

BACHELORTHESIS  
Marcel Vogelsang

# Elektromobilität und die Bewertung von Lademanagement-Systemen in der Technischen Gebäudeausrüstung

---

FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK  
Department Informations- und Elektrotechnik

Faculty of Computer Science and Engineering  
Department of Information and Electrical Engineering

Marcel Vogelsang

# Elektromobilität und die Bewertung von Lademanagement-Systemen in der Technischen Gebäudeausrüstung

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung  
im Studiengang *Bachelor of Science Elektro- und Informationstechnik*  
am Department Informations- und Elektrotechnik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Sven Wanser  
Zweitgutachter: Dipl.-Ing. Timo Abel

Eingereicht am: 25. Februar 2021

**Marcel Vogelsang**

**Thema der Arbeit**

Elektromobilität und die Bewertung von Lademanagement-Systemen in der Technischen Gebäudeausrüstung

**Stichworte**

Elektromobilität, Ladeinfrastruktur, Lastmanagement, Lademanagement, Technische Gebäudeausrüstung

**Kurzzusammenfassung**

Inhalt dieser Arbeit ist die Aufarbeitung von Grundlagen der Elektromobilität. Im Vordergrund stehen dabei Last- und Lademanagementsysteme für Ladeinfrastruktur. Anhand dieser Grundlagen wird im weiteren Verlauf eine Bewertung von verschiedenen Systemen angestrebt. Ziel ist es, sowohl den Nutzen der gewählten Systeme zu ermitteln, als auch eine Basis zum Vergleich verschiedener Systeme am Markt zu schaffen.

**Marcel Vogelsang**

**Title of Thesis**

Electromobility and the evaluation of charging management systems in technical building equipment

**Keywords**

Electromobility, charging infrastructure, load management, charging management, technical building equipment

**Abstract**

This thesis serves as a review of the basics of electromobility. It focuses on load and charge management systems for charging infrastructure. The aim is to provide a basis for the evaluation of the different systems. The paper consequently determines the benefits of the selected systems and creates a basis for comparing different systems on the market.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Gegenwärtiger Stand der Elektromobilität</b>	<b>3</b>
2.1 Politische Förderung . . . . .	3
2.2 Wirtschaftliche Aspekte . . . . .	5
2.3 In der Metropolregion Hamburg . . . . .	5
<b>3 Technische Grundlagen der Elektromobilität</b>	<b>7</b>
3.1 Antriebskonzepte . . . . .	7
3.1.1 Mild und Voll Hybrid . . . . .	8
3.1.2 Range Extender . . . . .	9
3.1.3 Plug-in Hybrid . . . . .	9
3.1.4 Elektro . . . . .	10
3.2 Ladetechnik . . . . .	11
3.2.1 Lademodi . . . . .	12
3.2.2 Steckverbindungen . . . . .	13
3.3 Ladestandorte . . . . .	15
3.3.1 Privater Raum . . . . .	16
3.3.2 Halb-öffentlicher Raum . . . . .	16
3.3.3 Öffentlicher Raum . . . . .	16
3.4 Abrechnung der Ladevorgänge . . . . .	16
3.4.1 Abrechnungsformen . . . . .	17
3.4.2 Bezahlungsmöglichkeiten . . . . .	19
3.5 Standards und Normen . . . . .	20
<b>4 Fördermöglichkeiten</b>	<b>22</b>
4.1 Bundesweit . . . . .	22
4.2 Hamburg . . . . .	25
4.3 Schleswig-Holstein . . . . .	26
4.4 Niedersachsen . . . . .	27
<b>5 Lade- und Lastmanagement</b>	<b>28</b>
5.1 Definition . . . . .	28

5.2	Betriebsarten . . . . .	30
5.2.1	Statisch . . . . .	31
5.2.2	Dynamisch . . . . .	31
5.2.3	Priorisiert . . . . .	32
5.3	OCPP . . . . .	33
5.4	Schnittstellen . . . . .	34
5.4.1	Gebäude- und Energiemanagementsysteme . . . . .	34
5.4.2	Fuhrparkmanagement . . . . .	34
5.5	Kriterien zur Bewertung eines Lastmanagementsystems . . . . .	35
5.5.1	Hardware . . . . .	35
5.5.2	Software . . . . .	36
5.5.3	Kosten . . . . .	37
<b>6</b>	<b>Bewertung der Systeme auf dem Markt</b>	<b>39</b>
6.1	Vorstellung der verglichenen Systeme . . . . .	40
6.2	Vergleich anhand der erstellten Kriterien . . . . .	41
6.3	Vorstellung der Ergebnisse . . . . .	45
<b>7</b>	<b>Fazit</b>	<b>48</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>i</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>v</b>

# Abbildungsverzeichnis

3.1	Übersicht der Antriebssysteme. . . . .	8
3.2	Schematische Darstellung eines batterieelektrischen Fahrzeuges. . . . .	10
5.1	Verteilung der Last ohne Lastmanagement. . . . .	30
5.2	Verteilung der Last mit statischem Lastmanagement. . . . .	31
5.3	Verteilung der Last mit dynamischen Lastmanagement. . . . .	32
5.4	Verteilung der Last mit dynamischen Lastmanagement und Priorisierung. . .	33

# Tabellenverzeichnis

3.1	Übersicht der Ladestecker. . . . .	14
4.1	Förderung: Ladestationen für Elektroautos - Wohngebäude . . . . .	23
4.2	Förderung: Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge . . . . .	24
4.3	Förderung: Ladeeinrichtungen an und in Wohn- oder Gewerbeimmobilien . . . . .	25
4.4	Förderung: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge . . . . .	26
4.5	Förderung: Förderung einer nicht öffentlichen Ladeinfrastruktur . . . . .	27
6.1	Bewertungsmatrix der Lastmanagementsysteme . . . . .	42

# Abkürzungsverzeichnis

**Akku** Akkumulator

**AC** Wechselstrom

**DC** Gleichstrom

**CCS** Combined Charging System

**EMS** Energiemanagementsystem

**OCPP** Open Charge Point Protocol

# 1 Einleitung

Der anhaltende Fortschritt der Elektromobilität kann nur erfolgreich sein, wenn der Ausbau und der Betrieb von Ladeinfrastruktur immer einen Schritt voraus ist. Sowohl das Interesse und die Akzeptanz der Menschen als auch das Angebot von Fahrzeugen und Infrastruktur am Markt steigt. Die Zahl der Neuzulassungen von Elektroautos in Deutschland im Jahr 2018 betrug 36.062, im Jahr 2019 waren es schon 63.281 Neuzulassungen. Das ist ein Anstieg von knapp 75 %. Bei den Plug-in Hybrid Autos verzeichnet sich ebenfalls ein starker Zuwachs. Waren es 2018 noch 31.442 zugelassene Neuwagen, stieg die Zahl 2019 auf 45.348, ein Zuwachs von 44 % (KBA, 2019).

Elektroautos werden schon seit Jahren als Nachfolger von konventionellen Autos mit Verbrennungsmotor gehandelt. Auch wenn der Marktanteil von Elektroautos noch weit hinter dem der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor liegt, zeigt sich trotzdem ein wachsendes Interesse und eine steigende Kaufbereitschaft für Elektroautos. Bei dem Thema Ladeinfrastruktur ergibt sich allerdings ein Henne-Ei-Problem, denn die Verfügbarkeit von Ladepunkten steigert das Kaufinteresse und umgekehrt ist das Betreiben einer Ladesäule nur bei ausreichender Nutzung wirtschaftlich. Weiterhin wird den Käufern von Elektroautos durch Prämien sowohl der Kauf, wie auch durch Steuersenkungen der Unterhalt der Fahrzeuge erleichtert. Auch zu Erwähnen ist der verminderten Ausstoß von CO<sub>2</sub>, unter anderem durch den Verzicht auf fossile Treibstoffe wie Diesel oder Benzin. Zuletzt nehmen die Investitionen in die Weiterentwicklung von Batterietechnologie stark zu. Es zeigt sich, dass die Lebensdauer und Kapazität der Batterien einen entscheidenden Einfluss auf die Kaufentscheidung der Kunden hat. In Deutschland fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung die Entwicklung von Batterietechnologie mit rund 65,4 Mio. Euro (BMBF, 2019, S. 5).

