit verbundenen Kosten evaluiert. Dies wird mit einer fiktiven Kleinserie des Fahrzeugs realisiert. Für jedes Bauteil muss das Herstellungsverfahren definiert und die daraus resultierenden Kosten bestimmt werden. Bewertet wird die Korrektheit und Vollständigkeit dieses „Cost Report Document“, welches ebenfalls vorgängig eingereicht werden muss.

Business Plan Presentation Für diese Disziplin wird ein Geschäftsmodell um das Fahrzeug entwickelt. Dieses Geschäftsmodell wird am Event präsentiert. Es muss vorgängig ein „Executive Summary“ eingereicht werden.

Scrutineering Damit das Fahrzeug an einem Event fahren darf, muss es eine technische Abnahme bestehen. Diese Abnahme wird „Scrutineering“ genannt. In erster Linie wird überprüft, ob das Fahrzeug dem Reglement entspricht und es entsprechend betriebssicher ist. Es werden beim „Scrutineering“ keine Punkte für den Event vergeben, ein bestandenes „Scrutineering“ ist jedoch Voraussetzung für die Teilnahme an einer dynamischen Disziplin.

Acceleration Beim Acceleration Event wird die Beschleunigung des Fahrzeugs gemessen. Dazu beschleunigt das Fahrzeug aus dem Stillstand auf einer geraden Strecke. Die Acceleration Strecke hat eine Länge von 75 m. Zwei Fahrer erhalten jeweils zwei Versuche. Aus den vier Versuchen wird der Schnellste gewertet.

Skidpad Das Fahrzeug wird im Skidpad auf die Kurvenfahrt getestet. Die Skidpad-Strecke entspricht der Form einer liegenden Acht und ist in Abbildung II.II ersichtlich. Der Lauf wird ausserhalb des

Kreises gestartet. Nach dem Überfahren der Start-Ziellinie wird eine Rechtskurve gefahren. Mit dem ersten Kreis wird die Kreisfahrt stabilisiert. Der zweite Kreis in die gleiche Richtung wird gemessen. Danach folgen zwei Kreise nach links und dabei wird ebenfalls der Zweite gemessen. Die Zeit für den Skipad Event ergibt sich aus dem Mittelwert der beiden Zeiten. Die zwei Fahrer haben jeweils zwei Versuche.

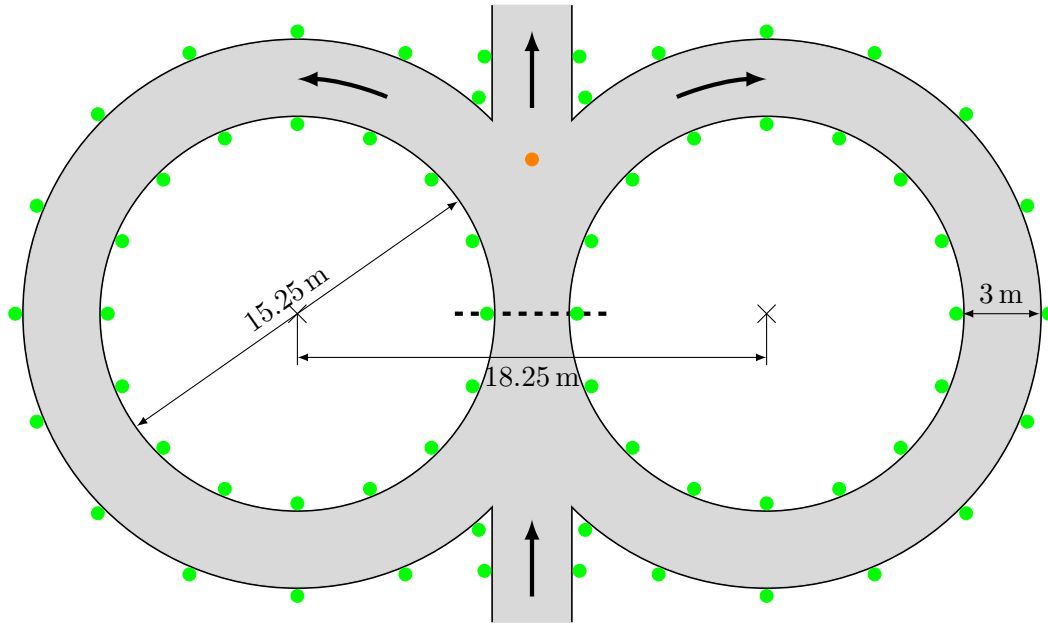


Abbildung II.II: Skidpad Strecke; in Anlehnung an (Elektrotechnik Studenten, 2016)

Autocross Beim Autocross wird eine vorgegebene Strecke abgefahren. Diese Strecke beinhaltet mehrheitlich enge Kurven, Schikanen und Slaloms. Hier dürfen erneut zwei Fahrer antreten, welche jeweils zwei Versuche erhalten. Die Schnellste der vier gefahrenen Zeiten wird gezählt.

Endurance Im Endurance wird die Zuverlässigkeit des Fahrzeugs geprüft. Dabei wird auf einem Rennstrecken-Rundkurs über mehrere Runden eine Distanz von 22 km gefahren. Nach der halben Distanz wird der Fahrer gewechselt. Aus der benötigten Zeit wird die Punktezahle ermittelt.

Efficiency Für die Disziplin Efficiency wird die elektrische Energieaufnahme des Fahrzeugs während dem Endurance Rennen gemessen. Aus der verbrauchten Energie und der mittleren Rundenzeit im Endurance werden die Punkte für die Efficiency Wertung berechnet.

Organisation *

Akademischer Motorsportverein Zürich

Der Akademische Motorsportverein Zürich (AMZ) besteht aus Studenten der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich und der Hochschule Luzern (HSLU). Im Verein wird das Ziel verfolgt, jedes Jahr ein neues elektrisches Rennfahrzeug für die Formula Student zu planen und zu bauen. In der Realisierung wird der AMZ von vielen Firmen im In- und Ausland finanziell, materiell und mit Know-how unterstützt. Aufgrund der Corona-Pandemie fanden im Sommer 2020 keine Events statt. Darum wird dieses Jahr das bestehende Fahrzeug weiterentwickelt mit einem grossen Fokus auf Gewichtsreduktion. Die Mitglieder des AMZ setzen sich aus aktiven- und passiven Mitgliedern (Veteranen) zusammen. Während der Planungs- und der Bauphase werden die Aktiven, welche für den Bau des aktuellen Fahrzeugs zuständig sind, von den Passiven unterstützt.

Teamstruktur *alvier* 2021

Die Arbeitspakete wurden an die aktiven Mitglieder verteilt. Die Elektrotechnikstudenten der HSLU bilden das Modul Electronics. Die restlichen Bereiche werden von Studenten der ETH bearbeitet. Geleitet wird das Projekt durch CEO Yann Bernard und CTO Eloi Roset. Die Teamstruktur wird in der Abbildung II.III grafisch dargestellt.

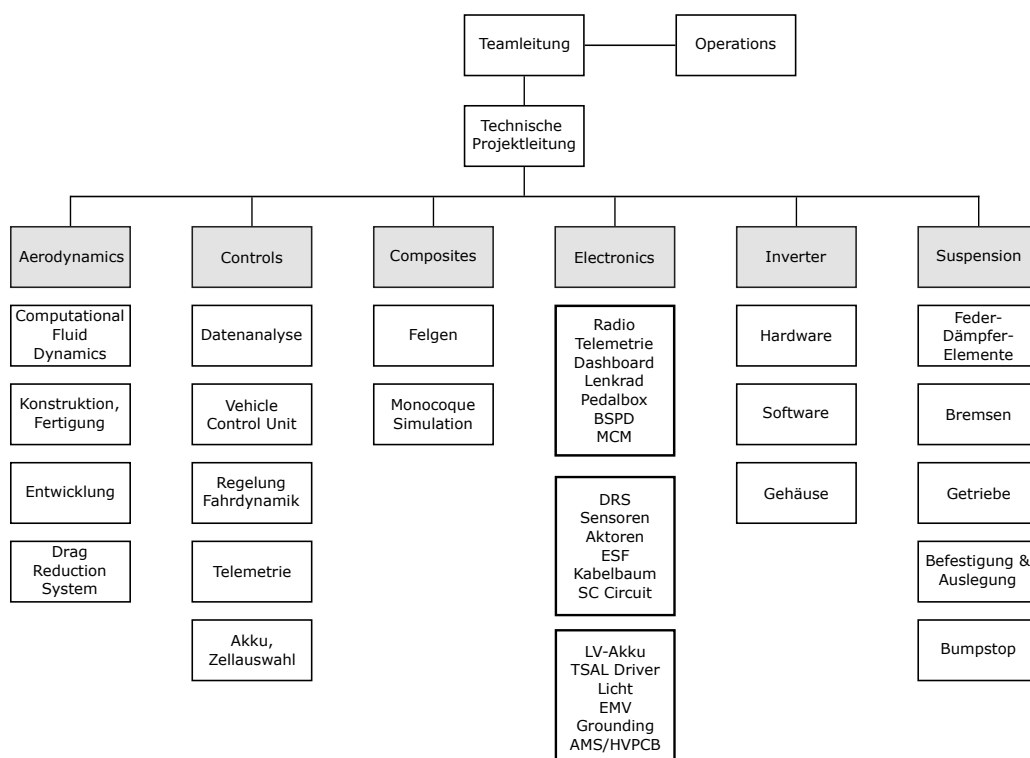


Abbildung II.III: Organigramm Module „alvier“; in Anlehnung an (Emmenegger, 2015).

*Dieses Kapitel entstand in Zusammenarbeit mit allen Elektrotechnikstudenten aus der Vorlage von (Elektrotechnik Studenten, 2018)

Modul *Electronics*

Die drei Elektrotechnikstudenten der HSLU bilden das Modul Electronics. Zusätzliche Unterstützung wird von den Veteranen Jason Freimann, Florian Jost und Severin Julen aus dem *alvier* Jahr und weiteren Veteranen aus den vorhergehenden Jahren geboten.

Organigramm

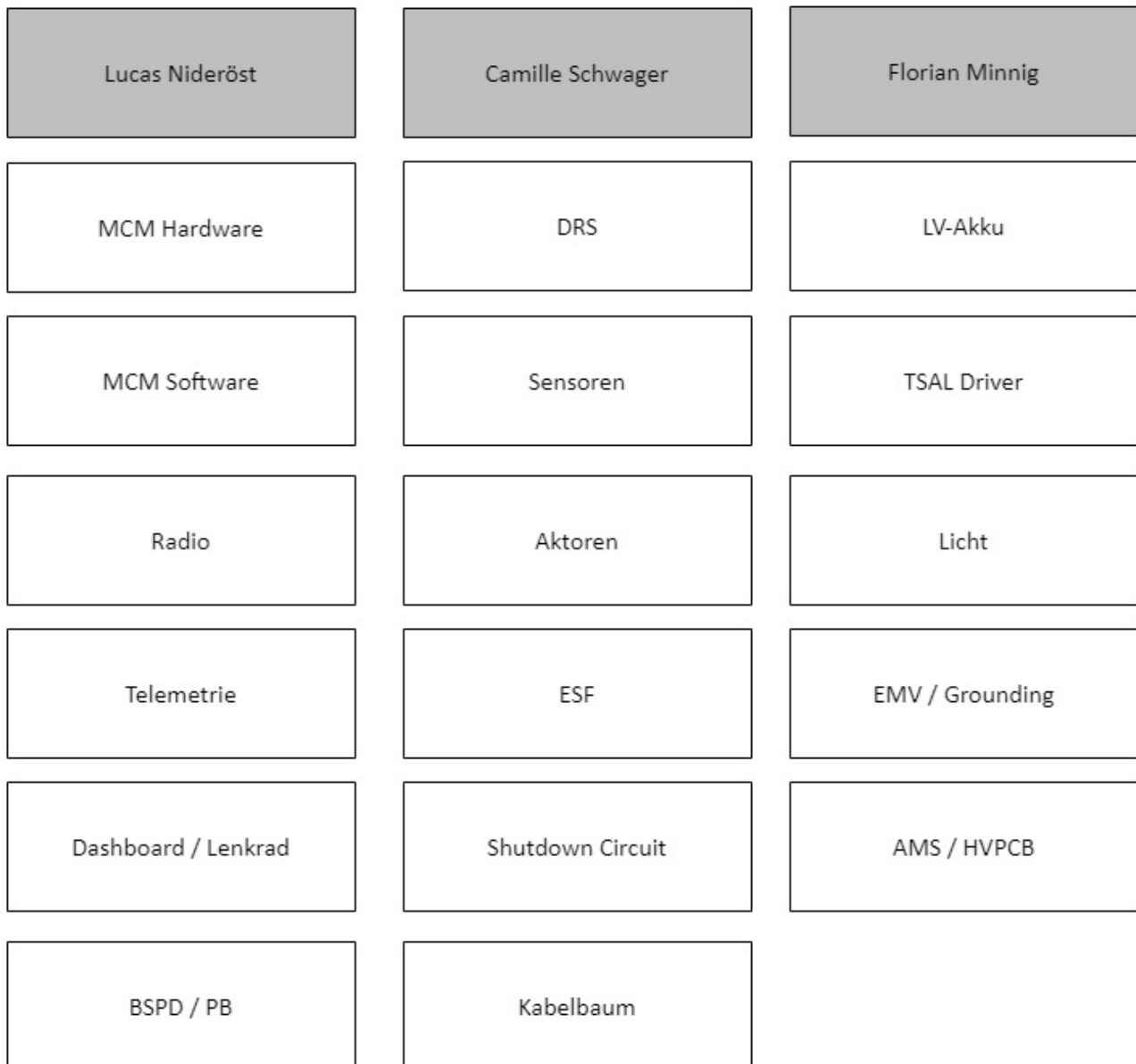


Abbildung II.IV: Organigramm Modul Electronics

Zeitplan *

Mit dem im letzten Jahr gebauten Rennwagen *alvier* konnte bereits im April mit den ersten Testtagen gestartet werden. Das Fahrzeug konnte gemäss dem Zeitplan in Tabelle II.1 für das Rollout optimiert werden. Weiter ging es mit der Realisierung der letzten Arbeitspakete und Eventvorbereitungen, um im Sommer kompetitiv an den verschiedenen Events teilzunehmen.

Meilenstein	Datum
Registrationsquiz	05.02.2021
Teamsitzung Electronics	27.03.2021
Zwischenpräsentation	15.04.2021
Rollout	27.05.2021
Prüfungsphase	21.06. - 10.07.2021
FS Netherlands	04.07. - 08.07.2021
FS Switzerland	10.07. - 18.07.2021
FS Austria	25.07. - 29.07.2021
FS East	03.08. - 08.08.2021

Tabelle II.1: Zeitplan AMZ Saison 2021

*Dieses Kapitel entstand in Zusammenarbeit mit allen Elektrotechnikstudenten aus der Vorlage von (Elektrotechnik Studenten, 2018)

Aufgabenstellung *

Durch die Elektrotechnik-Studierenden wird im Verein AMZ, Akademischer Motorsportverein Zürich, der elektrische Teil des jährlich neu gebauten Rennwagens für die Formula Student Rennen erstellt. In der vorliegenden Industriearbeit wurde die Planungsphase abgehandelt. Die Umsetzung des Autos folgt in der Bachelor-Diplomarbeit. Die Aufgabenstellung durch die Hochschule Luzern wurde wie folgt beschrieben:

“Als Elektrotechnik-Studenten sind Sie für den wesentlichen Teil der elektrotechnischen Belange des Fahrzeuges zuständig. Unterstützt werden Sie von ehemaligen Studenten, die bereits Erfahrung im Bau von Formula Student Rennwagen haben. Die ehemaligen und aktuellen am Projekt beteiligten Studierenden sind im Verein AMZ (Akademischer Motorsportverein Zürich) organisiert. Die einzelnen Arbeitspakete und Arbeitsschritte haben Sie im Rahmen Ihrer Semesterarbeit in Zusammenarbeit mit Ihren Teamkollegen selber definiert. Es sind folgende: DRS, Sensoren-Aktoren, FDE, ESF, MCM, Dashboard, Lenkrad, Radio, Telemetrie, LV Akku & Supply, TSAL/Lichter, HiL, EMV & Grounding, AMS, HV PCB, Kabelbaum, Shutdown Circuit, PB, BSP & Charger.

In der Diplomarbeit geht es im Wesentlichen um die Umsetzung und Weiterführung der in den Industrieprojekten ausgearbeiteten Konzepte. Ob noch weitere Arbeiten hinzukommen, bestimmen Sie gemeinsam mit Ihren Teamkollegen. Letztendlich liegt es auch in Ihrer Hand, wie komplex das Fahrzeug werden soll. Die Vorgaben im Rennreglement müssen selbstverständlich eingehalten werden.

Zur Unterstützung arbeitet ein weiterer Studierender mit einer PAIND am Projekt mit. Sie koordinieren mit ihm zusammen die Verteilung und Ausführung der Arbeitspakete.

Wir erwarten von Ihnen in Semesterwoche 2 eine detaillierte Auflistung der Arbeitspakete und der Arbeitsschritte sowie eine Projektplanung für Ihre Teilprojekte (z.B. anhand PKP).

In diesem Projekt werden alle Prozesse der Produktentwicklung unter besonderen Rahmenbedingungen durchlaufen. Nebst dem Rennen können mit einer gelungenen Präsentation der Entwicklung und des Fahrzeugs zusätzlich Punkte geholt werden.

Im Vordergrund stehen die Zusammenarbeit und der Erfolg als Team. Die Bewertung der Diplomarbeiten erfolgt aber individuell.“ (Erich Styger, Rolf Mettler, 2021)

*Dieses Kapitel entstand in Zusammenarbeit mit allen Elektrotechnikstudenten

1 | Arbeitspakete

In dieser Arbeit werden folgende Arbeitspakete behandelt:

- LV Akku
- LV Supply
- Tractive System Active Light (TSAL) und Lichter
- High Voltage (HV) Akku
- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und Grounding
- Design
- Zusätzliche Arbeiten

Beim Arbeitspaket LV Akku ist das Ziel, dass alle Verbraucher am Auto während eines Wettkampfs mit Energie versorgt werden. Dafür wurde aufgrund der Erkenntnisse des Industrieprojektes im Herbst einer der LV Akkus erweitert. So soll die Versorgung aller Verbraucher auch sichergestellt werden, falls alle neuen Konzepte, die dieses Jahr neu evaluiert werden, für die Wettkämpfe ans Fahrzeug kommen.

Das Arbeitspaket, welches diese Akkuspannung anschliessend an die einzelnen Verbraucher verteilt, ist das LV Supply. Das LV Supply ist ein PCB, welches die Akkuspannung falls nötig auf die Spannung der einzelnen Verbraucher wandelt und die einzelnen Verbraucher aktiviert, wenn das entsprechende Signal von der Vehicle Control Unit (VCU) kommt. Für dieses Arbeitspaket wird dieses Jahr ein neues PCB erstellt und in Betrieb genommen.

Das dritte Arbeitspaket ist TSAL und Lichter. Bei diesen beiden Systemen wurden keine konzeptionellen Anpassungen gemacht, da beide Systeme bereits entwickelt und in Betrieb genommen sind. Das Ziel bei diesem Arbeitspaket ist, dass der Aufbau und die Funktion dieser Systeme klar sind, so dass bei Defekten, insbesondere bei den Wettkämpfen, schnell reagiert werden kann.

Das Arbeitspaket HV Akku besteht aus mehreren Teilen. Zum einen vom HV PCB, welches im HV Akku platziert ist und zum Anderen vom Accumulator Management System (AMS). Zusätzlich gibt es noch das Fan Supply PCB. Das HV PCB beinhaltet unter anderem die Precharge Schaltung, die Schaltungen des Shutdown Circuit (SC) und Snifferschaltungen für das TSAL. Das AMS überwacht die Spannung und die Temperaturen des HV Akkus und das Fan Supply PCB besteht aus Spannungswandler, die Spannung für die Ventilatoren aufbereitet.

Durch die EMV- und Groundingkonzepte sollen Störungen durch elektromagnetische Einflüsse vermieden werden und die Sicherheit für Fahrer und Personen in Fahrzeugnähe sichergestellt werden. In diesem Arbeitspaket werden die aktuellen Konzepte erläutert und beschrieben, wie sie eingehalten werden.

Als Vorbereitung für den static Teil der Wettkämpfe werden die Fokusstudenten in Gruppen für die verschiedenen Disziplinen aufgeteilt. In diesem Arbeitspaket wird aus der Disziplin Design auf die Themen Modulpräsentationen, Fragerunden zu Fahrdynamik und auf die Magazine Uploads eingegangen.

Im letzten Arbeitspaket, Zusätzliche Arbeiten, werden die weiteren Arbeiten erläutert, an welchen unabhängig der oben genannten Arbeitspakete gearbeitet wurde. Dies beinhaltet unter anderem das Testen, das Bestücken eines zusätzlichen Inverters und weitere Inbetriebnahmen und Reparaturen an den Invertern.

2 | LV Akku

2.1 Ausgangslage

Der LV Akku ist dafür verantwortlich, dass alle Komponenten am Fahrzeug, welche nicht zum Tractive System (TS) gehören, mit Spannung versorgt werden. Das Ziel in diesem Arbeitspaket ist, dass die Versorgung dieser Komponenten für ein ganzes Endurance bei den Wettkämpfen gewährleistet ist. Da dieses Jahr mit Rear Wheel Steering (RWS), Active Ride Height (ARH), luftgeköhlten Radträgern, Dämpfer mit magnetorheologische Flüssigkeit (MRF), Roll Dämpfer und neuen Ventilatoren einige Konzepte angepasst oder zusätzlich dazu kommen, wurde in der Industriearbeit im Herbst 2020 eine neue Energieabschätzung gemacht.

Diese dient zur Bestimmung, ob der aktuelle 6S6P Akku ausreicht oder ob die Kapazität erhöht wird. Das Resultat dieser Energieabschätzung ist, dass der Akku eine Kapazität von 33 Ah braucht, wenn alle entwickelten Konzepte für die Events ans Auto kommen (Minnig, 2020).

Aktuell gibt es zwei LV Akkus. Beide haben eine 6S6P Konfiguration und bestehen aus NCR207000 Li-Ion Zellen. Die Akkus haben in dieser Konfiguration eine Nennkapazität von 25.5 Ah und eine Nominalspannung von 22.2 V. Die Maximalenergie beträgt insgesamt 642.6 Wh (Julen, 2020).



Abbildung 2.1: Aktueller LV Akku (Julen, 2020)

Als zum Schluss der Industriearbeit im Herbst klar wurde, dass die Kapazität des aktuellen LV Akkus nicht ausreicht, falls alle neuen Konzepte am Fahrzeug realisiert werden, wurde ein Akku mit grösserer Kapazität geplant.

2.2 Planung neuer LV Akku

Nachdem klar wurde, dass der für den LV Akku eine Kapazität von 33 Ah benötigt wird, wurde bemerkt, dass beim neuen LV Akku jeweils 8 Zellen parallel sein werden. So kommt man auf einen 6S8P Akkuaufbau. Mit diesem Aufbau bleibt die Spannung wegen der gleichen Anzahl Zellen in Serie gleich, aber die Kapazität erhöht sich auf 34 Ah. So wird gewährleistet, dass man zusätzlich zum Sicherheitsfaktor, welcher in der Energieliste einberechnet worden ist, noch einen Sicherheitsfaktor von 1.08 hat.

Da der Aufbau des Fahrzeugs hinter dem Fahrersitz beim LV Akku schon sehr dicht ist, wurde untersucht, wo die zusätzlichen Zellen Platz haben. Dies wurde zuerst im Computer Aided Design (CAD) Modell des Fahrzeugs überprüft und anschliessend mit einer Holz Attrappe der Grösse von zwei Zellen im Auto getestet. So ist der Entschluss entstanden, dass es hinter dem Fahrersitz Platz für zwei weitere Zellen hat (Abbildung 2.2 links). Da es aber Platz für vier zusätzliche Zellen braucht, weil jeweils zwei Pakete mit zwei zusätzlichen Zellen dazukommen, wurde klar, dass zwei der zusätzlichen Zellen oberhalb des Akkus platziert werden. So ist der Aufbau (Abbildung 2.2 rechts) des neuen LV Akkus entstanden.

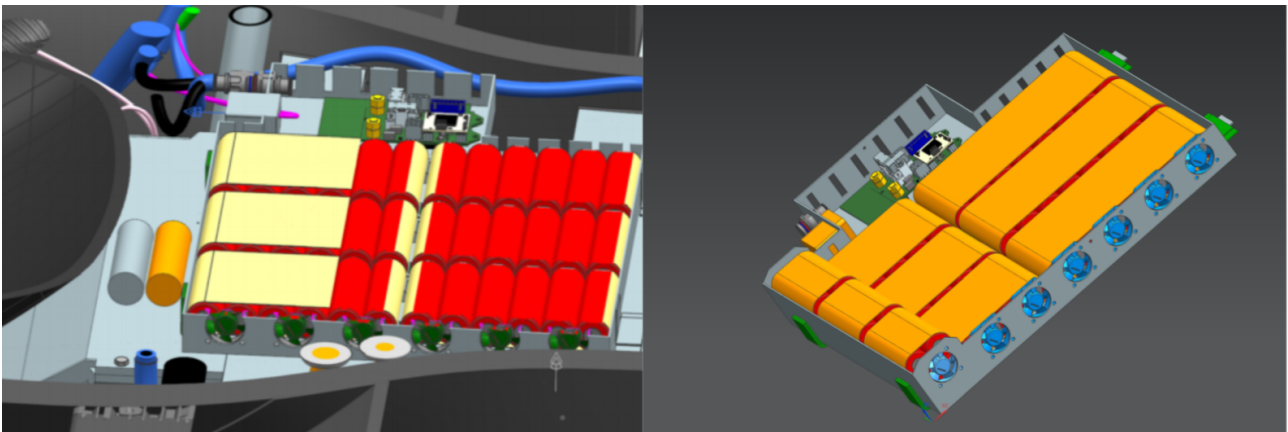


Abbildung 2.2: Platzierung neuer Akku Zellen (links) und Aufbau neuer Akku (rechts)

Da gemäss den Regeln von FSG von mindestens 30 Prozent der Zellen die Temperatur gemessen werden soll, werden zusätzliche Temperatursensoren verbaut. Beim aktuellen LV Akku sind die Temperatursensoren jeweils in der Mitte von zwei Zellen platziert. So kann mit einem Sensor von zwei Zellen die Temperatur gemessen werden. Aus diesem Grund werden zwei zusätzliche Temperatursensoren eingebaut.

