
Diplomarbeit

Herr | B.Eng.
Dirk Pfeiffer

**Öffentliche Ladehubs – Die
Lösung für Wohnquartiere!**

Erfurt, 2023

Diplomarbeit

Öffentliche Ladehubs – Die Lösung für Wohnquartiere!

Autor:

Herr B.Eng.

Dirk Pfeiffer

Studiengang:

Industrial Engineering

Seminargruppe:

IE21w1-D

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Lutz Rauchfuß

Zweitprüfer:

M.Eng. Tobias Raddau

Einreichung:

Erfurt, 31.01.2023

Verteidigung/Bewertung:

Erfurt/Mittweida, 2023

Diplomarbeit

Public charging hubs – the solution for residential areas!

author:

Mr. B.Eng.

Dirk Pfeiffer

course of studies:

Industrial Engineering

seminar group:

IE21w1-D

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Lutz Rauchfuß

second examiner:

M.Eng. Tobias Raddau

submission:

Erfurt, 31.01.2023

defence/ evaluation:

Erfurt/Mittweida, 2023

Bibliografische Beschreibung:

Pfeiffer, Dirk:

Öffentliche Ladehubs – Die Lösung für Wohnquartiere! - 2023 - XI, 67, XXIX S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Ingenieurwissenschaften,

Diplomarbeit, 2023

Referat:

Im Zuge der Mobilitätswende befasst sich die Arbeit mit öffentlicher Ladeinfrastruktur in Wohnquartieren. Wohnquartiere wurden bislang - als mögliche Standorte für Ladehubs – seitens diverser Betreiber weitestgehend noch nicht in Betracht gezogen. Daher beschäftigt sich die Arbeit mit der Auslegung und Planung einer Ladeinfrastruktur in einem ausgewählten Quartier. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Ermittlung des Ladeinfrastrukturbedarfs. Dieser wird anhand einer hypothetischen Analyse des Bestands an Elektrofahrzeugen zum gegenwärtigen Zeitpunkt sowie für das Jahr 2030 aufgezeigt. Aufbauend auf dieser Analyse wird ein technisches und wirtschaftliches Konzept zur Errichtung von Ladehubs im ausgewählten Quartier vorgestellt.

Inhalt

Inhalt	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Formelverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Aufgabenstellung	3
1.2 Kapitelübersicht	3
2 Grundlagen der Elektromobilität	4
2.1 Historie der Elektromobilität	4
2.2 Arten und Funktionsweisen von Elektrofahrzeugen	8
2.2.1 Hybridelektrofahrzeuge (HEV, PHEV)	9
2.2.2 Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)	10
2.3 Der Energiespeicher	10
2.3.1 Funktionsweise von Akkumulatoren	10
2.3.2 Energiespeichersysteme/Akkumulatoren im Vergleich	12
2.3.3 Batteriemanagementsystem	14
2.4 Laden von Elektrofahrzeugen	15
2.4.1 Ladebetriebsarten	15
2.4.2 Steckvorrichtungen	18
2.4.3 On-Board-Charger (OBC)	22
3 Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur in D	25
3.1 Elektrofahrzeuge in Deutschland	25
3.1.1 Hypothetischer Bestand an Elektrofahrzeugen im Beispielquartier	26
3.2 Definitionen Ladeinfrastruktur	27
4 Ladeinfrastruktur im Beispielquartier	33
4.1 Das Beispielquartier	33

4.2	Herleitung der benötigten Anzahl von Ladepunkten im Wohnquartier	35
4.3	Konzeption der Ladeinfrastruktur im Wohnquartier	36
4.3.1	Auswahl der Standorte zur Errichtung von Ladehubs	37
4.3.2	Ermittlung der Bezugsleistung für die Ladehubs	40
4.3.2.1	Ermittlung des Leistungsbedarfs unter Berücksichtigung eines Gleichzeitigkeitsfaktors	40
4.3.2.2	Ermittlung des Leistungsbedarfes unter Einsatz eines Lastmanagements	42
4.3.3	Planung und Kostenkalkulation für die einzelnen Standorte	46
4.3.3.1	Standort E	47
4.3.3.2	Standort D	59
4.3.3.3	Standort C	60
4.3.3.4	Standort B	61
4.3.3.5	Standort A	62
4.3.4	Strombeschaffung und Preisgestaltung an den Ladehubs	63
5	Zusammenfassung	67
	Literatur	68
	Anlagen.....	I
	Anlage A: Auszug Ladesäulenregister	I
	Anlage B: Mail vom 14.11.2022 mit dem Betreff: Zuarbeit.....	II
	Anlage C: Durchschnittliche Anzahl der Haushaltsmitglieder in Deutschland von 1991 bis 2021	III
	Anlage D: Plan der Siedlung mit Stellplätzen zum Stand Mai 2020	V
	Anlage E: Einstellen der Stromstärke	VI
	Anlage F: Wallbox eMH3 TWIN Controller+ mit Ladesteckdosen 22 kW	VII
	Anlage G: Wallbox eMH3 TWIN Extender+ mit Ladesteckdosen 22 kW	VIII
	Anlage H: Kalkulation Standort E	IX
	Anlage I: Kalkulation Standort D, C	XI
	Anlage J: Kalkulation Standort B.....	XIII
	Anlage K: Kalkulation Standort A	XV
	Anlage L: Kalkulation Wandlermessschrank	XVIII
	Anlage M : Auszug aus dem Preisblatt der TEN, Stand Januar 2022.....	XIX

Anlage N: Aufbau Ladehub der jeweiligen Standorte	XXI
Anlage O: Auszug aus den Schulungsunterlagen der Firma ABL.....	XXIV
Anlage P: Kalkulation Backend.....	XXV
Anlage Q: Tabellen	XXVI
Anlage Q-1: Übersicht über Belastung- und Bestückungsvarianten	
Anlage Q-2: Belastbarkeit, Verlegung in Erde, Kabel mit $U_0/U = 0,6/1$ kV, DIN VDE 0276 Teil 603:2005-01	
Anlage Q-3: ÜSE und Abschaltströme von Leitungsschutzschaltern	
Anlage Q-4: Umrechnungsfaktor für mehrere in Erde verlegte Kabel	
Anlage R: Zählereinrichtungen	XXVIII

Selbstständigkeitserklärung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der Haushalte in Deutschland nach Miete und Eigentum von 1998 bis 2018	2
Abbildung 2: links: Darstellung einer Voltaschen Säule; rechts: Barlow- Rad	5
Abbildung 3: Das erste Elektroauto in Deutschland von Andreas Flocken	6
Abbildung 4: Starten eines PKW mit Kurbel	7
Abbildung 5: links: VW Elektro-Golf I; rechts: Tesla Roadster der ersten Generation	8
Abbildung 6: Plug-In Hybrid Audi A6 Avant TFSI e.....	9
Abbildung 7: Aufbau einer elektrochemischen Zelle.....	11
Abbildung 8: links: Topologie AC-Laden; rechts: Topologie DC-Laden	15
Abbildung 9: Darstellung Ladebetriebsart 1.....	16
Abbildung 10: links: Darstellung Ladebetriebsart 2; rechts: Ladekabel mit ICCB.....	16
Abbildung 11: links: Darstellung Ladebetriebsart 3; rechts: Tesla an einer Wallbox	17
Abbildung 12: links: Darstellung Ladebetriebsart 4; rechts: VW ID 3 an einer Alpitronic 150-2	18
Abbildung 13: Darstellung Stecker vom Typ 1; rechts: SAE J1772-Stecker	19
Abbildung 14: Darstellung Stecker vom Typ 2.....	20
Abbildung 15: Darstellung Stecker vom Typ 3.....	20
Abbildung 16: Darstellung CHAdeMO-Stecker.....	21
Abbildung 17: Darstellung CCS-Stecker	22
Abbildung 18: Topologie eines On-Board-Chargers	23

Abbildung 19: Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2012 bis 2022, Stand Oktober 2022.....	26
Abbildung 20: Anzahl der öffentlichen Ladepunkte in Deutschland von Januar 2017 bis Oktober 2022	30
Abbildung 21: Vogelperspektive CATL-Werk im Gewerbegebiet Erfurter Kreuz	31
Abbildung 22: Angestrebte Anzahl an BEVs im Jahr 2030 in D	31
Abbildung 23: Entwicklung der Anzahl von BEVs im Beispielquartier von 2022 bis 2030 .	32
Abbildung 24: Entwicklung der Ladepunktanzahl im Wohnquartier von 2022 bis 2030....	36
Abbildung 25: Standort A: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020; rechts: Luftbild vom Standort A	37
Abbildung 26: Standort B: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020; rechts: Luftbild vom Standort B	38
Abbildung 27: Standort C: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020; rechts: Luftbild vom Standort C.....	38
Abbildung 28: Standort D: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020; rechts: Luftbild vom Standort D.....	39
Abbildung 29: Standort E: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020; rechts: Luftbild vom Standort E	39
Abbildung 30: Gleichzeitigkeitsfaktor für mehrere Ladepunkte im privaten Raum (nicht öffentliches Laden).....	41
Abbildung 31: dynamisches Lastmanagement	43
Abbildung 32: Master-Slave-System mit einer Gesamtstromstärke von 32 A	43
Abbildung 33: Diagramm zur Ermittlung des Gesamtbetriebsstroms und des Leistungsbedarfes in Abhängigkeit der Anzahl der AC-Ladepunkte und unter Verwendung eines lokalen Lastmanagementsystems (GZF = 1).....	45
Abbildung 34: links: Profilgraben zur Verlegung von Elektrokabeln mit 2 eingebrachten Fundamenten (EMH9999); rechts: Erdleitung NYY-J mit 5 Adern	51

Abbildung 35: links: Beschilderung für einen Parkplatz ausschließlich für Elektrofahrzeuge; rechts: Parkplatz für Elektrofahrzeuge mit Piktogramm und Anfahrschutz	57
Abbildung 36: Strompreis für die Industrie	64
Abbildung 37: Entwicklung der Endkundenpreise für AC-Laden im Wohnquartier von 2022 bis 2030.	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Energiespeichersysteme.....	13
Tabelle 2: Technische Daten der Energiespeichersysteme ausgewählter BEVs	14
Tabelle 3: Auflistung ausgewählter Elektrofahrzeuge mit der jeweiligen Leistungsklasse des OBCs für ein AC-Ladevorgang aus dem deutschen Stromnetz	24
Tabelle 4: Kalkulation der Kosten für den Netzanschluss bei einer Bezugsleistung > 30 kW	49
Tabelle 5: Kalkulation der Kosten für den Netzanschluss bei einer Bezugsleistung ≤ 30 kW	50
Tabelle 6: Kalkulation der Kosten für Ladetechnik und Zubehör.....	50
Tabelle 7: Kalkulation der Kosten für Tiefbauarbeiten, Elektroinstallation, Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik inkl. Zubehör.....	57
Tabelle 8: Kalkulation der Kosten für die Kennzeichnung der Parkflächen	58
Tabelle 9: Zusammenfassung der Gesamtkosten für den Standort E bei einem Netzanschluss ≤ 30 kW und einem Netzanschluss >30 kW.....	59
Tabelle 10: Gesamtkosten LIS für den Standort D inkl. Netzanschlusspauschale	60
Tabelle 11: Gesamtkosten LIS für den Standort C inkl. Netzanschlusspauschale	61
Tabelle 12: Gesamtkosten LIS für den Standort B inkl. Netzanschlusspauschale	61
Tabelle 13: Gesamtkosten LIS für den Standort A inkl. Netzanschlusspauschale und BKZ	62

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AC	Alternating Current
AG	Aktien Gesellschaft
BEV	battery electrical vehicle
BMS	Batteriemanagementsystem
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAN	Controller Area Network
CATL	Contemporary Amperex Technology Co., Limited
CCS	Combined Charging System
CEE	commission on the rules for the approval of the electrical equipment
ChadeMo	Charge de Move
CO ₂	Kohlendioxid
CP	Control Pilot
DC	Direct Current
EMoG	Elektromobilitätsgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EU	Europäische Union
EVU	Energieversorgungsunternehmen
e	electrical
etc.	et cetera
FCEV	fuel cell electrical vehicle
FDP	Freie Demokratische Partei
FMW	Freiluftmesswandlerschrank
GZF	Gleichzeitigkeitsfaktor

HEV	hybrid electrical vehicle
HPC	High Power Charger
ICCB	In-Cable Control-Box
Inc.	Incorporated
Inkl.	inklusive
i.d.R.	in der Regel
LIS	Ladeinfrastruktur
LP	Ladepunkt
LT	Ladetechnik
max.	maximal
NAV	Niederspannungsanschlussverordnung
NIMH	Natrium-Nickel-Chlorid
OBC	On Board Charger
PHEV	plug-in hybrid vehicle
PKW	Personenkraftwagen
PP	Proximity Pilot
RCD	Residual Current Device
SH-Schalter	Selektiver Hauptleitungsschalter
SOC	State of Charge
SOF	State of Function
SOH	State of Health
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands
StVo	Straßenverkehrsordnung
sog.	Sogenannt
TEN	TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG
TFSI	Turbocharged Fuel Stratified Injection
USA	United States of America
u.a.	unter anderem

VW	Volkswagen
vgl.	vergleich
ZAS	Zähleranschlusssäule
z.B.	zum Beispiel
zzgl.	zuzüglich

Formelverzeichnis

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
A	mm ²	Querschnitt der Leitung
f	-	Umrechnungsfaktor für Häufung
GZF	-	Gleichzeitigkeitfaktor
I _B	A	Bemessungsstrom
I _G	A	Gesamtbetriebsstrom
I _{min}	A	Betriebsstrom
I _N	A	Nennstrom der Schutzeinrichtung
I _r	A	Strombelastbarkeit der Leitung bei idealen Bedingungen
I _z	A	Strombelastbarkeit der Leitung bei abweichenden Bedingungen
I ₂	A	Auslösestrom
l	m	Länge der Leitung
P _{Bedarf}	W	Leistungsbedarf der Ladeinfrastruktur
P _{LP}	W	Leistung Ladepunkt
U	V	Spannung
cos φ	-	Leistungsfaktor
ΔU	V	Spannungsfall
κ	m/Ω*mm ²	elektrische Leitfähigkeit
√3	-	Verkettungsfaktor

1 Einleitung

Bei einer Sitzung des EU-Umweltrates am 28./29. Juni 2022 in Luxemburg einigten sich die EU-Mitgliedsstaaten darauf, dass die sogenannten Flottengrenzwerte für Personenkraftwagen bis 2035 auf 0 g CO₂ /km sinken sollen. [23] Die Flottengrenzwerte als Regulierungsansatz gibt es bereits seit Ende der 1970er-Jahre in den USA und geben den Autoherstellern vor, wie viel CO₂ ihre produzierten Fahrzeuge im Betrieb ausstoßen dürfen. In der EU gilt erstmals seit 2012 ein Flottengrenzwert von 130 g CO₂/ km für PKW. Seit dem Jahr 2020 wurde bereits ein deutlich reduzierter Flottengrenzwert von 95 g CO₂/ km in der EU eingeführt. [19] Eine weitere Herabsenkung des Flottengrenzwertes auf 0 g CO₂ /km besiegelt also somit das „AUS“ für den konventionellen Verbrennungsmotor.

Eine Alternative zum konventionell angetriebenen Verbrennungsmotor stellt der Elektromotor dar. Der Elektromotor als Antriebsart für Fahrzeuge stellte bereits in den 1830er-Jahren seine Praxistauglichkeit unter Beweis. Im Gegensatz dazu fuhren erste Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor erstmals in den 1860er-Jahren. [2]

Schon einige Zeit vor dem Beschluss der EU-Staaten zur Senkung der Flottengrenzwerte auf 0 g CO₂ /km zeichnete sich ein Trend hin zum Elektromotor als Antriebsart ab. Eine Erklärung für diesen Trend lässt sich zum einen auf die immer knapper werdenden konventionellen Ressourcen wie Öl und Gas und den damit steigenden Preisen für Benzin und Diesel zurückführen, zum anderen auf den immer präsenter werdenden Klimawandel, der den Trend „weg vom Verbrenner, „hin zum Elektroantrieb“ zusätzlich vorantreibt.

Mit der rasant steigenden Nachfrage an Elektrofahrzeugen entwickelten sich gleichermaßen verschiedene Konzepte zum Laden der Elektrofahrzeuge. Dabei beinhalten die Konzepte vorrangig das Laden der Elektrofahrzeuge im Eigenheim (Hauseigentümer) bzw. das Laden der Elektrofahrzeuge an öffentlich zugänglichen Bereichen, wie z.B. Autobahnraststätten oder städtische Parkflächen. Betrachtet man aber die Verteilung der Haushalte in Deutschland, so stellt man fest, dass der Großteil der deutschen Bevölkerung kein Hauseigentümer ist, sondern zur Miete wohnt (vgl. Abb. 1). Somit ist das Laden eines Elektroautos als Mieter mit einer eigenen Ladetechnik nur schwer umsetzbar. Daraus ergibt sich eine gewisse Abhängigkeit zur öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur der zur Miete lebenden Menschen.

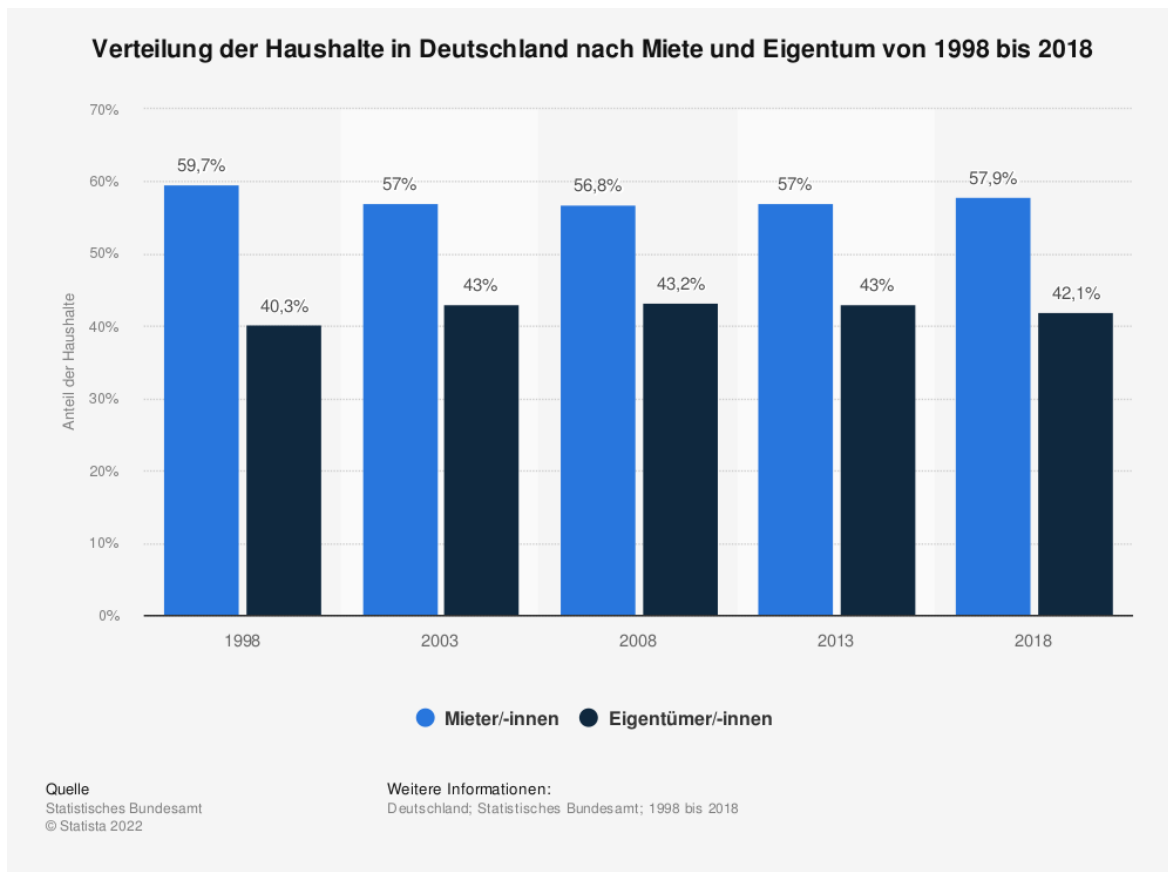


Abbildung 1: Verteilung der Haushalte in Deutschland nach Miete und Eigentum von 1998 bis 2018 [58]

Um dieser Abhängigkeit entgegenzutreten, erfolgte bereits eine Anpassung des Gesetzes zur Förderung der Elektromobilität und zur Modernisierung des Wohnungseigentums (WEMoG). In dieser Anpassung des Gesetzes zum 01. Dezember 2020, wird dem Mieter das Recht eingeräumt, dass der Vermieter einer baulichen Veränderung der Mietsache zustimmen muss, sofern diese dem Laden elektrischer Fahrzeuge dient. Allerdings besteht dieser Anspruch nicht, wenn die Veränderung dem Vermieter auch unter Würdigung der Interessen des Mieters nicht zugemutet werden kann. [16] Sofern also der Vermieter, aus nicht zumutbaren Gründen, einer baulichen Veränderung zum Laden eines Elektrofahrzeuges nicht zustimmt, bleibt die Abhängigkeit des Mieters von öffentlicher Ladeinfrastruktur weiterhin bestehen. Somit liegt ein wesentlicher Bedarf an öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur im Bereich der Mietwohnungen, also im Bereich der Wohnquartiere.

Das Ziel der Diplomarbeit soll daher darin bestehen, eine Möglichkeit zum Laden von Elektrofahrzeugen in Wohnquartieren aufzuzeigen. Insbesondere sollen dabei die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zum Betrieb einer Ladeinfrastruktur in Wohnquartieren analysiert und aufgezeigt werden.

1.1 Aufgabenstellung

Für ein Beispielquartier in Bad Blankenburg im Freistaat Thüringen soll im Rahmen der Mobilitätswende ein allgemein anwendbares Konzept zur Errichtung von Ladeinfrastruktur in Wohnquartieren erstellt werden. Der Schwerpunkt soll auf der Betrachtung der benötigten Ladepunktzahl sowie der Preisgestaltung an der Ladetechnik zum gegenwärtigen Zeitpunkt als auch mit Hinblick auf das Jahr 2030 erfolgen.

1.2 Kapitelübersicht

Insgesamt besteht die Diplomarbeit aus fünf Kapiteln.

Im ersten Kapitel erfolgt die Einleitung in die Diplomarbeit.

Das zweite Kapitel stellt eine Einführung in die Grundlagen der Elektromobilität dar. Das hier vermittelte Wissen soll in der gesamten Arbeit als Grundlage dienen.

Im dritten Kapitel erfolgt eine Analyse des gegenwärtigen Bestands an Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur in Deutschland sowie im Beispielquartier. Neben der Bestandsanalyse von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur liegt der Schwerpunkt in diesem Kapitel auf der Definition des Begriffs „Ladeinfrastruktur“.

Anschließend beschäftigt sich das vierte Kapitel mit der Ladeinfrastruktur im Wohnquartier. Aufbauend auf die Herleitung der benötigten Ladepunktzahl erfolgt die Konzeptionierung der Ladeinfrastruktur. Dazu wird als Erstes mit der Auswahl geeigneter Standorte zur Errichtung der Ladeinfrastruktur begonnen. Gefolgt von der Ermittlung der jeweiligen Bezugsleistung der Ladeinfrastruktur und der Planung und Kostenkalkulation für die einzelnen Standorte. Abschließend wird auf die Strombeschaffung und auf die Gestaltung der Endkundenpreise eingegangen.

Schlussendlich wird im fünften Kapitel das Resultat der Diplomarbeit zusammengefasst.

2 Grundlagen der Elektromobilität

Mit diesem Kapitel sollen dem Leser einige Grundlagen zur Elektromobilität vermittelt werden. Nach einer Einleitung in die historische Entwicklung der Batterie und der Elektrofahrzeuge beginnt dieses Kapitel mit einem Einblick in die Arten und Funktionsweisen von Elektrofahrzeugen. Im weiteren Verlauf werden die derzeit wichtigsten Varianten von Energiespeichersystemen, wie der Blei-Akkumulator, der Nickel-Metallhydrid-Akkumulator und der Lithium-Ionen-Akkumulator vorgestellt. Bei der Vorstellung der einzelnen Energiespeichersysteme wird ein Fokus auf die jeweiligen Eigenschaften und deren Bedeutung für eine uneingeschränkte Mobilität gelegt. Der letzte Abschnitt beschäftigt sich mit den verschiedenen Möglichkeiten zum Laden eines Elektrofahrzeuges. Dazu werden die grundlegenden Ladebetriebsarten und ihre zugehörigen Steckvorrichtungen vorgestellt und beschrieben. Zum Schluss dieses Kapitels wird ein Augenmerk auf die verschiedenen On-Board-Charger gelegt, welche eine wichtige Rolle beim Laden der Elektrofahrzeuge mit Wechselstrom einnehmen und daher Bestandteil eines jeden Elektrofahrzeugs sind.

Auf die verschiedenen Arten und Funktionsweisen von Elektromotoren wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

Das Kapitel 2 und dessen Abschnitte erfolgen in Anlehnung an [2,7,15,26,30,32,36,37,44,46,47,51,52,53,69].

2.1 Historie der Elektromobilität

Der Grundstein der Elektromobilität wurde bereits im Jahr 1799 gelegt, als der Italiener Alessandro Volta den ersten Prototyp einer Batterie vorstellte, die sogenannte „Voltasche Säule“. Durch das Verbinden der übereinander gestapelten Zink- und Kupferplatten, zwischen denen sich ein in Salzlösung getränktes Lederstückchen befand, gelang es Volta einen kontinuierlichen Stromfluss zu erzeugen (Abb. 2). Der Stromfluss, der daraus entstand, ist heute unter dem Begriff Gleichstrom (DC = Direct Current) bekannt.

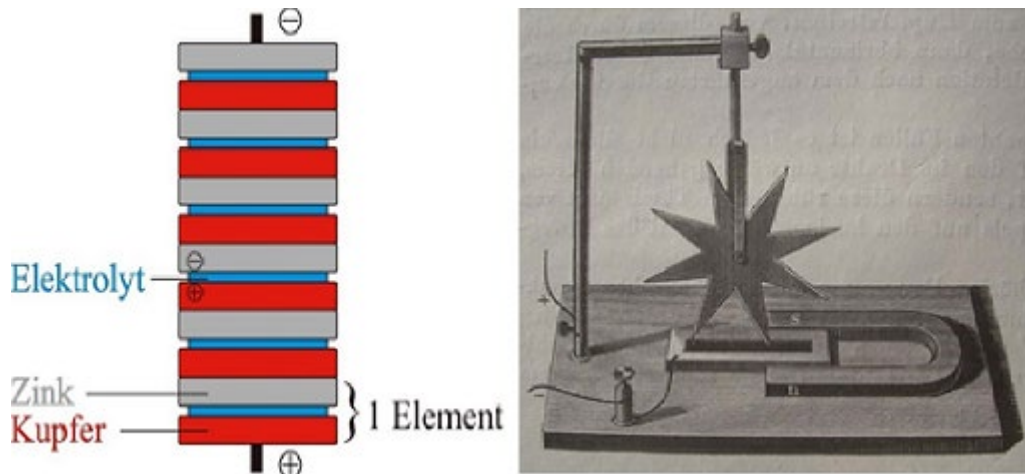


Abbildung 2: links: Darstellung einer Voltaschen Säule [73]; rechts: Barlow-Rad [71]

Ein weiterer Meilenstein in der Elektromobilität lag in der Erfindung des Elektromotors von Peter Barlow (Engländer) im Jahr 1822. Bei dem Versuchsaufbau des Engländers wird anhand einer Gleichstromquelle elektrischer Strom durch eine drehbar gelagerte Scheibe geschickt. Die Kontaktierung der Scheibe mit einem der beiden Pole der Gleichspannungsquelle wird über ein Quecksilberbad realisiert, während der andere Pol an dem Stab befestigt ist, an dem die Scheibe drehbar gelagert wird. Quer zur Scheibe hat der Engländer einen Magneten angebracht, welcher ein quer zur Scheibe verlaufendes Magnetfeld erzeugt. Durch das Einwirken des magnetischen Feldes auf die mit elektrischem Strom durchflossene Scheibe entsteht eine Kraft, die sog. Lorentzkraft, die eine Drehbewegung der Scheibe zur Folge hat. Mit der Erkenntnis eine kontinuierliche Rotation durch das Zusammenwirken von elektrischem Strom und magnetischen Feldern (Elektromagnetismus) zu erzeugen, wurde in den darauffolgenden Jahren weiter an elektrischen Maschinen geforscht. Bereits in den Jahren 1835 und 1837 gab es erste Versuche mit elektrisch angetriebenen Fahrzeugen. Dabei handelte es sich zunächst um Versuche mit kleinen Spielzeugmodellen und einfachen Schienenfahrzeugen. Das erste elektrisch angetriebene Fahrzeug mit einem 12 V Bleiakкумуляtor und 70 W Leistung stellte der Franzose Gustave Trouvé 1881 in Paris vor. Das als Dreirad konzipierte, rein elektrisch angetriebene Fahrzeug stellt den Vorläufer der ersten Elektroautos dar. In Deutschland wurde das erste Elektroauto Ende der 1880er-Jahre durch den Maschinenfabrikanten Andreas Flocken gebaut. Das Auto hatte eine Reichweite von 30 km und wies eine Höchstgeschwindigkeit von 15 km/h auf (Abb. 3).



Abbildung 3: Das erste Elektroauto in Deutschland von Andreas Flocken [70]

Um 1900 war der Entwicklungsstand bei Elektrofahrzeugen so weit, dass die Reichweiten um die 150 km betragen. Die eingesetzten Akkumulatoren wiesen dabei Kapazitäten von bis zu 25 kWh¹, bei einem Gewicht von bis zu 600 kg, auf.

Ein wesentlicher Grund für die Erfolgsgeschichte der Elektrofahrzeuge bestand zu jener Zeit darin, dass im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor einfach losgefahren werden konnte, sobald der Akku aufgeladen war. Verbrennungsmotoren mussten vor dem Start erst mühsam angekurbelt werden (Abb. 4). Gerade in den USA erlebte das Elektroauto einen regelrechten Boom. Zur Jahrhundertwende betrug der Anteil an Elektrofahrzeugen dort bereits 38 %. Spitzenreiter zu dieser Zeit waren dampfbetriebene Fahrzeuge mit einem Anteil von 40 %. Die verbleibenden 22 % der Fahrzeuge wurde mit Verbrennungsmotoren betrieben.

Einen herben Rückschlag erfuhr die Elektromobilität mit der Erfindung des elektrischen Anlassers im Jahr 1911. Die neue Erfindung vereinfachte erheblich das Starten von Verbrennungsmotoren, wodurch sich das mühsame Anlassen per Handkurbel erübrigte. Ein entscheidender Vorteil der Elektromotoren gegenüber den Verbrennungsmotoren war mit einem Mal hinfällig geworden. Weitere Rollen in der Entwicklung der Mobilität spielten zum einen die Erschließung großer Erdöl-Lagerstätten, was zu einer Verbilligung der Benzinpreise führte und zum anderen die Weiterentwicklung der Verbrennungsmotoren, wodurch höhere Geschwindigkeiten und größere Reichweiten erzielt werden konnten. Die Summe der Ereignisse ließen die Elektromobilität mit ihrer geringen Reichweite und ihren

¹ Bei einer typischen Kapazität von 80 bis 230 Ah bei einer Gleichspannung von 110 V. [44]

geringen Geschwindigkeiten immer weiter in den Hintergrund rücken. Lediglich in Nischenprodukten wie z.B. Gabelstapler, Golf-Caddy fand der Elektroantrieb seine weitere Verwendung.



Abbildung 4: Starten eines PKW mit Kurbel [11]

Mit einer Verschärfung des Umweltrechts in den USA und der weltweiten Ölkrise in den 1970er-Jahren erlebte die Elektromobilität ihr schrittweises Comeback in der Automobilbranche. Weltweit wurden erste Versuche unternommen, Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor auf Elektroantrieb umzurüsten. Als Beispiel wäre hier der in dem Jahr 1976 von VW umgerüstete „Elektro-Golf I“ zu nennen. Er basierte auf einem Golf I, bei dem der 75 PS Benzinmotor gegen einen 20 kW Gleichstrom-Elektromotor ausgetauscht wurde (Abb. 5). Geladen wurde die aus 16 Sechs-Volt Blei Akkus bestehende Batterie an einer 220 V Steckdose, was bis zu 12 Stunden dauern konnte. Eine wirkliche Konkurrenz konnte der Elektro-Golf I gegenüber den Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, was Reichweite und Geschwindigkeit anging, aber nicht darstellen.

Im Jahr 2006 präsentierte die Firma Tesla Inc. seinen neuen Tesla Roadster. Unter Verwendung der neuen innovativen Technologie der Lithium-Ionen-Batterie setzte der Hersteller neue Maßstäbe in Sachen Reichweite und Geschwindigkeiten bei Elektrofahrzeugen. Laut insideTesla erreichte der Roadster mit einer einzigen Ladung eine Reichweite von ca. 400 km und eine Höchstgeschwindigkeit von 201 km/h. [33] Neben der innovativen Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterie bewegten weitere Faktoren, wie das wach-

sende Verständnis gegenüber der Endlichkeit von konventionellen Ressourcen, öffentliche Subventionen und sinkende Herstellungskosten, die Automobilhersteller dazu, ihr Portfolio um Elektrofahrzeuge zu erweitern.



Abbildung 5: links: VW Elektro-Golf I [67]; rechts: Tesla Roadster der ersten Generation [33]

Schaut man sich in der heutigen Zeit nach einem Fahrzeug mit einem Elektromotor als Alternative zum Verbrennungsmotor um, so stellt man fest, dass sich durchaus unterschiedliche Arten von Fahrzeugen mit Elektromotoren auf dem Markt befinden.