Damit Deutschland die Ziele des Pariser Klimaabkommens einhalten kann, wurde im Jahr 2016 der Klimaschutzplan 2050 verabschiedet. Ziel der Vereinbarung ist es, bis zum Jahr 2050 weitestgehend treibhausgasneutral zu sein. Zusätzlich wurde bis zum Jahr 2030 das Ziel vereinbart, die Treibhausgasemissionen mindestens um 55 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu senken. Das Ziel ist die Erderwärmung auf maximal 1,5 Grad Celsius zu beschränken (BMU, 2020). Mit 18 % ist der Verkehr im Jahr 2015 der drittgrößte Erzeuger von Emissionen in Deutschland, davon lassen sich 61 % den PKWs zuschreiben und weitere 35 % den LKWs. Zwar sind nach der Jahrtausendwende die Emissionen durch Gesetze und technischen Fortschritt, wie z.B. den Rußpartikelfilter vorerst gesunken, allerdings steigen die Emissionswerte in den letzten Jahren wieder stetig (BMU, 2017).

Um die Verbreitung und Akzeptanz von Elektroautos zu erhöhen und dadurch die CO<sub>2</sub>-Belastung zu senken, ist es notwendig die Elektromobilität weiter auszubauen und attraktiver zu gestalten. Es reicht nicht, durch Kaufprämien den Absatz temporär zu steigern, vielmehr scheint ein Umdenken bei den Verbrauchern erforderlich zu sein. Es gibt Argumente, bei denen Autos mit Verbrennungsmotoren den Elektroautos voraus sind. Ein häufig genannter Punkt ist das veränderte Tankverhalten eines Elektroautos. Der Verzicht auf die schnelle und lang anhaltende Tankfüllung fällt vielen Nutzern schwer. Eine flächendeckende Ladeinfrastruktur kann diesen und anderen Bedenken entgegen wirken.

Der Begriff Ladeinfrastruktur beschreibt dabei den technischen Verbund von einer oder mehreren Ladeeinrichtungen in Form von Wallboxen oder Ladesäulen und deren Anbindung an das Versorgungsnetz. Damit bei einer steigenden Anzahl von Ladeeinrichtungen weder das Versorgungsnetz, noch die örtliche Installation belastet wird, ist eine Steuerung der Ladevorgänge nötig. Diese Steuerung übernimmt ein Lade- und Lastmanagementsystem welches die vorhandene Leistung auf die verschiedenen Ladeeinrichtungen aufteilt.

Ziel der Arbeit ist es, verschiedene Lastmanagement Systeme auf einer fundierten wissenschaftlichen Basis zu vergleichen. Zuerst wird dabei der aktuelle Stand der Elektromobilität aus politischer und wirtschaftlicher Sicht betrachtet. Zur späteren Einstufung und Bewertung der Systeme werden im Kapitel Grundlagen der Elektromobilität die relevanten Faktoren genauer beleuchtet. Auch mögliche Förderungen zur Errichtung einer Ladeinfrastruktur werden in einem weiteren Kapitel aufgezeigt. Das Kapitel Lade- und Lastmanagement beschäftigt sich konkret mit den Inhalten und Funktionen der jeweiligen Systeme. Dabei werden auch die gewählten Kriterien zur Bewertung der Systeme erläutert. Abschließend folgt der Vergleich der gewählten Systeme anhand einer Bewertungsmatrix und einer anschließenden Auswertung. Dadurch soll die Auswahl eines geeigneten Lastmanagementsystems, aus dem Blickpunkt der Technischen Gebäudeausrüstung, ermöglicht und erleichtert werden. Langfristig soll dadurch nicht nur eine Bewertung der aktuell verfügbaren Systeme geboten werden, sondern auch eine Grundlage für zukünftige Vergleiche.

## 2 Gegenwärtiger Stand der Elektromobilität

Da im nächsten Kapitel die technischen Grundlagen und der aktuellen Status Quo der Elektromobilität genauer beleuchtet wird, soll vorab noch ein Blick auf andere wichtige Faktoren geworfen werden. Da die Elektromobilität einen großen Stellenwert in Politik und Wirtschaft hat, werden diese im folgenden genauer betrachtet. In dem Zusammenhang dient die Stadt Hamburg als ein gutes Beispiel für den konkreten Fortschritt.

### 2.1 Politische Förderung

Im Jahr 2013 hat die Bundesregierung mit den „Schaufenstern Elektromobilität“ einen ersten Schritt zur Förderung der Elektromobilität in Deutschland gemacht. Mit insgesamt 180 Millionen Euro wurde dieser Ideenwettbewerb gefördert und den deutschen Unternehmen eine öffentliche Bühne geboten. Im Jahr 2015 wurde schließlich das Elektromobilitätsgesetz eingeführt (BReg, 2015). Dieses Gesetz soll einen Anreiz zum Kauf von Elektroautos, Plug-in Hybriden und auch Brennstoffzellenfahrzeugen schaffen. Erreicht wird dies durch besondere Rechte dieser Fahrzeuge im Bereich des Straßenverkehrs, wie z.B. beim Parken oder dem Nutzen spezieller Wege wie Busfahrstreifen.

Auch bei der Anschaffung von Elektrofahrzeugen hat die Bundesregierung weitere Anreize geschaffen. Seit 2016 erhalten die Käufer von Elektroautos eine Kaufprämie, auch Umweltbonus genannt. Diese Prämie wird vom Staat gezahlt und durch die Automobilindustrie aufgestockt. Zum Start der Prämie wurden reine Elektroautos mit 4.000 Euro und Plug-in Hybride mit 3.000 Euro gefördert (BReg, 2016). Der Umweltbonus wurde 2020 zusammen mit anderen finanziellen Fördermaßnahmen nochmals aufgestockt. Bis Ende 2021 werden somit Elektroautos bis 40.000 Euro Listenpreis mit 9.000 Euro gefördert und bei einem Listenpreis über 40.000 Euro mit 7.500 Euro. Bei den Plug-in Hybriden beträgt der Bonus bei unter 40.000 Euro Listenpreis noch 7.750 Euro und darüber 5.625 Euro.

Ein weiterer finanzieller Vorteil ist die Befreiung von der Kraftfahrzeugsteuer für die ersten 10 Jahre nach Kauf. Nach Ablauf der 10 Jahre beträgt die anschließend zu zahlende Kraftfahrzeugsteuer nur 50 %. Die Änderung in der Besteuerung trat 2012 zum ersten Mal in Kraft und wurde 2016 nochmals um 5 Jahre verlängert. Berücksichtigt werden reine Elektroautos und Brennstoffzellenfahrzeuge. Nicht steuerlich begünstigt werden Hybridfahrzeuge und E-Fahrzeuge mit einem Verbrennungsmotor als Reichweitenverlängerer.

Die Ladeinfrastruktur, einer der wichtigsten Bestandteile einer wachsenden Elektromobilität, wird mittlerweile sowohl auf privater wie auch auf öffentlicher Ebene gefördert. Die Förderung von privater Infrastruktur blieb dabei allerdings lange aus. Erst im November 2020 stellte der Bund einen Zuschuss mit einem Gesamtvolumen von 200 Millionen Euro zur Verfügung, welcher private Wallboxen mit einer Pauschale von 900 Euro fördert. Voraussetzung hierfür sind unter anderem eine Ladeleistung von 11 kW und Ladestrom der zu 100 % aus erneuerbaren Energien stammt (BReg, 2020). Gerade für Gebiete, in denen der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur nur schwer voran kommt, kann diese Förderung für Veränderung sorgen.