Aufgrund der grösseren Akkubox und der erhöhten Anzahl der Zellen, wird auch ein zusätzlicher Ventilator eingebaut. Dieser wird in der Mitte zwischen den Zellen, die übereinander sind, platziert und parallel zu den bereits vorhandenen Ventilatoren geschaltet.

Auf dem LV Akku PCB sind aufgrund der zusätzlichen Zellen und der Temperaturen keine Anpassungen geplant. Aufgrund der zusätzlichen Zellen wird das Gesamtgewicht des LV Akkus um 760 g erhöht. Es wird einer der aktuellen 6S6P Akkus um die zusätzlichen Zellen erweitert und nicht ein komplett neuer Akku gefertigt. Die Fertigung der neuen Akkubox wird von einem Maschinenbauer der ETH Zürich übernommen.

2.3 Fertigung des 6S8P LV Akku

Die Fertigung des erweiterten LV Akkus wurde an der Hochschule in Luzern gemacht. Dazu wurde in einem ersten Schritt einer der 6S6P Akkus auseinandergenommen. Die Verbindungen der neuen Zellen wurden wie bereits beim aktuellen Akku mittels zwei Schichten Nickelband gemacht. Diese werden mittels Punktschweissverbindungen mit den Zellen verbunden (Julen, 2020).

Um die zusätzlichen Zellen zu befestigen, wurden jeweils zuerst Zellenpakete von zwei Zellen zusammengeschweisst. Dafür wurde der Akku auf die gleiche Spannung wie die neuen Zellen gebracht. Die Pakete wurden anschliessend jeweils parallel zu den vorhandenen Zellpaketen verbunden. Die Verbindung ist in der hinteren Reihe seitlich zu den bereits vorhandenen Zellen und in der vorderen Reihe oberhalb der bereits vorhandenen Zellen. Zuerst wurden die Zellen, die seitlich des Akkus verbunden werden, geschweisst und anschliessend die Zellen, die oberhalb verbunden werden. Da die einzelnen Zellpakete des Akkus ohne die isolierende Hülle aus Kapton Tape nicht fest miteinander verbunden sind, wird eine Halterung aus Karton verwendet, damit der Akku auf einer Seite abgestützt wird.



Abbildung 2.3: Schweissen der zweier Pakete (links) und Anschweissen dieser Pakete (rechts)

Anschliessend ans Schweissen des Akkus wurden die Punktschweissverbindungen sowohl optisch, wie auch auf Zug geprüft. Nachdem alle Verbindungen geprüft waren, wurde der Akku in die neue Akkubox eingesetzt und die Temperatursensoren befestigt und verkabelt. Anschliessend wurde der Akku wieder mit Kapton Tape isoliert und in der Mitte zwischen beiden Reihen, wo die Spannungsdifferenz am grössten ist, zusätzlich noch mit Nomex Papier isoliert.

2.4 Anpassungen der Software

Die Software auf dem Mini-CAN-Modul (MCM) musste aufgrund der zusätzlichen Temperatursensoren angepasst werden. Gemäss Regeln von FSG müssen die gemessenen Temperaturen live ausgelesen werden können. Dies wird an unserem Fahrzeug so umgesetzt, dass dies entweder am Dashboard oder über einen Laptop mittels PCAN Viewer ausgelesen werden kann. Aktuell ist es so, dass die

sechs Temperatursensoren in einem Frame über CAN zur VCU gesendet wird. Da das Frame mit den sechs Temperaturen aber noch den State of Charge und den Fehlerstatus beinhaltet, ist dieses Frame bereits voll. Aus diesem Grund wurde in der Software ein neues Frame erstellt, welches die zwei neuen Temperaturen verschickt. Zusätzlich wurden im Code einige Parameter mit der neuen Anzahl Temperatursensoren angepasst. Und das Versenden des zusätzlichen Frames mit Temperaturdaten implementiert.

```
for(counter=0;counter<8;counter++){
    if(counter<6){
        can_mcm_lv_akku_691_tx.data->CAN_struct.lvTemp[counter] = temp_data[counter];
    }
    else{
        can_mcm_lv_akku_693_tx.data->CAN_struct.lvTemp[counter-6] = temp_data[counter];
    }
}
```

Abbildung 2.4: Code Ausschnitt Software LV Akku

Zusätzlich wurden die beiden zusätzlichen Temperatursensoren in die Berechnungen zur Minimum-, Maximum- und Durchschnittstemperatur eingebunden. Diese Temperaturen werden zur Datenauswertung verwendet. Da die Spannungsmessungen und die Strommessung für das AMS des LV Akkus durch die zusätzlichen Zellen nicht beeinflusst werden, musste die Software für diese Bereiche nicht angepasst werden.

2.5 Inbetriebnahme

Nach der Fertigung des Akkus und der Anpassung der MCM Software, begann die Inbetriebnahme des LV Akkus. Diese wurde in zwei Schritten gemacht. In einem ersten Schritt wurden die Temperaturmessungen vernachlässigt und getestet, ob die Spannung im LV Akku PCB durchgeschaltet wird. Anschliessend wurde die Ausgangsspannung und die Spannungen der einzelnen Zellenpakete gemessen. Die Ausgangsspannung beträgt 21 V und die einzelnen Zellenpakete haben eine Spannung von etwa 3.5 V, was daher kommt, dass die Zellen vor der Fertigung auf diese Spannung gebracht wurden. Anschliessend wurde der Akku auf 24 V geladen und überprüft, ob die Spannungen der einzelnen Zellenpakete gleich bleiben. Die Temperaturen wurden während diesem Vorgang mit der Wärmebildkamera überwacht. Die Zellen hatten anschliessend alle eine Spannung von etwa 4 V. In einem zweiten Schritt wurde das AMS in Betrieb genommen. Dafür wurden die Temperatursensoren wieder eingebunden und getestet, ob die Spannung im LV Akku PCB durchgeschaltet wird und ob die Temperaturwerte ausgelesen werden.

2.6 Fazit

Die Fertigung des ersten Akkus ist abgeschlossen. Der aktuelle Stand in diesem Arbeitspaket ist, dass der erste Teil der Inbetriebnahme abgeschlossen ist und der zweite Teil auch zum grössten Teil gemacht wurde. Im Moment gibt es noch ein Problem mit dem Auslesen der Temperatursensoren und das Testen des Akkus im Auto steht noch an. Zusätzlich zum neuen Akku wurde bei den Testtagen ein Endurance Testlauf mit dem aktuellen 6S6P Akku gemacht. Bei diesem Testlauf waren ARH, RWS, MRF Dämpfer und die luftgekühlten Radträger noch nicht am Fahrzeug eingebaut. Es ist jedoch

noch unklar, ob diese Konzepte für die Wettkämpfe am Auto sein werden. In diesem Testlauf hat der 6S6P Akku ausgereicht und es gab noch eine Reserve von 30 Prozent State of Charge. Sobald die Entscheidung getroffen wird, welche dieser Konzepte für die Wettkämpfe am Fahrzeug sind, wird nochmals ein Testlauf mit den Akkus gemacht, um die Entscheidung zu treffen, ob der 6S6P ausreicht oder ob der schwerere 6S8P Akku verwendet wird. Aktuell sieht es so aus als wären die MRF Dämpfer und die luftgekühlten Radträger für den ersten Wettkampf nicht am Fahrzeug.

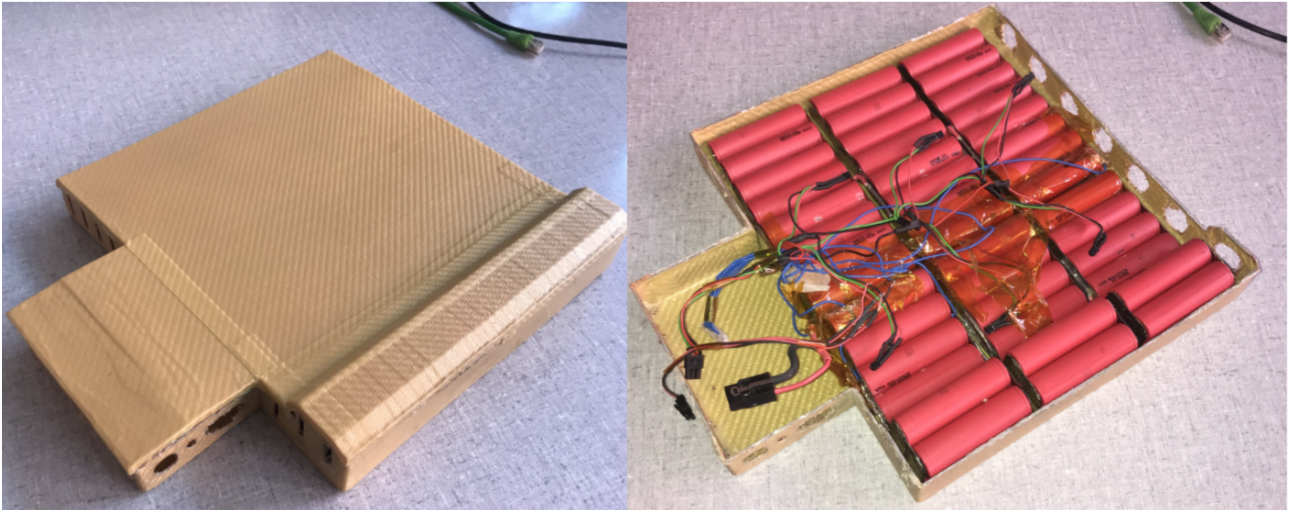


Abbildung 2.5: 6S8P Akku in neuer Akkubox

3 | LV Supply

3.1 Ausgangslage

Das LV Supply PCB hat die Aufgabe, die Akkuspannung an alle Verbraucher zu verteilen, die nicht zum TS gehören. Dazu wird die Akkuspannung in die für die Verbraucher benötigte Spannung gewandelt. Zusätzlich können die einzelnen Verbraucher über die VCU aktiviert und deaktiviert werden.

Für dieses PCB wird aktuell am Auto das LV Supply von Mythen, dem Rennwagen von 2019, verwendet. Dieses funktioniert so noch am aktuellen Auto, aber falls die neuen Konzepte wie die neue Kühlung, Rolldämpfer oder die MRF Dämpfer ans Fahrzeug kommen, braucht es ein neues LV Supply PCB. Für die anderen neuen Konzepte wie RWS und ARH wurden Anschlüsse des LV Supply PCBs verwendet, die dieses Jahr nicht mehr gebraucht wurden.

In der Industriearbeit im Herbst 2020 wurde deshalb mit der Entwicklung eines neuen LV Supply PCBs begonnen. Dafür wurde das Schema angepasst und erweitert. Zusätzlich zu den möglichen neuen Verbrauchern von diesem Jahr, wurden Verbesserungen an einzelnen Verteilerschaltungen gemacht, die von Veteranen vorgeschlagen wurden. Anschliessend zu den Schema Anpassungen wurde mit dem Layout der Leiterplatte begonnen. Der aktuelle Stand bei der Abgabe der Industriearbeit war, dass das Layout etwa zur Hälfte beendet war. Dieses Schema zu beenden, war der erste Schritt bei diesem Arbeitspaket im Rahmen dieser Bachelorthesis. (Minnig, 2020)

3.2 Fertigstellung des Layout

Zur Erstellung des Layouts wurde im Herbst ein Zonenkonzept erstellt. Details zum Zonenkonzept werden im Kapitel EMV und Grounding genauer erläutert. Das Ziel dieses Zonenkonzeptes war es, sowohl die elektromagnetischen Störungen zu vermeiden, wie auch eine geschickte Platzierung der Komponenten zu erreichen. Dies vereinfacht die anschliessende Verkabelung und die Kühlung der Versorgungen der leistungstärkeren Verbraucher kann besser geplant werden.

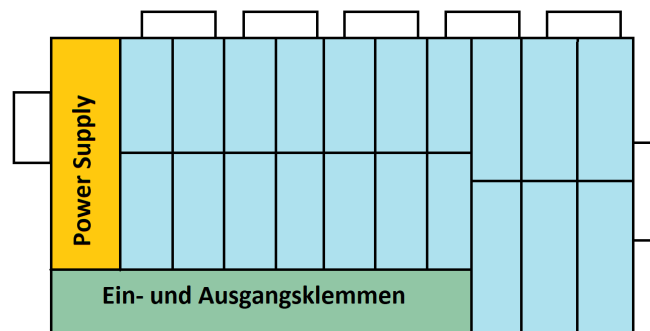


Abbildung 3.1: Zonenkonzept für LV Supply

Die Leiterplatte ist so aufgebaut, dass es vier verschiedene Layer gibt. Oben und unten sind Layer für Signalleitungen. Layer 2 dient als Versorgungslayer und Layer 3 dient als Groundlayer. Layer 2 wird in zwei verschiedene Bereiche aufgeteilt, im Bereich der Spannungsversorgung der Schutzschaltung und der MCM Versorgungsschaltung ist eine Polygonfläche mit der positiven Akkuspannung. Im Bereich der verschiedenen Verteilerschaltungen ist hingegen eine Polygonfläche mit den 24 V, welche zur Versorgung dieser verschiedenen Schaltungen dient. Beim Groundlayer wurde darauf geachtet, dass dort keine anderen Leitungen enthalten sind, um eine undurchschnittene Groundlayer zu haben, was Teil des EMV Konzepts ist.

Bei der Platzierung der Komponenten wurde sowohl darauf geachtet das Zonenkonzept (Abbildung 3.1) einzuhalten, wie auch dass die Leiterbahnen so kurz wie möglich sind. Zusätzlich wurde versucht, die aufgespannten Flächen zwischen den Leiterbahnen so klein wie möglich zu halten. Die grossen Komponenten, wie auch alle aktiven Bauteile wie Integrated Circuit (IC)s wurden auf der Oberseite der Platine platziert. Zusätzlich wurden alle Sicherungen und Klemmen auf der Oberseite platziert, um das Verkabeln und das Austauschen einzelner Sicherungen einfach zu halten. Passive Komponenten wie Widerstände und Kondensatoren wurden mehrheitlich auf der Unterseite der Leiterplatte platziert.

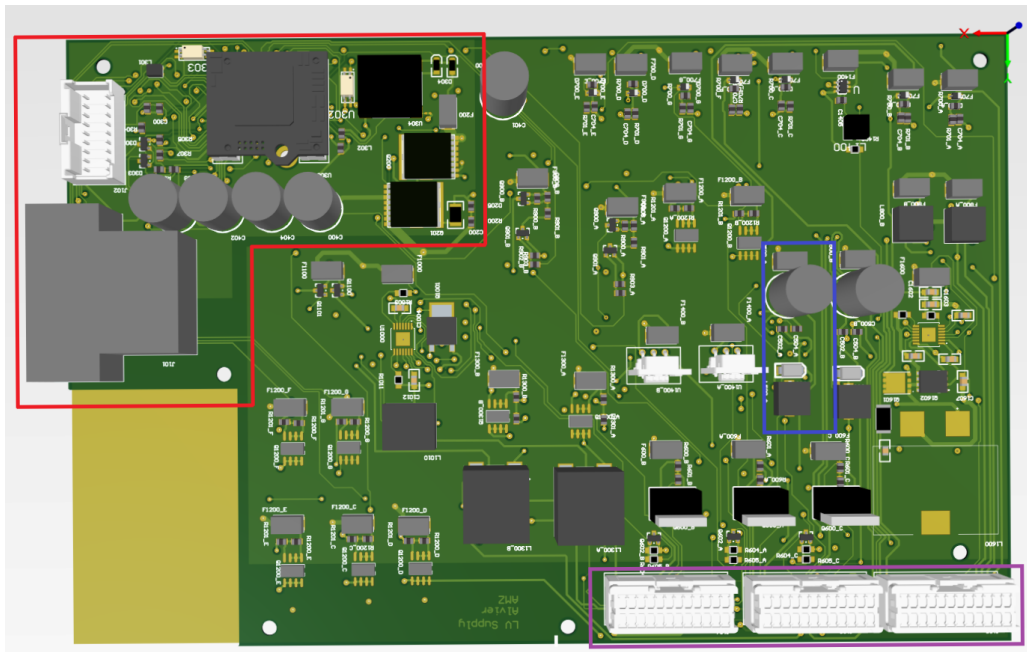


Abbildung 3.2: Layout LV Supply von oben

Beim umgesetzten Layout (Abbildung 3.2) sind die verschiedenen Zonen aus dem Zonenkonzept zu sehen. Rot umrandet ist die Spannungsversorgung des PCBs, die Schutzschaltung und die Schaltung vom MCM. Unten im PCB sind die Ausgangsklemmen platziert, welche dann mit den Lemostecker an der PCB-Box verbunden werden. Auf dem restlichen PCB sind die verschiedenen Verteilerschaltungen für die einzelnen Komponenten (eine exemplarisch blau markiert). Hier wurde darauf geachtet, dass die Schaltungen für die grössten Verbraucher ganz auf der rechten Seite sind, wo sie näher am Ventilator sind.

Nach Beenden des Layouts wurde dies mit Veteranen zusammen geprüft. Neben einigen kleinen Korrekturen wurde stark empfohlen, die Schaltung mit dem DC/DC Wandler für die luftgekühlten Radträger zuerst auf einem Test PCB zu prüfen, da die auch in anderen PCBs wie zum Beispiel dem Fan Supply

PCB verwendet wird. Dies wurde anschliessend auch gemacht.

3.3 Test PCB DC/DC Wandler

Da sowohl die Schaltung wie auch das Layout des DC/DC Wandler auf dem LV Supply und dem Fan Supply PCBs identisch sind, wurde diese Schaltung vor dem Versenden des PCBs zur Fertigung getestet. Dazu wurde an der Hochschule in Luzern ein Test PCB (Abbildung 3.3) in Auftrag gegeben. Dieses wurde anschliessend bestückt und Messungen damit gemacht.

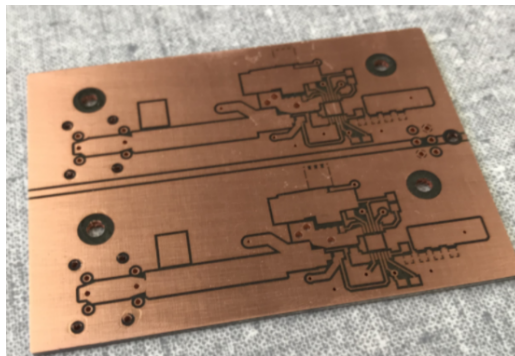


Abbildung 3.3: Test PCB DC/DC Wandler

Es wurden folgende Messungen gemacht:

- Messung der Ausgangsspannung bei Eingangsspannung 24V (unbelastet)
- Messung der Ein- und Ausgangsströme
- Aufzeichnung des Spannungsverlaufs am Ausgang
- Messung der Ausgangsspannung bei Eingangsspannung im ganzen Bereich des LV Akkus
- Messung der Ausgangsspannung bei unterschiedlicher Belastung

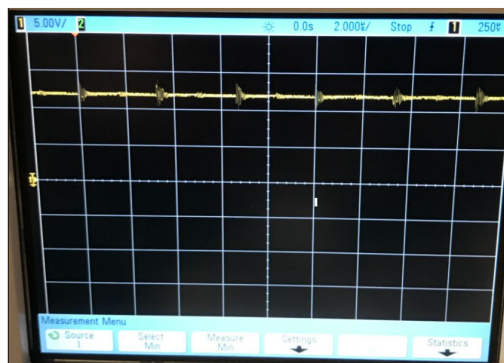


Abbildung 3.4: Test Ausgangsspannung DC/DC Wandler

Die Resultate dieser Messungen stimmten mit den Erwartungen überein. Die Ausgangsspannung war unabhängig der Eingangsspannung immer bei 12 V. Die Ausgangsspannung war konstant und hatte

nahezu keinen Ripple (Abbildung 3.4). Die Ströme auf Ein- und auf Ausgangseite stimmten mit den Berechnungen überein. Das einzige Problem, welches aufgetaucht ist, war bei maximaler Belastung. Dort gab es bei den Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)s einen thermischen Defekt. Dieses Problem sollte aber auf dem endgültigen PCB nicht auftreten, da der Test bei maximaler Belastung mit etwa 5 Prozent höheren Strömen war, als sie bei den Ventilatoren auftreten. Trotzdem wird bei der Inbetriebnahme die Last stufenweise erhöht werden und mit einer Wärmebildkamera die Temperatur der MOSFETs überwacht und allenfalls ein Kühlkörper verwendet. Die wichtigsten Messresultate befinden sich im Anhang unter Messungen DC/DC Wandler. Anschliessend wurde das PCB zur Fertigung an Optiprint gesendet.

3.4 Inbetriebnahme PCB

Nachdem das LV Supply PCB von der Fertigung geliefert wurde und alle Komponenten ankamen, wurde das PCB bestückt. Das Bestücken wurde mit der Bestückungsmaschine an der Hochschule in Luzern gemacht. Zuerst wurden alle leichten Bauteile auf der Rückseite der Leiterplatte bestückt. Anschliessend wurden alle Komponenten der Vorderseite bestückt. Die Through-Hole Komponenten sowie die schweren Komponenten der Rückseite wurden zum Schluss von Hand angelötet.

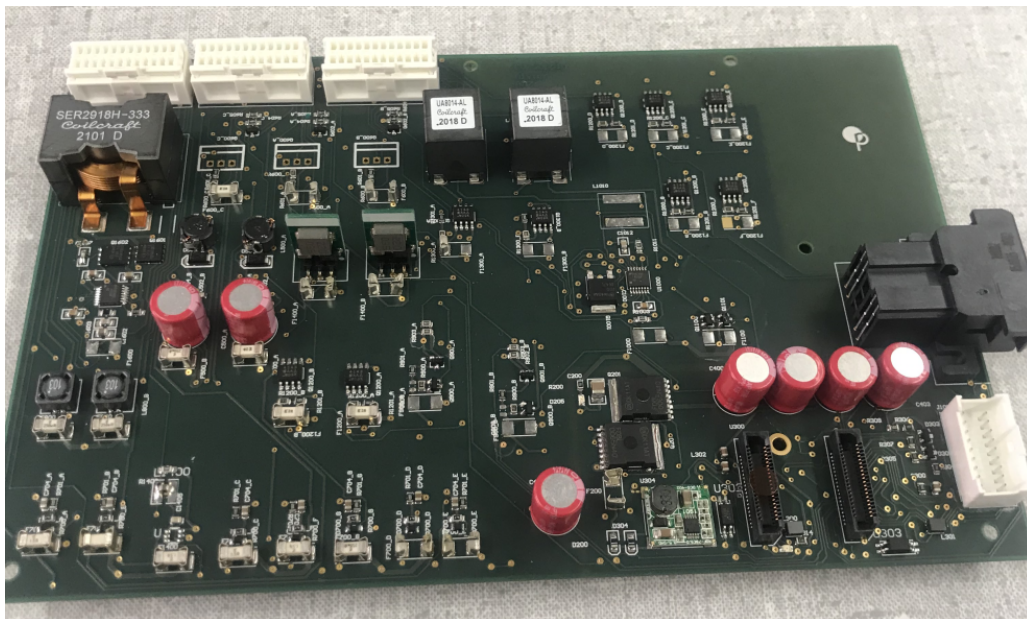


Abbildung 3.5: Bestückung des LV Supply

Danach wurde das PCB in Betrieb genommen. Dazu wurden in einem ersten Schritt Kurzschlussmessungen gemacht. Es wurden bei den Spannungsversorgungen von 24 V und 5 V die Widerstände zu Ground gemessen. Zusätzlich wurden allen Verteilerschaltungen die Widerstände zwischen den positiven und negativen Ein- und Ausgängen gemessen und getestet, ob alle Negativen Ausgänge mit Ground verbunden sind. In einem letzten Teil der Kurzschlussmessungen wurde bei kritischen Komponenten, das heisst bei kleinen ICs oder sehr nahen Komponenten gemessen, ob es Kurzschlüsse gibt. Anschliessend wurde Spannung an das PCB gelegt und geprüft, ob die Spannungsversorgung richtig funktioniert. Dazu wurden die Sicherungen der Verteilerschaltung entfernt und die Spannungen bei allen Eingängen der Verteilerschaltungen und bei der 5 V Versorgung des MCM gemessen. Nachdem dies nach dem Korrigieren einzelner kleiner Fehler funktioniert hat, wurden die einzelnen Verteilerschaltungen einzeln in Betrieb genommen. Dazu wurde immer 24 V an den Eingang der Ver-

teilerschaltungen gelegt und anschliessend die Spannung am Ausgang gemessen. Für jene Schaltungen, die über das MCM aktiviert werden können, wurde zudem überprüft, ob das Ein- und Ausschalten der Ausgangsspannung funktioniert, wenn ein Signal auf den Enable Eingang gelegt wird.

