

# Implementing an eMule 7.0 energy storage system

**Studienarbeit T3\_3100**

Course of study Electrical Engineering

field of study Vehicle Electronics

Baden-Württemberg Cooperative State University Ravensburg, Campus  
Friedrichshafen

by

Philipp Bellmann, Rafael Heuschkel

Submission date: 8. Juli 2025  
Processing period: 07.03.2025-8. Juli 2025  
Student numbers: 6889044, 4002442  
Class: TFE22-1  
Advisor: Khamis Jakob



# Declaration

in accordance with Section 1.1.14 of Annex 1 to §§ 3, 4 and 5 of the Study and Examination Regulations for the Bachelor's degree programmes in the field of technology at Baden-Württemberg Cooperative State University dated 29/09/2017 in the version dated 24/07/2023.

I hereby certify that I have written my Studienarbeit T3\_3100 on the topic:

*Implementing an eMule 7.0 energy storage system*

independently and have not used any sources or aids other than those specified. I also certify that the submitted electronic version corresponds to the printed version.

Munich, the 8. Juli 2025

---

Philippe Bellmann, Rafael Heuschkel



# Abstract

This thesis dealt with the documentation of the electrical conversion of a vehicle that was converted from a conventional combustion engine to an electric drive, specifically the Kawasaki Mule 610. The following objectives were to be achieved as part of the implementation of an energy storage system in the converted vehicle model ‘Kawasaki eMule’: The creation of current circuit diagrams as well as assembly plans for the electrical/electronic vehicle circuits. Standardisation and integration of the plans for the system and its individual components and the creation of a 3D CAD model (computer-aided design) of the self-developed energy storage system. In addition, the neighbouring team was to be supported in the implementation of autonomous driving.

The creation of the circuit and assembly plans ran parallel to the creation of the CAD model. Support for autonomous driving was integrated towards the end of the project. In phases where there was no immediate workload, support was offered by other teams.

A total of six circuit diagrams were created in accordance with the DIN EN (German industrial standard, European standard) 60617 standard and two assembly diagrams. In the course of creating these plans, a separate library was developed on the basis of DIN EN 60617 and a structure was created for the efficient expansion and integration of the library. As part of the CAD model creation, numerous small individual models were created and assembled into a large overall model. A separate library was also implemented for this purpose. In addition to the specific tasks of our own team, we were also able to support other project teams with various tasks.



# Kurzfassung

Diese Arbeit befasste sich mit der Dokumentation der elektrischen Umsetzung eines Fahrzeugs, das von einem konventionellen Verbrennungsmotor auf einen Elektroantrieb umgerüstet wurde, konkret dem Kawasaki Mule 610. Im Rahmen der Implementierung eines Energiespeichersystems in das umgebaute Fahrzeugmodell „Kawasaki eMule“ sollten die folgenden Ziele erreicht werden: Die Erstellung von aktuellen Stromlaufplänen sowie Bestückungsplänen für die elektrisch/elektronischen Fahrzeuschaltkreise. Eine Standardisierung und Integration der Pläne des Systems sowie seiner Einzelkomponenten und die Erstellung eines 3D-CAD-Modells (Computer-Aided Design )des selbst entwickelten Energiespeichersystems konstruiert werden. Zusätzlich sollte das Nachbarteam bei der Implementierung des autonomen Fahrens unterstützt werden.

Die Erstellung der Stromlauf- und Bestückungspläne lief parallel zu der Erstellung des CAD-Modells. Die Unterstützung des autonomen Fahrens wurde gegen Ende des Projekt eingebunden. In Phasen, in denen keine unmittelbare Arbeitsbelastung vorlag, wurde die Unterstützung anderer Teams angeboten.

Insgesamt wurden sechs Stromlaufpläne gemäß der Norm DIN EN (Deutsche Industriennorm, Europäische Norm) 60617 und zwei Bestückungspläne erstellt. Im Zuge der Erstellung dieser Pläne wurde eine eigene Bibliothek auf Basis der DIN EN 60617 entwickelt und eine Struktur zur effizienten Erweiterung und Integration der Bibliothek geschaffen. Im Rahmen der CAD-Modell Erstellung wurden zahlreiche kleine Einzelmodelle erstellt und zu einem großen Gesamtmodell zusammengesetzt. Hierfür wurde ebenfalls eine eigene Bibliothek implementiert. Neben den spezifischen Aufgaben des eigenen Teams konnte auch die Unterstützung anderer Projektteams bei verschiedenen Aufgabenstellungen erfolgen.



# Table of contents

<b>1</b>	<b>Intro</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Foundations</b>	<b>5</b>
2.1	Geschichte der Elektrofahrzeuge . . . . .	5
2.2	Lithium-Ionen-Batterien . . . . .	9
2.3	Normen zur Zeichnung von Schaltzeichen . . . . .	11
2.4	Autodesk Fusion 360 . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Dokumentation</b>	<b>15</b>
3.1	Installationsanleitung Fusion 360 . . . . .	16
3.2	Stromlaufpläne . . . . .	20
3.2.1	Stromlaufplan Battery Circuit . . . . .	20
3.2.2	Stromlaufplan Motor Controller . . . . .	23
3.2.3	Stromlaufplan LV-Onboard-Netz . . . . .	26
3.2.4	Stromlaufplan Charger Temperature Control . . . . .	29
3.2.5	Stromlaufplan HV-Onboard-Network . . . . .	29
3.3	Legende der Schaltzeichen . . . . .	33
<b>4</b>	<b>CD Modelling</b>	<b>35</b>
4.1	Introduction and Technical Background . . . . .	35
4.2	Design Approach Using Fusion 360 . . . . .	36
4.3	Design and Development of a Modular Lithium-Ion Battery System	37
4.4	Introduction . . . . .	38
4.5	Parametric Modeling Principles . . . . .	38
4.6	Base Geometry and Cell Arrangement . . . . .	39

*Table of contents*

---

4.7 Feature Addition: Sensor Integration and Cable Management . . . . .	39
4.8 Assembly Modeling and Component Placement . . . . .	40
4.9 Design for Additive Manufacturing (DfAM) Considerations . . . . .	40
4.10 Manufacturing Preparation and Export . . . . .	41
4.11 Iterative Refinement and Version Control . . . . .	41
4.12 Application Context: Battery Housing for the E-Mule Energy Sto- rage System . . . . .	41
4.13 Detailed CAD Design Process in Fusion 360 . . . . .	44
4.13.1 Cell Holder Design and Arrangement . . . . .	44
4.13.2 Integration of the Protective Enclosure . . . . .	48
4.14 Conclusion on the CAD Design Process . . . . .	51
<b>5 Kritische Reflektion und Ausblick</b>	<b>53</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>57</b>
<b>Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen</b>	<b>61</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>63</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>65</b>
<b>A Nutzung von Künstliche Intelligenz basierten Werkzeugen</b>	<b>67</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>70</b>

# 1 Intro

The global shift towards more sustainable mobility solutions is well underway. In light of mounting environmental regulations and growing awareness of the detrimental impact of fossil fuels, we are witnessing a paradigm shift away from traditional combustion engines towards electric drives. This technological upheaval is affecting not only the private automotive sector, but also commercial and specialised vehicles, which are increasingly being converted to electric power.[Pis23] As part of a university project, we successfully converted a Kawasaki Mule 610 vehicle from a combustion engine to an electric drive. This conversion was a first milestone that enabled us to demonstrate the advantages of electric mobility in a practical application. The project is now to be developed further in order to optimise the efficiency and range of the vehicle through targeted improvements - such as the use of a more powerful battery - and to set new standards in electric drive technology.

## Problem statement

Our predecessors converted the „Kawasaki Mule 610“ from an internal combustion engine to an electric motor drive. The vehicle was renamed the „Kawasaki eMule“. The conversion documentation was poorly executed, if at all, and was not standardised. The existing documentation for each circuit diagram is according to a different standard. There are no legends for the standards used. The accuracy of the existing documentation must be verified for each circuit diagram by comparing it with the vehicle’s installation status and consulting the instructor, Mr Khamis Jakob.

The following considers only the aspects of the problem relating to the creation of circuit diagrams, assembly plans and CAD-models. The first issue is selecting a suitable software for creating the documentation. The difficulty here is finding a programme that meets all the requirements. These are:

- The software must be as cost-effective as possible, as only a limited budget is available.
- The software must be designed for both Windows and macOS operating systems to ensure that every team member is able to work optimally.
- The software must be able to create circuit diagrams, assembly plans as well as CAD-models, as several software licences cannot be financed due to the limited budget.
- The software must support the selected standard or offer the option of creating your own libraries with components.

If the software does not support the selected standard, creating a separate library would involve an enormous amount of additional time and effort. This additional work could jeopardise the project’s time targets. Another issue is that none of the

---

team members have ever worked with CAD software or on a project of this scale without proper documentation.

## **Objective**

The following objectives are defined for the „TFE team“ for the second working period in the summer semester of 2025:

- Creation of current circuit diagrams and assembly plans for the electrical/electronic vehicle circuits
- Standardisation and communitisation of the system's plans and its individual components
- Construction of a 3D CAD model for the energy storage system
- Supporting the implementation of autonomous driving
- **PART BUCKY CAD**

## Planned procedure

To achieve the goals in the best possible way, the eMule team should be divided into smaller groups. This enables the various subtasks to be completed as efficiently as possible. Firstly, the entire eMule team must gain an overview of the vehicle and its condition. This includes the mechanical and electrical/electronic condition of the vehicle as a whole and its individual components. Both the current status and future potential are identified. Next, the tasks for each team are redefined or continued. In this work, only the tasks of the „TFE team“ are considered.

The initial step is to acquaint oneself with the novel functionalities of the software, undertaking this endeavour with full responsibility. This step is intended to ensure that as little time as possible is lost when working with the programme at a later stage. In the course of the familiarisation process, it is also recommended that the project environment be created for the purpose of subsequent sharing. The project's digital database is also served by this.

In the process of devising the plans, it is imperative to exercise due diligence to ensure that the numbering of the components is sequential and that the newly formulated plans are incorporated into the extant documentation. The predefined standard is utilised to ensure the consistency of the plans.

The creation of assembly plans involves the examination and comparison of existing documentation with the current assembly status. Documentation that does not correspond to this standard must be disregarded. It is imperative that a new, comprehensive description of the overall system is created. This description must be based on the existing documents and the vehicle's assembly status.

### PART BUCKY CAD

In order to standardise the individual plans, they are subjected to further review to ensure clarity. If necessary, the plans are adapted and transferred to a DIN A3 format, complete with title block and legend.

# 2 Foundations

The subsequent chapter provides a synopsis of the theoretical foundations that are prerequisite for the present thesis. The second chapter provides a more detailed examination of the history of electric vehicles. In the subsequent chapter, Chapter 2.2, the focus is on lithium-ion batteries. Chapter 2.3 then deals with standards for drawing circuit diagrams, and Chapter 2.4 analyses the Autodesk Fusion 360 tool used to create the documentation.

## 2.1 Geschichte der Elektrofahrzeuge

Die Geschichte der Elektrofahrzeuge ist ein faszinierendes Kapitel in der Entwicklung der Mobilität. Obwohl Elektrofahrzeuge heute als Zukunftstechnologie gelten, reichen ihre Ursprünge weit zurück und sind eng mit den Anfängen des Automobilbaus verknüpft.