2.2 Arten und Funktionsweisen von Elektrofahrzeugen

Grundsätzlich wird in drei Arten von Elektrofahrzeugen unterschieden. Im §2 des Elektromobilitätsgesetzes (EMoG) wird erläutert, welche Kriterien Fahrzeuge erfüllen müssen, damit sie als Elektrofahrzeuge gelten. Nach §2 EMoG gilt ein Fahrzeug als ein elektrisch betriebenes Fahrzeug, wenn:

- es ein reines Batterieelektrofahrzeug (BEV = battery electrical vehicle),
- ein von außen aufladbares Hybridelektrofahrzeug (PHEV = plug-in hybrid electrical vehicle)
- oder ein Brennstoffzellenfahrzeug (FCEV = fuel cell electrical vehicle)

ist.

Im Sinne des §2 EMoG gelten demzufolge Oberleitungsfahrzeuge, wie Straßenbahnen oder Oberleitungsbusse, nicht als Elektrofahrzeuge. Auch Hybridfahrzeuge (HEV = hybrid electrical vehicle), bei denen die Batterie nicht von außen aufgeladen werden kann, sondern nur durch Rekuperation oder über einen integrierten Diesel- oder Benzinmotor, zählen nicht zu den Elektrofahrzeugen.

In den folgenden Abschnitten soll ein kurzer Einblick in die Besonderheiten von Hybridelektrofahrzeugen und Batterieelektrofahrzeugen erfolgen.

2.2.1 Hybridelektrofahrzeuge (HEV, PHEV)

Die Besonderheit eines Hybridelektrofahrzeugs besteht darin, dass das Fahrzeug über zwei verschiedene Energiewandler verfügt. Bei den Energiewandlern handelt es sich i.d.R. um eine Kombination aus einem Verbrennungsmotor (Benzin oder Diesel) und einem Elektromotor. Dementsprechend verfügt auch jeder Energiewandler über seinen separaten Energiespeicher. Für den Verbrennungsmotor wird ein Benzin- oder Dieseltank als Energiespeicher verwendet. Für den Antrieb des Elektromotors werden die Fahrzeuge mit Hochvolt-Batterien, üblicherweise mit Kapazitäten von 10 bis 20 kWh, ausgerüstet. Dies entspricht einer rein elektrischen Reichweite von bis zu 91 km. [9] Für längere Strecken steht dem Fahrzeugnutzer dann noch der Verbrennungsmotor zu Verfügung. Eine weitere Besonderheit bei den Hybridelektrofahrzeugen liegt in der Art und Weise, wie der Energiespeicher des Elektromotors mit neuer Energie beladen wird. Bei dem (HEV) erfolgt das Aufladen des Energiespeichers ausschließlich durch den fahrzeuginternen Verbrennungsmotor oder durch Rekuperation beim Verzögern des Fahrzeugs. Anders verhält es sich beim PHEV. Hier erfolgt die Beladung des Energiespeichers durch eine externe Ladung von außen sowie auch durch Rekuperation.

Der wesentliche Vorteil eines PHEVs gegenüber einem rein konventionell angetriebenen Fahrzeug liegt im geringen Benzin-/ Dieselverbrauch. Da hier ein rein elektrisches Fahren möglich ist. Auf Grund der zwei verbauten Motoren, wäre als Nachteil das höhere Gewicht des Fahrzeugs zu nennen.



Abbildung 6: Plug-In Hybrid Audi A6 Avant TFSI e [8]

2.2.2 Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)

Im Gegensatz zu den Hybridelektrofahrzeugen besteht die Besonderheit bei rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen darin, dass der Antrieb aus einem oder mehreren Elektromotoren besteht. Die Fahrstrecken werden rein elektrisch zurückgelegt, da keine zweite Antriebsart verbaut ist. Um trotzdem größere Reichweiten erzielen zu können, werden Energiespeicher mit höheren Kapazitäten eingesetzt. Je höher die Kapazität des Energiespeichers, desto größer ist die Reichweite des Fahrzeugs. Die Reichweiten der BEVs steigen demzufolge mit zunehmender Kapazität des Energiespeichers. Was den Energiespeicher neben dem Elektromotor zum Kernelement des rein elektrischen Fahrzeugs macht.

2.3 Der Energiespeicher

Analog zum Tank eines Verbrennungsmotors liefert der Energiespeicher des BEV die notwendige Energie, damit sich das Fahrzeug fortbewegen kann. In PHEV und BEV finden in erster Linie elektrochemische Energiespeicher, mit einer reversiblen Zellreaktion, ihre Anwendung. Welche umgangssprachlich unter dem Begriff des Akkumulators bzw. des Akkus bekannt sind. Wie im vorigen Abschnitt schon angedeutet, ist der Akku eine zentrale und wichtige Komponente im Elektrofahrzeug.

2.3.1 Funktionsweise von Akkumulatoren

Um im weiteren Verlauf der Arbeit zu vermitteln wie das Laden eines Elektrofahrzeugs mit elektrischer Energie erfolgt, soll dieser Abschnitt einen kurzen Einblick in die Funktionsweise eines Akkumulators geben.

Wie schon erwähnt, handelt es sich bei den in Elektrofahrzeugen verwendeten Akkumulatoren um einen elektrochemischen Energiespeicher mit reversiblen Zellreaktion. Die Grundeinheit des Akkumulators bildet die elektrochemische Zelle. In dieser Zelle findet die Umwandlung von elektrischer Energie (Gleichstrom) in eine gebundene chemische Energie statt und umgekehrt. Die Zelle besteht aus zwei Elektroden (Anode und Kathode) unterschiedlichen Materials, welche durch einen Elektrolyten miteinander verbunden sind. Der

Elektrolyt kann flüssig, fest oder geliert sein und darf nur Ionen aber keine Elektronen leiten. Ein Separator verhindert einen direkten Kontakt zwischen der Anode und der Kathode, da es sonst zu einem Kurzschluss kommen würde. Dabei sollte er aber möglichst dünn sein und eine gute Ionen-Leitfähigkeit aufweisen. Der Aufbau und der Ablauf in der Zelle ist bei allen elektrochemischen Speichern gleich und lässt sich daher für den Vorgang des Entladens wie folgt beschreiben:

Werden Anode und Kathode über einen Verbraucher miteinander verbunden, fließen Elektronen über den Stromableiter von der Anode (negative Elektrode) zur Kathode (positive Elektrode). Durch die gleichzeitig stattfindende chemische Reaktion (Oxidation der Anode) werden die abfließenden Elektronen nachgeliefert. Durch das Abfließen der Elektronen werden in der Anode Ionen frei. Diese frei gewordenen Ionen wandern von der Anode über den Elektrolyten zur Kathode und werden dort von den Elektronen abgenommen. (Abb. 7)

Beim Ladevorgang erfolgt der Prozess umgekehrt, hier wandern die Ionen von der Kathode über den Elektrolyten und durch den Separator zur Anode über.

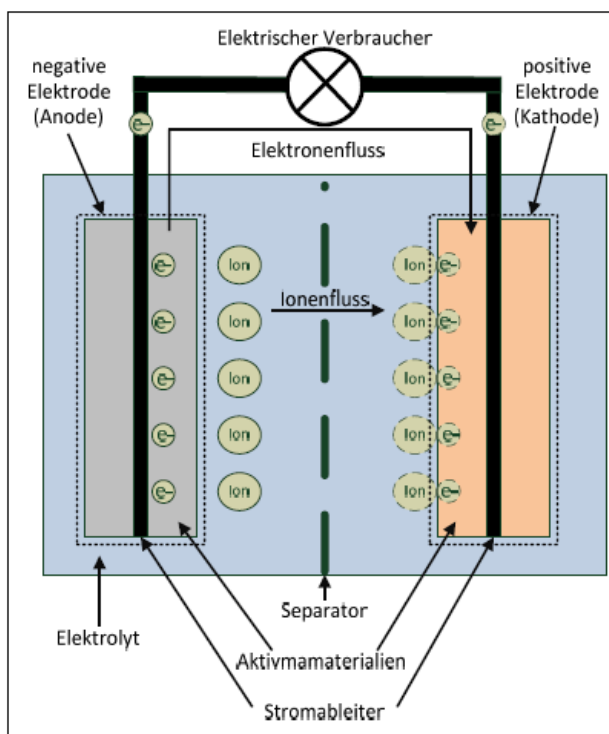


Abbildung 7: Aufbau einer elektrochemischen Zelle [7]

Um die benötigte Energiemenge für ein Elektrofahrzeug bereit stellen zu können, werden einzelne Zellen, in Reihe und/oder parallel, zu Modulen zusammengeschaltet. Die Spannung der einzelnen Zelle ergibt sich aus den verwendeten Materialien von Anode und Kathode und deren Differenz in der elektrochemischen Spannungsreihe. Durch die Zusammenschaltung einzelner Zellen in Reihe zu einem Strang wird die Systemspannung fest-

gelegt. Schaltet man Stränge parallel in einem Modul zusammen, erhöht sich die Gesamtkapazität des Moduls. Die heute eingesetzten Lithium-Ionen-Akkumulatoren haben Systemspannungen von 400 V und Kapazitäten von bis zu 100 kWh, bei einem Gewicht des Akkumulators von ca. 500 bis 600 kg.

2.3.2 Energiespeichersysteme/Akkumulatoren im Vergleich

Eine besondere Anforderung an Energiespeichersysteme - für eine uneingeschränkte Mobilität – ist die Transportfähigkeit des Energiespeichersystems selbst. Gerade unter dem Aspekt der Reichweite ist u.a. das Gesamtgewicht des Fahrzeugs immer ein ausschlaggebender Faktor. Gleiches gilt für den Fahrkomfort und die Funktionalität. Als Fahrer eines Elektrofahrzeugs sollte man nur bedingte Einschränkungen im Bereich der Zuladung bzw. des Kofferraumvolumens in Kauf nehmen müssen. Daher ist die auf das Gewicht bezogene Energiespeicherfähigkeit des Akkumulators sowie der Volumenbedarf des Akkus ausschlaggebend. Dahingehend unterscheiden sich folgende Arten von Akkumulatoren:

Blei Akkumulatoren

Der Blei-Akkumulator ist unter den heute verwendeten Technologien die älteste wieder aufladbare Variante. Durch seine geringe Energiedichte von 30 bis 40 Wh/kg ist die Technologie aber für die hohen Ansprüche, in Bezug auf Reichweite und resultierendes Gewicht des Fahrzeugs, nicht geeignet. Dennoch findet die Technologie im Fahrzeugbereich ihre Anwendung. Durch ihre hohen Kurzzeitströme eignet sich der Blei-Akkumulator als Starterbatterie in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor.

Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren

Der Nickel-Metallhydrid-Akkumulator ist eine Weiterentwicklung des Nickel-Cadmium-Akkumulators, der durch das umweltschädliche Cadmium und die dadurch resultierenden EU-Verbote ersetzt werden musste. Die Besonderheit der Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren besteht darin, dass sie nicht Über- bzw. Entladen werden können und dadurch keine aufwendige Elektronik zum Schutz benötigen. Mit seiner Energiedichte von 80 Wh/kg findet er heute noch Verwendung als Energiespeicher in Hybridelektrofahrzeugen.

Natrium-Schwefel- und Natrium-Nickel-Chlorid-Akkumulatoren

Natrium-Schwefel-Akkumulatoren sind wegen der Verwendung von Schwefel günstig in der Herstellung und weisen eine Energiedichte von bis zu 200 Wh/kg auf. Nachteil dieser Technologie sind die thermischen Verluste, welche auf die hohen Betriebstemperaturen von 250 bis 300°C zurück zu führen sind. Aus diesem Grund beschränkt sich der Einsatz

dieser Technologie auf Systeme mit hohen Leistungsanforderungen, jenseits der Megawatt-Marke. Die Natrium–Nickel-Chlorid-Akkumulatoren (NiMH) sind preiswert in der Herstellung und weisen eine Energiedichte von ca. 120 Wh/kg auf. Die NiMH-Akkumulatoren gelten als technisch ausgereift. Eine Verbesserung ist daher in naher Zukunft nicht zu erwarten, weshalb der Lithium-Ionen-Akkumulator den NiMH-Akkumulator in Zukunft vollständig ablösen wird.

Lithium-Ionen-Akkumulatoren

Den heutigen Standard an Energiespeichern für PHEV und BEV bilden die Lithium-Ionen-Akkumulatoren. Im Gegensatz zu den vorher aufgeführten Energiespeicherarten, bei denen die technischen Eigenschaften unabhängig vom Hersteller der Akkumulatoren weitgehend gleich sind, lassen sich bei den Lithium-Ionen-Akkumulatoren durch die Variation verschiedener Kathoden-, Anoden und Elektrolytmaterialien unterschiedliche Eigenschaften wie z.B. unterschiedliche Energiedichten erzielen. Als Kathodenmaterial wird i.d.R. metallisches Lithium in unterschiedlichen Legierungen mit Eisen, Chrom, Kobalt oder Mangan verwendet. Bei den Anodenmaterialien handelt es sich um Kohlenstoffverbindungen wie Graphit oder Silizium-Kohlenstoff. Als Elektrolyt verwendet man ein Gemisch aus organischen Lösungsmitteln (z.B. Ethylencarbonat/Dimethylcarbonat) und einem Leitsalz (z.B. Lithiumhexafluorophosphat). Bei der am häufigsten verwendeten Variante besteht die Kathode aus einer Lithium-Eisen-Phosphat-Legierung und die Anode aus Graphit. Hier lassen sich Energiedichten zwischen 80 und 120 Wh/kg erreichen. Unter Verwendung einer Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminium-Oxid Kathode lassen sich bereits Energiedichten bis hin zu 250 Wh/kg erzielen.

Energiespeichersystem	Energiedichte in Wh/kg
Blei-Akkumulator	30-40
Nickel-Metallhydrid-Akkumulator	80
Nickel-Chlorid-Akkumulator	120
Natrium-Schwefel-Akkumulator	200
Lithium-Ionen-Akkumulator	80-250

Tabelle 1: Übersicht Energiespeichersysteme

Durch die Verwendung von Lithium-Ionen Akkumulatoren sind die Reichweiten von BEVs in den letzten Jahren sukzessive gestiegen. Bei aktuellen Fahrzeugmodellen, wie dem

BMW iX xDrive 50, ist laut ADAC-Test eine Reichweite von 610 km mit einer einzigen Akku-Ladung möglich. Verbaut wurde bei diesem Fahrzeugmodell ein Akkumulator mit einer Netto-Kapazität von 105,2 kWh. [4]

Fahrzeug	Markteintritt	Bruttokapazität in kWh	Nettokapazität in kWh	Systemgewicht in kg	Bruttoenergiegedichte in Wh/kg
Tesla Roadster	2006	56	53	410	137
BMW i3	2013	22	18,8	230	96
Renault Zoe	2013	25,9	23,3	290	89
Tesla Model 3	2017	75	72,5	478	157
Mercedes EQC	2019	80	76	650	123

Tabelle 2: Technische Daten der Energiespeichersysteme ausgewählter BEVs [44]

2.3.3 Batteriemanagementsystem

Zu jedem Akku im Elektrofahrzeug gehört ein Batteriemanagementsystem (BMS) das als zentrale Überwachungs- und Regelungseinheit dient. Es kontrolliert und überwacht permanent die Zellspannung, den Batteriestrom und die Temperatur. Die Überwachung der Zellspannung-, Strom- und Temperatur ermöglicht es dem BMS den Ladezustand SOC (State of Charge) sowie die Alterung SOH (State of Health) des Akkus zu berechnen. Der SOC beschreibt dabei den momentanen Ladezustand im Vergleich zur maximalen Kapazität des Akkus. Der SOH spiegelt den aktuellen Zustand des Akkus gegenüber einem Neuen wieder. Aus beiden Werten ermittelt das BMS den SOF (State of Function) des Elektrofahrzeugs, welcher letztendlich dem Fahrer vermittelt, ob er sein Fahrziel erreicht oder ob der Akku nachgeladen werden muss.

2.4 Laden von Elektrofahrzeugen

Die Übertragung der Energie vom Stromnetz in das Elektrofahrzeug kann über Wechselstrom (AC-Laden) als auch über Gleichstrom (DC-Laden) erfolgen. Der benötigte Gleichstrom wird hierbei von der entsprechenden Ladetechnik zur Verfügung gestellt. Der Ladevorgang mit Wechselstrom ist abhängig vom eingesetzten Ladegerät (On-Board-Charger) im Fahrzeug, welches den Wechselstrom aus dem Stromnetz in den benötigten Gleichstrom umwandelt. Für die Beladung des Akkumulators mit Wechsel- oder Gleichstrom sind vier Ladebetriebsarten definiert.

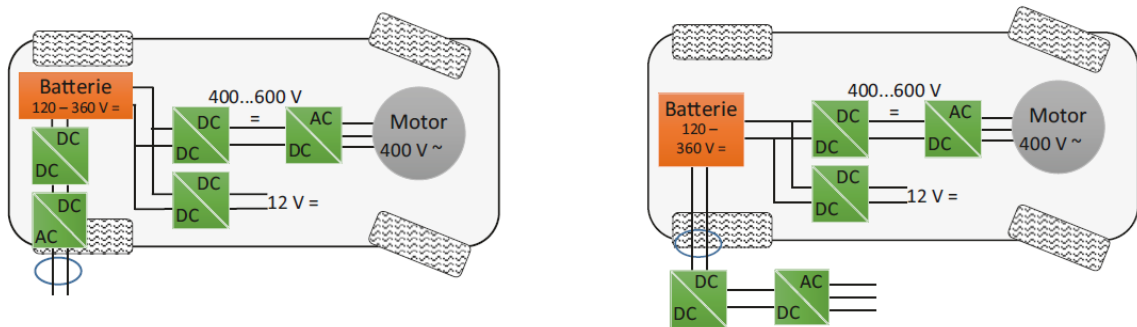


Abbildung 8: links: Topologie AC-Laden; rechts: Topologie DC-Laden [44]

2.4.1 Ladebetriebsarten

Ladebetriebsart 1

Bei der Ladebetriebsart 1 wird der Akkumulator des Elektrofahrzeugs über ein Adapterkabel (Abb. 9) mit einer Wechselstromquelle, wie einer Schutzkontaktsteckdose oder einer CEE-Steckdose, verbunden. Bei einer Absicherung der Schutzkontaktsteckdose in der ortsfesten Elektroinstallation des Gebäudes mit 16 A/230 V, ist eine einphasige Ladeleistung von max. 3,7 kW möglich. Bei einer dreiphasigen CEE-Steckdose mit 16 A/400 V beträgt die max. Ladeleistung 11 kW. Eine Kommunikation und Überwachung des Ladevorgangs zwischen Fahrzeug und Ladeanschluss besteht bei dieser Art nicht. Daher wird sie für das Laden von E-Scootern oder E-Bikes genutzt.

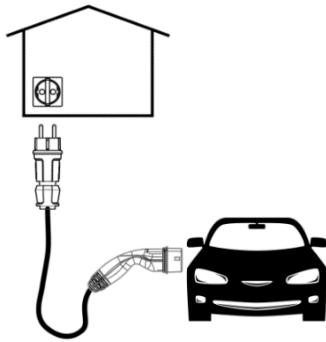


Abbildung 9: Darstellung Ladebetriebsart 1 [12]

Ladebetriebsart 2

Bei der Ladebetriebsart 2 erfolgt der Ladevorgang ebenfalls über eine Wechselstromquelle (Schutzkontaktsteckdose, CEE-Steckdose), welche über ein Adapterkabel mit dem Fahrzeug verbunden ist. Im Gegensatz zur Ladebetriebsart 1 besitzt das Ladekabel eine integrierte Kontrollbox (ICCB = In-Cable Control-Box), die eine Sicherheits- und Kommunikationsfunktion beim Laden des Fahrzeugs übernimmt. Durch die Kontrollbox erfolgt ein Informationsaustausch mit dem Fahrzeug sowie eine Überwachung der Schutzleiterverbindung. Des Weiteren gewährleistet die Kontrollbox den Schutz vor elektrischem Schlag bei Isolationsfehlern. Beim Auftreten evtl. Gleichstromfehler im System unterbricht die Kontrollbox den Ladevorgang. Der max. einphasige Ladestrom beträgt 32 A/230V, bei einer max. Ladeleistung von 7,4 kW² oder einer dreiphasigen Ladeleistung bei 32 A/400 V von 22 kW.



Abbildung 10: links: Darstellung Ladebetriebsart 2 [12]; rechts: Ladekabel mit ICCB [eigene Darstellung]

² In Deutschland ist eine max. Schiefast von 4,6 kVA pro Phase zulässig [15]

Ladebetriebsart 3

Bei der Ladebetriebsart 3 wird das Elektrofahrzeug über ein Ladekabel mit einer Ladestation/Ladepunkt (Wallbox) verbunden. Dabei ist das Ladekabel entweder fest mit der Ladestation verbunden oder wird im Fahrzeug mitgeführt. Schutzeinrichtungen, wie RCD-Schalter, sind fest in der Ladestation integriert. Wie bei den Ladebetriebsarten 1 und 2 erfolgt das Laden des Elektrofahrzeugs mit Wechselstrom. Eine Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und der Ladetechnik findet ebenfalls statt. Der max. Ladestrom beträgt bei dieser Ladebetriebsart 63 A/400 V, was einer max. Leistung von 43 kW entspricht.

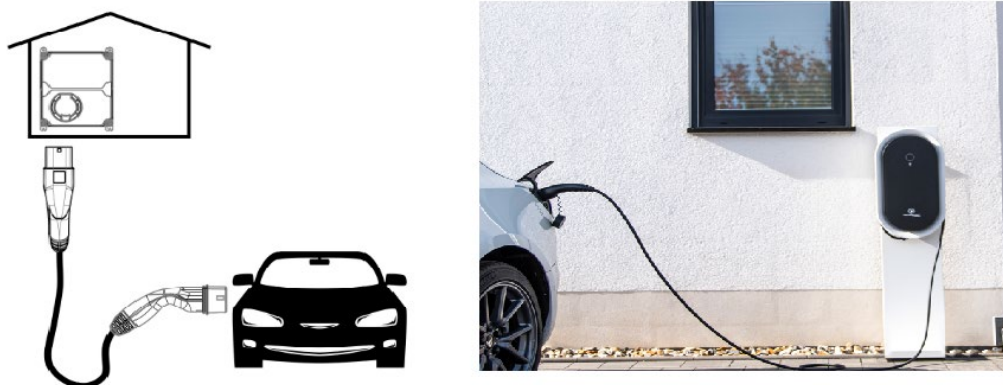


Abbildung 11: links: Darstellung Ladebetriebsart 3 [12]; rechts: Tesla an einer Wallbox [eigene Darstellung]

Ladebetriebsart 4

Bei der Ladebetriebsart 4 wird das Elektrofahrzeug über eine Gleichstromquelle geladen. Anders als bei den Ladebetriebsarten 1-3 befindet sich das Ladegerät in der Ladestation, sodass der Akkumulator des Fahrzeugs direkt mit Gleichstrom versorgt wird. Dadurch lassen sich wesentlich höhere Ladeleistungen und damit eine deutlich reduzierte Ladedauer, gegenüber den Betriebsarten 1-3, erreichen. Die Kommunikation zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug erfolgt über das an der Ladestation fest installierte Ladekabel. Sämtliche Sicherheitsfunktionen, zum Schutz vor elektrischem Schlag etc., sind in der Ladestation integriert. Aktuell können bei dieser Ladebetriebsart Ladeleistungen von bis zu 300 kW realisiert werden.

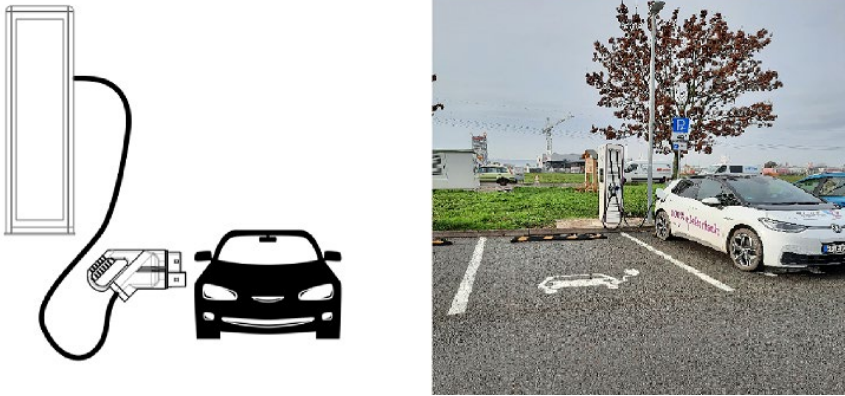


Abbildung 12: links: Darstellung Ladebetriebsart 4 [12]; rechts: VW ID 3 an einer Alpitronic 150-2 [eigene Darstellung]

2.4.2 Steckvorrichtungen

Analog zu den Ladebetriebsarten werden auch die zugehörigen Steckvorrichtungen nach AC-Laden und DC-Laden unterschieden. Im folgenden Abschnitt werden die üblichen Steckvorrichtungen näher vorgestellt.

Steckvorrichtungen für AC-Laden

Für das Laden von Elektrofahrzeugen mit Wechselstrom befinden sich momentan drei unterschiedliche Arten von Steckersystemen auf dem Markt:

- Stecker Typ 1
- Stecker Typ 2
- Stecker Typ 3

Stecker Typ 1

Der Stecker Typ 1 wurde ursprünglich in Japan für den asiatischen und den amerikanischen Markt entwickelt. Dieser Stecker Typ ist nur für das einphasige Laden von Elektrofahrzeugen konzipiert und findet daher in Europa keine Anwendung mehr.

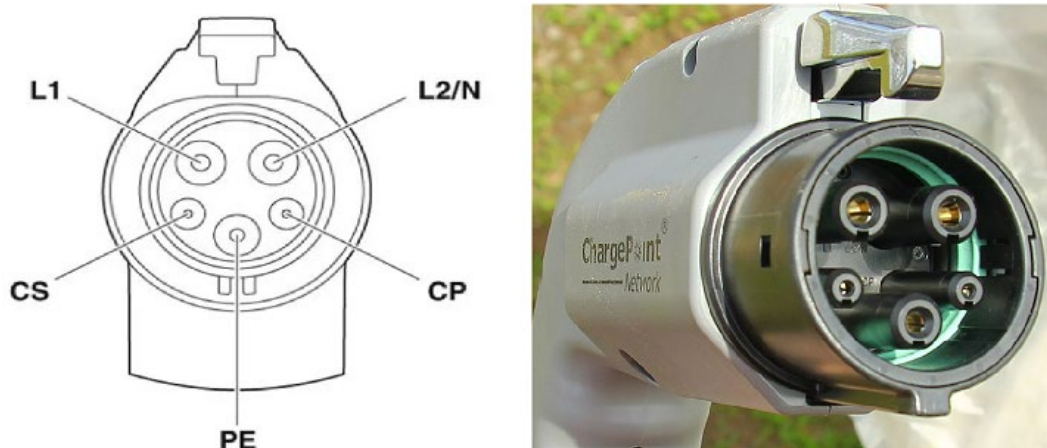


Abbildung 13: Darstellung Stecker vom Typ 1 [29]; rechts: SAE J1772-Stecker [72]

Wie der Abbildung 13 zu entnehmen ist, weist der Stecker fünf Kontakte auf, welche für die Phase (L1), den Neutralleiter (N), den Schutzleiter (PE) und die zwei Pilotkontakte (CS (PP)/CP) vorgesehen sind (Abb. 13 links). Beide Pilotkontakte sind für die Kommunikation zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug zuständig. Über den Pilotkontakt CP (Control Pilot) wird dem Fahrzeug von der Ladestation mitgeteilt, welcher maximale Ladestrom zur Verfügung steht. Der Pilotkontakt CS/PP (Proximity Pilot) dient zur Identifikation des Ladekabels und zur Überprüfung der Stromtragfähigkeit des Kabels. Eine automatische Verriegelungsfunktion besitzt der Stecker nicht und muss daher mit der Hand verriegelt werden (Abb. 13 rechts).

Stecker Typ 2

Der Stecker Typ 2 wurde von der Firma Mennekes entwickelt und ist seit dem Jahr 2013 in Europa als Standard definiert. Er findet seine Anwendung an jeder Wallbox und an allen öffentlich zugänglichen AC-Ladepunkten in Europa. Die Stecker der Varianten vom Typ 1 und Typ 3 spielen daher in Europa so gut wie keine Rolle mehr. Der Stecker Typ 2 ermöglicht das einphasige Laden als auch das dreiphasige Laden (bis zu 43 kW) von Elektrofahrzeugen. Er verfügt über sieben Kontakte, welche für die einzelnen Phasen (L1, L2, L3), den Neutralleiter (N), den Schutzleiter (PE) und die zwei Pilotkontakte (CP/PP) vorgesehen sind. Wie beim Stecker Typ 1, sind beide Pilotkontakte für die Kommunikation zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug zuständig. Im Gegensatz zum Stecker Typ 1 besitzt der Stecker Typ 2 aber eine automatische Verriegelungsfunktion.

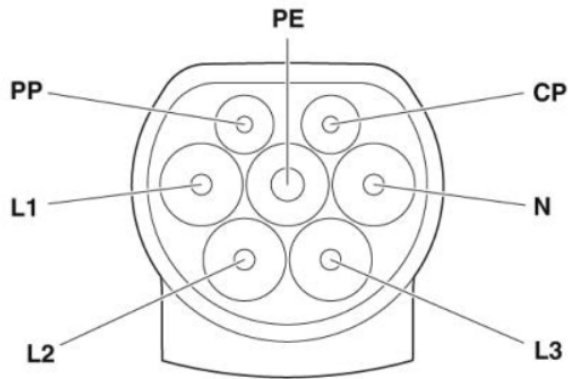


Abbildung 14: Darstellung Stecker vom Typ 2 [27]

Stecker Typ 3

Der in Italien entwickelte Stecker Typ 3 hat zwar in einigen Ländern noch Bedeutung, ist aber auch schon weitestgehend vom Stecker Typ 2 abgelöst worden. Der Stecker ist für das einphasige, als auch für das dreiphasige AC-Laden einsetzbar. Allerdings müssen für die unterschiedlichen Ladeleistungen jeweilige Stecker eingesetzt werden. Die Problematik an diesem System ist, dass die jeweiligen Stecker nicht kompatibel untereinander sind.

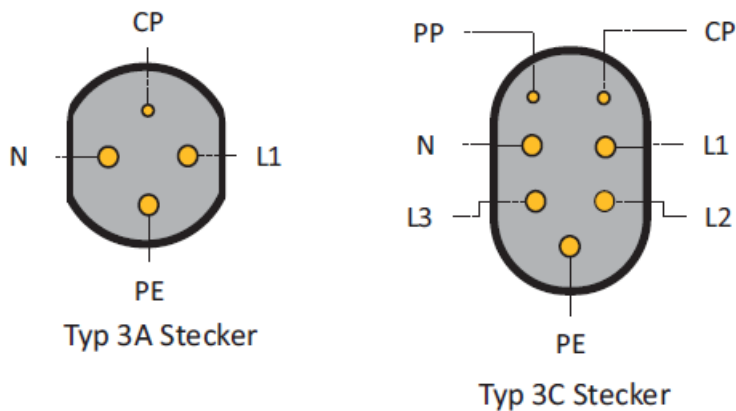


Abbildung 15: Darstellung Stecker vom Typ 3 [37]

Steckvorrichtungen für DC-Laden

Für das Laden von Elektrofahrzeugen mit Gleichstrom befinden sich momentan zwei unterschiedliche Arten von Steckersystemen auf dem Markt:

- CHAdeMO
- CCS

CHAdeMO

Der CHAdeMO-Stecker (Charge de Move) ist ein Standardstecker für das Laden mit Gleichstrom aus dem asiatischen Raum. Er wurde in Japan entwickelt und ist zudem auch heute noch in europäischen Ladetechniken verbaut. Der Stecker enthält zwei Kontakte für das Laden mit Gleichstrom (DC+/DC-) und zwei Bündel mit jeweils vier Signalleitungen. Die Kommunikation zwischen Ladesäule und Elektrofahrzeug erfolgt über Signalleitungen mittels CAN-Bus. Die anderen Signalleitungen dienen zur Prüfung der Verbindung, zur Signalisierung der Ladebereitschaft, zum Wecken des Fahrzeugs, etc.

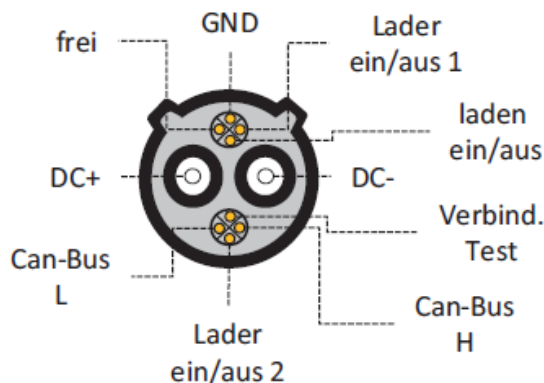


Abbildung 16: Darstellung CHAdeMO-Stecker [37]

CCS

Der CCS-Stecker (Combined Charging System), wie der Name schon sagt, ermöglicht neben dem DC-Laden auch das AC-Laden. Der Stecker ist auf Basis des Stecker Typ 1 (Nordamerika) und des Stecker Typ 2 (Europa) aufgebaut und stellt somit den Standard in Europa und Nordamerika dar. Unter den eigentlichen Steckern vom Typ 1 oder 2 befinden sich zwei zusätzliche Kontakte (DC+/DC-) für die direkte Übertragung des Gleichstroms in den Akkumulator des Elektrofahrzeugs. Die Kommunikation zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug findet wieder, wie beim AC-Laden, über die beiden Pilotkontakte CP und

PP statt. An heutigen HPC-Stationen (High Power Charging) können über die CCS-Stecker Ladeleistungen von bis zu 300 kW erreicht werden.

