

Institut für Elektrotechnik

Bachelorarbeit

Konzeptionierung und Validierung einer Ladestation
für zukünftige Smart Grid Anwendungen

am 22.März.2022 vorgelegte Bachelorarbeit
von Aaron Matthias Müller

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Prof. WUST Przemyslaw Kormanicki
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Christoph Wenge

Betreuer: M. Sc. Marcel Hallmann

Themenbeschreibung einer Bachelor-Thesis

für Herrn Aaron Matthias Müller

Thema: Konzeptionierung und Validierung einer Ladestation für zukünftige Smart Grid Anwendungen

Aufgabenstellung:

Im Zuge der Energiewende lässt sich ein deutlicher Rückgang der konventionellen Energieträger verzeichnen. Aufgrund der fluktuativen Charakteristik der erneuerbaren Energien ist dieser Trend an Herausforderungen bezüglich der Netzstabilität geknüpft.

Daher werden unter anderem zunehmend stationäre Batteriespeicher („Grid Booster“) in das Netz integriert, um erzeugerseitige Leistungsspitzen abzufangen und die Energie dem Netz in einem Engpass zur Verfügung zu stellen. Ein bislang ungenutztes Potential bietet in diesem Zusammenhang die Elektromobilität. Sind die Elektrofahrzeuge an das Netz angeschlossen, können auch sie Verbund mehrerer Fahrzeuge, als zusätzliche temporäre Speicher angesehen werden. Auf Grundlage dessen, dass dies mit der aktuellen Ladinfrastuktur nicht möglich ist, bedarf es zusätzlicher Informations- und Kommunikationstechnologie.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll eine Ladestation konzeptioniert werden, welche den aktuellen Standards entspricht, sowie die IKT-Struktur aus dem Elektrofahrzeug zu einem übergeordnetem Backend bereitstellt. Hierfür soll ein Softwareprogramm geschrieben werden, welches neben einem Benutzerinterface gleichzeitig die Steuerung und Überwachung der Ladevorgänge übernimmt. Ein OCPP Backend soll für eine zentrale Steuerung mit den Ladecontrollern verknüpft und anschließend auf Funktionalität überprüft werden. Zudem soll die Eignung dieser Ladestation für die Integrierung in Smart Grid Konzepte untersucht werden. Die Arbeit ist abschließend in schriftlicher Form zu dokumentieren.

Die Arbeit umfasst die folgenden Teilaufgaben:

- Analyse und Bewertung des vorhandenen Systems
- Technische Überarbeitung der Ladestation
- Programmierung eines Benutzerinterfaces
- Dokumentation der Arbeit

Magdeburg, den 22.03.2022

Tag der Ausgabe: 01.10.2021

Tag der Abgabe: 22.03.2022

Betreuer: M.Sc. M. Hallmann

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Prof. WUST P. Kormanicki

Prof. Dr.-Ing. Prof. WUST P. Kormanicki
Aufgabensteller

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Bachelorarbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

21. März 2022



.....
Datum

Unterschrift

I Abstract

The imminent nuclear and coal phase-out poses major challenges for Germany in terms of secure and cost-effective energy supply. Renewable energies in particular are expected to provide a major remedy in this respect. Due to their fluctuating characteristics, energy storage systems are being integrated into the grid, which can efficiently absorb power peaks from energy producers and make this energy available to the grid again in the event of a bottleneck. In this context, electromobility, which is constantly advancing in Germany, offers a previously unused capacity with regard to a bidirectional energy exchange. Through the further development of current charging technologies and special charging strategies, as well as the introduction of standards in this area, vehicles connected to the grid can be considered and used as such energy storage devices. With the inclusion of vehicles in the energy system, significant savings in terms of money, time and resources can be achieved.

This bachelor thesis deals with the importance of incorporating electric vehicles into the energy grid. In this context, a charging station was developed that supports Smart Grid concepts, such as Grid to Vehicle, and can provide essential data via a connected backend. With the help of this setup, the functionality could be tested and conditions attached to it could be determined.

II Kurzreferat

Der bevorstehende Atom- und Kohleausstieg stellt Deutschland vor große Herausforderungen bezüglich der sicheren und kostengünstigen Energieversorgung dar. Hierbei sollen vor allem erneuerbare Energien große Abhilfe schaffen. Aufgrund der fluktuativen Charakteristik werden Energiespeicher in das Netz integriert, welche Leistungsspitzen der Energieerzeuger effizient abfangen und bei einem Engpass dem Netz wieder zur Verfügung stellen können. In diesem Zusammenhang bietet die in Deutschland stets voranschreitende Elektromobilität, bezüglich eines bidirektionalen Energieaustauschs, eine bislang ungenutzte Kapazität. Durch die Weiterentwicklung aktueller Ladetechnologien und spezieller Ladestrategien, sowie der Einführung von Standards in diesem Bereich, können am Netz angeschlossene Fahrzeuge als solche Energiespeicher betrachtet und verwendet werden. Mit Einbeziehung der Fahrzeuge in das Energiesystem, können erhebliche Einsparungen in Bezug auf Geld, Zeit und Ressourcen erzielt werden.

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit der Bedeutsamkeit der Eingliederung von Elektrofahrzeugen in das Energienetz. In diesem Zusammenhang wurde eine Ladestation entwickelt, welche Smart Grid Konzepte, wie das Grid to Vehicle, unterstützt und essentielle Daten über ein angeschlossenes Backend zur Verfügung stellen kann. Mithilfe dieses Aufbaus konnte die Funktionsweise getestet und daran geknüpfte Bedingungen festgestellt werden.

III Inhaltsverzeichnis

I	Abstract	I
II	Kurzreferat	II
III	Inhaltsverzeichnis	III
IV	Abbildungsverzeichnis	V
V	Abkürzungsverzeichnis	VI
1	Einleitung	8
2	Motivation und Ziel.....	10
3	Technologische Grundlagen	11
3.1	SmartGrid	11
3.2	Netzdienstleistungen	12
3.3	Smarte Ladestrategien	14
3.3.1	Vehicle to Grid	16
3.3.2	Grid to Vehicle	18
3.4	Standards in der Kommunikationsinfrastruktur	19
3.4.1	Ladesteuerung nach IEC 61851	19
3.4.2	Ladesteuerung nach ISO 15118	21
3.4.3	Open Charge Point Protocol.....	22
4	Technologische Umsetzung.....	24
4.1	Hardwarekonzept.....	25
4.1.1	PLC.....	26
4.1.2	Ladecontroller	27
4.1.3	Energy Meter	29
4.1.4	User-Interface	30
4.1.5	Sicherheitshardware	31
4.2	Softwarekonzept.....	33
4.2.1	Hauptprogramm.....	33
4.2.2	Datenhandling	34
4.2.2.1	Ladereglerkommunikation	35
4.2.2.2	Messdatenübertragung.....	38
4.2.3	Sicherheitssoftware	39
4.2.4	OCPP Server.....	40
4.2.5	Datenbank.....	42
5	Validierung.....	43
5.1	Usermanagement	43

5.2	SteVe	47
5.3	Dokumentation der Messdaten.....	48
5.4	Tests zur Implementierung des DLM.....	49
6	Zusammenfassung und Ausblick	51
7	Literaturverzeichnis.....	52
A	Programmablaufplan.....	54
B	OCPP 1.6 Ablaufschema.....	55
C	Schaltplan der Anlage	56

IV Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Zusammensetzung der Nettostromerzeugung in Deutschland (2017 - 2021) [2], [3], [4], [5], [6]	8
Abbildung 3-1: Smart Grid Konzept	12
Abbildung 3-2: Anzahl der Elektroautos in Deutschland (2011 - 2021) [12].....	14
Abbildung 3-3: Standards in der Ladeinfrastruktur.....	19
Abbildung 4-1: Strukturbild Ladekonzept.....	24
Abbildung 4-2: Gerätelayout	25
Abbildung 4-3: Raspberry Pi.....	26
Abbildung 4-4: Bender CC612.....	27
Abbildung 4-5: Sentron PAC3200	29
Abbildung 4-6: Elatec TWN3	31
Abbildung 4-7 : Programmauszug.....	34
Abbildung 4-8: Modbus Dokumentation Bender	36
Abbildung 5-1: Startbildschirm	43
Abbildung 5-2: Anmeldung per RFID-Transponder	44
Abbildung 5-3: Sicherheitscode	44
Abbildung 5-4: Parameterauswahl	45
Abbildung 5-5: Ladeübersicht	46
Abbildung 5-6: Hauptübersicht SteVe	47
Abbildung 5-7: Messdatensatz	48
Abbildung 5-8: Begrenzung der Ladeleistung.....	49

V Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AKW	Atomkraftwerke
AtG	Atomgesetz
CP	Control Pilot
DC	Direct Current (Gleichstrom)
DLM	Dynamic Load Management (dynamisches Lastmanagement)
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EV	Electric Vehicle hier: sämtliche Fahrzeuge mit elektrischem Antriebsstrang, welche über die gegebene Ladeinfrastruktur an das Energienetz angeschlossen werden können und eine Möglichkeit zur Energiespeicherung aufweisen. (Elektrofahrzeuge, Plug-in-hybride)
G2V	Grid-to-Vehicle
GPIO	General Purpose Input / Output
GUI	graphical user interface
Hz	Hertz
ID	Identifikator
IEC	International Electrotechnical Commission
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
ISO	International Organization for Standardization
JSON	Javascript Object Notation
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
LC	Ladecontroller
OCPP	Open Charge Point Protocol
Pkw	Personenkraftwagen
PLC	Programmable Logic Controller
PV	Photovoltaik
PWM	Pulsweitenmodulation

RCD	Residual Current Device (Fehlerstrom-Schutzschalter)
RFID	Radio-Frequency Identification
SBC	single-board computer (Einplatinen Computer)
SDL	Systemdienstleistung
SOAP	Simple Object Access Protocol
SOC	State of Charge (Ladezustand)
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SQL	Structured Query Language
UID	User-ID
V2G	Vehicle-to-Grid
WLAN	Wireless Local Area Network

1 Einleitung

Das aktuelle Energieversorgungssystem in Deutschland wird als verbraucherorientiertes System bewertet. Die konventionellen Energieerzeuger (Atom- und Kohlekraftwerke), welche im Jahre 2021 43 % [1] zur Nettostromerzeugung in Deutschland beitrugen, sind grundsätzlich in der Höchstspannungsebene zu finden. Es lässt sich ein klarer Leistungsfluss von der Höchstspannungsebene über die Hochspannungs- und Mittelspannungsebene in die Niederspannungsebene erkennen. Somit zeichnet sich die traditionelle Energieversorgung durch einen unidirektionalen Energiefluss aus.

Setzen sich politische Entscheidungen, wie der Atom- und der Kohleausstieg durch, fallen zwei Energieerzeuger weg, welche mit ihrer funktionalen Regelbarkeit maßgeblich zur Netzstabilität beitragen. Auch wenn sich der Atomausstieg aufgrund aktueller militärischer Ereignisse zwischen der Ukraine und Russland im Prozess der Änderung befindet, bleibt das langfristige Ziel der Bundesregierung konventionelle Kraftwerkskapazitäten zu reduzieren und erneuerbaren Energien voranzutreiben. Aus diesem Grund ist in den vergangenen Jahren ein klarer Rückgang des Anteils der konventionellen Energieträger zu verzeichnen. [2], [3], [4], [5], [6]

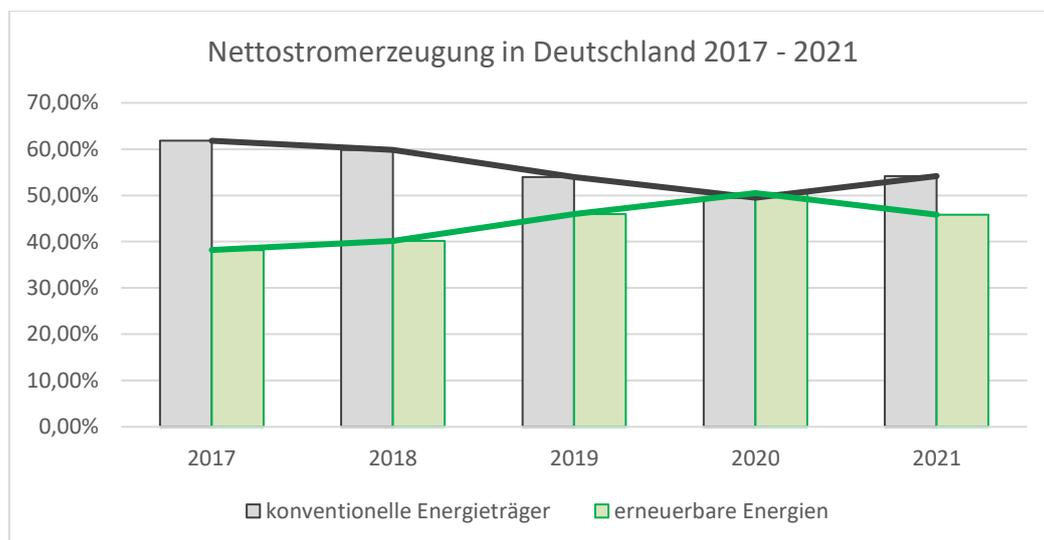


Abbildung 1-1: Zusammensetzung der Nettostromerzeugung in Deutschland (2017 - 2021)¹ [2], [3], [4], [5], [6]

¹ Eigene Darstellung

Durch den Rückgang der besonders betroffenen Energieträger Kohle und Kernenergie, wird die konventionelle Energieerzeugung immer mehr durch erneuerbare Energien zu leisten sein. Die damit einhergehende Umstrukturierung ist mit großen Herausforderungen verbunden. Es wird weniger große Kraftwerke geben, an dessen Stelle mehrere kleine erneuerbare Energieerzeuger treten müssen. Windparks und Wasserkraftwerke lassen sich in der Hochspannungsebene und der Mittelspannungsebene wiederfinden. Solarparks befinden sich größtenteils in der Mittelspannungsebene, wobei kleine und vor allem auch Photovoltaikanlagen privater Hausbesitzer an das Niederspannungsnetz angeschlossen werden.

Das größte Risiko für die Stabilität des Netzes stellt die Fluktuation der volatilen Energieträger Wind und Sonne dar. Aufgrund der hohen Abhängigkeit zur Wetterlage sind diese erneuerbaren Energien nicht so steuerbar, wie konventionelle Kraftwerke. Allerdings muss auch in Engpässen die notwendige Energie gewährleistet werden können. Die steigende Einbindung der Alternativenenergien erfordert deshalb ein zunehmend dynamisches Netz.

Um diese fluktuative Energieerzeugung effizient nutzen zu können, werden zusätzlich Batteriespeicher (Grid Booster) in das deutsche Stromnetz integriert. Dadurch kann bei erzeugerseitigen Leitungsspitzen überschüssige Energie gespeichert und später nutzbar gemacht werden. Eine bislang ungenutzte Kapazität bietet die Elektromobilität. Sind Elektrofahrzeuge (EVs) an das Energienetz angeschlossen, können diese ebenfalls als temporärer Energiespeicher betrachtet werden. Ein Elektrofahrzeug (EV) alleine hätte diesbezüglich keinen großen Effekt. Werden jedoch sämtliche am Netz angeschlossenen Elektrofahrzeuge als Verbund betrachtet, ergibt sich eine große Energiekapazität, welche ausschlaggebenden Einfluss haben kann. Damit ein dynamisches Lastmanagement (DLM) möglich ist, ist es notwendig, dass der Fahrzeugverbund zentral gesteuert werden kann und den Fahrzeugen ladetechnische Parameter vorgeschrieben werden können. Weiterhin müssen zentral Daten über die angeschlossene Kapazität des Fahrzeugverbundes vorliegen. Durch aktuelle Markttechnologie ist ein derartiges Datenhandling und Lademanagement noch nicht möglich.

2 Motivation und Ziel

Aufgrund von Entwicklungsfortschritten im Bereich der Ladetechnologie, sowie die Einführung neuer bzw. Überarbeitung aktueller Normen und Standards, findet ein immer komplexerer Datenaustausch zwischen der Ladestation und dem EV statt. Wird den Ladestationen ein Managementsystem übergeordnet und wird der Kommunikationsweg bidirektional gestaltet, ist es möglich die gesamte Datenmenge der Ladestationen an einem Ort sammeln und auszuwerten. Mithilfe dieser Daten und entsprechender Ladetechnik, wäre es möglich Netzbetreibern und Systemoperatoren eine Übersicht über die durch Ladestationen zusätzlich angeschlossene Energiekapazität zu bieten, welche dann zur Netzunterstützung beitragen kann. Sind entsprechende Parameter über den angeschlossenen Fahrzeugverbund bekannt, und besteht weiterhin die Möglichkeit Leistungsvorgaben an die Fahrzeuge zu übergeben, können Ladevorgänge an den aktuellen Netzzustand angepasst werden. Bei überschüssiger Energie kann diese in den Fahrzeugen gespeichert werden und bei einem Engpass die Leistungsentnahme gedrosselt werden. Bei beschriebener Vorgehensweise wird von dynamischen Lastmanagement gesprochen (DLM). Wird in diesem Konzept zusätzlich zukünftige bidirektionale Ladetechnologie berücksichtigt, könnte die in den Fahrzeugen gespeicherte Energie im Falle eines Engpasses zurück ins Netz gespeist werden.

Diese Verbundtheorie soll im Rahmen dieser Bachelorarbeit, anhand eines einzelnen Schnittstellenkonzeptes untersucht werden. Dafür soll ein interoperables Ladestationkonzept entwickelt werden, welches dem heutigen Standard entspricht und zusätzlich Schnittstellen für die zukünftigen Systeme enthält. Neben der Grundfunktionalität, mit der Möglichkeit zwei Fahrzeuge gleichzeitig laden zu können, soll die Ladestation ein Nutzer-Interface bereitstellen und an ein Management-Backendsystem angeschlossen werden. Über dieses kann der Ladevorgang via Fernzugriff gesteuert und überwacht werden. Darüber hinaus soll ein Weg zur Beschaffung fahrzeugseitiger (Lade-) Daten konzeptioniert werden.

3 Technologische Grundlagen

3.1 SmartGrid

Nach der VDE beschreibt ein Smart Grid ein elektrisches Netz, das die Aktionen aller angeschlossenen Nutzer „intelligent koordiniert um Effizienz in der nachhaltigen, ökologischen, wirtschaftlichen und zuverlässigen Stromversorgung zu gewährleisten“ [7]. Als Nutzer sind hier im Wesentlichen drei Teilnehmer ausschlaggebend: Energieerzeuger, Verbraucher und intelligente und steuerbare Speicher. Um diese drei Teilnehmer intelligent zu koordinieren und zu steuern, sieht das Smart Grid Konzept eine Steuerinstanz, wie beispielsweise ein Rechenzentrum (vgl. Abb. 3-1), vor. Die EVs fallen in dem Konzept des Smart Grid in die Kategorie der intelligenten und steuerbaren Speicher, welche zur Netzunterstützung verwendet werden können. Weiterhin umfasst das Smart Grid Konzept eine allgemein intensivere Vernetzung, sowie einen bidirektionalen Energiefluss. Das bedeutet, dass der Leistungsfluss nicht mehr nur von den zentral gelegenen Kraftwerken zum Verbraucher stattfindet, sondern dass zum Beispiel private Haushalte durch häusliche Energieanlagen, wie Photovoltaikanlagen, auch zum Erzeuger werden, indem sie ins Netz einspeisen. Dies hätte auch einen Leistungsfluss in die höheren Spannungsebenen zur Folge. Grundsätzlich wird daher erwartet, dass das künftige Stromversorgungssystem mehr und mehr moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) verwenden wird, um eine flexible, sichere und kostengünstige Energieversorgung zu gewährleisten.