Parallel zu diesen Schritten wurde die Software auf dem MCM angepasst. Hier musste allerdings nur die Pinzuweisung für einige der neuen Komponenten angepasst werden. Dazu wurde dies mit dem VCU Verantwortlichen angeschaut, in welchen Controller Area Network (CAN) Nachrichten die Aktivierungen gesendet werden, und diese dann den richtigen Ausgangspins zugeordnet. Da die meisten Pins gleich bleiben, mussten nur die neuen Verbraucher hinzugefügt werden. Diese ersetzen zum Teil die Pins für die Komponenten, die früher gebraucht wurden, aber auf dem aktuellen LV Supply nicht mehr gebraucht werden.

```
// ***** OUT *****
#define PIN_EN_PUMP          31
#define PORT_EN_PUMP         2
#define PIN_EN_FAN2_HV      20
#define PORT_EN_FAN2_HV     0
#define PIN_EN_FAN1_HV      0
#define PORT_EN_FAN1_HV     3
#define PIN_EN_ARH           4
#define PORT_EN_ARH         2
#define PIN_EN_LOGGER        5
#define PORT_EN_LOGGER       2

if(can_mcm_lv_703_rx.data->CAN_struct.byte1.RWS){
    PORT_set_en_rwsr();
    PORT_set_en_rwsl();
}
else{
    PORT_clear_en_rwsr();
    PORT_clear_en_rwsl();
}
if(can_mcm_lv_703_rx.data->CAN_struct.byte1.InvF){
    PORT_set_en_invf();
}
else{
    PORT_clear_en_invf();
}
if(can_mcm_lv_703_rx.data->CAN_struct.byte1.Invr){
    PORT_set_en_invr();
}
else{
    PORT_clear_en_invr();
}
```

Abbildung 3.6: Code Ausschnitte der Anpassungen

3.5 Fazit

Die Inbetriebnahme des LV Supply PCBs ist noch nicht ganz abgeschlossen. Die Software wurde bereits angepasst und die im Kapitel, Inbetriebnahme PCB, beschriebenen Schritte wurden gemacht. Was noch aussteht, ist das Testen des PCBs mit der neuen Software, das Verkabeln der Ausgangsklemmen und das Testen des PCBs im Auto. Der Grund, dass das PCB noch nicht ganz fertig ist, liegt daran, dass durch das Test PCB einige Zeit verloren ging. Aber hauptsächlich liegt es daran, dass es mit dem Rennwagen einige Probleme mit dem Umbau auf Vierradantrieb und mit den Invertern gab. Aus diesem Grund wurde viel Zeit in das Lösen dieser Probleme investiert, da es für das Gesamtprojekt wichtig war, dass man bis zu den Wettkämpfen performant fahren kann. Das neue LV Supply PCB hat den Vorteil, dass es für die Konzepte wie MRF Dämpfer und luftgekühlte Radträger ausgelegt ist. Diese Konzepte wurden seit Ende Juni nicht mehr weiterverfolgt, da es zusätzliche Manpower brauchte, damit der Rennwagen voll performant fährt. Aus diesem Grund kann im Moment noch mit dem aktuellen LV Supply gefahren werden. Das neue LV Supply wird trotzdem bis zum ersten Wettkampf fertiggestellt und getestet werden, falls diese Konzepte doch noch fertig gestellt werden.

4 | TSAL und Lichter

4.1 Ausgangslage

Die beiden Systeme TSAL Driver und Lichter haben bereits bei der Übernahme des Rennwagens im letzten Sommer funktioniert. Deshalb wurde an beiden Systemen nicht konzeptionelles verändert. Beim TSAL Driver ist eine Anpassung an der Verkabelung vorgesehen, da im Sommer und beim Industrieprojekt im Herbst, jeweils nur mit zwei Motoren gefahren wurde. Auf diese Anpassung wird im Kapitel, Anpassung TSAL Driver, genauer eingegangen. Ein weiterer wichtiger Punkt dieses Arbeitspakets ist es, diese beiden Systeme und deren Funktionsweise zu kennen. Dies hilft bei den Testtagen und vor allem bei den Wettkämpfen allfällige Probleme schnell zu erkennen und die Reparaturen schnell zu vollziehen.

4.2 Systembeschreibung TSAL

Das TSAL Driver PCB ist zentral im Auto neben dem LV Supply und über der Energymeter Box (EMB) platziert. Dieses PCB bekommt Signale von beiden Invertern und vom HV Akku Signale, welche anschliessend auf dem TSAL Driver PCB ausgewertet werden. Von beiden Invertern wird jeweils ein Signal geschickt, welches high (16-24 V), low (5-15 V) oder 0 V ist. Ist das Signal high, bedeutet das, dass im Inverter eine Spannung unter 60 V anliegt. Ist das Signal low, so liegt am Inverter eine Spannung von über 60 V an. Und falls es ein 0 V Signal verschickt, gibt es entweder eine Implausibilität im Inverter oder die Leitung ist unterbrochen. Eine Implausibilität tritt auf, wenn beide Spannungsmessungen, die in einem Inverter gemacht werden, unterschiedlich sind.

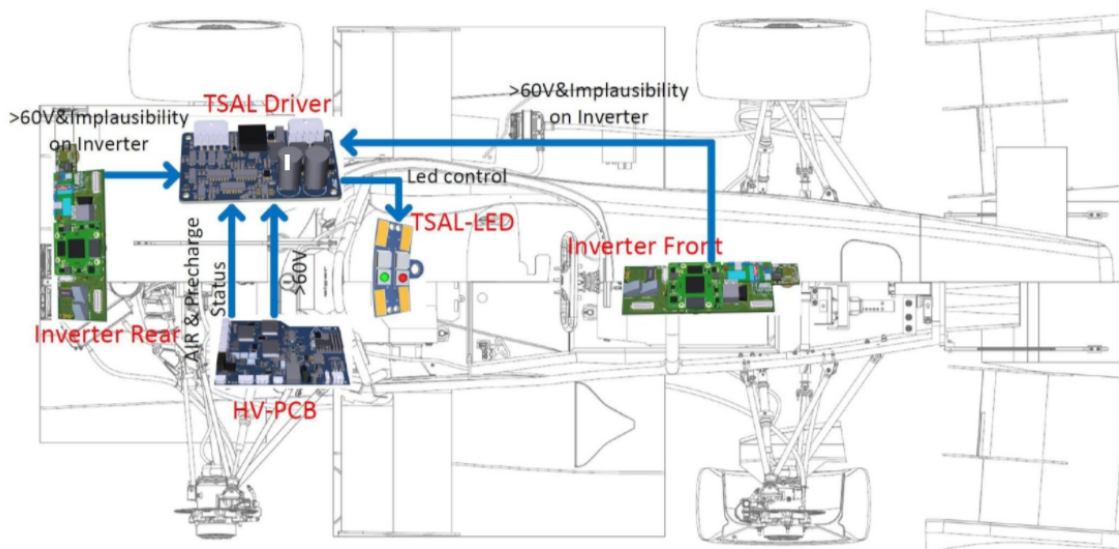
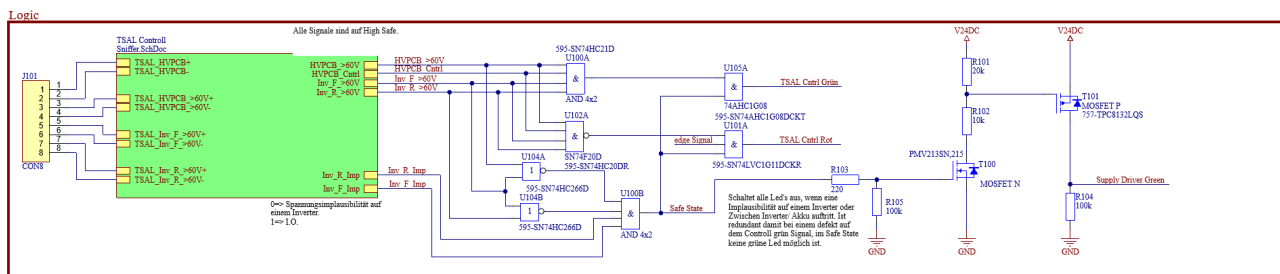


Abbildung 4.1: System Übersicht TSAL

Zusätzlich bekommt das TSAL Driver PCB zwei Signale vom HV PCB, welches sich im HV Akku befindet. Mit diesen beiden Signalen wird dem TSAL Driver PCB mitgeteilt, ob die Accumulator Isolation Relais (AIR) im HV Akku geschlossen sind, wie der Precharge Status ist und ob ausserhalb der AIRs eine Spannung von mehr als 60 V sind.

Auf dem TSAL Driver PCB werden diese Signale, welche von den Invertern und vom HV Akku kommen, mit Hilfe von Logik Gattern (Abbildung 4.2) ausgewertet. Damit das TSAL grün leuchtet, müssen alle Signale high sein. Das bedeutet, dass weder in den Invertern noch nach den AIRs eine Spannung von mehr als 60 V anliegt und das sowohl beide AIRs offen sind, wie auch der Precharge Status nicht erreicht worden ist. Sobald nur eine dieser Bedingungen nicht mehr erfüllt ist, blinkt das TSAL rot. Zusätzlich zu den Implausibilitätskontrollen in den Invertern, werden auch auf dem TSAL Driver PCB noch Implausibilitätskontrollen gemacht. Dies bedeutet, wenn die Inverter vorne und hinten oder der Inverter vorne und der Akkuspannung nicht den gleichen Zustand haben, wird es auch implausibel. Falls eine Implausibilität auftritt wird die Stromversorgung für die beiden LED geöffnet und das TSAL leuchtet nicht mehr. Dieser Zustand wird Safe State genannt. Das komplette



4.4 Anpassung TSAL Driver

Da die neuen M10 Motoren für diese Saison erst im Verlaufe des Frühlings angekommen, sind wir im letzten Sommer und Herbst nur mit 2 Motoren gefahren. Da aber wie im Kapitel Systembeschreibung beschrieben das TSAL in den Safe Mode gehen würde, wenn nur ein Inverter im Auto ist, wurde dies im letzten Jahr angepasst. Da wir im Herbst immer mit Heckantrieb gefahren sind, wurde dies so angepasst, dass das Signal vom Inverter hinten an die beide Invertereingänge des TSAL Drivers gelegt (Abbildung 4.4).

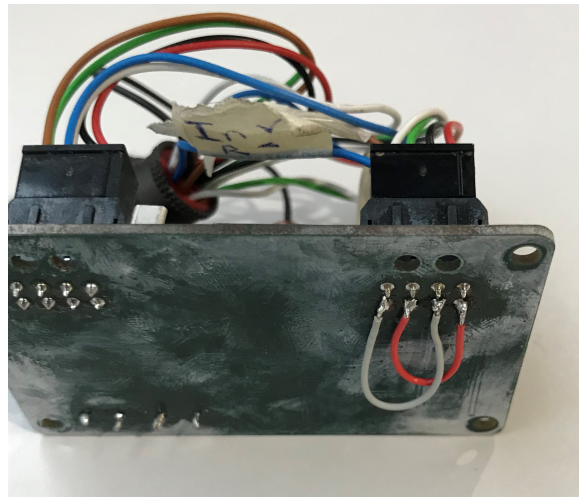


Abbildung 4.4: Überbrückung Inverter

Mit dem Einbau des zweiten Inverters und den zwei neuen Motoren, musste auch diese Überbrückung, die im letzten Jahr gemacht wurde, weggenommen werden.

4.5 Fazit

Der aktuelle Stand dieser beiden Systeme ist, dass beide funktionieren und es bei beiden dieses Jahr keine Probleme gab. Auch nach der Anpassung auf den Vierradantrieb hat das TSAL immer regelkonform funktioniert. Das Ziel in diesem Arbeitspaket ist es, beide Systeme gut zu kennen und so bei Defekten schnell reagieren zu können. Dieses Wissen konnte im Laufe der Saison erarbeitet werden. Vor allem das in Betrieb nehmen des neuen LV Supplys und durch Fehlersuche beim TSAL Driver PCB konnte das Wissen vertieft werden.

5 | HV Akku

5.1 Einleitung

Das Arbeitspaket HV Akku wurde im Gegensatz zu den anderen Arbeitspaketen erst im Winter übernommen und es wurde nicht schon seit letztem Sommer daran gearbeitet. Dieses Arbeitspaket besteht hauptsächlich aus drei verschiedenen Aufgaben:

- HV PCB
- Fan Supply PCB
- Accumulator Management System (AMS)

Beim HV PCB ging es in der ersten Phase darum, das Ersatz PCB in Betrieb zu nehmen. In der zweiten Phase des Projekts musste das HV PCB aufgrund der Rückmeldung beim Electrical System Form (ESF) angepasst werden und ein neues HV PCB gefertigt werden.

Das Fan Supply PCB dient zur Ansteuerung der vier Ventilatoren im HV Akku. Dafür wurde im Herbst ein neues PCB mit dem selben DC/DC Wandler entworfen, welcher auch auf dem LV Supply verwendet wird (Leone, 2020). Dieses PCB wird während dieser Bachelorthesis in Betrieb genommen.

Der letzte Teil dieses Arbeitspaketes ist das AMS. Dieses überwacht sowohl die die Temperaturen wie auch die Spannung aller Zellen im HV Akku und öffnet den SC, sobald die Temperaturen und Spannungen einen gewissen Wert überschreiten.

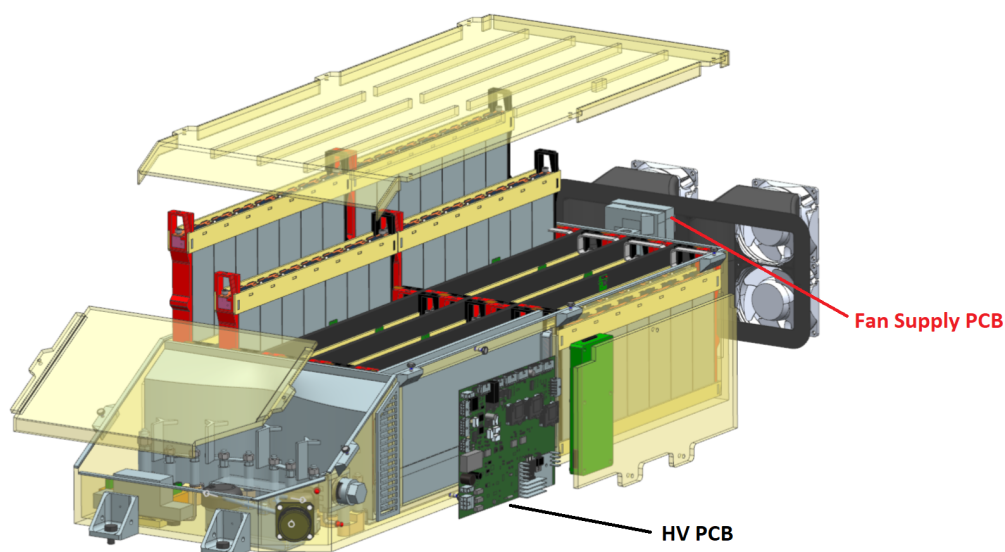


Abbildung 5.1: Platzierung HV PCB und Fans Supply PCB im HV Akku

5.2 HV PCB Inbetriebnahme

Das HV PCB ist in zwei Bereiche aufgeteilt, einen HV und einen LV Teil. Im HV Bereich sind hauptsächlich die Precharge Schaltung und das High Voltage Indicator Light (HVIL). Im LV Bereich befinden sich die Komponenten des Safety Circuits des Akkus. Diese sind das Insulation Monitoring Device (IMD), das ENRE, das AMS und die AIRs. In diesem Bereich befinden sich zusätzlich alle Sinfferschaltungen die es für das TSAL und die VCU braucht (Freimann, 2020).

Wie in der Einleitung erwähnt, war es die geplante Aufgabe in diesem Arbeitspaket, das Ersatz HV PCB in Betrieb zu nehmen. Dies wurde am Anfang des Semesters direkt angegangen. Das Ersatz HV PCB wurde bereits in der letzten Saison bestückt und es wurden bereits Messungen gemacht. Was noch fehlt sind die Messungen unter Spannung. Dazu wurden die Ausgänge zu den AMS Mastern gemessen. Dafür wurden die 5 V Spannungsversorgungen für die Master und die differenziellen Signale zu den Mastern gemessen (Abbildung 5.2).

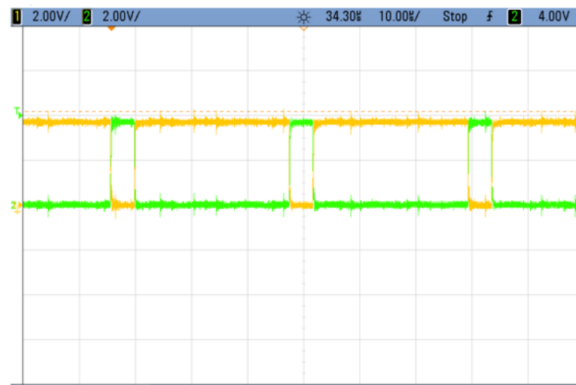


Abbildung 5.2: Messung der differenziellen Signale

Im nächsten Schritt, der Inbetriebnahme, wurde das HV PCB in den Akku eingesetzt und getestet, ob der SC geschlossen werden kann. Dort gab es zuerst ein Problem mit dem IMD. Das IMD-Relais auf dem HV PCB konnte nicht geschlossen werden und somit blieb auch der Safety Circuit immer offen. Nach der Fehlersuche in der IMD Schaltung (Abbildung 5.3) wurde der Grund dafür gefunden. Der Kondensator C713 war um den Faktor 1000 zu klein. Diese Kapazität wird gebraucht, um eine Verzögerung einzubauen. Diese Verzögerung braucht es, da das IMD 1-2 s braucht um aufzustarten und sich zu initialisieren. Nachdem dieser Kondensator ausgetauscht wurde, konnte sowohl das IMD, wie auch die anderen Relais des Safety Circuits geschlossen werden.

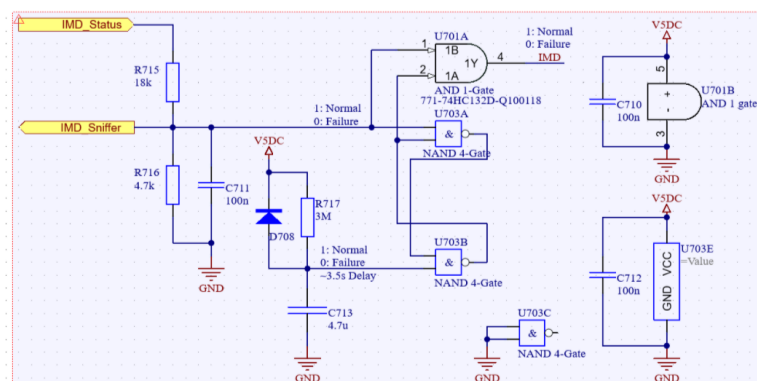


Abbildung 5.3: Schaltung zur Ansteuerung des IMD Relais

Um den HV Teil des HV PCBs in Betrieb zu nehmen, wurden die Messungen bereits von den Studenten im letzten Jahr gemacht. Der einzige Schritt der Inbetriebnahme der hier noch fehlte, war das HV PCB im Akku einzubauen und den Akku damit zu laden. Dies wurde anschliessend gemacht und es hat keine Probleme mehr gegeben. Somit war das HV PCB vollständig in Betrieb genommen. Anschliessend wurde es noch mit Isolationslack lackiert und dann war es bereit um eingesetzt zu werden.

5.3 Anpassung HV PCB

Um an den Wettkämpfen im Sommer teilzunehmen, muss zu den einzelnen elektrischen Systemen ein ESF abgegeben werden. Mit diesen wird geprüft, ob alle Systeme Ruleskonform funktionieren. Das ESF für das TSAL wurde nach der ersten Abgabe nicht bestanden. Der Grund dafür war, dass gemäss den Regeln ein einziger Fehler nicht zu Unrecht ein deaktiviertes TS anzeigen darf. Als Erklärung zu diesen Fehlern in unserem System wurde erwähnt, dass es bei den Detektion Schaltungen der AIRs und des Precharge Status eine Diode (Abbildung 5.4 die Diode D800) hat, die im Fehlerzustand das TSAL falsch anzeigen lässt. Des Weiteren wurde auch ein fehlerhaftes Verhalten entdeckt, wenn es ein Kabel beziehungsweise ein Leiterunterbruch in der AIR Detektionsschaltung gibt.

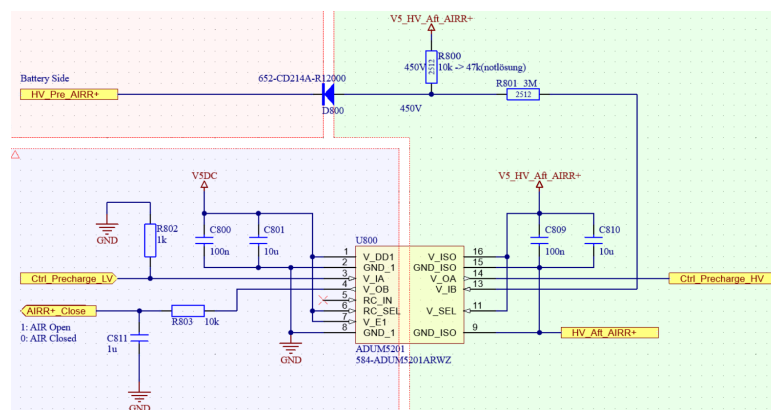


Abbildung 5.4: Detektionsschaltung, die angepasst werden muss

Da diese Anpassungen in einem korrigierten ESF innert sieben Tagen wieder abgegeben werden musste, wurden die nötigen Anpassungen mit Veteranen, die auch schon mit dieser Schaltung gearbeitet haben, besprochen. So sind die Änderungen entstanden, dass bei allen Detektionsschaltungen eine zweite Diode parallel zu der betroffenen Diode geschaltet wird. Zusätzlich wurde die Wire Check Schaltung, welche überprüft, ob es ein Leitungsunterbruch gibt, ausgebaut. Neu wird mit dieser Schaltung geprüft, ob es bei der AIR Detektion vor oder nach dem AIR ein Leitungsunterbruch gibt. So kann es bei nur einem Fehler, nicht anzeigen, dass das Tractive System aus ist, obwohl es aktiv ist. Diese Anpassungen wurden innerhalb der Zeitfrist wieder eingereicht. Es gibt noch keine Rückmeldung, ob dieses System das ESF bestanden hat. Das angepasste PCB ist mittlerweile gefertigt. Es muss noch bestückt und in Betrieb genommen werden. Das ganze Schema zum HV PCB befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

5.4 Fan Supply PCB

In diesem Teil des HV Akku Arbeitspaketes geht es um die Ansteuerung der Kühlung des HV Akkus. Der HV Akku wird mit vier Ventilatoren gekühlt, welche sich auf der Hinterseite des HV Akkus befinden. Diese Ventilatoren werden mit 12 V versorgt. Diese Versorgung wird mit dem Fan Supply PCB sichergestellt. Das Fan Supply PCB wird mit zwei 24 V Anschlüssen vom LV Supply gespeist und erhält vom LV Supply PCB zusätzlich ein Pulsweitenmodulation (PWM) Signal. Auf dem Fan Supply PCB befinden sich zwei identische DC/DC Wandler, welche die 24 V auf 12 V transformieren. Dies sind die gleichen DC/DC Wandler, welche auch auf dem LV Supply PCB verwendet werden und dafür auch getestet wurden (siehe Test PCB in Kapitel LV Supply).

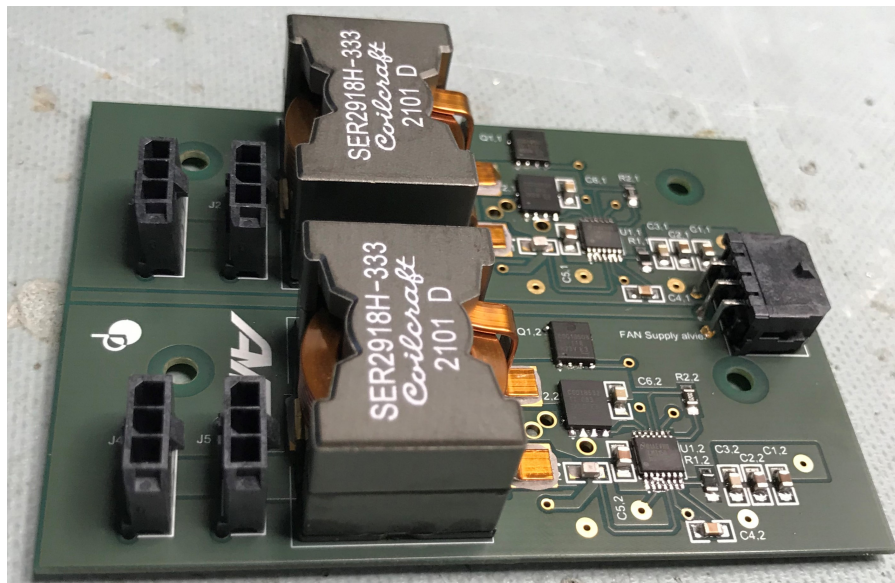


Abbildung 5.5: Fan Supply PCB

Das Erstellen des Schemas war bereits fertiggestellt, als ich dieses Arbeitspaket im Winter übernommen habe. Auch das Layout war grössten Teils gemacht, es wurden nur kleine Anpassungen nach dem PCB Review mit den Veteranen und nach dem Fertigen des Test PCBs gemacht. Nachdem die Messungen am Test PCB gemacht worden sind, wurde auch dieses PCB in die Fertigung geschickt. Anschliessend wurde das PCB an der Hochschule in Luzern mit der Bestückungsmaschine gemacht. Die Inbetriebnahme des PCBs wurde bereits gemacht. Dies beinhaltete sowohl Kurzschlussmessungen wie auch Messungen der verschiedenen Spannungen, die gleich wie beim Test PCB durchgeführt wurden. Das PCB wurde bereits mit den Ventilatoren getestet und es hat funktioniert. Das Problem des thermischen Defekts des MOSFETS trat nicht mehr auf. Das einzige was noch aussteht sind die Tests im Fahrzeug. Diese werden gemacht, sobald das neue LV Supply eingebaut ist.