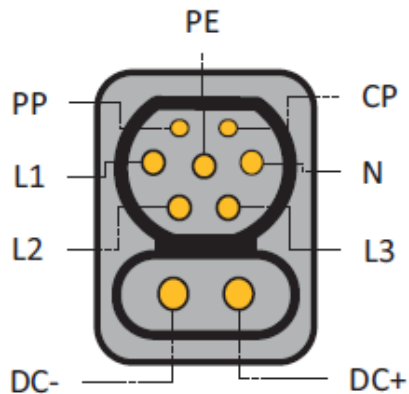


Abbildung 17: Darstellung CCS-Stecker [37]

2.4.3 On-Board-Charger (OBC)

Bei der Ladebetriebsart 2 und 3 wird der benötigte Strom zum Laden des Elektrofahrzeugs aus einer Wechselstromquelle entnommen, wie z.B. einer Wallbox. Zur Umwandlung des Wechselstroms in den benötigten Gleichstrom verfügen alle - in Europa marktübliche Elektrofahrzeuge - über einen On-Board-Charger (OBC) mit integriertem Stecker Typ 2-Anschluss. Der OBC hat, wie schon beschrieben, die Funktion den Wechselstrom in einen Gleichstrom umzuwandeln. Dazu besteht der OBC aus einem AC/DC-Wandler (Wechselrichter), welcher den Wechselstrom in Gleichstrom umwandelt und einem DC/DC-Wandler (Gleichspannungssteller), welcher die - für den Akkumulator benötigte - Gleichspannung zur Verfügung stellt. Aktuelle Elektrofahrzeuge verwenden Systemspannungen i. d. R von 400 V DC und vereinzelt sogar bis zu 800 V DC, wie z.B. der KIA EV6. [3]

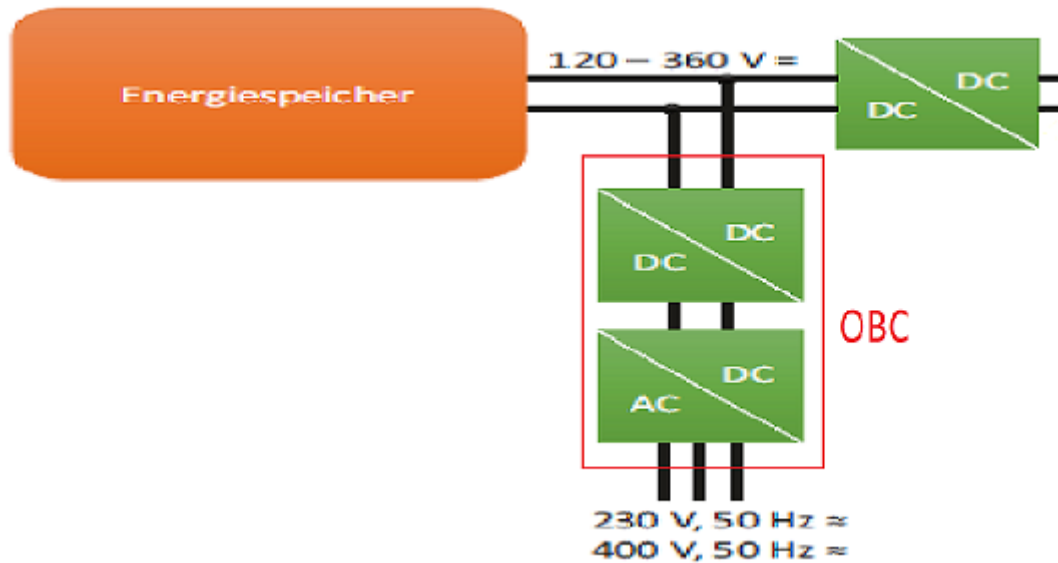


Abbildung 18: Topologie eines On-Board-Chargers; eigene Darstellung in Anlehnung an [44]

Auf dem Markt lassen sich momentan vier unterschiedliche Leistungsklassen von On-Board-Chargern finden. Der Unterschied zwischen den Leistungsklassen besteht zum einen im einphasigen oder dreiphasigen Laden des Elektrofahrzeugs und zum anderen von der zur Verfügung stehenden Stromstärke pro Phase. Die kleinste Variante ist der 3,7 kW OBC, der es ermöglicht, Wechselstrom aus einer Phase mit bis zu 16 A bei einer Spannung von 230 V zu laden. Eine weitere Variante des einphasigen Ladens stellt der 7,4 kW OBC dar, welcher das Laden mit bis zu 32 A bei einer Spannung von 230 V erlaubt. Konzipiert wurde der 7,4 kW OBC für den amerikanischen Markt, da dort einphasige AC-Systeme mit 32 A bei 230 V üblich sind. In Deutschland ist die Entnahme einer einphasigen Bemessungsleistung auf 4,6 kVA beschränkt. Ist die Bemessungsleistung größer als 4,6 kVA, so ist die Ladeeinrichtung (z.B. eine Wallbox) nach VDE-AR-N 4100 dreiphasig anzuschließen. [15] Sollte dennoch, z.B. ein Jaguar I-Pace, mit seinem 7,4 kW OBC an einer Ladestation laden, welche mit 3x32 A abgesichert ist (max. Ausgangsleistung 22 kW), so bekommt er über seine eine Phase die 7,4 kW an Leistung zur Verfügung gestellt. Es sei denn, die Ladestation verfügt über eine integrierte Schiefllastbegrenzung. In diesem Fall würde die Leistung auf max. 4,6 kW durch die Ladestation begrenzt werden. Bei den dreiphasigen OBCs liegen die Leistungsklassen bei 11 kW und bei 22 kW. Die 11 kW Variante, welche z.B. im VW ID 3 verwendet wird, ermöglicht eine dreiphasige Ladung mit einer Absicherung von bis zu 16 A pro Phase und einer Spannung zwischen den einzelnen Phasen von 400 V. Eine einphasige Ladung bei einer Absicherung der Phase von bis zu 16 A/230 V ist bei dem 11 kW OBC ebenfalls möglich. Die max. Ladeleistung weist der 22 kW OBC auf. Er lässt eine dreiphasige Ladung des Elektrofahrzeugs bei einer Absicherung von bis zu 32 A pro Phase und einer Spannung zwischen den einzelnen Phasen von 400 V zu. Das Laden eines Elektrofahrzeugs mit einem 22 kW OBC ist ebenfalls mit

3,7 kW (einphasig) und mit 11 kW (dreiphasig) möglich. In der folgenden Tabelle sind einige ausgewählte Elektrofahrzeuge mit ihren zugehörigen OBCs aufgelistet.

Hersteller	Fahrzeugtyp	OBC			
		3,7 kW	7,4 kW	11 kW	22 kW
BMW	I3	☑	☒	☑	☒
Renault	Zoe (ab Q1 2015)	☑	☒	☑	☑
Volkswagen	eUp	☑	☒	☒	☒
Jaguar	I-Pace (bis 2019)	☑	☑	☒	☒
Tesla	Model 3	☑	☒	☑	☒
Volkswagen	ID3 / ID 4	☑	☒	☑	☒

Tabelle 3: Auflistung ausgewählter Elektrofahrzeuge mit der jeweiligen Leistungsklasse des OBCs für ein AC-Ladevorgang aus dem deutschen Stromnetz [10,30,59,62,68]

3 Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur in D

Im folgenden Kapitel soll ein Einblick in den aktuellen Bestand an Elektrofahrzeugen in Deutschland gegeben werden. Neben dem Aufzeigen des aktuellen Bestands in Deutschland erfolgt eine Herleitung des hypothetischen Bestands an Elektrofahrzeugen im Beispielquartier. Abschließend wird ein Ausblick auf das Jahr 2030 in Bezug auf den Bestand an Elektrofahrzeugen in Deutschland und im Beispielquartier gegeben. In den Abschnitten zum Thema Ladeinfrastruktur soll der Zusammenhang zwischen dem Elektrofahrzeug und der Ladeinfrastruktur verdeutlicht werden. Die Einführung in die Materie beginnt mit Definitionen und mit einer Unterteilung der Ladeinfrastruktur in Kategorien. Analog zu den Elektrofahrzeugen wird auch hier der aktuelle Bestand an Ladeinfrastruktur in Deutschland, dem Landkreis Saalfeld-Rudolstadt und der Stadt Bad Blankenburg analysiert und aufgezeigt.

3.1 Elektrofahrzeuge in Deutschland

Schaut man sich die Entwicklung der Neuzulassungen von rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen des letzten Jahrzehnts an, so lässt sich hieraus ein stetiges Wachstum erkennen. Im Jahr 2012 befuhren lediglich 4.541 BEVs Deutschlands Straßen. Was einem Anteil von 0,01 % am gesamten PKW-Bestand ausmachte. Im Jahr 2013 belief sich die Anzahl an BEVs in Deutschland bereits auf 7.114 Stück. [40] Zum damaligen Zeitpunkt entsprach dies einer Wachstumsrate (2012 auf 2013) von 57 %.

Betrachtet man die Neuzulassungen der letzten zwei Jahre (2021 und 2022), so beträgt die Wachstumsrate bereits 100 %. Damit hat sich der Anteil an BEVs am gesamten PKW-Bestand in Deutschland auf 1,3 % erhöht. Mit aktuellem Stand zum Oktober 2022 sind insgesamt 840.645 BEVs in Deutschland zugelassen.

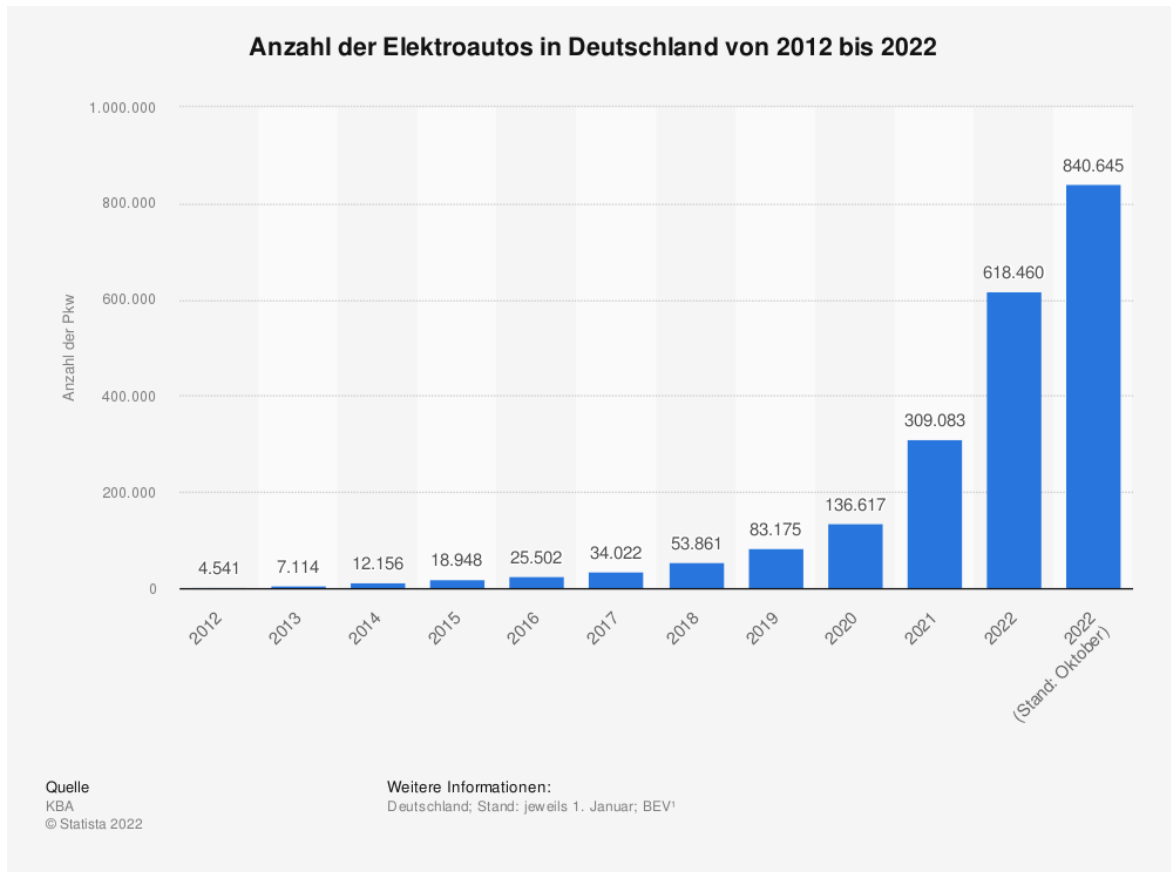


Abbildung 19: Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2012 bis 2022, Stand Oktober 2022 [38]

3.1.1 Hypothetischer Bestand an Elektrofahrzeugen im Beispielquartier

Damit im weiteren Verlauf der Arbeit ein Zielszenario für den Ausbau von Ladeinfrastruktur, im speziellen der Ladepunktzahl, für das Jahr 2030 ermittelt werden kann, wird vorerst der aktuelle hypothetische Bestand an Elektrofahrzeugen im Beispielquartier ermittelt.

Als Ausgangspunkt für die Ermittlung des aktuellen hypothetischen Bestands im Beispielquartier dient zum einen die Auswertung des Kraftfahrtbundesamtes zum Bestand an PKW nach Zulassungsbezirken, Kraftstoffarten und Emissionsgruppen im Landkreis Saalfeld-Rudolstadt und zum anderen die gegenwärtige Anzahl der Einwohner im Landkreis.

Die Auswertung des Kraftfahrtbundesamtes ergab für den Landkreis Saalfeld-Rudolstadt, mit Stand zum 01. Januar 2022, einen Bestand von insgesamt 60.360 PKWs. Davon beträgt der Anteil an PHEV 369 Stück und an BEV 317 Stück. [41] Dies entspricht einem Verhältnis

von PHEV zu BEV von ungefähr 1:1. Daraus ergibt sich für den Landkreis Saalfeld-Rudolstadt ein Gesamtbestand von 686 Elektrofahrzeugen. Nachfolgend werden ausschließlich die BEVs berücksichtigt.

Die Einwohneranzahl des Landkreises Saalfeld-Rudolstadt beläuft sich zum Jahresende 2021 auf eine Anzahl von 100.969 Einwohnern. [64] Ausgehend von 317 BEVs im Bestand und der Anzahl von 100.969 Einwohnern im Landkreis ergibt sich für den Landkreis Saalfeld-Rudolstadt ein Quotient von 0,003 BEV pro Einwohner.

Die Stadt Bad Blankenburg verfügt momentan über 6.075 Einwohner. [63] Legt man den errechneten Quotienten von 0,003 BEV pro Einwohner zu Grunde, so ergibt sich für die Stadt Bad Blankenburg ein hypothetischer Bestand von 18 BEVs im Jahr 2022.

Für das Beispielquartier errechnet sich unter Anwendung des Quotienten 0,003 BEV pro Einwohner und einer Anwohnerzahl von 2.678 (vgl. Abschnitt 4.1) ein hypothetischer Bestand von 8 BEVs (Stand Januar 2022).

Somit ist die Herleitung des hypothetischen Bestands an BEVs im Beispielquartier zum gegenwärtigen Zeitpunkt aufgezeigt. Bevor auf die benötigte Ladeinfrastruktur der BEVs im Wohnquartier eingegangen wird, erfolgt die Definition des Begriffs Ladeinfrastruktur.

3.2 Definitionen Ladeinfrastruktur (LIS)

Die folgenden Definitionen zur Ladeinfrastruktur erfolgen in Anlehnung an [13,42,43;53].

In der Literatur wird der Begriff Ladeinfrastruktur in zwei Kategorien unterteilt. Es wird zwischen der technischen Kategorie, welche sich auf die zur Verfügung stehende Ladeleistung beim Ladevorgang bezieht und einer Kategorie der Zugänglichkeit zum Ladepunkt beim Ladevorgang unterschieden.

In der technischen Kategorie erfolgt eine weitere Unterteilung des Begriffs Ladepunkt in die Begriffe Normalladepunkt und Schnellladepunkt. In der Praxis wird dies auch gerne als Normalladen und Schnellladen bezeichnet.

Laut Ladesäulenverordnung § 2 Nr. 2, 3 und 4 werden die Begriffe Ladepunkt, Normalladepunkt und Schnellladepunkt wie folgt definiert:

Ein **Ladepunkt (LP)** ist eine Einrichtung, bei der nur ein Elektrofahrzeug gleichzeitig auf- bzw. entladen werden kann.

Ein **Normalladepunkt** ist ein Ladepunkt, bei dem eine Ladeleistung von max. 22 kW an ein Elektrofahrzeug übertragen werden kann.

Ein **Schnellladepunkt** ist ein Ladepunkt, an dem eine Ladeleistung von mehr als 22 kW an ein Elektrofahrzeug übertragen werden kann.

Bei der Kategorie der Zugänglichkeit zu den Ladepunkten wird zwischen privater Ladeinfrastruktur, halb-öffentlicher Ladeinfrastruktur und öffentlicher Ladeinfrastruktur unterschieden.

Private Ladeinfrastruktur

Als private Ladeinfrastruktur ist eine ausschließlich privat genutzte Ladetechnik definiert. Zum Einsatz kommen hierbei meistens Wallboxen, welche direkt mit der Elektroinstallation des Gebäudes verbunden sind. Der Ladevorgang lässt sich bei privater LIS relativ einfach starten und durchführen, da hier i.d.R. keine Autorisierung und keine Abrechnung am Ladepunkt stattfindet. Ausnahmen stellen sog. Dienstwagenladeboxen dar, welche das Laden des Dienstwagens als auch das Laden des privaten Fahrzeugs über unterschiedliche Autorisierungen ermöglichen. Private LIS findet sich vor allem im ländlichen Raum und in den Vororten von Großstädten wieder, da hier der überwiegende Teil der Bevölkerung über ein Eigenheim mit eigenem PKW-Stellplatz verfügt. Anders verhält es sich in städtischen Quartieren, wo die wenigsten Bewohner über einen eigenen Parkplatz verfügen.

Halb-öffentliche Ladeinfrastruktur

Unter halb-öffentlicher LIS versteht man Ladepunkte, welche sich auf privaten Grundstücken befinden. Im Gegensatz zur privaten LIS sind diese auch für die Öffentlichkeit zugänglich. Als Beispiel wären hier Kundenparkplätze vor Supermärkten oder Ladepunkte auf Hotelparkplätzen, welche ausschließlich dem Hotelgast zur Verfügung gestellt werden, zu nennen.

Öffentliche Ladeinfrastruktur

Von öffentlicher Ladeinfrastruktur wird gesprochen, wenn sich die Ladepunkte im öffentlichen Straßenraum, wie etwa kommunalen Parkflächen, befinden. Folglich ist der Zugang zur LIS für jedermann gegeben. Bei der Errichtung von öffentlicher LIS handelt es sich nicht um bauliche Anlagen, welche dem Bauplanungsrecht unterliegen, sondern sie dienen der Sicherheit und Leichtigkeit im Verkehr und zählen daher als Zubehör im Sinne des Straßenrechts. Damit unterliegt die Errichtung öffentlicher LIS den straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften. [17]

Des Weiteren beinhalten die Begriffe LIS und Ladehub die Gesamtheit einer oder mehrerer Ladepunkte. Das bedeutet, dass neben dem Ladepunkt auch die zugehörigen Ladesäulen inkl. Zubehör, Kabelanlagen, Trafostationen und sonstige technische Nebeneinrichtungen inbegriffen sind.

Die Begriffe LIS und Ladehub werden im nachfolgenden Text synonym verwendet.

3.3 Ladeinfrastruktur in Deutschland

Mit dem Ziel der Bundesregierung, die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor bis zum Jahr 2030 um 48 % gegenüber dem Jahr 1990 zu reduzieren, wurde der Masterplan Ladeinfrastruktur II verabschiedet. Der Masterplan Ladeinfrastruktur II hat zum Ziel, dass sich das Laden eines Elektrofahrzeuges in Zukunft genauso einfach darstellt, wie das heutige Tanken eines herkömmlichen Fahrzeugs. [18] Um das gesetzte Ziel zu erreichen, sollen daraufhin bis zum Jahr 2030 eine Million öffentlich zugängliche Ladepunkte in Deutschland zur Verfügung gestellt werden. [76]

Mit Stand zum 01. Oktober 2022 verfügen wir in Deutschland über 70.751 öffentlich zugängliche Ladepunkte. Davon beträgt die Anzahl der Normalladepunkte 59.228 und die Anzahl der Schnellladepunkte 11.523 (Abb. 20). Bei den Normalladepunkten entspricht dies einem Zuwachs von 30 % und bei den Schnellladepunkten einem Zuwachs von 46 % gegenüber dem Vorjahr. Insgesamt beträgt der Zuwachs an öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur somit 32 %. [21]

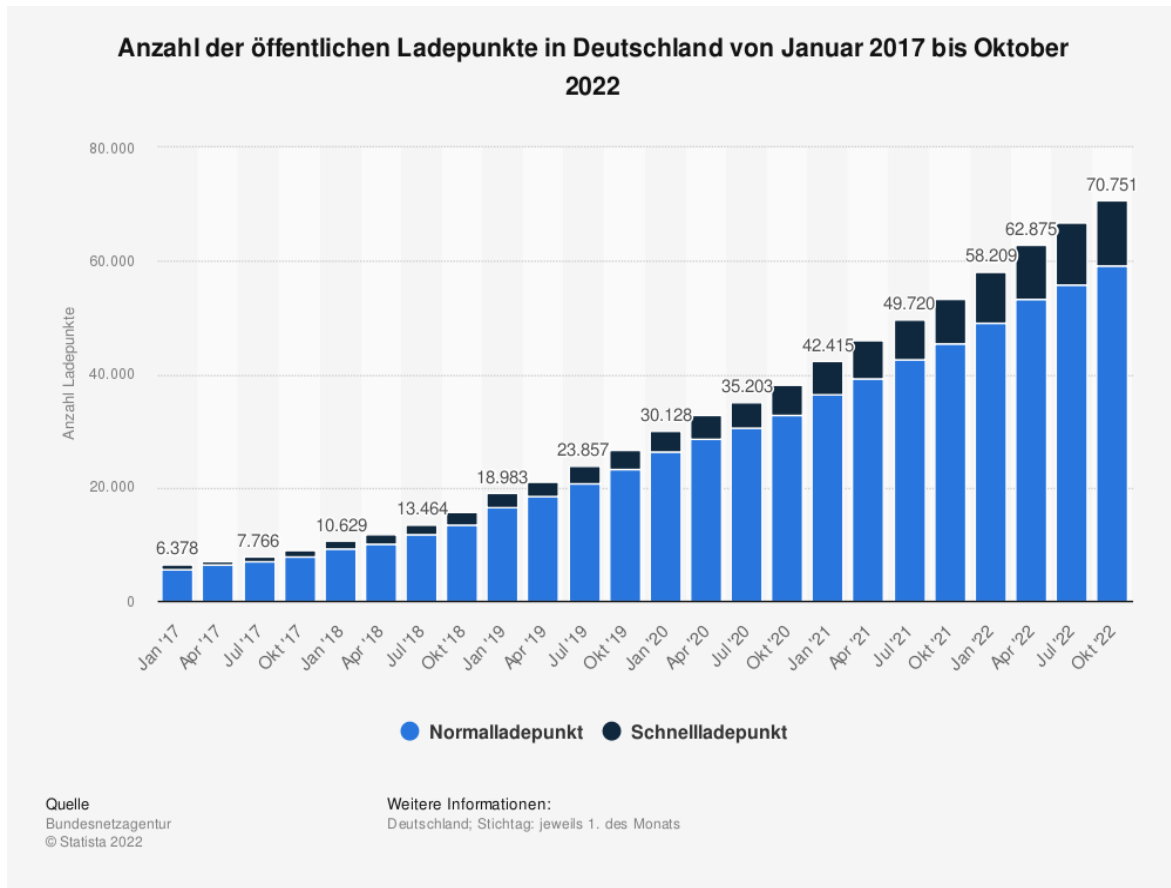


Abbildung 20: Anzahl der öffentlichen Ladepunkte in Deutschland von Januar 2017 bis Oktober 2022 [20]

Von den oben genannten 70.751 öffentlich zugänglichen LPs befinden sich derzeit 63 Stück – davon sind 47 Stück Normalladepunkte und 16 Stück Schnellladepunkte - im Landkreis Saalfeld-Rudolstadt. [21] Lediglich 4 Stück von den 47 Normalladepunkten befinden sich in der Stadt Bad Blankenburg. Errichtet wurden diese 4 LPs von der TEAG Thüringer Energie AG (Anlage A).

3.4 Ausblick auf das Jahr 2030 in D und im Beispielquartier

Im Koalitionsvertrag 2021-2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), Bündnis 90 / Die Grünen und den Freien Demokraten (FDP) wurden auf Seite 22 die Leitziele zur Transformation der Automobilindustrie formuliert. Als wesentliches Ziel für das Jahr 2030 wurde ein Bestand von mindestens 15 Millionen BEVs ausgegeben. Damit dieses Ziel erreicht wird, soll der Ausbau von LIS vorangetrieben, weitere Förderungen für

Elektrofahrzeuge auf den Weg gebracht sowie die Ansiedlung weiterer Batterieproduktionsstandorte in Deutschland ermöglicht werden. [54] Als vorangehendes Beispiel für die Ansiedlung eines Batterieherstellers in Deutschland wäre hier das Unternehmen CATL zu nennen, welches im Jahr 2019 mit dem Ausbau eines Produktionsstandortes im Gewerbegebiet Erfurter Kreuz begann. [24]



Abbildung 21: Vogelperspektive CATL-Werk im Gewerbegebiet Erfurter Kreuz [45]

Um das Ziel von mindestens 15 Millionen zugelassenen BEVs bis 2030 zu erreichen, bedarf es einer jährlichen Wachstumsrate von ca. 50 %, ausgehend vom Bestand an BEVs zum Januar 2022 (Abb. 22).

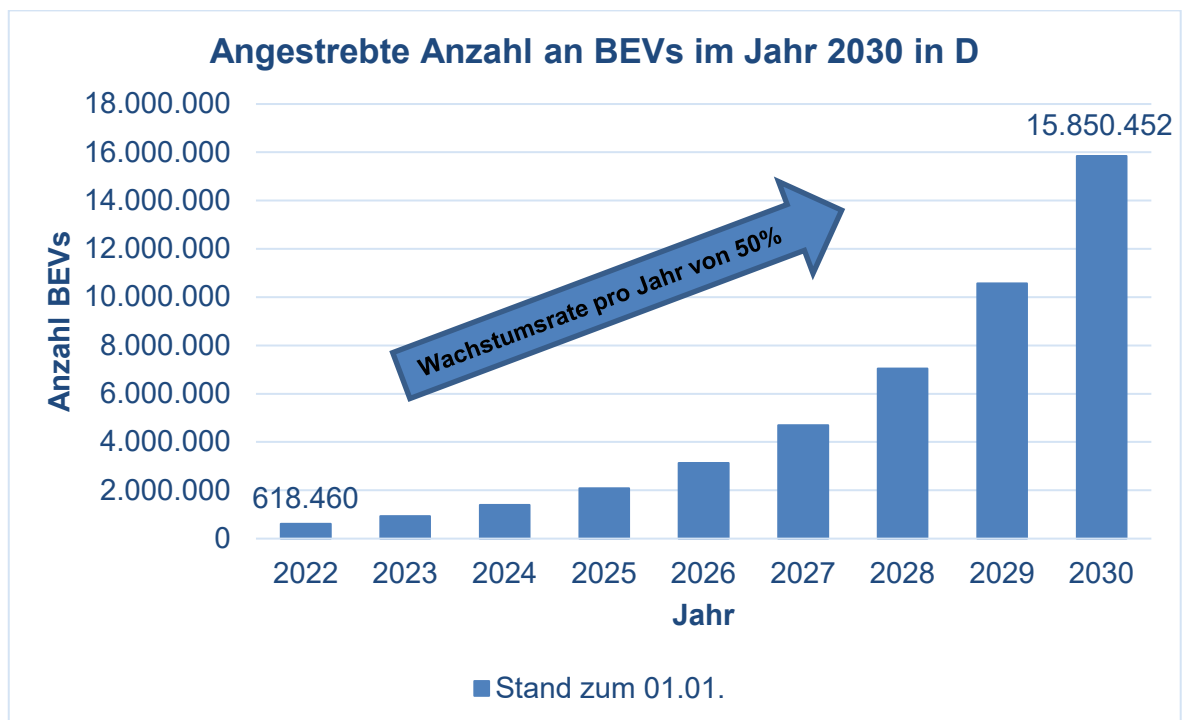


Abbildung 22: Angestrebte Anzahl an BEVs im Jahr 2030 in D

Wird diese jährliche Wachstumsrate von 50 % auf das Beispielquartier projiziert, so ergibt sich für das Jahr 2030 ein hypothetischer Bestand von 205 BEVs im Quartier.

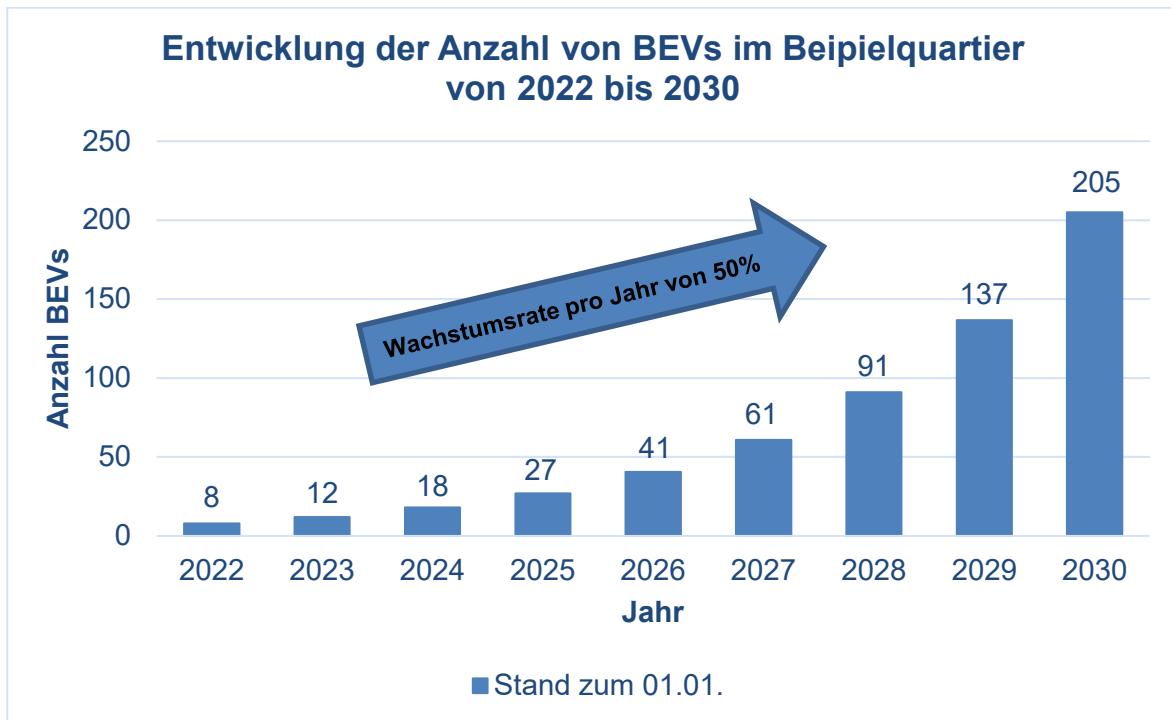


Abbildung 23: Entwicklung der Anzahl von BEVs im Beispielquartier von 2022 bis 2030

Ob das Ziel von mindestens 15 Millionen BEVs im Jahr 2030 realistisch ist, bleibt abzuwarten, da die Wachstumsrate nicht nur von staatlichen Subventionen abhängt, sondern auch von anderen wesentlichen Faktoren. Ein wichtiger Faktor, der zu erwähnen wäre, ist die Verfügbarkeit von Rohstoffen. Gerade Letzteres führt nach der Pandemie und der sog. „Zeitenwende“ zu Wartezeiten für ein Neufahrzeug von gut und gerne 20 Monaten.

Nachdem in diesem Abschnitt ein Ausblick auf den Bestand an BEVs in Deutschland und im Beispielquartier für das Jahr 2030 erfolgte, wird darauf aufbauend im folgenden Kapitel die Konzeptionierung der Ladeinfrastruktur im Beispielquartier durchgeführt.

4 Ladeinfrastruktur im Beispielquartier

Bevor es in diesem Kapitel um die Herleitung der benötigten gegenwärtigen sowie der benötigten Anzahl an LPs im Jahr 2030 geht, wird im ersten Schritt das Wohnquartier näher vorgestellt. Nach abschließender Festlegung der benötigten Anzahl an LPs, erfolgt die Konzeptionierung der LIS im Wohnquartier. Das Konzept beinhaltet hierbei die Auswahl geeigneter Standorte für die Errichtung der Ladehubs, die Planung und Kostenkalkulation für die einzelnen Standorte bis hin zur Strombeschaffung und zur Gestaltung des Endkundenpreises.