Bezogen auf das Energieversorgungsnetz kann hier also von einer Dezentralisierung des Netzes gesprochen werden.

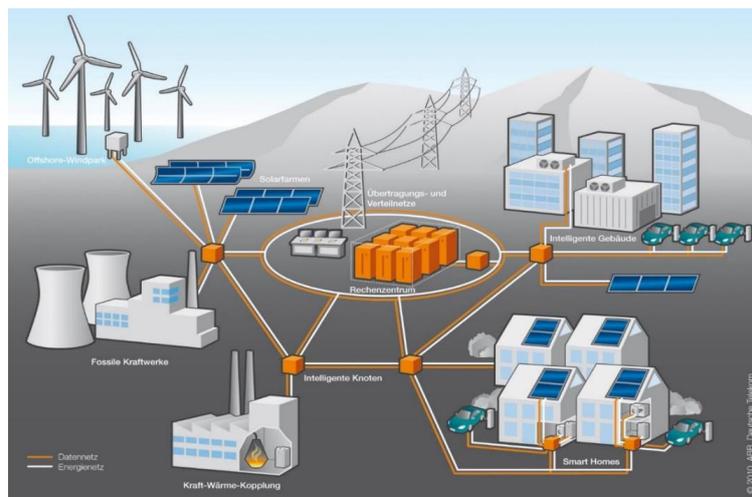


Abbildung 3-1: Smart Grid Konzept²

3.2 Netzdienstleistungen

Für die Energieversorgung und -steuerung sind in Deutschland maßgebend vier sogenannte Übertragungsnetzbetreiber zuständig. Damit diese eine Versorgungssicherheit in gegebener Qualität gewährleisten können, bedienen sie sich verschiedener Netzdienstleistungen. Dazu zählen unter anderem die Frequenzhaltung, die Spannungshaltung, der Versorgungswiederaufbau, die Betriebsführung und der Netzausbau [8].

Für die Frequenzhaltung ist es wichtig, dass sich der Energieverbrauch und die Energieerzeugung im Moment immer die Waage halten. Dann beträgt die Netzfrequenz in Deutschland 50 Hertz (Hz). Wird mehr Energie verbraucht, als vom Stromnetz aktuell zur Verfügung gestellt wird, sinkt die Frequenz. Bei umgekehrter Sachlage steigt die Frequenz. Wichtig ist, dass es keine nennenswerten Abweichungen von diesen 50 Hz geben darf, da dies zu technischen Schäden an elektrischen Schaltanlagen führen kann. Im schlimmsten Fall würde es zu einer Stromversorgungsunterbrechung in den betroffenen Gebieten kommen, bis hin zu einem „Blackout“.

Um das zu vermeiden gibt es die Regelleistung. Unterschieden wird dabei zwischen positiver und negativer Regelleistung. Positive Regelleistung wird dadurch definiert, dass

² www.new.abb.com

bei steigender Nachfrage zusätzliche Energie ins Netz eingespeist wird, um ein Defizit zu kompensieren. Die positive Regelleistung setzt ein, wenn die Frequenz einen Wert kleiner als 50 Hz annimmt. Fällt die Frequenz unter einen Wert von 49,8 Hz, tritt ein „5-Stufen-Plan“ für den Lastabwurf in Kraft, nach welchem mit zunehmend sinkender Frequenz immer mehr Last vom Netz abgeworfen wird. Nach einer Stabilisierung der Frequenz werden diese wieder dazugeschaltet. Negative Regelleistung hingegen meint, dass dem Netz bei steigender Frequenz Strom entnommen wird [9] bzw. Energieerzeuger die Einspeisung reduzieren.

Die positive Regelleistung wird von Kraftwerken auf vertraglicher Basis bereitgestellt. Weiterhin wird hier in Primär-, Sekundär- und Tertiärregelleistung (auch Minutenreserve genannt) unterschieden. Die grundsätzlichen Unterschiede dieser drei Regelleistungen belaufen sich in erster Linie auf die Zeitspanne innerhalb welcher die Energie zur Verfügung stehen muss, sowie die Mindestangebotsgröße der zur Verfügung zu stellender Leistung.

Die Spannungshaltung dient dazu die Spannung in den jeweiligen Netzen innerhalb des zulässigen Bereichs zu halten [10]. Grundsätzlich werden bei der Spannungshaltung zwei Zielstellungen verfolgt [11]: Die stationäre Spannungshaltung beschreibt die Belastungsgrenzen der Netzelemente, welche nicht überschritten werden darf, gleichzeitig aber nicht zu gering sein darf, damit alle Elemente Ihre Funktion erfüllen können. Die dynamische Spannungshaltung zielt darauf ab, dass die notwendige Spannung, selbst bei Ausfall eines Netzbauteils, innerhalb eines definierten Betriebsbereichs bleibt.

Im Falle von Engpass Management Maßnahmen, bei welchen Teilgebiete Deutschlands aufgrund von Leistungsspitzen des Energienetzes für kurze Zeit getrennt werden müssen, kommt die Systemdienstleistung des Versorgungswiederaufbaus zum Einsatz. Ziel ist es das Gebiet schnellstmöglich wieder mit Strom in bekannter Qualität, bezüglich Spannung Frequenz und Phasenlage, zu versorgen. Diese Regelleistung würde ebenso Anwendung finden bei einem überregionalen Stromausfall bzw. einem Blackout. Unter dieser Voraussetzung würde sich der Netzwiederaufbau ersichtlich schwieriger gestalten, da einige Kraftwerke nicht die Energie beziehen können, welche sie für den Eigenbetrieb benötigen.

In Verbindung zukünftiger Smart Grid Konzepte, könnten EVs mit entsprechender Ladetechnologie einen nennenswerten Beitrag für diese drei SDLs leisten. Agiert der EV-Verbund im Netz als Energiespeicher, könnte bezüglich der Frequenzhaltung sowohl bei Engpässen zusätzliche Energie bereitgestellt werden, als auch bei einem Energieüberschuss die überschüssige Energie in diesen gespeichert werden. Für die Spannungshaltung wäre entsprechende Leistungselektronik notwendig, welche teils direkt im EV bzw. auch in der Ladestation verbaut sein könnte. Auch für den Versorgungswiederaufbau könnte die in den Fahrzeugen gespeicherte Energie genutzt werden, da hier keine zusätzliche Energie notwendig ist.

3.3 Smarte Ladestrategien

Anhand der nachfolgenden Statistik [12] des Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), lässt sich in den vergangenen Jahren ein Anstieg der Neuzulassungen von Elektroautos in Deutschland verzeichnen.

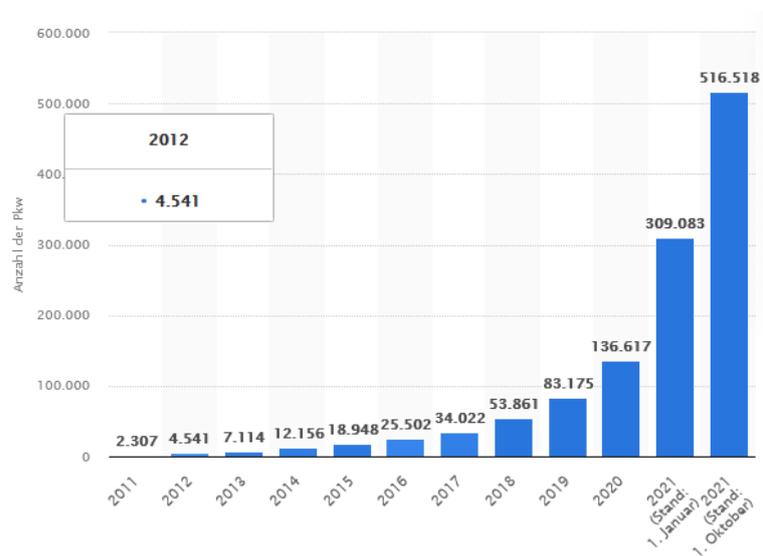


Abbildung 3-2: Anzahl der Elektroautos in Deutschland (2011 - 2021) [12]

Aufgrund der stark ansteigenden Nachfrage, sowie Beschlüssen der Bundesregierung ist davon auszugehen, dass dieser Trend in den kommenden Jahren anhalten wird. Mithilfe von Fahrzeugen mit einem elektrischen Antriebsstrang soll die Mobilitätswende geschafft werden, wodurch CO₂ - Emissionen eingespart werden sollen, und eine allgemeine Reduzierung von Luftschadstoffen und Lärm einhergehen soll. Diese Mobilitätswende stellt für alle Länder große Herausforderungen dar, bietet aber auch viele Möglichkeiten. Insgesamt gibt es weltweit mehr als 1,3 Milliarden Kraftfahrzeuge, 1 Milliarde davon sind Pkw. Bis zum Jahre 2035 soll dieser Wert sogar bis auf ungefähr 2 Milliarden ansteigen [13]. In Deutschland sind es laut dem KBA (Kraftfahr-Bundesamt) 59 Millionen Kraftfahrzeuge [14]. Wenn nur ein Teil dieser Fahrzeuge in den kommenden Jahren elektrisch ist, bietet das ein großes Potential.

Nach einer Studie der Europäischen Kommission wird das Auto in Deutschland durchschnittlich nur 37 km am Tag bewegt. 95 % der Zeit befindet sich das Auto in einem parkenden Zustand [15]. Um eine Vorstellung über die hier vorenthaltende Energie zu erlangen, wurden folgende Berechnungen durchgeführt.

$$E_{verf.} = p_{ang} \cdot n_F \cdot C_{\emptyset}$$

$$E_{Nutz} = E_{verf} \cdot p_{Nutz}$$

$E_{verf.}$: insgesamt verfügbare Energiekapazität der am Netz angeschlossenen Fahrzeuge

p_{ang} : Prozentualer Anteil aller Fahrzeuge, welche ans Netz angeschlossen sind

n_F : Gesamtanzahl der EVs in Deutschland

C_{\emptyset} : Durchschnittliche Gesamtkapazität der EVs

E_{Nutz} : tatsächlich Nutzbare Energie

p_{Nutz} : prozentualer Anteil der Batterien, welcher genutzt werden darf

Nach der Statistik [12] in Abbildung 3-2, gibt es in Deutschland aktuell ungefähr 550.000 Elektrofahrzeuge, welche eine durchschnittliche Batteriekapazität von 60 kWh aufweisen [16]. Wird angenommen, dass ca. 60 % dieser Fahrzeuge durch eine Wallbox oder eine Ladestation mit dem Energienetz verbunden sind, so ergibt sich eine angeschlossene

Gesamtkapazität von 19,8 GWh. Unter der weiteren Annahme, dass die angeschlossenen Batterien der Fahrzeuge zu 70 % genutzt werden dürfen, steht eine Kapazität von ungefähr 14 GWh zur Verfügung. Bei einem stündlichen Energieverbrauch von 50 GWh [17], könnte Deutschland alleine mit dieser Energie für rund 15 Minuten mit Strom versorgt werden.

Um diese Batteriekapazität der Fahrzeuge für SDLs nutzbar zu machen, bedarf es technologischer Konzepte, welche einen Energietransfer in diesem Umfang zulassen.

3.3.1 Vehicle to Grid

Das Elektroauto ist im traditionellen Energienetz ganz klar auf der Verbraucherseite zu finden, indem es ans Netz angeschlossen wird, um geladen zu werden.

In den meisten Fällen wird das Auto morgens lediglich zur Arbeit bewegt, und abends wieder nach Hause. Entweder wird das Auto tagsüber an einer Ladestation oder nachts aufgeladen; manchmal trifft sogar beides zu. Während dieser Zeit bleibt das Auto, und im Falle eines EVs somit auch die Batterie, unbenutzt. Jedoch bleibt es für diese Zeit eine Komponente des örtlichen Stromnetzes.

Beim Vehicle-to-grid (V2G) handelt es sich um eine Idee, welche sich damit beschäftigt, dass das am Netz angeschlossene Fahrzeug, die in der Batterie gespeicherten Energie, auch wieder ins Netz einspeisen kann. Damit könne im Falle eines Energiebedarfs schnell Energie bereitgestellt und so das Netz stabil gehalten werden. Während der Nicht-Nutzung der Fahrzeuge, könnten sie also die Übertragungsnetzbetreiber bei diversen Systemdienstleistungen unterstützen. Wird im Rahmen der SDL Energie wieder ans Netz abgegeben, wird von bidirektionalem Laden gesprochen, da ein Energietransfer hier in beide Richtungen möglich ist. Auch wenn es noch keine marktfähigen Produkte gibt, so gibt es bereits Konzepte von Ladetechnologien, welche eine phasenselektive Auf- und Entladung zulassen. Hiermit könnten speziell einzelne Phasen stabilisiert werden, um beispielsweise die Phasenlage oder die Spannung zu korrigieren.

Das Auto würde im Laufe des Tages wahrscheinlich mehrere Male zum Teil entladen und zum Teil wieder aufgeladen werden. Dieser Prozess stellt zweifelsohne eine Belastung für die Batterien dar. Da Auswirkungen auf die zyklische Alterung aktueller Batterien

stets als Schwäche aufgefasst werden, wird es notwendig sein, Privatpersonen einen Anreiz zu geben, die Energiekapazität ihres Autos hierfür zur Verfügung zu stellen. Aufgrund der Tatsache, dass diese Fahrzeuge dann unter anderem bei der Frequenzhaltung oder der Spannungshaltung unterstützen könnten, würden diese als Verbund essentieller Bestandteil der Systemdienstleistungen werden. Da die Übertragungsnetzbetreiber für solche SDL entsprechende Vergütungen erhalten, könnten ebenso die Fahrzeuginhaber eine monetäre Beteiligung bekommen. Es wäre ein zusätzliches, passives Einkommen, während das Auto „herumsteht“. Dafür müsste vertraglich vereinbart werden, zu welchem Teil die Batterie des Autos verwendet werden darf, damit der Inhaber keine großen Mobilitätseinschränkungen erfährt. Expliziter müssten Zeiten festgelegt werden, an welchen das Auto einen entsprechenden SOC vorweisen soll. Gängige Zeiten wären zum Beispiel, wenn der Besitzer zur Arbeit fährt oder diese wieder verlässt. Der Fahrzeugeigentümer könnte beispielsweise vertraglich festlegen, dass das Auto maximal bis auf einen SOC von 25 % entladen werden darf und um 7 und 16 Uhr jeweils einen Ladezustand von mindestens 50 % vorzuweisen hat. Im Gegenzug dafür würde der Inhaber einen bestimmten wöchentlichen Stundensatz gewährleisten, an welchen das Fahrzeug, am Netz angeschlossen, für etwaige SDL zur Verfügung steht. Des Weiteren sei hier zu erwähnen, dass wenn diese Technologie marktfähig ist, es für den Fahrzeuginhaber auch kein Problem darstellen dürfte, sein EV als Notstromversorgung zu verwenden.

Fraglich wäre allerdings, wie kritisch die Zeiträume in den Hauptverkehrszeiten für dieses Konzept wären. Denkbar wäre schließlich, dass dann nahezu keine Fahrzeuge ans Netz angeschlossen wären. Hierzu lässt sich jedoch sagen, dass sich die Menge der Autos auf einen gewissen Zeitraum verteilt, und nicht alle Fahrzeuge zur selben Zeit unterwegs sind. Einer Präsentation von Dr. Praven Kumar zufolge befinden sich deshalb selbst zu den Hauptverkehrszeiten stets rund 90 % der Fahrzeuge in einem parkenden Zustand [18]. Zusätzlich hierzu darf nicht vergessen werden, dass die stationären Energiespeicher (Grid Booster) weiterhin bestehen bleiben.

Eine weitere Herausforderung, sind die Zeiten, wenn sämtliche EV Besitzer nach Hause kommen und ihr Fahrzeug an eine Wallbox oder andere Ladestation anschließen wollen. Wird dieses Szenario mit dem Hintergedanken betrachtet, dass künftig viel mehr EVs

existieren sollen, als es jetzt der Fall ist, so würde dies zu einem enormen Energiefluss führen, welcher eine Überlastung des Netzes zur Folge haben könnte. Daher sind intelligente Systeme notwendig, die die Energieentnahme zwecks der Aufladung der EVs steuern. Zusätzlich hierzu wird die Energieentnahme durch Smart Charging (Kapitel 3.4.3) an die aktuelle Netzsituation angepasst.

3.3.2 Grid to Vehicle

Das Grid-to-Vehicle Konzept befasst sich mit dem Speichern von Energie in an das Energienetz angeschlossene Elektrofahrzeuge. Mithilfe diesen Konzeptes, wird die Möglichkeit eingeräumt, erzeugerseitige Lastspitzen der erneuerbaren Energien effizient abzufangen, um diese später nutzbar zu machen.

In Verbindung mit bidirektionaler Ladekapazität bietet sich an, beispielsweise bei günstigen Strompreisen, Energie vorsätzlich in den Fahrzeugen zwischenspeichern. Um das aktuelle Stromnetz nur mittels stationärer Energiespeicher dermaßen auszubauen, bedarf es viel Geld, Aufwand und Zeit. Es müssten entsprechende Leitungen gebaut werden, sowie entsprechend große Speicher, um denselben Zweck zu erfüllen. Mithilfe dieser Konzepte ließe sich jedoch sehr viel Geld und auch erheblich Ressourcen sparen, indem die Energiespeicher an das Netz angeschlossen werden, welche es ohnehin schon gibt. Schon wenn ein geringer Anteil der weltweiten 1,3 Milliarden Fahrzeuge bzw. in Deutschland 59 Millionen Fahrzeuge elektrisch wären, ergäbe dies, wie bereits berechnet, eine beachtliche Speicherkapazität.

3.4 Standards in der Kommunikationsinfrastruktur

Damit diese Konzepte überhaupt funktionieren, ist eine Kommunikation zwischen dem Auto und der Ladestation und ferner auch über ein Backend zum Übertragungsnetzbetreiber notwendig. Die nachfolgende Abbildung 3-3³ zeigt eine Übersicht über alle aktuell verwendeten Standards, welche Anwendung in der Ladeinfrastruktur finden. Für das Monitoring und die Fernsteuerung des Elektrofahrzeugs, sind die IEC 61851 und die ISO 15118 von besonderer Relevanz.

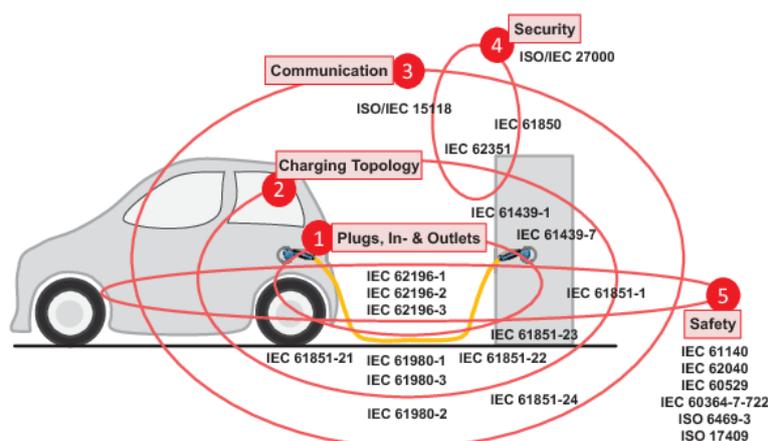


Abbildung 3-3: Standards in der Ladeinfrastruktur³

3.4.1 Ladesteuerung nach IEC 61851

Die IEC 61851 ist ein Standard der Internationalen elektrotechnischen Kommission (IEC). In diesem sind mittels verschiedener Unterstandards grundlegende Anforderungen an Ladestationen festgeschrieben. Somit werden Laderichtlinien vorgegeben, welche zwischen EV und Ladestation eingehalten werden müssen. Diese Norm reguliert grundsätzlich die Low-Level-Kommunikation zwischen dem Elektrofahrzeug und der Ladestation, basierend auf der PWM (Pulsweitenmodulation). In der IEC 61851 sind sowohl Richtlinien für das Wechselstrom (AC) - Laden und das Gleichstrom (DC) -

³ Jens Schmutzler, Claus Amtrup Andersen, Christian Wietfeld, *Evaluation of OCPP and IEC 61850 for Smart Charging Electric Vehicles*, 2013

Laden vorgesehen. Grundsätzlich wird in der IEC 61851-1 in 4 existierende Lademodi unterschieden [19], [20], [21]:

Die erste Methode befasst sich mit dem Laden an Schuko oder CEE-Steckdosen. Einfache Haushaltssteckdosen mit einem Strom bis zu 16 A. Dieses Art des Ladens dauert aufgrund der niedrigen Ladeleistung am längsten. Weiterhin findet bei dieser Möglichkeit, aufgrund fehlender Signalkontakte, keine Kommunikation zwischen Fahrzeug und der Energiequelle statt.