5.5 Accumulator Management System (AMS)

Das AMS ist das System, welches den Zustand des Akkumulators überwacht. Es überwacht von allen Zellen sowohl die Temperatur wie auch die Spannung. Dieses System wird im AMZ seit einigen Jahren mit einer optischen Verbindung mittels Master-Slave Technologie gemacht. Dieses System wurde beim aktuellen HV Akku bereits im letzten Jahr implementiert und getestet und läuft seither fehlerfrei. Die Aufgabe in diesem Arbeitspaket bestand darin, zusätzliche Slave PCBs und die dazugehörigen Komponenten zu bestellen. Von diesen Slave PCBs sind 133 im Auto eingebaut. Aktuell hat es noch rund 30 Ersatz Slave PCBs, welche schon bestückt sind. Zusätzlich wurden bei Optiprint noch fünf Platinen, welche jeweils 18 Slave PCBs enthalten, in Auftrag gegeben. Diese und auch die Komponenten sind schon eingetroffen.

5.6 Fazit

Mit dem AMS und dem Fan Supply PCB sind zwei Bereiche dieses Arbeitspaketes abgeschlossen. Die Inbetriebnahme des ursprünglichen HV PCB ist ebenfalls abgeschlossen. Das neue HV PCB, welches eigentlich nicht eingeplant war, muss noch bestückt und in Betrieb genommen werden. Obwohl dieses Arbeitspaket erst im Winter übernommen wurde, konnte insbesondere über das HV PCB, durch die Inbetriebnahme und die Anpassungen am Schema viel neues Wissen angeschafft werden. Dies kann an den Wettkämpfen sowohl bei der elektrischen Abnahme, wie auch im Falle eines Defekts geht und bei der Design Disziplin ein Vorteil werden.

6 | EMV und Grounding

6.1 Einleitung

In den Arbeitspaketen EMV und Grounding geht es um die Umsetzung der Konzepte, welche im Herbst definiert wurden. Diese basieren in beiden Paketen auf den Konzepten der letzten Saison, da dieses Jahr am Rennwagen der letzten Saison weitergearbeitet wurde und die Konzepte zum grössten Teil schon implementiert sind.

6.2 EMV

Das grundlegende EMV Konzept wurde von der letzten Saison übernommen, da sowohl der gesamte Kabelbaum wie auch Sensoren und PCBs schon im Fahrzeug verbaut waren. Dieses Konzept besteht darin, dass überall geschirmte und verdrehte Signalkabel verwendet werden und dass alle PCB Boxen eine grossflächige Schirmanbindung haben und Kontakt zu Kupfermesh haben (Freimann, 2019).

Des Weiteren sind wichtige Verbindungen an kritischen Stellen mit optischer Verbindung umgesetzt worden. Dies wurde beim AMS im HV Akku und bei der Verbindung von den Invertern zu den Splashguard PCBs umgesetzt. Zwischen den Invertern und den Splashguard PCBs wurde eine Polymeric optical fiber (POF) Verbindung gemacht, über welche die Resolverposition, Temperaturwerte und Beschleunigungswerte zum Inverter gesendet werden.

Zusätzlich wurden bei den Layouts der PCBs einige Punkte zur Verbesserung der elektromagnetischen Verträglichkeit umgesetzt. Diese sind:

- Aufteilung der Komponenten in Zonen
- Aufgespannte Fläche durch Leiterbahnen minimieren
- Verwendung von Filtern nach der Spannungsversorgung
- Verwendung von Groundplane, welche nicht von Leiterbahnen durchschnitten ist

Diese Punkte konnten bereits bei einigen neu designten PCBs, wie zum Beispiel dem LV Supply PCB umgesetzt werden.

6.3 Grounding

Wie beim EMV Konzept wurde auch das Grounding auf dem Konzept der letzten Saison weitergeführt. Dieses Konzept besteht darin, dass das Grounding in Sterntopologie aufgebaut ist. Als Sternpunkt dazu dient der Main Roll Hoop (MRH). Um den Widerstand zwischen dem Grounding Messpunkt und den einzelnen Verbrauchern so klein wie möglich zu halten, wurde darauf geachtet, dass die Leiterlängen so klein wie möglich sind (Freimann, 2019). Die Implementation des Groundings wurde gemäss Abbildung 6.1 gemacht.

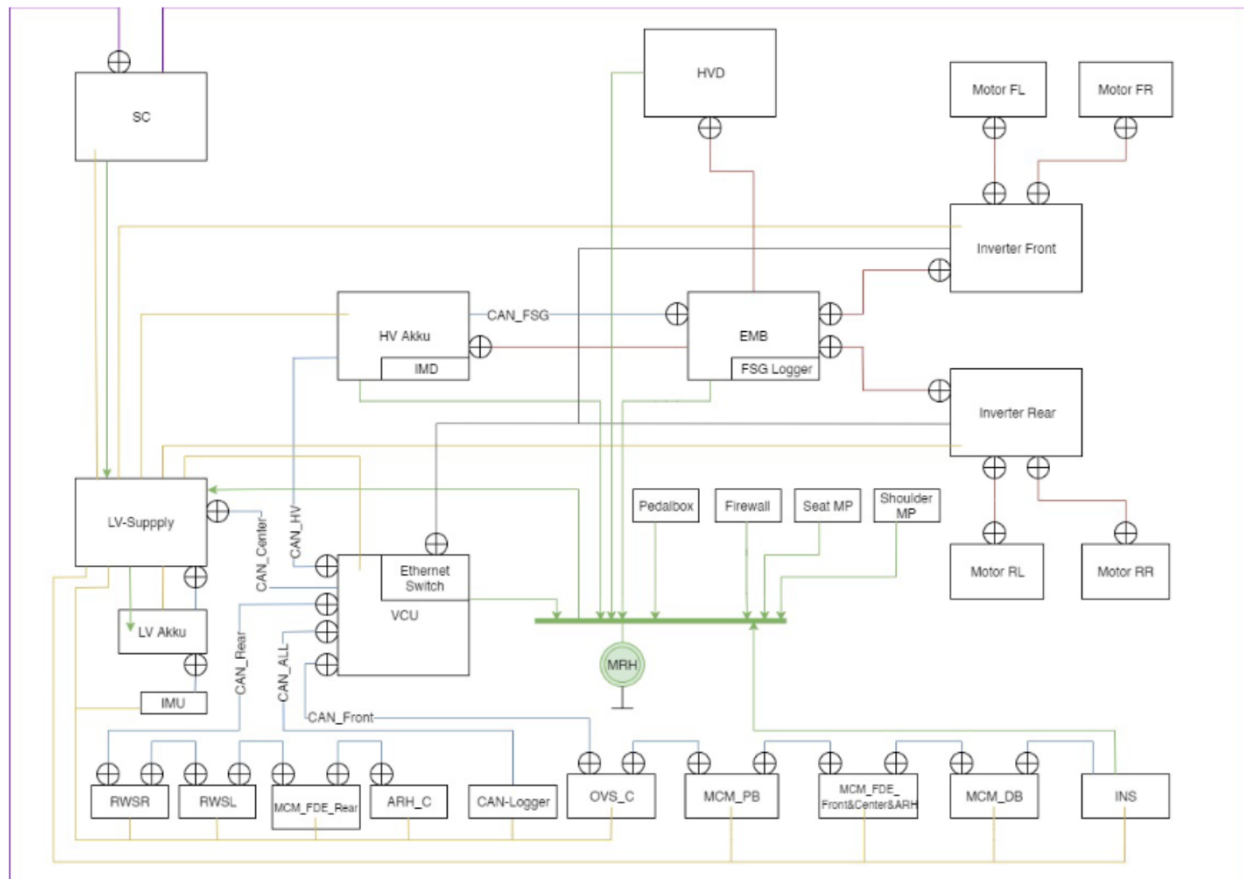


Abbildung 6.1: Grounding Schema (Freimann, 2019).

Bei der Implementation des Groundings ist es wichtig, dass es keine Groundloops gibt. Die Gefahr dafür besteht besonders bei den Radträgern und Motoren. Die Motoren werden über die Inverter ge-groundet. Damit es keine Groundloops gibt, wurden die Brackets an denen die Radträger befestigt sind, mit Nomex Papier vom Chassis isoliert. Die Schrauben, die durch diese Brackets gehen, werden mit Kapton Tape isoliert. So werden die Radträger über die Motoren ge-groundet und es gibt keine Groundloops. Um dies zu überprüfen wurde der Widerstand mit einem Messstrom von 1 A gemessen. Die Radträger wurden einmal gemessen, wenn das Motorenkabel vom Inverter eingesteckt war und einmal wenn es ausgesteckt war. Das Ergebnis war, dass bei eingestecktem Kabel ein Widerstand von weniger als 300 mOhm zum Groundingpunkt gemessen wurde. Bei ausgestecktem Kabel war der Widerstand zu hoch, um ihn zu messen. Das bedeutet, dass es dort keine Groundloops gibt.

Im Laufe des Testsaison wurden die Widerstände in regelmässigen Abständen immer wieder kontrolliert und verbessert, falls ein Widerstand höher als 300 mOhm war. Auch bei der ersten elektrischen

Abnahme, welche Ende Mai mit einem Veteranen gemacht wurde, war das Grounding komplett Ruleskonform.

6.4 Fazit

Das EMV Konzept war zum grossen Teil schon seit Beginn der Saison umgesetzt. Doch bei den Layouts für die neuen PCB gab es doch noch einige Punkte, die gut umgesetzt werden konnten. Diese Punkte könnten auch in zukünftigen Jahren beim Layouten von neuen PCB beachtet werden. Generell gibt es Stand jetzt keine bekannten EMV Probleme beim Kabelbaum und wichtigen Signalkabeln, ausser bei den Invertern. Dort ist das Problem hauptsächlich bei der Strommessung. Dort wird jetzt versucht mit zusätzlichen Filtern, Ausgangskapazitäten, besserer Groundanbindung und Schirmung der Sensoren die Störungen weg zu bekommen.

Das Grounding ist Stand jetzt Ruleskonform. Es wird weiterhin mit regelmässigen Messungen überprüft und insbesondere vor den Events nochmals nachgemessen und gegeben falls verbessert.

7 | Design

7.1 Einleitung

Ab März wurden für die verschiedenen statischen Disziplinen, welche Teil der Wettkämpfe sind, Gruppen gebildet. Diese Gruppen sind sowohl für die Abgaben der Dokumente wie auch für alles Organisatorische zur Vorbereitung des Teams zuständig. In diesem Kapitel wird auf die Aufgaben in der Design Disziplin eingegangen. Folgende Aufgaben wurden im Rahmen dieser Bachelorthesis für die Design Disziplin gemacht:

- Organisation Modul- und Systempräsentationen
- Organisation Fahrdynamik Fragestunden
- Magazin Uploads
- Erstellung Design Unterlagen

Neben diesen Bereichen im Arbeitspaket Design findet wöchentlich eine Designsitzung statt, in der der aktuelle Stand sowie das weitere Vorgehen besprochen wird. Zusätzlich finden alle zwei Wochen Design Mocks statt. Diese sind gleich aufgebaut wie die Designpräsentationen an den Wettkämpfen und dienen als Vorbereitung für diese. Das ganze Team nimmt jeweils daran teil. Als Juroren dafür dienen Veteranen, welche Wettkampferfahrung haben und somit auch schon an Designpräsentationen teilgenommen haben.

7.2 Organisation Modul- und Systempräsentationen

Da die Designpräsentation an den Wettkämpfen neben einer kurzen Präsentation hauptsächlich aus Fragen der Juroren bestehen, ist es wichtig, dass alle im Team ein Grundwissen von allen Modulen und Systemen sowie von Designentscheiden haben. Aus diesem Grund wurden Modul- und Systempräsentation organisiert. Diese fanden ab März acht Mal wöchentlich statt. Dafür haben die Module jeweils all ihre Systeme und Konzepte vorgestellt und ihre Designentscheide begründet. Diese Präsentationen wurde gefolgt von Fragerunden.

7.3 Organisation Fahrdynamik Fragestunden

Ebenfalls als Vorbereitung für die Design Präsentationen wurden Fragerunden zu Fahrdynamik organisiert. Als Grundlage dafür dienen drei Filme von Präsentationen zu den Themen Fahrdynamik und Reifenmodell. Diese wurden von einem Veteranen aufgenommen und dauern jeweils etwas mehr als

eine Stunde. Nachdem alle im Team einen der drei Teile angeschaut haben, wurde jeweils eine Fragestunde organisiert, an der die Präsentation zusammen besprochen wurde und Fragen beantwortet wurden.

7.4 Magazin Uploads

Für die Wettkämpfe Formula Student Netherlands (FSN), Formula Student Austria (FSA) und FSG gibt es jeweils ein Wettkampf Magazin, in welchem alle Teams präsentiert werden. Dafür mussten jeweils Magazin Uploads erstellt werden. Diese haben unterschiedliche Vorlagen, sind inhaltlich aber ähnlich. Sie beinhalten jeweils einen Text mit der Vorstellung des Teams und des neusten Rennwagens, CAD Bilder des Rennwagens und die neusten beziehungsweise besten Eigenschaften und Fakten zum aktuellen Rennwagen. Die Magazin Uploads für FSN und FSG wurden schon abgegeben. Der Upload für FSA muss bis zum 23. Juni abgegeben werden. Ein erster Entwurf dafür wurde aber auch schon gemacht.

7.5 Erstellung Design Unterlagen

Um bei den Fragerunden besser auf die Fragen eingehen zu können, wurden Design Unterlagen erstellt. Mit diesen können Systeme mithilfe von Bildern und Graphen besser erklärt werden. Dafür wurde zu den Arbeitspaketen LV Akku, LV Supply, TSAL, EMV, Grounding und HV Akku Unterlagen erstellt. Diese wurden nach den Feedbacks der Mocks jeweils ergänzt und mit Unterlagen zu Fragen, die nicht beantwortet werden können, erweitert. Diese Unterlagen können sowohl Online wie auch bei einem Live Wettkampf vor Ort verwendet werden, abhängig davon wo der Designpart stattfindet.

7.6 Fazit

Die Aufgaben in diesem Arbeitspaket sind zum grössten Teil beendet. Der Magazin Upload für FSA wird noch hochgeladen und die Design Unterlagen sind zwar alle erstellt, werden aber weiter auf dem Laufenden gehalten und mit den Inputs und dem Feedback aus den drei weiteren Design Mocks, welche bis zum ersten Wettkampf noch statt finden, ergänzt. Durch die Modul- und Systempräsentationen sollte das ganze Team ein breites Grundwissen über das ganze Fahrzeug haben. Diese wurden aufgenommen und können von allen Teammitgliedern vor den Wettkämpfen nochmals nachgeschaut werden. Durch diese Präsentationen und Fragestunden und vor allem durch die Design Mocks sollte das ganze Team gut vorbereitet sein, um den Designteil der Wettkämpfe erfolgreich abzuschliessen.

8 | Zusätzliche Arbeiten

Neben den in dieser Arbeit besprochenen Arbeitspaketen, gab es noch zusätzliche Arbeiten, die gemacht werden. Der Grund dafür war, dass es entweder für das Gesamtprojekt besser war, mehr Manpower in eine Arbeit zu investieren, wie es zum Beispiel bei den Arbeiten am Inverter war. Ein anderer Grund war, dass es wie zum Beispiel beim Testen, jemand aus dem Modul Elektronik brauchte.

Die zusätzlichen Arbeiten, die in diesem Kapitel thematisiert werden, sind:

- Bestücken Inverter PCBs
- Weitere Arbeiten am Inverter
- Testen
- Ordner für Elektrische Abnahme

8.1 Bestücken Inverter PCBs

Am Anfang der Saison gab es zwei Inverter. Da aber zwei Inverter im Fahrzeug nötig sind, um mit Vierradantrieb zu fahren, gab es keinen Ersatzumrichter. Dieser ist jedoch nötig, da man sonst nur mit Zweiradantrieb fahren kann, falls einer kaputt geht. Aus diesem Grund wurden im Herbst Ersatz PCBs für den dritten Inverter gefertigt und die Komponenten bestellt. Da es nur eine Person im Inverter Modul gibt, welcher mit anderen Anpassungen der Soft- und Hardware der Inverter schon beschäftigt war, wurde für das Bestücken der Inverter PCBs Hilfe benötigt. Aus diesem Grund wurden Anfang Februar fünf Tage in Luzern die HV PCBs, LV PCBs Gate Driver PCBs und Splashguard PCBs bestückt.

8.2 Weitere Arbeiten am Inverter

Nach dem Bestücken der PCBs für den dritten Inverter, wurde wegen der fehlenden Manpower im Inverter Modul noch bei weiteren Arbeiten ausgeholfen. Dies ist unter anderem das Inbetriebnehmen des Splashguard PCBs. Dafür wurde vorgängig bei der Inbetriebnahme der Splashguard PCBs, welche schon am Fahrzeug sind, die Soll Widerstands- und Spannungswerte aufgeschrieben. Somit konnten beim neuen PCB die Werte gemessen werden und so die Fehlersuche eingegrenzt werden, falls ein Wert nicht stimmt.

Zusätzlich wurde auch zweimal bei kaputten Invertern bei der Fehlersuche ausgeholfen. Einmal gab es ein Problem beim Precharge Circuit und einmal gab es ein Fehler beim TSAL, welcher aber vom Inverter aus kam. Beim Fehler im Precharge Circuit wurde nach der Fehlersuche ein Kurzschluss gefunden. Dieser hatte die Ursache, dass zum Abdichten des Halbleitermoduls Silikon verwendet wurde, welcher nicht isolierend ist. Beim Fehler im TSAL wurde entdeckt, dass das TSAL immer korrekt grün

leuchtet, wenn TS inaktiv ist, aber dass das TSAL immer in den Safe State geht, wenn TS aktiv ist. Dies bedeutet, dass es eine Implausibilität im System gibt. Um die Ursache herauszufinden, wurden die Eingänge des TSAL Driver PCBs gemessen. Es hat sich herausgestellt, dass der Inverter ein 0 V Signal gibt, wenn das TS aktiv ist. Dies bedeutet dass es eine Implausibilität gibt. Zur Fehlersuche im Inverter wurde zuerst die Schaltung auf dem LV PCB getestet. Diese hat jedoch wie gewünscht funktioniert, als auf die Eingänge die Spannungen für TS darauf gegeben wurden. Aus diesem Grund wurde den Signalen gefolgt und auf dem Gate Driver PCB nach dem Fehler gesucht. Dort wurde schnell klar, dass ein Komparator kaputt war. Nach dem Austauschen dieses Komparators hat die Schaltung und das TSAL wieder funktioniert.

8.3 Testen

Ein Weitere Aufgabe während dieser Saison war das Testen. Seit Anfang Frühling wurde täglich getestet, falls das Fahrzeug fahrfähig war und keine wichtigen Reparaturen notwendig waren. Für das Testen musste jeweils ein Electrical System Officer (ESO) anwesend sein. Aus diesem Grund machten alle Teammitglieder des Moduls Elektronik eine erweiterte HV Schulung. Diese war zudem auch notwendig, um am HV Akku zu arbeiten.

8.4 Ordner für elektrische Abnahme

Als Vorbereitung für die elektrische Abnahme an den Wettkämpfen, wurde eine elektrische Abnahme mit einem Veteranen organisiert. Dieser gab den Rat, einen Ordner für die elektrische Abnahme zu machen. Während dieser Abnahme mit dem Veteranen, wurde eine Liste mit den Dokumenten, Datenblättern und Schemas erstellt, die zwingend in diesem Ordner sein sollten. Das Ziel dieses Ordners ist es, problemlos und innerhalb des Zeitfensters durch das Scrutineering zu kommen. Das ist dieses Jahr noch wichtiger, da vor allem bei FSN nur eine Person an der Abnahme teilnehmen kann.

9 | Schlusssdiskussion

9.1 Rückblick

Nach dem Ende des Industrieprojektes ging es direkt weiter mit dem Projekt. Durch den Ausstieg eines Teammitgliedes des Elektronik Moduls, kamen mit dem HV PCB, dem AMS und dem Fan Supply PCB drei neue Arbeitspakete zu dieser Projektarbeit. Dementsprechend wurde in den ersten Wochen viel Zeit investiert, um in diesen Arbeitspaketen auf dem aktuellen Stand zu sein. Parallel dazu, bereitete sich das ganze Team intensiv auf die Rules Quiz vor. Dort konnte mit der Qualifikation für FSN, FSA und FS East ein erstes Erfolgserlebnis gefeiert werden. Dies war auch wichtig, da dieses Jahr aufgrund der Covid-19 Situation die Startplätze Stark minimiert sind. In den nächsten Wochen wurde viel an den verschiedenen Arbeitspaketen gearbeitet, es wurde aber auch viel Zeit investiert, um beim Inverter Modul auszuhelfen. Dies hatte eine Zeit lang eine höhere Priorität, da ohne funktionierenden Inverter nicht getestet werden konnte.

Mit Beginn der Testsaison stieg die Vorfreude auf die Wettkämpfe im Sommer nochmals an. Als das Fahren mit Allradantrieb nach langer Zeit mit Problemen funktioniert hat, war die Freude im Team dementsprechend gross. Mit dem Abschluss dieser Bachelorthesis rücken die ersten Wettkämpfe immer näher. Die nächsten Wochen wird noch intensiv gearbeitet, um bei den Wettkämpfen im Sommer das Maximum herauszuholen.

9.2 Fachliches Fazit

Das Arbeitspaket TSAL/Lichter ist mittlerweile vollständig beendet. Diese Systeme funktionieren und während dieses Semesters konnte auch ein vertieftes Wissen über die Funktion dieser Systeme angeschafft werden. Beim LV Akku wie auch beim LV Supply PCB ist die Inbetriebnahme noch nicht ganz abgeschlossen. Bei beiden Arbeitspakete gibt es noch Schritte, die getestet werden müssen. Trotzdem sind beide im Zeitplan, um für den ersten Wettkampf fertig getestet und im Fahrzeug eingebaut zu sein. Beim Arbeitspaket HV Akku muss sicher noch eine Zeit und mehr Manpower für das angepasste HV PCB investiert werden. Hier war das Problem, das erst im Mai die Meldung von FSG kam, dass dieses System nicht vollständig Ruleskonform ist. Die anderen Arbeiten im Arbeitspaket HV Akku sind weitestgehend abgeschlossen. Auch das Arbeitspaket EMV und Grounding ist beendet, wobei das Grounding vor den Events nochmals vollständig durchgemessen wird. In den nächsten Wochen wird zusätzlich noch Zeit investiert, um gut für das Designevent vorbereitet zu sein und um den Ordner für die elektrische Abnahme zu beenden.

9.3 Schlusswort

Die Bachelor-Thesis im Formula Student war eine sehr intensive und lehrreiche Zeit. Innerhalb eines Jahres konnte sehr viel neues Wissen angeschafft werden. Es konnte nicht nur das Wissen über Elektronik und die eigenen Arbeitspakete vertieft werden, sondern auch viel interdisziplinäres Wissen über die anderen Module und Rennsport im Allgemeinen erlernt werden.

Ein grosser Dank geht an die Dozenten, für die wöchentlichen Inputs zum Stand unserer Arbeitspakete, an die Veteranen, die an den Präsentationen und auf Updatemails gute Inputs gegeben haben und an die Teamleitung und Modulleitung, die immer wieder schnell auf Fragen geantwortet haben.

Abbildungsverzeichnis

Titelbild	1
II.I Punkteverteilung Formula Student nach FSG Regelwerk	vi
II.II Skipad Strecke	vii
II.III Organigramm Module <i>alvier</i>	viii
II.IV Organigramm Modul Electronics	ix
2.1 Aktueller LV Akku (Julen, 2020)	3
2.2 Platzierung neuer Akku Zellen (links) und Aufbau neuer Akku (rechts)	4
2.3 Schweissen der zweier Pakete (links) und Anschweissen dieser Pakete (rechts)	5
2.4 Code Ausschnitt Software LV Akku	6
2.5 6S8P Akku in neuer Akkubox	7
3.1 Zonenkonzept für LV Supply	8
3.2 Layout LV Supply von oben	9
3.3 Test PCB DC/DC Wandler	10
3.4 Test Ausgangsspannung DC/DC Wandler	10
3.5 Bestückung des LV Supply	11
3.6 Code Ausschnitte der Anpassungen	12
4.1 System Übersicht TSAL	13
4.2 Schema TSAL Driver	14
4.3 Schema Bremslichter	14
4.4 Überbrückung Inverter	15
5.1 Platzierung HV PCB und Fans Supply PCB im HV Akku	16
5.2 Messung der differentiellen Signale	17
5.3 Schaltung zur Ansteuerung des IMD Relais	17
5.4 Detektionsschaltung, die angepasst werden muss	18
5.5 Fan Supply PCB	19
6.1 Grounding Schema (Freimann, 2019).	22

Literatur- und Quellenverzeichnis

9.4 Quellen

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Elektrotechnik Studenten. (2016). *Industrieprojekt, formula student electric* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Hochschule Luzern.
- Elektrotechnik Studenten. (2018). *Industrieprojekt, formula student electric* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Hochschule Luzern.
- Emmenegger, S. (2015). *Industrieprojekt, formula student electric* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Hochschule Luzern.
- Erich Styger, Rolf Mettler. (2021). *Bachelorarbeit, formula student electric* (Bericht). Hochschule Luzern.
- Formula Student Germany. (2020, September). *Formula student rules 2020 v1*. Zugriff am 01.10.2019 auf https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2020/rules/FS-Rules_2020_V1.0.pdf
- Freimann, J. (2019). *Industrieprojekt, formula student electric* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Hochschule Luzern.
- Freimann, J. (2020). *Bachelorarbeit, formula student electric* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Hochschule Luzern.
- Julen, S. (2020). *Bda, formula student electric* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Hochschule Luzern.
- Leone, R. (2020). *Industrieprojekt, formula student electric* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Hochschule Luzern.
- Minnig, F. (2020). *Industrieprojekt, formula student electric* (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Hochschule Luzern.