4.1 Das Beispielquartier

Das gewählte Quartier, welches als Beispiel für die Auslegung von LIS in Wohnquartieren dienen soll, befindet sich in der Stadt Bad Blankenburg im Landkreis Saalfeld-Rudolstadt des Freistaates Thüringen. Die Stadt Bad Blankenburg befindet sich rund 50 km südlich von Erfurt am Nordrand des Thüringer Waldes und gehört, durch seine Thermal- und Mineralquelle, zu den Kur- und Erholungsorten in Deutschland. Mit seinen 8 Ortsteilen und insgesamt 6.075 Einwohnern blickt die Stadt Bad Blankenburg auf eine 750-jährige Geschichte zurück. [55] Das Beispielquartier mit einer Grundfläche von ca. 0,16 km² [31] befindet sich im südwestlichen Teil der Stadt Bad Blankenburg und hat seinen Ursprung in den 1950er-Jahren. In diesem Jahrzehnt wurden Wohnungen in dieser Region dringend benötigt, da die Wismut AG den Uranabbau in Dittrichshütte aufnahm und ca. 15.000 Arbeiter in den umliegenden Städten und Dörfern untergebracht werden mussten. Um den Bedarf an Wohneinheiten gerecht zu werden, baute man infolge dessen Häuser mit mehreren separaten Eingängen und Etagen. So standen den Arbeitern der Wismut AG bereits zum Jahr 1953 Mehrfamilienhäuser mit größtenteils 3 oder 4 Geschossen und insgesamt 800 Wohnungen zur Verfügung. [74]. Heute gehört das Quartier zur „WBG Wohnungsbaugesellschaft Bad Blankenburg GmbH“ und weist einen Bestand von 1.339 Wohnungen auf (vgl. Anlage B).

Eine Erhebung des Statistischen Bundesamtes zur durchschnittlichen Anzahl der Haushaltsmitglieder in Deutschland, ergab für das Jahr 2021 eine durchschnittliche Personenanzahl von 2,02 pro Haushalt (vgl. Anlage C).

Unter der Annahme, dass es sich bei den 1.339 Wohneinheiten um 1.339 Haushalte handelt, lässt sich, unter Berücksichtigung der Erhebung durch das Statistische Bundesamt, eine Anzahl von 2.678 Bewohnern für das Quartier ermitteln. Was ungefähr der Hälfte der Gesamtbevölkerung der Stadt Bad Blankenburg und deren Ortsteile entspricht (vgl. Anlage B)

Neben der Vielzahl von Gebäuden mit insgesamt 1.339 Wohneinheiten (Haushalten) befinden sich insgesamt 640 PKW-Stellplätze im Bereich des Quartiers (Stand Mai 2020). Diese teilen sich in 252 Stellplätze/Carports, die vermietet werden können oder bereits vermietet sind sowie in 262 Stellplätze, die sich am Straßenrand und in Parkbuchten befinden und 126 Stellplätze, die als freie Parkflächen im Wohnquartier zur Verfügung stehen (vgl. Anlage D) auf.

Bevor es im nächsten Abschnitt mit der Auslegung der benötigten Anzahl von LPs für das Wohnquartier weitergeht, werden die wichtigsten Eckdaten aus dem Kapitel 3 und diesem Kapitel nochmal zusammengefasst.

Landkreis Saalfeld-Rudolstadt:

Einwohnerzahl:	100.969
Haushalte:	49.985
Gesamtbestand an PKW	60.360
Elektrofahrzeuge (BEV):	317
Quotient:	0,003 BEV pro Einwohner

Bad Blankenburg:

Einwohnerzahl:	6.075
Haushalte:	3.007
Elektrofahrzeuge (BEV):	18

Wohnquartier:

Anzahl Bewohner:	2.678
------------------	-------

Haushalte:	1.339
Elektrofahrzeuge:	8
Stellplätze für PKW:	640

4.2 Herleitung der benötigten Anzahl von Ladepunkten im Wohnquartier

Um die aktuell benötigte Anzahl von LPs für das Wohnquartier zu ermitteln, wird als Ausgangspunkt die durchschnittliche Jahresfahrleistung eines PKWs mit sonstigem Antrieb nach Kraftfahrtbundesamt und dem durchschnittlichen Verbrauch eines serienmäßigen BEVs pro 100 km herangezogen. [39] Als durchschnittlicher Verbrauch wird in dieser Arbeit der ADAC Messwert eines VW ID.3 Pro Performance (58 kWh (Netto)) 1st Max als Grundlage für alle weiteren Berechnungen angenommen. Der vom ADAC durchgeführte Test ergab für den VW ID 3 einen durchschnittlichen Verbrauch von 19,3 kWh auf 100 km [5]. Aus dem durchschnittlichen Verbrauch von 19,3 kWh/100 km und einer Nettokapazität des Akkus von 58 kWh ergibt sich für den VW ID 3 eine max. Reichweite von 300 km bei vollem Akku. Die durchschnittliche Jahresfahrleistung eines PKW mit sonstigem Antrieb im Jahr 2020 liegt bei 14.951 km/a. [39] Dies entspricht einer täglichen Fahrstrecke von ca. 41 km.

In der gängigen Praxis wird der Tank eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor bzw. der Akku eines BEVs niemals komplett leer gefahren. Man behält immer eine gewisse Reserve an Benzin oder Diesel im Tank bzw. Strom im Akku. Im Gegensatz zu Tankstellen für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ist die LIS für BEVs noch nicht so flächendeckend ausgebaut, daher kann man davon ausgehen, dass die Reserve beim BEV etwas größer gehalten wird. Für ein BEV wird als Reserve eine Akkukapazität von 25 % angenommen. Diese Reserve entspricht beim VW ID 3 einer Fahrstrecke von ca. 75 km. Es verbleiben somit 225 km Restreichweite für die täglichen Fahrstrecken. Bei einer täglichen Fahrstrecke von ca. 41 km reicht es aus, wenn das BEV spätestens am 6 Tag an einem LP wieder auf 100% Akkukapazität aufgeladen wird. Daraus kann für die Konzeptionierung der öffentlichen LIS im Wohnquartier abgeleitet werden, dass sich 6 BEVs einen LP teilen können.

Im Wohnquartier mit einem aktuellen hypothetischen Bestand von 8 BEVs würden 2 LPs den momentanen Bedarf an LIS abdecken. Diese wären ebenfalls für das Jahr 2023 ausreichend, da sich der Bestand in dem Jahr lediglich von 8 auf 12 BEVs erhöhen würde.

Mit Blick auf das Jahr 2030 sind zur Deckung des Bedarfs an LIS mindestens 34 LPs im Wohnquartier notwendig.

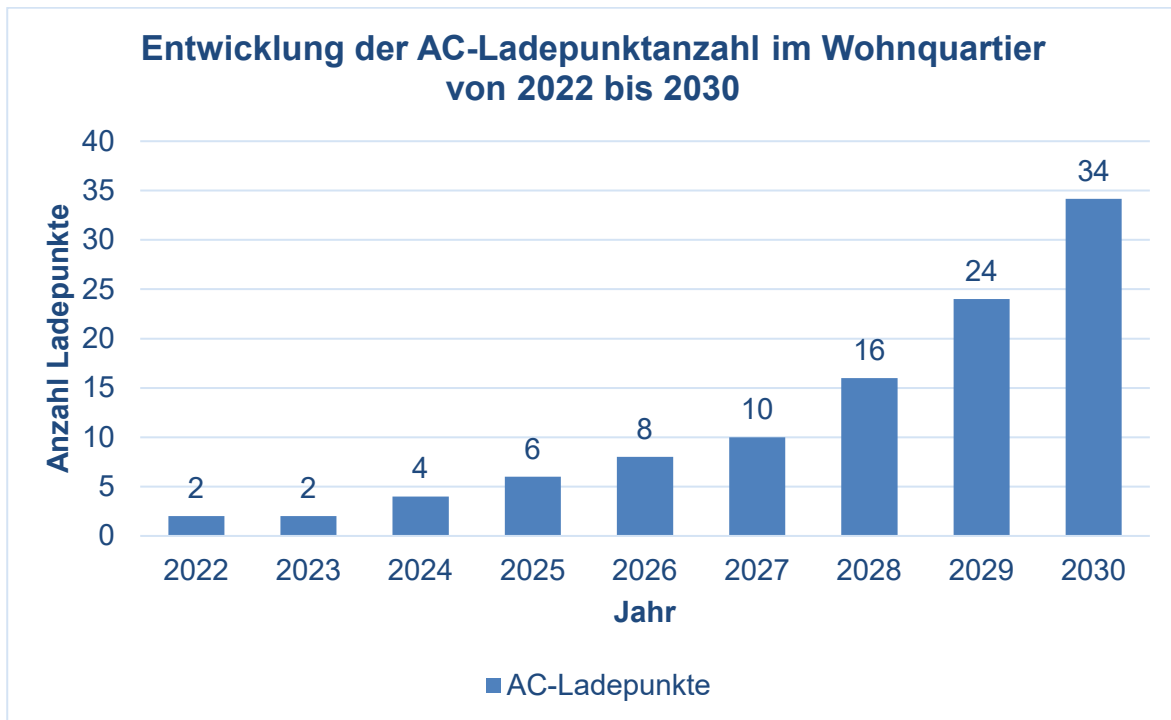


Abbildung 24: Entwicklung der Ladepunktzahl im Wohnquartier von 2022 bis 2030

4.3 Konzeption der Ladeinfrastruktur im Wohnquartier

Die LIS soll vorrangig den Bewohnern des Wohnquartiers zum Laden Ihrer BEVs zur Verfügung gestellt werden. Es wird daher die Annahme getroffen, dass die BEVs im Wohnquartier kein Publikumsverkehr sind, sondern die Parkplätze im Bereich des Wohnquartiers durch die Anwohner genutzt werden. Diese Parkzeit, welche i.d.R. 8 bis 10 Stunden andauernd, soll unterdessen zum Laden der Fahrzeuge genutzt werden. Basierend auf dieser Annahme ist es ausreichend Normalladepunkte für die Planung der LIS im Wohnquartier vorzusehen. Die Auswahl der Ladestandorte, die Anzahl der LPs sowie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen erfolgen mit Hinblick auf das Jahr 2030, indem mindestens 34 LPs im Quartier benötigt werden.

4.3.1 Auswahl der Standorte zur Errichtung von Ladehubs

Wie im Abschnitt 4.1 bereits erwähnt, verfügt das Wohnquartier über 640 Stellplätze für PKWs. Davon stehen 126 Stellplätze auf Parkplätzen und 262 Stellplätze am Straßenrand und in Parkbuchten zur freien Verfügung für die Öffentlichkeit. Die restlichen Stellplätze sind an Anwohner vermietet und werden daher, genau wie die Stellflächen entlang des Straßenrandes, nicht für die Bebauung mit LIS vorgesehen. Der Anlage D ist zu entnehmen, dass sich der überwiegende Teil der frei zur Verfügung stehende Parkplätze im nördlichen Teil des Quartiers befinden. Lediglich 16 frei zur Verfügung stehende Parkflächen befinden sich im südlichen Teil des Quartiers. Eine angemessene Verteilung der Ladehubs über das gesamte Quartier ist daher nicht möglich.

Standort A

Ein geeigneter Standort für die Errichtung eines Ladehubs liegt im Bereich des Parkplatzes in der Nähe der Transformatorstation. (Abb. 25).

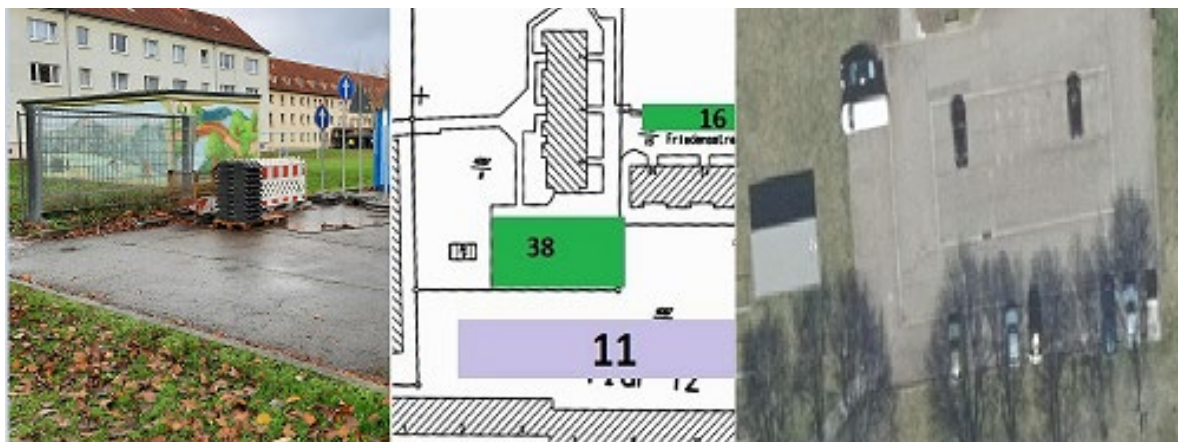


Abbildung 25: Standort A: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020 (Anlage D); rechts: Luftbild vom Standort A [31]

Der Standort bietet sich für die Errichtung von LIS aus mehreren Gründen an. Ein Grund liegt in seiner zentralen Lage im nördlichen Bereich des Quartiers, ein weiterer Grund sind die meisten zur Verfügung stehenden Parkflächen (38 Stellplätze). Ein weiterer Vorteil des Standortes ist die Nähe zur Transformatorstation der TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG (TEN), welche eine direkte Anbindung des Ladehubs an das Stromnetz ermöglicht. Die Oberfläche des Parkplatzes besteht aus Bitumen und wird durch eine Bordsteinkante umfasst. Der Parkplatz wird von einer Rasenfläche umgeben, auf welcher sich auch die Transformatorstation befindet.

Standorte B und C

Die Standorte B und C befinden sich ebenfalls im nördlichen Bereich des Quartiers. Als Auswahlkriterium dient hier ebenfalls, wie bei Standort A, die Anzahl der zur Verfügung stehenden Parkflächen.



Abbildung 26: Standort B: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020 (Anlage D); rechts: Luftbild vom Standort B [31]

Der Standort B verfügt über 27 Stellplätze (Abb. 26) mit einer aus Pflaster bestehenden Oberfläche. Die Stellflächen schließen mit einer Bordsteinkante ab, hinter der sich ein ca. 1,5 m breiter Streifen aus Schotter befindet.

Der Standort C bietet 22 Parkplätze (Abb. 27) auf einer Oberfläche aus Bitumen (Annahme). Im Gegensatz zum Standort A haben beide Standorte keine Transformatorstation in ihrer unmittelbaren Nähe.

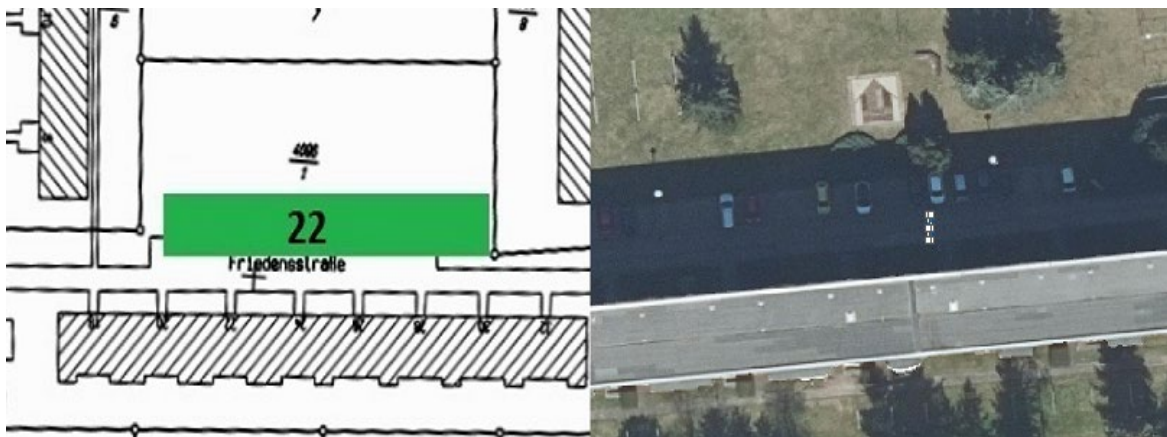


Abbildung 27: Standort C: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020 (Anlage D); rechts: Luftbild vom Standort C [31]

Standort D und E

Die Standorte D und E liegen links im östlichen und im westlichen Bereich des Wohnquartiers. Der Standort D mit östlicher Lage verfügt über 7 Stellflächen (Abb. 28) auf einer Oberfläche aus Bitumen (Annahme). Der Standort E (Abb. 29), am äußersten Westrand des Quartiers, bietet 4 Abstellplätze für PKW mit einer Oberfläche aus Pflaster (Annahme). Beide Parkplätze bieten nahezu die einzigen frei verfügbaren Parkflächen im südlichen Bereich des Quartiers und werden aus diesem Grund für die Errichtung von Ladehubs vorgesehen.

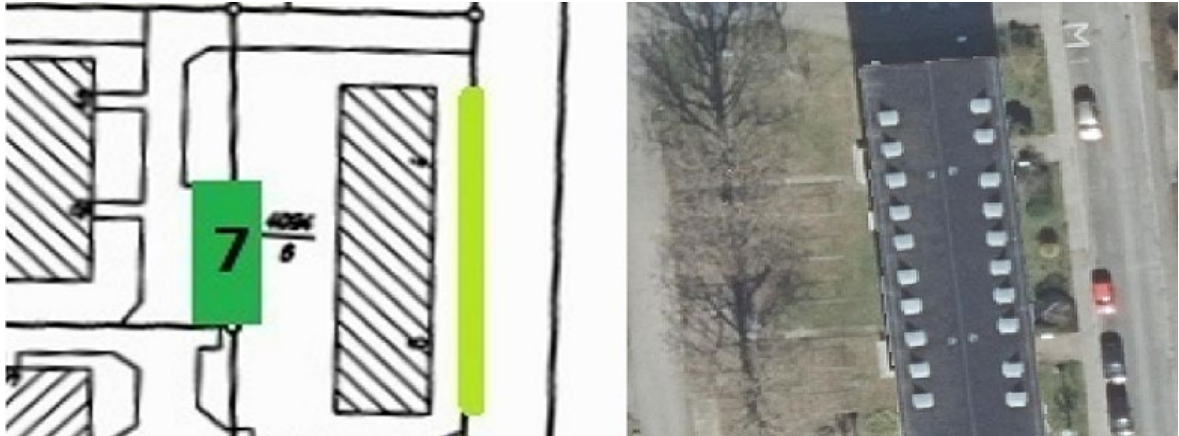


Abbildung 28: Standort D: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020 (Anlage D); rechts: Luftbild vom Standort D [31]

Wie bei den Standorten B und C befindet sich auch hier keine Transformatorstation in unmittelbarer Nähe.



Abbildung 29: Standort E: links: Auszug aus Plan Siedlung Stellplätze Mai 2020 (Anlage D); rechts: Luftbild vom Standort E [31]

In diesem Abschnitt wurden mögliche Standorte für die Errichtung von Ladehubs im Wohnquartier ausgewählt. In den folgenden Abschnitten erfolgt nun die Planung und Festlegung Anzahl von LPs für die einzelnen Standorte.

4.3.2 Ermittlung der Bezugsleistung für die Ladehubs

Bei der Planung der Anzahl von LPs für einen Standort mit öffentlicher LIS spielen aus wirtschaftlicher und technischer Sicht mehrere Faktoren eine wichtige Rolle. Neben der Anzahl der zur Verfügung stehenden Parkflächen, welche mit LPs ausgestattet werden können, stellt der Anschluss des Ladehubs an das Stromnetz des Netzbetreibers einen wichtigen Faktor dar. Das vorgelagerte Stromnetz und der Netzanschluss geben dabei vor, welche maximale Bezugsleistung dem Ladehub am jeweiligen Standort zur Verfügung gestellt werden kann. Je mehr Bezugsleistung durch das Stromnetz zur Verfügung gestellt werden muss, desto höher werden die Kosten für den Errichter der öffentlichen LIS. Die Aufgabe für den Planer der öffentlichen LIS muss daher darin bestehen, dass Maximum an LPs – bei minimalem Leistungsbedarf– zu realisieren.

4.3.2.1 Ermittlung des Leistungsbedarfs unter Berücksichtigung eines Gleichzeitigkeitsfaktors

Eine Möglichkeit den Leistungsbedarf für LIS zu ermitteln, kann unter der zur Hilfenahme des Gleichzeitigkeitsfaktors (GZF) erfolgen. Der GZF gibt an, wie viele elektrische Verbraucher in einem Stromkreis gleichzeitig mit voller Leistung betrieben werden. Er wird mit der Leistungssumme aller zu berücksichtigenden Verbraucher verrechnet und lässt dadurch eine Ermittlung der Bezugsleistung zu. [25] In der Abbildung 30 ist der anzusetzenden GZF nach VBEW für ein ungesteuertes Laden von mehreren Ladepunkten im privaten Raum abgebildet. Auf welcher Grundlage die Daten aus der Abbildung 30 basieren ist nicht bekannt. Die Daten beruhen wahrscheinlich auf Untersuchungswerte verschiedener Institutionen über das Nutzerverhalten von E-Fahrzeughaltern, aus denen anschließend ein jeweiliger GZF abgeleitet worden ist.

Ein Leistungsbedarf für LPs lässt sich unter Einbeziehung des GZF aus Abbildung 30, wie im Beispiel 1 dargestellt, ermitteln.

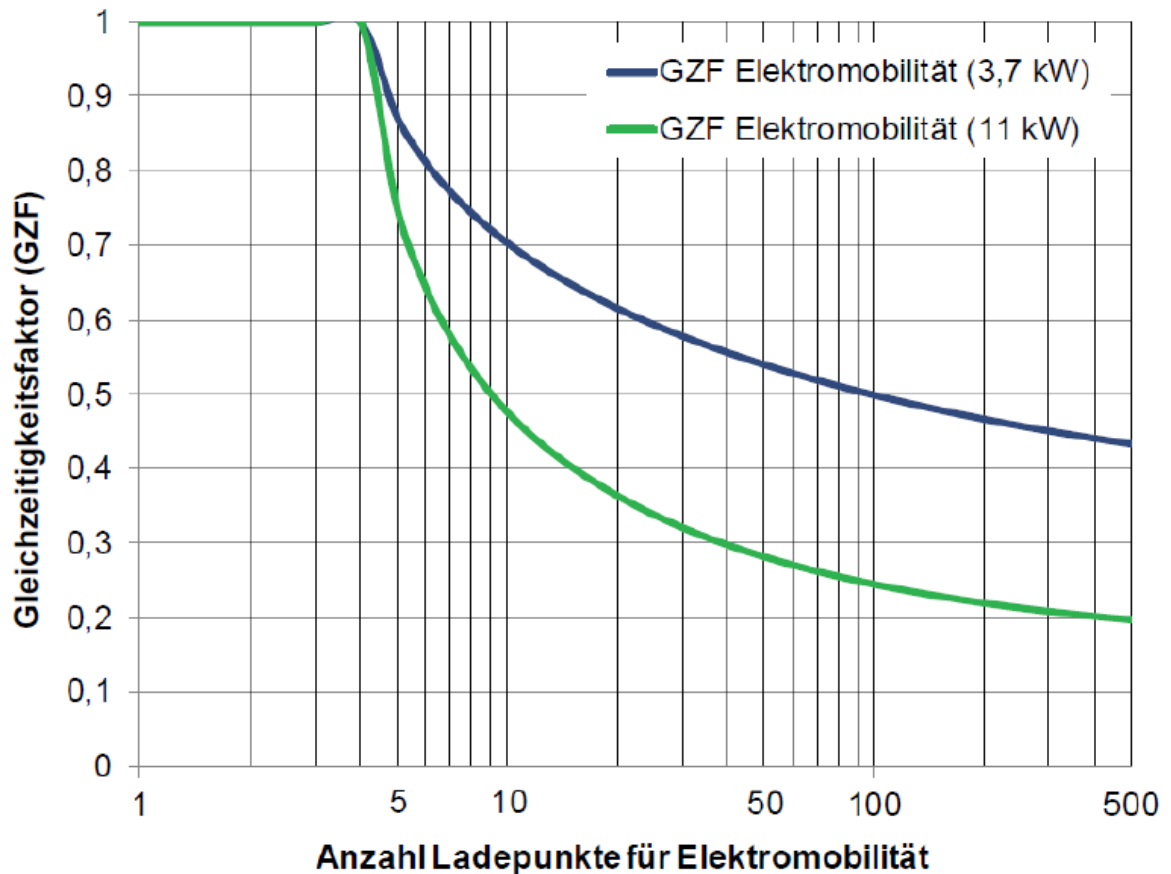


Abbildung 30: Gleichzeitigkeitsfaktor für mehrere Ladepunkte im privaten Raum (nicht öffentliches Laden) [65]

Beispiel 1:

Für 5 ungesteuerte LPs, mit einer Leistung (P_{LP}) von 11 kW/LP, ergibt sich nach Abb. 30 ein GZF von ungefähr 0,75. Verrechnet man diesen Wert mit der Leistung der einzelnen LPs, so ergibt sich für die gesamten 5 LPs ein Leistungsbedarf in Höhe von

$$P_{Bedarf} = \sum LP * P_{LP} * GZF \quad (\text{Gl.4.1})$$

$$P_{Bedarf} = 5 * 11 \text{ kW} * 0,75$$

$$P_{Bedarf} \approx 41 \text{ kW}.$$

Im Allgemeinen muss der GZF bei einem nicht haushaltsüblichem Lastverhalten, wie z.B. Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge, mit dem Faktor 1 angenommen werden. Der Grund hierfür ist, dass die Ladepunkte über einen längeren Zeitraum gleichzeitig mit ihrem Betriebsstrom als Dauerlast betrieben werden. [53, 46, 65, 66] Im Fall des Beispiels 1 würde sich der Leistungsbedarf der LPs, bei einem GZF von 1, auf 55 kW erhöhen. Eine

Ausnahme von dem GZF von 1 darf nur unter Einbeziehung eines Lastmanagements gemacht werden. [53,65]

Vollständigkeitshalber muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass sich in der Literatur [53] noch weitere Ausführungen zur Ermittlung des Leistungsbedarfs mit Gleichzeitigkeitsfaktoren finden lassen. Allerdings ist nicht klar beschrieben, welcher GZF für welchen Fall angenommen werden soll, wodurch ein klares Vorgehen zur Ermittlung des Leistungsbedarfes nicht erkennbar ist.

Die Nutzung der Gleichzeitigkeitsfaktoren ist zudem als Vorschlag zu verstehen und muss für jeden einzelnen Anwendungsfall sorgfältig auf Plausibilität geprüft werden. [65] Gerade bei öffentlicher LIS sollte der Leistungsbedarf der Ladepunkte eindeutig bestimmbar sein, damit eine zuverlässige Versorgung der LPs mit Strom sowie ein unterbrechungsfreier Ladevorgang zu jederzeit gewährleistet werden kann.

4.3.2.2 Ermittlung des Leistungsbedarfes unter Einsatz eines Lastmanagements

Eine weitere Möglichkeit den Leistungsbedarf zu ermitteln kann über ein Lastmanagement erfolgen. Das Lastmanagement ist i.d.R. als Zubehör bei den Herstellern der Ladetechnik erhältlich und wird als System bestehend aus Master- und Slave Box(en) oder über eine externe Steuereinheit realisiert. Es wird grundsätzlich zwischen zwei Arten von Lastmanagement unterschieden [6]:

- Dynamisches Lastmanagement/Externes Lastmanagement
- Lokales oder statisches Lastmanagement

Dynamisches Lastmanagement

Das dynamische Lastmanagement kommt zum Einsatz, wenn mehrere Verbraucher am selben Netzverknüpfungspunkt angeschlossen sind wie die LIS und es dadurch zeitweise zu hohen Stromverbräuchen und Lastspitzen kommen kann. Es erkennt auftretende Lastspitzen und wirkt diesen mit einer Reduzierung der Ladeleistung an den LPs entgegen. Das Erfassen von auftretenden Lastspitzen erfolgt über eine zentrale Steuereinheit, welche den Stromfluss mittels Stromwandler direkt am Netzanschlusspunkt misst. Die Kommunikation zur Regelung und Steuerung der einzelnen LPs erfolgt über ein Bussystem zwischen der externen Steuereinheit und den einzelnen LPs. [37]

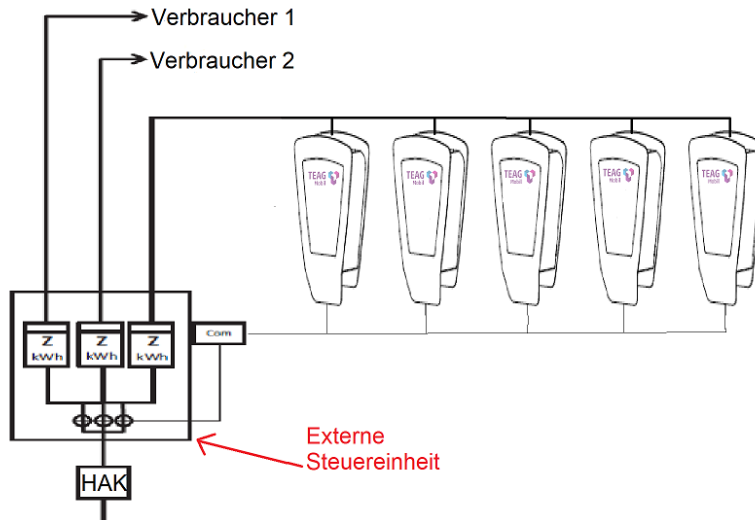


Abbildung 31: dynamisches Lastmanagement; eigene Darstellung in Anlehnung an [6]

Lokales oder statisches Lastmanagement

Beim lokalen Lastmanagement kann der maximal zur Verfügung stehende Gesamtstrom gleichmäßig auf die LPs des Master-Slave-Systems aufgeteilt werden. Die Master-Box übernimmt dabei die Verteilung des Stroms auf die einzelnen Slave-Boxen bzw. LPs. Damit ein Ladevorgang gestartet und unterbrechungsfrei durchgeführt werden kann, muss gewährleistet sein, dass jedem LP ein Strom von 6 A zur Verfügung gestellt wird (vgl. Anlage E). Die Kommunikation zwischen der Master-Box und der/den Slave-Box(en) wird über eine entsprechende Datenleitung, wie z.B. eine CAT 7-Datenleitung, sichergestellt.

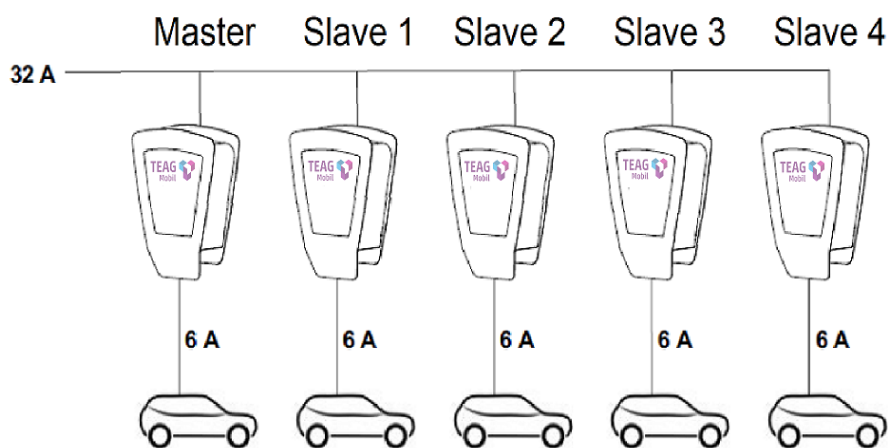


Abbildung 32: Master-Slave-System mit einer Gesamtstromstärke von 32 A; eigene Darstellung in Anlehnung an [6]

In der Abbildung 32 ist ein Beispiel mit 5 gleichzeitig ladenden BEVs dargestellt. Dem Master-Slave-System mit 5 LPs steht ein Gesamtstrom von 32 A zur Verfügung. Diesen Gesamtstrom teilt die Master-Box gleichmäßig auf alle 5 LPs auf, sodass sich ein Strom pro LP von ca. 6 A ergibt. Dadurch können alle 5 Ladevorgänge gleichzeitig gestartet und unterbrechungsfrei durchgeführt werden. Geht man von dem Beispiel aus, dass nur 2 Fahrzeuge an den LPs laden, teilen sich die 32 A gleichmäßig auf und jedem Fahrzeug steht eine Ladeleistung von 11 kW zur Verfügung.

Ermittlung des Leistungsbedarfes unter Einsatz eines lokalen Lastmanagements

Durch die Verwendung eines lokalen Lastmanagements ist die Möglichkeit gegeben, den Betriebsstrom der einzelnen, untereinander verbundenen LPs zu beeinflussen bzw. zu steuern. Unter der Maßgabe, dass für einen zuverlässigen und unterbrechungsfreien Ladevorgang ein Betriebsstrom von 6 A (I_{min}) ausreichend ist, lässt sich der Leistungsbedarf über den Gesamtbetriebsstrom ($I_{G min}$) der LIS, wie im Beispiel 2 dargestellt, ermitteln.

Beispiel 2:

Für 5 LPs ergibt sich bei einem GZF von 1, ein Gesamtbetriebsstrom ($I_{G min}$) der LIS von

$$I_{G min} = \sum_{i=1}^n LP * I_{min} * GZF \quad (\text{Gl. 4.2})$$

$$I_{G min} = 5 * 6 A * 1$$

$$I_{G min} = 30 A.$$

Aus dem Gesamtbetriebsstrom lässt sich im Drehstromnetz der Leistungsbedarf für die LIS wie folgt ermitteln:

$$P_{Bedarf min} = I_{G min} * \sqrt{3} * U * \cos\varphi \quad (\text{Gl. 4.3})$$

mit $U = 400 V$ und $\cos\varphi = 1$

$$P_{\text{Bedarf min}} = 30A * \sqrt{3} * 400V * 1$$

$$P_{\text{Bedarf min}} = 20,785 \text{ kW.}$$

Demzufolge genügen den 5 LPs eine Bezugsleistung in Höhe von 20,785 kW aus, um eine zuverlässige und unterbrechungsfreie Versorgung der Ladepunkte beim Ladevorgang zu gewährleisten.

Die Maßnahme, den Betriebsstrom durch ein lokales Lastmanagement auf 6 A pro Phase und LP zu reduzieren, ermöglicht es dem Errichter, die maximale Anzahl von LPs - bei minimalem Leistungsbedarf - zu realisieren. Aus dieser Erkenntnis ergibt sich das in der Abbildung 33 dargestellte Diagramm, in welchem der Gesamtbetriebsstrom und der Leistungsbedarf in Abhängigkeit der Anzahl der AC-Ladepunkte abgebildet ist. Das Diagramm wird als weitere Grundlage zur Ermittlung des Gesamtbetriebsstroms und des Leistungsbedarfes von öffentlich zugänglicher LIS in dieser Arbeit verwendet.