Im öffentlichen und halb-öffentlichen Bereich wird Ladeinfrastruktur mit 200 Millionen Euro für Schnellladesäulen (kurze Ladezeiten mit hoher Ladeleistung durch Gleichstrom) und mit 100 Millionen Euro für Normalladesäulen (normale Ladezeiten durch geringere Ladeleistung) gefördert (BMW, 2020a). Der Jahresbericht der Bundesregierung aus dem Jahr 2015/16 plante eine Anzahl von 430 Gleichstrom Schnellladesäulen an wichtigen Knotenpunkten in Deutschland bis 2017. Laut Ladesäulenkarte waren es Ende 2017 bereits 618 in Betrieb genommene Ladesäulen, welche durch die Bereitstellung von meist mehr als einem Ladepunkten pro Säule, insgesamt 1.235 Ladepunkte zur Verfügung stellen. Bei den öffentlichen Normalladesäulen ist der Zuwachs noch größer. So gab es Ende 2017 in Deutschland 4.319 Ladesäulen mit insgesamt 8.603 Ladepunkten. Aktuell sind es 15.842 Ladesäulen mit 31.153 Ladepunkten (Stand: 24.02.2021) (BNetzA, 2020). Durch den breiten Ausbau von öffentlichen Lademöglichkeiten an Verkehrsknoten, in den Städten und auch im ländlichen Raum, steigt die Akzeptanz der Elektromobilität. Die Schnellladesäulen z.B. an Tank- und Raststellen erhöhen außerdem die Flexibilität, um auch lange Strecken mit einem Elektroauto ohne Unterbrechungen zurücklegen zu können.

Europaweit bietet Deutschland mit dem aktuellen Umweltbonus einen großen Anreiz zum Kauf eines Elektroautos oder eines Plug-in Hybriden. Aber auch andere Länder bieten vergleichbare Kaufprämien sowie diverse Steuererleichterungen und Bevorzugungen im Straßenverkehr. Spitzenreiter in Europa ist Norwegen, hier wurden im Jahr 2019 44 % Elektroautos zugelassen (OFV, 2020). Im Vergleich dazu wurden im gleichen Zeitraum in Deutschland nur 1,8 % zugelassen. Bei den Plug-in Hybriden ergibt sich eine ähnliche Differenz (KBA, 2019).

Es zeigt sich, mit welchem Aufwand und welcher Geschwindigkeit die Elektromobilität voran getrieben wird. Zusammen mit Wasserstoffantrieben oder auch neuen, noch unbekanntem Technologien, könnte in Zukunft der Verbrennungsmotor vom Massenmarkt verdrängt werden. Damit dieser Schritt gelingt, reicht nicht nur das Aufstellen vieler Ladesäulen. Viel wichtiger ist es, die uns zur Verfügung stehende Energie, sinnvoll und gewissenhaft einzusetzen. An dieser Stelle kommt das Lastmanagement ins Spiel. Denn ein intelligentes Lastmanagement spart nicht nur Kosten, sondern schont durch die Verwendung erneuerbarer Energien auch die Umwelt.

## 2.2 Wirtschaftliche Aspekte

Der Fortschritt der Elektromobilität und das Erreichen der Klimaziele kann nur mit einer innovativen und zukunftsorientierten Automobilbranche geschehen. Mit 2,2 Millionen direkten und indirekten Beschäftigten (7 % aller Erwerbstätigen in Deutschland) im Jahr 2019 ist die Automobilindustrie der beschäftigungsstärkste Industriezweig. Deutsche Hersteller bieten über 70 verschiedene Elektroautos aller Fahrzeugtypen an und 75 % aller in Deutschland produzierten Fahrzeuge werden exportiert. Das Ziel Deutschlands ist es, als Leitmarkt und Innovationsstandort für Elektromobilität zu gelten. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine weitreichende Investition in Forschung und Entwicklung nötig. Gerade im Bereich der Batterieforschung geht es darum, nicht die vorhandenen Batterien größer und schwerer zu machen, sondern die Technologie effizienter zu gestalten. Außerdem muss sichergestellt werden, dass nach Auslaufen der politischen Förderungen zum Kauf von Elektroautos der Absatz nicht zusammen bricht. Denn durch die Amortisierung der Investitionen in Innovation und Forschung werden Elektrofahrzeuge in Zukunft günstiger und durch den Ausbau der Infrastruktur für den Käufer reizvoller (BMW, 2020b).

Auch die Hersteller von Ladesäulen und Wallboxen erleben durch die vielen Förderungen im öffentlichen und privaten Bereich einen enormen Aufschwung. Viele Automobilhersteller bieten zu ihren Elektroautos passende Ladelösungen an, wobei es sich dabei häufig um Ladesäulen von externen Herstellern handelt. Sollen an einem Standort mehrere Ladepunkte zur Verfügung stehen, müssen bei der Auswahl nicht nur die Anbieter der Ladeeinrichtungen verglichen werden. Auch die verschiedenen auf dem Markt angebotenen Lade- und Lastmanagementsysteme können sowohl für größere aber auch für kleinere Ladeinfrastrukturen sinnvoll sein. Durch solche Systeme lassen sich teure Lastspitzen verhindern und das intelligente Laden mehrerer Fahrzeuge realisieren.

## 2.3 In der Metropolregion Hamburg

Hamburg schafft es, wie kaum eine andere Großstadt in Deutschland, die Elektromobilität voran zu treiben. Bereits 2013 wurde die Kampagne „Hamburg macht E-Mobil“ gestartet, mit dem Ziel durch Kooperationen mit Herstellern den Kauf von Elektroautos zu fördern. In Folge dessen wurden 2015 Elektrofahrzeuge für zwei Stunden von der Parkgebühr befreit. Im Jahr 2020 stehen den Besitzern von Elektroautos mittlerweile 1.000 öffentliche Ladestationen zur Verfügung, die alle ausschließlich mit Ökostrom versorgt werden (HH, 2020). Aktuelle Zahlen des Kraftfahrt-Bundesamtes vom 1. Januar 2020 geben den Bestand von Elektro- und Plug-in Hybridautos in Hamburg an. Demnach sind 3.395 Elektroautos und 2.502 Plug-in Autos im Besitz der Hamburger Bürger (KBA, 2020). Berücksichtigt man also keine privaten oder halb-öffentlichen Ladepunkte, teilen sich zurzeit sechs Elektrofahrzeugbesitzer eine öffentliche Ladesäule.

Auch der öffentliche Nahverkehr in Hamburg arbeitet an seiner emissionsfreien Umrüstung. Sowohl die Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein, als auch die Hochbahn Hamburg schaffen anstatt der bisher üblichen Busse mit Dieselmotoren nur noch elektrische oder hybride Busse an, welche in und um Hamburg unterwegs sind. Zusätzlich wird am Ausbau der Infrastruktur gearbeitet um die Busse auch im Betrieb regelmäßig nachladen zu können. Weiterhin gibt es in der Hansestadt ein großes Carsharing Angebot, das immer weiter mit Elektroautos aufgestockt wird. Seit 2018 ist außerdem der Ridesharing Anbieter Moia mit seiner rein-elektrischen Flotte in Hamburg vertreten (HH, 2020).

Zusätzlich zu den nationalen Förderungen zum Ausbau der Ladeinfrastruktur bietet die Stadt Hamburg auch eine lokale Förderung an. Mit dem Projekt „ELBE - Electrify Buildings for EVs“ wird der Ausbau im nicht-öffentlichen Bereich gefördert und unterstützt. Eine genauere Betrachtung der möglichen Förderungen im Bezug auf Ladeinfrastruktur wird in Kapitel 4 durchgeführt.

## 3 Technische Grundlagen der Elektromobilität

Fahrzeuge mit einem elektrischen Antriebskonzept entstanden aus klassischen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und entsprechen im Grunde diesen. Allerdings unterscheiden sich die Konzepte in vielen Punkten wie beispielsweise den Antrieben oder den Reichweiten. Im folgenden Kapitel werden die technischen Grundlagen der Elektromobilität sowie im weiteren Verlauf einige relevante Normen erläutert. Neben den technischen Grundlagen liegt ein Augenmerk auf den, für die Ladeinfrastruktur und das Lastmanagement relevanten Punkten. Auf Basis dieser Grundlagen wird im weiteren Verlauf genauer auf Lastmanagementsysteme eingegangen.

### 3.1 Antriebskonzepte

Fahrzeuge mit elektrischen Antrieben können grundsätzlich in mehrere Konzepte unterteilt werden. Abbildung 3.1 bietet einen Überblick über die einzelnen Antriebssysteme und ihre grundlegenden Technologien. Dabei steht sowohl der verbaute Antrieb, als auch die Frage nach der Art der Aufladung im Vordergrund.