### Die Anfänge im 19. Jahrhundert

Bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden die Grundlagen für Elektrofahrzeuge geschaffen. Der Schotte Robert Anderson baute in den 1830er Jahren eines der ersten elektrisch betriebenen Fahrzeuge. Es handelte sich um ein einfaches Fahrzeug mit einer nicht wiederaufladbaren Batterie. In den folgenden Jahrzehnten

wurden Elektrofahrzeuge durch die Entwicklung von wiederaufladbaren Batterien und Elektromotoren immer praktikabler.[Vat25] Einen wichtigen Beitrag leistete der Franzose Gaston Planté, der 1859 den ersten funktionsfähigen Bleiakkumulator entwickelte. Diese wiederaufladbare Batterie ermöglichte den kontinuierlichen Betrieb von Elektromotoren und legte den Grundstein für die spätere Entwicklung von Elektrofahrzeugen. [Ind25]

## **Die Blütezeit der Elektrofahrzeuge um 1900**

Um die Jahrhundertwende erfreuten sich Elektrofahrzeuge großer Beliebtheit. Sie waren leiser, sauberer und einfacher zu bedienen als die damals üblichen Fahrzeuge mit Dampf- oder Verbrennungsmotoren. Vor allem in Städten wurden Elektroautos aufgrund ihrer geringen Reichweite und einfachen Handhabung bevorzugt eingesetzt. [Ene25b] Marken wie Baker Electric und Detroit Electric prägten diese Ära. [Ein25]

Elektrofahrzeuge hatten zu dieser Zeit bedeutende Marktvorteile. Während Verbrennungsmotoren oft manuell gekurbelt werden mussten und unangenehm laut waren, konnten Elektrofahrzeuge mit einem einfachen Schalter gestartet werden. [Blo25] Die Reichweiten von etwa 50 bis 100 Kilometern pro Batterieladung reichten für den städtischen Einsatz vollkommen aus. [ADA25]

## Der Rückgang durch den Verbrennungsmotor

Die Dominanz der Elektrofahrzeuge begann jedoch im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts zu schwinden. Wesentliche Faktoren dafür waren:

- Die Erfindung des elektrischen Anlassers durch Charles Kettering im Jahr 1912, der die Handkurbel bei Verbrennungsmotoren überflüssig machte. [Gre25]
- Die zunehmende Verfügbarkeit von billigem Erdöl, das Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren erschwinglich machte. [gün25]
- Die Massenproduktion von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor durch Henry Ford, die die Kosten für Autos drastisch senkte. [alp25]
- Bis in die 1930er Jahre waren Elektrofahrzeuge weitgehend vom Markt verdrängt. [alp25]

## Wiederbelebung im 20. Jahrhundert

Die Energiekrisen der 1970er Jahre und das wachsende Umweltbewusstsein führten zu einem erneuten Interesse an Elektrofahrzeugen. [Wis25] Automobilhersteller experimentierten mit Prototypen, um Alternativen zu fossilen Brennstoffen zu entwickeln. [Ene25a] In dieser Phase entstanden Fahrzeuge wie der General Motors EV1, der 1996 eingeführt wurde. [Ins25a] Trotz seiner technischen Fortschritte wurde die Produktion jedoch nach wenigen Jahren eingestellt. [Ene25a]

## Die Renaissance der Elektrofahrzeuge im 21. Jahrhundert

Der Beginn des 21. Jahrhunderts markierte eine neue Ära für Elektrofahrzeuge. Fortschritte in der Batterietechnologie, insbesondere die Entwicklung von Lithium-Ionen-Akkus, machten Elektroautos leistungsfähiger und alltagstauglicher. [Lab25] Gleichzeitig führten Umweltauflagen und staatliche Förderprogramme zu einer verstärkten Nachfrage.

Ein entscheidender Wendepunkt war die Gründung von Tesla Motors im Jahr 2003. Mit dem Tesla Roadster, der 2008 auf den Markt kam, bewies das Unternehmen, dass Elektrofahrzeuge nicht nur umweltfreundlich, sondern auch leistungsstark und attraktiv sein können. Dies ebnete den Weg für weitere Modelle wie den Nissan Leaf, den BMW i3 und die elektrische Version des Volkswagen Golf. [Ins25b]

## Herausforderungen und Perspektiven

Trotz der Erfolge stehen Elektrofahrzeuge weiterhin vor Herausforderungen. Die Infrastruktur für Ladestationen muss ausgebaut werden, um eine flächendeckende Versorgung zu gewährleisten. [Sta25] Zudem sind die Produktionskosten von Batterien nach wie vor hoch, obwohl sie durch Skaleneffekte und technologische Fortschritte stetig sinken. [Pro25]

Die Perspektiven für Elektrofahrzeuge sind dennoch vielversprechend. Die fortschreitende Entwicklung von Feststoffbatterien und die Integration erneuerbarer Energien in die Stromerzeugung könnten die Elektromobilität nachhaltig vorantreiben. Politische Initiativen wie das Verbot von Verbrennungsmotoren in einigen Ländern ab 2035 unterstreichen den globalen Wandel hin zu emissionsfreien Fahrzeugen. [ISI25]

## 2.2 Lithium-Ionen-Batterien

Lithium-Ionen-Batterien werden aufgrund ihrer kompakten Bauweise bereits seit Jahren in der Computertechnik eingesetzt. Ihr Anwendungsbereich erstreckt sich dabei von Smartphones bis hin zu Laptops. Angesichts des bevorstehenden Verbots von Blei in Fahrzeugen gewinnt ihr Einsatz auch im Automobilsektor zunehmend an Bedeutung und wird perspektivisch unverzichtbar.

Eine Lithium-Ionen-Batterie mit einer Nennspannung von X Volt besteht aus in Reihe geschalteten Zellen, wodurch sich die Zellspannungen addieren, während die Gesamtkapazität durch die Kapazität der schwächsten Zelle begrenzt bleibt. Für größere Kapazitätsanforderungen werden Zellen parallel geschaltet, wodurch sich die Kapazitäten der einzelnen Zellen addieren, während die Spannung unverändert bleibt. Die Bewertung einer solchen Batterie erfolgt klassischerweise anhand ihrer nominalen Kapazität, der gespeicherten elektrischen Energie und ihrer Leistung.

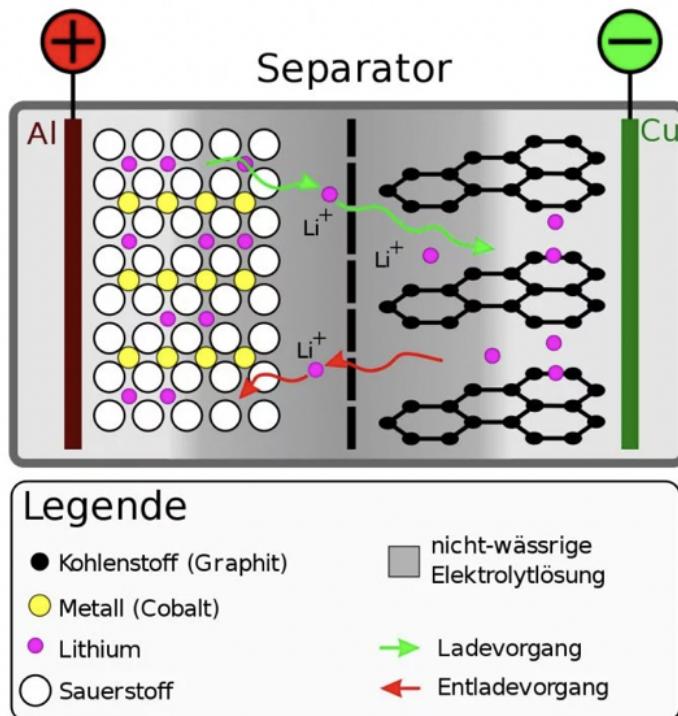


Abbildung 2.1: Aufbau einer Lithium-Ionen-Zelle [– D25]

Eine einzelne Lithium-Ionen-Zelle (siehe Abbildung 2.1) besteht grundlegend aus einer Anode, einer Kathode, einem Separator, Ableitern und einem Elektrolyten. Der positive Bereich der Zelle befindet sich auf der Seite der Anode, die aus einem Ableiter besteht, der mit einer Schicht aus Graphit, also Kohlenstoff, beschichtet ist. Als Material für den Ableiter wird üblicherweise Kupfer, seltener auch Nickel, verwendet. Die Kathode hingegen bildet das negative Element der Zelle und besteht aus einem Aluminium-Ableiter, der mit Materialien wie Lithium-Cobalt-Oxid, Lithium-Mangan-Oxid oder Lithium-Eisen-Phosphat beschichtet ist. Der Zwischenraum zwischen den beiden Elektroden ist mit einem flüssigen Elektrolyten gefüllt, der den Ionentransport zwischen den Elektroden ermöglicht. Dabei wird eine möglichst hohe Leitfähigkeit sichergestellt, um den Betrieb der Zelle in einem Temperaturbereich von -40 °C bis +80 °C zu gewährleisten. [Sie15] Ein Elektrolyt ist im Wesentlichen eine Flüssigkeit, die mit Leitsalzen angereichert ist, um den Ionentransport zu ermöglichen. Darüber hinaus muss das Elektrolyt eine hohe Stabilität aufweisen, um mehreren tausend Lade- und Entladezyklen standzuhalten. [Kor13, S.61f.] Der Separator bildet eine Trennschicht innerhalb des Elektrolyten zwischen den Elektroden einer Lithium-Ionen-Zelle. Er besteht in der Regel aus einer Membran oder einem Vliesstoff aus Materialien wie Glasfaser oder Kunststoffen und weist eine Porosität von etwa 40 % auf. Seine besondere Eigenschaft ist die selektive Durchlässigkeit für Ionen, die für die Umwandlung von chemischer in elektrische Energie unerlässlich sind. Elektronen hingegen werden durch den Separator blockiert, um sicherzustellen, dass sie über externe Leitungen zu den Verbrauchern, wie beispielsweise einem Steuergerät, transportiert werden können. Nach ihrer Nutzung kehren die Elektronen über den externen Stromkreis in die Zelle zurück, wo sie auf die gegenüberliegende Seite zu den Ionen gelangen.

[Kor13, S. 80] Der Separator spielt eine entscheidende Rolle bei der Vermeidung interner Kurzschlüsse, die ohne ihn auftreten würden. Zusätzlich fördert er den Gasaustausch, indem er das Elektrolyt aufsaugt. Die physikalischen Eigenschaften des Separators, wie seine Dicke und Porosität, beeinflussen maßgeblich den Innenwiderstand der Zelle und tragen somit zur Gesamtleistung bei. [Kor13, S. 80] Beim Laden einer Lithium-Ionen-Batterie fungiert die positive Elektrode als Anode, während sie beim Entladen als Kathode dient. Der Ladevorgang erfolgt üblicherweise nach dem sogenannten CC-CV-Verfahren (Constant Current - Con-

stant Voltage). Dabei wird zunächst ein konstanter Strom (Constant Current, CC) angelegt, bis die Batterie eine festgelegte Spannung erreicht. Anschließend wird die Spannung konstant gehalten (Constant Voltage, CV), wobei der Stromfluss progressiv abnimmt. Die Beendigung des Ladevorgangs erfolgt in der Regel durch eine vorgegebene Zeitbegrenzung oder das Erreichen einer definierten Stromschwelle. [Kor13, S. 15] Lithium-Ionen-Akkumulatoren sind stark temperaturabhängig, da bei sehr niedrigen Temperaturen der Innenwiderstand deutlich ansteigt. Dies ist auf die verlangsamten chemischen Reaktionen innerhalb der Zelle zurückzuführen. Darüber hinaus ist es essenziell, eine Überladung der Batterie zu vermeiden, da dies zu sogenannten Zerfallsreaktionen führen kann. Die Intensität dieser Reaktionen variiert je nach den verwendeten Materialien der Zellkomponenten und kann die Lebensdauer sowie die Sicherheit der Batterie erheblich beeinträchtigen. [Kor13, S. 15f.]