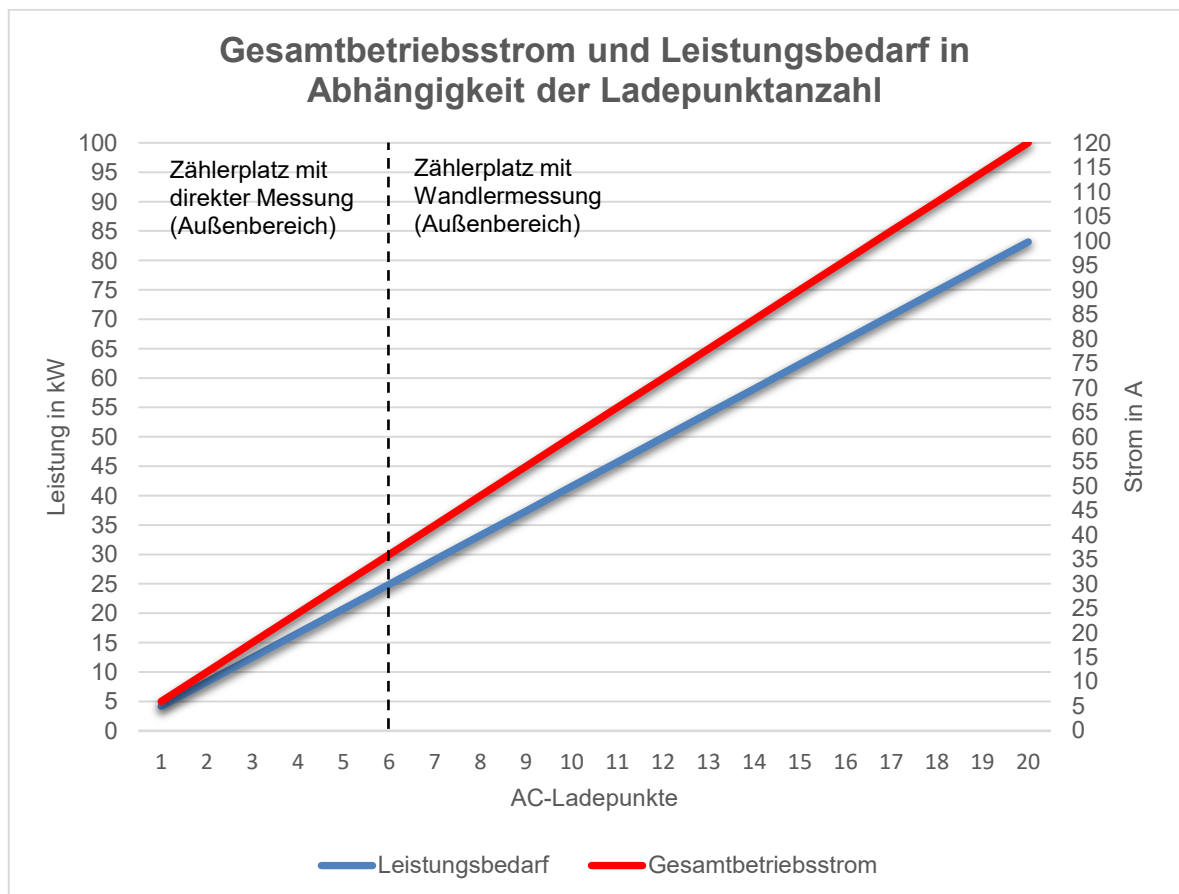


Abbildung 33: Diagramm zur Ermittlung des Gesamtbetriebsstroms und des Leistungsbedarfes in Abhängigkeit der Anzahl der AC-Ladepunkte und unter Verwendung eines lokalen Lastmanagementsystems (GZF = 1)

4.3.3 Planung und Kostenkalkulation für die einzelnen Standorte

Für die Anbindung der Ladehubs an das Stromnetz (Niederspannungsnetz) muss für jeden Standort ein separater Netzanschluss³ durch die TEN bereitgestellt werden. Die Art und Weise wie der Netzanschluss technisch realisiert wird, liegt in der Verantwortung des Netzbetreibers und wird daher in dieser Arbeit nicht weiter thematisiert. Der Errichter der LIS ist nach §1 der Niederspannungsanschlussverordnung (NAV) der Anschlussnehmer⁴ und Anschlussnutzer⁵ zu gleich und ist infolgedessen nach § 13 der NAV für die ordnungsgemäße Errichtung der elektrischen Anlage hinter der Hausanschlusssicherung verantwortlich. [48] Dabei ist die Ausführung der elektrischen Anlage hinter der Hausanschlusssicherung abhängig von dem max. benötigten Betriebsstrom der Bezugsanlage und kann im Bereich der Niederspannung in Form eines Zählerplatzes mit direkter Messung (z.B. Freiluftsäule) oder mit einer Wandlermessung (z.B. Freiluftmesswandler-schrank) ausgeführt werden. [15]

Zählerplatz mit direkter Messung [66]:

- bei Betriebsströmen ≤ 63 A bei haushaltsüblichen Bezugsanlagen unter Berücksichtigung des Belastungsgrades und des GZFs nach DIN 18015-1:2013-09, Bild A.1, Kurve 1,
- bei Bezugsanlagen mit nicht haushaltsüblichen Lastverhalten, wie z.B. Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge mit einem maximalen Betriebsstrom (Dauerstrom) von 44⁶ A. Die Begrenzung der maximalen Betriebsströme ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen. Ein Dauerstrom von 44 A begrenzt ein SH-Schalter⁷ mit einem Bemessungsstrom von 50 A (vgl. Anlage Q-1, Einfachbelegung bei einem Leitungsquerschnitt von 16 mm²).

Zählerplatz mit Wandlermessung:

- bei Betriebsströmen > 63 A bei haushaltsüblichen Bezugsanlagen,

³ „Verbindung des öffentlichen Verteilnetzes mit der Kundenanlage, die an dem Netzanschlusspunkt beginnt und mit der Hausanschlusssicherung endet, es sei denn, dass eine abweichende Vereinbarung getroffen wird.“ [15]

⁴ „Anschlussnehmer ist jedermann..., in dessen Auftrag ein Grundstück oder Gebäude an das Niederspannungsnetz angeschlossen wird.“ [48]

⁵ „Anschlussnutzer ist jeder Letztverbraucher, der im Rahmen eines Anschlussnutzungsverhältnisses einen Anschluss an das Niederspannungsnetz zur Entnahme von Elektrizität nutzt.“ [48]

⁶ „Bei Zähleranschluss-schränken im Freien sind infolge der Umgebungsbedingungen die Werte nach...mit dem Faktor 0,94 zu multiplizieren.“ [66]

⁷ Selektiver Hauptleitungsschalter: „Einrichtung zum Trennen der Anschlussnutzeranlage vom Hauptstromversorgungssystem, die auch durch den Anschlussnutzer betätigt werden kann.“ [15]

- bei Bezugsanlagen mit nicht haushaltsüblichen Lastverhalten, wie z.B. Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge mit einem Betriebsstrom (Dauerstrom) > 44 A.

Der Netzanschluss an den jeweiligen Standorten soll ausschließlich für die Anbindung der Ladehubs geschaffen werden. Hierbei kann auf die Verwendung eines dynamischen Lastmanagements verzichtet werden. Zum Einsatz kommt jeweils ein lokales Lastmanagement, bestehend aus Master- und Slave-Boxe(n). Als Ladetechnik inkl. Zubehör werden die Serientypen eMH3 TWIN Controller+ (Anlage F) und eMH3 TWIN Extender+ Anlage G) der Firma ABL verwendet. Die Besonderheiten an den ABL-Boxen gegenüber anderen Herstellern ist, dass sich an jeder Box zwei LPs mit einer jeweiligen Leistung von 11 kW befindet und das eine max. Leistungsabgabe von 22 kW an einem LP möglich ist. Die Voraussetzung für die Leistungsabgabe von 22 kW ist, dass nur an einem der beiden LPs geladen wird und das zu ladende Fahrzeug über einen 22 kW On-Board-Charger verfügt. Demzufolge beläuft sich der Betriebsstrom pro Box auf 2x 16 A (11 kW/LP) bzw. auf 1x 32 A (1x 22 kW).

Für den Standort E wird beispielhaft für alle weiteren Standorte eine detaillierte Planung der LIS durchgeführt. Dies beinhaltet die Gegenüberstellung der Kosten für den Anschluss an das Stromnetz (Ermittlung des Leistungsbedarfs mit und ohne lokales Lastmanagement), eine Auflistung der Ladetechnik und dessen Zubehör, eine Beschreibung der Tiefbauarbeiten, eine ausführliche Berechnung und Überprüfung der zu verwendeten Elektroleitungen sowie eine Beschreibung zur Kennzeichnung der entsprechenden Parkflächen. Des Weiteren wird die Annahme getroffen, dass bei Anschluss der LIS an ein Niederspannungskabel des Netzbetreibers (z.B. NAYY 4x 150mm²) eine Leistung von bis zu 30 kW und bei Anschluss an eine Trafostation eine Leistung größer 30 kW zur Verfügung gestellt werden kann. Alle Entfernung zwischen dem Niederspannungskabel oder der Trafostation der TEN und einer Freiluftsäule und/oder der Ladetechnik wird über das Messmodul des Geoproxy Geoportal-Thüringen ermittelt. Die aufgeführten Kosten für Ladetechnik, Tiefbau, Installation und Inbetriebnahme sowie Kennzeichnung der Parkflächen wird aus den Anlagen H, I, J und K entnommen und beruht auf den Kalkulationsvorlagen der TEAG Mobil GmbH.

4.3.3.1 Standort E

Am Standort E befinden sich insgesamt 4 Parkflächen, die allesamt mit LPs ausgestattet werden sollen. Eine Anbindung des Ladehubs an das Niederspannungsnetz könnte über das Niederspannungskabel (NAYY 4x185 mm²) im südlichen Bereich der Parkflächen erfolgen (vgl. Anlage N). Im ersten Schritt wird für den Standort der Leistungsbedarf für die

4 LPs mit und ohne lokales Lastmanagement ermittelt, damit eine Aussage über die Kosten des Netzanschlusses sowie für den Zählerplatz mit Messeinrichtung getroffen werden kann. Im nächsten Schritt erfolgt eine Auflistung der benötigten Ladetechnik inkl. des benötigten Zubehörs. Anschließend werden die Kosten für die anfallenden Tiefbauarbeiten, Elektroinstallationen sowie für die Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik kalkuliert. Hierbei wird ein besonderes Augenmerk auf die Dimensionierung der Leitungsquerschnitte der verwendeten Elektrokabel gelegt. Abschließend werden die anfallenden Kosten für eine Ausstattung der Parkflächen mit Beschilderung und so weiter betrachtet, sodass am Ende dieses Abschnittes ein Überblick über die Gesamtkosten zur Errichtung eines Ladehubs am Standort E gegeben werden kann.

Ermittlung der Bedarfsleistung ohne lokales Lastmanagement:

Ohne den Einsatz eines lokalen Lastmanagements ergibt sich für den Standort E nach Gl. 4.1 ein Leistungsbedarf von 44 kW. Dies entspricht nach Gl. 4.3 einem Gesamtbetriebsstrom in Höhe von 63,5 A. Da der Gesamtbetriebsstrom des Ladehubs größer als 41,4 A ist, muss die elektrische Anlage hinter der Hausanschlusssicherung nach VDE-AR-N 4100 als Zählerplatz mit Wandlermessung (Freiluftmesswandlerschrank) ausgeführt werden.

Die Anbindung des Ladehubs an das Stromnetz erfolgt über das südlich vom Ladehub verlaufende Niederspannungskabel des Netzbetreibers. Die Entfernung zwischen dem Niederspannungskabel des Netzbetreibers (vgl. Anlage N) und dem Zählerplatz beträgt ca. 20 m. Erfolgt der Anschluss über ein 4x 50 mm² Kabel, so kann die Pauschale für einen Kabel Neubau in Anspruch genommen werden (vgl. Anlage M). Zusätzlich werden, nach § 11 der NAV, Kosten in Form eines Baukostenzuschusses im Niederspannungsnetz für eine Leistung größer 30 kW durch den Netzbetreiber erhoben. Nach Anlage M belaufen sich die Kosten für den Baukostenzuschuss in der Netzebene 7⁸ auf 89,17 €/kW. Für einen Leistungsbedarf größer 30 kW ergeben sich für den Netzanschluss am Standort E Kosten nach Tabelle 4 in Höhe von 6.808,38 €.

Position: Netzanschluss > 30 kW	Kosten in €
Netzanschluss: Kabel Neubau 4x 50 mm²	2.160,00

⁸ Netzebene 7: Lokale Verteilung Niederspannung; Anschluss Ortsnetz [51]

Baukostenzuschuss bei Bezugsleistung >30 kW	1.248,38
Freiluftmesswandlerschrank inkl. Erdung, Lieferung und Montage	3.400,00
Summe	6.808,38

Tabelle 4: Kalkulation der Kosten für den Netzanschluss bei einer Bezugsleistung > 30 kW (Anlage L, M)

Ermittlung der Bedarfsleistung mit lokalem Lastmanagement:

Durch den Einsatz eines lokalen Lastmanagements ergibt sich für die 4 LPs nach Abbildung 33 ein neuer Leistungsbedarf in Höhe von 17 kW bei einem Gesamtbetriebsstrom von 24 A. Der Gesamtbetriebsstrom des Ladehubs liegt in diesem Fall unter der 41,4 A Grenze und kann deshalb als Zählerplatz mit direkter Messung (ZAS) ausgeführt werden. Durch den neu ermittelten Leistungsbedarf muss kein Baukostenzuschuss nach § 11 NAV an den Netzbetreiber entrichtet werden, da die benötigte Leistung des Ladehubs am Standort ≤ 30 kW beträgt. Es fallen lediglich die Kosten für die Pauschale zur Bereitstellung eines Kabel Neubaus in Höhe von 2.160,00 € für den Netzanschluss an. Dementsprechend kann der Gesamtbetriebsstrom an dem Master-Slave-System auf 41 A eingestellt werden, was einer Leistung von ca. 28 kW entspricht. Für eine Bezugsleistung ≤ 30 kW ergeben sich für den Standort E Kosten in Höhe von 3.760,00 €.

Position: Netzanschluss ≤ 30 kW	Kosten in €
Netzanschluss: Kabel Neubau 4x 50 mm²	2.160,00
Baukostenzuschuss bei Bezugsleistung >30 kW	-
Zähleranschlusssäule inkl. Erdung, Lieferung und Montage	1.600,00

Summe	3.760,00
--------------	-----------------

Tabelle 5: Kalkulation der Kosten für den Netzanschluss bei einer Bezugsleistung ≤ 30 kW (Anlage H, Anlage M)

Die Differenz zwischen den Kosten aus der Tabelle 4 und der Tabelle 5 beträgt 3.048,38 €. Diese Ersparnis konnte durch die Verwendung eines lokalen Lastmanagements und den sich dadurch geänderten Anforderungen an den Zählerplatz sowie den entfallenden Baukostenzuschuss erzielt werden.

Ladetechnik und Zubehör

Für den Standort E wird als Ladetechnik 1x eMH3 TWIN Controller+- Box und 1x eMH3 TWIN Extender+- Box verwendet. Als weiteres Zubehör zur Ladetechnik werden 2 Metall-Stelen zur freistehenden Befestigung der Master- und Slave-Box inkl. Fundament und Wetterschutzdach benötigt. In der Tabelle 6 sind die notwendigen Kosten für die Ladetechnik und dessen Zubehör aufgeführt.

Position: Ladetechnik	Anzahl	Kosten in €
eMH3 TWIN Controller+ (3W2263)	1 Stk	2.495,00
eMH3 TWIN Extender+ (3W2253)	1 Stk	2.446,90
Stele für Wallbox eMH3 (POLEMH3), inkl. Fundament	2 Stk	1.672,22
Wetterschutzdach (WPR36)	2 Stk	120,00
Summe	-	6734,12

Tabelle 6: Kalkulation der Kosten für Ladetechnik und Zubehör (Anlage H)

Tiefbauarbeiten, Elektroinstallation, Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik

Die Entfernung zwischen der ZAS und dem letzten LP der LIS (LT2) beträgt ca. 15 m. (vgl. Anlage N) Um die Erdarbeiten für den Tiefbau durchführen zu können, muss zunächst das Pflaster aufgenommen und an einem geeigneten Standort zwischengelagert werden. Anschließend kann ein Profilgraben zur Verlegung der Elektrokabel und Datenkabel hergestellt werden. Die Verlegung des Elektro- und Datenkabel erfolgt direkt im Erdreich, ohne dass ein Schutzrohr verwendet werden muss. Zusätzlich zum Herstellen eines Profilgrabens werden an diesem Standort zwei Fundamentgräben für die Fundamente der Stelen benötigt. (s. Abb. 34, links). Sind alle Kabel und Fundamente eingebracht, wird der Ursprungszustand der Oberfläche mit dem zuvor aufgenommenen Pflaster wiederhergestellt.



Abbildung 34: links: Profilgraben zur Verlegung von Elektrokabeln mit 2 eingebrachten Fundamenten (EMH9999); [eigene Darstellung, Dezember 2022]; rechts: Erdleitung NYY-J mit 5 Adern [75]

Zur Verlegung im Erdreich werden Elektrokabel vom Typ NYY-J (Abb. 34, rechts) verwendet, welche für eine direkte Verlegung in der Erde geeignet sind. Das Kabel setzt sich aus den einzelnen Phasen (L1, L2, L3), den Neutralleiter (N) und den Schutzleiter (PE) zusammen.

Die Elektrokabel stellen bei der Übertragung von Energie zwischen dem Erzeuger und dem Verbraucher die wichtigste Schnittstelle dar. Darum müssen bei der Dimensionierung von Kabeln und Leitungen folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- Schutz bei Überlast,
- Strombelastbarkeit unter bestimmten Verlegebedingungen
- sowie die Einhaltung des max. Spannungsfalls.

Zum Schutz bei Überlast von Elektrokabeln gelten folgende Regeln [35]:

Nennstromregel:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (\text{Gl. 4.4})$$

Auslöseregel:

$$I_2 \leq 1,45 I_Z \quad (\text{Gl. 4.5})$$

Der Strom I_2 wird vom jeweiligen Hersteller angegeben oder muss in den Produktnormen festgelegt sein. Er darf maximal 45 % größer sein als die zulässige Strombelastbarkeit des Kabels. Dabei sind:

I_B = max. Betriebsstrom der Ladetechnik in A,

I_N = Nennstrom der Schutzeinrichtung in A,

I_Z = zulässige Strombelastbarkeit der Leitung bei abweichenden Umgebungsbedingungen in A,

I_r = Strombelastbarkeit der Leitung bei idealen Umgebungsbedingungen nach Anlage Q-2 in A

f = Umrechnungsfaktor für Häufung,

I_2 = Auslösestrom in A.

Bei einer Leistung von max. 22 kW pro Ladetechnik (vgl. Anlage F) ergibt sich nach Gleichung 4.3 ein maximaler Betriebsstrom (I_B) für die Ladetechnik von:

$$I_{B\ LT} = \frac{P_{LT}}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi}$$

$$I_{B\ LT} = \frac{22.000\ W}{\sqrt{3} * 400V * 1}$$

$$I_{B\ LT} = 31,75\ A.$$

Nach der Nennstromregel muss der Nennstrom der Schutzeinrichtung (I_N) größer oder gleich dem Betriebsstrom ($I_{B LT}$) der Ladetechnik sein. Der Nennstrom (I_N) der nächsthöheren Schutzeinrichtung beträgt

$$I_N = 32 \text{ A.}$$

Die Strombelastbarkeit I_r des Kabels unter idealen Umgebungsbedingungen kann der Anlage Q-2 entnommen werden. Die Werte in der Anlage Q-2 gelten für eine direkte Verlegung des Kabels im Erdreich, einer max. Betriebstemperatur des Kabels von 70 °C, einer Erdbodenumgebungstemperatur von 20 °C und einer Verlegetiefe des Kabels von 0,7 m. Unter den genannten Bedingungen kann mit dem abgelesenen Wert aus der Anlage Q-2 gerechnet werden. [50]

Die Nennstromregel besagt, dass die Strombelastbarkeit des Kabels größer oder gleich dem Nennstrom der Schutzeinrichtung sein muss. Demzufolge muss der gleiche oder der nächsthöhere Wert aus der Tabelle der Anlage Q-2 entnommen werden. Daraus ergibt sich eine Strombelastbarkeit des Kabels, bei 3 belasteten Adern, von 36 A. Der zugehörige Querschnitt beträgt 2,5 mm². Dies bedeutet, dass unter idealen Umgebungsbedingungen ein Querschnitt von 2,5 mm² pro Ader ausreichend dimensioniert ist, um das Kabel vor Überlast zu schützen.

Liegen abweichende Umgebungsbedingungen vor, so muss die Strombelastbarkeit des Kabels unter Einbezug von Umrechnungsfaktoren neu berechnet werden. Darunter sind z.B. abweichende Bodentemperaturen oder die Häufung von mehreren Kabeln im Erdreich zu verstehen. Es gilt für die Strombelastbarkeit bei abweichende Umgebungsbedingungen folgende Gleichung [35]:

$$I_Z = I_r * f \quad (\text{Gl. 4.6})$$

Für den Standort E muss aufgrund der Häufung von mehreren Kabeln im selben Profilgraben ein Umrechnungsfaktor von 0,86⁹ in die Berechnung mit einbezogen werden. Die Betriebstemperatur des Kabels, die Erdbodentemperatur sowie die Verlegetiefe wird als konstant angenommen. So ergibt sich unter Einbeziehung des Umrechnungsfaktors eine Strombelastbarkeit für das Kabel von

$$I_Z = 36 \text{ A} * 0,86$$

⁹ Umrechnungsfaktor nach Anlage Q-4 für 2 Kabel, bei einem Abstand von 7 cm von Kabel zu Kabel

$$I_Z = 30,96 \text{ A.}$$

Die errechnete Strombelastbarkeit von 30,96 A ist kleiner als der Betriebsstrom von 32 A. Das Kriterium der Nennstromregel, dass die Strombelastbarkeit des Kabels größer oder gleich dem Betriebsstrom sein muss, wird in diesem Fall nicht erfüllt. Um das Kabel vor einer Überlastung zu schützen, muss dementsprechend ein größerer Querschnitt gewählt werden. Der nächstgrößere Querschnitt nach Anlage Q-2 beträgt 4 mm² bei einer Strombelastbarkeit (I_r) von 47 A. Hieraus ergibt sich für den Querschnitt von 4 mm² eine Strombelastbarkeit von

$$I_Z = 47 \text{ A} * 0,86$$

$$I_Z = 40,42 \text{ A.}$$

Eingesetzt in die Nennstromregel:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$31,75 \text{ A} \leq 32 \text{ A} \leq 40,24 \text{ A}$$

Die Bedingung der Nennstromregel wird bei einem Querschnitt von 4 mm² erfüllt. Als Aderquerschnitt sind unter diesen Gegebenheiten mindestens 4 mm² zu wählen.

Mit der Auslöseregel lässt sich nach Gl 4.6 bestimmen, ob mit der ausgewählten Sicherungsgröße der Schutz vor Überlast gegeben ist. Der Auslösestrom lässt sich der Anlage Q-3 entnehmen und ist abhängig von der Charakteristik des eingesetzten Leitungsschutzschalters. Laut dem Hersteller der Ladetechnik wird die Verwendung eines Leitungsschutzschalters mit der Charakteristik C empfohlen (vgl. Anlage F). Aus der Tabelle in der Anlage Q-3 lässt sich für diesen ein Abschalt- oder Auslösestrom (I_2) von dem 1,45-fachen des Nennstroms des Leitungsschutzschalters entnehmen.

$$I_2 = 1,45 I_N \tag{Gl. 4.7}$$

Auslöseregel:

$$I_2 \leq 1,45 I_Z$$

$$1,45 I_N \leq 1,45 I_Z$$

$$1,45 * 32A \leq 1,45 * 40,24 A$$

$$46,4 A \leq 58,5 A$$

Die Bedingung der Auslöseregel ist erfüllt, somit ist der Schutz vor Überlast durch die Sicherung ebenfalls gegeben.

Überprüfung des gewählten Aderquerschnittes anhand des Spannungsfalls

Bei der Bemessung der Kabel ist neben der zulässigen Strombelastbarkeit ebenso der für die Verbraucher maximal zulässige Spannungsfall zu berücksichtigen. Nach DIN 18015 Teil 1 darf der Spannungsfall in der elektrischen Anlage hinter der Messeinrichtung bis zum Anschlusspunkt der Verbrauchsmittel 3 % nicht überschreiten. [34] Dies entspricht im Drehstromnetz einer Spannung von 12 V. Das heißt, dass am jeweiligen Verbrauchsmittel eine Spannung von mindestens 388 V anliegen muss. Der Spannungsfall ΔU im Drehstromnetz lässt sich nach wie folgt berechnen [34, 35]:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} * l * I_B * \cos\varphi}{\kappa * A} \quad (\text{Gl. 4.8})$$

Dabei sind:

ΔU = Spannungsfall am Verbrauchsmittel in V,

l = Länge der Leitung in m,

I_B = Bemessungsstrom in A,

$\cos\varphi$ = Leistungsfaktor = 1,

κ = elektrische Leitfähigkeit von Kupfer mit $56 \frac{m}{\Omega * mm^2}$ [34],

A = Querschnitt der Leitung (Ader) in mm^2 .

Als Länge der entsprechenden Leitungen wird im weiteren Verlauf der Arbeit immer das 1,5-fache der Wegstrecke zwischen der ZAS/FMW und der jeweiligen Ladetechnik angenommen.

Die längste Leitungsstrecke muss zwischen der LT 2 und der ZAS zurückgelegt werden (vgl. Anlage N). Für den Standort E ist es daher ausreichend den Spannungsfall für die LT 2 zu ermitteln. Die Länge der Leitung zwischen der ZAS und der LT 2 beträgt unter der Annahme des 1,5-fachen der Wegstrecke ca. 22 m. Daraus resultiert ein Spannungsfall an der LT 2 in Höhe von

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} * 22m * 32A * 1}{56 \frac{m}{\Omega * mm^2} * 4mm^2}$$

$$\Delta U = 5,44 V \equiv 1,36 \%$$

Der errechnete Spannungsfall an der LT 2 beträgt 1,36 % und ist damit kleiner als der maximal zulässige Spannungsfall nach DIN 18015 Teil 1. Der Leitungsquerschnitt von 4 mm² ist für eine Leitungslänge von 22 m ausreichend dimensioniert. Zur Einhaltung des maximal zulässigen Spannungsfalls darf die Leitung mit einem Querschnitt von 4 mm² die Länge von 48 m nicht überschreiten. Wird ein Leitungsquerschnitt von 6 mm² gewählt, so darf die Länge der Leitung maximal 72 m betragen. Die Dimensionierung des Leitungsquerschnittes ist abhängig von den Umgebungsbedingungen, den Verlegebedingungen und von dem verwendeten Leitermaterial (Kupfer, Alu) und ist daher immer individuell zu betrachten und zu ermitteln. Der Hersteller der Ladetechnik empfiehlt daher – ohne Angabe von Umgebungsbedingungen, Verlegebedingungen oder verwendetem Leitermaterial - immer einen Leitungsquerschnitt von mindestens 6 mm², bei einem Betriebsstrom von 32 A und einer Leitungslänge von max. 50 m zu verwenden (vgl. Anlage O). Aus wirtschaftlicher Sicht werden in dieser Arbeit die unter den gegebenen Bedingungen berechneten Aderquerschnitte verwendet.

In der Tabelle 7 sind die Kosten für die anfallenden Tiefbauarbeiten, Elektroinstallation und für die Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik nach Anlage H aufgelistet.

Position: Elektroinstallation	Kosten in €
Tiefbauarbeiten Oberfläche: Pflaster + 2x Fundament für Stele	2.218,50
Elektroinstallation	257,50

Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik inkl. Zubehör	2.210,00
Summe	4.686,00

Tabelle 7: Kalkulation der Kosten für Tiefbauarbeiten, Elektroinstallation, Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik inkl. Zubehör (Anlage H)

Kennzeichnung der Parkflächen

Das EmoG bildet zusammen mit der StVO die Rechtsgrundlage für Verkehrszeichen von Ladestationen. Die Verkehrszeichen beziehen sich dabei nicht auf die jeweilige Art der Ladestation vor Ort, sondern auf das Vorrecht der Elektrofahrzeuge auf dieser Stellfläche zu parken. Der §3 Abs. 4 Nr. 1 des EmoG ermöglicht es, durch die Verwendung entsprechender Zusatzzeichen, Parkflächen für die bevorrechtigte Nutzung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen zu reservieren. [26] Ein entsprechendes Zusatzzeichen ist z.B. das Zeichen 1010-66 (Kfz mit Stecker). Durch den Einsatz dieses Zusatzzeichens ist es ausschließlich gekennzeichneten Elektrofahrzeugen gestattet auf diesen Flächen zu parken. Fahrzeuge ohne ein E-Kennzeichen parken daher ordnungswidrig und dürfen abgeschleppt werden. [17]



Abbildung 35: links: Beschilderung für einen Parkplatz ausschließlich für Elektrofahrzeuge; rechts: Parkplatz für Elektrofahrzeuge mit Piktogramm und Anfahrtschutz [eigene Darstellung]

Zusätzlich zur Kenntlichmachung der Parkflächen durch eine entsprechende Beschilderung besteht die Option ein Piktogramm auf der Parkfläche aufzubringen (Abb. 35,

rechts), um eine weitere visuelle Hürde für Falschparker zu schaffen. Zum Schutz der Ladetechnik kann auf der Parkfläche ebenfalls ein Anfahrschutz angebracht werden, damit eine Beschädigung durch einparkende Fahrzeuge verhindert werden kann.

Position: Kennzeichnung	Anzahl	Kosten in €
Beschilderung der Parkfläche	1	400,00
Anfahrschutz	4	300,00
Markierung der Parkflächen (Piktogramm)	4	720,00
Summe	-	1420,00

Tabelle 8: Kalkulation der Kosten für die Kennzeichnung der Parkflächen (Anlage H)

Zusammengefasst ergeben sich für den Standort E Investitionskosten, bei einer Bezugsleistung ≤ 30 kW, in Höhe von 16.600,12 €. Wird der Leistungsbedarf größer gewählt, so fallen neben den Mehrkosten für den Zählerplatz auch zusätzlich Kosten in Form eines Baukostenzuschusses durch den Netzbetreiber an.

Position	≤ 30 kW	> 30 kW
Netzanschluss inkl. ZAS	3760,00 €	6.808,38 €
Ladetechnik	6.734,12 €	6.734,12 €
Elektroinstallation	4.686,00€	4.686,00€
Kennzeichnung	1.420,00 €	1.420,00 €

Gesamtkosten LIS	16.600,12 €	19.648,50 €
spez. Kosten/LP	4.150,03 €	4.912,13 €

Tabelle 9: Zusammenfassung der Gesamtkosten für den Standort E bei einem Netzanschluss ≤ 30 kW und einem Netzanschluss >30 kW.

Der Tabelle 9 ist zu entnehmen, dass die Differenz zwischen den aufgeführten Gesamtkosten einzig und allein auf der Kostenposition des Netzanschlusses basiert und der damit einhergehenden Bezugsleistung für die LIS. Diese ist wiederum abhängig davon, ob ein Lastmanagement zum Einsatz kommt oder nicht. Alle anderen aufgeführten Positionen sind als Fixkosten anzusehen, da der Aufwand in beiden Fällen der Gleiche ist.

Für die Standorte A, B, C, und D erfolgt die Kostenaufstellung zusammenfassend in Tabellenform in Anlehnung an Tabelle 9.

4.3.3.2 Standort D

Am Standort D befinden sich 7 Stellflächen für PKWs. Davon werden 6 Stellflächen mit LPs ausgestattet. Als Ladetechnik kommen 1x eMH3 TWIN Controller+- Box und 2x eMH3 TWIN Extender+- Boxen zur Anwendung. Als Zubehör werden 3 Metall-Stelen inkl. Fundament sowie 3 Wetterschutzdächer benötigt. Eine Anbindung des Ladehubs an das Niederspannungsnetz kann über den Verteilerschrank (VS049) im nordöstlichen Bereich der LT erfolgen (vgl. Anlage N). Alle Tiefbauarbeiten können auf einer unbefestigten Oberfläche durchgeführt werden (Rasenfläche).

Aus der Abbildung 33 lässt sich für eine Anzahl von 6 AC-LPs ein Leistungsbedarf von 25 kW und ein zugehöriger Gesamtbetriebsstrom von 36 A entnehmen. Der Zählerplatz kann in Form einer ZAS ausgeführt werden. Analog zum Standort E kann auch hier der Gesamtbetriebsstrom im Master-Slave-System auf 41 A angepasst werden, ohne das Mehrkosten entstehen.

Position	≤ 30 kW
Netzanschluss inkl. ZAS	3.760,00 €

Ladetechnik	10.077,13 €
Elektroinstallation	6.015,00 €
Kennzeichnung	1.930,00 €
Gesamtkosten LIS	21.782,13 €
spez. Kosten/LP	3.630,36 €

Tabelle 10: Gesamtkosten LIS für den Standort D inkl. Netzanschlusspauschale (vgl. Anlage I)

4.3.3.3 Standort C

Der Standort C bietet die gleichen Voraussetzungen wie der Standort D. Hier werden ebenfalls 6 LPs errichtet. Die Tiefbauarbeiten können, wie an den vorhergehenden Standorten, über eine unbefestigte Oberfläche (Rasen) erfolgen. Eine Anbindung des Ladehubs an das Stromnetz kann an diesem Standort über das im östlichen Bereich verlaufende Niederspannungskabel (NAYY 4x 150mm²) vorgenommen werden (vgl. Anlage N). Auch hier kann der Gesamtbetriebsstrom wieder auf 41 A angepasst werden. Somit ergeben sich für den Standort C die gleichen Kosten wie für den Standort D.