A | Anhang

1.1 Anhang 1

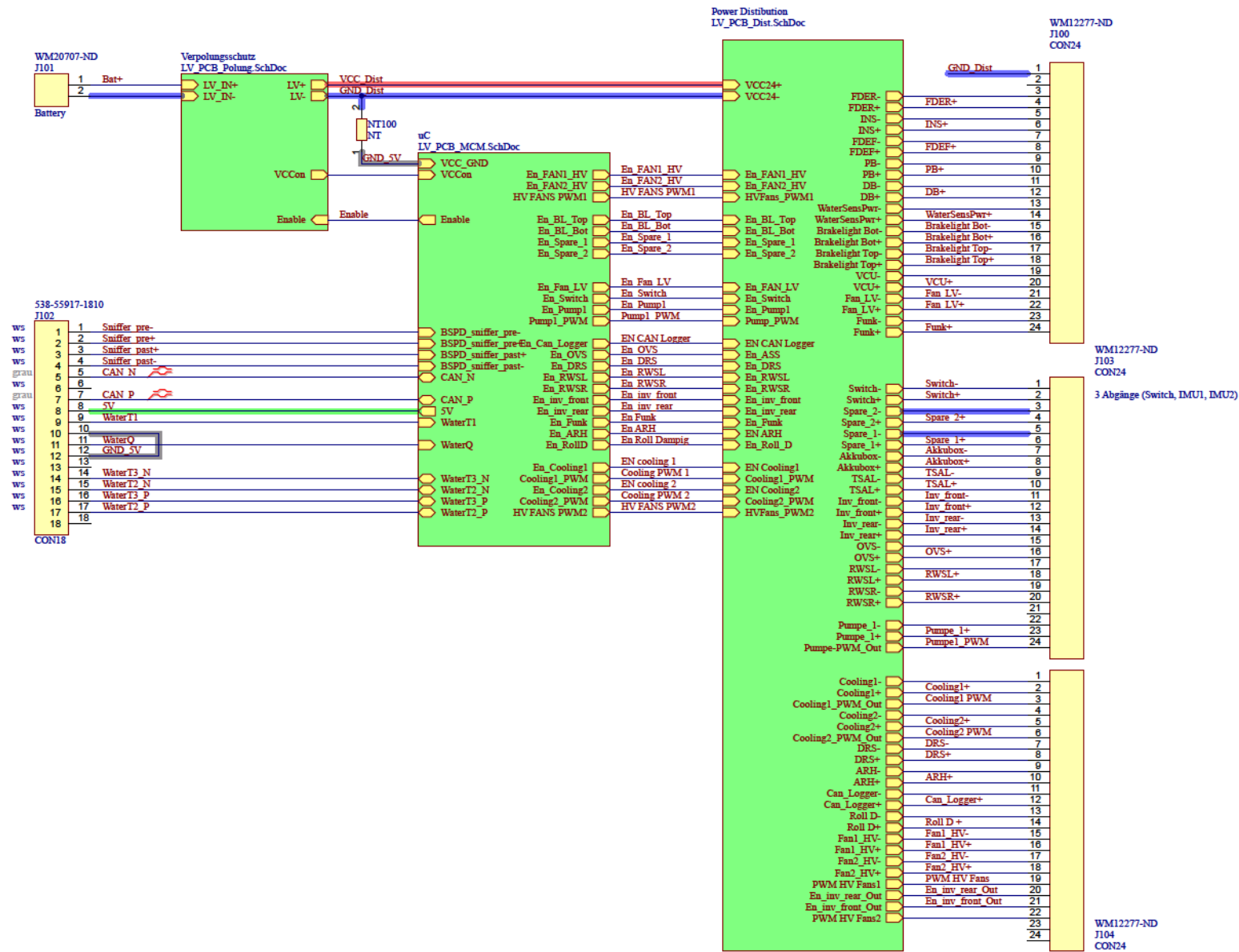
1.2 SD-Speicherkarte

Der komplette Anhang, inklusive Berechnungen, Datenblätter und weiterführender Dokumentation ist auf der angefügten SD-Speicherkarte zu finden.

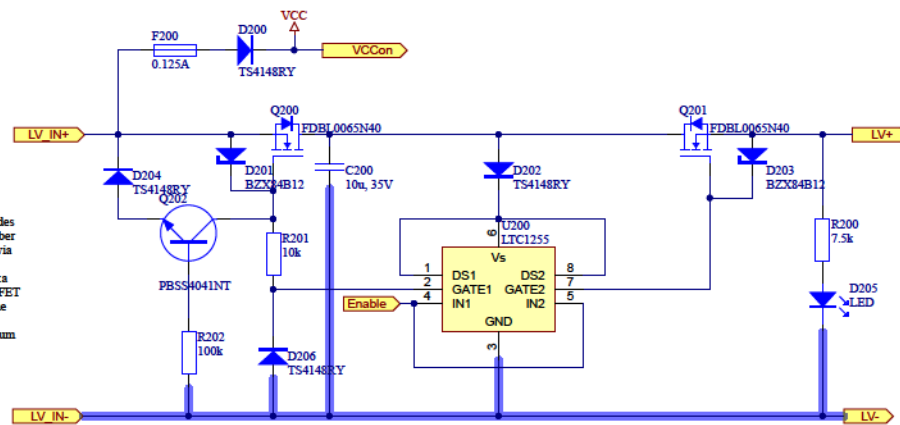


Anhang auf SD-Speicherkarte

1.3 Schema LV Supply



Verpolungsschutz: Bei falschem Anschliessen des LV Akkus wird dieser über den Bipolar Transistor via D204, 10k und D201 entladen. Dabei fliesst ca $25V/10k = 2.5mA$. Der FET im LV_IN+ Pfad hat eine UGS von ca 1.2V, dies reicht bei weitem nicht um leitend zu werden.



Reverse Polarity Protection

Project: LV-Supply Alvier

Size: A3 Rev.: 1.0

Drawn by: Florian Minnig

Sheet 2 of 15

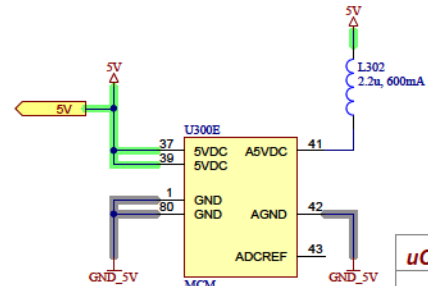
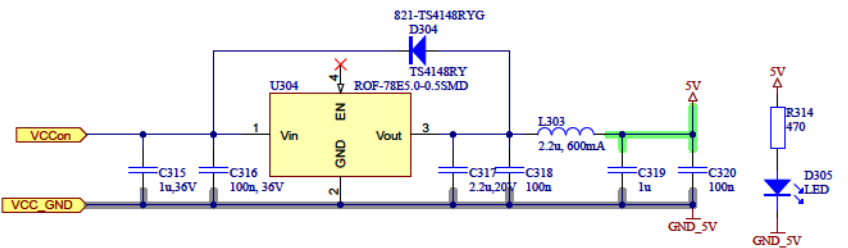
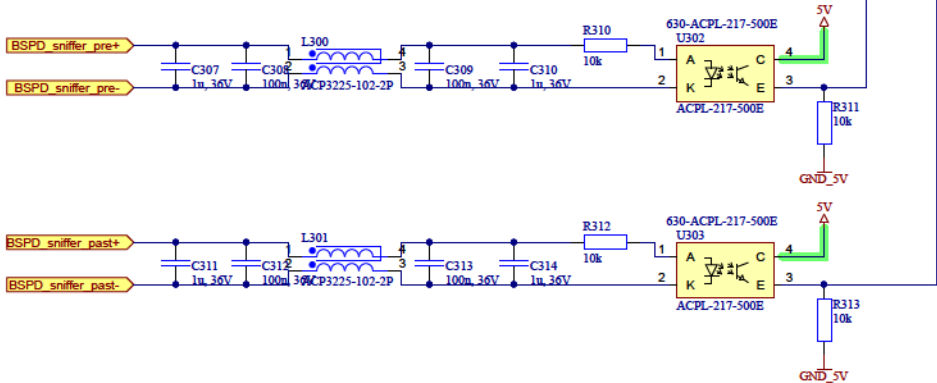
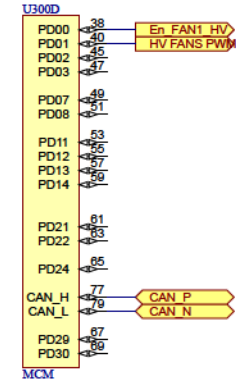
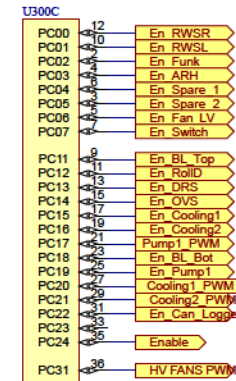
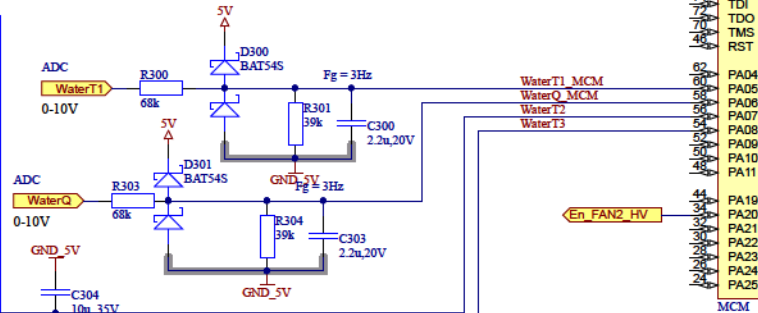
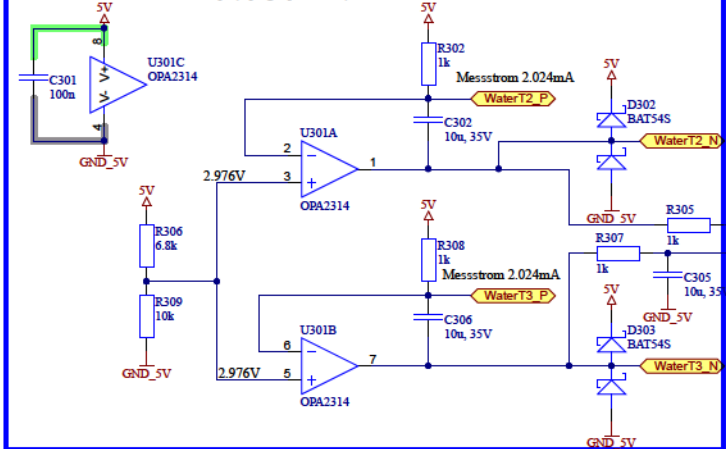
Date: 05.12.2020

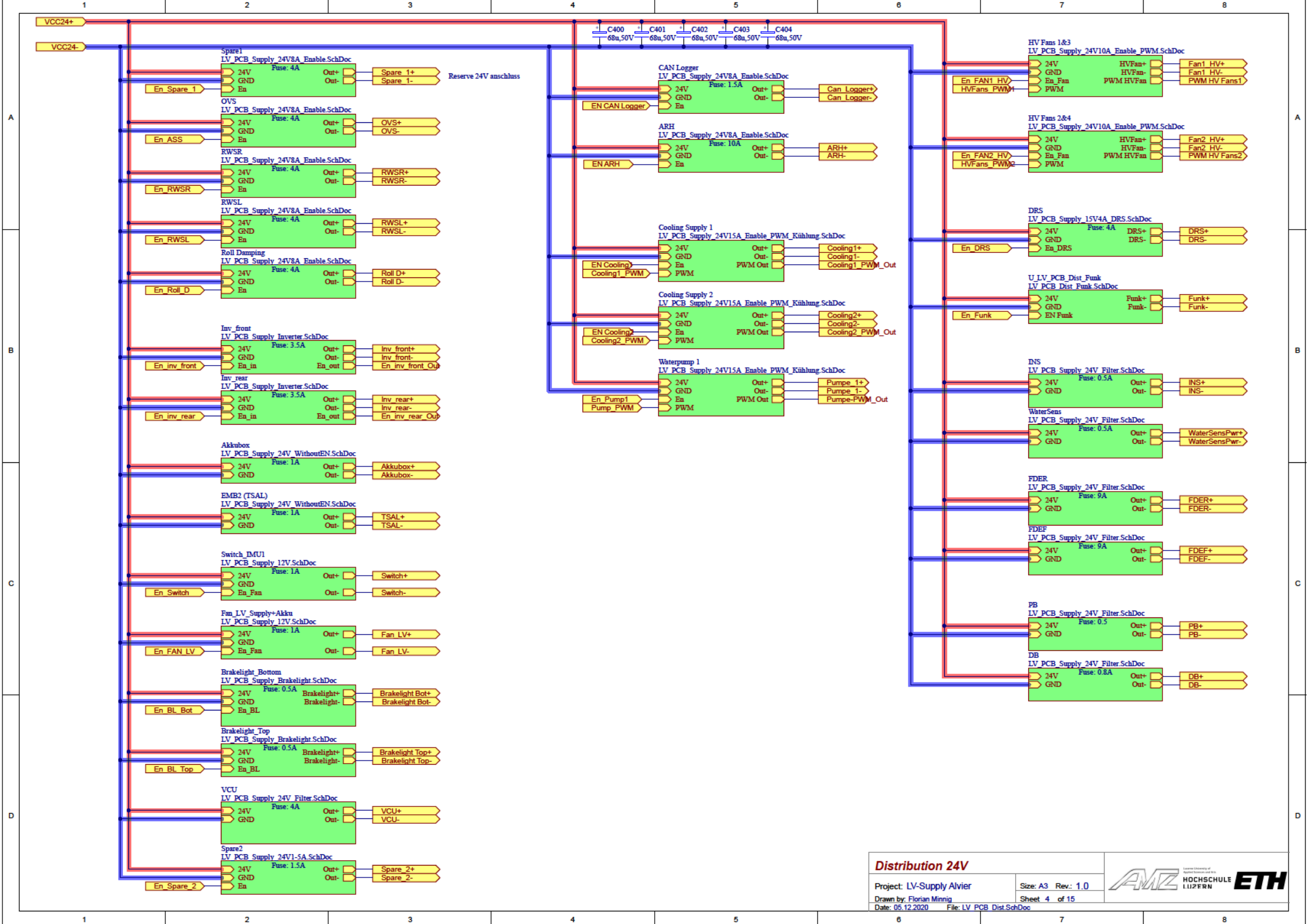
File: LV_PCB_Polung.SchDoc

Temperaturmessung

$$U_{out} = 2.976 [V] - 0.002024[A] * 1000 [Ohm] * (1 + 3.85 * 10^{-3}) * T - 5.775 * 10^{-7} * T^2$$

$$T = 38.237 * \text{sptt}(X[\text{Digits}]) + 7042.39 + 3333.33$$





Distribution 24V

Project: LV-Supply Alvier

Drawn by: Florian Minnig

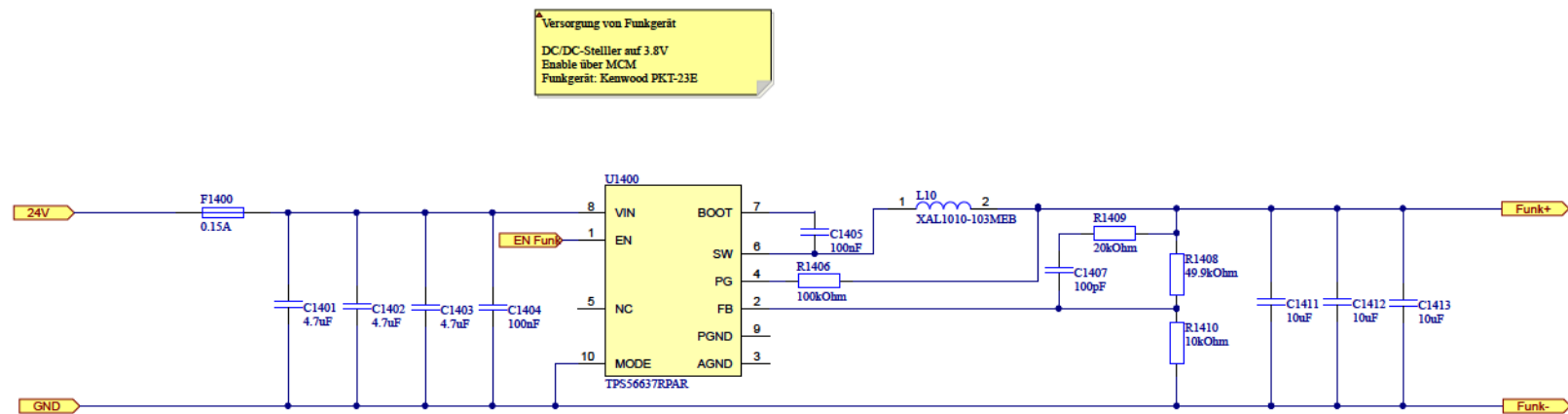
Date: 05.12.2020

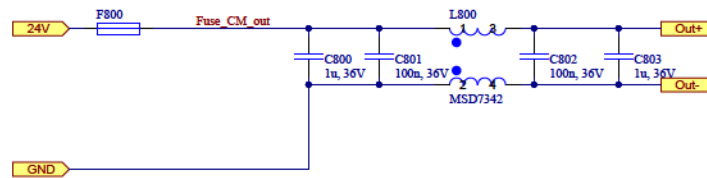
Size: A3 Rev.: 1.0

Sheet 4 of 15

File: LV_PCB_Dist_SchDoc







Common Mode Filter

Project: LV-Supply Alvier

Size: A3 Rev.: 1.0

Drawn by: Florian Minnig

Sheet 6 of 15

Date: 05.12.2020

File: LV_PCB_Supply_24V_WithoutEN_SchDoc



A

B

C

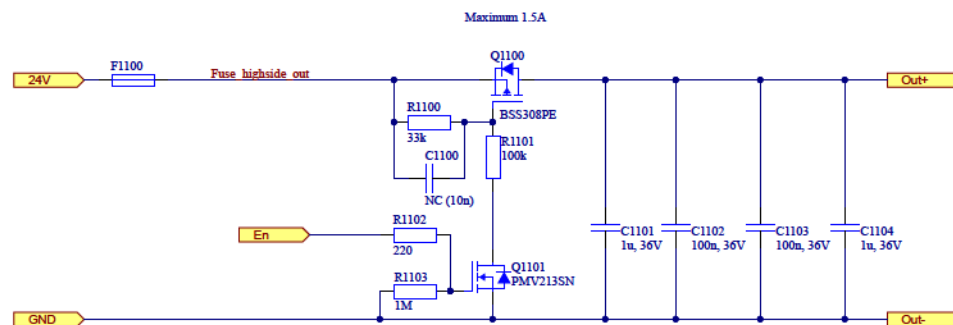
D

A

B

C

D



Highside Switch SOT23

Project: LV-Supply Alvier

Size: A3 Rev.: 1.0

Drawn by: Florian Minnig

Sheet 7 of 15

Date: 05.12.2020

File: LV_PCB_Supply_24V1-5A.SchDoc

1

2

3

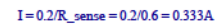
4

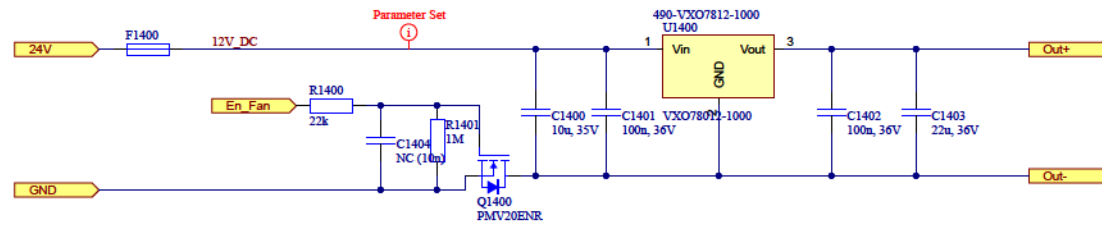
5

6

7

8





Switch and Filter for 12V

Project: LV-Supply Alvier

Size: A3 Rev.: 1.0

Drawn by: Florian Minnig

Sheet 9 of 15

Date: 05.12.2020

File: LV_PCB_Supply_12V.SchDoc

A

B

C

D

A

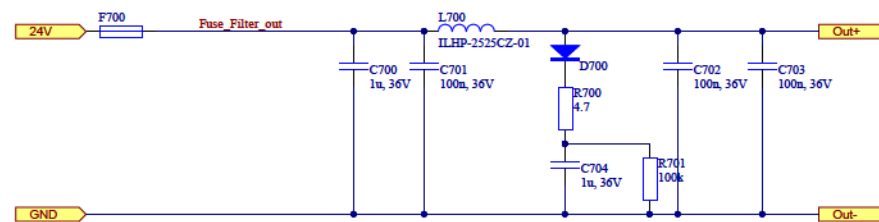
B

C

D

FDE Versorgung

Neu für 10 A ausgelegt, da jeweils 1 MRF
Dämpfer als Verbraucher zusätzlich drauf
ist.



Filter

Project: LV-Supply Alvier

Drawn by: Florian Minnig

Date: 05.12.2020

Size: A3 Rev.: 1.0

Sheet 10 of 15

File: LV_PCB_Supply_24V_Filter.SchDoc

1

2

3

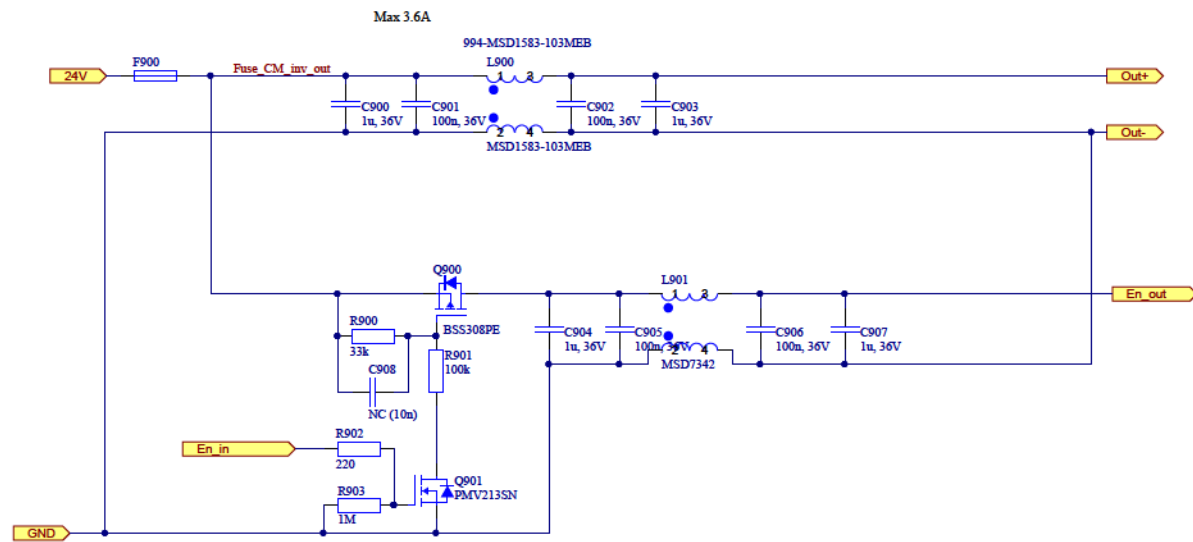
4

5

6

7

8



Common Mode Filter Inverter

Project: LV-Supply Alvier

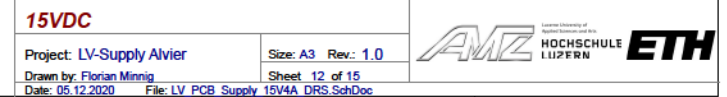
Size: A3 Rev.: 1.0

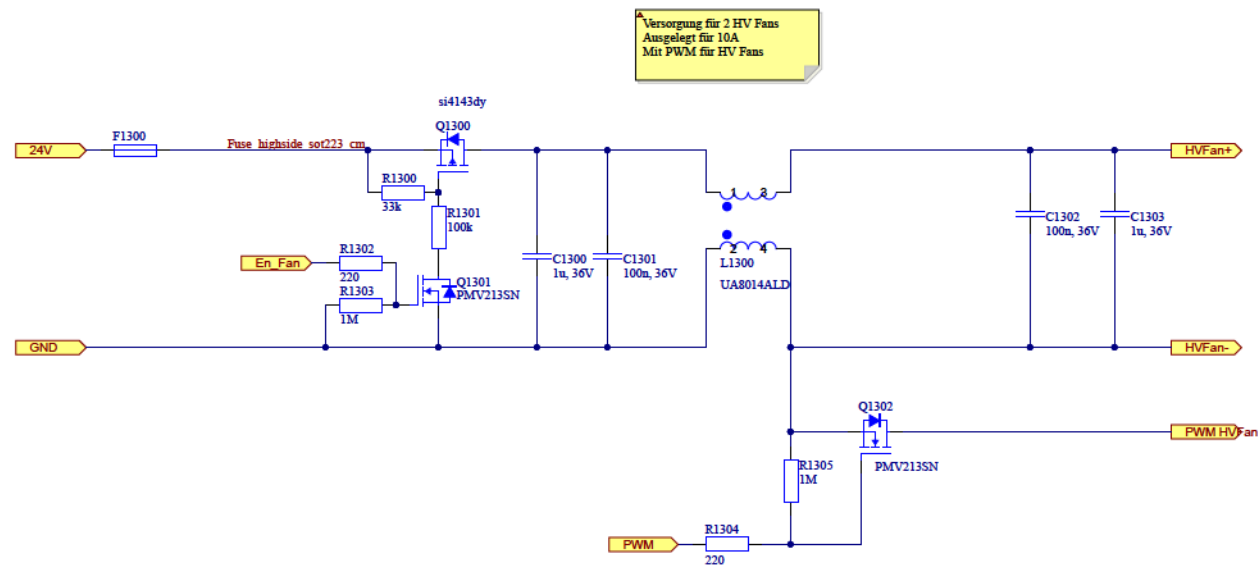
Drawn by: Florian Minnig

Sheet 11 of 15

Date: 05.12.2020

File: LV_PCB_Supply_Inverter.SchDoc





Highside Switch and CM Filter

Project: LV-Supply Alvier

Size: A3 Rev.: 1.0

Drawn by: Florian Minnig

Sheet 13 of 15

Date: 05.12.2020 File: LV_PCB_Supply_24V10A_Enable_PWM.SchDoc

A

B

C

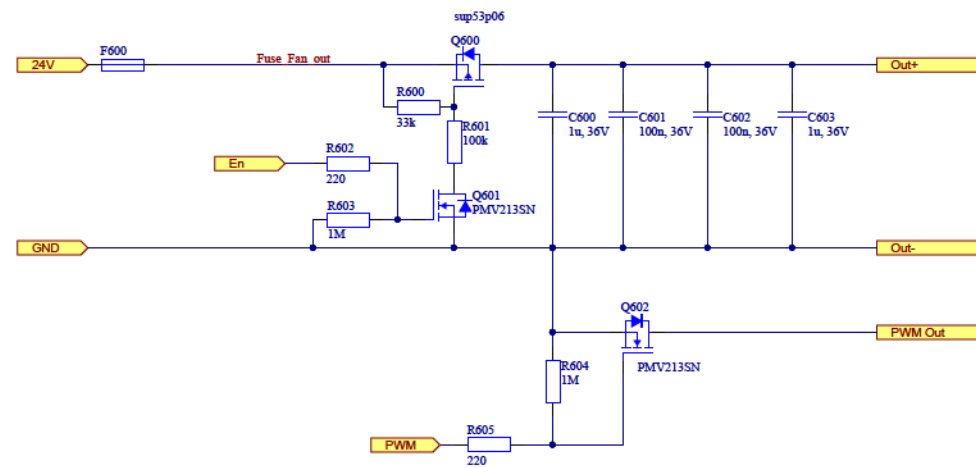
D

A

B

C

D



für 15 A ausgelegt
-Wasserpumpe
-2 Radiatoren
-1 Radiator und 2 Luftgekühlte Radträger