## 2.3 Normen zur Zeichnung von Schaltzeichen

### Entstehung und Bedeutung von Normen

Normen haben ihren Ursprung in der industriellen Revolution, als der Bedarf an standardisierten Verfahren und Produkten exponentiell anstieg. Unterschiedliche Maße, Zeichnungen oder Bezeichnungen führten zu Missverständnissen, Ineffizienzen und Fehlern in der Fertigung und Kommunikation. Um diesem Chaos entgegenzuwirken, wurden Normen geschaffen, die als verbindliche Regelwerke dienen.

Normen ermöglichen eine einheitliche Sprache zwischen Ingenieuren, Herstellern und Anwendern. Sie sichern die Kompatibilität von Bauteilen, verbessern die Qualität und fördern den internationalen Handel. Im Kontext technischer Zeichnungen – insbesondere von Schaltzeichen – gewährleisten Normen, dass technische Pläne weltweit eindeutig verstanden werden können, unabhängig von Sprache oder regionalen Besonderheiten.

## Die bekanntesten Normen für Schaltzeichen

Drei der bekanntesten und am häufigsten verwendeten Normen für Schaltzeichen sind:

- **DIN-Normen (Deutschland):** Diese Normen, herausgegeben vom Deutschen Institut für Normung, sind insbesondere im deutschsprachigen Raum verbreitet. Sie umfassen eine breite Palette von Standards, darunter auch solche für elektrische, hydraulische und pneumatische Schaltzeichen.
- **IEC-Normen (International):** Die International Electrotechnical Commission (IEC) ist für die Entwicklung global gültiger Standards verantwortlich. Die IEC 60617-Serie beispielsweise definiert Symbole für elektrotechnische Anlagen und Komponenten.
- **ANSI-Normen (USA):** Das American National Standards Institute (ANSI) ist die dominierende Normierungsorganisation in den USA. ANSI-Zeichnungen sind häufig in nordamerikanischen Projekten anzutreffen.

Die Wahl der Norm hängt von der Region und dem Anwendungsfall ab. Während europäische Projekte häufig auf DIN- oder IEC-Normen basieren, dominieren ANSI-Normen in den USA.

## Die DIN-Norm für Schaltzeichen im Detail

Die DIN-Normen sind in Deutschland der zentrale Standard für die Erstellung technischer Zeichnungen und Schaltpläne. Besonders relevant ist die Norm DIN EN 60617, die elektrische Schaltzeichen beschreibt. Diese Norm wurde in Zusammenarbeit mit der IEC entwickelt, was die internationale Anschlussfähigkeit erleichtert.

Die DIN EN 60617 regelt detailliert:

- **Die Darstellung von Bauelementen:** Elektronische Bauteile wie Widerstände, Kondensatoren oder Schalter haben klar definierte Symbole.
- **Das Layout von Schaltplänen:** Vorgaben für Linienführung, Anschlussstellen und Abstände zwischen Symbolen sorgen für Übersichtlichkeit.
- **Verbindungsleitungen:** Die Darstellung von Leitungen und Kreuzungen vermeidet Missverständnisse, beispielsweise durch eindeutige Markierungen bei Verbindungen.

Ein zentrales Ziel der DIN-Norm ist es, Komplexität zu reduzieren und eine intuitive Lesbarkeit zu fördern. Zusätzlich berücksichtigt die Norm auch neuere Technologien und Entwicklungen, wodurch sie immer wieder aktualisiert wird.

Durch die Einhaltung der DIN-Norm können Ingenieure sicherstellen, dass ihre Schaltpläne sowohl in der eigenen Organisation als auch international korrekt interpretiert werden. Normen sind daher nicht nur ein Werkzeug der Standardisierung, sondern auch ein Mittel zur Qualitätssteigerung und zur Vereinfachung technischer Prozesse.

## 2.4 Autodesk Fusion 360

Autodesk Fusion 360 ist eine integrierte Plattform für computergestütztes Design (CAD), Fertigung (Computer-Aided Engineering, kurz CAM) und technische Analyse (Computer-Aided Manufacturing, kurz CAE), die als Cloud-basierte Lösung entwickelt wurde. Sie erlaubt es, mechanische und elektronische Designprozesse zu vereinen, und bietet damit Ingenieuren, Designern und Entwicklern eine zentrale Plattform für die Produktentwicklung. Im Folgenden wird zunächst die Unternehmensgeschichte von Autodesk als Entwickler dieser Software beleuchtet, bevor die

Kernfunktionen und speziellen Funktionen zur Erstellung elektronischer Schaltpläne detailliert werden.

## **Historie und Entwicklung**

Autodesk Incorporated (Inc.) wurde 1982 von John Walker und einer Gruppe von Programmierern gegründet und spezialisierte sich schnell auf Softwarelösungen für Architektur, Ingenieurwesen und digitale Medien. [Wik24b] Die Veröffentlichung von AutoCAD im Jahr 1982 setzte einen wichtigen Meilenstein für die computergestützte Konstruktion und wurde zur führenden CAD-Software für Architekten und Ingenieure weltweit.[Wik24a]

Mit dem Aufkommen neuer Anforderungen in der Fertigungsindustrie und der Integration von Elektronik in mechanische Systeme begann Autodesk, eine neue Art von Software zu entwickeln. Ziel war es, die Mechanik- und Elektronikentwicklung auf einer Plattform zu vereinen und kollaboratives, Cloud-basiertes Arbeiten zu ermöglichen. Dies führte zur Einführung von Fusion 360 im Jahr 2013. [con24] Durch die Integration traditioneller CAD/CAM/CAE-Funktionen und die cloudbasierte Zusammenarbeit wurde Fusion 360 zu einem beliebten Werkzeug in der Produktentwicklung und verhalf Autodesk zu einer neuen Marktposition im Bereich der digitalen Fertigung.

## 3 Dokumentation

Um die bestmögliche Dokumentation des Systemaufbaus sicherstellen zu können, dürfen die Vorbereitungen, auf die Aufgabe, nicht unterschätzt werden. Diese lassen sich in zwei große Teile aufteilen. Der wichtigere von beiden Schritten ist die sorgfältige Auswahl eines passenden Tools zur Erstellung der Dokumentation. Aspekte wie Benutzerfreundlichkeit, Funktionen die erfüllt werden, Betriebssystemkompatibilitäten und Kosten spielen hier eine große Rolle. Um diese Auswahl mit genügend Sorgfalt zu treffen wird folgendes Vorgehen angewandt:

Es werden verschiedene CAD-Softwareprogramm recherchiert und evaluiert. Die Funktionen stehen hier an erster Stelle. Das Programm muss in der Lage sein, Stromlaufpläne und Bestückungspläne erstellen zu können. An nächster Stelle stehen die Kosten, die für das Programm abgerufen werden. Da das Projekt ein begrenztes Budget hat sollen diese möglichst gering gehalten werden. Wichtig zu beachten ist hierbei jedoch, dass die Kosten im Verhältnis zur gebotenen Leistung des Programms stehen müssen. Die Programme *Autodesk Fusion 360* und *EPlan* sind jeweils sehr vielversprechend. Die Nutzerfreundlichkeit ist in beiden Programmen gleichermaßen gegen. Entschieden wird sich für Autodesk Fusion 360, da EPlan über keine macOS Kompatibilität verfügt.

Im nächsten Schritt der Vorbereitung muss eine tiefgreifende und umfassende Einarbeitung in das Programm durchgeführt werden. Hier wird ein besonderes Augenmerk auf die Aspekte Stromlaufplanerstellung, Bestückungsplanerstellung, Bibliothekerstellung und die dazugehörige Erstellung neuer Bauteile sowie die Programm-Projekt-Struktur gelegt.

## 3.1 Installationsanleitung Fusion 360

Anleitung zur Erstellung eines Studentenaccounts und zum Herunterladen von Fusion 360 Electronics.

### **Erstellung eines Autodesk-Studentenaccounts**

Zur Nutzung von Fusion 360 Electronics ist die Erstellung eines Autodesk-Studentenaccounts erforderlich. Dies ermöglicht den kostenlosen Zugriff auf die Software.

#### **Registrierung**

- Zugriff auf die Registrierungsseite: [Autodesk Registrierungsseite](#).
- Ausfüllen des Formulars mit den notwendigen Informationen:
  - Vor- und Nachname
  - Gültige E-Mail-Adresse
  - Passwort entsprechend den Sicherheitsrichtlinien

#### **Bestätigung der E-Mail-Adresse**

- Nach dem Absenden des Formulars wird eine E-Mail zur Bestätigung empfangen.
- Öffnen der E-Mail und Klicken auf den Bestätigungslink zur Verifizierung der Adresse.

### **Vervollständigung der Profilinformationen**

- Anmeldung im Autodesk-Konto.
- Angabe weiterer Informationen wie Institution, Studienrichtung und Studienjahr zur Bestätigung des Studentenstatus.

### **Verifizierung des Studentenstatus**

- Hochladen eines Dokuments, das die Immatrikulation belegt (beispielsweise eine Studienbescheinigung).
- Autodesk prüft die Dokumente innerhalb weniger Tage und sendet eine Bestätigung per E-Mail.

## **Herunterladen und Installieren von Fusion 360 Electronics**

### **Zugriff auf den Download-Bereich**

- Nach erfolgreicher Verifizierung des Accounts erfolgt die Anmeldung und Navigation zur Autodesk Education Community.
- Auswahl von Fusion 360 aus der Liste der verfügbaren Software.

**Download und Installationsprozess** unterscheiden sich für verschiedene Betriebssysteme. Im folgenden wird auf die Unterschiede von Windows und macOS eingegangen.

## Windows

- Beachten Sie bei der Auswahl der Downloaddatei die Unterschiede zwischen den Softwareversionen für die verschiedenen Windows-Betriebssysteme. Diese unterscheiden sich in der Versionsnummer (beispielsweise „Windows 11“) und in den Bit-Versionen (32- und 64-Bit).
- Schritte zur Identifikation der Windows-Version:
  1. Drücke die Tastenkombination Windows-Taste + I, um die Einstellungen zu öffnen.
  2. Gehe zu System → Info.
  3. Unter Windows-Spezifikationen findest du die genaue Version und Edition von Windows (beispielsweise „Windows 11 Pro“, „Version 22H2“).
- Schritte zur Identifikation der Bit-Version:
  1. Drücke die Tastenkombination Windows-Taste + I, um die Einstellungen zu öffnen.
  2. Gehe zu System → Info.
  3. Unter Gerätespezifikationen → Systemtyp steht beispielsweise „64-Bit-Betriebssystem“.
- Klicken auf „Jetzt herunterladen“ und Befolgen der Anweisungen auf dem Bildschirm.
- Nach Abschluss des Downloads Öffnen der Installationsdatei und Befolgen der Installationsanweisungen.

## macOS

- Beachten Sie bei der Auswahl der Downloaddatei die Unterschiede zwischen der Softwareversion für Betriebssysteme mit Apple Silicon Prozessor und Intel Prozessor.
- Schritte zur Identifikation des verbauten Prozessors:
  1. Klicke oben links auf das Apple-Symbol.
  2. Wähle "Über diesen Mac".
  3. Schaue im Fenster, das sich öffnet:

Wenn dort „Chip“ steht, gefolgt von beispielsweise „Apple M1“ oder „Apple M2“, ist ein Apple Silicon Prozessor verbaut.  
Wenn dort „Prozessor“ steht, gefolgt von einem Intel-Prozessor (beispielsweise „Intel Core i5“), ist ein Intel-Prozessor in dem Mac verbaut.
- Klicken auf „Jetzt herunterladen“ und Befolgen der Anweisungen auf dem Bildschirm.
- Nach Abschluss des Downloads Öffnen der Installationsdatei und Befolgen der Installationsanweisungen.