Position	≤ 30 kW
Netzanschluss inkl. ZAS	3.760,00 €
Ladetechnik	10.077,13 €
Elektroinstallation	6.015,00 €
Kennzeichnung	1.930,00 €

Gesamtkosten LIS	21.782,13 €
spez. Kosten/LP	3.630,36 €

Tabelle 11: Gesamtkosten LIS für den Standort C inkl. Netzanschlusspauschale (vgl. Anlage I)

4.3.3.4 Standort B

Im nördlichsten Bereich des Wohnquartiers befindet sich der Standort B mit seinen 27 Stellplätzen, wovon 6 Stellplätze mit LPs ausgestattet werden. Als Ladetechnik werden dafür 1x eMH3 TWIN Controller+- Box und 2x eMH3 TWIN Extender+- Boxen benötigt. Die Mindestbezugsleistung nach Abbildung 33 beträgt für diesen Standort 25 kW, was einem Gesamtbetriebsstrom von 36 A entspricht. Der Zählerplatz kann wie bei den vorhergehenden Standorten als ZAS ausgeführt und der Gesamtbetriebsstrom auf 41 A angehoben werden. Die Tiefbauarbeiten zwischen der ZAS und der Ladetechnik erfolgt bei einer Oberfläche aus Schotter (vgl. Anlage N).

Position	≤30 kW
Netzanschluss	3.760,00 €
Ladetechnik	10.077,13 €
Elektroinstallation	5.817,50€
Kennzeichnung	1.930,00 €
Gesamtkosten LIS	21.584,63 €
spez. Kosten/LP	3.597,44 €

Tabelle 12: Gesamtkosten LIS für den Standort B inkl. Netzanschlusspauschale (vgl. Anlage J)

4.3.3.5 Standort A

Durch die Nähe zur Trafostation, der Lage und der Anzahl von Parkflächen bietet der Standort A das größte Potential zur Errichtung eines Ladehubs. Um die Anforderung von 34 LPs im Jahr 2030 erfüllen zu können, werden am Standort A noch 12 LPs benötigt. Für diese ist nach Abbildung 33 eine Mindestbedarfsleistung von 50 kW bei einem Gesamtbetriebsstrom von 72 A notwendig. Der Zählerplatz erfolgt in diesem Fall als FMW. Die Anbindung des Ladehubs an das Stromnetz kann über die angrenzende Trafostation erfolgen. Als Ladetechnik werden 1x eMH3 Controller+- Box und 5x eMH3 Extender+- Boxen inkl. Zubehör installiert. Die anfallenden Tiefbauarbeiten können auf der angrenzenden Rasenfläche durchgeführt werden (vgl. Anlage N).

Position	> 30 kW
Netzanschluss¹⁰ inkl. FMW	5.560,00 €
BKZ	1.783,40 €
Ladetechnik	20.106,16 €
Elektroinstallation inkl. Niederspannungsverteiler	15.870,10 €
Kennzeichnung	3.460,00 €
Gesamtkosten LIS	46.779,66 €
spez. Kosten/LP	3.898,30 €

Tabelle 13: Gesamtkosten LIS für den Standort A inkl. Netzanschlusspauschale und BKZ (vgl. Anlage K)

¹⁰ Annahme, dass der Netzanschluss über die Netzpauschale für einen Kabel Neubau 4x 50 mm², bis 30 m Länge erfolgen kann

Der installierte FMW ist geeignet für einen Betriebsstrom von bis zu 250 A (vgl. Anlage R-1). Dies ermöglicht es dem Errichter, über das Jahr 2030 hinaus, das volle Potential des Parkplatzes mit 38 Parkflächen auszuschöpfen. Weiterhin bietet der FMW die Möglichkeit zwei weitere Niederspannungsverteiler anzuschließen, an denen entsprechende Ladetechnik angebunden werden kann. Somit ist für den Standort A der Grundstein für eine weitere Erschließung des Standortes für die Elektromobilität gelegt.

Zusammenfassend ergeben sich aus den Tabellen 9 bis 13 folgende Kosten für die Errichtung der Ladehubs im Wohnquartier:

Standort A:	46.779,66 €
Standort B:	21.584,63 €
Standort C:	21.782,13 €
Standort D:	21.782,13 €
Standort E:	16.600,12 €
Gesamt:	<u>128.528,67 €</u>

Die Fixkosten für die Errichtung von 6 Ladehubs im Wohnquartier belaufen sich auf 128.528,67 €. Daraus ergeben sich spezifische Kosten in Höhe von 3.780,25 € pro LP. Die Kosten decken den jeweiligen Netzanschluss, die Ladetechnik, die Elektroinstallation und die Ausstattung der Parkplätze mit Beschilderung etc. ab. Auf die variablen Kosten, wie etwa für die Strombeschaffung und den Betriebskosten (Backend und Wartung) der Ladehubs, wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

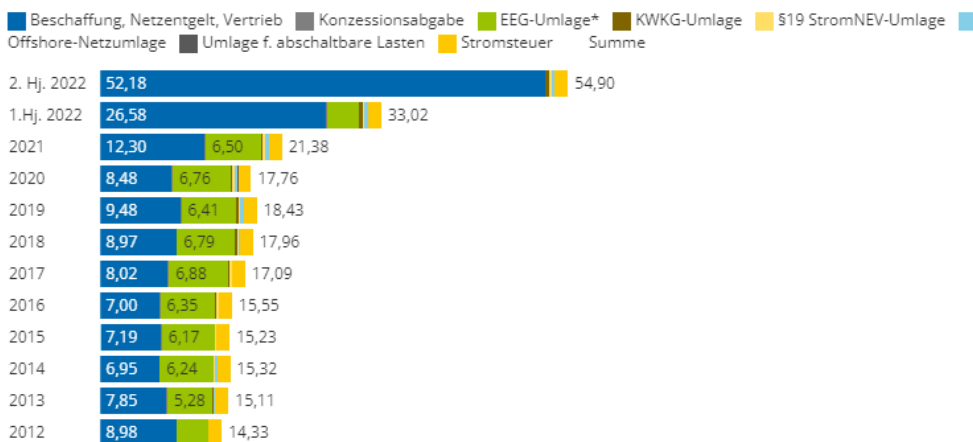
4.3.4 Strombeschaffung und Preisgestaltung an den Ladehubs

Nach §3 Nr. 25 des EnWG nimmt der Ladesäulenbetreiber die Rolle eines Letztverbrauchers ein und ist daher berechtigt, nach § 20 Abs. 1 a des EnWG, selbst einen Lieferantenvertrag abzuschließen. Der Lieferantenvertrag kann beispielsweise in Form eines All-inclusive-Vertrages zwischen dem Energieversorgungsunternehmen (EVU) und dem Ladesäulenbetreiber abgeschlossen werden. Der Vorteil eines All-inclusive –Vertrages liegt darin, dass er das Entgelt für die Strombelieferung bis zur Abnahmestelle als auch die Netznutzungsentgelte beinhaltet. [28,43] Die Höhe des Stromliefer- und Netzentgeltes ist abhängig von der benötigten Strommenge, die für die Belieferung der Ladehubs benötigt wird. Diese Menge ergibt sich aus den zu erwartenden Ladevorgängen an den einzelnen LP. Im Wohnquartier wird davon ausgegangen, dass pro Tag ein Ladevorgang pro LP

stattfindet. Als Berechnungsgrundlage wird der VW ID 3 aus Abschnitt 4.2 mit einem 58 kWh Akku herangezogen. Dieser benötigt 43,5 kWh um von 25 % auf 100 % Akku aufzuladen. Daraus ergibt sich für einen LP eine Jahresarbeit von 15.877,5 kWh. Im Jahr 2030 werden zur Versorgung aller 34 LPs 539.835 kWh benötigt. Aufgrund der aktuellen Energiekrise kann nur schwer eine Aussage über einen Strompreis der benötigten Menge getroffen werden, daher wird der angegebene Betrag für das 1. Halbjahr 2022 aus der Abbildung 36 in Höhe von 33 Ct/kWh als Arbeitspreis inkl. Netzentgelte, Abgaben und Umlagen angenommen (All-inclusive-Vertrag).

Strompreis für die Industrie (inkl. Stromsteuer)

Durchschnittlicher Strompreise für Neuabschlüsse in der Industrie in ct/kWh (inkl. Stromsteuer), Jahresverbrauch 160.000 bis 20 Mio. kWh, mittelspannungsseitige Versorgung



EEG-Umlage entfällt ab 01.07.2022

Stand: 12/2022

Quelle: VEA, BDEW - Daten - Einbetten - Grafik

bdeW
Energie. Wasser. Leben.

Abbildung 36: Strompreis für die Industrie [14]

Preisgestaltung an den Ladehubs

Als Vergütungsmodell für den Ladevorgang wird ein verbrauchsbasiertes Laden an der Ladesäule gewählt. Durch dieses Modell wird dem Endkunden der tatsächlich verbrauchte Strom pro kWh abgerechnet. Die Abrechnung an den Kunden erfolgt automatisiert über ein Backend-System (vgl. Anlage P). Für die Preisgestaltung wird die Annahme getroffen, dass der Strompreis von 33 Cent/kWh als auch die spezifischen Kosten pro LP über den Betrachtungszeitraum (2022 bis 2030) konstant bleiben. Eine Preissteigerung durch Inflation wird nicht mit einberechnet. Die Betriebskosten der LPs setzen sich aus den Kosten für den Backendbetrieb, der einmaligen Einrichtung des Backends (vgl. Anlage P) sowie den anfallenden Wartungs- und Entstörungskosten zusammen. Diese betragen somit 198,81 €/LP und Jahr. Die Abschreibungsdauer für die Ladeinfrastruktur wird auf 10 Jahre

festgelegt. Eine Marge für den Ladesäulenbetreiber wird bei der Preisgestaltung nicht berücksichtigt. Für das Jahr 2022 werden 2 LPs im Quartier benötigt. Der Strompreis setzt sich für den Endkunden an den Ladehubs wie folgt zusammen:

- Anzahl Ladepunkte: 2
- Abschreibungsdauer: 10 Jahre
- Investitionskosten: 7.560,50 €
- Betriebskosten: 397,61 €
- Kosten Strombezug: 0,33 €/kWh
- Arbeit: 31.755 kWh/a

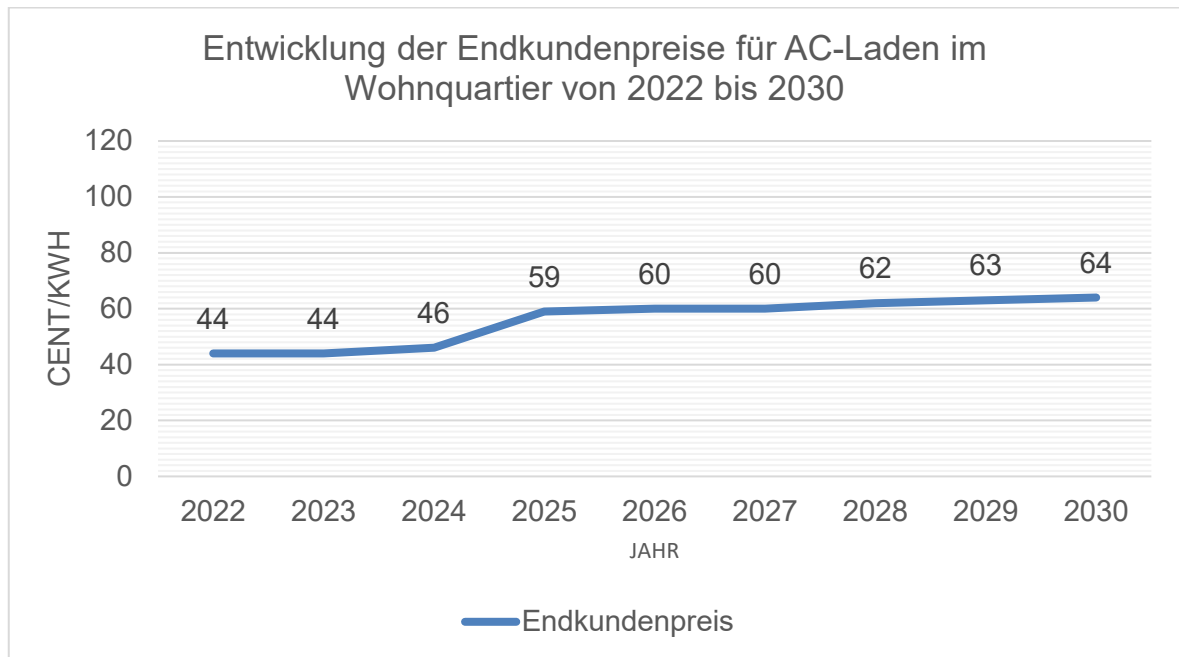


Abbildung 37: Entwicklung der Endkundenpreise für AC-Laden im Wohnquartier von 2022 bis 2030.

Bei einer Abschreibung von 10 Jahren ergeben sich Gesamtkosten zzgl. den jährlichen Betriebskosten von 1.153,66 €/a. Werden die jährlich anfallenden Kosten durch den Strombezug geteilt, so ergibt sich ein Betrag in Höhe von 0,04 €/kWh. Wird dieser Betrag auf die Strombezugskosten addiert, erhält man einen Preis von 0,37 €/kWh. Unter Hinzuziehung der aktuellen Mehrwertsteuer in Höhe von 19 % beträgt der Endkundenpreis 0,44 €/kWh am Ladehub. Die 2 installierten LPs sind für das Jahr 2023 ausreichend, daher kann der Endkundenpreis in Höhe von 44 Cent/kWh für das Jahr 2023 beibehalten werden. Im Jahr 2024 werden weitere 2 LPs benötigt. Die Gesamtkosten für die Investition inkl. der jährlichen Kosten belaufen sich, wie im Jahr 2022, auf 1.153,66 €. Der Strombezug für das Jahr 2024 verdoppelt sich gegenüber dem Jahr 2022, sodass sich ein Betrag in Höhe von 0,02 €/kWh ergibt. Werden die beiden Beträge aus dem Jahr 2022 und 2024 (0,04 Cent/kWh und 0,02 Cent/kWh) auf die Strombezugskosten addiert, so erhält man für

das Jahr 2024 ein Endkundenpreis am Ladehub von 46 Cent/kWh inkl. der Mehrwertsteuer. In der Abbildung 37 ist die Endkundenpreisentwicklung für das AC-Laden im Wohnquartier von 2022 bis 2030 dargestellt.

Durch die andauernde Energiekrise und den damit einhergehenden hohen Kosten für Strom und Diesel kann momentan kein rationaler Vergleich zwischen den Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren hergestellt werden. Aus diesem Grund wird ein Vergleich für das Frühjahr 2022 zwischen einem VW ID 3 und einem Fahrzeug mit Dieselmotor gezogen. Im Januar 2022 kostete der Liter Diesel im Durchschnitt ca. 1,60 €. [57] Für ein Dieselfahrzeug mit einem Verbrauch von 7 l/100 km kostete das Nachtanken von 100 km Fahrstrecke zu diesem Zeitpunkt ca. 11 €. Der Endkundenpreis an einem der Ladehubs im Wohnquartier wurde für das Jahr 2022 mit 0,44 €/kWh angegeben. Für einen ID3 mit einem durchschnittlichen Verbrauch von 19,3 kWh/100 km wäre für das Nachladen von 100 km Fahrstrecke dementsprechend Kosten in Höhe von 8,50 € entstanden. Daraus ergab sich eine Ersparnis mit einem BEV gegenüber einem Dieselfahrzeug auf einer Fahrstrecke von 100 km von 2,50 €. Dies wiederum zeigt, dass die Elektromobilität nicht nur die Umwelt schont, sondern auch den Geldbeutel des Fahrers.

5 Zusammenfassung

Die Errichtung von Ladeinfrastruktur, egal ob privat,- halböffentlich oder öffentlich, mit allen Komponenten und Akteuren stellt ein sehr komplexes und umfangreiches System dar. Im Wesentlichen ist die Errichtung der Ladeinfrastruktur von den Rahmenbedingungen Vor-Ort abhängig und immer individuell zu betrachten. Neben den einzelnen Komponenten, wie Ladetechnik, Zählerplatz mit Messeinrichtung, Elektrokabel, etc., hat die vorhandene Netzstruktur des Verteilungsnetzbetreibers einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den technischen und wirtschaftlichen Betrieb der Ladeinfrastruktur. Die Arbeit hat dabei aufgezeigt, wie eine mögliche Herangehensweise zur Konzeptionierung von Ladehubs in Wohnquartieren erfolgen kann, sodass sich ein wirtschaftlicher Betrieb dieser darstellen lässt. Es zeigt aber auch, dass der Preis, den der Endkunde zum Nachladen an der Ladetechnik zahlt weniger von den Investitions- und Betriebskosten, sondern vielmehr von den Strombezugskosten abhängig ist. Gerade in der heutigen Zeit unterliegen wir stark schwankenden Stromkosten, welche dafür sorgen, dass die Betreiber zwangsläufig die Preise an Ihrer Ladeinfrastruktur erhöhen müssen. Um dem entgegenzusteuern und den Betrieb einer öffentlichen Ladeinfrastruktur ein wenig unabhängiger von den fluktuierenden Strompreisen zu machen, wäre eine Kombination aus Ladeinfrastruktur, dynamischen Lastmanagement und erneuerbaren Energien denkbar.

Der Weg hin zu einer hundertprozentigen elektrischen Mobilität in Deutschland führt nicht an einem weiteren massiven Ausbau von Ladeinfrastruktur im öffentlich zugänglichen Bereich vorbei. Staatliche Förderungen für Wallboxen in Eigenheimen sind ein Anfang, jedoch kann nur ein Bruchteil der PKW-Nutzer davon profitieren können. Nur mit einer ausreichenden und flächendeckenden Anzahl von öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur in unmittelbarer Nähe des Wohnorts nimmt man den Fahrern von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren die Bedenken an der Elektromobilität. Unter dieser Bedingung sinkt auch die Hemmschwelle, sich - statt einem neuen Verbrenner - ein Elektrofahrzeug anzuschaffen. Der Schwerpunkt staatlicher Förderungen im Bereich Mobilität sollte daher verstärkt auf die Errichtung öffentliche Ladeinfrastruktur abzielen.

Literatur

- [1] ABL GmbH: „Downloads“, <https://www.ablmobility.de/de/service/downloads.php>, aufgerufen Dezember 2022

- [2] Achim Kampker, Dirk Vallee, et.al.: „Elektromobilität - Grundlagen einer Zukunftstechnologie“, Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018, 2. Auflage

- [3] ADAC: „Der Kia EV6 im ADAC Test: 800 Volt in der Mittelklasse“, <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/kia/kia-ev6/>, Aufgerufen am 16.11.2022

- [4] ADAC: „Elektroautos im Test: So hoch ist die Reichweite wirklich“, <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/tests/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>, Aufgerufen November 2022

- [5] ADAC: „VW ID.3 im ADAC Test: Wie gut ist das Elektroauto?“, <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/vw/vw-id-3/>, Aufgerufen am 08.12.2022

- [6] Amperfied GmbH: „Heidelberg Wallbox Energy Control: Lastmanagement“, <https://www.amperfied.de/de/service-support/downloads/>, Aufgerufen am 25.01.2023

- [7] Andreas Füßel: „Technische Potenzialanalyse der Elektromobilität: Stand der Technik, Forschungsausblick und Projektion auf das Jahr 2025“, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2017

- [8] AUDI AG: „A6 Avant TFSI e“, https://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/a6/a6-avant-tfsi-e.html?csref=sea:cdi:133840744229_kwd-360249866612&gclid=EAlalQobChMI1q_sqYHI_A-IVg9F3Ch1Xcgm1EAAYASAAEgLb-vD_BwE&gclidsrc=aw.ds#, Aufgerufen November 2022
- [9] AUDI AG: „Stärkere Batterie, höhere Reichweite: Upgrade für die Audi Plug-in-Hybride Q5, A6 und A7“, <https://www.audi-mediacenter.com/de/pressemitteilungen/staerkere-batterie-hoehere-reichweiteupgrade-fuer-die-audi-plug-in-hybride-q5-a6-und-a7-13756>, Aufgerufen November 2022
- [10] Auto-Motor-und-Sport: „Jetzt klappt auch Schnellladen“, <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/jaguar-i-pace-schnellladesystem/>, Aufgerufen am 17.11.2022
- [11] Axel Springer SE: „So komisch ließen sich Autos mal bedienen“, <https://www.welt.de/motor/gallery137986545/So-komisch-liessen-sich-Autos-mal-bedienen.html>, Abgerufen November 2022
- [12] Bals Elektrotechnik GmbH & Co. KG: „Ladebetriebsarten“, <https://www.emobile-bals.com/de/news-und-wissen/lexikon/Ladebetriebsarten>, Aufgerufen 30.11.2022
- [13] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: „Elektromobilität: Definition der Ladeinfrastruktur-Markttrollen“, https://www.bdew.de/media/documents/201008_PG-LIS_Definitionen_Markttrollen_neu.pdf, Aufgerufen November 2022
- [14] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: „Strompreis für die Industrie“, <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>, Aufgerufen am 19.01.2023

- [15] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: „Technische Anschlussbedingungen TAB 2019: für den Anschluss an das Niederspannungsnetz“, BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Oktober 2019
- [16] Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 47 (bmj.de): https://www.bmj.de/Shared-Docs/Gesetzgebungsverfahren/Dokumente/BGBl_WeMoG.pdf;jsessionid=38C6488212EDB7E2034CAA31BC1D3890.1_cid334?__blob=publicationFile&v=3; Ausgabe 22. Oktober 2020, aufgerufen November 2022
- [17] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV): „Einfach laden in der Kommune: Leitfaden zur Vergabe und Genehmigung von Ladeinfrastruktur für kommunale Akteure“, Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur, Erscheinungsjahr: 06.2022
- [18] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV): „Masterplan Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung“, Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), Oktober 2022
- [19] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: „Die EU-Verordnungen zur Verminderung der CO₂-Emissionen von Straßenfahrzeugen | Gesetze und Verordnungen | BMUV“; <https://www.bmuv.de/gesetz/die-eu-verordnungen-zur-verminderung-der-co2-emissionen-von-strassenfahrzeugen>, aufgerufen November 2022
- [20] Bundesnetzagentur: „Anzahl der öffentlichen Ladepunkte in Deutschland von Januar 2017 bis Oktober 2022 [Graph]“, Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1190896/umfrage/ladesaeulen-in-deutschland/> aufgerufen am 15. November, 2022

- [21] Bundesnetzagentur: „Ladeinfrastruktur (LIS) in Zahlen“, https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.bundesnetzagentur.de%2FSharedDocs%2FDownloads%2FDE%2FSachgebiete%2FEnergie%2FUnternehmen_Institutionen%2FE_Mobilitaet%2FLadesaeuleninfrastruktur.xlsx%3Bjsessionid%3DD2E7111BCDF23E139566001ADA2F236C%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D16&wdOrigin=BROWSELINK , aufgerufen 10.11.2022
- [22] Bundesnetzagentur: „Ladesäulenregister“, <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/start.html;jsessionid=73D4EEE5EB6518CBC619CB19857CDDEA>, aufgerufen November 2022
- [23] Bundesregierung.de: Verbrennermotoren ab 2035 nur im Betrieb CO2-frei | Bundesregierung; <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/eu-ropa/verbrennermotoren-2058450>, aufgerufen November 2022
- [24] Contemporary Amperex Technology Co., Limited, <https://www.catl.com/en/enterpriseinfoGermany/>, aufgerufen am November 2022
- [25] Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, et.al: „Technischer Leitfaden: Ladeinfrastruktur Elektromobilität“, Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, et.al., Oktober 2021
- [26] Elektromobilitätsgesetz, https://www.gesetze-im-internet.de/emog/_1.html, Bundesministerium der Justiz, aufgerufen am 11.01.2023

- [27] energielösung GmbH: „PHOENIX CONTACT Ladekabel Typ 2 - Typ 2 (bis 22 kW)“, <https://www.energieoesung.de/phoenix-contact-ladekabel-22kw-typ2-typ2>, aufgerufen November 2022
- [28] Energiewirtschaftsgesetz: https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/___1.html, Bundesministerium der Justiz, aufgerufen am 20.01.2023
- [29] ESL E-Mobility GmbH: „Typ 1 Stecker“, <https://esl-emobility.com/de/typ-1-stecker-lade-steckdose.html>, aufgerufen November 2022
- [30] Generation Strom: „Der Blog und Podcast zur Elektromobilität“, <https://generationstrom.com/2019/03/14/einphasiges-laden/>, aufgerufen am 17.11.2022
- [31] Geoproxy Thüringen: <http://www.geoproxy.geoportal-th.de/geoclient/control>, aufgerufen am 12.12.2022
- [32] Goethe Universität Frankfurt am Main: „Voltasche Säule“, https://www.uni-frankfurt.de/74904067/PSE_Aluminium___Voltasche_Saeule.pdf, aufgerufen November 2022
- [33] InsideTesla: „Tesla Roadster: Die Geschichte des ersten E-Supersportwagens – von 2008 bis 2021“, <https://insidetesla.de/tesla-roadster-geschichte-supersportwagen/>, aufgerufen November 2022
- [34] Ismail Kasikci: Elektrotechnik für Architekten, Bauingenieure und Gebäudetechniker: "Grundlagen und Anwendung in der Gebäudeplanung", Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2013, 2018, 2. Auflage

- [35] Ismail Kasikci: Planung von Elektroanlagen: Theorie, Vorschriften, Praxis", Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, 2015, 2018, 3. Auflage
- [36] ITWissen.info: „On-Board-Ladegeräte“, <https://www.itwissen.info/On-Board-Ladegeraet-on-board-charger-automotive-OBC.html>, aufgerufen November 2022
- [37] Jürgen Klinger: „Ladeinfrastruktur für Elektromobilität im privaten und halböffentlichen Bereich“, VDE VERLAG GMBH, 2018
- [38] Kraftfahrtbundesamt: „Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2012 bis 2022 [Graph]“, Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/265995/umfrage/anzahl-der-elektroautos-in-deutschland/> aufgerufen am 18. November, 2022
- [39] Kraftfahrtbundesamt: „Inländerfahrleistung“, https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_inlaenderfahrleistung/2020/2020_vk_kurzbericht.html#:~:text=Die%20durchschnittliche%20Jahresfahrleistung%20je%20Pkw%20mit%20Diesel%20Motor%20ist%20weiter,Jahr%20auf%2010.395%20km%20zur%C3%BCck., aufgerufen am 08.12.2022
- [40] Kraftfahrtbundesamt: „Pressemitteilung Nr. 10/2022: Der Fahrzeugbestand am 01. Januar 2022“, https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilungen/DE/2022/pm_10_2022_bestand_01_22.pdf?__blob=publicationFile&v=9, aufgerufen am 18. November 2022
- [41] Kraftfahrtbundesamt: „Zahlen, Daten, Fakten“, https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/umwelt_node.html, aufgerufen November 2022

- [42] Ladesäulenverordnung: <http://www.gesetze-im-internet.de/lsv/index.html#BJNR045700016BJNE000500000>, aufgerufen am November 2022
- [43] Marcel Linnemann, Christoph Nagel: „Elektromobilität und die Rolle der Energiewirtschaft: Rechte und Pflichten eines Ladesäulenbetreibers“, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020
- [44] Martin Doppelbauer: „Grundlagen der Elektromobilität: Technik, Praxis, Energie und Umwelt“, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2020
- [45] MITTELDEUTSCHER RUNDFUNK: „Europas größtes Batteriezellenwerk CATL kann starten“, <https://www.mdr.de/nachrichten/thueringen/mitte-thueringen/arnstadt-ilmkreis/catl-batteriezellenwerk-erfurter-kreuz-100.html>, aufgerufen November 2022
- [46] Nationale Plattform Elektromobilität: „Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur“, Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität der Bundesregierung (GGEMO), 2013
- [47] Next-Mobility: E-Mobilität: Anforderungen an On-Board-Ladesysteme“, <https://www.next-mobility.de/e-mobilitaet-anforderungen-an-on-board-ladesysteme-a-887924/>, aufgerufen November 2022
- [48] Niederspannungsanschlussverordnung: <http://www.gesetze-im-internet.de/nav/index.html>, Bundesministerium der Justiz, aufgerufen am 03.01.2023
- [49] Olaf Schulze: „Elektromobilität: Ein Ratgeber für Entscheider, Errichter, Betreiber und Nutzer“, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Springer Nature 2022

- [50] Projektierungshilfe: „ Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen“, https://www.vde-verlag.de/buecher/leseprobe/9783800746910_PROBE_01.pdf, aufgerufen am 02.01.2023
- [51] Przemyslaw Komarnicki, Jens Haubrock, et.al.: „Elektromobilität und Sektorenkopplung: Infrastruktur- und Systemkomponenten“, Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2018, 2020, 2. Auflage, S. 148
- [52] Reiner Korthauer: "Handbuch Lithium Ionen Batterien", Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, S. 177 - S. 178
- [53] Rolf Rüdiger Cichowski: „ Elektroinstallation und Ladeinfrastruktur der Elektromobilität“, VDE VERLAG GMBH, 2021
- [54] Sozialdemokratische Partei Deutschlands, Bündnis 90/Die Grünen, et.al.: „Mehr Fortschritt wagen: Koalitionsvertrag 2021-2025“, Schloemer & Partner GmbH, Dezember 2021, S. 40, ff.
- [55] Stadtverwaltung Bad Blankenburg: „Die Stadt in Zahlen“, <https://www.bad-blankenburger.de/cms/page/mod/hs/content.php?sid=qt291336662088R&eid=38>, aufgerufen November 2022
- [56] Statistisches Bundesamt: „Durchschnittliche Anzahl der Haushaltsmitglieder in Deutschland von 1991 bis 2021 [Graph].“, Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156957/umfrage/durchschnittliche-anzahl-der-haushaltsmitglieder-in-deutschland-seit-1991/>, aufgerufen Dezember 2022

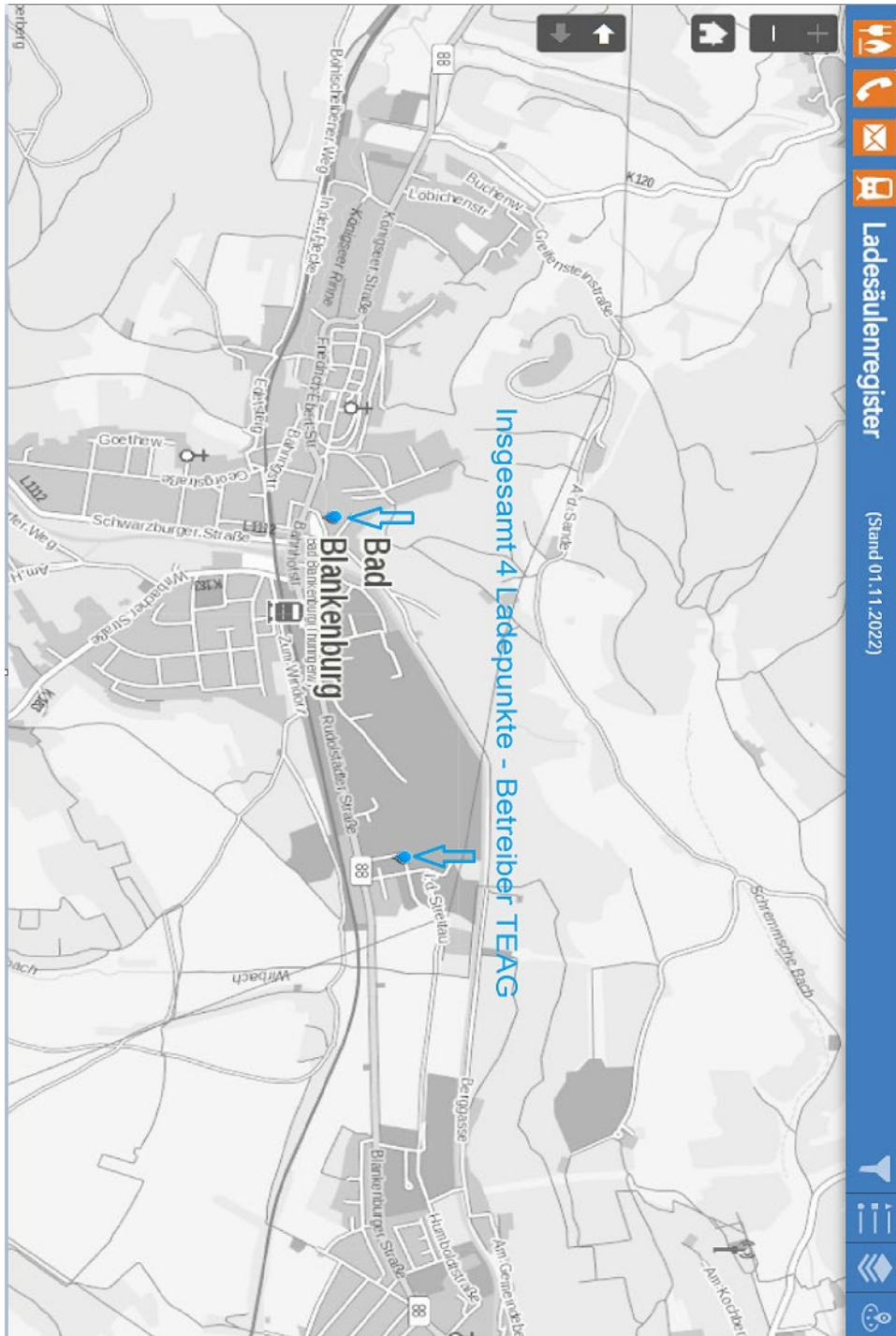
- [57] Statistisches Bundesamt: „Kraftstoffpreise an öffentlichen Tankstellen“, https://www.dashboard-deutschland.de/indicator/tile_1667921381760?origin=startpage, aufruf am 25.01.2023, 16:50 Uhr
- [58] Statistisches Bundesamt: „Verteilung der Haushalte in Deutschland nach Miete und Eigentum von 1998 bis 2018 [Graph].“, Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/237719/umfrage/verteilung-der-haushalte-in-deutschland-nach-miete-und-eigentum/>, aufgerufen November 2022
- [59] Store + Charge GmbH: „1 phasiges Laden“, <https://www.store-charge.com/service-und-ratgeber/wissenswertes/ladesysteme/1-phasiges-laden/>, aufgerufen am 17.11.2022
- [60] TEAG Mobil GmbH: „Kalkulation Standort E, D, C, B, A“, erstellt am 25.01.2023
- [61] TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG: „Preisblatt zu Ergänzenden Bedingungen von TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG zur Niederspannungsanschlussverordnung (NAV)“, <https://www.thueringer-energienetze.com/Anschluss/Stromnetz/Hausanschluss>, aufgerufen Dezember 2022
- [62] Tesla Germany GmbH: „Support: Borladegerät“, https://www.tesla.com/de_DE/support/home-charging-installation/onboard-charger, aufgerufen am 17.11.2022
- [63] Thüringer Landesamt für Statistik: „Gemeinde: Bad Blankenburg, Stadt“, <https://statistik.thueringen.de/datenbank/portrait.asp?TabelleID=GG000102&auswahl=gem&nr=73005&Aevas2=Aevas2&SZDT=>, Stand 31.12.2021, aufgerufen November 2022

- [64] Thüringer Landesamt für Statistik: „Landkreis: Saalfeld-Rudolstadt“, <https://www.statistik.thueringen.de/datenbank/portrait.asp?auswahl=krs&nr=73&vonbis=&TabelleID=kr000102>, aufgerufen am November 2022
- [65] VBEW: „E-Mobilität: Netzanschluss und Netzverträglichkeit von Ladeeinrichtungen“; Verband der Bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft e. V. – VBEW Arbeitsausschuss „Netztechnik“, April 2019
- [66] VDE-AR-N-4100: „Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Niederspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Niederspannung)“, VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., April 2019
- [67] Volkswagen AG: „Unter Strom: Volkswagen Elektromobilität seit 1972“, <https://www.volkswagen-classic.de/de/Magazine/Electromobility/Model-History-of-Volkswagen-Electromobility-since-1972.html>, aufgerufen November 2022
- [68] Volkswagen AG: „Wie kann ich mein E-Auto laden?“, <https://www.volkswagen.de/de/elektrofahrzeuge/laden-und-reichweite/wie-kann-ich-laden.html>, aufgerufen am 17.11.2022
- [69] Westfälische Wilhelms-Universität Münster: „Alessandro Volta – Erfinder der Batterie“, https://www.uni-muenster.de/Baccara/de/news/International_Battery_Day.shtml, aufgerufen November 2022
- [70] Wikipedia: „Andreas Flocken“, https://de.wikipedia.org/wiki/Andreas_Flocken, aufgerufen November 2022
- [71] Wikipedia: „Barlow-Rad“, <https://de.wikipedia.org/wiki/Barlow-Rad>, aufgerufen November 2022

- [72] Wikipedia: „SAE J1772“, https://de.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772, aufgerufen November 2022
- [72] Wikipedia: „Voltasche Säule“, https://de.wikipedia.org/wiki/Voltasche_S%C3%A4ule, aufgerufen November 2022
- [74] Wohnungsbaugesellschaft Bad Blankenburg GmbH: „Das Magazin für Ihr Zuhause: 60 Jahre Siedlung Bad Blankenburg“, Rhön-Rennsteig-Verlag GmbH, Ausgabe 2013
- [75] Zählerschrank 24: „Erdleitung PVC NYJ-J 5x25 mm² RM 1m schwarz“, <https://www.zaehlerschrank24.de/erdleitung-pvc-nyj-j-5x25-mm-1-m-schwarz.html>, aufgerufen am 02.01.2023
- [76] Zweites Deutsches Fernsehen: „Wissing will eine Million E-Auto-Ladepunkte“, <https://www.zdf.de/nachrichten/politik/verkehrsminister-wissing-ausbau-ladenetz-e-autos-100.html#:~:text=Die%20Bundesregierung%20will%20eine%20Million,f%C3%BCr%20die%20E%2DMobilit%C3%A4t%20werden.>, aufgerufen am 15.11.2022

Anlage A

Auszug Ladesäulenregister [22]



Anlage B

Mail vom 14.11.2022 mit dem Betreff: Zuarbeit




Mo 14.11.2022 09:41

Andrea Günther-Behrendt <a_behrendt@wbgb.de>

Zuarbeit

An  Pfeiffer, Dirk

Cc Volker Markert

 Zur Nachverfolgung. Beginn am Montag, 14. November 2022. Fällig am Montag, 14. November 2022.