Im Folgenden werden die verschiedenen Systeme, exklusive dem Verbrennungsmotor, genauer erläutert, um später ihre Relevanz für die Ladeinfrastruktur nachvollziehen zu können. Fahrzeuge mit einer Brennstoffzelle sind in Abbildung 3.1 nicht berücksichtigt. Zwar funktioniert der Antrieb in solchen Fahrzeugen auch elektrisch, allerdings sind Fahrzeuge mit Brennstoffzelle noch nicht weit verbreitet.

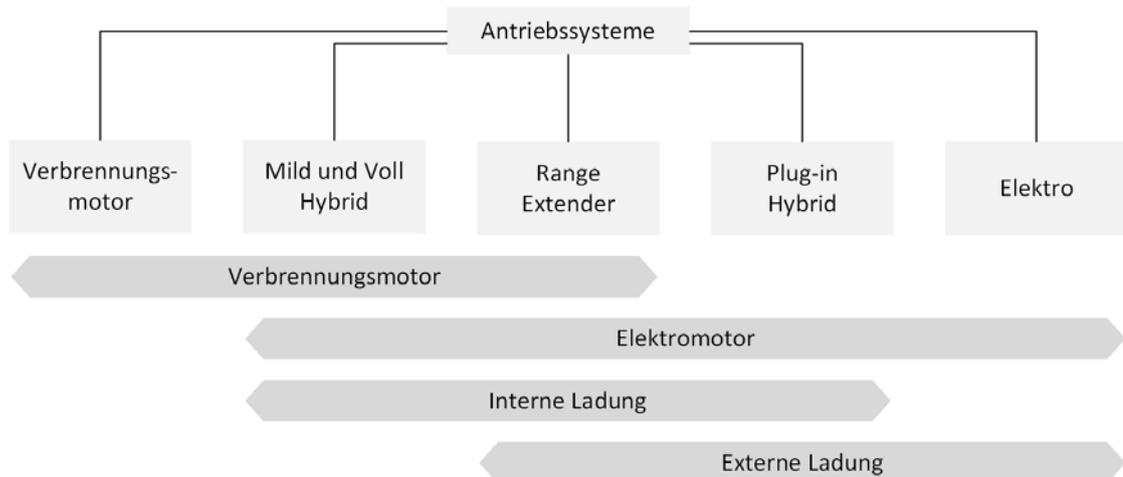


Abbildung 3.1: Übersicht der Antriebssysteme. Quelle: Eigene Darstellung

### 3.1.1 Mild und Voll Hybrid

Hybride Fahrzeuge lassen sich im Detail nochmals in verschiedene Fahrzeugklassen unterscheiden, welche sich wiederum durch die möglichen Betriebsarten und Funktionen differenzieren lassen. Zusätzlich unterscheiden sich Hybrid Fahrzeuge durch ihre Antriebsstruktur, also das Zusammenspiel aus mechanischer und elektrischer Leistung im System.

Eine mittlerweile weit verbreitete Art ist der Micro-Hybrid. Dieser nutzt einen Verbrennungsmotor mit integrierter Start-Stop-Automatik. Dabei wird bereits beim Bremsvorgang durch Rekuperation elektrische Energie in die Batterie geladen. Beim Stillstand des Fahrzeuges wird der Motor abgestellt und beim erneuten Anfahren durch den Anlasser elektrisch wieder in Betrieb gesetzt. Allerdings wird das Fahrzeug nicht durch elektrische Leistung angetrieben und muss somit auch nicht geladen werden (Doppelbauer, 2020, S. 66).

**Rekuperation** *Rückgewinnung von Energie beim Rollen, ähnlich der Motorbremse, oder während des Bremsvorganges. Der im Fahrzeug verbaute Elektromotor, welcher bei bestimmten Antriebssystemen auch zum Antrieb verwendet wird, kann, als Generator betrieben, das Fahrzeug bremsen. Die produzierte elektrische Energie wird zurück in die Fahrzeugbatterie eingespeist (siehe Abbildung 3.2). Begrenzt wird der Prozess entweder durch die maximal aufnehmbare Leistung der Batterie oder durch die nicht ausreichenden Bremsleistung z.B. bei einer Vollbremsung (Doppelbauer, 2020, S. 107-108).*

Ein Mild Hybrid Fahrzeug kann ebenfalls nicht ausschließlich durch elektrische Leistung angetrieben werden. Allerdings verfügen Mild Hybride über einen stärkeren Elektromotor welcher es ermöglicht, den Verbrennungsmotor zu unterstützen. Häufig wird anstatt eines 12 V Bordnetzes eines mit 48 V verwendet. Durch den Ottomotor und durch Rekuperation wird eine zusätzliche Batterie im Fahrzeug geladen. Durch eine Lastpunktverschiebung beim Fahren

schaltet sich der Elektromotor dazu und entlastet somit den Verbrennungsmotor. Gerade im Stadtverkehr wird die Batterie durch den Start-Stop Verkehr häufig geladen was zu größeren Einsparungen führt. Zusätzlich kann der Elektromotor durch sein direktes Drehmoment den konventionellen Motor beim Beschleunigen unterstützen.

Fahrzeuge mit einem Voll Hybrid Konzept verfügen über mehr elektrische Leistung, welche es ermöglicht, kurze Strecken und begrenzte Geschwindigkeiten rein elektrisch zu fahren. Die Batterie wird dabei, wie beim Mild Hybrid, intern geladen, deshalb ist ein externes Aufladen nicht möglich bzw. nötig. Da der Verbrennungsmotor zeitweise abgeschaltet wird, ist es wichtig die zusätzlichen Verbraucher, wie z.B. die Servolenkung oder den Bremskraftverstärker, weiterhin zu versorgen. Häufig werden diese Verbraucher bereits aus Effizienzgründen ganz durch den Elektromotor versorgt (Doppelbauer, 2020, S. 66-68).

#### **3.1.2 Range Extender**

Ein Fahrzeug mit Range Extender unterscheidet sich in der Form von den Hybrid Fahrzeugen, dass der verbaute Verbrennungsmotor nicht direkt zum Antrieb des Fahrzeuges verwendet wird. Stattdessen ist der Verbrennungsmotor die meiste Zeit ausgeschaltet und wird nur gestartet wenn entweder große Leistungen vom Fahrer gefordert werden, oder der Ladestand der Batterie ein Minimum erreicht hat. Der Motor treibt dann ausschließlich einen Generator an, welcher Energie direkt in den elektrischen Antrieb speist ohne dabei die Batterie zu laden. Da der Verbrennungsmotor nur wenig Leistung besitzt, dient dieser lediglich zur Mobilitäts-erhaltung. Zum erneuten Aufladen der Batterie ist immer ein Ladepunkt vorzusehen, da sonst durch die regelmäßige Verwendung des Verbrennungsmotors die Umweltbilanz dieses Antriebskonzeptes zunichte gemacht wird (Doppelbauer, 2020, S. 77-78).

#### **3.1.3 Plug-in Hybrid**

Bei einem Plug-in Hybrid handelt es sich um einen Voll Hybrid, welcher auf der einen Seite über eine stärkere Antriebs- und Batterieleistung verfügt und auf der anderen Seite die Möglichkeit bietet, an einem öffentlichen oder privaten Ladepunkt den Energiespeicher aufzuladen. Der Antrieb des Fahrzeuges kann auch rein durch den Verbrennungsmotor erfolgen, wenn z.B. die Batterieleistung erschöpft ist oder das Fahrzeug nicht geladen wird. Durch Steuervergünstigungen und Kaufprämien ist der Absatz von Plug-in Hybriden stark gestiegen. Denn der Vorteil eines Plug-in Hybriden liegt in der rein elektrischen und emissionsfreien Nutzung auf Kurzstrecken (Doppelbauer, 2020, S. 68).