## Aktivierung der Education-Lizenz

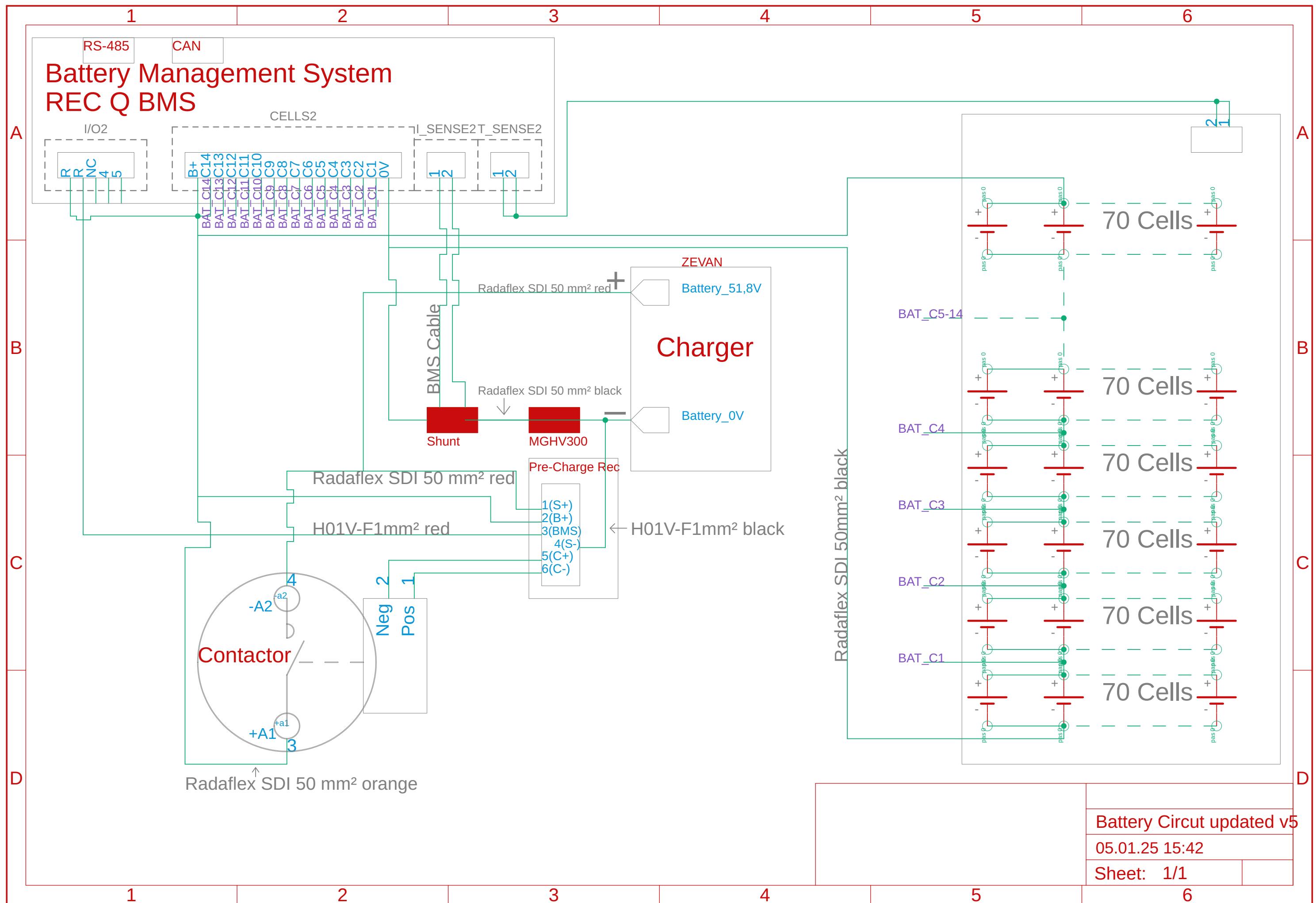
- Beim ersten Start von Fusion 360 erfolgt die Eingabe der Anmeldeinformationen.
- Die Software erkennt automatisch den Studentenstatus und aktiviert die entsprechende Lizenz.

## 3.2 Stromlaufpläne

### 3.2.1 Stromlaufplan Battery Circuit

Für die Erstellung des *Battery Circuit* (siehe Abbildung 3.1) Stromlaufplans nach festgelegter Norm und aktuellem Verbaustand wird der vorliegende Plan zunächst ausgedruckt. Im ersten Schritt wird dieser Stromlaufplan systematisch auf Unstimmigkeiten, wie fehlende Verbindungen oder unklare Symbolik, überprüft. Gefundene Fehler werden im nächsten Schritt markiert und anschließend korrigiert, wobei die Einhaltung elekrotechnischer Standards gewährleistet wird. Zudem erfolgt eine Layoutanpassung zur Verbesserung der Übersichtlichkeit. Im letzten Schritt muss herausgefunden werden, nach welcher Norm der Stromlaufplan erstellt wurde. Diese Norm muss recherchiert und in die von uns gewählte DIN EN 60617 Norm „übersetzt“ werden. Der überarbeitete Stromlaufplan wird abschließend mit Autodesk Fusion 360 in ein DIN-A3-Format übertragen. Dabei werden Titelblock und Legende integriert, um die Professionalität und Lesbarkeit sicherzustellen.

Abbildung 3.1: Schaltplan des Battery Circuits

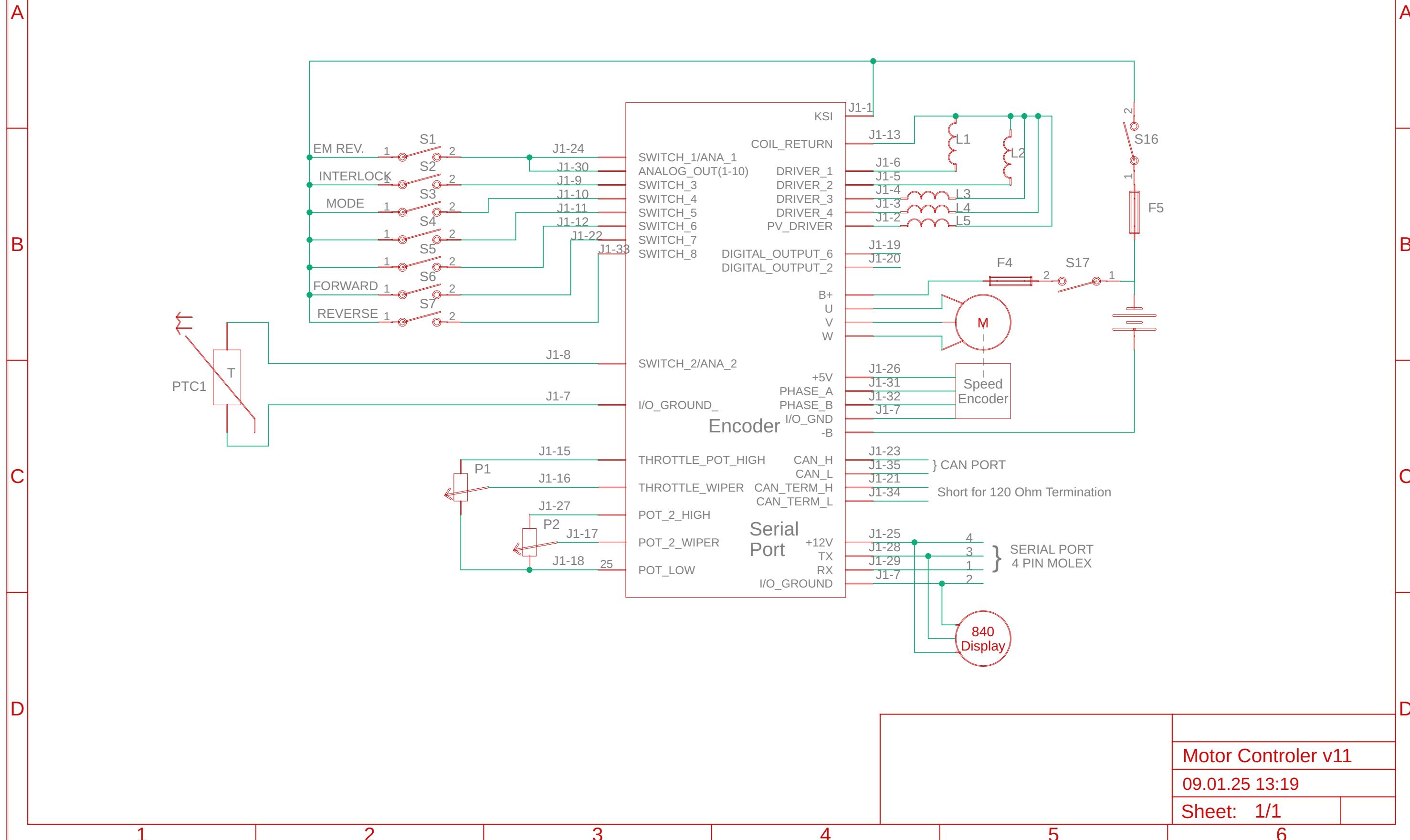


### 3.2.2 Stromlaufplan Motor Controller

Für die Erstellung des *Motor Controller* (siehe Abbildung 3.2) Stromlaufplans nach festgelegter Norm und aktuellem Verbaustand wird der vorliegende Plan zunächst ausgedruckt. Im ersten Schritt wird dieser Stromlaufplan systematisch auf Unstimmigkeiten, wie fehlende Verbindungen oder unklare Symbolik, überprüft. Gefundene Fehler werden im nächsten Schritt markiert und anschließend korrigiert, wobei die Einhaltung elektrotechnischer Standards gewährleistet wird. Zudem erfolgt eine Layoutanpassung zur Verbesserung der Übersichtlichkeit. Im letzten Schritt muss herausgefunden werden, nach welcher Norm der Stromlaufplan erstellt wurde. Diese Norm muss recherchiert und in die von uns gewählte DIN EN 60617 Norm „übersetzt“ werden. Der überarbeitete Stromlaufplan wird abschließend mit Autodesk Fusion 360 in ein DIN-A3-Format übertragen. Dabei werden Titelblock und Legende integriert, um die Professionalität und Lesbarkeit sicherzustellen.