High Side Switch and Filter inkl. PWM

Project: LV-Supply Alvier

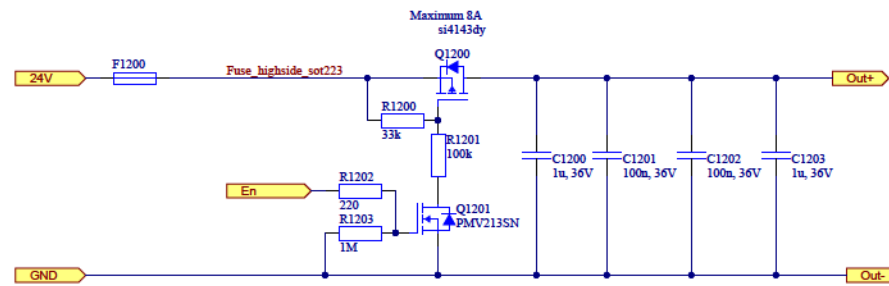
Size: A3 Rev.: 1.0

Drawn by: Florian Minnig

Sheet 14 of 15

Date: 05.12.2020

File: LV_PCB_Supply_24V15A_Enable_PWM_Kühlung.SchDoc



High Side Switch and Filter

Project: LV-Supply Alvier

Size: A3 Rev.: 1.0

Drawn by: Florian Minnig

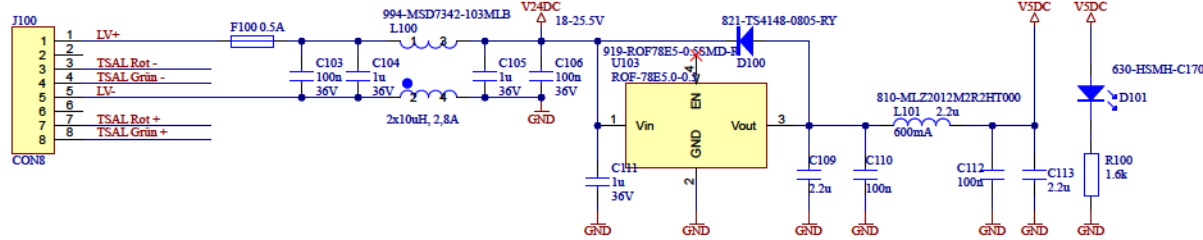
Sheet 15 of 15

Date: 05.12.2020 File: LV_PCB_Supply_24V8A_Enable.SchDoc

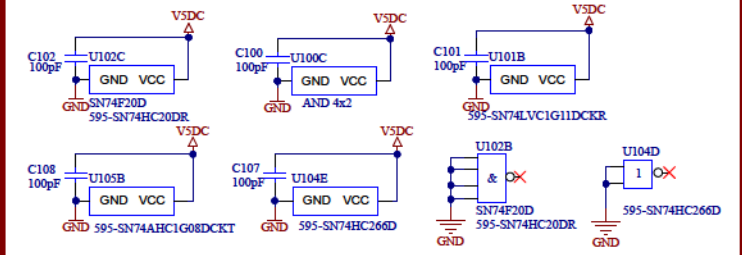


1.4 Schema TSAL Driver

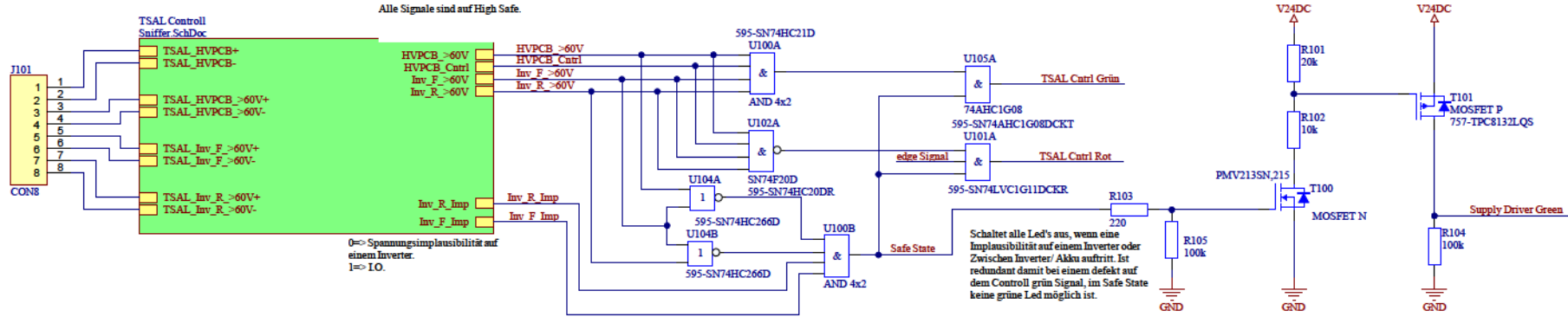
Supply and Filters



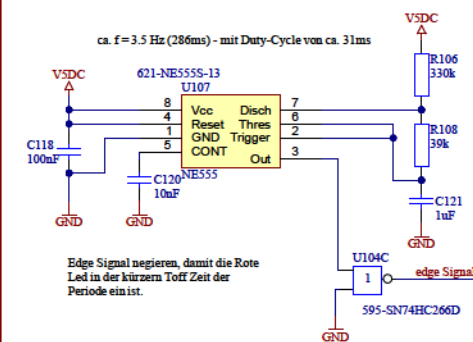
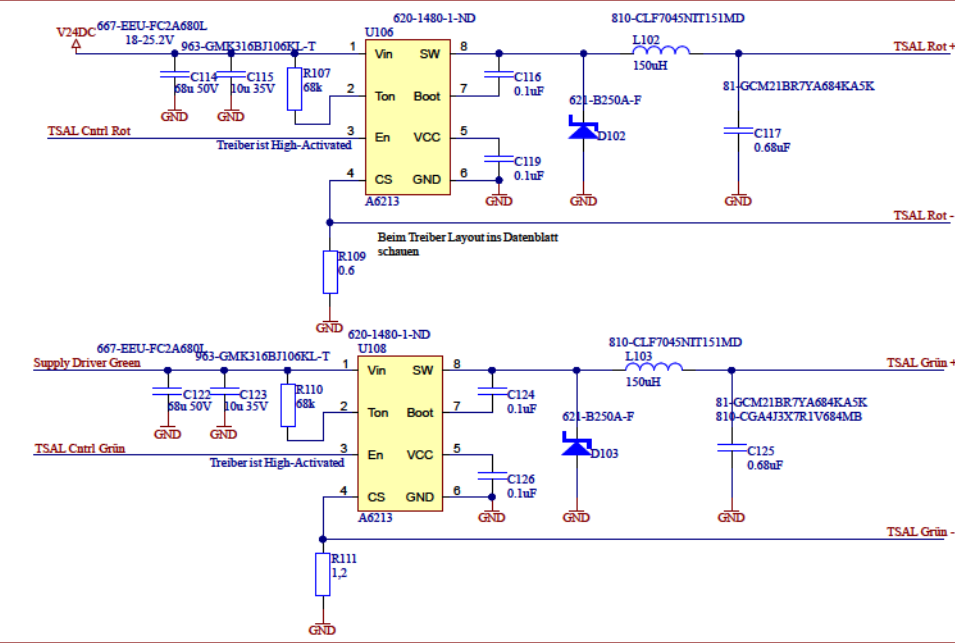
Power & unused components



Logic



LED Driver



TSAL Driver

Project: TSAL mythen

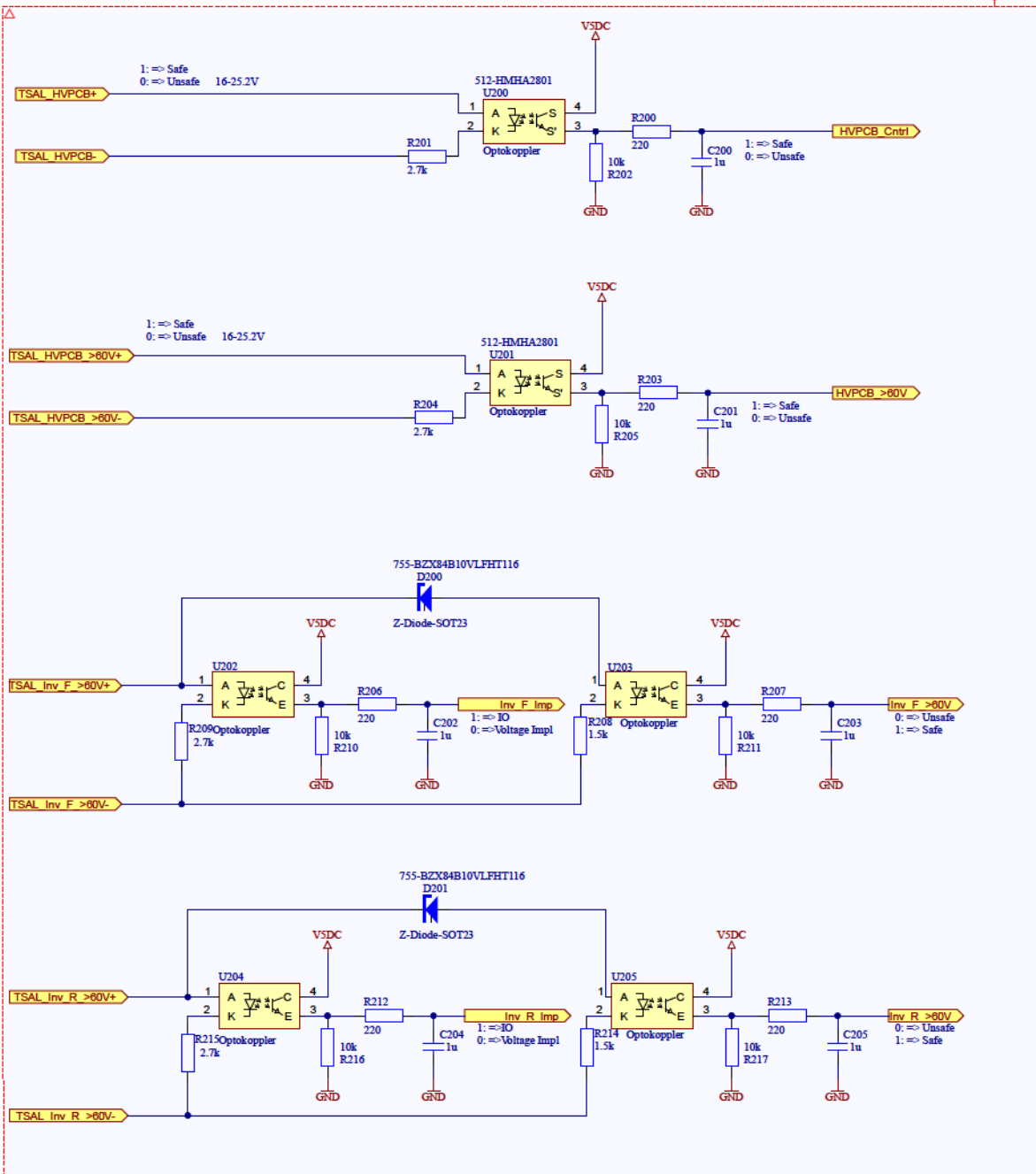
Drawn by: Marco Schnyder

Date: 10.06.2021 File: Main Sheet SchDoc

Size: A3 Rev.: 1

Sheet 1 of 2





TSAL Driver

Project: TSAL Driver

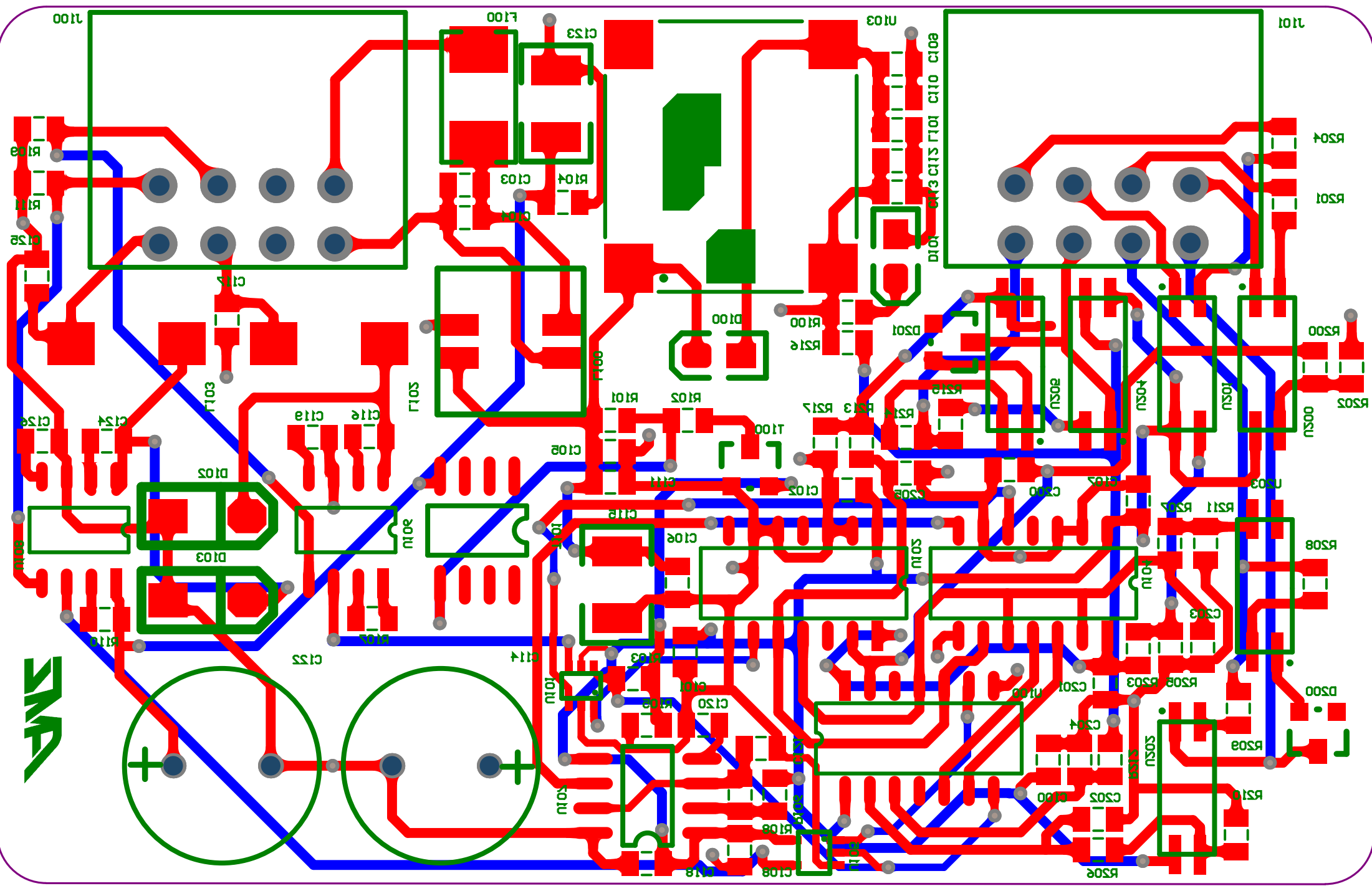
Drawn by: Marco Schwyder

Date: 10.06.2021 File: Sniffer_SchDoc

Size: A3 Rev.: 1

Sheet 2 of 2

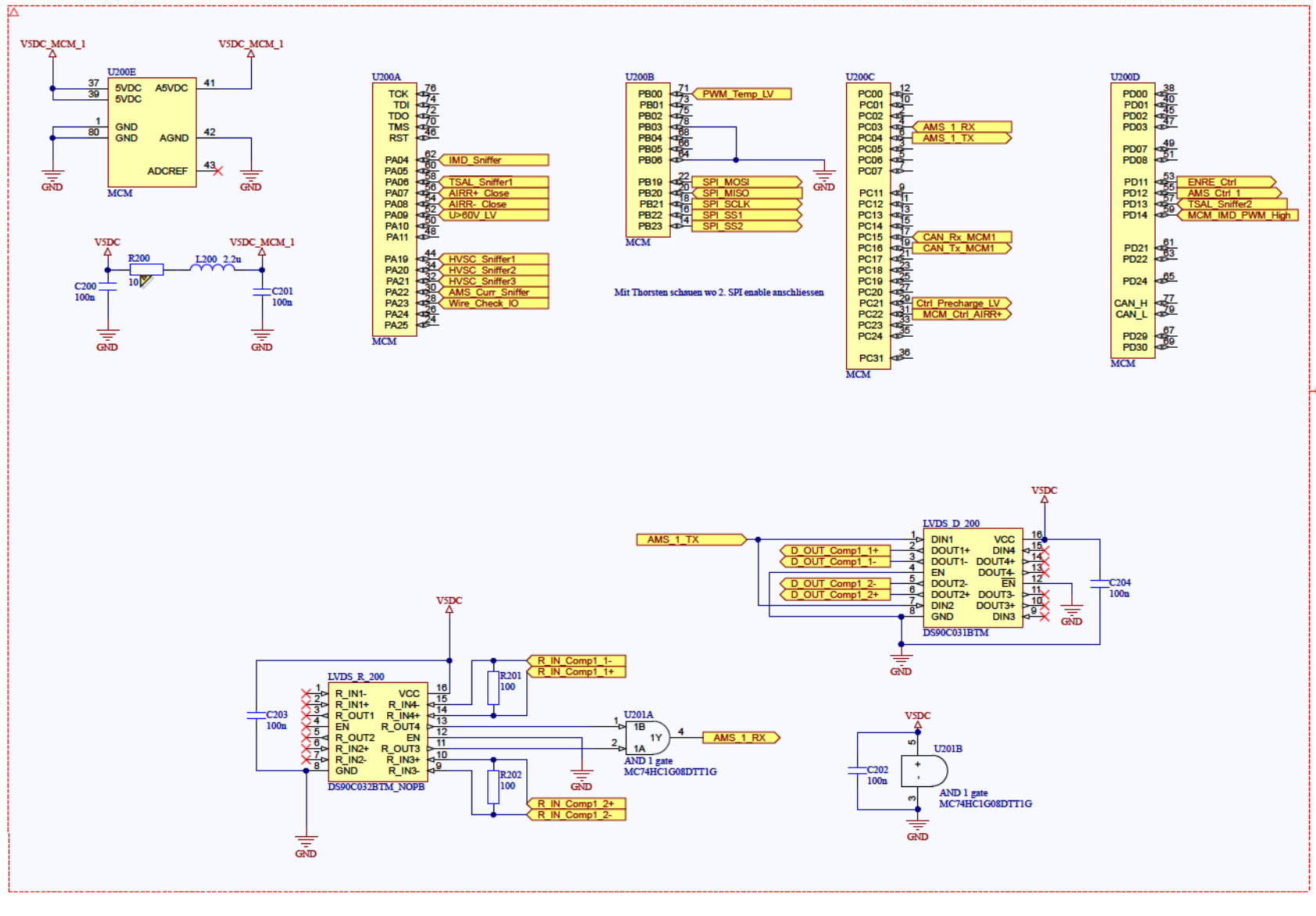




3M

1.5 Schema Angepasstes HV PCB

MCM Main alvier



Net Class
LV

HVPCB alvier

Project:
Drawn by: Jason Freimann
Date: 10.06.2021

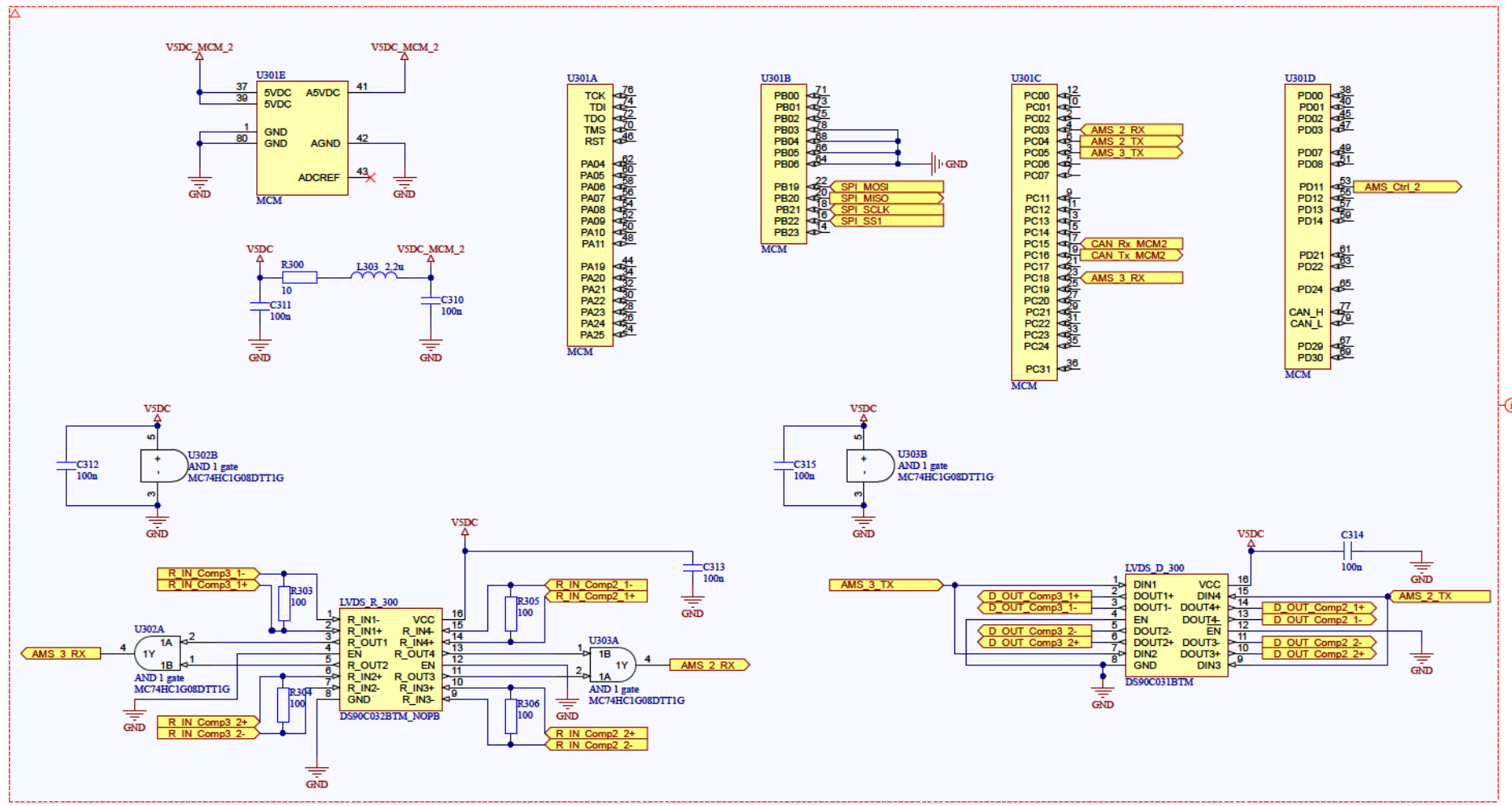
Size: A3 Rev.: 2

Sheet 2 of 13

File: MCM alvier SchDoc



MCM_Side1_alvier

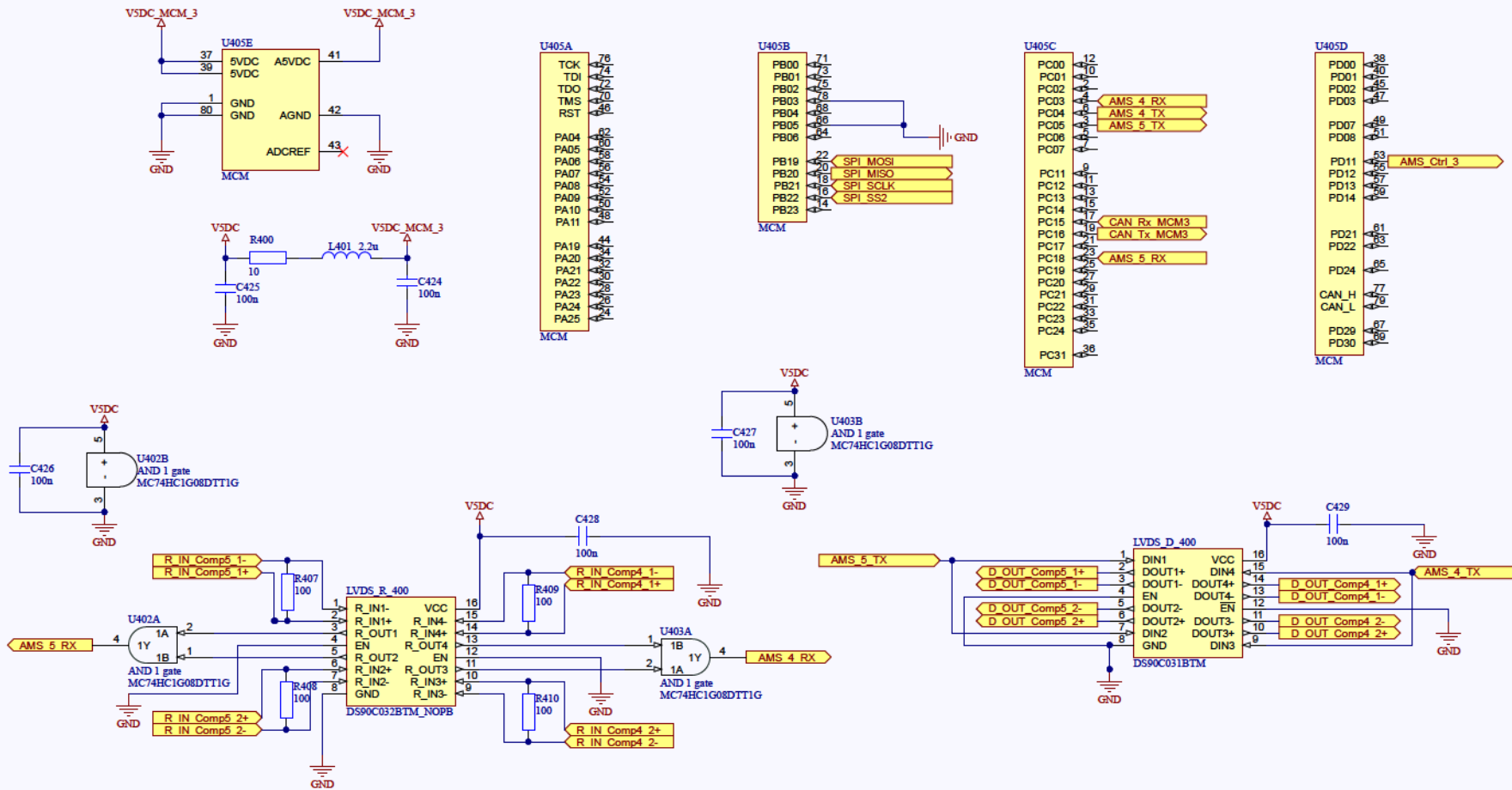


HVPCB alvier

Project: Size: A3 Rev.: 1
 Drawn by: Jason Freimann
 Date: 10.06.2021 File: AMS Receiver1.SchDoc