Laut einer Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur aus dem Jahr 2018 liegt die durchschnittlich zurückgelegte Strecke mit dem Auto bei 30 km pro Tag (infas, 2018, S. 70). Die meisten auf dem Markt angebotenen Plug-in Hybride schaffen diese Tagesstrecke ohne Nachladen zu müssen. Außerdem wird in der Studie eine mittlere Jahresfahrleistung von 14.700 km angenommen. Nimmt man für 365 Tage eine Fahrleistung

von 30 km an ergibt sich ein Rest von 3.750 km, welcher z.B. für Urlaubsfahrten oder Ähnliches bestimmt ist. Diese Langstrecken können elektrisch begonnen werden und nachdem die Batterie erschöpft ist, mit dem Verbrennungsmotor fortgesetzt werden. Zusätzlich kann bei Fahrtpausen die Batterie an einem Ladepunkt wieder nachgeladen werden.

### 3.1.4 Elektro

Die bisher genannten Fahrzeugkonzepte leisten bereits einen wesentlichen Beitrag zur Umwelt- und Ressourcenschonung. Sie helfen außerdem dabei, den Übergang zwischen dem Verbrennungsmotor und einem rein elektrischen Antrieb für den Menschen bequem zu machen. Dennoch ist nur die rein elektrische Fortbewegung, auf Basis von Erneuerbaren Energien, eine langfristige Lösung. Eine schematische Darstellung eines Elektroautos mit einem zentralen Elektromotor zeigt Abbildung 3.2.

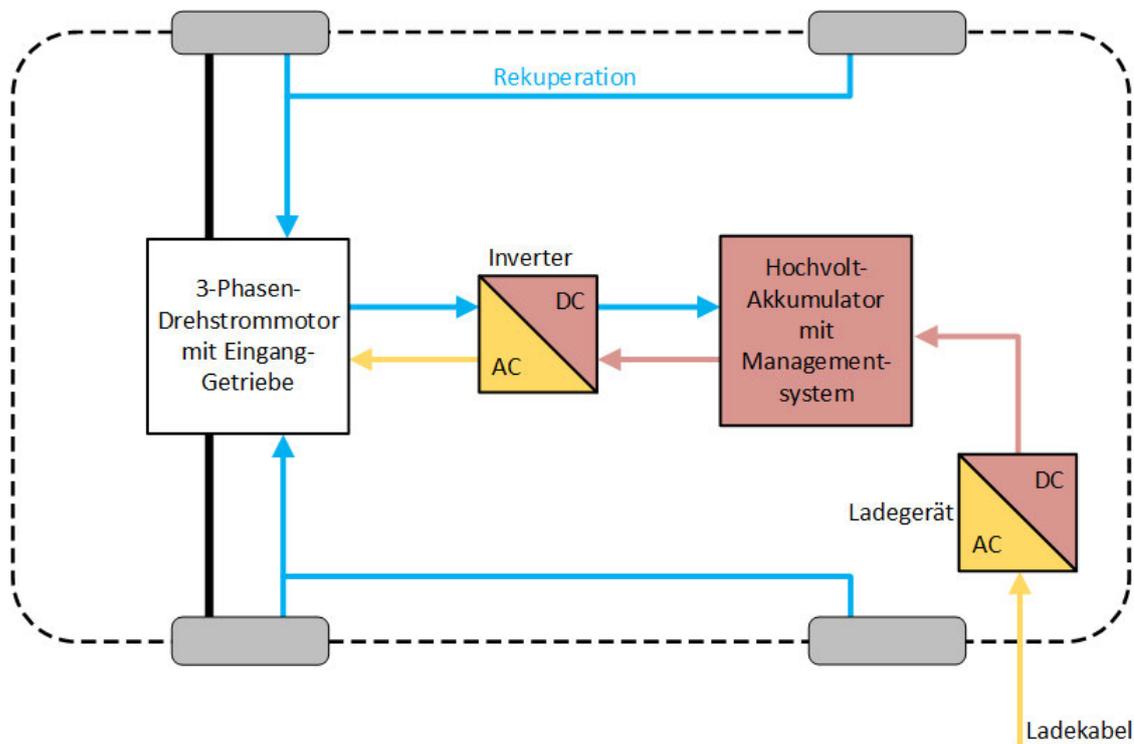


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung eines batterieelektrischen Fahrzeuges. Quelle: Eigene Darstellung

Batterieelektrische Fahrzeuge, auch Elektroautos genannt, besitzen wie in Abbildung 3.1 zu sehen, nur einen Elektromotor. Die Ladung erfolgt hauptsächlich extern per Ladekabel, auch wenn natürlich intern von der Rekuperation Gebrauch gemacht wird. Die grundlegenden Komponenten eines Elektroautos sind in Abbildung 3.2 dargestellt und werden im Folgenden genauer erläutert.

Das wichtigste Bauteil ist der Elektromotor. Hierbei handelt es sich üblicherweise um Drehstrommotoren, welche mit ihrer Effizienz einem Verbrennungsmotor deutlich überlegen sind. Um den Elektromotor im Auto nutzbar zu machen, wird über die Spannung das Drehmoment und über die Frequenz die Drehzahl gesteuert. Diese Aufgabe übernimmt der Inverter, welcher die Gleichspannung des Akkumulators (Akku) in eine variable Wechselspannung umwandelt. Umgekehrt kann er aber auch die bei der Rekuperation im Motor entstehende elektrische Leistung zurück in den Akku speisen. Da die Drehstrommotoren bereits bei kleinen Drehzahlen über ein großes Drehmoment verfügen, benötigt das Fahrzeug keine Kupplung. Auch Schalten ist nicht notwendig, da das große Drehzahlband der Motoren alle benötigten Fahrgeschwindigkeiten abdeckt. Dadurch wird lediglich ein Ein-Gang-Getriebe, meist mit einer Untersetzung von circa 10:1 benötigt, um die hohen Drehzahlen des Elektromotors nutzbar zu machen. Um mit dem Fahrzeug rückwärts zu fahren, wird der Elektromotor umgepolt und somit die Drehrichtung geändert.

Der Energiespeicher von Elektroautos besteht aus einem Lithium-Ionen-Hochvoltakku, der mit circa 400 V Betriebsspannung arbeitet. Um den Akku in allen Situationen und unter allen Einflüssen optimal nutzen und schützen zu können, verfügt dieser zusätzlich über ein Batteriemanagementsystem. Auch der Ladezustand wird mit diesem System ermittelt um somit die Restreichweite zu bestimmen.

Um den Akku laden zu können, verfügen die Elektrofahrzeuge über ein eingebautes Ladegerät. Dieses kommuniziert mit dem Ladepunkt und steuert somit den Ladevorgang für den Akku. Die physische Verbindung und die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladepunkt findet aktuell meist über ein Ladekabel mit Stecker statt. Welche Lademöglichkeiten es gibt, welche Steckerarten dafür verwendet werden und wie genau diese aufgebaut sind wird im Folgenden genauer betrachtet (Karle, 2020, S. 28-29).

## 3.2 Ladetechnik

Elektrofahrzeuge werden weltweit von verschiedenen Herstellern produziert und vertrieben. Längst verfügen nicht alle Länder über die gleiche Elektroinfrastruktur. Das wiederum führt zur Entstehung von verschiedenen Ladesystemen und Ladesteckern. In der Norm DIN IEC 62196-1 bis 3 werden daher grundlegende Lademodi und die dazugehörigen Stecker definiert. Dadurch soll in Zukunft vermieden werden, dass noch mehr unterschiedliche Systeme entwickelt und vertrieben werden. Für die Anschaffung eines Elektrofahrzeuges wird somit eine Planungssicherheit geschaffen, welche gewährleistet, dass die Nutzer immer eine kompatible Ladestation finden.

#### 3.2.1 Lademodi

Damit alle bisher vorhandenen Lademöglichkeiten vereinheitlicht werden können, wurden diese in der IEC 62196 genormt und in vier Modi eingeteilt. In den unterschiedlichen Modi ist unter anderem die Ladeleistung, der Steckertyp und die Sicherheit definiert. Bei Mode 1 bis 3 ist das Ladegerät jeweils im Fahrzeug enthalten, bei Mode 4 in der Ladesäule.