1 2 3 4 5 6

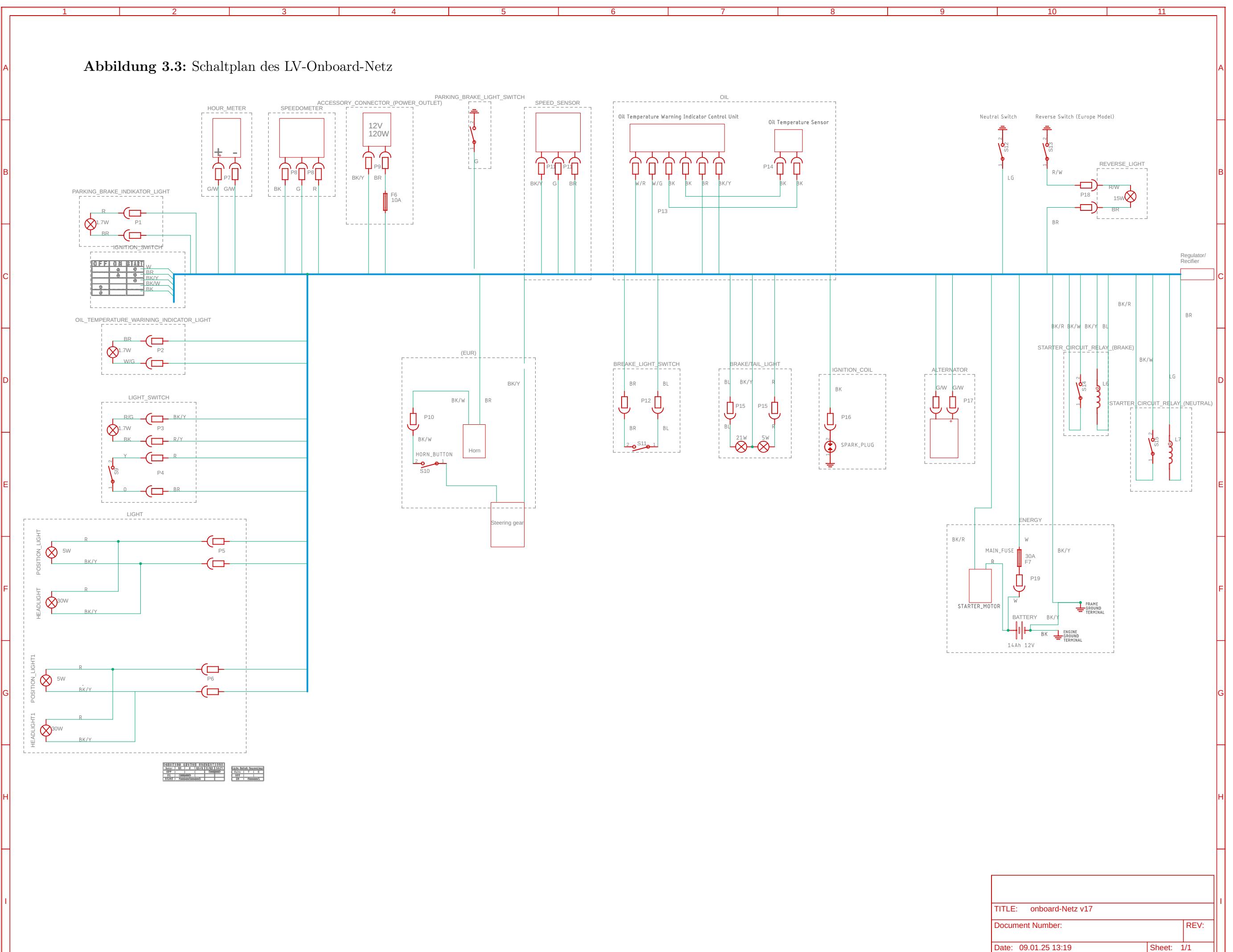
Abbildung 3.2: Schaltplan des Motor Controllers



1 2 3 4 5 6

### 3.2.3 Stromlaufplan LV-Onboard-Netz

Für die Erstellung des *LV-Onboard-Netz* (siehe Abbildung 3.3) Stromlaufplans nach festgelegter Norm und aktuellem Verbaustand wird der vorliegende Plan zunächst ausgedruckt. Im ersten Schritt wird dieser Stromlaufplan systematisch auf Unstimmigkeiten, wie fehlende Verbindungen oder unklare Symbolik, überprüft. Gefundene Fehler werden im nächsten Schritt markiert und anschließend korrigiert, wobei die Einhaltung elektrotechnischer Standards gewährleistet wird. Zudem erfolgt eine Layoutanpassung zur Verbesserung der Übersichtlichkeit. Im letzten Schritt muss herausgefunden werden, nach welcher Norm der Stromlaufplan erstellt wurde. Diese Norm muss recherchiert und in die von uns gewählte DIN EN 60617 Norm „übersetzt“ werden. Der überarbeitete Stromlaufplan wird abschließend mit Autodesk Fusion 360 in ein DIN-A3-Format übertragen. Dabei werden Titelblock und Legende integriert, um die Professionalität und Lesbarkeit sicherzustellen.



### 3.2.4 Stromlaufplan Charger Temperature Control

Für die Erstellung des *Charger Temperature Control* (siehe Abbildung ??) Stromlaufplans nach festgelegter Norm und aktuellem Verbaustand wird zunächst eine händische Skizze des Systems, durch die für den Einbau zuständigen Kollegen, angefertigt und an das Dokumentationsteam weitergegeben. Im ersten Schritt wird dieser Stromlaufplan systematisch auf Unstimmigkeiten, wie fehlende Verbindungen oder unklare Symbolik, überprüft. Gefundene Fehler werden im nächsten Schritt markiert und anschließend korrigiert, wobei die Einhaltung elektrotechnischer Standards gewährleistet wird. Zudem erfolgt eine Layoutanpassung zur Verbesserung der Übersichtlichkeit. Im letzten Schritt muss die Normkonformität der Stromlaufplanskizze überprüft werden. Der überarbeitete Stromlaufplan wird abschließend mit Autodesk Fusion 360 in ein DIN-A3-Format übertragen. Dabei werden Titelblock und Legende integriert, um die Professionalität und Lesbarkeit sicherzustellen.

!!!!!!Einfügen @Buck

### 3.2.5 Stromlaufplan HV-Onboard-Network

Für die Erstellung des *HV-Onboard-Network* (siehe Abbildung 3.4) Stromlaufplans nach festgelegter Norm und aktuellem Verbaustand wird zunächst eine händische Skizze des Systems, durch die für den Einbau zuständigen Kollegen, angefertigt und an das Dokumentationsteam weitergegeben. Im ersten Schritt wird dieser Stromlaufplan systematisch auf Unstimmigkeiten, wie fehlende Verbindungen oder unklare Symbolik, überprüft. Gefundene Fehler werden im nächsten Schritt markiert und anschließend korrigiert, wobei die Einhaltung elektrotechnischer Standards gewährleistet wird. Zudem erfolgt eine Layoutanpassung zur Verbesserung der Übersichtlichkeit. Im letzten Schritt muss die Normkonformität der Stromlaufplanskizze überprüft werden. Der überarbeitete Stromlaufplan wird abschließend mit Autodesk Fusion 360 in ein DIN-A3-Format übertragen. Dabei werden Titelblock und

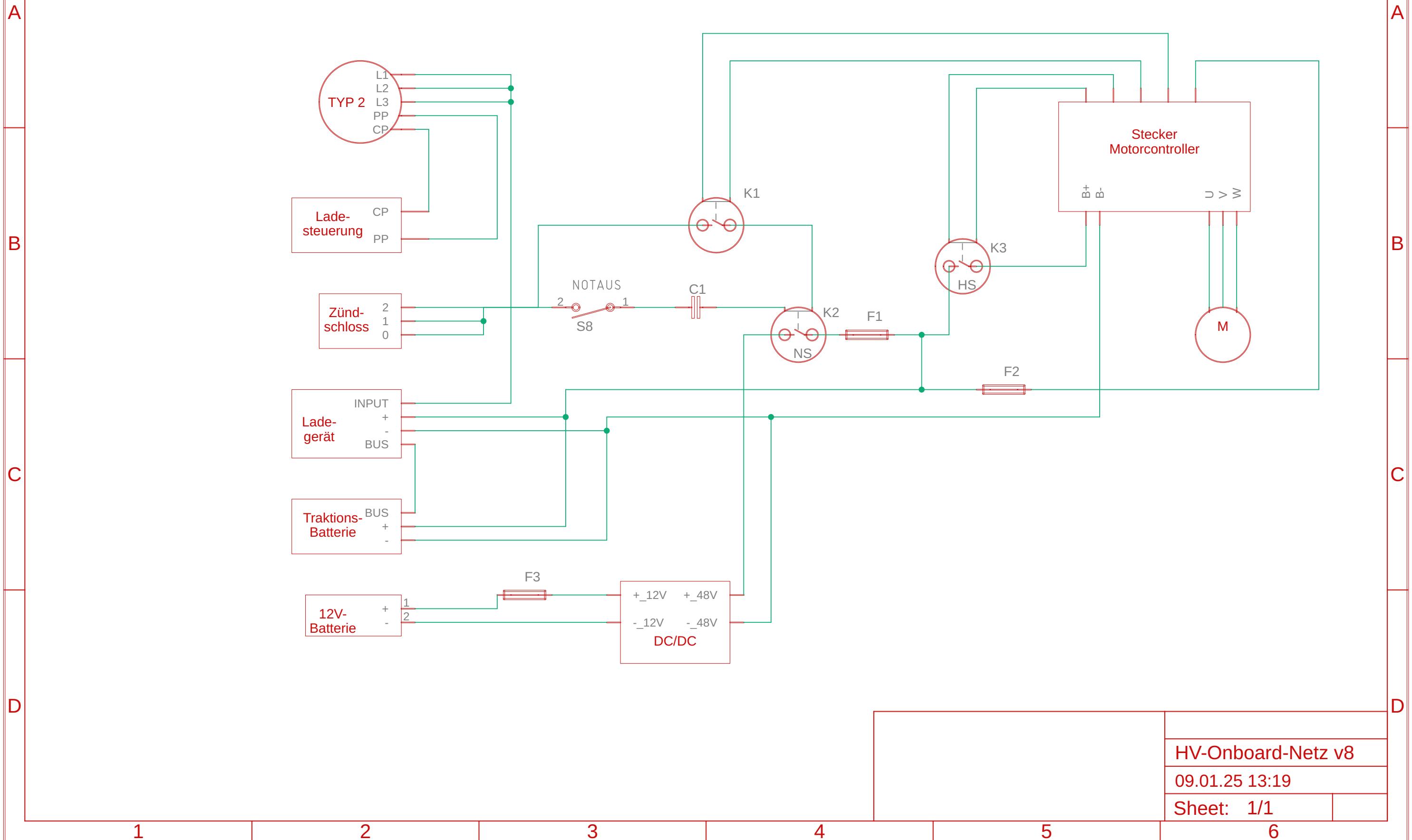
### *3 Dokumentation*

---

Legende integriert, um die Professionalität und Lesbarkeit sicherzustellen.

1 2 3 4 5 6

Abbildung 3.4: Schaltplan des HV-Onboard-Networks



### 3.3 Legende der Schaltzeichen

In der folgenden Tabelle (siehe Abbildung 3.1) werden die verwendeten Schaltzeichen des Stromlaufpläne gemäß der Norm DIN EN 60617 erläutert. Diese Schaltzeichen dienen dazu, die elektrischen Komponenten und deren Verbindungen im Stromlaufplan eindeutig und standardisiert darzustellen. Die Legende bietet eine Übersicht über jene Symbole, die in den vorangegangenen Stromlaufplänenplänen verwendet werden, und erleichtert so das Verständnis der Systemarchitektur und Funktionalität der einzelnen Pläne sowie des Gesamtsystems. Dieses Verzeichnis umfasst aktuell:

- Schütz
- Kondensator
- Funkenstrecke
- Masse
- Batterie
- Sicherung
- Schalter
- Positive Temperature Coefficient (PTC)-Widerstand
- Potentiometer
- Stecker
- LED (Light Emitting Diode)
- Spule
- Drei-Phasen-Motor

Im weiteren Verlauf des Projekts kann dieses Verzeichnis beliebig um weitere Schaltzeichen ergänzt und angepasst werden.

Symbol	Beschreibung
	Schütz
	Kondensator
	Funkenstrecke
	Masse (Ground)
	Batterie
	Sicherung
	Schalter
	PTC-Widerstand
	Potentiometer
	Stecker
	LED
	Spule
	Drei-Phasen-Motor

**Tabelle 3.1:** Legende der Symbole

# 4 CD Modelling

## 4.1 Introduction and Technical Background

Battery enclosures are critical components in the design of energy storage systems, particularly in mobile and compact applications. They serve as structural containers for lithium-ion cells and provide necessary protection against environmental and mechanical influences. Their design must reconcile several competing requirements: mechanical robustness, thermal management, electrical insulation, compactness, and manufacturability. With the increasing adoption of 3D printing technologies, engineers now have more flexibility to prototype and produce such enclosures, particularly for small-series or custom applications [Geb16].