Auch die zweite Methode umfasst die Ladung an Schuko bzw. CEE-Steckdosen, jedoch mit dem Unterschied, dass hier bereits eine Low-Level-Kommunikation basierend auf der Pulsweitenmodulation (PWM) über den Control-Pilot (CP) stattfindet. Weiterhin beinhaltet die zweite Ladebetriebsart Ladungen mit einer Stromstärke bis zu 32 A und eine Steuer- und Schutzeinrichtung in der Ladeleitung.

Der Mode 3 ist der aktuell wahrscheinlich am meisten vorgefundene Weg, Elektrofahrzeuge zu laden. Diese Methode beschäftigt sich mit dem dreiphasigem Wechselstromladen an fest installierten Ladestationen und sogenannten Wallboxen. Sämtliche Sicherheitseinrichtungen sind hier in das Gesamtsystem installiert. Für das Laden nach der Methode 3 ist ein nach der IEC 62196 genormter Typ-2 Stecker notwendig. In den meisten Fällen wird ein Kabel mit einer Ladeseite und einer Fahrzeugseite verwendet. Dieses ist dann meistens mit dem Auto mitzuführen. Bei einem Ladevorgang werden beide Seiten verriegelt, was ein Herausziehen des Steckers während des Ladevorgangs verhindert. Bei einigen Ladestationen ist der Stecker aber auch fest an der Ladestation installiert. Häufig ist dies bei einer Wallbox der Fall. Diese Variante ist dann mit einer Tankeinrichtung für einen Verbrennermotor vergleichbar.

Die letzte Ladevariante befasst sich mit dem Laden mittels Gleichstroms. Das DC-Laden gewinnt immer mehr an Bedeutung, da sich hier hohe Ladeleistungen realisieren lassen, was für eine schnellere Aufladung sorgt. Im Gegenzug geht dies jedoch mit einer höheren Belastung der Batterie einher. Das Ladegerät ist im Gegensatz zu anderen AC-Ladevarianten stets in der Ladestation verbaut, und die Ladeleitung immer an der Ladestation angeschlossen. Genau wie in der Methode 3, findet auch hier eine Verriegelung der Stecker beim Start eines Ladevorgangs statt.

Die Lademodi 3 und 4 verfügen genau wie der Lademodi 2 über die sogenannte Low-Level-Kommunikation. Darüber hinaus, ist bei diesen jedoch zusätzlich eine High-Level-Kommunikation möglich, sofern es vom Fahrzeug und der Ladestation unterstützt wird. Hierbei wird das entsprechende Signal auf das PWM-Signal des CP aufmoduliert [22]. Diese sogenannte Powerline-Communication ist weiterführend in der ISO 15118 beschrieben.

3.4.2 Ladesteuerung nach ISO 15118

Die ISO 15118 ist eine Normenreihe, welche Richtlinien für eine bidirektionale Kommunikation zwischen Ladestation und Auto beschreibt und stetig weiterentwickelt wird [23]. Diese Normreihe beschreibt die, auf die Low-Level-Kommunikation der IEC 61851 aufbauende High-Level-Kommunikation, basierend auf einer Frequenzmodulation. Mithilfe dieser Normenreihe und der genannten Powerline Communication kann eine erheblich umfangreichere Anzahl an Daten aus dem Auto gelesen werden, welche für die Weiterentwicklung der Standards und im Allgemeinen der Elektromobilität hilfreich sind. Neben allgemeinen Daten wie der Fahrzeugtyp und -hersteller, können auch Werte wie die Batteriegesamtkapazität oder der aktuelle SOC übermittelt werden. Erst mit diesen Werten können die angesprochenen Konzepte des V2G und G2V vollumfänglich angewendet und dem Übertragungsnetzbetreiber die notwendigen Daten zur Verfügung gestellt werden. Neben der Datenkommunikation sind in der Normenreihe auch immer mehr Komfortfunktionen beschrieben, welche Ladevorgänge in Zukunft erheblich vereinfachen werden. Zu nennen sei hier vor allem das „Plug & Charge“. Diese Funktion ermöglicht ein Starten des Ladevorgangs direkt mit dem Einstecken des Ladesteckers. Die Authentifikation wird automatisch vom Fahrzeug übernommen. Damit würden zahlreiche Authentifikationsvorgänge und sogenannte Ladekarten nicht mehr notwendig sein [24].

In der zweiten Generation, der ISO 15118-20, werden noch weitere Aspekte enthalten sein, welche beim sogenannten Smart Charging (im Kapitel 3.4.3) und der Eingliederung des Elektroautos in ein Smart Grid unterstützen sollen. Dieser Stand der Normreihe ist aktuell noch nicht kommerziell verfügbar. Softwaretechnische Tests laufen noch [25].

3.4.3 Open Charge Point Protocol

Das Open Charge Point Protocol (OCPP) wurde unter der Führung der Open Charge Alliance in den Niederlanden entwickelt. Es ist ein Kommunikationsprotokoll, welches einen Datenaustausch zwischen einer Ladestation und dessen Backend ermöglicht. OCPP ist ein international, besonders in Europa verbreiteter, Open Source Standard. Das bedeutet, dass das Nutzen des Open Charge Point Protocol keiner Lizenz bedarf, und die Funktionsweise direkt einsehbar ist. Somit kann OCPP überall lizenzfrei eingesetzt und weiterentwickelt werden. Mit dieser Vorgehensweise wird mit schnelleren Fortschritten im Bereich der Kompatibilität zwischen Ladestationen und Backend Management Systemen gerechnet. Ein Kommunikationsablauf welcher beim Starten eines Ladevorgangs stattfindet ist zusammen mit einem Telegrammaufbau im Anhang B dargestellt.

Backend Management Systeme erlauben den Operatoren Zugriff auf die Ladestationen. Dies ermöglicht schnelles Handeln, wenn es darum geht Fehler an Ladestationen zu erkennen, Stromtarife zu ändern, die Nutzer Authentifikation zu überprüfen, oder die Ladestationen aus der Entfernung steuern zu können. Erst mithilfe dieses Protokolls und des damit einhergehenden Zugriffs auf Echtzeitdaten von Ladevorgängen können Daten effizient gesammelt und ausgewertet werden, um den Systemoperatoren den für das V2G-Konzept notwendigen Überblick über die angeschlossene Kapazität und deren Verfügbarkeit zu übermitteln.

Der große Vorteil bei der Nutzung dieses Open Source Protokolls ist, dass es dem Betreiber des Ladenetzes offenbleibt, welches Backend Management System er für seine Bedürfnisse am geeignetsten findet. Aufgrund der Tatsache, dass OCPP TCP/IP orientiert ist, kann es grundsätzlich zwischen jedem Backend und Ladestation arbeiten. Ab der Version OCPP 1.6, kann auch Smart Charging realisiert werden. Smart Charging (Intelligentes Laden), bezieht sich auf die Fähigkeit den Ladevorgang auf Grundlage von Ladeplänen oder Energiepreisen automatisch anzupassen. OCPP bietet so die Möglichkeit, über den Ladecontroller den Ladevorgang und die maximale Leistung – bzw. Energieabgabe zu beeinflussen. Durch Ladepläne und intelligente Steuerung kann Smart Charging somit die Regulierung des Gesamtenergieverbrauchs und die damit

verbundenen Kosten optimieren, indem eine Vielzahl an Faktoren, wie Tageszeittarif, Energieauslastung und die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien berücksichtigt werden. Angebotsseitig unterstützt diese OCPP-Implementierung also weiterhin die EVs in das Stromnetz einzubinden, um das Netz bei Lastspitzen zu entlasten, indem die Energieabgabe so gedrosselt werden kann, oder im Falle von V2G sogar Energie an das Netz abgegeben werden kann.

4 Technologische Umsetzung

Mit dem übergeordneten Ziel, Elektrofahrzeuge künftig in Smart Grids einzugliedern um Konzepte des V2G und G2V zu verfolgen, war es das Ziel eine Ladestation zu konzipieren, welche technisch in der Lage ist, alle dafür relevanten Aufgaben, wie die Kommunikation mit dem Auto und dem Backend, sowie die Bereitstellung notwendiger Daten zu übernehmen. Um diese Ziele realisieren zu können, stellte die Ertüchtigung der Ladestation zur Grundfunktionalität selbstverständlich das erste Ziel dar. Diesbezüglich lag das Interesse darin zwei Ladepunkte parallel betreiben zu können. Als Ausgangsbasis diente ein vorkonfiguriertes Gehäuse aus vorangegangenen Projekten. Mit dieser Ladestation war die grundsätzliche Fähigkeit, Energie abzugeben, zwar gegeben, jedoch waren weitere Konzepte und Aufgaben hardware- und softwareseitig weder vorgesehen, noch möglich. Zudem war die erforderliche Interoperabilität nicht gegeben. Im Hinblick auf die zukünftige Nutzung sollte die Konzeptionierung der Ladestation daher komplett überarbeitet, und zudem auf einen aktuellen technologischen Stand gebracht werden. Als Überblick für die Struktur des neuen Aufbaukonzeptes, zusammen mit der Einbettung ins Umgebungssystem sei in Abbildung 4-1 ein Strukturkonzept abgebildet:

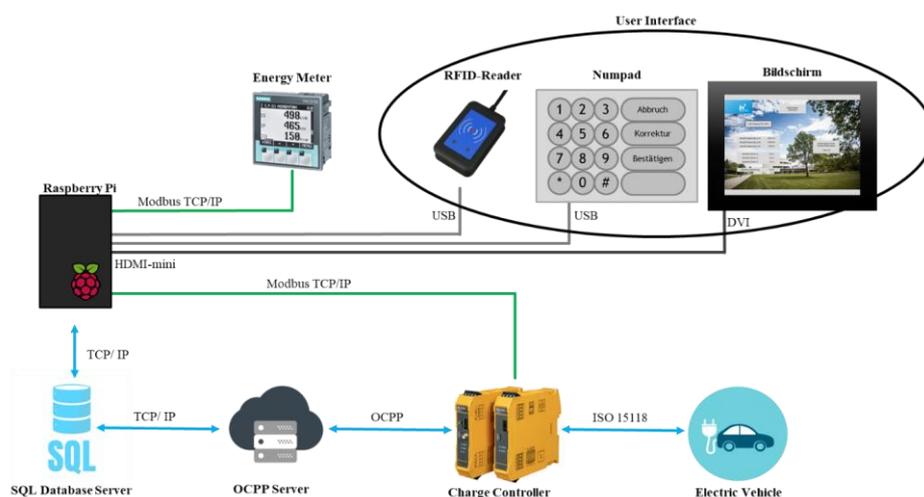


Abbildung 4-1: Strukturbild Ladekonzept

4.1 Hardwarekonzept

Im folgenden Abschnitt soll zunächst Bezug auf die letztendlich verbaute Hardware dieser Ladestation genommen werden. Danach wird speziell auf diverse Einzelgeräte und deren Spezifikationen eingegangen. Die Beschriftung der Einzelgeräte auf dem Gerätelayout steht in direktem Zusammenhang mit dem im Anhang C angefügten Stromlaufplan/Schaltplan der Anlage, zusammen mit der dazugehörigen Bauteilübersicht. Im Allgemeinen wurde bei der Auswahl der Hardwarekomponenten explizit auf die Sicherheit des Nutzers und des Gerätes, sowie entsprechende Wetter- und Temperaturbeständigkeit geachtet.

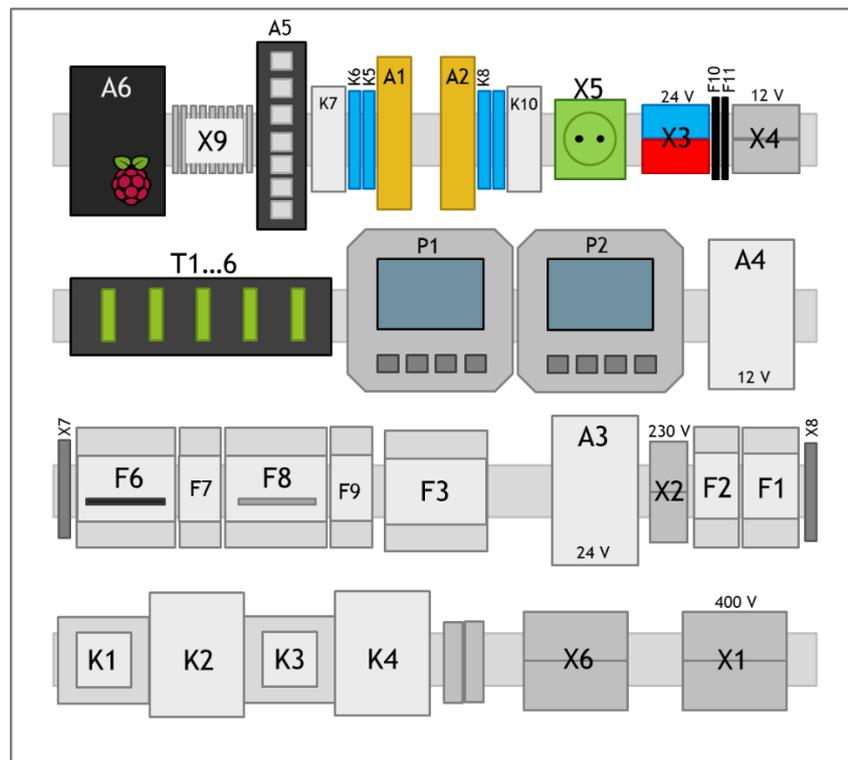


Abbildung 4-2: Gerätelayout

4.1.1 PLC

Die protokoll-übergreifende Steuereinheit der Ladestation ist ein Raspberry Pi Einplatinencomputer (SBC – Single board computer). Dieser wird in diesem Projekt als PLC verwendet und ersetzt einen ursprünglich verbauten Industriecomputer der Firma Siemens.



Abbildung 4-3: Raspberry Pi

Ein internes Datennetzwerk erlaubt dem Raspberry Pi die Koordinierung der Ladevorgänge inklusive einer Nutzer-Authentifikation, die Überwachung der Ladevorgänge durch das Betrachten der Messwerte und die Funktionalitätskontrolle der Peripheriegeräte. Der SBC kommuniziert mit den Ladecontrollern und den Energy Metern über Modbus TCP/IP. Dieses Bussystem ermöglicht eine digitale Übertragung der Daten. Jede Information kann leicht in ein digitales Format übertragen werden und von einem anderen Steuergerät decodiert werden. Dieser digitale Übertragungsweg ist zudem schnell und zuverlässig, indem die Erkennung und die Korrektur von Übertragungsfehlern ermöglicht wird. Für die Funktionalitätskontrolle werden analoge Signale des PLC verwendet, da an allen Peripheriegeräten eine Schnittstelle zur analogen Funktionalitätskontrolle vorhanden ist.

Zusätzlich konnte mithilfe einer vielfältigen Anschlussausstattung des Raspberry-Pi ein zuverlässiges und umfangreiches User-Interface errichtet werden. Besonders wichtig ist hier die Anschlussmöglichkeit eines Bildschirms zur Visualisierung eines Softwareprogramms. Durch den Bildschirm und das Linux Betriebssystem, sowie den

Anschlussmöglichkeiten einer Maus und Tastatur, wird der Raspberry als gewöhnlicher Computer aufgefasst, was die Handhabung und den Umgang damit außerordentlich vereinfacht.

Weiterhin wird der SBC zukünftig auch die zentrale Schnittstelle zur SQL-Datenbank für die Datenspeicherung und -auswertung sein. Für die Stromversorgung des Rasperry-Pi wurde eine 230 V Steckdose innerhalb der Ladestation verbaut. Der britische Einplatinencomputer verfügt über die Besonderheit von sogenannten „General Purpose Input/Output – Kontaktstiften“ (GPIO). Diese verfügen jeweils über verschiedene Eigenschaften. Vier der insgesamt 40 Pins können als kleine Spannungsquelle für entsprechend dort angeschlossener Geräte dienen. Hierbei ist eine Spannungsversorgung von 3,3 V oder 5 V möglich. Andere dieser GPIOs bieten eine freie logische Programmierbarkeit. Diese können dazu genutzt werden um z.B. Signalzustände peripherer Geräte abzufragen oder als Steuersignale zu agieren. In diesem Projekt wurden die GPIOs zur Signalabfrage an den wichtigsten Peripheriegeräte verwendet, um dessen Funktionsfähigkeit sicherzustellen.

4.1.2 Ladecontroller

Für die direkte Ladesteuerung ist ein Ladecontroller (LC) verantwortlich. In diesem Projekt wurde der CC612 Laderegler der Firma Bender GmbH & Co. KG verbaut.



Abbildung 4-4: Bender CC612⁴

⁴ www.bender.de

Für das Starten eines Ladevorgangs an der Ladestation, ist der Ladecontroller nach einer erfolgreichen Nutzer-Authentifikation für das Schalten der Leistungsschütze verantwortlich und steuert so die Stromabgabe an das Elektrofahrzeug. Zudem überwachen die Ladecontroller die Ladesteckdosen und den Ladezustand des Autos. Über eine bidirektionale Kommunikation mit dem Fahrzeug kann ein zuverlässiger Datenaustausch stattfinden, welcher für die Konzepte des V2G wichtig ist. Um diese Daten in einem Master-Slave Betrieb, wie er in diesem Projekt vorliegt, weitergeben zu können, verfügt der Ladecontroller über eine integrierte PLC-Kommunikation nach der ISO 15118. Die USB-Schnittstelle ermöglicht mittels Adapter eine Integration der Ladecontroller in das interne Ethernet-Netzwerk. Über diesen Datenweg kann eine Modbus Kommunikation aufgebaut werden.

Um mit älteren Elektrofahrzeugen, welche keinen ISO 15118 Standard vorweisen, kommunizieren zu können, arbeitet der Ladecontroller selbstverständlich nach den in der IEC 61851 festgehaltenen Grundsätzen zwischen Fahrzeug und Ladestation. Jedoch ist der Datenaustausch hier selbstverständlich auf die für den Ladevorgang essentiellen Daten beschränkt. Durch eine Vielzahl an individuellen Einstellmöglichkeiten, sowie einen zuverlässigen Kundenservice, kann der Bender Ladecontroller an nahezu jedes Umgebungssystem angepasst werden.

Um die Ladecontroller mit einem Lademanagementsystem via OCPP zu verbinden, können OCPP Versionen 1.5, 1.6J/S und 2.0.1 verwendet werden. Neben der Möglichkeit, den Ladecontroller per JSON (Javascript Object Notation) Websocket mit dem Backend zu verbinden, steht ebenso die Möglichkeit einer Implementierung per SOAP (Simple Object Access Protocol) zur Verfügung.

4.1.3 Energy Meter

Die Messwerterfassung und Dokumentation aller relevanten Daten während der Ladevorgänge übernimmt das Leistungsüberwachungsgerät der Siemens Serie SENTRON PAC3200.