##### Mode 1

Das Laden nach Mode 1 ist die einfachste aber auch gefährlichste Möglichkeit des Ladens. Es wird mit Wechselstrom (AC) an einer Schutzkontakt- oder CEE Steckdose und einer maximalen Ladeleistung von 16 A (3,7 kW) einphasig, oder 16 A (11 kW) dreiphasig geladen. Es findet keine Kommunikation oder Überwachung statt. Daher sollte die Steckdose mit einer Fehlerstromschutzeinrichtung ausgestattet sein. Ältere Hausinstallationen verfügen aber häufig nicht über eine solche Schutzeinrichtung. Um Unfälle zu verhindern statten die Autohersteller mittlerweile ihre Fahrzeuge mit Steckern aus, die nicht Mode 1 geeignet sind (Karle, 2020, S. 96).

##### Mode 2

Bei Mode 2 wird ebenfalls mit AC über Schutzkontakt- oder CEE Steckdosen geladen. Allerdings wird dabei ein spezielles Ladekabel verwendet, welches mit einer im Kabel zwischengeschalteten Box ausgestattet ist. Diese sogenannte „In-Cable-Control-Box“ enthält neben einer Fehlerstromschutzeinrichtung auch ein PWM-Modul zur Steuerung des Ladevorgangs. Durch diese Zusätze ist eine Ladeleistung bis 16 A (3,7 kW) einphasig und 32 A (22 kW) dreiphasig möglich. Häufig werden Mode 2 Ladekabel mit den Fahrzeugen ausgeliefert, um ein Notladen des Fahrzeuges zu ermöglichen (Karle, 2020, S. 97).

##### Mode 3

Im Vergleich zu Mode 2 wird bei Mode 3 eine feste Ladestation verwendet. Dabei handelt es sich häufig um Wallboxen oder öffentliche Ladesäulen. Das Ladekabel kann fest an dem Ladepunkt installiert sein oder beidseitig mit einem Stecker zum Verriegeln ausgestattet sein. Durch die feste Installation ist eine größere AC Ladeleistung von 16 A (3,7 kW) einphasig und 63 A (43,5 kW) dreiphasig möglich. Das Laden nach Mode 3 ist mittlerweile als Standard etabliert. Grund hierfür ist das Verhältnis der relativ schnellen Ladung zu den moderaten Kosten für Anschaffung und Installation (Karle, 2020, S. 98).

##### Mode 4

Für das Schnellladen mit Gleichstrom (DC) kommt Mode 4 zum Einsatz. Hierbei werden Ladesäulen mit fest installiertem Ladekabel und integrierten Steuer- und Schutzfunktionen

verwendet. Außerdem besitzen Mode 4 Ladesäulen ein eingebautes Ladegerät, wodurch die Investitionskosten steigen. Bei den anderen Modes befindet sich das Ladegerät im Fahrzeug. Die Steuerung der Umrichter wird dabei vom Fahrzeug übernommen. Die Kommunikation erfolgt nach ISO 15118 mittels Powerline-Communication (PLC). Es sind Ladeleistungen von bis zu 350 kW möglich (Eickelmann, 2017, S. 123 und S. 140).

#### 3.2.2 Steckverbindungen

Um das Auto mit dem Ladegerät zu verbinden, wurden im Laufe der Zeit diverse Möglichkeiten entwickelt. Jedoch wurden viele Systeme im Zuge der Vereinheitlichung und Normung auch wieder verworfen. Im Folgenden wird auf die bekanntesten und verbreitetsten konduktiven Ladesysteme eingegangen. Alle diese Systeme sind in Normen festgeschrieben, diese werden im Abschnitt 3.5 genauer erläutert.

**Konduktives Laden** *Die elektrische Energie zum Laden des Akkumulator (Akku) wird über physisch miteinander verbundene leitende Materialien übertragen. Man spricht daher auch oft vom kabelgebundenem Laden. Konduktive Ladeverfahren haben im Vergleich zu anderen Systemen einen sehr hohen Wirkungsgrad und sind dabei sicher und einfach zu handhaben. Nachteilhaft ist das offen hängende Kabel sowie die Anfälligkeit für Witterung und Vandalismus. Konduktive Ladeverfahren sind bisher der Standard für das Laden von Elektrofahrzeugen (Eickelmann, 2017, S. 90-91).*

In der folgenden Tabelle 3.1 ist eine Übersicht der konduktiven Ladeverfahren und ihrer Spezifikationen dargestellt. Zusätzlich werden anbei Unterschiede der einzelnen Systeme, sowie die Berechnung der Ladezeit genauer erläutert.

Tabelle 3.1: Übersicht der Ladestecker. Quelle: (Doppelbauer, 2020, S. 294-299)

Phasen	Bezeichnung	Bauform	Ladedauer			Zusätzliche Informationen
			Lade- mode	Lade- leistun- gen	60 kWh Akku (10 auf 80 %)	
1	Schutzkontakt- Steckdose		2	2,3 kW	20:17	Schuko-Steckdosen sind normalerweise nicht für eine Dauerbelastung ausgelegt.
	CEE-Steckdose blau		2	3,7 kW	12:37	Seltener als die 3-phasige CEE, dafür aber leicht und günstig nachzurüsten.
	IEC Typ 1		3	3,7 kW 7,4 kW	6:18	In Europa nicht weit verbreitet, Adapterkabel von Typ 1 auf Typ 2 erhältlich.
3	CEE-Steckdose rot		2	22 kW	2:07	In Privathaushalten teilweise vorhanden, Verlegung eines separaten 5-adrigen Kabels nötig.
	IEC Typ 2		3	11 kW 22 kW 43,5 kW	1:04	Als Standard für Ladesäulen definiert, auch DC-Laden möglich (bisher nur Tesla Supercharger).
DC	Combined Charging System (CCS) Version:		4	100 kW (400 V/ 200 A)	0:28	Erweiterung von Typ 1/2 um zwei Kontakte, Einheitsstecker am Fahrzeug für AC und DC.
				350 kW (800 V/ 440A)	0:08	Wird als High-Power-Charger (HPC) bezeichnet, benötigt eine 800 V Bordspannung im Fahrzeug.

Wie Tabelle 3.1 zeigt, ist die Belegung der Stecker unterschiedlich. Bei dem Schuko und dem blauen CEE Stecker ist jeweils eine Phase, ein Nulleiter und der Schutzleiter Anschluss vorhanden. Der Typ 1 Stecker ist für den asiatischen und amerikanischen Markt bestimmt, hier ist ein 3-phasiger Drehstromanschluss bei Privathäusern unüblich. Daher verfügt der Typ 1 nur über eine Phase, Nulleiter, Schutzleiter und Kommunikations-Kontakte.

Der rote CEE sowie der Typ 2 Stecker verfügen über drei Phasen, wobei der Typ 2 auch Kommunikations-Kontakte besitzt. Alle Stecker die mit Mode 2 laden, können nicht verriegelt werden. Somit kann der Stecker jederzeit herausgezogen werden. Diese Steckertypen eignen sich daher nur für das private Laden z.B. in der Garage.

Der Combined Charging System (CCS) Stecker besteht im unteren Teil aus den beiden DC Kontakten und im oberen Bereich aus einem Typ 1 oder Typ 2 Stecker (Combo 1/Combo 2) ohne die Leistungskontakte. Da der Typ 2 Stecker in Europa zum Standard bestimmt wurde, sind die Combo 2 Stecker in Europa weiter verbreitet. Durch den Aufbau benötigen die Fahrzeuge nur einen CCS Anschluss, welcher sich sowohl zum AC als auch zum DC Laden eignet. Durch die hohen Investitionskosten von DC-Ladestationen, finden sich diese bisher nur auf Raststätten und Tankstellen. In Version 2 verfügen die CCS Stecker über eine interne Kühlung, dadurch werden höhere Ladeströme ermöglicht (Doppelbauer, 2020, S. 294-299).