Modern lithium-ion cells come in standardized formats, such as cylindrical (e.g., 18650), prismatic, or pouch cells. Each of these formats imposes specific geometric and thermal constraints on the enclosure. Cylindrical cells, for example, are highly space-efficient in tightly packed arrays but require firm fixation and vibration damping, as well as thermal spacing to avoid overheating. Enclosures for such cells often include integrated cell holders, structural ribs, and defined cooling pathways [PL18].

An essential consideration in battery pack design is thermal management. Since lithium-ion batteries are sensitive to excessive heat, the enclosure must ensure proper heat dissipation. Passive solutions, such as airflow channels or thermally conductive plastics, can be incorporated into the design. In high-performance

applications, the enclosure may include embedded cooling elements. The thermal behavior of the entire assembly must be taken into account early in the design phase to avoid heat accumulation and ensure battery safety and longevity.

Mechanical constraints also play a decisive role. Battery packs are often subjected to vibration, shocks, and compression forces. Therefore, the housing material must be both strong and lightweight. Common materials used in 3D printing for such applications include ABS, PETG, and polyamide (PA12), each of which offers a specific balance of mechanical resilience, thermal resistance, and printability [Geb16].

The enclosure design must also accommodate connectors, cable guides, ventilation openings, and possibly fasteners for mounting within a device or vehicle. All of these features must be precisely aligned and dimensioned to ensure a secure and reliable assembly. Such complexity makes parametric and constraint-based design software particularly valuable.

## 4.2 Design Approach Using Fusion 360

Autodesk Fusion 360 provides an integrated environment for computer aided design (CAD), simulation, and Computer-Aided Manufacturing (CAM), which makes it particularly well-suited for iterative design and prototyping of technical components like battery enclosures. Its parametric modeling capabilities allow engineers to define the relationships between different parts of the geometry, ensuring that dimensional adjustments propagate automatically throughout the model [Hog].

Using Fusion 360, a designer can first define a master sketch that includes key dimensions such as cell spacing, wall thickness, and screw positions. Through extrusion and patterning, these base geometries are transformed into 3D solids. Additional features such as ventilation slots or mounting flanges can be added using

derived sketches and Boolean operations[Hog]..

Assemblies in Fusion 360 enable designers to position and constrain battery cells within the enclosure, simulating real-world configurations. This allows for spatial validation and interference checking early in the process, reducing the risk of design flaws during manufacturing[Hog]..

Moreover, Fusion 360 supports exporting the final design directly into formats suitable for additive manufacturing, such as STL or 3MF. This integration streamlines the workflow from design to production, making it ideal for rapid prototyping and validation[Hog]..

From a manufacturability perspective, the designer must also follow principles of Design for Additive Manufacturing (DfAM). This includes minimizing unsupported overhangs, ensuring even wall thicknesses, and aligning features for optimal layer orientation. Fusion 360 offers visualization tools and slicer integration to help evaluate the printability of the part [And20].

In summary, Fusion 360 offers the necessary flexibility and functionality to develop complex battery enclosures that meet structural, thermal, and electrical requirements. Its parametric design environment, combined with visualization and export tools, makes it an effective platform for realizing functional prototypes that are ready for testing and refinement.

## **4.3 Design and Development of a Modular Lithium-Ion Battery System**

The design illustrates a modular lithium-ion battery storage system, developed for high-density energy applications such as stationary energy storage, backup infrastructure, or mobile electrification platforms. The system is based on 21700-

format lithium-ion cells, arranged in a densely packed structural configuration to optimize both volumetric energy density and thermal dissipation properties. The design process was carried out using CAD modeling tools, including parametric 3D assemblies, with iterative thermal and structural simulations executed to ensure mechanical and thermal stability under nominal and elevated load conditions.

## 4.4 Introduction

The design of battery housings is an essential step in developing reliable energy storage systems. Autodesk Fusion 360 offers an integrated CAD environment ideal for creating precise and adaptable models, especially when targeting additive manufacturing methods. This section focuses on the detailed process of creating, structuring, and refining battery enclosure CAD files within Fusion 360, emphasizing parametric design and manufacturability [Hog].

## 4.5 Parametric Modeling Principles

Parametric modeling underpins efficient design workflows in Fusion 360. By defining key dimensions and constraints as parameters, changes can be propagated throughout the model automatically. This approach enables rapid iteration and consistent accuracy across complex geometries [And20].

Initial modeling begins with sketches representing cross-sectional profiles of the battery cells and enclosure features. These sketches are converted into 3D geometry via extrusion, revolution, or other solid modeling operations. Parameters controlling dimensions such as cell diameter, wall thickness, and sensor pocket size are set at the outset, allowing easy adjustments during development [Geb16].

## 4.6 Base Geometry and Cell Arrangement

The first step is designing the footprint to hold the battery cells securely. For cylindrical 18650 cells, a circular sketch with a diameter of 18.6 mm is created. To accommodate tolerances and thermal expansion, an additional clearance of approximately 1.5 to 2 mm is added around each cell [PL18]. Using Fusion 360's pattern features, this base slot is duplicated to form the desired cell matrix arrangement.

Next, the outline of the overall enclosure is sketched, defining the external boundaries. The sketch is extruded to form the base structure, with wall thickness set according to mechanical strength requirements and printability constraints, typically ranging from 2 mm to 4 mm [Geb16].

## 4.7 Feature Addition: Sensor Integration and Cable Management

A critical aspect of the enclosure design is the integration of temperature sensors. Dedicated pockets are created by cutting recesses adjacent to the battery cells using parametric cut operations. These pockets are dimensioned to fit common thermistors or digital sensors securely, ensuring reliable thermal contact [And20].

Additionally, routing channels for sensor wiring are incorporated into the design. These channels prevent wire interference and facilitate clean assembly. All such features are parameter-driven, allowing dimension adjustments as sensor specifications or wiring requirements evolve.

## 4.8 Assembly Modeling and Component Placement

Fusion 360's assembly workspace enables importing battery cell and sensor component models. These are positioned within the enclosure to verify fit, clearances, and spatial relationships. The assembly environment supports the use of constraints and joints, allowing realistic simulation of component interactions [Hog].

Parameters controlling cell spacing, sensor pocket depth, and cable routing pathways are globally defined. Altering any parameter updates the entire assembly model, significantly improving design iteration speed and accuracy.

## 4.9 Design for Additive Manufacturing (DfAM) Considerations

Throughout the modeling process, adherence to DfAM principles is crucial to ensure manufacturability via 3D printing. This includes minimizing overhangs exceeding recommended angles (usually 45°), maintaining uniform wall thickness to prevent warping, and designing features to reduce the need for support material [And20].

Fillets and chamfers are strategically applied to edges to improve mechanical strength and printing quality. The model is split into modular subassemblies where necessary, facilitating multi-part printing and post-processing.

## 4.10 Manufacturing Preparation and Export

The final step in the design workflow involves exporting the CAD files into formats compatible with slicing software, primarily STL or 3MF [Geb16]. Fusion 360's built-in manufacturing tools allow users to simulate print jobs, preview layer-by-layer builds, and optimize part orientation for strength and surface finish.

Subsequent iterations incorporate feedback from prototype prints, with dimension adjustments made via the parametric model to fine-tune fit and function.

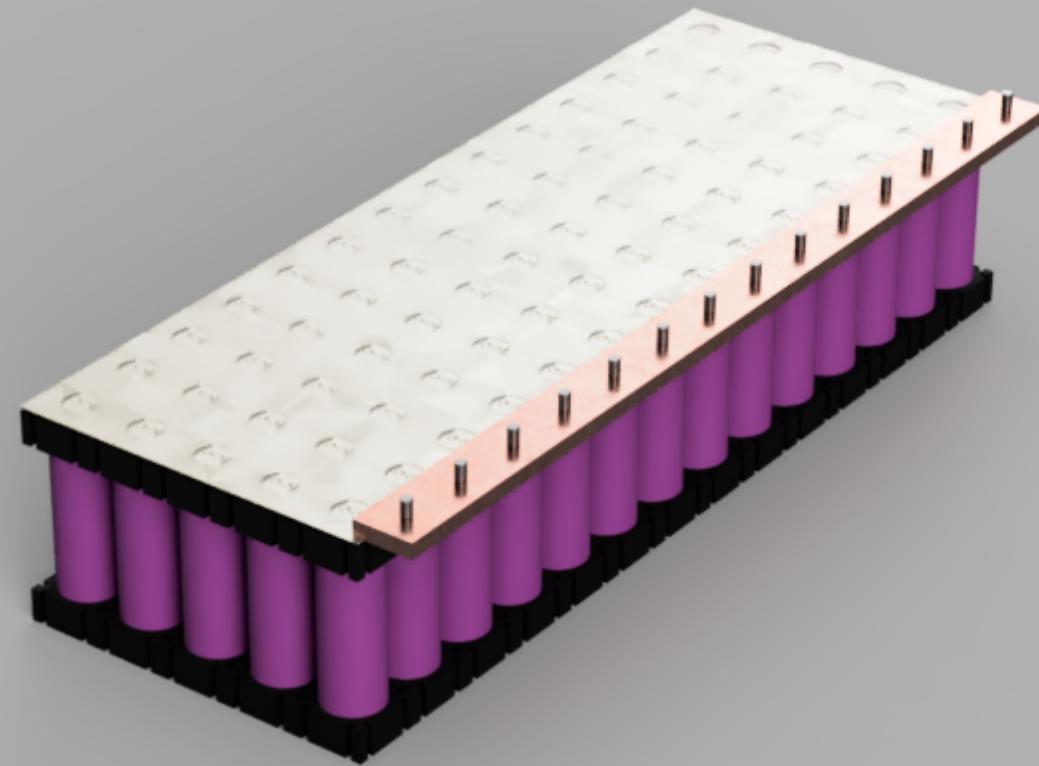
## 4.11 Iterative Refinement and Version Control

Due to the parametric nature of the model, any necessary refinements—such as modifying sensor pocket sizes or wall thickness—are efficiently implemented without reconstructing the design from scratch [Hog]. Fusion 360's version control system aids in tracking changes and managing design variants.

This iterative design methodology accelerates development timelines and reduces errors, particularly when integrating complex features like sensor integration and wiring management.

## 4.12 Application Context: Battery Housing for the E-Mule Energy Storage System

**Abbildung 4.1:** detailed 3D CAD rendering of a lithium-ion cell used in the energy storage system.



The battery pack presented in 4.1 was designed specifically for use in an electric utility vehicle—the E-Mule. In such mobile applications, energy storage must not only provide sufficient capacity and power density, but also fulfill mechanical and thermal requirements, ensure serviceability, and allow compact packaging. These constraints played a central role in the CAD modeling process and directly influenced key design decisions.

The final design was entirely created using Fusion 360, with a strong focus on modularity, manufacturability, and the physical integration of standard lithium-ion cells (type 21700). The enclosure and internal structures were tailored for additive manufacturing using PETG, a common thermoplastic with suitable strength and heat resistance [Geb16]. No electrical testing or thermal simulation was conducted as part of this stage; the focus remained on the mechanical layout and enclosure architecture.