MCM_Side2_alvier

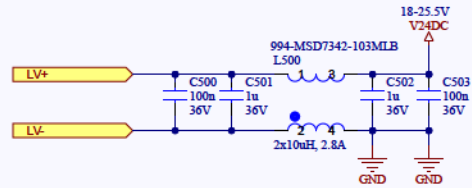


HVPCB alvier

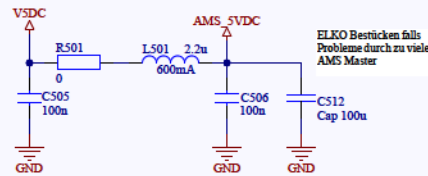
Project: Size: A3 Rev.: 1
 Drawn by: Jason Freimann Sheet 4 of 13
 Date: 10.06.2021 File: AMS Receiver2.SchDoc



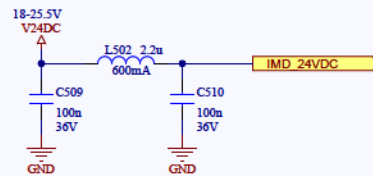
LV Eingangsfilter



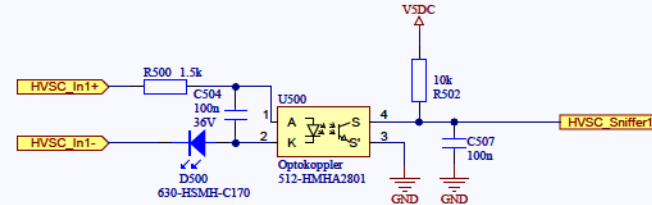
AMS Filter



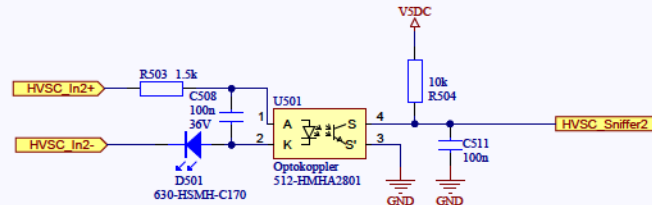
Filter IMD



HVSC Input Filter 1



HVSC Input Filter 1



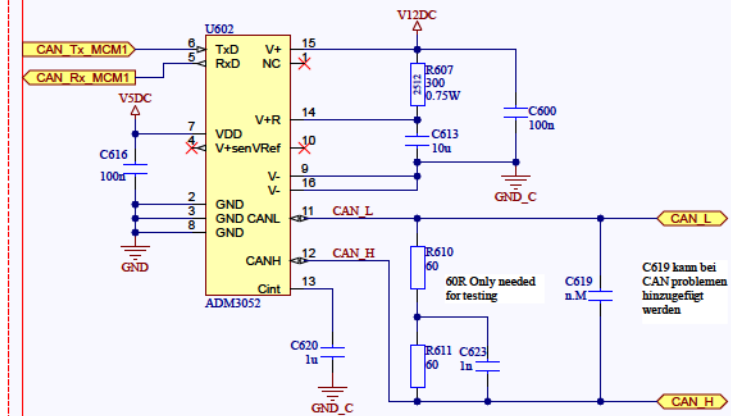
Net Class
LV

HVPCB alvier

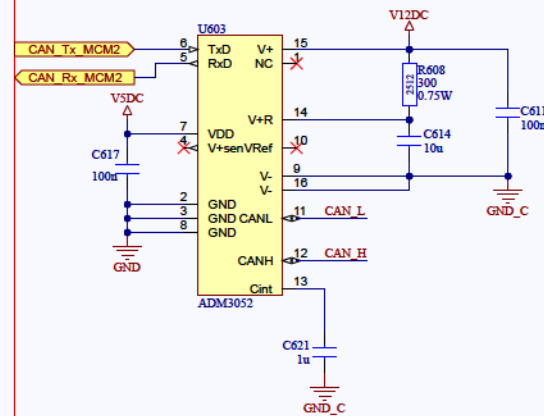
Project:
Drawn by: Jason Freimann
Date: 10.06.2021
Size: A3 Rev.: 1
Sheet 5 of 13
File: Filter Sheet SchDoc



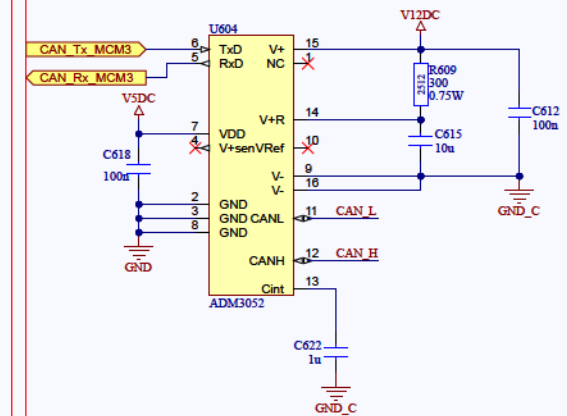
CAN - Galvanisch Getrennt MCM1



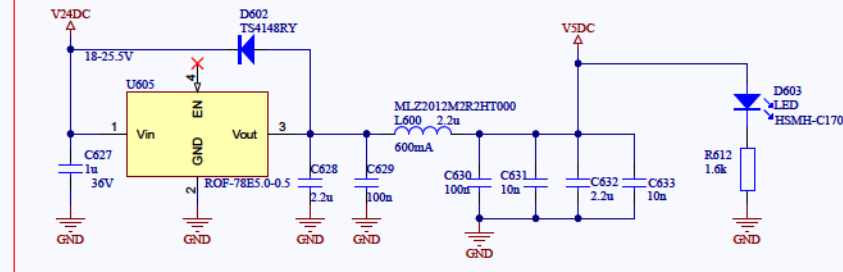
CAN - Galvanisch Getrennt MCM2



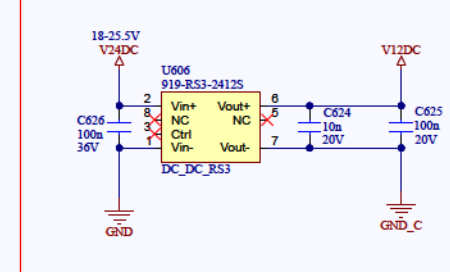
CAN - Galvanisch Getrennt MCM3



5VDC Speisung



V12DC Speisung für CAN



Net-Glass
LV

HVPCB alvier

Project:
Drawn by: Jason Freimann
Date: 10.06.2021

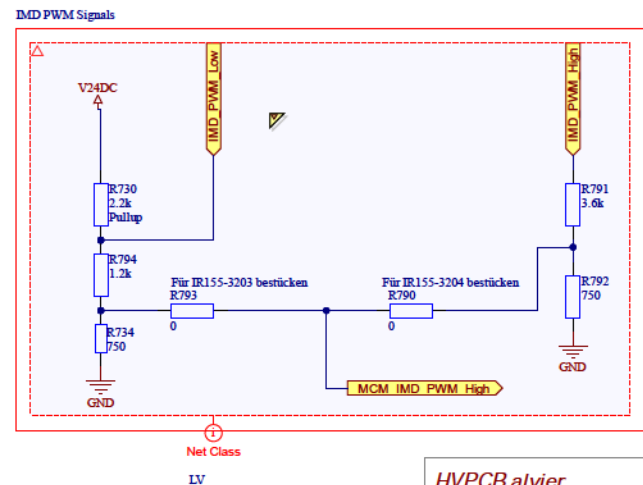
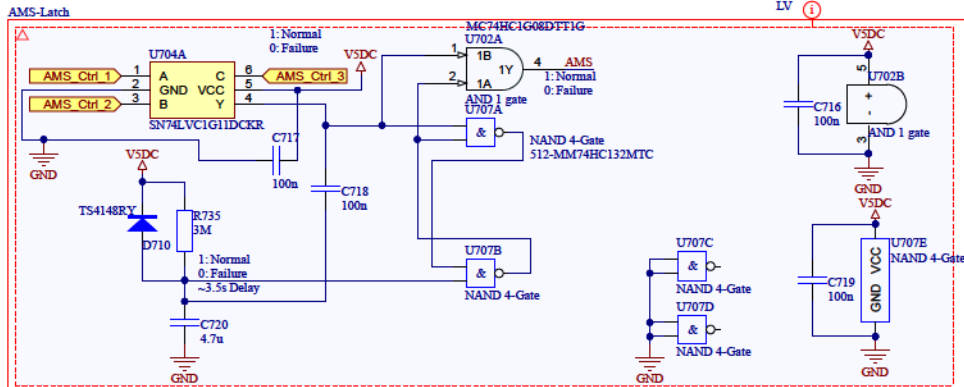
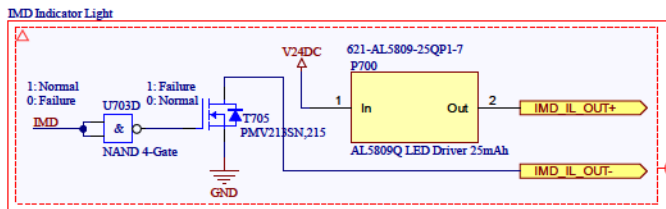
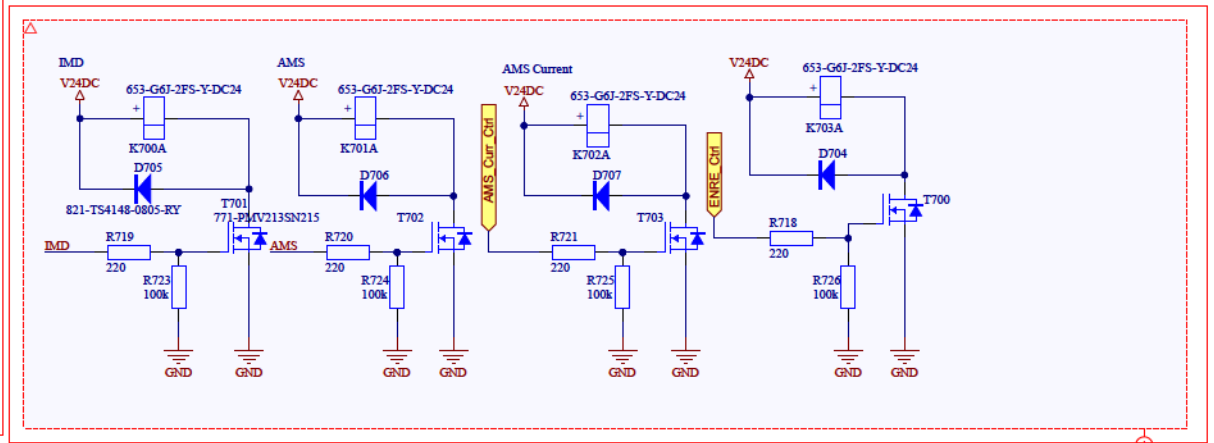
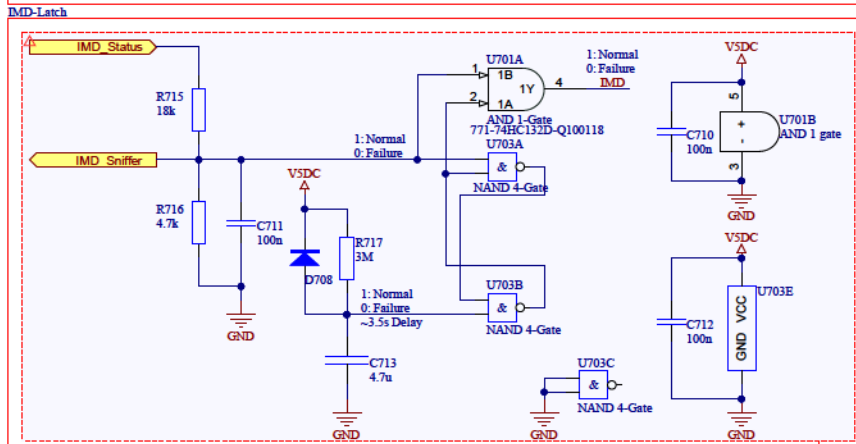
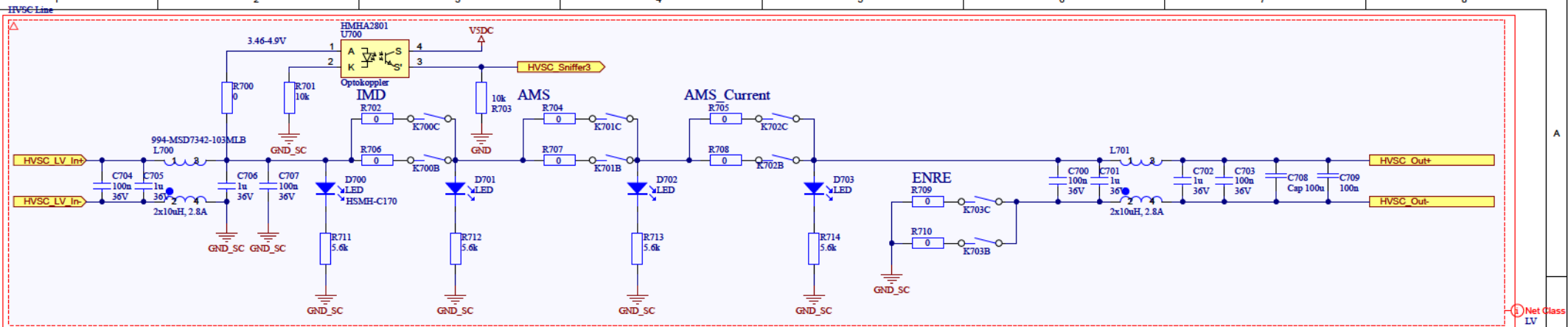
Size: A3 Rev.: 1

Sheet 6 of 13

File: DCDC CAN Sheet.SchDoc

AMZ

ETH



HVPCB alvier

Project:

Drawn by: Jason Freimann

Date: 10.06.2021

Size: A3 Rev.: 1

Sheet 7 of 13

File: HVSC Sheet.SchDoc



A

A

B

B

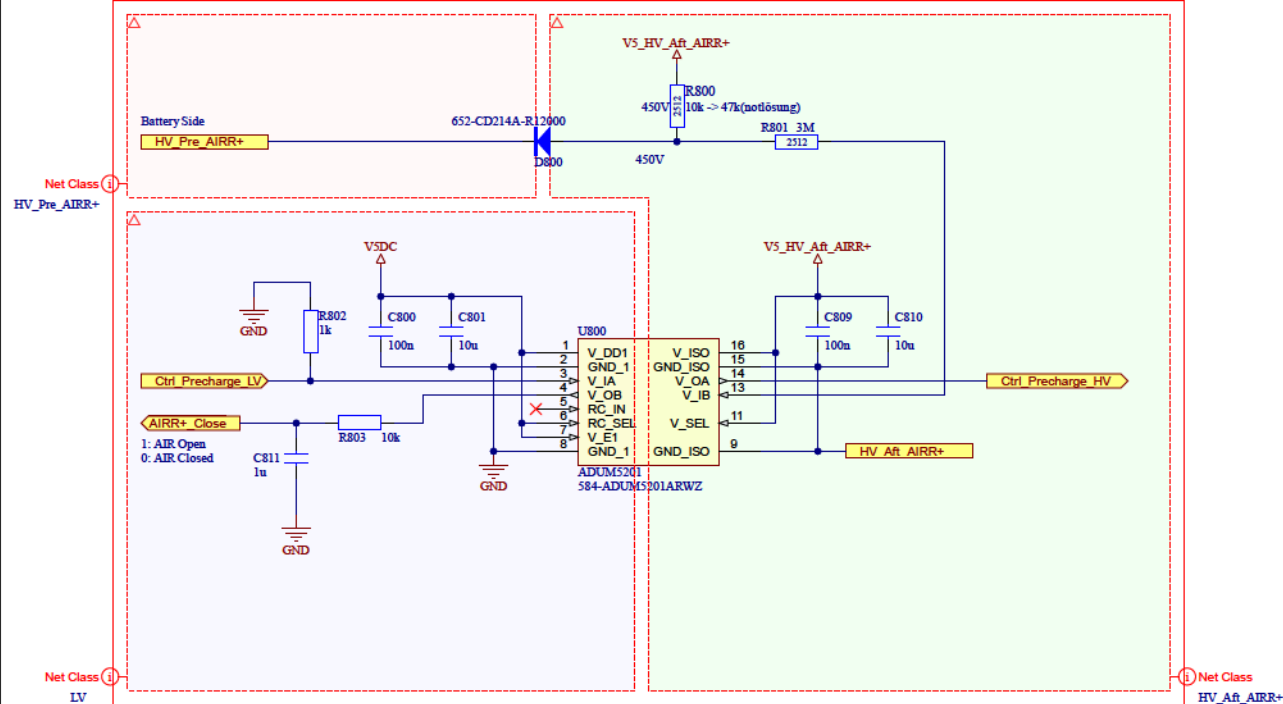
C

C

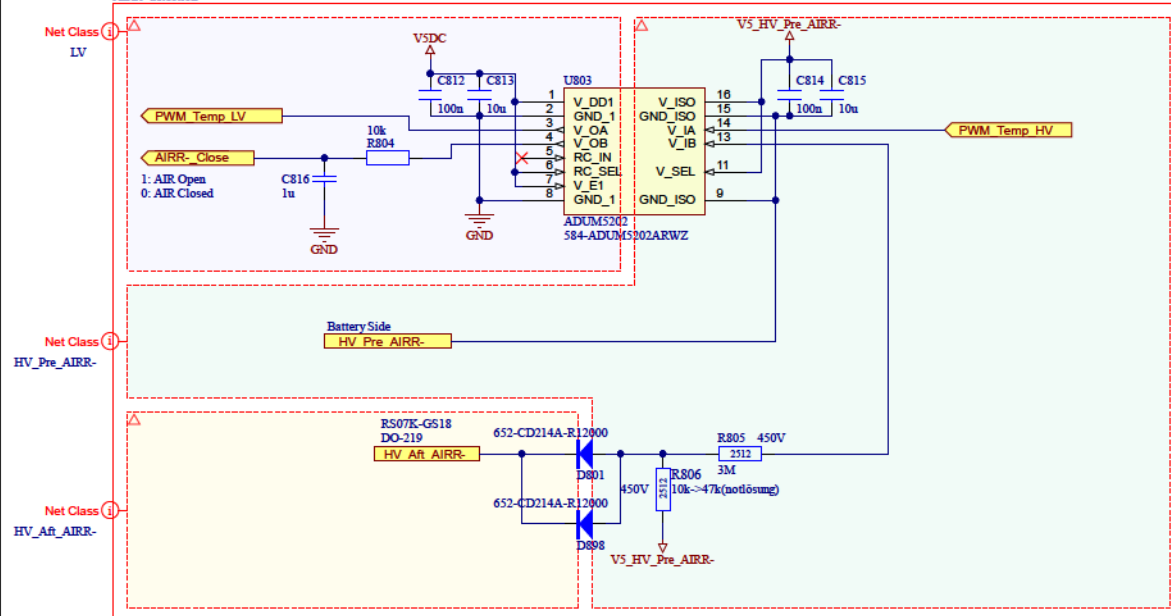
D

D

AIRR+ detection



AIRR- detection



HVPCB alvier

Project:

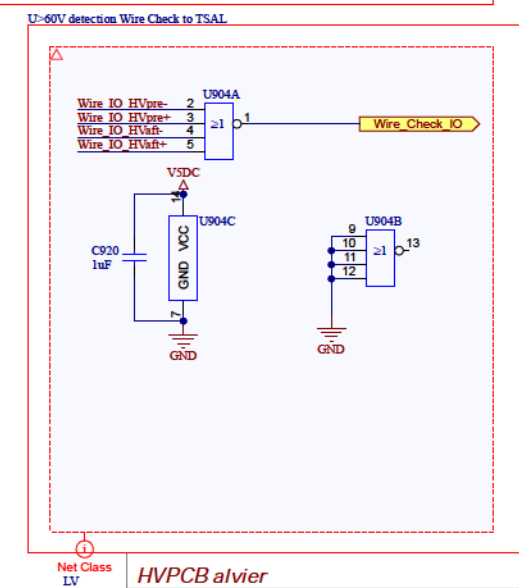
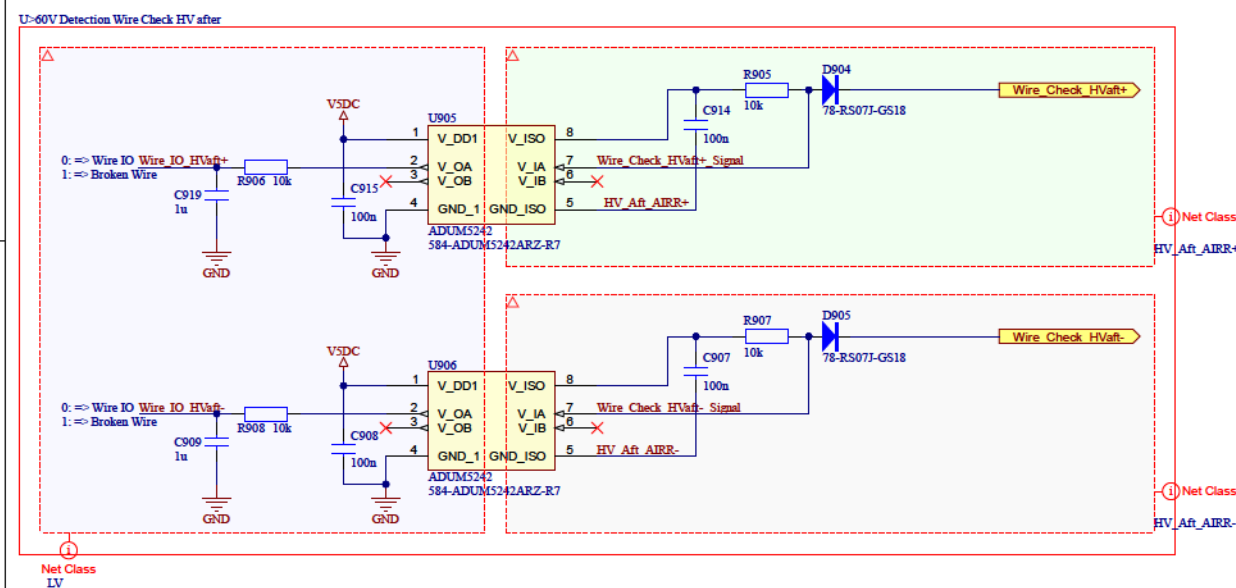
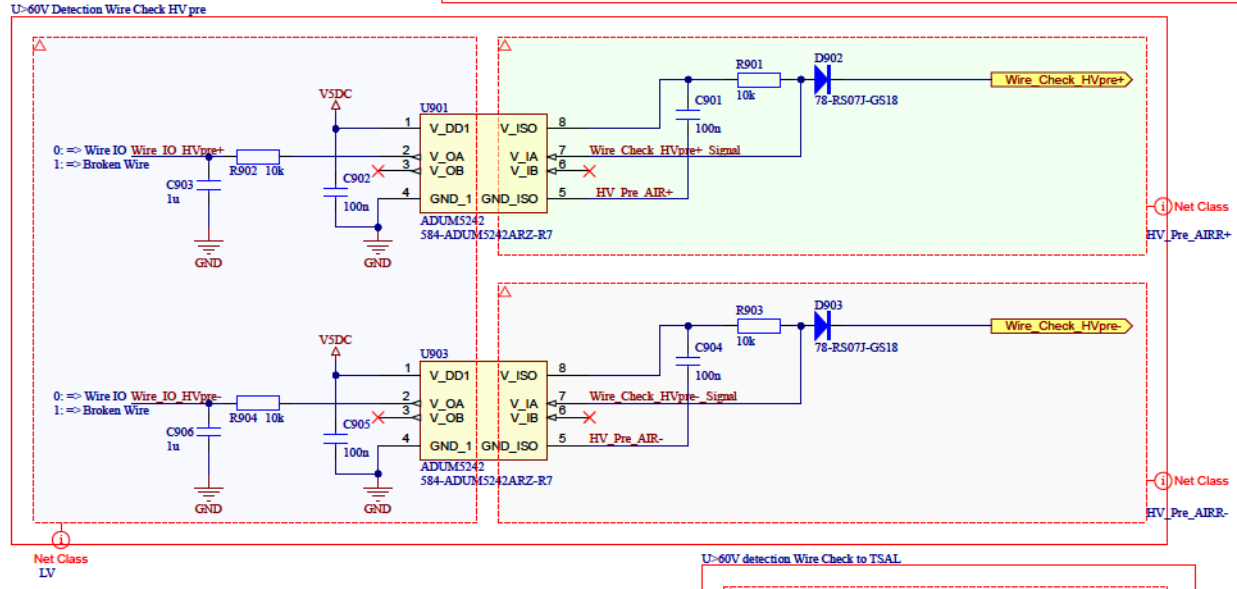
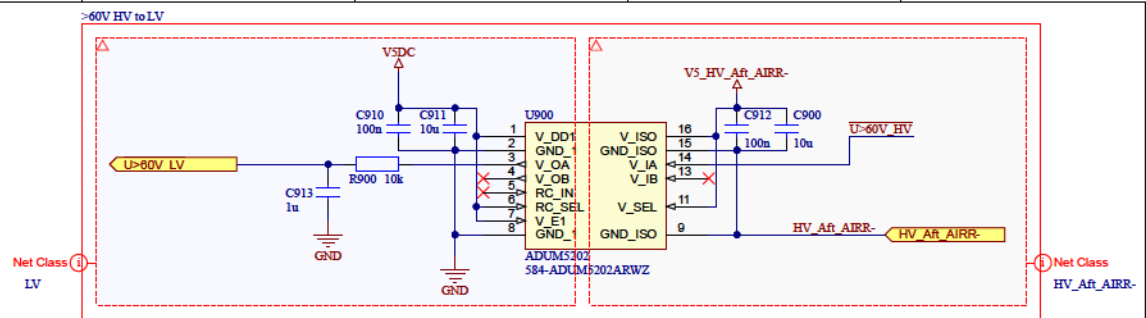
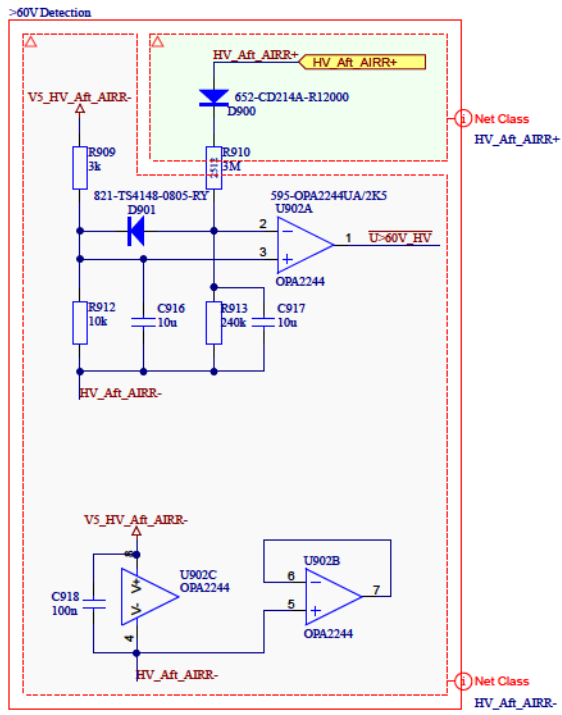
Drawn by: Jason Freimann

Date: 10.06.2021 File: AIRR_Detect_Sheet.SchDoc

Size: A3 Rev.: 1

Sheet 8 of 13

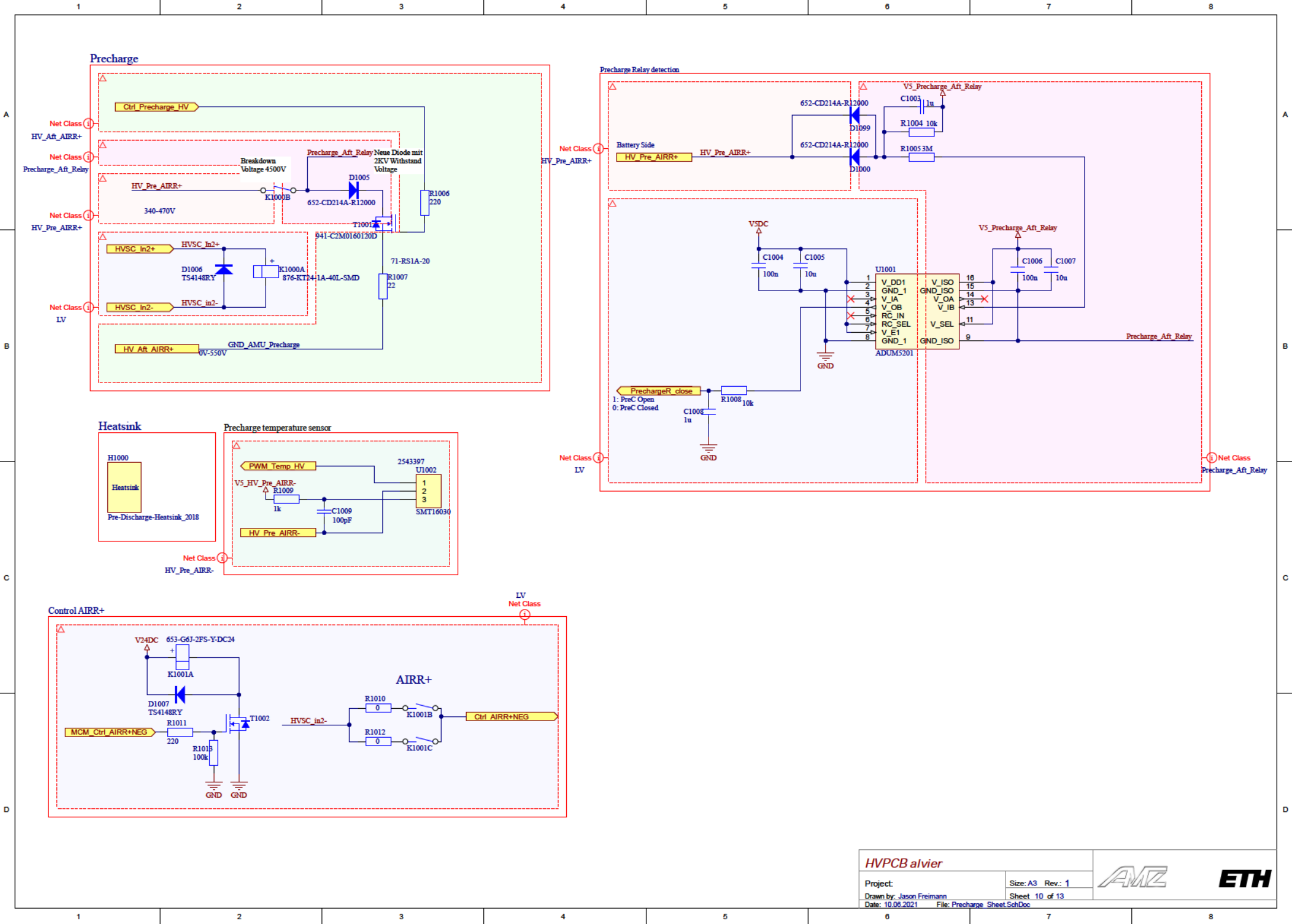




HVPCB alvier

Project: Size: A3 Rev.: 1
 Drawn by: Jason Freimann Sheet 9 of 13
 Date: 10.06.2021 File: Over 60V Sheet.SchDoc



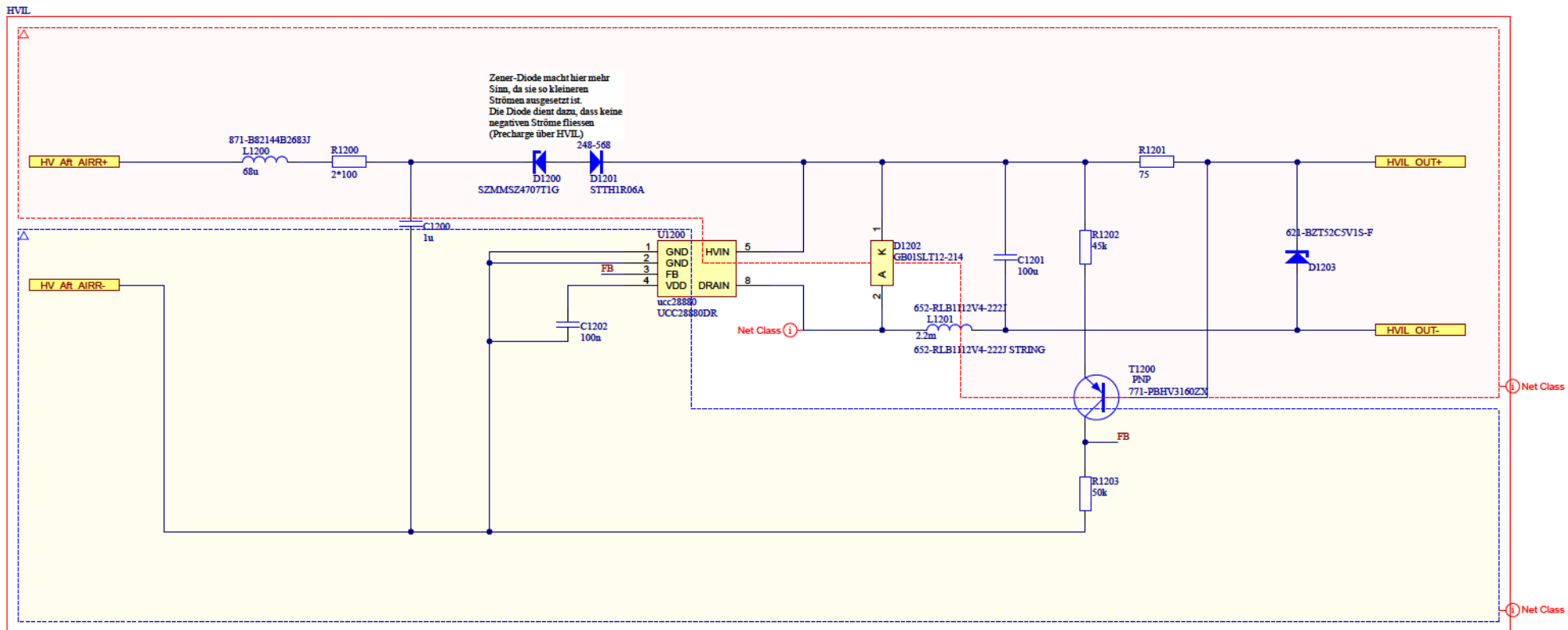


A



Text
Text





HVPCB alvier

Project: *

Drawn by: Jason Freimann

Date: 10.06.2021

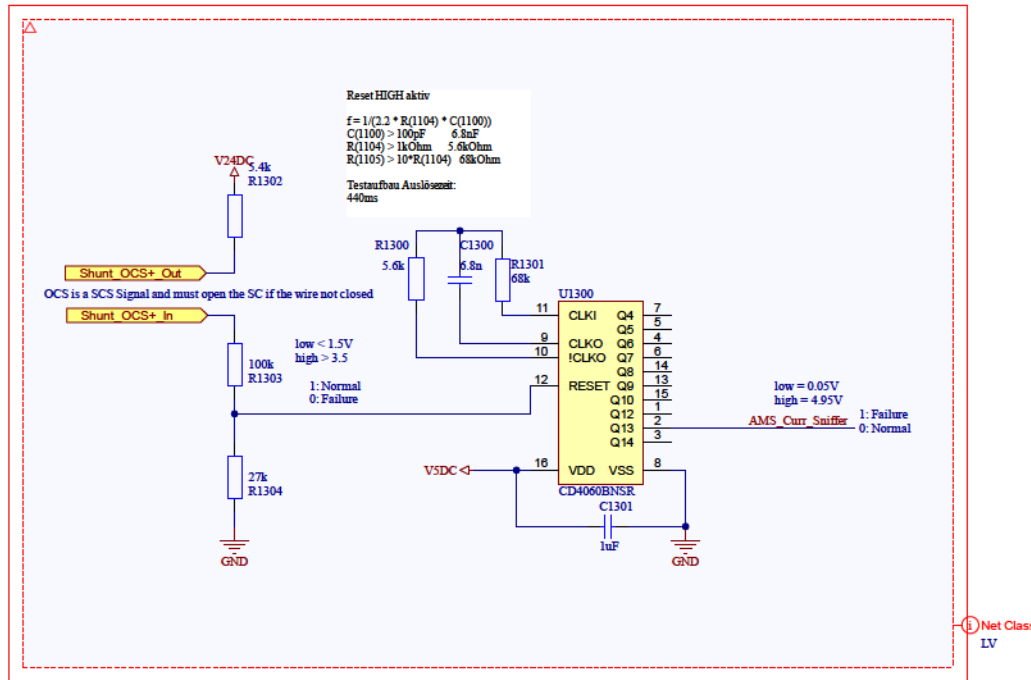
Size: A3 Rev.: 1

Sheet 12 of 13

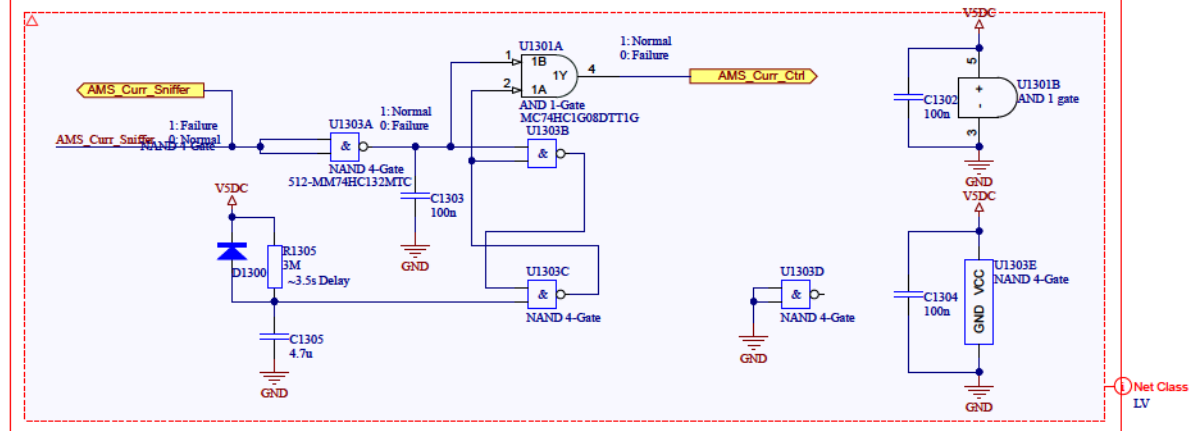
File: HVIL_SheetSchDoc



AMS_Current_Counter



AMS Current Latch



HVPCB alvier

Project:
Drawn by: Jason Freimann
Date: 10.06.2021

Size: A3 Rev.: 1

Sheet 13 of 13

File: AMS_Current_SchDoc





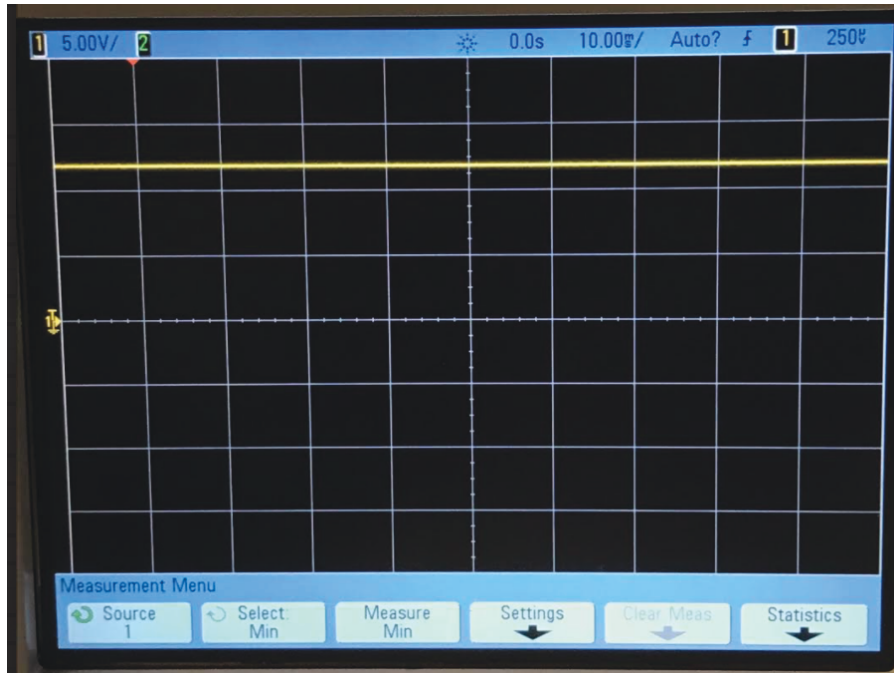
1.6 Messungen DC/DC Wandler LV Supply

Messungen DCDC Wandler LV Supply/Fan Supply

1. Spannungsmessung ohne Last bei Eingangsspannung 24V:

$$V_{out} = 11.92 \text{ V}$$

Spannungsverlauf:



Konstante Spannung -> Kein Ripple

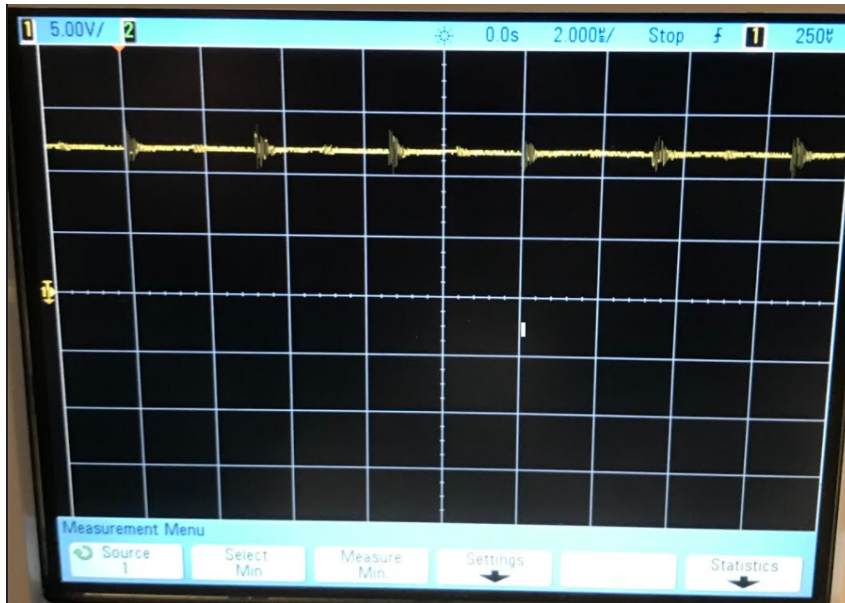
2. Spannungsmessung mit 3 Ohm Last bei Eingangsspannung 24V:

$$I_{Eingang} = 2.52 \text{ A}$$

$$I_{Last} = 4.34 \text{ A}$$

$$V_{out} = 12.03 \text{ V}$$

Spannungsverlauf am Ausgang



3. Spannungsmessung mit Eingangsspannung an der unteren Grenze der Akkuspannung (15.5V) und Last 3 Ohm:

$$I_{\text{Eingang}} = 3.2 \text{ A}$$

$$I_{\text{Last}} = 4.02 \text{ A}$$

$$V_{\text{out}} = 11.52 \text{ V}$$



4. Spannungsmessung bei voller Belastung (Strom Eingang = 8.5A):
Ausgangsspannung ist konstant bei 11.9 V. Die beiden MosFets gehen nach einigen Sekunden kaputt. (Thermischer Defekt)

1.7 Energieabschätzung

Modul	Actuator Name	Current RMS (A)	Current Max. (A)	Amount #	Current Total (A)	ON Time (%)	On Time * Total Current [A]	ON Time (%)	On Time * Total Current [A]	ON Time (%)	On Time * Total Current [A]
Inverter	Inverter	0.85	1.25	2	1.7	100.00%	1.7	100.00%	1.7	100.00%	1.7
Inverter	Splashguard	0.0875	0.1814	4	0.35	100.00%	0.35	100.00%	0.35	100.00%	0.35
Akku	Lüfter HV AKKU	3.75	4.25	4	15	100.00%	15	100.00%	15	80.00%	12
Fahrwerk	RWS Controller/	2	4	2	4	100.00%	4	0.00%	0	5.00%	0.2
Fahrwerk	Active Ride Heig	3.5	7	1	3.5	100.00%	3.5	0.00%	0	0.00%	0
ET	LV-Akku-Fans	1	1	1	1	80.00%	0.8	80.00%	0.8	80.00%	0.8
ET	CTMD	0.1	0.1	1	0.1	100.00%	0.1	100.00%	0.1	100.00%	0.1
Antrieb	Wasserpumpe	5	8.75	1	5	100.00%	5	75.00%	3.75	80.00%	4
ET	DRS	4	4	1	4	20.00%	0.8	0.00%	0	0.00%	0
Antrieb	Fans Kühlung	3.5	3.5	2	7	100.00%	7	0.00%	0	100.00%	7
Fahrwerk	MRF	0.5	4	2	1	100.00%	1	0.00%	0	0.00%	0
ET	Funkgerät	0.125	0.125	1	0.125	100.00%	0.125	100.00%	0.125	100.00%	0.125
Fahrwerk	Lüfter kühlung R	3.75	4.25	2	7.5	100.00%	7.5	0.00%	0	50.00%	3.75
Regelung											
Regelung	VCU (Speedgoa	0.625	0.625	1	0.625	100.00%	0.625	100.00%	0.625	100.00%	0.625
Regelung	INS (SBG Ellipse	0.0625	0.0625	1	0.0625	100.00%	0.0625	100.00%	0.0625	100.00%	0.0625
Regelung	IMU (SBG Ellips	0.0333	0.0333	1	0.0333	100.00%	0.0333	100.00%	0.0333	100.00%	0.0333
Regelung	OVS (Kistler Cor	1.75	1.75	1	1.75	100.00%	1.75	100.00%	1.75	0.00%	0
Regelung	Logger (Influx R	0.3	0.3	1	0.3	100.00%	0.3	100.00%	0.3	100.00%	0.3
Regelung	VCU Box Fan (E	0.045	0.045	1	0.045	100.00%	0.045	100.00%	0.045	100.00%	0.045
Regelung	Ethernet Switch	0.0625	0.0625	1	0.0625	100.00%	0.0625	100.00%	0.0625	100.00%	0.0625
Regelung	OVS Fan (EBM	0.0375	0.0375	1	0.0375	100.00%	0.0375	100.00%	0.0375	100.00%	0.0375
ET PCB's											
ET	MCM Federdäm	0.5	0.5	1	0.5	100.00%	0.5	100.00%	0.5	100.00%	0.5
ET	Akkubox (ohne F	1	1	1	1	100.00%	1	100.00%	1	100.00%	1
ET	MCM Pedalbox	0.5	0.5	1	0.5	100.00%	0.5	100.00%	0.5	100.00%	0.5
ET	TSAL	0.5	0.5	1	0.5	100.00%	0.5	100.00%	0.5	100.00%	0.5
ET	Dashboard	0.5	0.5	1	0.5	100.00%	0.5	100.00%	0.5	100.00%	0.5
ET	Brakelight	0.1	0.1	1	0.1	100.00%	0.1	20.00%	0.02	100.00%	0.1
ET Sensorik											
ET	Plunger-Pressur	0.01	0.01	1	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01
ET	Dämpfer lin. Pot	0.01	0.01	1	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01
ET	Bremsdrucksens	0.01	0.01	1	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01
ET	BSPD Drucksens	0.01	0.01	1	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01
ET	SWAS	0.02	0.02	1	0.02	100.00%	0.02	100.00%	0.02	100.00%	0.02
ET	APPS	0.016	0.016	1	0.016	100.00%	0.016	100.00%	0.016	100.00%	0.016
ET	Warp-Angle	0.016	0.016	1	0.016	100.00%	0.016	100.00%	0.016	100.00%	0.016
ET	Brake Pedal For	0.01	0.01	1	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01	100.00%	0.01
			Anzahl zellen paralell	8	1728		52.9928		27.8628		34.3928
			Kapaität pro zelle	4.25							
			Kapazität Akku [Ah]	34							
			Gesamtzeit [h]	0.75							
			Strom zur Verfügung:	45.33333333							
			Stromverbrauch:	44.00057778	entspricht	33.00043333	Ah				
			SF:	1.030289501							