Siedlung.jpg
.jpg-Datei

Sehr geehrter Herr Pfeiffer,

unser Geschäftsführer Herr Markert hat mich beauftragt Ihnen ein paar Daten zur Siedlung zukommen zu lassen.

In der Anlage sende ich Ihnen dazu einen Plan der Siedlung.

In unserem Bestand befinden sich 1339 Wohnungen.

Die Wohnungsgenossenschaft hat zusätzlich noch ca. 170 Wohnungen in Ihrem Bestand in der Siedlung.

Ebenso gibt es ca. 40 bis 50 weitere Wohnungen in privatem Bestand im Wohngebiet.

Ganz Bad Blankenburg hat ca. 6000 Einwohner, hier die kleineren umliegenden Ortschaften inbegriffen.

Man geht aber davon aus, dass ca. die Hälfte der Einwohner in der Siedlung wohnen. Allerdings kann ich diese Zahlen nicht belegen.

Sollten Sie noch weitere Fragen haben, können Sie mich gern kontaktieren.

Ihnen einen schönen Tag.

Freundliche Grüße

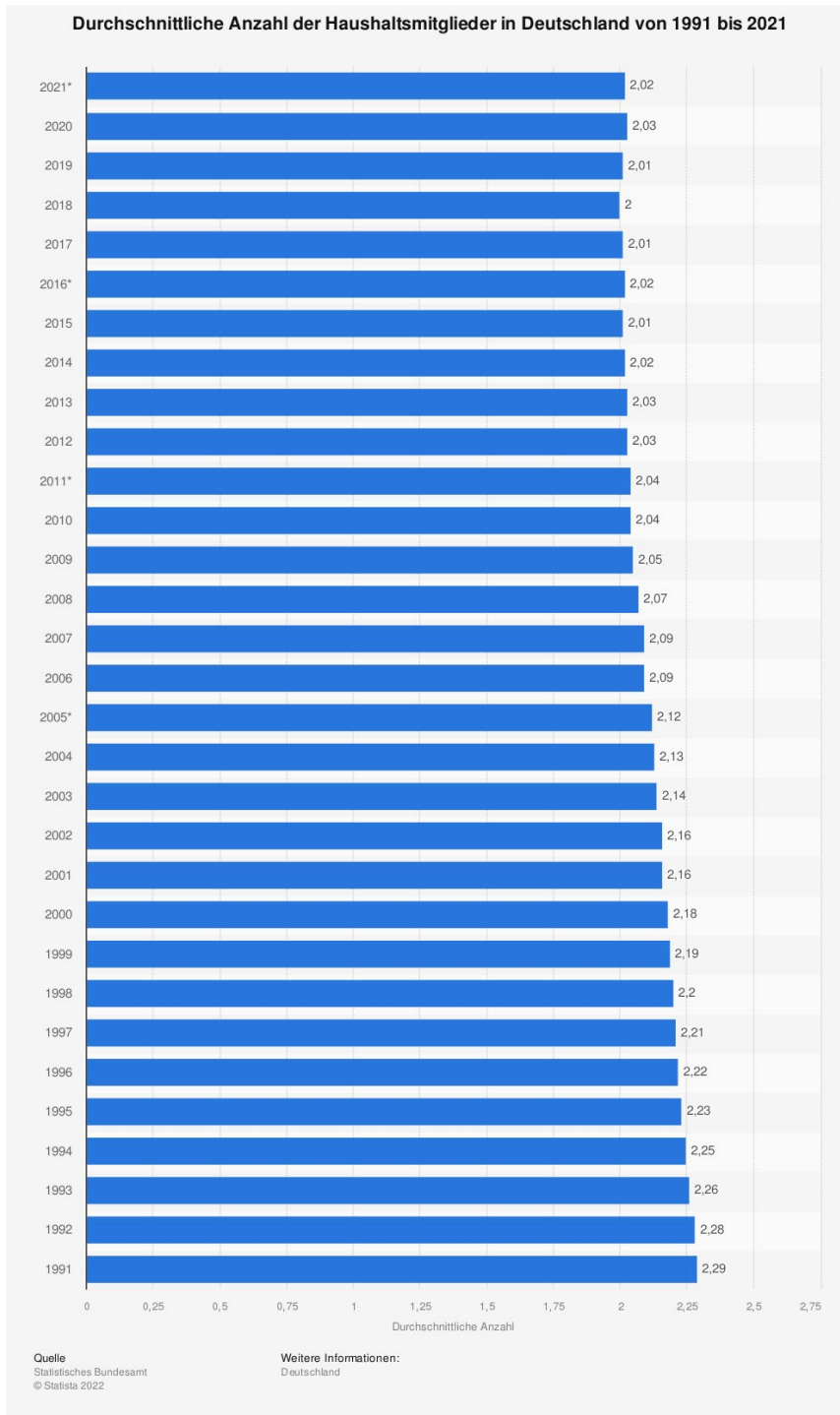
Andrea Günther-Behrendt

BL Bestandsverwaltung /HBV

Wohnungsbaugesellschaft Bad Blankenburg GmbH

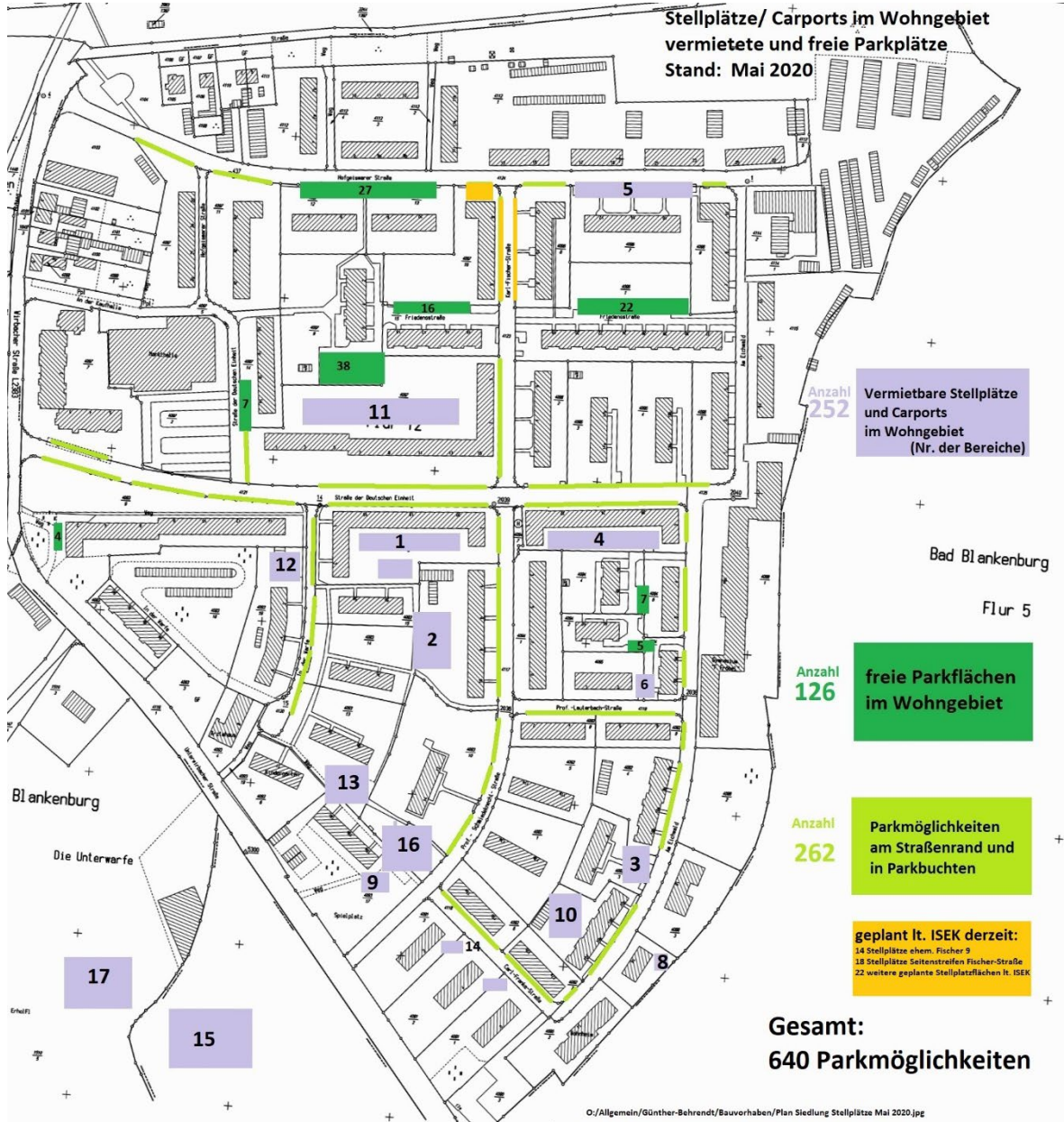
Anlage C

Durchschnittliche Anzahl der Haushaltsmitglieder in Deutschland von 1991 bis 2021 [56]



Anlage D

Plan der Siedlung mit Stellplätzen zum Stand Mai 2020



Anlage E

Einstellen der Stromstärke [1]

ABL

04_Stromstärke_bzw_Ladeleistung_einstellen

1	Dieses Video zeigt, wie die Stromstärke bzw. Ladeleistung eingestellt werden kann
2	In der Dropdown-Liste „COM port auswählen“ den höchsten COM port auswählen
3	In der Dropdown-Liste „Gerätetyp“ den Typ „Charge Controller“ auswählen
4	Den Button „Bus scannen“ auswählen. Die Suche nach verbundenen Geräten läuft
5	Im Listenfeld „Geräte“ werden die erkannten Geräte aufgelistet. Das Gerät „Charge Controller Adresse 1“ auswählen. Die EVCC2 Parameter werden ausgelesen.
6	Im Gruppenfeld „Controller-Einstellungen“ in das Textfeld „Maximale Stromstärke“ die Stromstärke eingeben. Das Textfeld ist mit der maximalen Stromstärke voreingestellt. Die Stromstärke muss mindestens 6 Ampere betragen
7	Im Gruppenfeld „Gerätespezifikation“ den Button „Übertragen“ auswählen. Die Einstellungen werden Übertragen
8	Die Einstellung über den Button „Schließen“ bestätigen
9	Im Listenfeld „Geräte“ das Gerät „Charge Controller Adresse 2“ auswählen. Die EVCC2 Parameter werden ausgelesen
10	Im Gruppenfeld „Controller-Einstellungen“ in das Textfeld „Maximale Stromstärke“ die Stromstärke eingeben. Das Textfeld ist mit der maximalen Stromstärke voreingestellt. Die Stromstärke muss mindestens 6 Ampere betragen
11	Im Gruppenfeld „Gerätespezifikation“ den Button „Übertragen“ auswählen. Die Einstellungen werden Übertragen
12	Die Einstellung über den Button „Schließen“ bestätigen
13	Die ABL Configuration Software über den Button „X“ in der Menüleiste schließen
14	Im Pop-up-Fenster das Schließen der ABL Configuration Software mit „OK“ bestätigen
15	Die Wallbox für mindestens 10 Sekunden stromlos schalten
16	Bei einem erneuten Starten ist die Wallbox mit der eingestellten Stromstärke/ Ladeleistung konfiguriert

Anlage F

Wallbox eMH3 TWIN Controller+ mit Ladesteckdosen 22 kW [1]

TECHNISCHES DATENBLATT

ABL

WALLBOX eMH3 TWIN CONTROLLER+ MIT LADESTECKDOSEN 22 kW

Die eichrechtskonforme Wallbox eMH3 hat zwei interne Typ-2-Ladesteckdosen. Da sie zwei Fahrzeuge gleichzeitig laden kann, ist sie die perfekte Lösung für den halböffentlichen und öffentlichen Bereich. In Gruppeninstallationen übernimmt die Controller-Wallbox eMH3 alle notwendigen Kommunikationsfunktionen wie Abrechnung oder Nutzerverwaltung und ist an ein Backend angebunden. Durch die serienmäßige Ausstattung mit FI Typ A und DC-Fehlerstromerkennung ist die Wallbox für Installateur*innen immer anschlussfertig vorinstalliert und sofort betriebsbereit. Die eMH3 ist „Made in Germany“ und bietet den höchsten Sicherheitsstandard.



Allgemeines

Fabrikat	eMH3
Produktnummer	3W2263
EAN-Nummer	4011721175897
Statistische Warennummer	85371081
Verpackungseinheit (VPE)	1 Stück
Verpackung (Abmessung HxBxT)	588 x 487 x 381 mm
Lieferumfang	Wallbox, gedruckte Bedienungsanleitung, 1 Dreikantschlüssel, Montage-Set

Eingang / Stromanschluss

Netzanschluss	Zuleitung bis max. 16 mm ² bzw. Kabeldurchmesser ≤ 25 mm
Nennspannung	230 / 400 V
Nennstrom	32 A
Nennfrequenz	50 Hz
Vorsicherung	32 A (bauseits erforderlich), empfohlene C-Charakteristik
Anschlussklemmen	Direktanschluss am FI-Schutzschalter PE: Durchgangsreihenklemme

Revisionsstand ABL_3W2263_DE_g_04/22

1

ABL GmbH · Albert-Böttner-Straße 11 · D-91207 Lauf / Pegnitz · Tel. +49 (0) 9123 188-0 · Fax +49 (0) 9123 188-188 · info@abl.de · www.abl.de · www.ablmobility.de

Anlage G

Wallbox eMH3 TWIN Extender+ mit Ladesteckdosen 22 kW [1]

TECHNISCHES DATENBLATT

ABL

WALLBOX eMH3 TWIN EXTENDER+ MIT LADESTECKDOSEN 22 kW

Die eichrechtskonforme Wallbox eMH3 hat zwei interne Typ-2-Ladesteckdosen. Da sie zwei Fahrzeuge gleichzeitig laden kann, ist sie die perfekte Lösung für den halböffentlichen und öffentlichen Bereich. Bei einer Gruppeninstallation können bis zu 7 Wallboxen eMH3 Extender mit einem Controller verbunden werden. Alternativ kann die Wallbox eMH3 per Software für den Stand-alone-Betrieb eingerichtet werden. Durch die serienmäßige Ausstattung mit FI Typ A und DC-Fehlerstromerkennung ist die Wallbox für Installateur*innen immer anschlussfertig vorinstalliert und sofort betriebsbereit. Die eMH3 ist „Made in Germany“ und bietet den höchsten Sicherheitsstandard.



Allgemeines

Fabrikat	eMH3
Produktnummer	3W2253
EAN-Nummer	4011721175980
Statistische Warennummer	85371091
Verpackungseinheit (VPE)	1 Stück
Verpackung (Abmessung HxBxT)	600 x 600 x 300 mm
Lieferumfang	Wallbox, gedruckte Bedienungsanleitung, 1 Dreikantschlüssel, Montage-Set

Eingang / Stromanschluss

Netzanschluss	Zuleitung bis max. 16 mm ² bzw. Kabeldurchmesser ≤ 25 mm
Nennspannung	230 / 400 V
Nennstrom	32 A
Nennfrequenz	50 Hz
Vorsicherung	32 A (bauseits erforderlich), empfohlene C-Charakteristik
Anschlussklemmen	Direktanschluss am FI-Schutzschalter PE: Durchgangsreihenklemme

Anlage H

Kalkulation Standort E [60]

Anlage H



Projekt: Standort E < 30 kW
Wirbacher Straße, 07422 Bad Blankenburg

Datum: 25.01.2023
Angebotsnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	Dienstleistungen			
1.1	Tiefbauarbeiten	1 Psch	2.218,50 €	2.218,50 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche: Pflaster + 2x Fundament für Stole • Vermessung der Kabeltrasse • Aufnehmen der Pflastersteine, inkl. Zwischenlagerung • Herstellung der Kabeltrasse 4 15 m (Grabenprofil 0,8m*0,4m) • Ausheben von 2x Fundamentgraben für Stole • Wiederherstellung der Oberfläche 			
1.2	Elektroinstallation	1 Psch	257,50 €	257,50 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage von Strom- und Kommunikationsleitungen: - NYJ-J 5x 4 mm² 4 40 m - CAT 7 4 10 m • Verlegung der Kabel im Graben, sofern Tiefbauarbeiten anfallen • Inkl. allen Befestigungs- und Anschlussmaterialien 			
1.3	Zähleranschlusskule (ZAS)	1 Stk	1.600,00 €	1.600,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage einer Zähleranschlusskule: • ZAS ZS342T.NS48; Behälter: 583x2010x277,5 mm oder vergleichbar bestehend aus: s. Datenblatt • Inkl. Erdungsanlage • Inkl. aller Anschlüsse und Kleinmaterial • Inkl. Tiefbauarbeiten für Fundament 			
1.4	Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik	1 Psch	2.210,00 €	2.210,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Montage und Anschluss der Ladetechnik • Anschluss der Strom- und Kommunikationsleitungen • VDE Messung mit Inbetriebnahme • Parametrierung der Ladehardware • Herstellung der Backendanbindung • Dokumentation und Einweisung • Inkl. An- und Abfahrt 			
2	AC-Ladeinfrastruktur			
2.1	Wallbox ABL eMHS Twin Controlier+ mit Ladesteckdose	1 Stk	2.495,00 €	2.495,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Wallbox mit zwei Ladepunkten je 11 kW AC Ladeleistung und Typ2 Ladesteckdose • Personenschutz durch internen RCCB Typ A 30 mA und zusätzlich integrierte DC-Fehlerstromerkennung • Zugangsteuerung für den Ladebetrieb über RFID-Kartenleser • Kommunikation mit einem Backend über LTE und OCPP 1.5 • Verbrauchsmessung über integrierten MID-konformen Energiezähler • Lastmanagement-ready mit nachgeschalteten Salvo-Wallboxen • Eichrechtskonforme Abrechnung mittels Eichrechtmodul Logging Gateway (LWG) <p>Lieferzeit: Genaue Liefertermine können erst nach Bestätigung durch den Lieferanten definiert werden. Produktnummer: 3W2263</p>			

Anlage H



Projekt: Standort E < 30 kW
Wirbacher Straße, 07422 Bad Blankenburg

Datum: 25.01.2023
Angebotnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
2.2	Wallbox ABL eMH3 Twin Extender+ mit Ladesteckdose <ul style="list-style-type: none"> • Wallbox mit zwei Ladepunkten je 11 kW AC Ladeleistung und Typ2 Ladesteckdose • Personenschutz durch internen RCCB Typ A 30 mA und zusätzlich integrierte DC-Fehlerstromerkennung • Zugangsteuerung für den Ladebetrieb über RFID-Kartenleser • Kommunikation mit einem Backend über LTE und OCPP 1.6 • Verbrauchsmessung über integrierten MID-konformen Energiezähler • Lastmanagement-ready mit nachgeschalteten Salve-Wallboxen Lieferzeit: Genaue Liefertermine können erst nach Bestätigung durch den Lieferanten definiert werden. Produktnummer: 3W2253	1 Stk	2.446,90 €	2.446,90 €
2.3	Premium Metallstake für eine eMH3 Wallbox inkl. Zubehör <ul style="list-style-type: none"> • Metallstake zur Befestigung und freistehenden Montage einer eMH3 Wallbox • LED-Beleuchtung mit Dämmerungssensor • Fertigteilfundament zur einfachen Montage der Stake (EMH9999) • Produktnummer: POLEMH3 	2 Stk	836,11 €	1.672,22 €
2.4	Wetterschutzdach für eMH3 Wallboxen <ul style="list-style-type: none"> • Wetterschutzdach zur Montage an einer Stake (POLEMH3 oder POLEMH6) oder zur direkten Montage an der Wand • Zusätzlicher Schutz vor Witterung • Produktnummer: WPR36 	2 Stk	60,00 €	120,00 €
3	Sonstiges			
3.1	Beschilderung der Parkflächen <ul style="list-style-type: none"> • Beschilderung der Parkflächen gemäß der aktuellen Ladesäulenverordnung (LSV) • inkl. Montage 	1 Stk	400,00 €	400,00 €
3.2	Anfahrerschutz <ul style="list-style-type: none"> • Hartgummi-Anfahrerschutz inkl. Montage • Schutz der Ladepunkte gegen Beschädigung einparkender Fahrzeuge 	4 Stk	75,00 €	300,00 €
3.3	Markierung der Parkflächen <ul style="list-style-type: none"> • Markierung der Parkflächen gemäß der aktuellen Ladesäulenverordnung (LSV) • Piktogramm je Elektroparkplatz 	4 Stk	180,00 €	720,00 €
Summe, netto:				14.440,12 €
MwSt 19%:				2.743,62 €
Summe, brutto:				<u>17.183,74 €</u>

Anlage I

Kalkulation Standort D, C [60]

Anlage I



Projekt: Standort D, C
Am Eichwald, 07422 Bad Blankenburg

Datum: 25.01.2023
Angebotsnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	Dienstleistungen			
1.1	Tiefbauarbeiten	1 Psch	2.240,00 €	2.240,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche: Rasen + 3x Fundament für Stäbe • Vermessung der Kabeltrasse • Herstellung der Kabeltrasse à 20 m (Grabenprofil 0,8m*0,4m) • Ausheben von 3x Fundamentgräben für Stäbe • Wiederherstellung der Oberfläche 			
1.2	Elektroinstallation	1 Psch	460,00 €	460,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage von Strom- und Kommunikationsleitungen: - NYW-J 5x 4 mm² à 70 m - CAT 7 à 15 m • Verlegung der Kabel im Graben, sofern Tiefbauarbeiten anfallen • Inkl. allen Befestigungs- und Anschlussmaterialien 			
1.3	Zähleranschlusskule (ZAS)	1 Stk	1.600,00 €	1.600,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage einer Zähleranschlusskule: • ZAS ZS342T.NS.48. BehälT: 583x2010x277,5 mm oder vergleichbar bestehend aus: s. Datenblatt • Inkl. Erdungsanlage • Inkl. aller Anschlüsse und Kleinmaterial • Inkl. Tiefbauarbeiten für Fundament 			
1.4	Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik	1 Psch	3.315,00 €	3.315,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Montage und Anschluss der Ladetechnik • Anschluss der Strom- und Kommunikationsleitungen • VDE Messung mit Inbetriebnahme • Parametrierung der Ladehardware • Herstellung der Backendenbindung • Dokumentation und Einweisung • Inkl. An- und Abfahrt 			
2	AC-Ladeinfrastruktur			
2.1	Wallbox ABL eMHS Twin Controller + mit Ladesteckdose	1 Stk	2.495,00 €	2.495,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Wallbox mit zwei Ladepunkten je 11 kW AC Ladeleistung und Typ2 Ladesteckdose • Personenschutz durch internen RCCB Typ A 30 mA und zusätzlich integrierte DC-Fehlerstromerkennung • Zugangsteuerung für den Ladebetrieb über RFID-Kartenleser • Kommunikation mit einem Backend über LTE und OCPP 1.6 • Verbrauchsmessung über integrierten MID-konformen Energiezähler • Lastmanagement-ready mit nachgeschalteten Salve-Wallboxen • Eichrechtskonforme Abrechnung mittels Eichrechtmodul Logging Gateway (LGW) <p>Lieferzeit: Genaue Liefertermine können erst nach Bestätigung durch den Lieferanten definiert werden. Produktnummer: 3W2263</p>			

Anlage I



Projekt: Standort D, C
Am Eichwald, 07422 Bad Blankenburg

Datum: 25.01.2023
Angebotsnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
2.2	Wallbox ABL eMH3 Twin Extender+ mit Ladesteckdose <ul style="list-style-type: none"> • Wallbox mit zwei Ladepunkten je 11 kW AC Ladeleistung und Typ2 Ladesteckdose • Personenschutz durch internen RCCB Typ A 30 mA und zusätzlich integrierte DC-Fehlerstromerkennung • Zugangsteuerung für den Ladebetrieb über RFID-Kartenleser • Kommunikation mit einem Backend über LTE und OCPP 1.6 • Verbrauchsmessung über integrierten MID-konformen Energiezähler • Lastmanagement-ready mit nachgeschalteten Salve-Wallboxen <p>Lieferzeit: Genaue Liefertermine können erst nach Bestätigung durch den Lieferanten definiert werden. Produktnummer: 3W2253</p>	2 Stk	2.446,90 €	4.893,80 €
2.3	Premium Metallstake für eine eMH3 Wallbox inkl. Zubehör <ul style="list-style-type: none"> • Metallstake zur Befestigung und freistehenden Montage einer eMH3 Wallbox • LED-Beleuchtung mit Dämmerungssensor • Fertigteilfundament zur einfachen Montage der Stake (EMH9999) • Produktnummer: POLEMH3 	3 Stk	836,11 €	2.508,33 €
2.4	Witterschutzdach für eMH3 Wallboxen <ul style="list-style-type: none"> • Witterschutzdach zur Montage an einer Stake (POLEMH3 oder POLEMH6) oder zur direkten Montage an der Wand • Zusätzlicher Schutz vor Witterung • Produktnummer: WPR36 	3 Stk	60,00 €	180,00 €
3	Sonstiges			
3.1	Beschilderung der Parkflächen <ul style="list-style-type: none"> • Beschilderung der Parkflächen gemäß der aktuellen Ladesäulenverordnung (LSV) • inkl. Montage 	1 Stk	400,00 €	400,00 €
3.2	Anfahrschutz <ul style="list-style-type: none"> • Hartgummianfahrschutz inkl. Montage • Schutz der Ladepunkte gegen Beschädigung einparkender Fahrzeuge 	6 Stk	75,00 €	450,00 €
3.3	Markierung der Parkflächen <ul style="list-style-type: none"> • Markierung der Parkflächen gemäß der aktuellen Ladesäulenverordnung (LSV) • Piktogramm je Elektroparkplatz 	6 Stk	180,00 €	1.080,00 €
Summe, netto:				19.622,13 €
MwSt 19%:				3.728,20 €
Summe, brutto:				23.350,33 €

Anlage J

Kalkulation Standort B [60]

Anlage J



Projekt: Standort B Hofgelsamer Straße, 07422 Bad Blankenburg Datum: 25.01.2023
Angebotsummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	Dienstleistungen			
1.1	Tiefbauarbeiten	1 Psch	2.152,50 €	2.152,50 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche: Rasen + 3x Fundament für Stole • Vermessung der Kabeltrasse • Herstellung der Kabeltrasse à 15 m (Grabenprofil 0,8m*0,4m) • Ausheben von 3x Fundamentgraben für Stole • Wiederherstellung der Oberfläche 			
1.2	Elektroinstallation	1 Psch	350,00 €	350,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage von Strom- und Kommunikationsleitungen: - NYY-J 5x 4 mm² à 90 m - CAT 7 à 20 m • Verlegung der Kabel im Graben, sofern Tiefbauarbeiten anfallen • Inkl. allen Befestigungs- und Anschlussmaterialien 			
1.3	Zähleranschlusskule (ZAS)	1 Stk	1.600,00 €	1.600,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage einer Zähleranschlusskule: • ZAS 25342T.N5.48: BxHxT: 583x2010x277,5 mm oder vergleichbar bestehend aus: s. Datenblatt • Inkl. Erdungsanlage • Inkl. aller Anschlüsse und Kleinmaterial • Inkl. Tiefbauarbeiten für Fundament 			
1.4	Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik	1 Psch	3.315,00 €	3.315,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Montage und Anschluss der Ladetechnik • Anschluss der Strom- und Kommunikationsleitungen • VDE Messung mit Inbetriebnahme • Parametrierung der Ladehardware • Herstellung der Backendanbindung • Dokumentation und Einweisung • Inkl. An- und Abfahrt 			
2	AC-Ladeinfrastruktur			
2.1	Wallbox ABL eMHS Twin Controller+ mit Ladesteckdose	1 Stk	2.495,00 €	2.495,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Wallbox mit zwei Ladepunkten je 11 kW AC Ladeleistung und Typ2 Ladesteckdose • Personenschutz durch internen RCCB Typ A 30 mA und zusätzlich integrierte DC-Fehlerstromerkennung • Zugangsteuerung für den Ladebetrieb über RFID-Kartenleser • Kommunikation mit einem Backend über LTE und OCPP 1.6 • Verbrauchsmessung über integrierten MID-konformen Energiezähler • Lastmanagement-ready mit nachgeschalteten Salvo-Wallboxen • Eichrechtskonforme Abrechnung mittels Eichrechtmodul Logging Gateway (LWG) <p>Lieferzeit: Genaue Liefertermine können erst nach Bestätigung durch den Lieferanten definiert werden. Produktnummer: 3W2263</p>			