## 4.13 Detailed CAD Design Process in Fusion 360

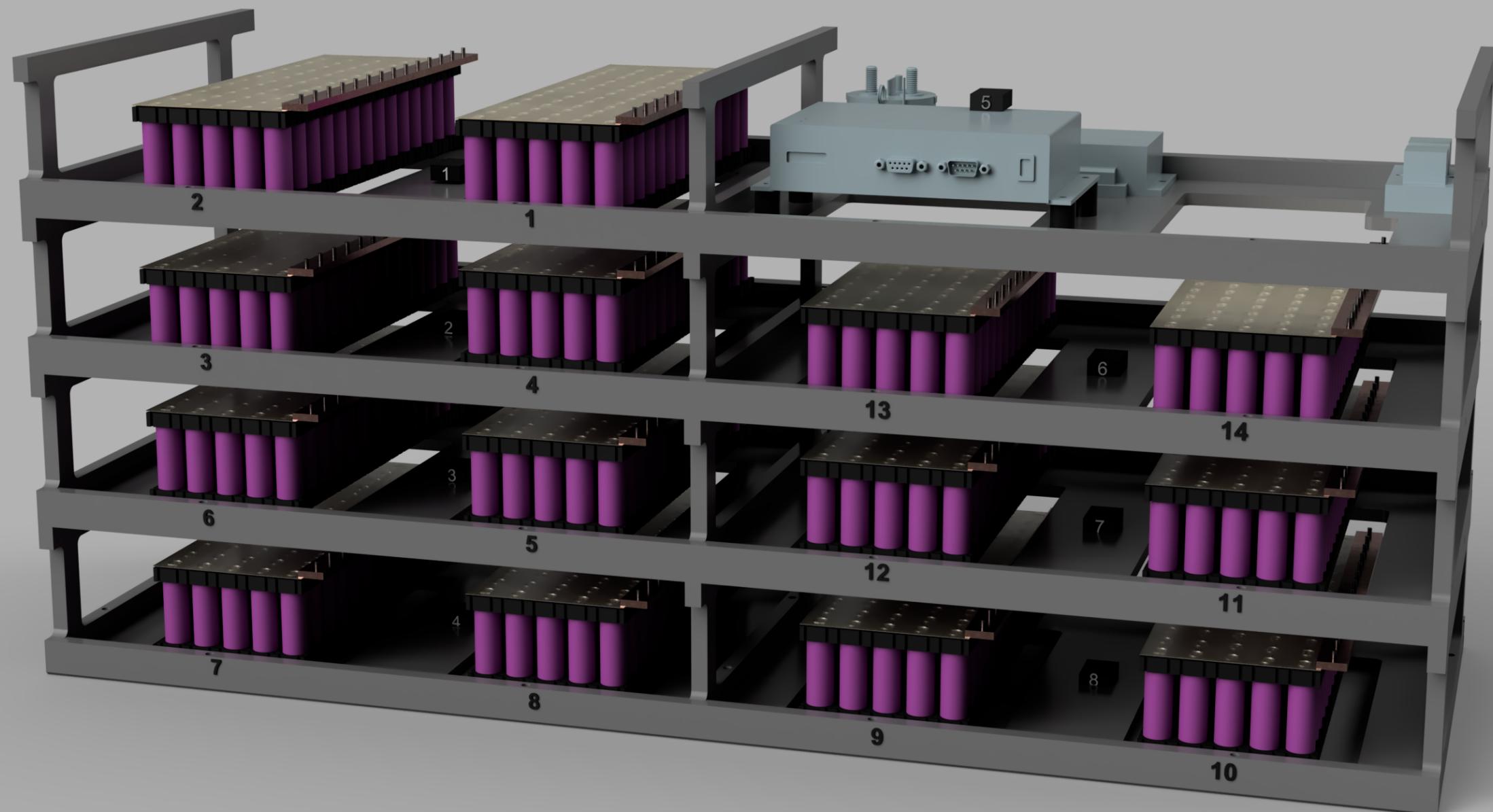
### 4.13.1 Cell Holder Design and Arrangement

The first modeling step was the design of an individual battery cell holder (4.1). Each cell is a cylindrical 21700 lithium-ion battery, typically 21 mm in diameter and 70 mm in length. In Fusion 360, a 2D sketch was created with circular cutouts for each cell, spaced evenly in a grid pattern. These cutouts were then extruded to form vertical cavities, which securely hold the cells while leaving sufficient clearance for thermal expansion and wiring.

To ensure consistent wall thickness and clearance, the design used parameterized dimensions tied to a master sketch. This allowed rapid iteration and adjustment of the number of cells in the matrix.

The resulting layout provides space for a total of 70 cells ( $14 \times 5$  array), which was deemed sufficient for the E-Mule's use case in terms of energy content. The precision and symmetry of the layout were maintained through pattern tools and the use of midplane construction lines.

**Abbildung 4.2:** Fully assembled energy storage module.

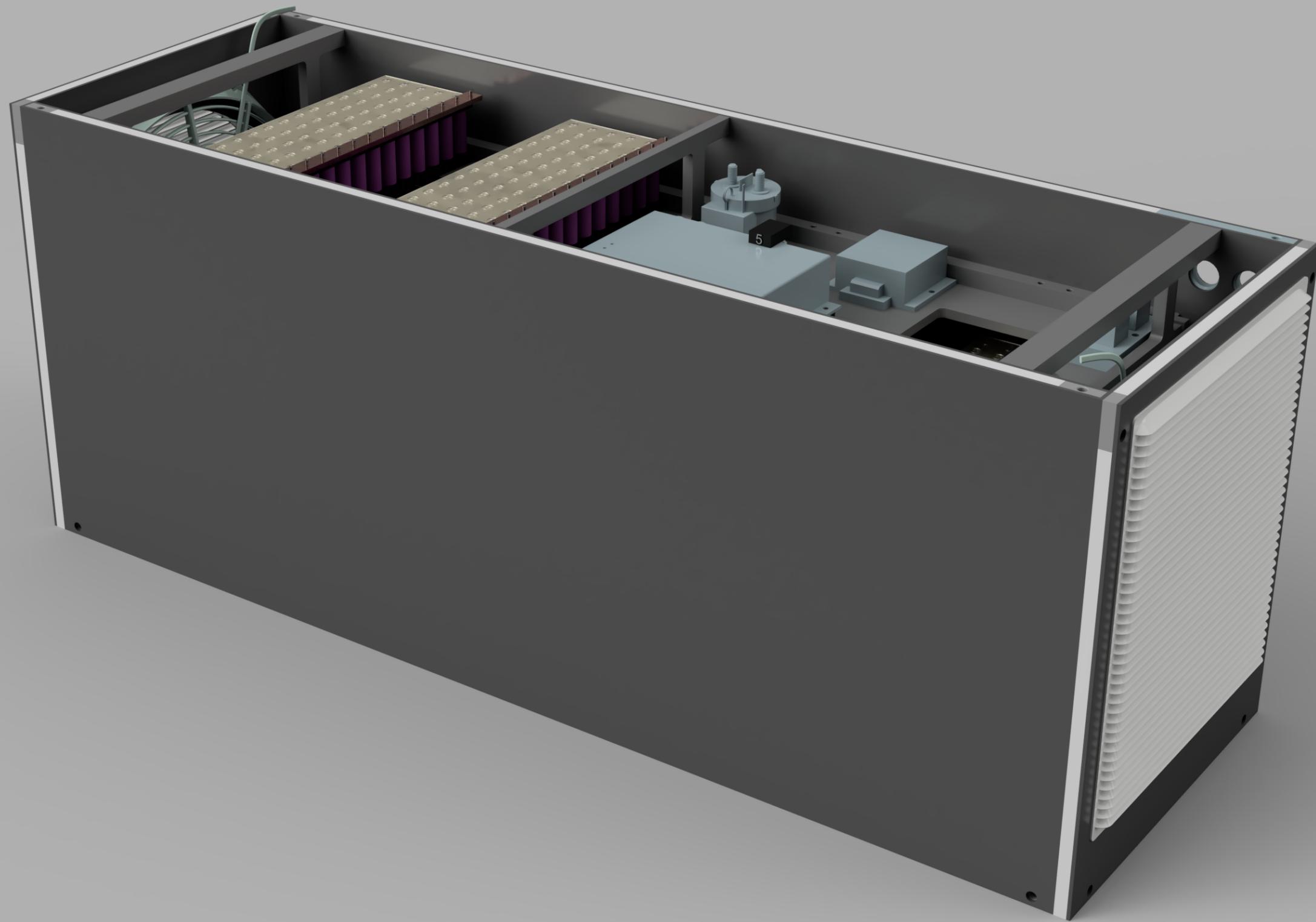


After creating the single cell holder as a component, it was duplicated and arranged in Fusion 360’s assembly environment to simulate the full module layout, seen in 4.2. This stage focused on integrating all components—holders, cell blocks, connector slots, sensor openings—into a complete mechanical structure.

During assembly, care was taken to maintain access to each row for both cooling and cabling. Clearances were checked using section analysis and interference detection tools within Fusion 360. Dummy models of power connectors and temperature sensors were placed to simulate real-world installation.

#### **4.13.2 Integration of the Protective Enclosure**

**Abbildung 4.3:** Fully assembled energy storage module with housing for use in the eMule vehicle.



The final design step was the addition of a functional enclosure as seen in 4.3. The enclosure was modeled as a single shell body with integrated ventilation openings, flanged screw points, and access cutouts for connectors. Its purpose is to protect the cells from mechanical impact, environmental contamination, and unintentional contact.

The enclosure follows the contour of the internal components closely, minimizing unused space while allowing air to circulate between components. To accommodate additive manufacturing constraints, all overhangs were designed with a maximum angle of 45°, and fillets were added at all interior corners to prevent stress concentration. A removable lid was included to enable servicing of the battery.

The following figure illustrates the fully enclosed battery system, ready for 3D printing.

## 4.14 Conclusion on the CAD Design Process

Using Fusion 360 allowed for a highly structured, iterative, and parametric modeling workflow. All geometric relationships between components were carefully maintained, which significantly simplified later adjustments. The use of parametric sketches and pattern tools proved crucial in efficiently laying out large arrays of repetitive features, such as the cell holders.

The final result is a complete digital twin of the battery system, suited for additive manufacturing and integration in the E-Mule platform. While no physical tests or simulations were performed, the model meets the spatial, mechanical, and packaging criteria outlined at the beginning of the project.



# **5 Kritische Reflektion und Ausblick**

Im Rahmen des Projekts eMule 7.0 wurden verschiedene Ziele für das Wintersemester 2024 definiert, darunter:

1. Fortsetzung der Entwicklung und Installation des neuen Energiespeichersystems in Form einer Traktionsbatterie für das eMule-Fahrzeug,
2. Weiterentwicklung des Kühlsystems der Traktionsbatterie,
3. Verbesserung der Temperaturregelung des Kühlsystems durch Arduino-Mikrocontrollerprogrammierung,
4. Optimierung der Verkabelung des Traktionsbatteriemanagementsystems,
5. Integration zusätzlicher Sensoren,
6. Erstellung aktueller Stromlauf- und Bestückungspläne der elektrisch/elektronischen Fahrzeugschaltkreise,
7. Standardisierung und Vereinheitlichung der System- und Einzelkomponentenpläne,
8. Entwicklung einer Installationsanleitung für Autodesk Fusion 360 für verschiedene Betriebssysteme,

9. Durchführung von Messungen und Funktionstests,
10. Vorbereitung des Fahrzeugs auf die bevorstehende Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Prüfung und Technischer Überwachungsverein (TÜV) Abnahme.

Da sich diese Arbeit ausschließlich auf die Ziele 6 bis 8 konzentriert, werden im Folgenden nur diese detailliert betrachtet.

Um die Erstellung aktueller Stromlaufpläne effizient zu gestalten, wurden zwei verschiedene Vorgehensweisen angewendet. Bei der Aktualisierung bereits vorhandener Pläne wurde folgender Prozess implementiert: Die bestehenden Pläne wurden zunächst ausgedruckt und systematisch auf Unstimmigkeiten, wie fehlende Verbindungen oder unklare Symbolik, überprüft. Markierte Fehler wurden anschließend korrigiert, um die Einhaltung elektrotechnischer Standards sicherzustellen. Zusätzlich erfolgte eine Layoutanpassung, um die Übersichtlichkeit zu verbessern. Schließlich wurde die zugrundeliegende Norm des ursprünglichen Stromlaufplans identifiziert, recherchiert und in die gewählte Norm DIN EN 60617 "übersetzt." Die überarbeiteten Pläne wurden mit Autodesk Fusion 360 in ein DIN-A3-Format übertragen. Durch die Integration von Titelblöcken und Legenden konnte eine professionelle und lesbare Darstellung sichergestellt werden.