Abbildung 4-5: Sentron PAC3200⁵

Das Multifunktionsmessgerät ermöglicht eine genaue, phasenselektive Messung elektrischer Parameter wie Spannung, Strom, Leistung, Energiewerte, Frequenz, Leistungsfaktor und Asymmetrie. Wie schon der Ladecontroller, besitzt auch dieses Gerät die Möglichkeit der Datenkommunikation via Modbus TCP/IP. Um das Gerät hierfür in das interne Netzwerk zu integrieren, bietet das Messgerät eine leicht zugängliche Ethernet-Schnittstelle. Über diesen Datenweg können Echtzeitdaten des Ladevorgangs an den Raspberry Pi übermittelt werden. Hier können diese dann softwareseitig verarbeitet, dem Nutzer über den Bildschirm zugänglich gemacht und gespeichert werden. Die aus den Ladevorgängen erhobenen Datensätze dienen der Präzisierung mathematischer Modelle für die Weiterentwicklung zukünftiger EV-Konzepte.

⁵ de.rs-online.com

4.1.4 User-Interface

Das errichtete User-Interface bietet dem Nutzer die Möglichkeit, direkt mit der Ladestation zu interagieren. Auf diese Weise kann sich der Nutzer an der Ladestation authentifizieren, und anschließend innerhalb weniger Schritte einen Ladevorgang starten und nach Belieben wieder beenden.

Hierfür sind im Wesentlichen drei Baugruppen von Bedeutung:

1. Bildschirm
2. Numpad
3. RFID-Reader

Der in der Ladestation bereits verbaute Bildschirm konnte über einen Micro-HDMI Anschluss am Raspberry-Pi angeschlossen werden. Durch die Verbildlichung des Softwareprogramms können dem Nutzer eindeutige Anweisungen im Umgang mit der Ladestation gegeben werden. Ein kurzes Menü erlaubt es, schnell und einfach den Ladevorgang nach individuellen Wünschen zu gestalten. Eine Informationsübersicht während des Ladevorgangs gibt dem Nutzer Aufschluss über die entnommene Energiemenge und die aktuelle Ladeleistung. Weiterhin werden dem Anwender durch ein umfangreiches Errorhandling sämtliche Hinweise im Falle eines Fehlers oder ausbleibender Betriebsbereitschaft eines Ladepunktes bereitgestellt. Dies ist ebenso hilfreich für das Fachpersonal an der Hochschule, wenn es darum geht aufkommende Fehler zu lokalisieren und schnell zu beheben, um die Verfügbarkeit beider Ladepunkte zu maximieren.

Das Numpad bietet die Möglichkeit mittels Tasten schnell durch das Menü zu navigieren. Für die Authentifikation an der Ladestation wird der Elatec TWN3 RFID-Reader verwendet.



Abbildung 4-6: Elatec TWN3⁶

Dieser RFID-Reader stellt das Software Development Kit bereit, mit dem individuelle Programme umgesetzt werden können. Folgende Grundeinstellungen sind für die Reader möglich:

- Tastatur-Emulation mit UID-Ausgabe als Hex-Wert
- Tastatur-Emulation mit UID-Ausgabe als Dezimal-Wert
- Ansteuerung des Readers über virtuellen COM-Port.

Für die Autorisierung an der Ladestation werden MIFARE RFID-Transponder mit einer 8-Byteverschlüsselung verwendet. Aus diesem Grund war ein Hauptaugenmerk, bei der Wahl eines geeigneten RFID-Readers, die Kompatibilität zur ISO standardisierten MIFARE Technologie.

4.1.5 Sicherheitshardware

Als Fehlerstromschalter für den Leistungsteil der Ladestation wurde ein 400 V / 63 A FI-Schalter der Firma Siemens verbaut. Für die 230 V- Ebene, an welcher unter anderem die Netzteile und die Schuko Steckdose angeschlossen ist, wurde ein 230 V / 16 A RCD verbaut. Die beiden Ladepunkte werden jeweils durch einen separaten 32 A / 400 V Leistungsschutzschalter, ebenfalls der Firma Siemens, abgesichert.

⁶ Kartenstudio.com

Zur Dimensionierung des 63 A FI-Schalters wurde folgende Berechnung durchgeführt:

$$P = U \cdot I$$

$$P_{Drehstrom} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$P_{FI} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$P_{Out} = \sqrt{3} \cdot U \cdot (I_1 + I_2)$$

P_{FI} : zulässige Leistung FI-Schalter

P_{Out} : maximaler Leistungsoutput der Ladestation

U : Ladespannung (hier: 400V)

I : zulässiger Strom über FI-Schalter

I_n : maximaler Ladestrom der Ladegarnitur

Finden zwei Ladevorgänge, jeweils mit einer 32 A Ladegarnitur, gleichzeitig statt so resultiert ein theoretischer maximaler Leistungsoutput von 44,34 kW. Die maximal zulässige Leistung des FI-Schalters beträgt jedoch lediglich 43,65 kW. Bei einem maximalen Leistungsoutput beider Ladepunkte könnten kritische Leistungswerte bezüglich des FI-Schalters erreicht werden. Bei einer dauerhaft zu hohen Strommenge, welche über die Kontakte fließt bestände die Gefahr, dass die Schaltkontakte des FI-Schalters zusammenschmelzen. Dies würde dafür sorgen, dass im Falle einer Fehlerstromdetektion der FI-Schalter nicht öffnen kann. Unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktor sei jedoch festzuhalten, dass es wohl nie passieren wird, dass an dieser Ladestation zwei Fahrzeuge unter Vollast geladen werden. Um dennoch eine Überlastung des Sicherheitsbauteils zu vermeiden, wurde der Strom-Output der Ladepunkte jeweils gedrosselt, sodass keine Stromentnahme von 32 A möglich ist.

Wie in der IEC 61851 beschrieben, so sind auch hier die Ladepunkte mit Steckersicherung ausgestattet. Wird ein EV-Ladestecker vom Ladecontroller erkannt, findet über ein Relais eine automatische Verriegelung statt. Somit ist es nicht möglich den Stecker aus der Ladestation zu ziehen, während ein Ladevorgang läuft. In erster Linie gilt dies zum Schutz des Nutzers, zum anderen schützt es ebenso vor Diebstahl oder einer Mutwilligen Unterbrechung der Ladevorgänge durch Passanten. Die Verriegelung löst sich entweder nachdem der Ladevorgang eigenhändig an der Ladestation beendet wurde,

oder sobald der Ladevorgang durch das Öffnen des EVs beendet wird. Dadurch wird die Kommunikation zum Auto unterbrochen, woraufhin der Ladecontroller keine Ladegarnitur mehr erkennt. Die Verriegelung öffnet sich, und der Stecker kann entnommen werden.

4.2 Softwarekonzept

Der Raspberry Pi steuert alle Vorgänge der Softwarelösung. Dies beinhaltet unter anderem die Bereitstellung eines Frontend, die Nutzer-Authentifikation, den Start und das Beenden des Ladevorgangs, sowie die Messwertdokumentation und eine Bauteilkontrolle. Um all diese Aufgaben korrekt ausführen zu können, wurde ein Softwareprogramm geschrieben, was den Ablauf und die Routinen eines jeden Ladevorgangs koordiniert und einleitet.

Im Folgenden werden einzelne Kommunikationsprotokolle und Eckpunkte bezüglich des Programms, sowie die Funktionsweise zum Backend beschrieben.

4.2.1 Hauptprogramm

Um dem Nutzer auf dem Bildschirm eine grafische Oberfläche zu bieten, die ihm den Leitfaden zur Handhabung und die wichtigsten Informationen anzeigt, bedarf es einer graphischen Benutzerschnittstelle. Ein solches Frontend, ist im Grunde nichts anderes als eine Veranschaulichung eines Teils des im Hintergrund laufenden Programms. So können bestimmte Parameter grafisch dargestellt und abgefragt werden, welche dann im Programm verarbeitet werden können. Ein Programmablaufplan ist im Anhang A beigefügt.

Für das Erstellen einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI – graphical user interface) wurde Tkinter verwendet. Tkinter ist die Abkürzung für Tk-Interface und ist eine Sprachanbindung für das GUI-Toolkit Tk für die Programmiersprache Python. Python wiederum ist eine objektorientierte Programmiersprache, welche besonders aufgrund ihrer verhältnismäßig leicht verständlichen Programmiersyntax weit verbreitet ist.

Mithilfe von Tkinter lassen sich z.B. Knöpfe erstellen, und Funktionen, welche ausgeführt werden sollen, sobald der Button betätigt wurde. Hierüber findet das Usermanagement und eine Visualisierung aktueller Ladedaten oder eventuell auftretender Fehler statt. In Abbildung 4-7 ist ein kleiner Programmauszug dargestellt.

```
if Seite == "R":
    host = '172.18.43.21' # CP_2; Bender Ladecontroller rechts
    port = 502
    client = ModbusTcpClient(host,port)
    client.connect()

    rr_104 = client.read_holding_registers(104,1,unit = 1)
    state_2_R = rr_104.registers
    print(state_2_R)
    client.close()

    if state_2_R != [5]:
        Error_pre_label.place(x = x_side, y = 230, height=250, width=380)
        Error_pre_label.lift
        pre_ttl = pre_ttl + 1
        CP_pre_check_after = master.after(3500, Auswahl)
    else:
        Ladevorgang()
```

Abbildung 4-7 : Programmauszug

4.2.2 Datenhandling

Modbus ist ein offenes Kommunikationsprotokoll, das auf der Client/Server – Architektur basiert. Das Protokoll wird zumeist zum Datenaustausch in einem Master-Slave Netzwerk verwendet, und gehört heutzutage zum Industriestandard für die Verbindung von Computern mit Mess- und Regelsystemen. Als Übertragungssystem wird dabei meistens Ethernet oder ein serieller Anschluss genutzt. Das Modbus Protokoll ermöglicht dann eine Ansteuerung der Peripheriegeräte und einen Datentransfer von dem Slaves vom Master. Die Datenübertragung wird dabei in den meisten Fällen vom Master initiiert. Um die Ansteuerung koordinieren zu können, ist es notwendig, dass jeder Busteilnehmer eine eindeutige Adresse besitzt. Für die Übertragung gibt es drei

verschieden Betriebsarten: TCP/IP, RTU und ASCII [26]. Die hier verwendete Betriebsart des Modbus TCP/IP, ist eine verbindungsorientierte Übertragungsmethode. Aufgrund einer Fehlererkennung und einer Fehlerkorrektur ist dies ein sehr zuverlässiges Protokoll. Durch eine Modbus-Bibliothek in Python, kann eine Verbindung zu den Slaves aufgebaut werden, und der Datenaustausch kann stattfinden. Hierfür ist es wichtig, dass die IP-Adresse der Slave-Geräte bekannt ist. Eine softwareseitiger Verbindungsaufbau sieht dann wie folgt aus:

```
host = '172.18.43.22' # Bender Ladecontroller CP_1
port = 502
client = ModbusTcpClient(host,port)
client.connect()
```

Aufgebaut wird hier eine Verbindung zum Ladecontroller „CP_1“ (Charge Point 1), über den standardisierten Modbus TCP Port 502. Nachdem diese Verbindung zu den Ladecontrollern oder den Sentron Messgeräten aufgebaut wurde, kann ein Datenaustausch mit dem Raspberry Pi stattfinden. Für die interne Datenspeicherung verwenden die Slaves ein Registersystem. Diese Register beinhalten Daten, Informationen oder Einstellungen. Unterschieden wird grundsätzlich zwischen Read-Registern (Leseregister) und Write-Register (Schreibregister). Dies gibt an, ob dem Master lediglich gestattet ist diese Daten zu lesen, oder ob er auch die Möglichkeit hat selbst in diese Register zu schreiben, um Daten festzulegen. Wie letzteres aussehen kann, wird im kommenden Unterpunkt angesprochen. Ein Register umfasst 2 Byte, wobei die Informationen im Hexadezimal Format vorliegen. Um diese Daten für den Menschen lesbar zu machen, bedarf es einer Konvertierung dieser Werte in das ASCII-Format.

4.2.2.1 Ladereglerkommunikation

Für eine Modbus Verbindung zu den Ladecontrollern werden die IP-Adressen 172.18.42.22 für „CP_1“ (Charge Point 1) und 172.18.43.21 für „CP_2“ (Charge Point 2), sowie der standardisierte Modbus Port, verwendet. Auf der Weboberfläche der Ladecontroller lassen sich unter „Dokumentation“ sämtliche Modbus Register inklusive

deren Größe und Funktion einsehen. Zusätzlich ist hier festgehalten, ob es sich bei den Registern um Leseregister oder Schreibregister handelt. Ein Auszug ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

Holding	100	Firmwareversion	R	2	Returns the Ebee Application version number (example: 0 91 = {0x30, 0x2E, 0x39, 0x31} 4.40 = {0x34, 0x2E, 0x34, 0x34}).
Holding	104	OCPP CP Status	R	1	Charge Point status according to the OCPP spec. enumeration
Holding	105	Error Codes 1	R	2	Aggregated error states (see Spec. sheet for mask mappings)
Holding	107	Error Codes 2	R	2	Aggregated error states (see Spec. sheet for mask mappings)
Holding	109	Error Codes 3	R	2	Aggregated error states (see Spec. sheet for mask mappings)
Holding	111	Error Codes 4	R	2	Aggregated error states (see Spec. sheet for mask mappings)
Holding	120	Protocol Version	R	2	Ebee Modbus TCP Server Protocol Version number (example: 0.6 = {0x30, 0x2E, 0x36}).
Holding	122	Vehicle (Control Pilot) state	R	1	A=1, B=2, C=3, D=4, E=5
Holding	123	Vehicle (Control Pilot) state in Hex. format	R	1	A = 0x0A, B = 0x0B, etc.
Holding	124	Charge Point availability	R/W	1	Get/Set available/unavailable
Holding	131	Safe Current (Amps.)	R/W	1	Max. charge current under communication failure
Holding	132	Comm. Timeout (seconds)	R/W	1	Communication timeout

Abbildung 4-8: Modbus Dokumentation Bender⁷

Der Ladecontroller verfügt theoretisch selbst über die Funktion eine Nutzer-Authentifikation durchzuführen. Dafür empfiehlt die Firma Bender kompatible RFID-Reader, die direkt am Ladecontroller angeschlossen werden können. Für die Authentifikation gibt es im Ladecontroller eine interne Whitelist, in welche die RFID-Tags hinterlegt werden können, welchen es erlaubt ist einen Ladevorgang zu starten. Stimmt eine an den Reader gehaltene User-ID (UID), mit einer in der Whitelist gespeicherten IDs überein, so wird diese ID in die Register 1110 bis 1120 geschrieben. Das Schreiben dieser UID in die benannten Register ist gleichzeitig der Befehl den Ladevorgang, durch das Öffnen der Schütze, zu starten. Um den Ladevorgang wieder zu beenden, wird dieselbe UID erneut in diese Register geschrieben. Dies sorgt dafür, dass die Register geleert werden und der Vorgang beendet wird – es befindet sich keine UID mehr in einem Ladevorgang. Da das Programm nach einer erfolgreichen Überprüfung der Nutzer ID dem Benutzer noch die Möglichkeit geben soll Parameter für seinen Ladevorgang festzulegen, wurde der Prozess der Nutzer-Authentifikation separat behandelt und ausgelagert. Somit kann eine Autorisierung stattfinden, ohne dass der Ladevorgang direkt startet. Um dann softwareseitig selbst den Ladevorgang einzuleiten, wurde in der Whitelist der ID-Tag „AA123D3F“ hinterlegt. Da es sich bei den Registern 1100 bis 1120 um Schreibregister handelt, können hier über Modbus selbst Werte eingetragen werden. Sobald also alle Parameter für den Ladevorgang festgelegt wurden,

⁷ Webinterface Ladecontroller CC612

wird über Modbus diese ID in die Register übertragen – dies selbstverständlich im Hexadezimal-Format:

```
host = '172.18.43.22' # Bender Ladecontroller links
port = 502
client = ModbusTcpClient(host,port)
client.connect()

register_address= 1110
register_values=[0x2020, 0x2020, 0x2020, 0x2020, 0x2020,
                0x2020, 0x4141, 0x3132, 0x3344, 0x3346]
```

Für die UID des Ladevorgangs stehen insgesamt 10 Register zur Verfügung, was einer maximalen Länge von 20 Byte entspricht. Ist die ID, wie in dieser Anwendung, kürzer als 20 Byte, so wird der Beginn der ID mit Nullen aufgefüllt. Da die gezeigte UID in der Whitelist zu finden ist, erkennt der Ladecontroller dies als Aufforderung den Ladevorgang zu starten. Mit dieser Lösung kann der Ablauf eines Ladevorgangs sehr viel flexibler gestaltet werden.

Ein weiteres Register, mit welchem im Software Programm sehr häufig gearbeitet wird, ist das Register des CP_State (Register Nr. 104). Wie bereits am Anfang der Bachelorarbeit erläutert, gibt der Control Pilot den Zustand an, in welchem sich das Fahrzeug, in Bezug auf den Ladevorgang, befindet. Dieses Register kann folgende Werte annehmen:

- 0 = Available
- 1 = Occupied
- 2 = Reserved
- 3 = Unavailable
- 4 = Faulted
- 5 = Preparing
- 6 = Charging
- 7 = SuspendedEVSE
- 8 = SuspendedEV
- 9 = Finishing

Mit einem Auslesen dieser Werte kann im Programm beispielsweise festgelegt werden, dass der Start eines neuen Ladevorgangs erst wieder möglich ist, wenn der CP-State auf [0] steht.

Besonders wichtig wird dieser Wert auch innerhalb einer routinierten Ladekontrolle, welche in das Programm integriert wurde. So kann stets beobachtet werden, ob ein Fehler aufgetreten ist, oder das Fahrzeug von sich aus den Ladevorgang beendet, weil es vollgeladen ist. Solange eine [6] in diesem Register zu lesen ist, wird softwareseitig nicht reagiert. Wenn der CP-State eine [4] aufweist, so kann dies bedeuten, dass der Fahrzeuginhaber selbst den Ladevorgang vom Auto aus beendet hat. In diesem Fall wird die Energieabgabe unterbrochen, und die Ladeseitige Stecker-Verriegelung öffnet sich, damit der Besitzer das Ladekabel entnehmen kann.

4.2.2.2 Messdatenübertragung

Ähnlich verhält sich die Modbus Kommunikation mit den Sentron Messgeräten. Auch diese lassen eine derartige Kommunikation zu, über welche sich Echtzeitdaten aus den Registern lesen lassen.

Die Modbus Register Tabelle der Sentrons sieht wie folgt aus:

Sentron Register Verzeichnis (Read)

```
1, 2 Spannung L1-N
3, 4 Spannung L2-N
5, 6 Spannung L3-N
7, 8 Spannung L1-L2
9, 10 Spannung L2-L3
11, 12 Spannung L3-L1
13, 14 Strom L1
15, 16 Strom L2
17, 18 Strom L3
19, 20 Scheinleistung L1
21, 22 Scheinleistung L2
23, 24 Scheinleistung L3
25, 26 Wirkleistung L1
27, 28 Wirkleistung L2
29, 30 Wirkleistung L3
31, 32 Blindleistung L1
33, 34 Blindleistung L2
35, 36 Blindleistung L3
37, 38 Leistungsfaktor L1
39, 40 Leistungsfaktor L2
41, 42 Leistungsfaktor L3
43, 44 THD Spannung L1)
45, 46 THD Spannung L2)
47, 48 THD Spannung L3)
49, 50 THD Strom L1)
51, 52 THD Strom L2)
```

```
53, 54 THD Strom L31)
55, 56 Netzfrequenz
57, 58 Mittelwert Spannung UL-N
59, 60 Mittelwert Spannung UL-L
61, 62 3-Phasen-Durchschnitt Strom
63, 64 Gesamtscheinleistung
65, 66 Gesamtwirkleistung
67, 68 Gesamtblindleistung (Qn)
69, 70 Gesamtleistungsfaktor
71, 72 Amplitudenunsymmetrie der Spannung
73, 74 Amplitudenunsymmetrie des Stroms
```

Wie zum Teil schon bei den Modbus Registern der beiden Ladecontroller, so sind auch hier die Werte teils in zwei Registern aufgeteilt. Das hängt mit der Größe der Daten zusammen. In diesem Fall ist in den jeweils ersten Registern der tatsächliche Wert festgehalten und in den darauffolgenden Registern die dazugehörige Einheit. (In den Registern selbstverständlich als hexadezimalzahl zu lesen). Aufgrund dieser Modbus Kommunikation ist es möglich die Datenpakete zu erhalten, zu entpacken, und die konvertierten Daten auf der Benutzeroberfläche anzuzeigen. So sind Daten wie die Spannung, der Strom und die aktuelle Ladeleistung vom Benutzer der Ladestation einsehbar.