Anlage J



Projekt: Standort B Hofgelsmarer Straße, 07422 Bad Blankenburg Datum: 25.01.2023
Angebotnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge		Einzelpreis	Gesamtpreis
2.2	Wallbox ABL eMH3 Twin Extender+ mit Ladesteckdose <ul style="list-style-type: none"> • Wallbox mit zwei Ladepunkten je 11 kW AC Ladeleistung und Typ2 Ladesteckdose • Personenschutz durch internen RCCB Typ A 30 mA und zusätzlich integrierte DC-Fehlerstromerkennung • Zugangsteuerung für den Ladebetrieb über RFID-Kartenleser • Kommunikation mit einem Backend über LTE und OCPP 1.6 • Verbrauchsmessung über integrierten MID-konformen Energiezähler • Lastmanagement-ready mit nachgeschalteten Selve-Wallboxen Lieferzeit: Genaue Liefertermine können erst nach Bestätigung durch den Lieferanten definiert werden. Produktnummer: 3W2253	2	Stk	2.446,90 €	4.893,80 €
2.3	Premium Metallstiele für eine eMH3 Wallbox inkl. Zubehör <ul style="list-style-type: none"> • Metallstiele zur Befestigung und freistehenden Montage einer eMH3 Wallbox • LED-Beleuchtung mit Dämmerungssensor • Fertigteilfundament zur einfachen Montage der Stiele (EMH9999) • Produktnummer: POLEMH3 	3	Stk	836,11 €	2.508,33 €
2.4	Witterschutzdach für eMH3 Wallboxen <ul style="list-style-type: none"> • Witterschutzdach zur Montage an einer Stiele (POLEMH3 oder POLEMH6) oder zur direkten Montage an der Wand • Zusätzlicher Schutz vor Witterung • Produktnummer: WPR36 	3	Stk	60,00 €	180,00 €
3	Sonstiges				
3.1	Beschilderung der Parkflächen <ul style="list-style-type: none"> • Beschilderung der Parkflächen gemäß der aktuellen Ladesäulenverordnung (LSV) • inkl. Montage 	1	Stk	400,00 €	400,00 €
3.2	Anfahrschutz <ul style="list-style-type: none"> • Hartgummianfahrschutz inkl. Montage • Schutz der Ladepunkte gegen Beschädigung einparkender Fahrzeuge 	6	Stk	75,00 €	450,00 €
3.3	Markierung der Parkflächen <ul style="list-style-type: none"> • Markierung der Parkflächen gemäß der aktuellen Ladesäulenverordnung (LSV) • Piktogramm je Elektroparkplatz 	6	Stk	180,00 €	1.080,00 €
				Summe, netto:	19.424,63 €
				MwSt 19%:	3.690,68 €
				Summe, brutto:	23.115,31 €

Anlage K

Kalkulation Standort A [60]

Anlage K



Projekt: Standort A
Friedensstraße, 07422 Bad Blankenburg

Datum: 25.01.2023
Angebotnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	Dienstleistungen			
1.1	Tiefbauarbeiten	1 Psch	4.480,00 €	4.480,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Oberfläche: Rasen + 6x Fundament für Stele • Vermessung der Kabeltrasse • Herstellung der Kabeltrasse à 40 m (Grabenprofil 0,8m*0,4m) • Ausheben von 6x Fundamentgräben für Stele • Wiederherstellung der Oberfläche 			
1.2	Elektroinstallation	1 Psch	1.965,00 €	1.965,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage von Strom- und Kommunikationsleitungen: - NYY-J 5x 25 mm² à 10 m - NYY-J 5x 6 mm² à 250 m - CAT 7 à 40 m • Verlegung der Kabel im Graben, sofern Tiefbauarbeiten anfallen • Inkl. allen Befestigungs- und Anschlussmaterialien 			
1.3	Niederspannungverteiler	1 Stk	2.795,10 €	2.795,10 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage eines Niederspannungsvertellers: - Niederspannungverteiler: A850-1 LUV, Abm. H 1065 x B 785 x T 322 bestehend aus: s. Datenblatt • inkl. aller Anschlüsse und Kleinmaterial • Inkl. Tiefbauarbeiten für Fundament 			
1.4	Wandermessschrank	1 Stk	3.400,00 €	3.400,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage eines Wandermessschrankes: - Wanderschrank A850-3 250 A, Abm. außen: H 1080 x B 1445 x T 322 mm bestehend aus: s. Datenblatt • Inkl. Erdungsanlage • Inkl. aller Anschlüsse und Kleinmaterial • Inkl. Tiefbauarbeiten für Fundament 			
1.5	Installation und Inbetriebnahme der Ladetechnik	1 Psch	6.630,00 €	6.630,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Montage und Anschluss der Ladetechnik • Anschluss der Strom- und Kommunikationsleitungen • VDE Messung mit Inbetriebnahme • Parametrierung der Ladehardware • Herstellung der Backendenbindung • Dokumentation und Einweisung • Inkl. An- und Abfahrt 			

Anlage K



Projekt: Standort A
Friedensstraße, 07422 Bad Blankenburg

Datum: 25.01.2023
Angebotsnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
2	AC-Ladeinfrastruktur			
2.1	Wallbox ABL eMH3 Twin Controller+ mit Ladesteckdose <ul style="list-style-type: none"> • Wallbox mit zwei Ladepunkten je 11 kW AC Ladeleistung und Typ2 Ladesteckdose • Personenschutz durch internen RCCB Typ A 30 mA und zusätzlich integrierte DC-Fehlerstromerkennung • Zugangsteuerung für den Ladebetrieb über RFID-Kartenleser • Kommunikation mit einem Backend über LTE und OCPP 1.6 • Verbrauchsmessung über integrierten MID-konformen Energiezähler • Lastmanagement-ready mit nachgeschalteten Salve-Wallboxen • Eichrechtkonforme Abrechnung mittels Eichrechtmodul Logging Gateway (LGW) Lieferzeit: Genaue Liefertermine können erst nach Bestätigung durch den Lieferanten definiert werden. Produktnummer: 3W2263	1 Stk	2.495,00 €	2.495,00 €
2.2	Wallbox ABL eMH3 Twin Extender+ mit Ladesteckdose <ul style="list-style-type: none"> • Wallbox mit zwei Ladepunkten je 11 kW AC Ladeleistung und Typ2 Ladesteckdose • Personenschutz durch internen RCCB Typ A 30 mA und zusätzlich integrierte DC-Fehlerstromerkennung • Zugangsteuerung für den Ladebetrieb über RFID-Kartenleser • Kommunikation mit einem Backend über LTE und OCPP 1.6 • Verbrauchsmessung über integrierten MID-konformen Energiezähler • Lastmanagement-ready mit nachgeschalteten Salve-Wallboxen Lieferzeit: Genaue Liefertermine können erst nach Bestätigung durch den Lieferanten definiert werden. Produktnummer: 3W2253	5 Stk	2.446,90 €	12.234,50 €
2.3	Premium Metallstake für eine eMH3 Wallbox inkl. Zubehör <ul style="list-style-type: none"> • Metallstake zur Befestigung und freistehenden Montage einer eMH3 Wallbox • LED-Beleuchtung mit Dämmerungssensor • Fertigtaillfundament zur einfachen Montage der Stake (EMH9999) • Produktnummer: POLEMH3 	6 Stk	836,11 €	5.016,66 €
2.4	Wetterschutzdach für eMH3 Wallboxen <ul style="list-style-type: none"> • Wetterschutzdach zur Montage an einer Stake (POLEMH3 oder POLEMHS) oder zur direkten Montage an der Wand • Zusätzlicher Schutz vor Witterung • Produktnummer: WPR36 	6 Stk	60,00 €	360,00 €

Anlage K



Projekt: Standort A
Friedensstraße, 07422 Bad Blankenburg

Datum: 25.01.2023
Angebotnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
3	Sonstiges			
3.1	Beschilderung der Parkflächen • Beschilderung der Parkflächen gemäß der aktuellen Ladesäulenverordnung (LSV) • inkl. Montage	1 Stk	400,00 €	400,00 €
3.2	Anfahrschutz • Hartgummianfahrschutz inkl. Montage • Schutz der Ladepunkte gegen Beschädigung einparkender Fahrzeuge	12 Stk	75,00 €	900,00 €
3.3	Markierung der Parkflächen • Markierung der Parkflächen gemäß der aktuellen Ladesäulenverordnung (LSV) • Piktogramm je Elektroparkplatz	12 Stk	180,00 €	2.160,00 €
Summe, netto:				42.836,26 €
MwSt 19%:				8.138,89 €
Summe, brutto:				50.975,15 €

Anlage L

Kalkulation Wandlernesschrank [60]

Anlage L



Projekt: Standort E > 30 kW
Wirbacher Straße, 07422 Bad Blankenburg

Datum: 25.01.2023
Angebotsnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge	Einzelpreis	Gesamtpreis
1	Dienstleistungen			
1.1	Wandlernesschrank	1 Stk	3.400,00 €	3.400,00 €
	<ul style="list-style-type: none"> • Lieferung und Montage eines Wandlernesschranks: - Wandlernesschrank A850-3 250 A, Abm. außen: H 1080 x B 1445 x T 322 mm bestehend aus: s. Datenblatt • Inkl. Erdungsanlage • inkl. aller Anschlüsse und Kleinmaterial • Inkl. Tiefbauarbeiten für Fundament 			
Summe, netto:				3.400,00 €
MwSt 19%:				646,00 €
Summe, brutto:				<u>4.046,00 €</u>

Anlage M

Auszug aus dem Preisblatt der TEN, Stand Januar 2022 [61]



Preisblatt zu Ergänzenden Bedingungen von TEN Thüringer Energienetze GmbH & Co. KG zur Niederspannungsanschlussverordnung (NAV)

Zu Ziffer 1 – Netzanschluss

Der Anschlussnehmer zahlt dem Netzbetreiber für Herstellung oder Veränderungen des Netzanschlusses die ausgewiesenen Beträge, sofern es sich um:

- einen Erdkabelanschluss mit Nennquerschnitt von 4 x 50 mm² und einer Anschlusslänge des Netzanschlusses bis max. 50 m oder
- einen Freileitungsanschluss bis zu max. 30 m handelt.

Der Anschlussnehmer ist berechtigt, auf seinem Grundstück Erdarbeiten unter Einhaltung der vom Netzbetreiber mitgeteilten technischen Vorgaben in Eigenleistung und auf eigene Verantwortung zu erbringen. Für den selbst geschachteten und wieder verfüllten Graben wird zu Gunsten des Anschlussnehmers der im Preisblatt ausgewiesene Betrag kostenmindernd berücksichtigt.

	Nettopreis in €	Bruttopreis in €
Kabel Neubau 4 x 50 mm ² , Länge bis einschließlich 30 m	2.160,00	2.570,40
Anschlussänderung 4 x 50 mm ² , Länge bis einschließlich 30 m	2.160,00	2.570,40
Kabel Neubau 4 x 50 mm ² , Länge größer 30 m bis einschließlich 50 m	4.035,00	4.801,65
Anschlussänderung 4 x 50 mm ² , Länge größer 30 m bis einschließlich 50 m	4.035,00	4.801,65
Die Anschlusskosten enthalten die Aufwendungen für Tiefbau, Kabelverlegung, -anschluss, Mauerdurchbruch, Hausanschlusskasten und die Inbetriebnahme des Netzanschlusses.		
Gutschrift für Eigenleistung Tiefbau	75,63	90,00
Anschlussänderung Freileitungsanschluss isoliert	818,00	973,42
Freileitungshausanschluss isoliert auf vorhandene Freileitung	648,00	771,12
Die Anschlusskosten enthalten die Aufwendungen für Kabelverlegung, -anschluss, Mauerdurchbruch, Hausanschlusskasten und die Inbetriebnahme des Netzanschlusses.		

Für Netzanschlüsse, die nach Art, Dimension oder Lage von den o. g. Netzanschlüssen wesentlich abweichen, insbesondere bei größeren Anschlusslängen, werden die Netzanschlusskosten individuell kalkuliert und sind vom Anschlussnehmer zu zahlen.

**TEN Thüringer Energienetze
GmbH & Co. KG**
Postfach 90 01 35
99104 Erfurt

www.thueringer-
energienetze.com

Sitz: Erfurt
Schwerbomer Straße 30
99087 Erfurt
Registergericht Jena
HRA 503835
USt-IDNr. DE206810190

UniCredit Bank AG Erfurt
IBAN: DE55 8202 0086
0358 2696 48
BIC: HYVEDE33498

**Persönlich haftender
Gesellschafter:**
TEN Thüringer Energienetze
Geschäftsführungs-GmbH

Geschäftsführer:
Frank-Peter Tille
Ulf Unger

Sitz: Erfurt
Registergericht Jena
HRB 510722

Zu Ziffer 4 – Baukostenzuschuss

Gemäß § 11 der NAV wird ein Baukostenzuschuss im Niederspannungsnetz nur für Leistungen größer 30 kW am Hausanschluss, entspricht der Absicherung von 50 A, erhoben. Die Festlegung der Standardzählervorsicherung für Wohnungen gemäß TAB mit 35 A bleibt davon unberührt. Bei mehreren Wohnungen die an demselben Hausanschluss angeschlossen sind, ergibt sich die unter Berücksichtigung der Durchmischung die anrechenbare Leistung aus DIN 18015.

Die ermittelten und im Preisblatt ausgewiesenen Baukostenzuschüsse gelten einheitlich für Anschlüsse an das Niederspannungsnetz im gesamten Netzgebiet des Netzbetreibers.

Baukostenzuschuss je Netzebene

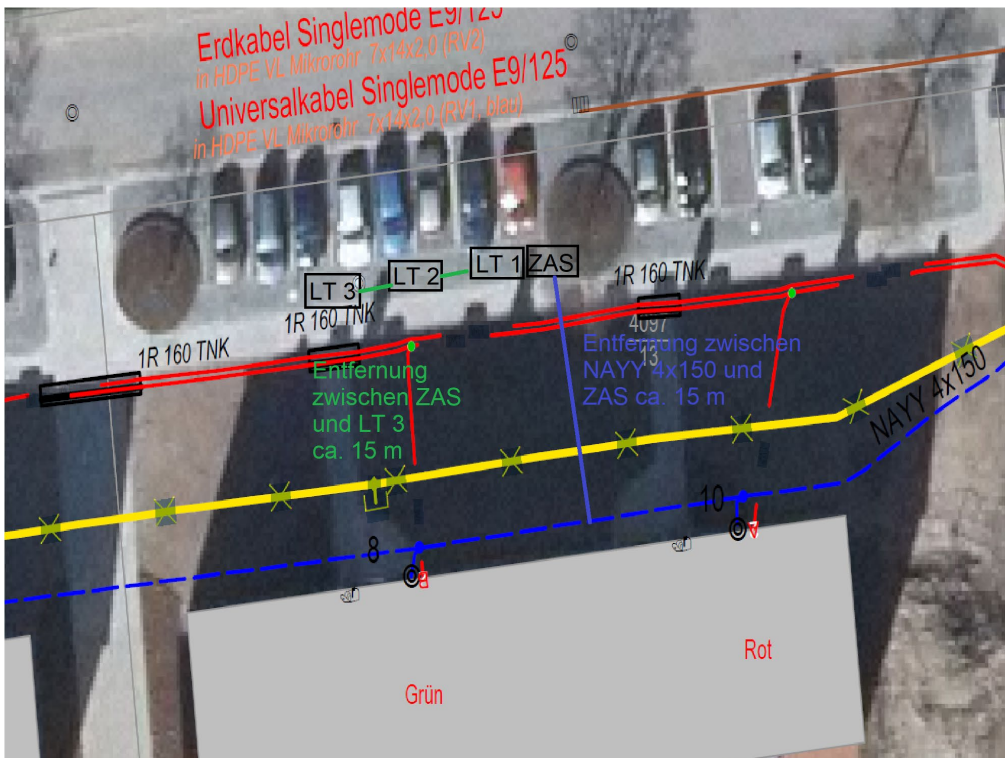
	Nettopreis in €/kW	Bruttopreis in €/kW
Anschluss Ortsnetz (spezifischer Leistungswert) Netzebene 7 (NE7)	89,17	106,11
Anschluss an Station Netzebene 6 (NE 6)	88,54	105,36

gültig ab 1. Januar 2022

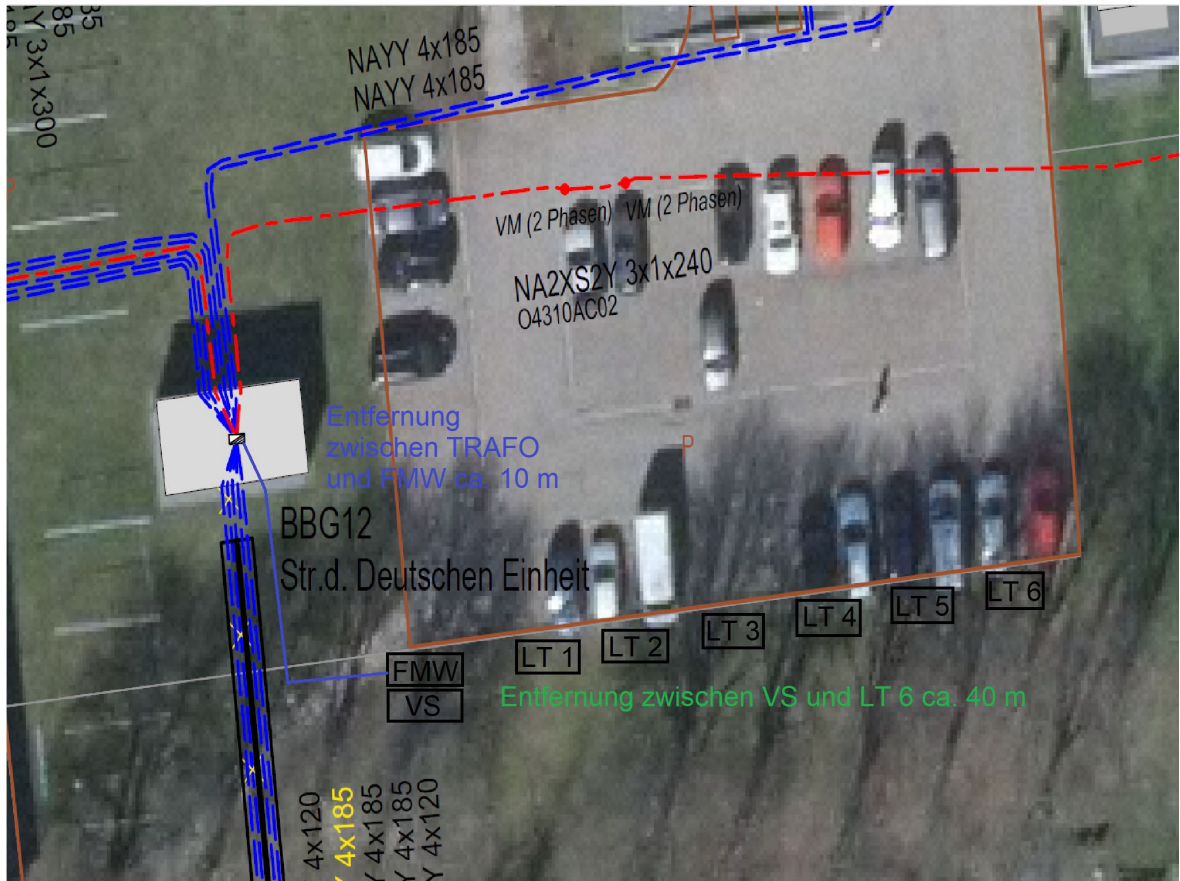
Aufbau Ladehub am Standort C



Aufbau Ladehub am Standort B



Aufbau Ladehub am Standort A



Anlage O

Auszug aus den Schulungsunterlagen der Firma ABL [60]

Kabelquerschnitt bestimmen

11 kW

- Bis 25 m = 5 x 2,5 mm²
- Bis 40 m = 5 x 4,0 mm²
- Bis 70 m = 5 x 6,0 mm²

22 kW

- Bis 30 m = 5 x 6,0 mm²
- Bis 50 m = 5 x 10,0 mm²
- Bis 100 m = 5 x 16,0 mm²

Alle hier angeführten Werte, sowie Empfehlungen zur Wallbox-Installation für Kabelquerschnitte und Kabeltypen sind nur als Richtwerte zu betrachten und ersetzen nicht die Berechnung von Technikern, Elektrikern oder sonstigem Fachpersonal nach bauseitigen Gegebenheiten und elektrotechnischen Vorschriften!



ABL

Anlage P

Kalkulation Backend [60]

Anlage P



Projekt: Backend
Wohnquartier Bad Blankenburg

Datum: 25.01.2023
Angebotsnummer:

Pos.	Kurz-Beschreibung	Menge		Einzelpreis	Gesamtpreis
1	BackEnd-System				
1.1	BackEnd-Anbindung von 34 Ladepunkten Anbindung Ihrer Ladepunkte an ein BackEnd-System zur Nutzung folgender Funktionen: <ul style="list-style-type: none"> • Monitoring und Reporting aller Lademengen • Zugangsbeschränkung und Nutzerverwaltung durch RFID-Kartensystem • Automatische Softwareupdates • Störungsmanagement über Servicehotline zur Ferndiagnose • Abrechnung verschiedener Nutzergruppen • Direktvermarktung Ihrer Ladepunkte als öffentliche Ladepunkte (AdHoc-Laden und Roaming-Vermarktung) • Inkl. SIM-Karte (ausreichendes GSM-Signal am Installationsort der Ladetechnik notwendig) Erstlaufzeit: 24 Monate	1	Psch	6.134,40 €/a	6.134,40 €/a
1.2	Einrichtung und Konfiguration Ihres BackEnds <ul style="list-style-type: none"> • Konfiguration Ihres Ladeparks • Anlegen der Nutzergruppen und Zugangsberechtigungen 	1	Psch	600,00 €	600,00 €

Laufende Kosten Summe, netto: 6.134,40 €/a

MwSt 19%: 1.165,54 €/a

Laufende Kosten Summe, brutto: 7.299,94 €/a

Anlage Q

Q-1: Übersicht über Belastung- und Bestückungsvarianten [66]

Betriebsart		Zählerplätze mit BKE-I oder Dreipunkt-Befestigung nach DIN VDE 0603-2-1					
		Leitungsquerschnitt 10 mm ²			Leitungsquerschnitt 16 mm ²		
		Einfachbelegung	Doppelbelegung		Einfachbelegung	Doppelbelegung	
		Zähler	Zähler 1	Zähler 2	Zähler	Zähler 1	Zähler 2
Bezug ^a	<i>I</i>	≤ 63 A	≤ 63 A	≤ 63 A	≤ 63 A	≤ 63 A	≤ 63 A
	<i>I</i> _{NSH}	≤ 63 A	≤ 63 A	≤ 63 A	≤ 63 A	≤ 63 A	≤ 63 A
Dauerbetriebsstrom	<i>I</i>	≤ 32 A ^b	≤ 32 A ^b	≤ 32 A ^b	≤ 44 A ^b	≤ 32 A	≤ 32 A
	<i>I</i> _{NSH}	≤ 35 A	≤ 35 A	≤ 35 A	≤ 50 A	≤ 35 A	≤ 35 A
Bezug ^a /Dauerbetriebsstrom	<i>I</i>	–	≤ 63 A	≤ 32 A ^b	–	≤ 63 A	≤ 32 A
	<i>I</i> _{NSH}	–	≤ 63 A	≤ 35 A	–	≤ 63 A	≤ 35 A

^a Nach 7.3.1, a).

^b Bei Zähleranschlusschränken im Freien sind infolge der Umgebungsbedingungen die Werte nach DIN VDE 0603-2-1 (VDE 0603-2-1) mit dem Faktor 0,94 zu multiplizieren.

Q-2: Belastbarkeit, Verlegung in Erde, Kabel mit U₀/U = 0,6/1 kV, DIN VDE 0276 Teil 603:2005-01 [35]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11											
Isolierwerkstoff	PVC																				
Zulässige Betriebstemperatur	70 °C																				
Bauartkurzzeichen	NYY			NYCWY			NAYY			NAYCWY											
Anordnung																					
Anzahl der belasteten Adern	1	3	3	3	3	1	3	3	3	3											
Querschnitt in mm ²	Kupferleiter Bemessungsstrom in A					Aluminiumleiter Bemessungsstrom in A															
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630	800	1000
	41	55	71	90	124	160	208	250	296	365	438	501	563	639	746	848	975	1125	1304	1507	1715
	27	36	47	59	79	102	133	159	188	232	280	318	359	406	473	535	613	687	–	–	–
	30	39	50	62	83	107	133	164	195	238	286	325	365	413	479	541	614	693	777	859	936
	27	36	47	59	79	102	133	166	196	238	281	319	357	402	463	518	579	624	–	–	–
	31	40	51	63	84	108	139	166	196	238	281	315	347	385	432	473	521	574	636	1166	1332
	–	–	–	–	–	–	160	193	230	283	340	389	436	496	578	656	756	873	1011	–	–
	–	–	–	–	–	–	102	123	144	179	215	245	275	313	364	419	484	553	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	106	127	151	185	222	253	284	322	375	425	487	558	635	716	796
	–	–	–	–	–	–	103	123	145	180	216	246	276	313	362	415	474	528	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	108	129	153	187	223	252	280	314	358	397	441	489	539	–	–

1) Bemessungsstrom in Gleichstromanlagen mit weit entferntem Rückleiter

Q-3: ÜSE und Abschaltströme von Leitungsschutzschaltern [35]

ÜSE	Verzögerter thermischer Auslöser (Überlastschutz) I_2	Kurzverzögerter magnetischer Auslöser (Kurzschlusschutz) I_5
Z	$1,2 I_n$	$3 I_n$
A	$1,45 I_n$	$3 I_n$
B	$1,45 I_n$	$5 I_n$
C	$1,45 I_n$	$10 I_n$
D	$1,45 I_n$	$20 I_n$
K	$1,2 I_n$	$15 I_n$
E	$1,2 I_n$	$6,25 I_n$

Q-4: Umrechnungsfaktor für mehrere in Erde verlegte Kabel bei einem Abstand von 7 cm von Kabel zu Kabel. Die Tabellenwerte gelten für PVC-Kabel, z. B. NYY, NYCWY, eine Erdbodentemperatur von 20 °C und einem Erdbodenwärmewiderstand von 1 K · m/W. [50]

Anzahl der Kabel	2	3	4	5	6	8	10
Umrechnungsfaktor f	0,86	0,76	0,71	0,67	0,64	0,60	0,57

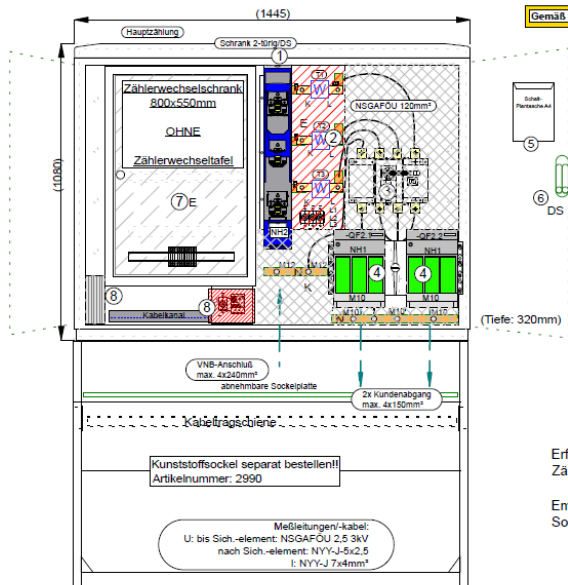
Anlage R

R-1: Wandlerschrank A850-3 [60]

Wandlerschrank A850-3

Mit Doppelschloss inkl. 1xProfilhalbzylinder
 Schutzklasse II / Schutzart IP54, IP44 / RAL 7035 gerippt
 CU-Schienen nach EN 61439-1:2011 30x10 mm

Netzform: TT - System
 InA: max 250A



Gemäß IEC 61439-2 nicht laienbedienbar

LEGENDE

- 1) Sammelschiensystem 4x30x10mm E-Cu, Schienenabstand 165mm, verzinkt, bestückt mit:
 1x Sicherungslastschleife NH2, 1x3pol schaltbar, Anschluss: Einputsmutter für M12 Kabelschuh
- 2) 1x Satz Wandlerlaschen gem. DIN 42600 30x10x170mm
 1x Aufsteckstromwandler BAUSEITS (VNB), T1...T3
 1x Wandlerfeldabdeckung transparent, plombierbar
 3x D01/10A 1pol 25kA (Spannungspfadicherung)
- 3) Schalterfeld best. aus:
 1x Pronotec Lasttrennschalter 400A, 4polig (für Kunden bedienbarer Lastschalter)
 Zugang -Anschluss über NSGAFÖU 120mm²
 Abgang -Anschluss über NSGAFÖU 120mm²
 PVC- Abdeckung grau mit Ausschnitt für Griff des Schalter
- 4) Sammelschiensystem 4x30x10mm E-Cu, (Kundenabgänge)
 Schienenabstand 60mm, verzinkt, mit Endhalter SS 60mm bestückt mit:
 1x Anschlussklemmplatte für Leitungen 35-120mm² auf SS 60mm
 2x NH-Trenner NH1 (250A), 3polig, auf Sammelschiene aufgebaut, Anschluss: Einputsmutter für M10 Kabelschuh (NH-Trenner)
 1x Anschlussbereich N-Schiene, großflächig abgedeckt (PVC grau)
 Anschluss: Einputsmutter für M12 Kabelschuh
- 5) 1x Schaltplanstasche A4
- 6) 1x Doppelschwenkhebel inkl. Profilhalbzylinder
- 7) 1x Zählerwechselgehäuse Fabrikat EBG nach TAB TEN Thüringer Energienetze (800x550mm)
 Zählerwechselfel nicht im Lieferumfang enthalten
- 8) 1x Schaltschrankheizung
 1x Automatengehäuse plombierbar transparent abgedeckt auf Distanz, Kabelkanal
 1x Thermostat
 1x D01/10A 1pol 25kA (Heizung)

Erforderlicher Zukauf:
 Zählerwechselfel

Empfohlener Zukauf:
 Sockelfüller

VNB-Genehmigung erforderlich

E : VNB- Teil, Plombierbar
 K : Kunde- Teil

CU-Schienen nach EN 61439-1:2011 30x10 mm

Kunststoffsockel separat bestellen!
 Artikelnummer: 2990

Meßleitungen-kabel:
 U: bis Sich.-element: NSGAFÖU 2,5 3kV
 nach Sich.-element: NY1-J-5x2,5
 I: NY1-J 7x4mm²

VNB-Anschluss
 max. 4x240mm²
 abtrennbare Sockelplatte

2x Kundenabgang
 (max. 4x150mm²)

Kabeltragschiene

(Tiefe: 320mm)

(1445)

(1050)

Hauptzählung

Schrank 2-ling DS

Zählerwechselschrank
 800x550mm

OHNE

Zählerwechselfel

Kabelkanal

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

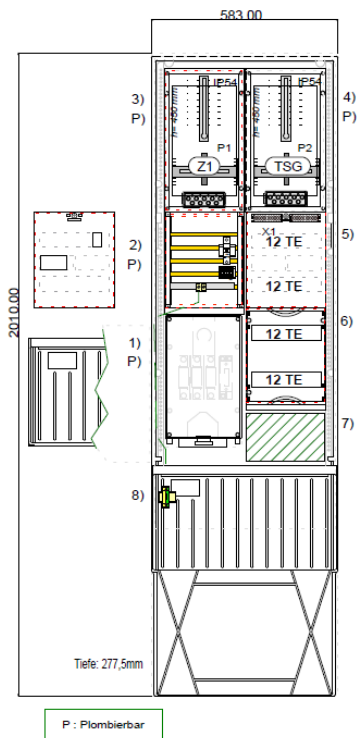
NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

NSGAFÖU 120mm²

R-2: Freiluftsäule Typ: A340 [60]

Aufbauplan



Freiluftsäule Typ: A340

Mit Doppelschloss inkl. 12Zylinder eingebaut
Schutzklasse II / Schutzart IP44 / RAL 7035

TT - System

Legende

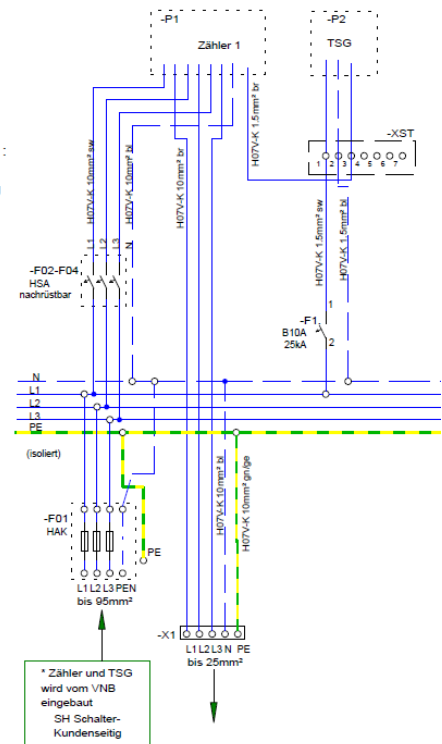
- 1) Hausanschlusskasten NH00/3
- 2) Anschlussraum 5x Sammelschienen (PE abgedeckt) mit :
Anschlussklemmen, vorb. f. SH-Schalter
1 TSG-Absicherung B10A 1pol 25kA, plomb. Abdeckung
- 3) Zählerplatte 450x250mm mit Haube IP54
- 4) Zählerplatte 450x250mm mit Haube IP54
- 5) Anschlussraum 300x250mm (AAR)
Hauptleitungsklemme 5-p. 25mm² isoliert
keine weiteren Einbauten vorhanden!
- 6) Anschlussraum 300x250mm mit :
Aufnahmeelement 20x250mm mit Membranflansch
- 7) Freibereich (Leerplatz) ca. 100x250mm für Nachrüstung:
- kann durch den Kunden eingebaut werden!
- 8) Anschlusspunkt für lokale Erdung (TT-Netz)
1x Anschlussklemme USLKG 50mm²

Erforderlicher Zukauf:
Hauptsicherungsautomaten (SH- Schalter)

Empfohlener Zukauf:
Sockelfüller

VNB- Genehmigung erforderlich

Stromlaufplan



Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Erfurt, den 31.01.2023

Dirk Pfeiffer