Zur Berechnung der Ladedauer wurde eine durchschnittliche Akku Kapazität von 60 kWh angenommen. Außerdem verlaufen die Ladevorgänge nur bis ca. 80 % mit voller Ladeleistung. Danach wird zum Schutz der Batterie mit weniger Leistung geladen. In der Berechnung wird daher ein auf 10 % entladenes Elektrofahrzeug auf 80 % geladen (Doppelbauer, 2020, S. 161). Zuletzt muss noch der Ladewirkungsgrad berücksichtigt werden, dieser beträgt ungefähr 90 % (Doppelbauer, 2020, S. 293). Mit diesen Angaben und folgender Formel wird die Ladedauer in Tabelle 3.1 berechnet.

$$t_{10 \rightarrow 80 \%} = \frac{\Delta W \cdot W_{Akku}}{\eta \cdot P_{Ladepunkt}} \quad (3.1)$$

An dem Beispiel eines Typ 2 Steckers ergibt sich folgende Ladedauer:

$$t_{10 \rightarrow 80 \% (Typ2)} = \frac{0,7 \cdot 60 \text{ kWh}}{0,9 \cdot 43,5 \text{ kW}} = 1,072 \hat{=} 1 : 04 \quad (3.2)$$

### 3.3 Ladestandorte

Ein wichtiger Bestandteil der Elektromobilität ist die Möglichkeit, das eigene Elektrofahrzeug ständig und überall zu laden. Der Prozess des Ladens benötigt zwar Zeit, das dauerhafte Kopeln des Fahrzeuges mit dem Netz bietet allerdings die Möglichkeit, eine Ladeinfrastruktur

sinnvoll zu steuern und so z.B. Lastspitzen zu verhindern. Da die Ansprüche an die Ladestandorte sich unterscheiden, werden diese im Folgenden erläutert.

#### 3.3.1 Privater Raum

Ein privater Ladepunkt befindet sich direkt an einem Haus oder in der Tiefgarage einer Wohnanlage. Er steht nur dem zugeordneten Bewohner zur Verfügung und verfügt deshalb nicht über ein Abrechnungssystem. Lediglich eine Art Schlüsselschalter schützt den Ladepunkt vor Benutzung durch Fremde. Die elektrische Versorgung erfolgt über den Hausanschluss, entweder direkt oder über einen separaten Zähler. Am häufigsten werden im privaten Bereich Wallboxen installiert, da diese kostengünstig und in ihrem Funktionsumfang ausreichend sind (Doppelbauer, 2020, S.394).

#### 3.3.2 Halb-öffentlicher Raum

Ladepunkte, welche sich im öffentlichen Raum befinden aber nur durch einen beschränkten Personenkreis genutzt werden, gelten als halb-öffentlich. Hier erfolgt die Versorgung über den Hausanschluss oder bei größeren Anlagen direkt über das Nieder- oder Mittelspannungsnetz. Eine Abrechnung der Ladevorgänge kann durchgeführt werden, ist aber nicht zwingend notwendig. Durch eine höhere Anzahl von Ladesäulen kann außerdem der Einsatz eines Lastmanagements zur Verteilung der begrenzten Energie nötig sein (Doppelbauer, 2020, S.394).

#### 3.3.3 Öffentlicher Raum

Der öffentliche Raum beinhaltet Städte und Wohngebiete ohne private Parkmöglichkeiten. Sie verfügen oft nicht über einen direkten Stromanschluss, so dass dieser erst erschlossen werden muss. Weiterhin ist es wichtig, dass der Parkplatz nur exklusiv von Elektrofahrzeugen benutzt werden kann. Durch die große Menge an Nutzern ist eine Einzelabrechnung der Ladevorgänge unerlässlich. Dafür werden Stromzähler direkt in den Ladesäulen installiert und durch ein Backend-System mit einem zentralen Abrechnungssystem verbunden (Doppelbauer, 2020, S.394).

### 3.4 Abrechnung der Ladevorgänge

Wer sein Elektroauto an einen Ladepunkt anschließt, um dort den Akku zu laden, der erwartet eine Abrechnung darüber, wie viel und zu welchem Preis geladen wird. Es muss also sowohl die geladene elektrische Energie gemessen, als auch eine Kostendarstellung erstellt werden. Allerdings gibt es viele verschiedene Ladeszenarien, welche im Bezug auf das Eichrecht und anderer Einflüsse unterschiedlich betrachtet werden müssen.

#### 3.4.1 Abrechnungsformen

In der Praxis haben sich fünf unterschiedliche Abrechnungssysteme ergeben, welche alle jeweils Vor- und Nachteile besitzen. Im Folgenden wird jedes System kurz vorgestellt und erläutert.

##### **Kostenlos**

Um den entstehenden Kosten für die technische und bürokratische Erstellung einer Abrechnung aus dem Weg zu gehen, wird das Laden kostenlos angeboten. Häufig greifen Autohändler oder Einkaufszentren (z.B. Kaufland) auf diese Methode zurück um dadurch Kunden zu gewinnen. Die Ladesäule kann dabei eher als eine Art Werbemittel zur Kundenaquise angesehen werden.

##### **Pauschal/Flatrate**

Ähnlich einer Datenflatrate beim Smartphone wird für einen festgelegten Zeitraum oder pauschal für einen Ladevorgang ein einmaliger Betrag berechnet. Auch hier ist eine genaue Abrechnung der geladenen Energiemenge für den Nutzer nicht nötig. Für den Betreiber lassen sich Betrieb und Einnahmen der Ladesäule allerdings besser kalkulieren.

##### **Zeitbasiert**

Es wird die Dauer des Ladevorgangs gemessen und z.B. mit einem Minutensatz das Entgelt berechnet. Für den Nutzer sind die entstehenden Kosten leicht nachzuvollziehen und die Messung der Energiemenge ist nebensächlich. Allerdings berücksichtigt dieses Verfahren nicht die unterschiedlichen Ladeleistungen der Elektrofahrzeuge. Daraus ergibt sich, dass ein leistungsstarkes Ladegerät im Auto zu einer kostengünstigeren Ladung führt.

##### **Verbrauchs basiert**

Die wohl eindeutigste Art der Abrechnung berechnet sich aus der verbrauchten Energiemenge. Wie an einer Tankstelle wird der Verbrauch genau gemessen und mit einem vorher festgelegten Kostenfaktor verrechnet. Für den Nutzer ergibt sich eine transparente Preisgestaltung.

##### **Mischkalkulation**

Bei einer Mischkalkulation werden die vorher genannten Abrechnungssysteme miteinander kombiniert. So kann z.B. für eine verbrauchs basierte Ladung eine zusätzliche einmalige Startgebühr dazu kommen. Eine andere Variante ist, nach vollständiger Ladung von verbrauchs basierter auf zeitbasierte Abrechnung zu wechseln. Sie ähnelt einem Parkticket und kann dem Blockieren von Ladesäulen entgegen wirken.

(Linnemann und Nagel, 2020, S. 59-60)

Vergleicht man die aufgeführten Abrechnungsformen, zeigt sich dass für den Nutzer einer Ladesäule nicht immer eine transparente und faire Abrechnung möglich ist. Um diesem Missstand entgegen zu wirken, hat die Europäische Union im Jahr 2014 die Richtlinie 2014/94/EU erlassen. In Artikel 4, Absatz 10 der EU-Richtlinie steht: „Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass die Preise, die von den Betreibern öffentlich zugänglicher Ladepunkte berechnet werden, angemessen, einfach und eindeutig vergleichbar, transparent und nichtdiskriminierend sind“ (EU Parlament, 2014).

In Deutschland wird diese EU-Richtlinie im Mess- und Eichgesetz berücksichtigt. Seit dem 1. April 2019 sind die Übergangsfristen ausgelaufen und jede Ladesäule, ob Bestand oder neu errichtet, muss dem Mess- und Eichgesetz entsprechen. Das Gesetz regelt die korrekte Erfassung des geladenen Stromes in kWh, die benötigte Zeit sowie eine datenschutzkonforme Verarbeitung der Nutzerdaten, um diese nachträglich jederzeit einsehen zu können. Eine Messung mit einer MID-konformen Ladesäule ist nach dem Mess- und Eichgesetz nur noch zur Aufteilung von Allgemeinkosten erlaubt. MID Zähler müssen durch eine staatlich geprüfte Konformitätserklärung des Herstellers nach der Produktion vorerst nicht geeicht werden. Soll ein konkreter Ladevorgang abgerechnet werden, muss die Ladesäule jedoch weiterhin geeicht sein.