4.2.3 Sicherheitssoftware

Da es sich hierbei um einen Aufbau eines Forschungsprojektes handelt und nur berechtigtes Hochschulpersonal die Möglichkeit einer Energieabgabe geboten werden soll, wurden mehrere Sicherheitsschritte in das Programm eingebaut. Um Zugriff auf die Auswahlmöglichkeiten und das Starten eines Ladevorgangs zu erhalten, ist eine 2-Schritt-Authentifizierung notwendig. Nachdem eine gültige und in dem Programm hinterlegte UID erkannt wurde, wird zusätzlich noch ein 4-stelliger Sicherheits-Pin abgefragt. Das Starten des Ladevorgangs und somit das Öffnen der Schütze, welches zur Folge hat, dass die Kontakte an der zugänglichen Steckdose unter Spannung gesetzt werden, wird softwaretechnisch erst gestattet, wenn ein Auto am CP-Kontakt erkannt wurde. Weiterhin muss das Auto den Zustand angeben, dass es zum Laden bereit ist.

Um den Geräteschutz und den Personenschutz weiterhin zu erhöhen, finden jeweils vor und nach den Ladevorgängen Softwareroutinen statt, welche sämtliche Bauteile auf

Fehler überprüfen. Sollten Fehler auftreten, wird der betroffene Ladepunkt zur Sicherheit inaktiv gesetzt. Das Starten eines Ladevorgangs ist dann an diesem Ladepunkt nicht mehr möglich. Zusätzlich werden entsprechende Fehlermeldungen auf dem Display angezeigt, welche Aufschluss darüber geben, an welchem Bauteil der Fehler erkannt wurde, um den Zeitaufwand bei dem Total Productive Maintenance zu verringern.

Sollte ein Fehler auftreten, welcher nur einen der beiden Ladepunkte betrifft, so ist das Laden an dem fehlerfreien Ladepunkt nach wie vor möglich. Weitere Informationen zum Errorhandling sind beim Programmablaufplan und bei der Validierung der Arbeit festgehalten.

Was die IT-Sicherheit angeht, so befindet sich die Ladestation in einem von der Außenwelt abgeschnittenem Netzwerk. Sämtliche Kabel, welche einen Zugriff gewähren würden, wurden so verlegt, dass sie für einen unbefugten Nutzer nicht zugänglich sind. Um einen kabellosen Zugang zum Raspberry Pi zu verhindern, sind sämtliche Dienste wie Bluetooth oder WLAN während des Betriebs deaktiviert.

4.2.4 OCPP Server

Als OCPP Backend Anbindung für die Ladestation wurde SteVe verwendet. SteVe steht für „Steckdosenverwaltung“ und ist ein Open Source OCPP Server. Der OCPP Server wurde auf einem extern gelegenen, jedoch im gleichen Netzwerk befindlichen Computer, aufgesetzt. Erreichbar ist die Weboberfläche über die IP-Adresse des Computers zusammen mit dem Port 8080. Dieses Backend bietet die Möglichkeit einer visuellen Übersicht über die angeschlossenen Ladepunkte, sowie einen externen Zugriff darauf. Dafür werden die entsprechenden Ladepunkte über einen erstellten Websocket mit dem Backend verbunden. In der Übersicht sind dann der CP_1 (Charge Point 1) und der CP_2 (Charge Point 2) erkennbar. Vom Backend aus können die Ladepunkte zentral kontrolliert und gesteuert werden. Unter Verwendung des OCPP Protokolls stehen dem Operator eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Verfügung:

- Change Availability
- Change Configuration
- Get Diagnostics
- Remote Start Transaction
- Remote Stop Transaction
- Reset
- Unlock Connector
- Update Firmware
- Reserve Now
- Cancel Reservation
- Get Configuration
- Get Local List Version
- Send Local List
- Trigger Message
- Get Composite Schedule
- Clear Charging Profile
- Set Charging Profile

Unter Nutzung der OCPP Befehle, können Wartungsarbeiten oder Kontrollen durchgeführt werden, ohne dass Arbeiten direkt vor Ort nötig sind. So können beispielsweise Updates über kurze Befehle schnell und unkompliziert vom Computer aus erfolgen.

Gerade in Zukunft, könnte dies sehr vorteilhaft werden, wenn in einem städtischen Netzwerk mehrere Ladepunkte an einem OCPP Lademanagementsystem angeschlossen sind. Des Weiteren können hierdurch Ladevorgänge bei eventuell vorliegenden Softwareproblemen schnell beendet werden, oder Ladepunkte reserviert werden. Ein weiterer Vorteil, den dieses Backend System bietet, ist das Erstellen von Ladeprofilen (Charging Profiles). Diese sind Hauptinstrument des Smart Charging Konzeptes, und bieten die Möglichkeit den Ladevorgang und die Stromabgabe an vorliegende Umgebungsparameter, wie zum Beispiel den Strompreis oder die Netzauslastung anzupassen.

4.2.5 Datenbank

Um dem Netzoperator in Zukunft tatsächlich eine Übersicht bereitstellen zu können, ist es wichtig die Ladedaten und die Daten des Fahrzeugs entsprechend zu bündeln und aufzubereiten.

Hierfür soll zukünftig eine Datenbank erstellt werden, in welcher die Daten gespeichert und zusammengeführt werden. Ziel ist es, eine Datenbank zu erstellen, in welcher zum einen Nutzerdaten, wie Name, ID-Tag und Fahrzeug festgehalten werden, und zum anderen Ladedaten, wie die Zeiten des Starts und des Endes des Ladevorgangs zusammen mit Energiedaten. Für Fahrzeuge, welche eine ISO 15118 Kompatibilität aufweisen, können dann zusätzlich Daten gespeichert werden, wie der aktuelle SOC oder die vorhandene Batteriekapazität.

Aktuell werden sämtliche Lademesswerte parallel zum Ladevorgang in eine Textdatei auf dem Raspberry Pi festgehalten.

5 Validierung

Die Ladestation wurde auf dem Campus der Hochschule Magdeburg-Stendal installiert. Da es sich vorerst um eine Ladestation für Testzwecke, sowie Forschung und Entwicklung handelt, wurde der Zugriff auf die Lademöglichkeit per RFID-Transponder auf eine beschränkte Anzahl von Mitarbeitern der Hochschule begrenzt.

5.1 Usermanagement

Schließt ein Nutzer sein Fahrzeug an der Ladestation an, erwartet ihn zunächst wahrscheinlich ein Bildschirmschoner, mit der Aufforderung die Taste „0“ auf dem Numpad zu drücken.

Auf diese Weise verschwindet der Bildschirmschoner, und das folgende Bild wird auf dem Bildschirm zu sehen sein:



Abbildung 5-1: Startbildschirm

Nachdem der Nutzer die Seite, auf welcher er den Ladevorgang starten möchte, bzw. auf welcher Seite er das Fahrzeug bereits angeschlossen hat, ausgewählt hat, muss er sich nun mittels des RFID-Transponders authentifizieren.



Abbildung 5-2: Anmeldung per RFID-Transponder

Dafür wird der RFID-Transponder an eine schwarze Kunststofffläche an der Vorderseite der Ladestation über dem Numpad gehalten. Die vom RFID-Reader gelesene User-ID wird anschließend innerhalb der Software überprüft. Ist es dieser ID nicht gestattet, einen Ladevorgang zu starten, so wird ein Hinweis auf dem Bildschirm zu sehen sein. Andernfalls geht das Programm zum zweiten Schritt der 2-Schritt-Authentifikation über – dem Sicherheitscode.

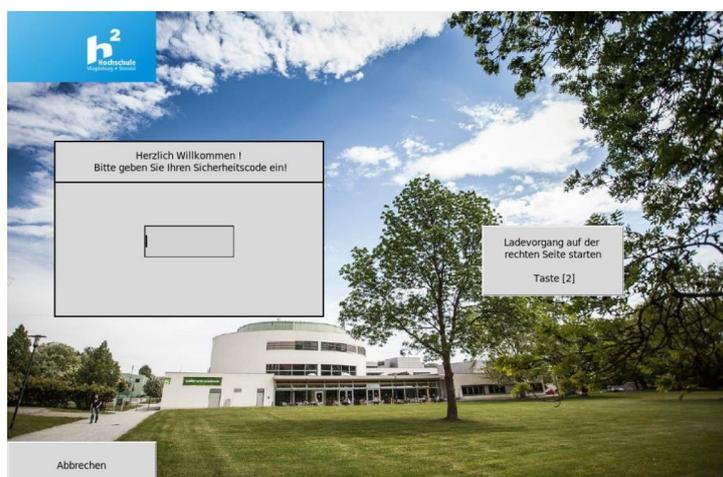


Abbildung 5-3: Sicherheitscode

Der Sicherheitscode besteht aus einem 4-stelligen Pin, welcher über das Numpad eingegeben wird. Wurde der korrekte Pin eingegeben, wird in der folgenden Übersicht dem Nutzer die Möglichkeit eingeräumt zwischen verschiedenen Soll-SOC-Ständen auszuwählen, bis wohin das Auto geladen werden soll. Um diese Möglichkeit zu schaffen, bedarf es allerdings einen Weg, den SOC-Stand des Autos zu ermitteln. Diese Datenbereitstellung ist lediglich Autos nach einer ISO 15118 Standardisierung vorenthalten. Da im Zuge der Erstellung dieses Projektes kein Auto mit dieser Fähigkeit zur Verfügung stand, konnten hier keine weiteren Parameter festgelegt werden.



Abbildung 5-4: Parameterauswahl

Die Knöpfe der Auswahl 1 und Auswahl 2 sollen hier demnach lediglich als Veranschaulichung dienen. Wird die Ladestation um diese Funktion erweitert, ist es möglich dem Nutzer an dieser Stelle eine Auswahl an mehreren Lade-Möglichkeiten zu bieten. Vorerst sind die Knöpfe mit keinen derartigen Parametern versehen, sodass bei der Auswahl mit 1 oder 2 lediglich der Start des Ladevorgangs initiiert wird.

Bevor der Ladevorgang gestartet wird, findet eine Sicherheitskontrolle statt, welche alle relevanten Bauteile auf entsprechende Funktionalität überprüft. Ist alles in Ordnung, wird der Ladevorgang gestartet und es erscheint eine Übersicht, über aktuelle Daten des Ladevorgangs. Neben den Spannungs- und Stromwerten der drei Phasen, wird ebenso die aktuelle Ladeleistung angezeigt.

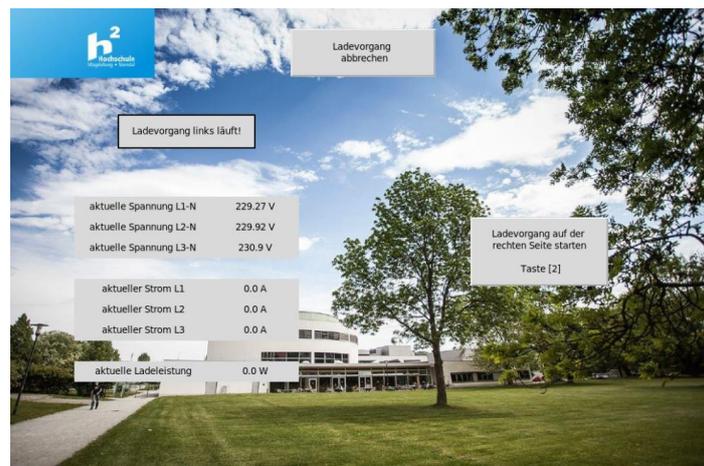


Abbildung 5-5: Ladeübersicht

Es besteht nun die Möglichkeit eine Ladung auf der anderen Seite zu starten.

Möchte der Nutzer den aktuellen Ladevorgang abbrechen, drückt er auf dem Numpad den Knopf „Abbrechen“. Anschließend erscheint ein Textfeld, mit der Aufforderung den entsprechenden RFID-Tag an den Reader zu halten. Der Ladevorgang wird erst dann beendet, wenn der RFID-Tag mit dem der aktuellen Sitzung übereinstimmt.

Sobald es vollgeladen wurde, initiiert das EV eine Unterbrechung der Stromabgabe seitens der Elektroladestation von selbst. Ist dies der Fall, erscheint ein Textfeld, dass der Ladevorgang beendet wurde, die Verriegelung öffnet jedoch aus Sicherheitsgründen noch nicht. Der Stecker kann erst nach Öffnen des Fahrzeuges, zunächst aus dem Auto, und dann aus der Ladestation gezogen werden.

Wurde der Ladevorgang beendet, und der Ladestecker entnommen, wird der Ladepunkt für den nächsten Ladevorgang vorbereitet. Sobald der Button wieder verfügbar ist, kann der nächste Vorgang an diesem Ladepunkt gestartet werden.

Zeitgleich startet eine Softwareroutine, welche die Funktionsfähigkeit der Geräte überprüft. Diese Kontrolle wird alle 30 Sekunden durchgeführt. Sobald ein Fehler vom Programm erkannt wurde, wird der Ladepunkt auf inaktiv gesetzt, was die Lademöglichkeit hier unterbindet. Wird das Problem behoben, verschwindet die Fehleranzeige, und der Ladepunkt ist wieder aktiv.

5.2 SteVe

In der Hauptübersicht des OCPP Server sind alle Ladepunkte erkennbar, welche mit dem Backend verbunden werden. Im folgenden Beispielbild sind unter „Number of Charge Points“ drei Ladepunkte aufgeführt, da für Testzwecke ein weiterer Ladepunkt verbunden wurde, welcher jedoch nicht in der Ladestation verbaut wurde.

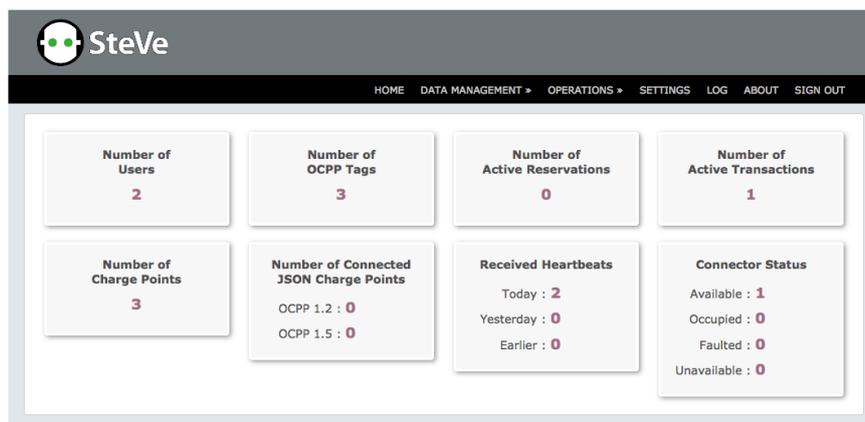


Abbildung 5-6: Hauptübersicht SteVe

Unter „Number of Active Transactions“ lässt sich erkennen, an wie vielen Ladepunkten aktuell ein Ladevorgang stattfindet, und unter „Connector Status“, wie viele weiterhin verfügbar und aktiv sind, oder ob Ladepunkte reserviert (occupied), fehlerhaft (faulted) oder inaktiv sind (unavailable).

Zukünftig soll über das OCPP Kommunikationsprotokoll ein Datenaustausch zwischen dem Backend und dem Fahrzeug bezüglich Batteriedaten, wie Gesamtkapazität und SOC, stattfinden. Mithilfe dieser Daten kann der Ladevorgang beim Erreichen des gewünschten Ladezustands gestoppt und beendet werden. Für einen derartigen Datentransfer ist jedoch, wie bereits erwähnt, ein Fahrzeug notwendig, welches nach dem ISO 15118 standardisiert ist. Da das Testfahrzeug, welches für dieses Projekt zur Verfügung stand diese Anforderung nicht erfüllen konnte, wurde die OCPP Kommunikation über andere Befehle validiert. Zur Kontrolle des Kommunikationsweges wurden dafür Ladevorgänge per Fernzugriff über das Backend gestartet und wieder beendet. Auch andere Datenabfragen vom Auto konnten hierdurch erfolgen.

5.3 Dokumentation der Messdaten

Momentan werden sämtliche Daten, die während des Ladevorgangs zyklisch per Modbus Datenübermittlung an den Raspberry Pi gesendet werden, parallel zum Ladevorgang gespeichert.

Auch wenn es aktuell noch nicht möglich ist, die Daten an eine Datenbank zu übertragen, so werden die Daten trotzdem dokumentiert, um einen Überblick über den Ladevorgang zu erhalten. Diese Datenerfassung wurde momentan so gelöst, dass die zyklisch übermittelten Daten in einer lokal gespeicherten Textdatei festgehalten werden. Dies sei jedoch, wie beschrieben, als Platzhalter für die spätere Datenbankimplementierung aufzufassen.

Ein Beispiel für den Parametersatz der Messdaten kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

Aus dem Ladevorgang ergaben sich folgende Messwerte:

```
Zyklus 1:
Spannung L1-N -> 230.48 V
Spannung L2-N -> 231.53 V
Spannung L3-N -> 231.98 V
Spannung L1-L2 -> 400.13 V
Spannung L2-L3 -> 401.41 V
Spannung L3-L1 -> 400.48 V
Strom L1 -> 0.0 A
Strom L2 -> 0.0 A
Strom L3 -> 0.0 A
Scheinleistung L1 -> 0.0 VA
Scheinleistung L2 -> 0.0 VA
Scheinleistung L3 -> 0.0 VA
Wirkleistung L1 -> 0.0 W
Wirkleistung L2 -> 0.0 W
Wirkleistung L3 -> 0.0 W
Blindleistung L1 -> 0.0 Var
Blindleistung L2 -> 0.0 Var
Blindleistung L3 -> 0.0 Var
Netzfrequenz -> 50.0 Hz
Mittelwert Spannung UL-N -> 231.33 V
Mittelwert Spannung UL-L -> 400.68 V
3-Phasen-Durchschnitt Strom -> 0.0 A
Gesamtscheinleistung -> 0.0 VA
Gesamtwirkleistung -> 0.0 W
Gesamtblindleistung Qn -> 0.0 Var
Energie aktuell -> 0.0 Wh
Energie gesamt -> 0.0 Wh
```

Abbildung 5-7: Messdatensatz

5.4 Tests zur Implementierung des DLM

Um eine Eignung der Ladestation als Netzbestandteil zum Lastmanagement zu überprüfen, wurden verschiedene Tests und Messungen durchgeführt. Wie bereits beschrieben, können dafür vorgesehene Funktionen, aufgrund mangelnder Softwareupdates, derzeit nicht verwendet werden. Um dennoch ein Lastmanagements an diesem Forschungsprojektes zu ermöglichen, ist es notwendig eine eigene Softwarelösung in das bestehende Programm zu integrieren.