Stromlaufpläne wurden für alle Systemteile erstellt, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Arbeit finalisiert waren. Diese Pläne entsprechen den Standards der DIN EN 60617, sind einheitlich gestaltet und in einem übergeordneten Gesamtprojekt integriert. Insgesamt wurden fünf Stromlaufpläne erstellt. Aufgrund interner Absprachen wurde die Erstellung der Bestückungspläne auf den nächsten Bearbeitungszeitraum im Sommersemester 2025 verschoben.

Im Rahmen dieser Arbeiten wurde das Team in die Software Autodesk Fusion 360 eingearbeitet, eine eigene Bibliothek für die Norm DIN EN 60617 erstellt und eine Struktur zur einfachen Erweiterung der Bibliothek implementiert. Zudem wurde sichergestellt, dass neue Teammitglieder unkompliziert zur Projektcloud

---

hinzugefügt werden können. Eine detaillierte Anleitung zur Installation der CAD-Software auf allen relevanten Betriebssystemen wurde ebenfalls bereitgestellt. Der Installationsprozess auf den laborinternen Geräten wurde gestartet.

Neben den teamspezifischen Aufgaben unterstützte das Team andere Projektgruppen. Dies umfasste beispielsweise das Verladen sowie den Ein- und Ausbau der Batterie in das Fahrzeug und das Bohren zusätzlicher Löcher in die Außenwand des Fahrzeugs, um die Funktionalität der Lüfter zu verbessern.

## Ausblick

Zwischen dem abgeschlossenen Arbeitszeitraum "Wintersemester 2024" und dem bevorstehenden Sommersemester 2025" werden die Teams ihre Aufgaben im reduzierten Umfang weiterführen, je nach Bedarf und Möglichkeit. Zudem ist eine TÜV-Abnahme des Fahrzeugs geplant.

Im kommenden Bearbeitungszeitraum sollen ergänzend zur bestehenden Dokumentation weitere Stromlaufpläne erstellt und integriert werden. Zusätzlich wird die Dokumentation durch Bestückungspläne erweitert. Um die Übersichtlichkeit weiter zu erhöhen, wird die gesamte Dokumentation in einem zentralen Dokument zusammengeführt.

Weitere Ziele für das nächste Semester umfassen die Modularisierung der Batterie, den Einbau eines Bussystems, die Erweiterung der Temperaturüberwachung, die Modularisierung der Powerbox sowie die Installation eines Cockpit-Displays, das Fahr-, Verbrauchs- und Leistungsdaten anzeigt. Als optionales Ziel wird der Einbau einer Musikanlage in Betracht gezogen, sofern der Fortschritt des Systems dies zulässt.



# Literaturverzeichnis

- [– D25] scinexx – Das Wissensmagazin. *Akku mit Schattenseiten: Ökologische und soziale Herausforderungen der Batterieproduktion*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.scinexx.de/dossierartikel/akku-mit-schattenseiten/>.
- [ADA25] ADAC. *Stromverbrauch von Elektroautos im ADAC-Test*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektmobilitaet/elektroauto/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>.
- [alp25] ARD alpha. *Henry Ford: Wie er das Auto und die Produktion revolutionierte*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.ardalpha.de/wissen/geschichte/kulturgeschichte/henry-ford-automobil-auto-fliessband-erfinder-100.html>.
- [And20] David M. Anderson. *Design for Manufacturability: How to Use Concurrent Engineering to Rapidly Develop Low-Cost, High-Quality Products for Lean Production*. Second edition. New York, NY: Routledge, Taylor & Francis, 2020. 1 S. ISBN: 978-0-429-28598-1 978-1-00-076478-9 978-1-00-076496-3 978-1-00-076487-1.
- [Blo25] EnBW Blog. *Elektroautos: Vorteile und Nachteile im Überblick*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/fahren/elektroautos-vorteile-und-nachteile-im-ueberblick/>.

## Literaturverzeichnis

---

- [con24] Wikipedia contributors. *Autodesk – Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. [Online; abgerufen am 13. November 2024]. 2024. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Autodesk>.
- [Ein25] EinfacheAuto. *Die Geschichte des Elektroautos: Von den Anfängen bis heute*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://einfacheauto.de/blog/die-geschichte-des-elektroautos-von-den-anfangen-bis-heute>.
- [Ene25a] Energieleben. *Die Geschichte des EV1*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.energieleben.at/die-geschichte-des-ev1/>.
- [Ene25b] EnergyProfi. *Geschichte der Elektromobile und Hybridfahrzeuge ab 1900*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.energyprofi.com/uncategorized/geschichte-der-elektromobile-und-hybridfahrzeuge-ab-1900/>.
- [Geb16] Andreas Gebhardt. *Additive Fertigungsverfahren: additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping - Tooling - Produktion*. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. München: Hanser, 2016. 1 S. ISBN: 978-3-446-44539-0.
- [Gre25] Greelane. *Charles Kettering und das elektrische Zündsystem*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.greelane.com/de/gesteswissenschaften/geschichte--kultur/charles-kettering-electrical-ignition-system-4076281>.
- [gün25] Tanke günstig. *Aktuelle Ölpreise: Überblick und Entwicklung*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.tanke-guenstig.de/oelpreise>.
- [Hog] Jo-Ann Hogan. „Getting Started with Fusion 360“. In: () .
- [Ind25] Cosmos Indirekt. *Gaston Planté*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: [https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Gaston\\_Plant%C3%A9](https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Gaston_Plant%C3%A9).

- [Ins25a] InsideEVs. *GM EV1: Das Elektroauto von 1996 und seine Historie*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://insideevs.de/news/586129/gm-ev1-1996-elektroauto-historie/>.
- [Ins25b] InsideTesla. *Tesla-Geschichte: Der Weg des E-Auto-Pioniers*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://insidetesla.de/tesla-geschichte-weg-des-e-auto-pioniers/>.
- [ISI25] Fraunhofer ISI. *Batterie-Rohstoffe und Preisschwankungen: Wie reagiert die Automobilindustrie? Auswirkungen auf die Zellkosten*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.isi.fraunhofer.de/de/blog/themen/batterie-update/batterie-rohstoffe-preis-schwankungen-wie-reagiert-automobil-industrie-auswirkungen-zellkosten.html>.
- [Kor13] Reiner Korthauer. *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien*. SpringerLink Bücher. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. ISBN: 9783642306532. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30653-2>.
- [Lab25] Sonepar Innovation Lab. *Batterien 2023: Innovationen und Entwicklungen*. Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://sonepar-innovationlab.com/batterien-2023/>.
- [Pis23] Stefan Pischinger. „Die Revolution des Antriebsstrangs in der Automobilindustrie“. In: *MTZ - Motortechnische Zeitschrift* 84.9 (2023), S. 62–62. DOI: 10.1007/s35146-023-1510-1. URL: <https://doi.org/10.1007/s35146-023-1510-1>.
- [PL18] Gianfranco Pistoia und Boryann Liaw, Hrsg. *Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles*. Green Energy and Technology. Cham: Springer International Publishing, 2018. ISBN: 978-3-319-69949-3 978-3-319-69950-9. DOI: 10.1007/978-3-319-69950-9. URL: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-69950-9> (besucht am 01.07.2025).

## Literaturverzeichnis

---

- [Pro25] Automobil Produktion. *So hoch sind die Produktionskosten von Elektroautos.* Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://www.automobil-produktion.de/produktion/so-hoch-sind-die-produktion-skosten-von-elektroautos-745.html>.
- [Sie15] Dipl.-Ing. Frank Siegert. *Lithium Polymer Akku-Technologie.* 2015. URL: <https://www.elektromodellflug.de/files/Lit-Akku-Techn-Einfuehrung.pdf>.
- [Sta25] Statista. *Ladeinfrastruktur für Elektroautos: Statistiken und Fakten.* Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://de.statista.com/themen/8348/ladeinfrastruktur-fuer-elektroautos/>.
- [Vat25] Vattenfall InCharge. *Die Geschichte des Elektroautos: 1832 ging es los.* Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://incharge.vattenfall.de/wissens-hub/articles/die-geschichte-des-elektroautos-1832-ging-es-los>.
- [Wik24a] Wikipedia contributors. *AutoCAD version history — Wikipedia, The Free Encyclopedia.* [Online; accessed 11-November-2024]. 2024. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD\\_version\\_history](https://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD_version_history).
- [Wik24b] Wikipedia contributors. *Autodesk — Wikipedia, The Free Encyclopedia.* [Online; accessed 11-November-2024]. 2024. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk>.
- [Wis25] Das Wissen. *Die Ölkrise der 1970er: Schock und Transformation.* Zugriff am 13. Januar 2025. 2025. URL: <https://das-wissen.de/die-oelkrise-der-1970er-schock-und-transformation/>.

# **Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen**

ANSI .....	American National Standards Institute
CAD .....	Computer-Aided Design
CAE .....	Computer-Aided Engineering
CAM .....	Computer-Aided Manufacturing
CC .....	Constant Current
CV .....	Constant Voltage
DIN .....	Deutsche Industrie Norm
EMV .....	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN .....	Europäische Norm
f. ....	folgende Seite
HV .....	High Voltage
IEC .....	International Electrotechnical Commission
Inc .....	Incorporated
KI .....	Künstliche Intelligenz
LED .....	Light Emitting Diode
LV .....	Low Voltage
PDF .....	Portable Document Format
PNG .....	Portable Network Graphics
PTC .....	Positive Temperature Coefficient

*Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen*

---

TÜV ..... Technischer Überwachungsverein

vgl. ..... vergleiche

z. B. ..... zum Beispiel

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Aufbau einer Lithium-Ionen-Zelle [– D25] . . . . .	9
3.1	Schaltplan des Battery Circuits . . . . .	21
3.2	Schaltplan des Motor Controllers . . . . .	24
3.3	Schaltplan des LV-Onboard-Netz . . . . .	27
3.4	Schaltplan des HV-Onboard-Networks . . . . .	31
4.1	detailed 3D CAD rendering of a lithium-ion cell used in the energy storage system. . . . .	42
4.2	Fully assembled energy storage module. . . . .	46
4.3	Fully assembled energy storage module with housing for use in the eMule vehicle. . . . .	49



# Tabellenverzeichnis

3.1 Legende der Symbole . . . . .	34
A.1 Liste der verwendeten Künstliche Intelligenz basierten Werkzeuge .	68



# A Nutzung von Künstliche Intelligenz basierten Werkzeugen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Künstliche Intelligenz (KI) basierte Werkzeuge benutzt. Tabelle A.1 gibt eine Übersicht über die verwendeten Werkzeuge und den jeweiligen Einsatzzweck.

**Tabelle A.1:** Liste der verwendeten KI basierten Werkzeuge

Werkzeug	Beschreibung der Nutzung
ChatGPT	<ul style="list-style-type: none"><li>• Grundlagenrecherche zu bekannten Prinzipien optischer Sensorik zur Abstandsmessung (siehe Abschnitt ...)</li><li>• Suche nach Herstellern von Lidar-Sensoren (siehe Abschnitt ...)</li><li>• ...</li></ul>
ChatPDF	<ul style="list-style-type: none"><li>• Recherche und Zusammenfassung von wissenschaftlichen Studien im Themenfeld ...</li><li>• ...</li></ul>
DeepL	<ul style="list-style-type: none"><li>• Übersetzung des Papers von [...]</li></ul>
Tabnine AI coding assistant	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aktiviertes Plugin in MS Visual Studio zum Programmieren des ...</li><li>• ...</li></ul>
...	<ul style="list-style-type: none"><li>• ...</li></ul>

---