Wie in Abschnitt 3.2 bereits beschrieben, gibt die Frequenz eine Aussage über die aktuelle Netzauslastung. Unter Berücksichtigung dieses Messwertes, ist es möglich den maximal zu entnehmenden Stromwert, über das verantwortliche Modbus-Register des Ladecontrollers, zu ändern. Nach dieser Vorgehensweise lässt sich die Leistungsentnahme bei einer Netzüberlastung (bspw. ab 49,9 Hz) drosseln und bei einer Frequenz von 50 Hz oder steigender Frequenz wieder erhöhen.

Um die Funktionalität dieser Theorie zu belegen und zu überprüfen, mussten zwei Beweise erfolgen. Zum Einen musste sichergestellt werden, dass das Fahrzeug den im Register festgehaltenen Wert erkennt und sich danach richtet. Dies konnte mit einem Ladevorgang des Testfahrzeugs untersucht und bestätigt werden, indem ein Grenzwert festgelegt wurde. Wie in Abbildung 5-8 zu erkennen, konnte so die Ladeleistung durch die Stromentnahme auf den einzelnen Phasen begrenzt werden. Die Stromentnahme näherte sich stets dem Grenzwert an, überschritt ihn jedoch zu keinem Zeitpunkt.

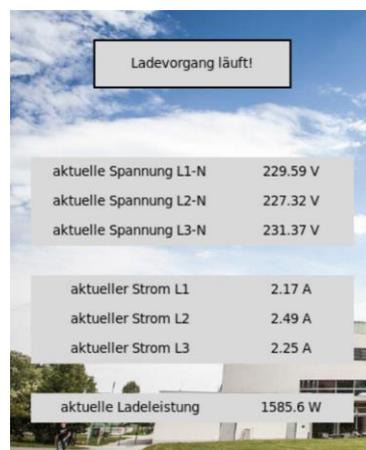


Abbildung 5-8: Begrenzung der Ladeleistung

Weiterhin musste für diese Art des dynamischen Lastmanagements überprüft werden, ob sich dieser Grenzwert auch innerhalb eines Ladevorgangs ändern lässt, und der neue Wert vom Fahrzeug adaptiert wird. Dieser Test wurde leider nicht mit dem Testfahrzeug, sondern mit einem einphasigen Verbraucher durchgeführt. Doch auch die Stromanpassung während des Ladevorgangs konnte so überprüft und zudem vom E-Mobility Team der Firma Bender bestätigt werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Bachelorarbeit wurde eine Ladestation entwickelt, an welcher zwei Ladevorgänge gleichzeitig durchgeführt werden können und welche den aktuellen Standards und Vorgaben entspricht.

Das eingerichtete Nutzer-Interface sorgt für eine simple Bedienbarkeit der Anlage und eine Fehler- und Bauteilkontrolle für die notwendige Sicherheit des Nutzers. Über die Ladecontroller kann eine notwendige Kommunikation mit dem Fahrzeug sichergestellt werden und die interne Modbus-Kommunikation sorgt für einen zuverlässigen Datenaustausch zwischen den Peripheriegeräten. Aufgenommene Ladedaten werden aktuell lokal gespeichert und können zukünftig an eine SQL-Datenbank übergeben werden. Um eine Datenerfassung für zukünftige Smart Grid Konzepte zu ermöglichen, sind Angaben über die Batteriekapazität und den Ladezustand des Fahrzeugs nötig. Hierzu muss das angeschlossene Fahrzeug ISO 15118 befähigt sein. Eine Datenerfassung in diesem Ausmaß konnte nicht erfolgen, da das Test-Fahrzeug nicht diesen Anforderungen entsprach.

Die Ladecontroller konnten erfolgreich mit dem OCPP Backend verbunden werden. Die OCPP Kommunikation wurde auf Funktionalität überprüft, indem ein Ladevorgang per Remotebefehl gestartet und wieder beendet wurde. Um mit OCPP-Funktionen wie „Charging Profiles“ Aufgaben des Lastmanagement zu übernehmen, fehlt aktuell die Anpassung der Ladecontroller an die ISO 15118-20. Diese Softwareupdates befinden sich aktuell noch in der Testphase.

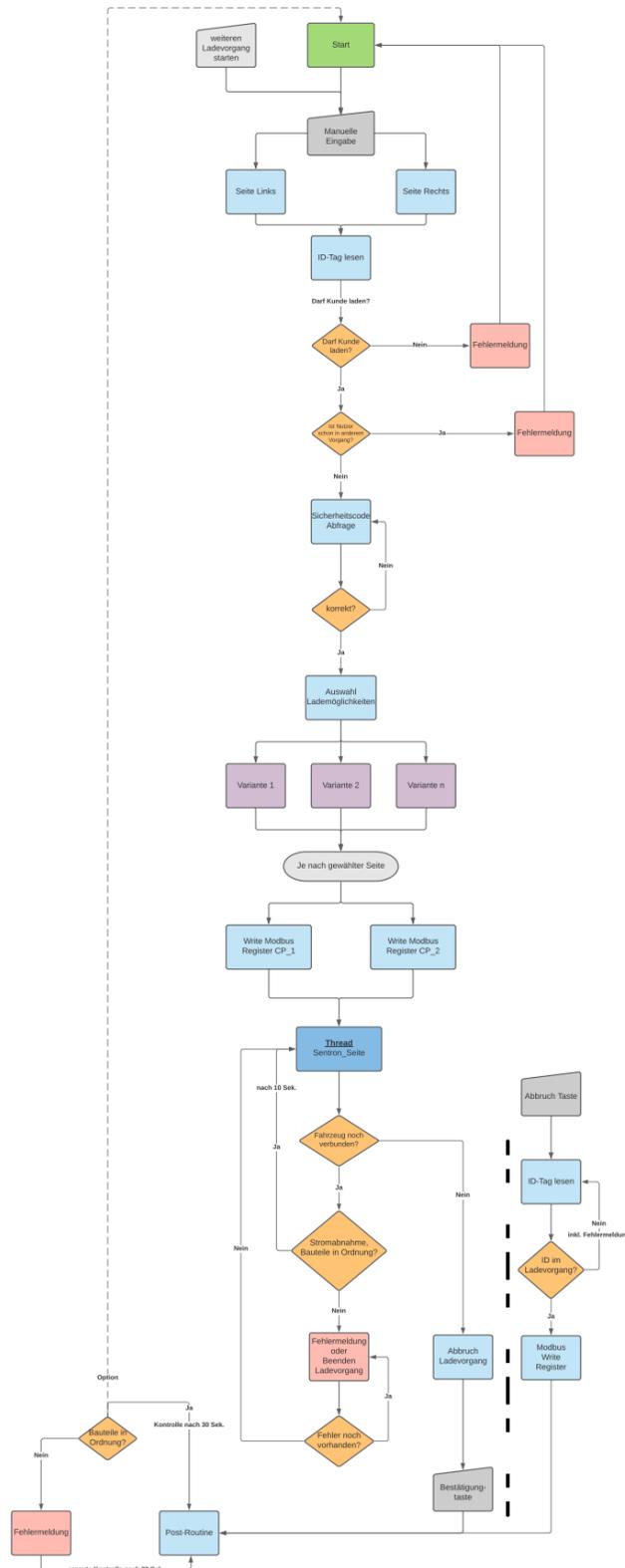
Um ein dynamisches Lastmanagement dennoch durchführen zu können, lässt sich softwaretechnisch die aktuelle Frequenz auswerten, worauf der maximale Stromoutput des Ladereglers während des Ladevorgangs geändert und an die gegebene Netzauslastung angepasst werden kann.

7 Literaturverzeichnis

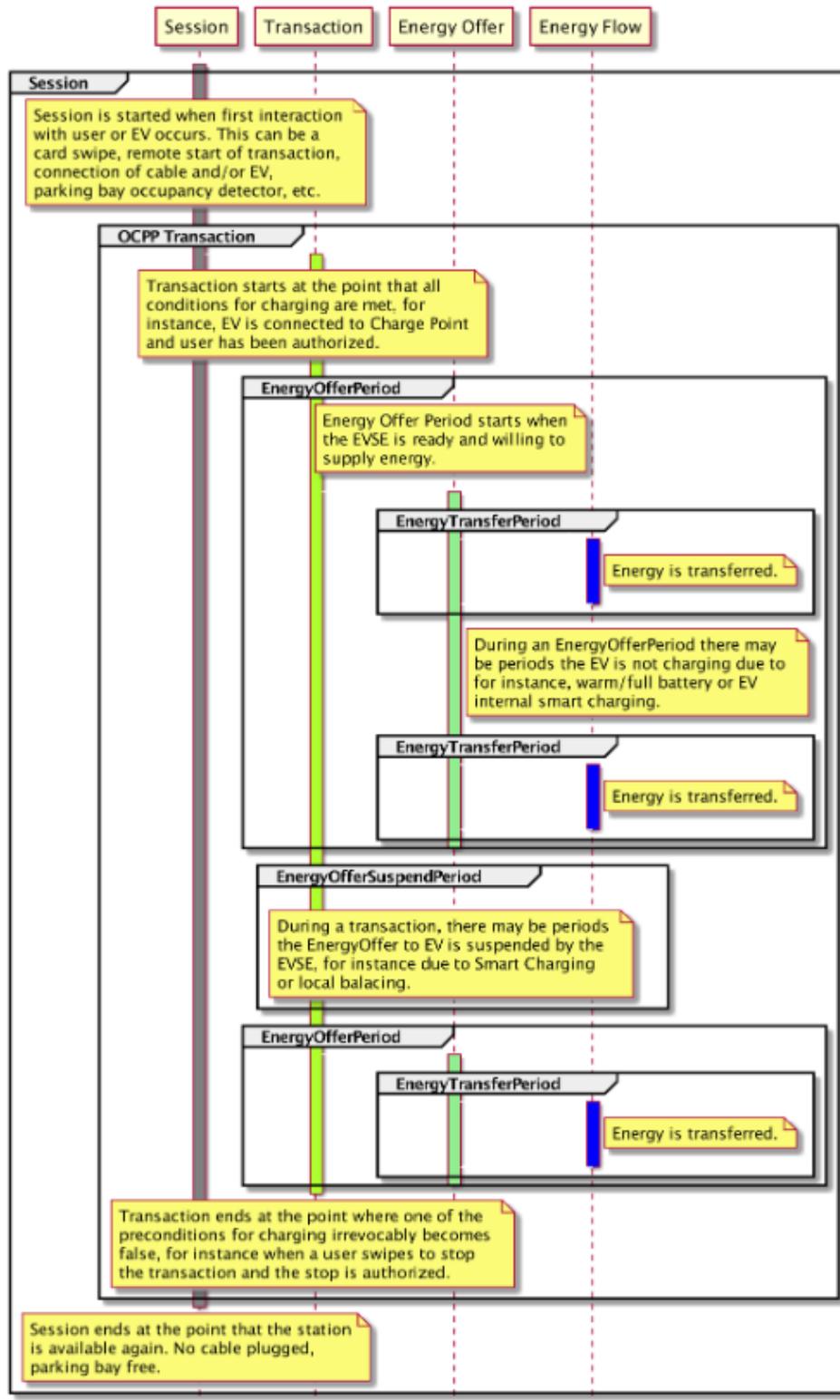
- [1] Fraunhofer ISE, „Nettostromerzeugung in Deutschland 2021,“ 3 Januar 2022. [Online]. Available: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2022/nettostromerzeugung-in-deutschland-2021-erneuerbare-energien-witterungsbedingt-schwaecher.html>. [Zugriff am 15 März 2022].
- [2] Fraunhofer ISE, „Stromerzeugung in Deutschland 2017: Solar- und Windenergie übertreffen erstmals Kohle und Kernenergie,“ 3 Januar 2018. [Online]. Available: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2018/stromerzeugung-in-deutschland-2017-solar-und-windenergie-uebertreffen-erstmals-kohle-und-kernenergie.html>. [Zugriff am 15 März 2022].
- [3] Fraunhofer ISE, „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2018,“ 11 Februar 2019. [Online]. Available: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/Stromerzeugung_2018_3.pdf. [Zugriff am 15 März 2022].
- [4] Fraunhofer ISE, „Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland 2019: Mehr erneuerbare als fossile Energieerzeugung,“ 2 Januar 2020. [Online]. Available: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2019/oeffentliche-nettostromerzeugung-in-deutschland-2019.html>. [Zugriff am 15 März 2022].
- [5] Fraunhofer ISE, „Nettostromerzeugung in Deutschland 2020: erneuerbare Energien erstmals über 50 Prozent,“ 4 Januar 2021. [Online]. Available: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2020/nettostromerzeugung-in-deutschland-2021-erneuerbare-energien-erstmals-ueber-50-prozent.html>. [Zugriff am 15 März 2022].
- [6] Fraunhofer ISE, „Nettostromerzeugung in Deutschland 2021: Erneuerbare Energien witterungsbedingt schwächer,“ 3 Januar 2022. [Online]. Available: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2022/nettostromerzeugung-in-deutschland-2021-erneuerbare-energien-witterungsbedingt-schwaecher.html>. [Zugriff am 15 März 2022].
- [7] D. B. M. Buchholz, „Die Wirtschaftlichkeit von Smart Grids erfordert Smart Markets,“ 2013.
- [8] Prof. Dr.-Ing. P. Kormanicki, *Energieversorgung EVS_3*, Magdeburg, 2020.
- [9] eon, „www.eon.de,“ Regelernergie: Die Energie für Netzstabilität. [Online]. [Zugriff am 21 Januar 2022].
- [10] VDE FNN, „Spannungshaltung,“ 2019.
- [11] 50Hertz, „Spannungshaltung,“ [Online]. [Zugriff am 24 Januar 2022].

-
- [12] KBA, *Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2011 bis 2021*, 2021.
- [13] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, „Warum überhaupt Elektromobilität?“, 17 Juli 2020. [Online].
- [14] KBA, *Anzahl der Kraftfahrzeuge in Deutschland 1960 bis 2021*, 2021.
- [15] P. S. Moura, A. Pires, J. Delgado und A. T. de Almeida, „Grid to vehicle and vehicle to grid systems for large-scale penetration of renewable generation,“ ECEEE Summer study, 2019.
- [16] Electric Vehicle Database, „Nutzbare Batteriekapazität von Elektroautos,“ [Online]. Available: <https://ev-database.de/cheatsheet/useable-battery-capacity-electric-car>. [Zugriff am 16 März 2022].
- [17] Agora Energiewende, „Agorameter - Stromerzeugung und Stromverbrauch,“ [Online]. Available: https://www.agora-energiewende.de/service/agorameter/chart/power_generation/13.03.2022/16.03.2022/. [Zugriff am 16 März 2022].
- [18] P. Dr. Kumar, Autor, *Grid to vehicle*. [Performance]. Department of Electronics & Communication Engineering.
- [19] openaxxess, „Ladearten nach IEC 61851-1,“ [Online]. Available: www.openaxxess.com. [Zugriff am 21 Januar 2022].
- [20] M. Rata, G. Rata, C. Filote, M. S. Raboaca, A. Graur, C. Afanasov und A.-R. Felseghi, „The Electrical Vehicle Simulator for Charging Station in Mode 3 of IEC 61851-1 Standard,“ MDPI, 2019.
- [21] DKE, VDE FNN, BDEW, VDA, ZVEH und ZVEI, „Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur Elektromobilität,“ 2021.
- [22] K. Dr. Athanasas und H. Dr. Hild, „Smart-Testing für Smart Charging,“ 2014.
- [23] NPM, „Roadmap zur Implementierung der ISO 15118,“ 2020.
- [24] mobilityhouse, „Zukunftssichere Ladeinfrastruktur: ISO 15118 macht Ladevorgänge einfacher und effizienter,“ 19 November 2020. [Online]. Available: www.mobilityhouse.com.
- [25] E-Mobility Abteilung der Bender GmbH & Co. KG.
- [26] „Modbus,“ kvm-concepts.de. [Online]. [Zugriff am 21 Januar 2022].

A Programmablaufplan

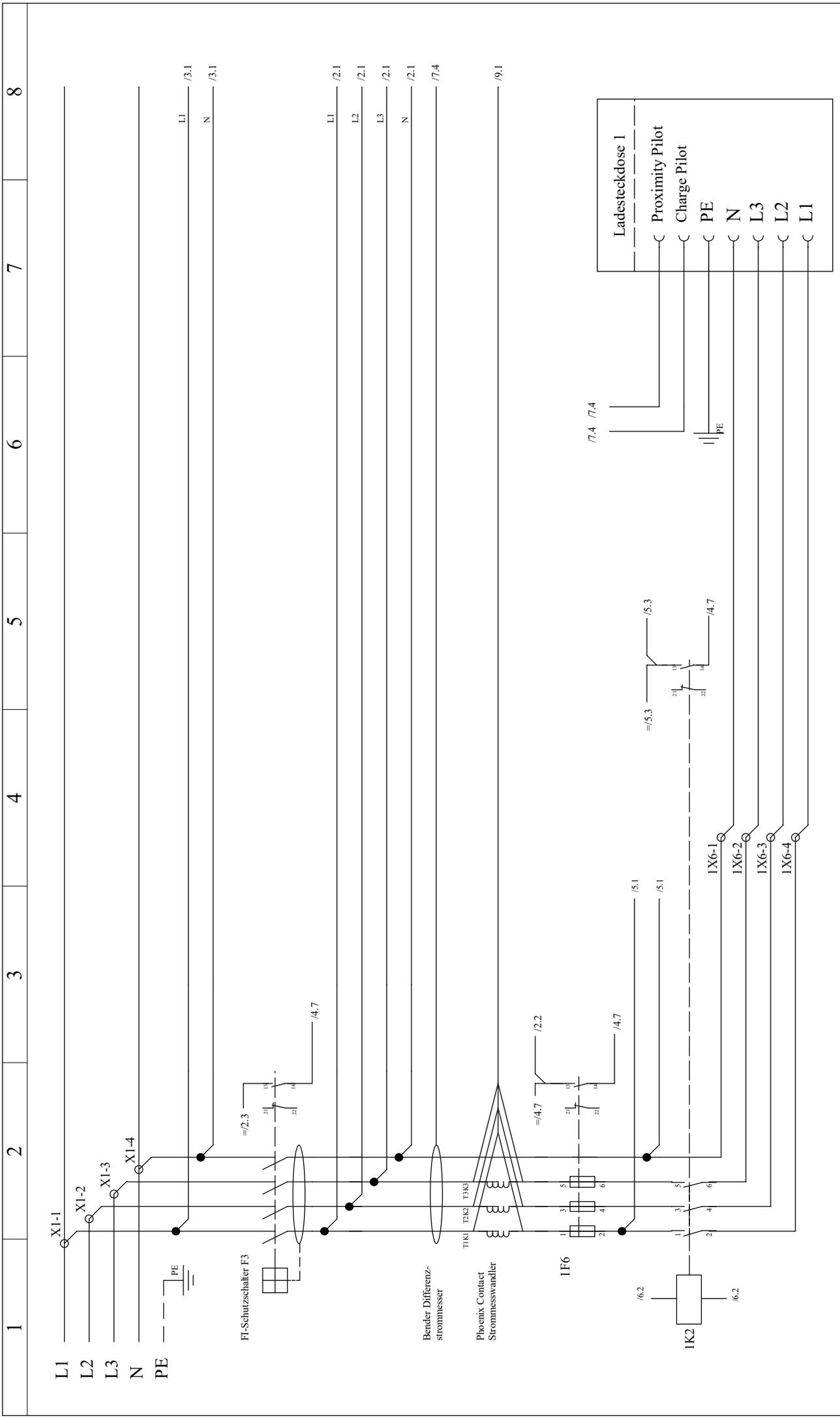


B OCPP 1.6 Ablaufschema

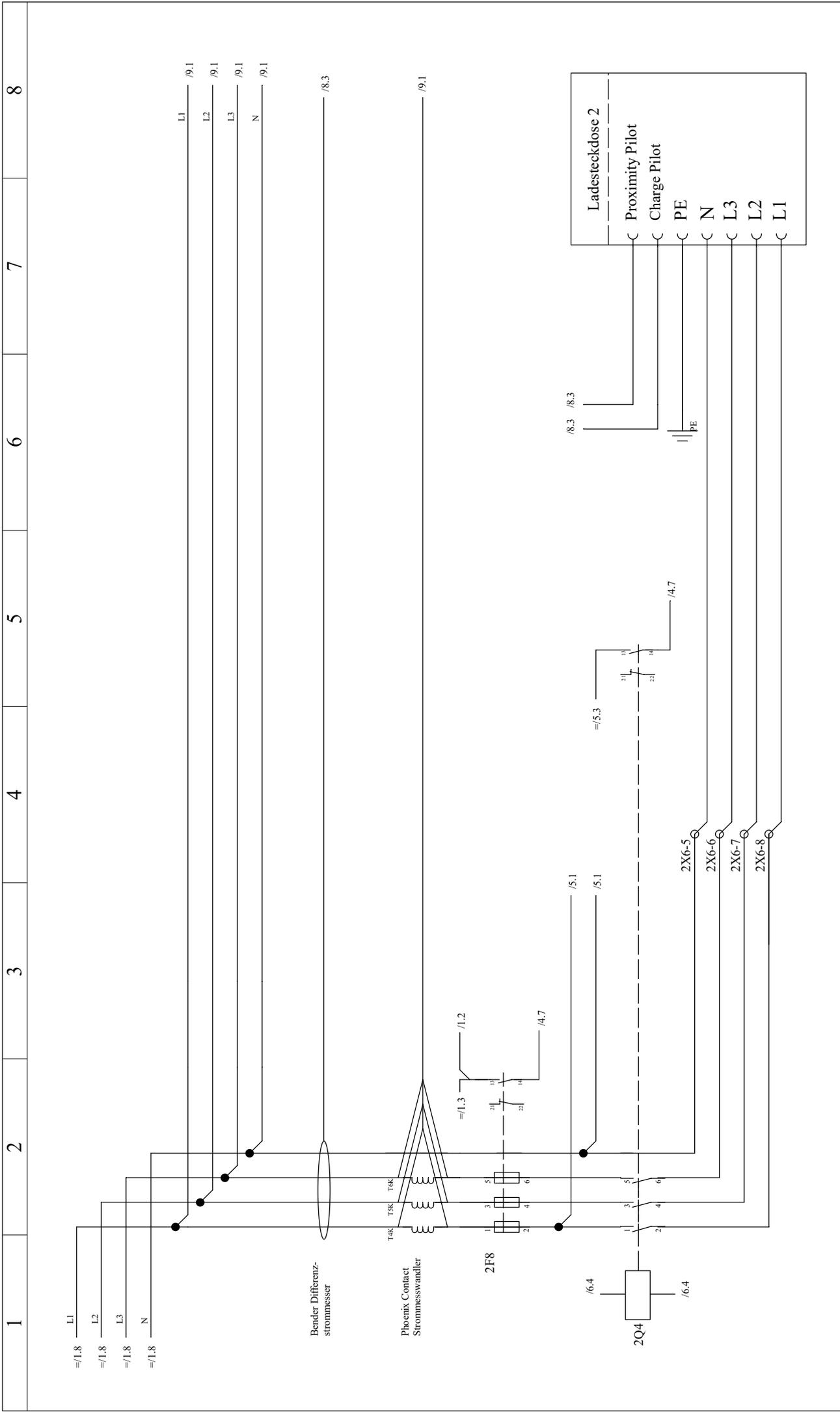


C Schaltplan der Anlage

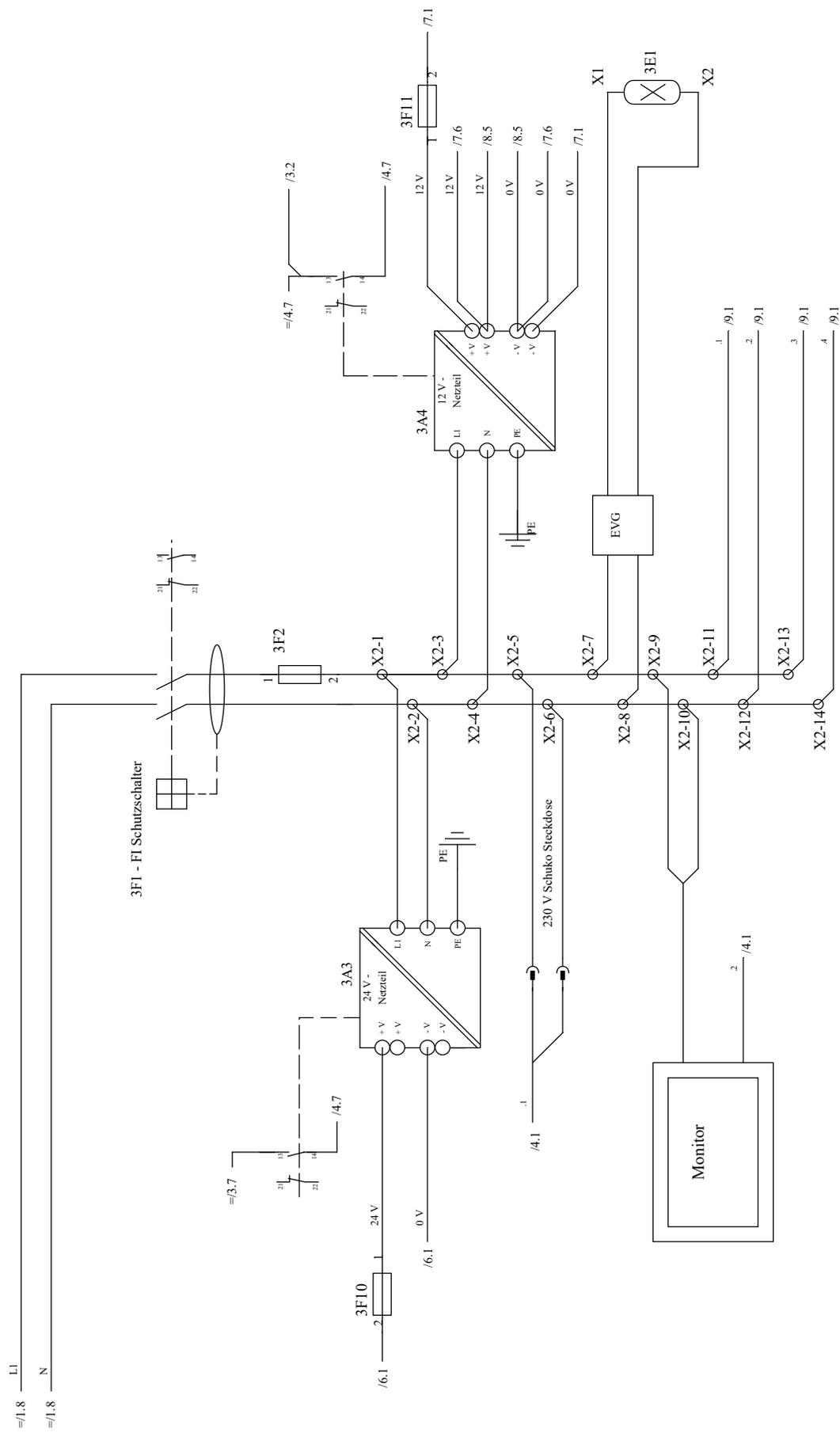
Auf den anliegenden Seiten, wird ein Schaltplan der Ladestation beigefügt. Neben einem Stromlaufplan, ist ein Konzeptbild enthalten, welches Aufschluss über die Bauteilbezeichnung gibt. Weiterhin wurde die Besetzung diverser Schalteisten spezifiziert und eine Bauteilübersicht angefertigt.



1	2	3	4	5	6	7	8
<p>Erstellt: 07.10.2021 Von: Aaron M. Müller</p> <p>Geändert: 26.10.2021 Von:</p> <p>Datum: 10.01.2022 Gepr.:</p>							
<p>Stromlaufplan</p> <p>ZNr.:</p> <p>Projekt wird bearbeitet</p>				<p>Blatt</p> <p>Vor: ---</p> <p>nach: 2</p> <p>Max: 13</p>			
<p>Schaltplan Ladestation</p> <p>Leistungsfluss linke Seite</p>							
<p>Hochschule Mangoldt • Stendal</p>							
<p>1</p> <p>Anzahl: 13</p>							



1	2	3	4	5	6	7	8	
Erstellt: 11.10.2021	Von: Aaron M. Müller	Schaltplan Ladestation						Blatt
Geändert: 10.01.2022	Von:	Leistungsfluss rechte Seite						ZNr.: Vor: 1 Nach: 3
Datum: 10.01.2022	Gepr.:	Projekt wird bearbeitet						Anzahl: 13
							2	



Erstellt: 11.10.2021 Von: Aaron M. Müller
 Geändert: 26.10.2021 Von:
 Datum: 10.01.2022 Gepr.:



Schaltplan Ladestation Niederspannungsebene

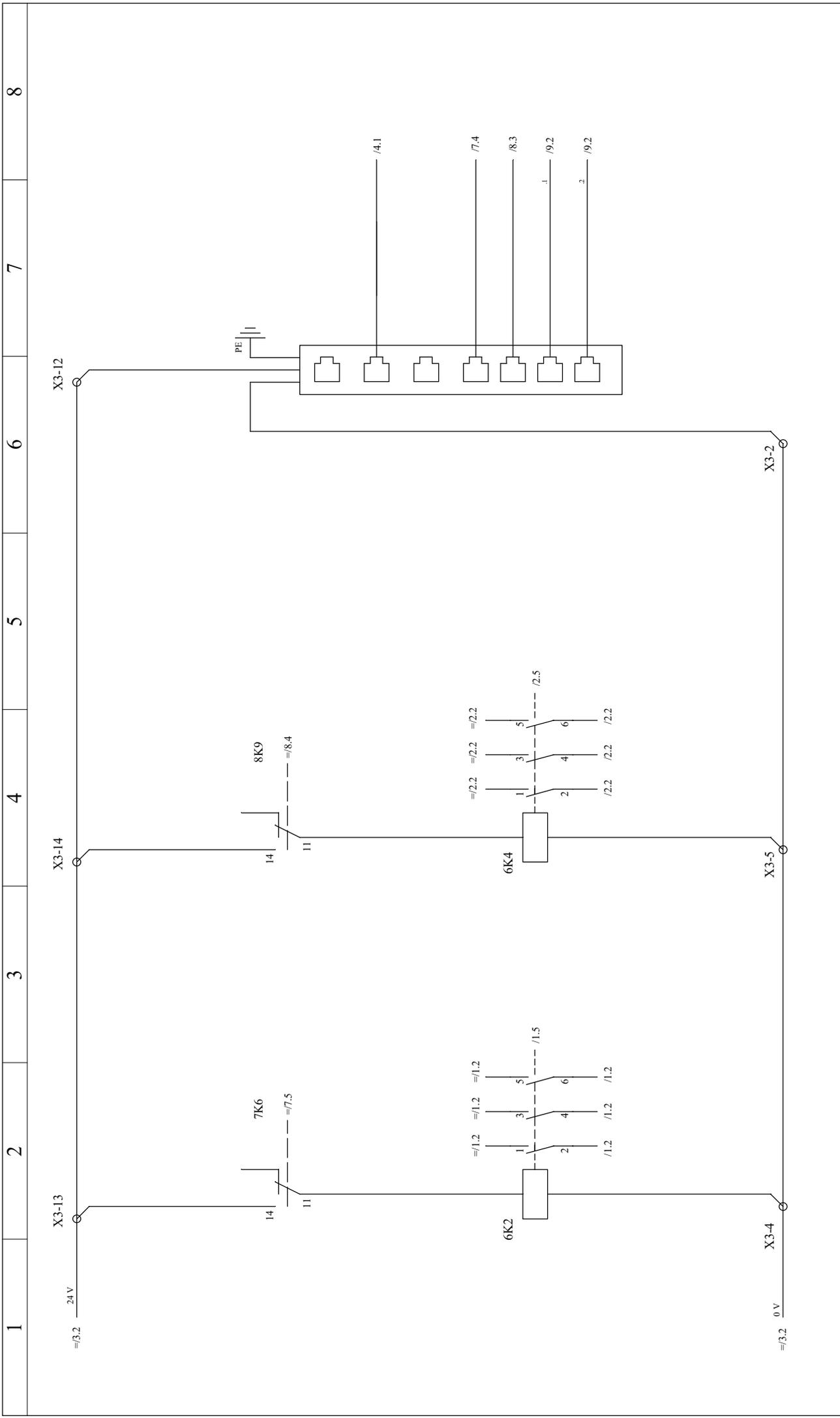
Stromlaufplan
 ZNr.:
 Projekt wird bearbeitet

Blatt
 VOr: 2
 nach: 4
 Max: 13
 Anzahl: 13
 3

1	2	3	4	5	6	7	8
<div style="text-align: center;"> <h3>Raspberry Pi 4</h3> </div>							
<p>=/3.2</p> <p>=/3.3</p> <p>=/3.8</p>							

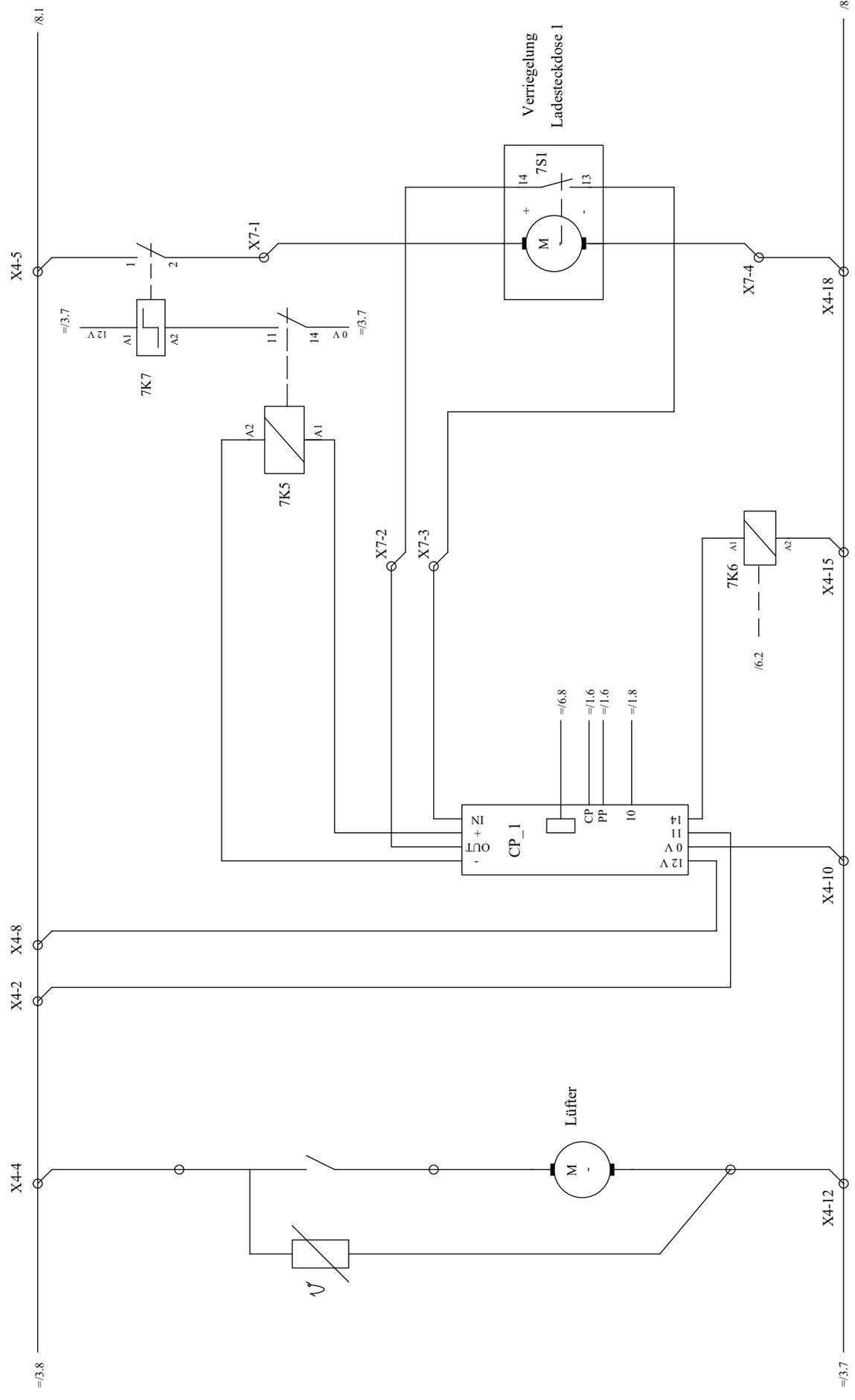
Erstellt: 12.10.2021	Von: Aaron M. Müller	Blatt	
Geändert: 26.10.2021	Von:	Vor: 3	Anlage 1
Datum: 10.01.2022	Gepr.:	nach: 5	
		Max: 13	Anzahl: 13
<h2>Schaltplan Ladestation</h2> <h1>Raspberry Pi</h1>		ZNr.:	4
Projekt wird bearbeitet			

1	2	3	4	5	6	7	8
Schaltplan Ladestation Schuko Steckdosen							
Erstellt: 15.10.2021		Von: Aaron M. Müller		Stromlaufplan		Blatt	
Geändert: 10.01.2022		Von:		ZNr.:		vor: 4 nach: 6	
Datum: 10.01.2022		Gepr.:		Projekt wird bearbeitet		Max: 13 Anzahl: 13	



Erstellt: 15.10.2021	Von: Aaron M. Müller		Stromlaufplan	Blatt	
Geändert: 26.10.2021	Von:		ZNr.:	Vor: 5	Anlage I
Datum: 10.01.2022	Gepr.:		Projekt wird bearbeitet		Max: 13

Schaltplan Ladestation 24 V - Ebene



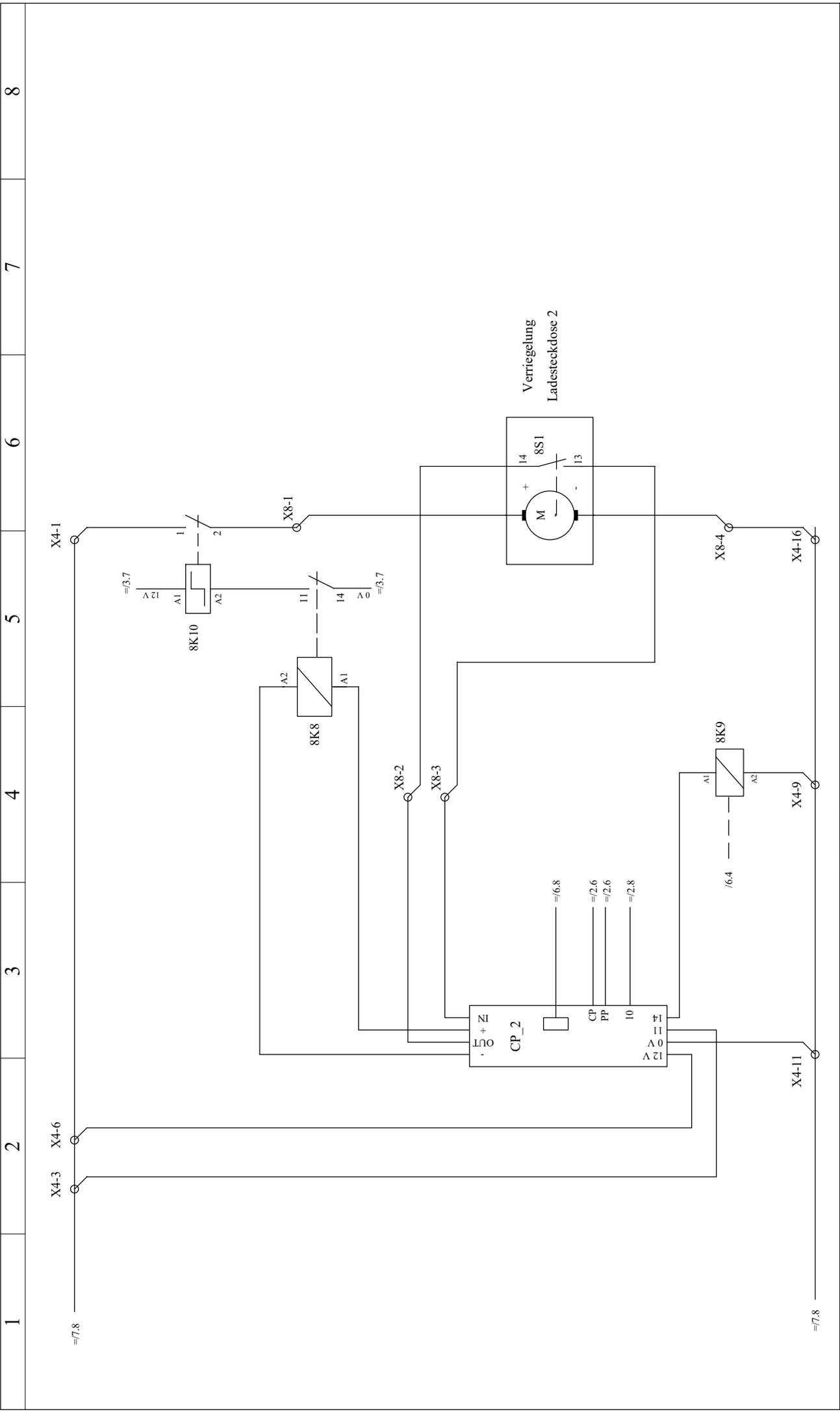
Erstellt: 15.10.2021	Von: Aaron M. Müller
Geändert: 27.10.2021	Von:
Datum: 10.01.2022	Gepr.:



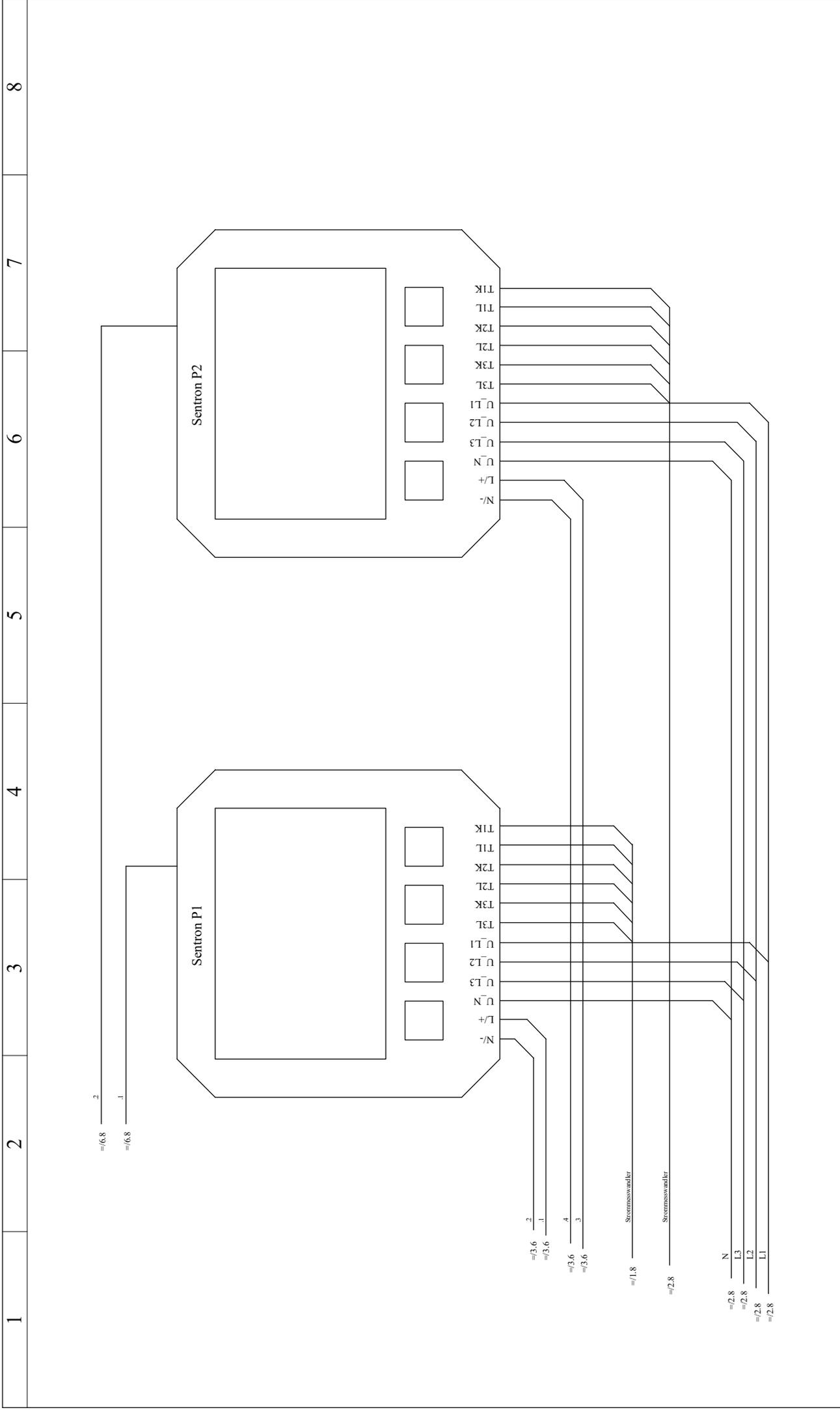
Schaltplan Ladestation 12 V - Ebene (CP_1)

Stromlaufplan	
ZNr.:	
Vor: 6	Anlage 1
nach: 8	
Max: 13	Anzahl: 13

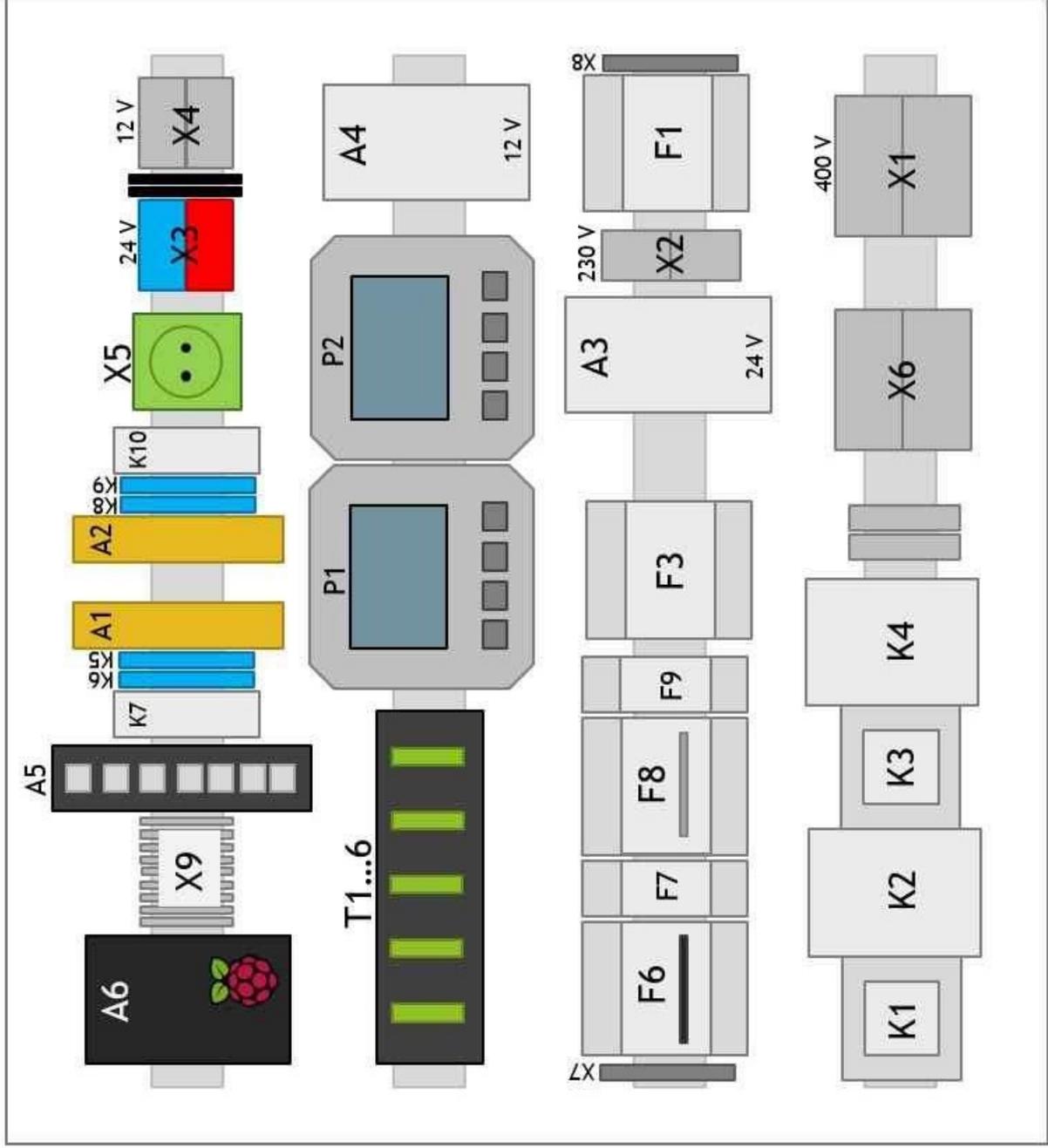
Blatt	
7	



1	2	3	4	5	6	7	8
Schaltplan Ladestation 12 V - Ebene (CP_2)							
							
Erstellt: 20.10.2021		Von: Aaron M. Müller		Blatt		Anzahl: 13	
Geändert: 10.01.2022		Von:		ZNr.:		8	
Datum: 10.01.2022		Gepr.:		Projekt wird bearbeitet		Anzahl: 13	
				Vor: 7			
				Nach: 9			
				Max: 13			



1	2	3	4	5	6	7	8
<p>Erstellt: 20.10.2021 Von: Aaron M. Müller</p> <p>Geändert: 25.10.2021 Von:</p> <p>Datum: 10.01.2022 Gepr.:</p>							
<p>Stromlaufplan</p> <p>ZNr.:</p> <p>Projekt wird bearbeitet</p>				<p>Blatt</p> <p>Vor: 8</p> <p>nach: 10</p> <p>Max: 13</p>			
<p>Schaltplan Ladestation</p> <p>Sentrons</p>							
<p>9</p> <p>Anzahl: 13</p>							



Erstellt: 25.10.2021 Von: Aaron M. Müller

Geändert: 27.10.2021 Von:

Datum: 10.01.2022 Gepr.:



Schaltplan Ladestation

Bauteilbezeichnungen

Stromlaufplan

ZNr.:

Projekt wird bearbeitet

Vor: 9

Nach: 11

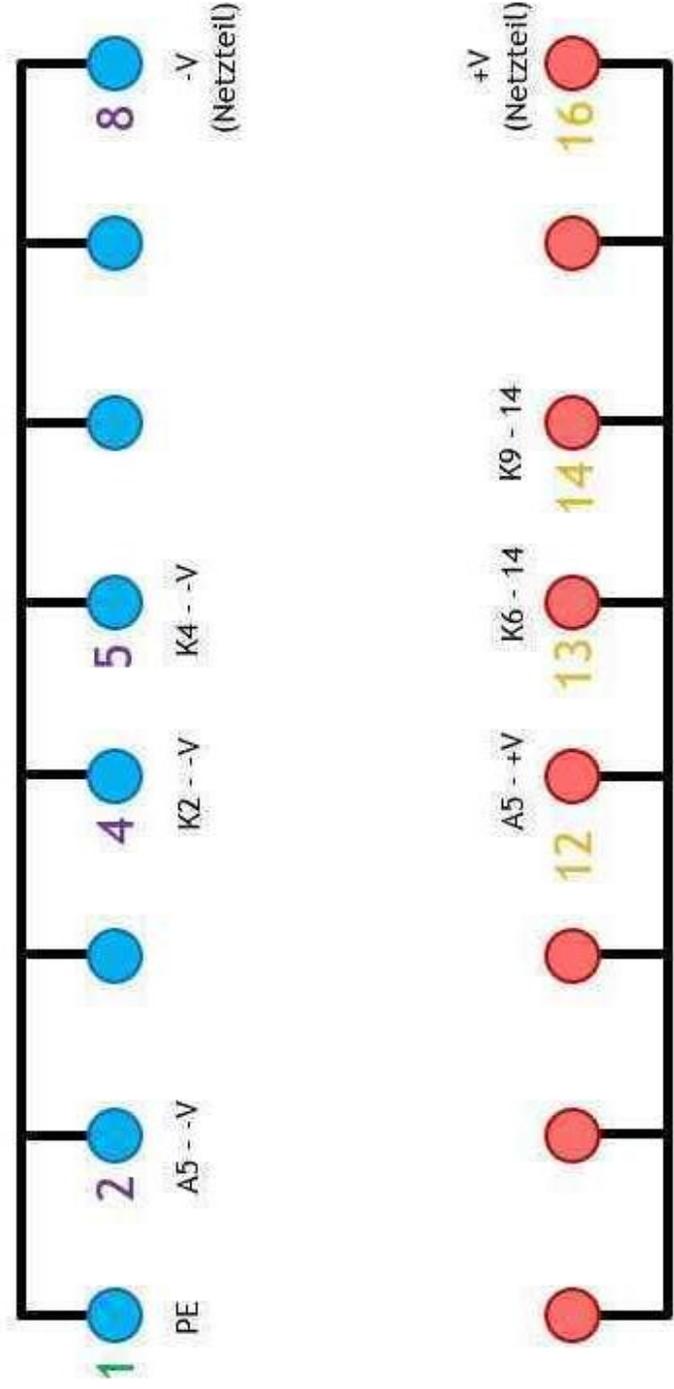
Max: 13

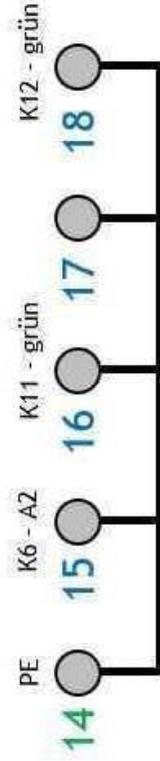
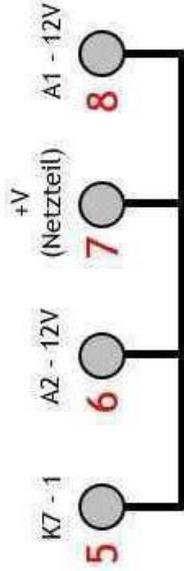
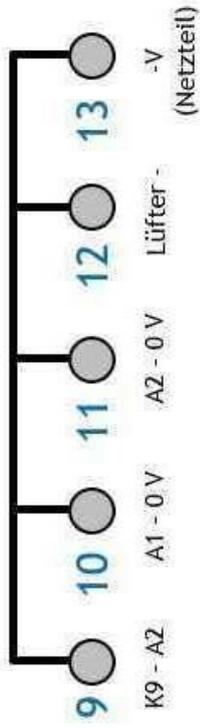
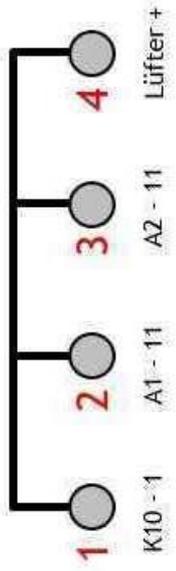
Blatt

Anlage 1

10

Anzahl: 13





Bez.	Bauteil	Hersteller	Artikelnr. / Bestellschl.
A1	Ladecontroller CC612 + Messstromwandler	Bender	2M4PR + W15BS-02
A2	Ladecontroller CC612 + Messstromwandler	Bender	2M4PR + W15BS-02
A3	Netzteil 24 V / 3 A	Mean Well	MW MDR-100-24
A4	Netzteil 12 V / 7.5 A	Mean Well	MW MDR-100-12
A5	Ethernet Switch 24/48 VDC, 182/93 mA	HARTING Electric	24034070000
A6	Raspberry Pi 4	Raspberry Pi	
F1	FI-Schalter 230 V / 16 A (30 mA)	Siemens	SSM3311-6
F2	Leistungsschalter 230 V / 400 V / 16 A	Siemens	SSL6116-6
F3	FI-Schutzschalter 63 A (30 mA) / 400 V	Siemens	SSM3346-4
F6	Leistungsschalter 32 A	Siemens	SSY63 MCB B32
F7	Leistungsschutzschalter 16 A / 230 V, 400 V	Siemens	SSY4116-6
F8	Leistungsschutzschalter 32 A / 400 V	Siemens	SSL4332-6
F9	Leistungsschutzschalter 16 A / 230 V, 400 V	Siemens	SSY4116-6
F10	Sicherungsklemme	Phoenix Contact	UK 5-HESI LA 250
F11	Sicherungsklemme	Phoenix Contact	UK 5-HESI LA 250
K1	Schütz 12 kW / 400 V, 18 A, DC 24 V + Hilfsblock	Siemens	3RT1316-1BB40 + 3RHI911-1FA11
K2	Leistungsschalter	Siemens	3RT1326-1B..0
K3	Schütz 12 kW / 400 V, 18 A, DC 24 V + Hilfsblock	Siemens	3RT1316-1BB40 + 3RHI911-1FA11
K4	Leistungsschalter	Siemens	3RT1326-1B..0
K5	Printrelais 12 V/DC 6 A	finder	34.51.7.012.5010
K6	Printrelais 12 V/DC 6 A	finder	34.51.7.012.5010
K7	Stromstoßschalter 12 V/CD, 16 A, 4000 VA	finder	20.21.9.012.4000
K8	Printrelais 12 V/DC 6 A	finder	34.51.7.012.5010
K9	Printrelais 12 V/DC 6 A	finder	34.51.7.012.5010
K10	Stromstoßschalter 12 V/CD, 16 A, 4000 VA	finder	20.21.9.012.4000
P1	Einbaumessgerät Sentron PAC 3200	Siemens	7KM2112-0BA00-3AA0
P2	Einbaumessgerät Sentron PAC 3200	Siemens	7KM2112-0BA00-3AA0
T1...6	Stromwandler PACT MCR-V1-21-44- 50-5A-1	Phoenix Contact	2277019
X1	Klemme Stromversorgung		
X2	Klemme 230 V		
X3	Klemme 24 V		
X4	Klemme 12 V		
X5	Steckdose SD-D/SC/LA	Phoenix Contact	2964898
X6	Klemme Leistungsschütz zu Mennekes Steckdose		
X7	Initiatorenklemme WK 2.5-3 D SL /V0	Wieland	56.503.8355.0
X8	Initiatorenklemme WK 2.5-3 D SL /V0	Wieland	56.503.8355.0

Erstellt: 26.10.2021	Von: Aaron M. Müller		Schaltplan Ladestation
Geändert: -----	Von:	ZNr.:	Blatt
Datum: 10.01.2022	Gepr.:	Projekt wird bearbeitet	Anzahl: 13
		vor: 12	nach: ---
		Max: 13	Anzahl: 13