Nicht mehr zulässig ist somit eine zeitbasierte und eine pauschale Abrechnungsform, da dabei keine transparente und korrekte Abrechnung der elektrischen Leistung in kWh erfolgt. Eine Flatrate dagegen ist weiterhin möglich, da im Vorfeld die Rahmenbedingungen festgelegt sind. Auch Mischkalkulationen auf Basis einer verbrauchsbasierten Abrechnung sind weiterhin zulässig. So kann zusätzlich eine Grundgebühr verlangt, oder der Verbrauch um einen Zeittarif erweitert werden, um das dauerhafte Blockieren von Ladepunkten zu verhindern (Linnemann und Nagel, 2020, S. 59-64).

Allerdings muss nicht jeder Ladevorgang dem Eichrecht entsprechen. Entscheidend ist dabei wo sich der Ladepunkt befindet, wer diesen versorgt und ob überhaupt eine Abrechnung stattfindet. Können z.B. die Mitarbeiter kostenlos auf dem Firmenparkplatz laden, ist keine geeichte Messeinrichtung notwendig. Möchte allerdings ein Kunde oder ein externer Besucher auf dem gleichen Firmenparkplatz laden, muss die Ladung geeicht gemessen und abgerechnet werden. Eine ähnliche Situation ergibt sich auf den Parkflächen eines Mehrfamilienhauses. Ist ein Ladepunkt direkt einer Wohnung zugeordnet, also an den dazugehörigen Stromzähler angeschlossen, muss keine Messung erfolgen. Kann der Ladepunkt allerdings von Besuchern, welche sich nicht an den Allgemeinkosten beteiligen, genutzt werden, ist eine geeichte Messung der einzelnen Ladevorgänge unerlässlich (Linnemann und Nagel, 2020, S. 72-75).

Ladevorgänge, die mit DC Ladepunkten durchgeführt werden, konnten im Vergleich zu AC-Ladungen lange nicht zuverlässig gemessen werden. Grund hierfür war, dass keine kompatible Messtechnik auf dem Markt erhältlich ist. Trotzdem müssen auch diese Ladevorgänge seit dem 1. April 2019 dem Mess- und Eichgesetz entsprechen. Aufgrund der fehlenden Hardware mussten die Betreiber von DC Ladesäulen mit einem Umrüstplan belegen, dass durch den

Hersteller der Ladesäule eine Lösung in Aussicht gestellt wird (Linnemann und Nagel, 2020, S. 44).

Seit Februar 2020 ist die erste eichrechtskonforme DC-Ladesäule auf dem Markt verfügbar. Allerdings handelt es sich dabei nicht um einen nachrüstbaren Zähler zum Einsatz in einem beliebigen Ladepunkt, sondern um eine vollwertige Ladesäule (Compleo-CS, 2020). Das könnte dazu führen, dass in Zukunft auch weitere Hersteller mit geeigneten und konformen Messsystemen nachziehen. Die dadurch entstehende Sicherheit bei der Planung und Investition in DC-Ladeinfrastruktur wird den öffentlichen Ausbau voran treiben und somit die Verfügbarkeit von Ladesäulen erhöhen.

#### 3.4.2 Bezahlmöglichkeiten

Ebenfalls in Artikel 4, Absatz 10 der EU-Richtlinie 2014/94/EU ist von nichtdiskriminierenden Preisen die Rede. Damit gemeint ist, dass jeder Besitzer eines Elektroautos die Möglichkeit haben soll, grundsätzlich an jedem öffentlichen Ladepunkt laden zu können. Es soll also keine öffentlichen Ladesäulen geben, welche nur einer exklusiven Nutzergruppe zur Verfügung stehen. Voraussetzung hierfür ist die Festlegung von einheitlichen Bezahlssystemen, welche für jeden potentiellen Nutzer verwendbar sind. In der Ladesäulenverordnung von 2017 sind die Bedingungen für ein einfaches und spontanes Laden an einer öffentlichen Säule definiert. Die Bezahlung des eichrechtskonformen Ladevorgangs muss vor Ort kostenlos, bargeld-, karten- oder webbasiert möglich sein.

Das bargeldbasierte Zahlen ähnelt dabei einem Parkautomaten. Ein festgelegter Wert an elektrischer Leistung wird mit Münzen und Scheinen bezahlt, um danach in das Auto geladen zu werden. Das kartenbasierte Verfahren ist weit verbreitet und kann mit einer Selfservice-Tankstelle verglichen werden. Vor Beginn der Ladung wird mit der EC- oder Kreditkarte die Ladesäule am EC-Terminal freigegeben und nach Beendigung des Ladevorgangs wird das Konto belastet. Wie auch in anderen Branchen, gewinnt das Zahlen mit dem Smartphone per App zunehmend an Bedeutung. Denn der Kunde kann selber wählen, welche Zahlungsmethode er in der App hinterlegt. Außerdem bieten Apps weiteren Service wie die Suche nach der nächstgelegenen Ladesäule oder Informationen über den Ladezustand (NPE, 2020b).

Zusätzlich zu den örtlichen Bezahlmethoden zum spontanen Laden gibt es noch E-Roaming Anbieter. Diese Anbieter sind nicht örtlich oder auf eine Marke begrenzt, viel mehr vereinen sie die vielen Möglichkeiten in einem einheitlichen System. E-Roaming Nutzer können z.B. über eine App eine Ladesäule im Verbundnetz ausfindig machen und diese Ansteuern. Vor Ort kann der Ladevorgang bequem mit einer RFID-Karte, dem Smartphone oder anderen Authentifizierungsmethoden gestartet werden. Verträge mit den einzelnen Anbietern der Infrastruktur schließt dabei der E-Roaming Anbieter, so dass der Kunde nur einen einzigen Vertrag abschließen muss. Der Kundenstamm wird durch die Vernetzung von kleinen Infrastrukturen wie z.B. die der örtlichen Stadtwerke, ausgebaut und die Kunden wiederum gewinnen an Flexibilität (Linnemann und Nagel, 2020, S. 79-80).

Wer eine Ladesäule im privaten Raum betreibt, kann das Bezahlmodell frei wählen. Eine private Wallbox in der eigenen Garage bedarf keiner Bezahlung, in einem Mehrfamilienhaus kann eine Abrechnung, wie bereits erläutert, über die Nebenkosten erfolgen. Auf einem Firmenparkplatz mit Lademöglichkeiten für die Mitarbeiter kann der Verbrauch z.B. mit dem Monatsgehalt verrechnet werden oder die Mitarbeiter zahlen einen pauschalen Beitrag für den Gebrauch der Ladesäulen. Welches System angewendet wird hängt sowohl von den Vorstellungen der Betreiber als auch von den Möglichkeiten im Backend-System ab.

## 3.5 Standards und Normen

Wer mit seinem Elektroauto in ein anderes Land fährt, der möchte sich sicher sein, dass er dort einen passenden Ladepunkt für sein Fahrzeug findet. Auch die Hersteller der Fahrzeuge möchten nicht für jeden Markt ein individuelles System anbieten müssen. Daher spielen Normen, Standards und Richtlinien eine entscheidende Rolle. Sie legen den Grundstein für eine Investitions- und Planungssicherheit aller Interessengruppen. Da die Elektromobilität sich zurzeit in einem stetigen und schnellen Wachstum befindet, müssen auch die Normen regelmäßig überarbeitet, angepasst und erweitert werden.

Die aktuell wichtigen und entscheidenden Normen zur Planung einer Ladeinfrastruktur mit einem konduktiven Ladesystem werden im Folgenden aufgezeigt und der Inhalt kurz erläutert. Nicht betrachtet werden dabei Normen für die Fahrzeugtechnik sowie für das kontaktlose Laden.

### **DIN EN IEC 61851-1**

Die Einrichtungen zum konduktiven Laden bei Wechselspannungen bis 1000 V und Gleichspannungen bis 1500 V sind in dieser Norm definiert. Sowohl die Eigenschaften und Betriebsbedingungen einer Ladeeinrichtung als auch die Ansprüche an die elektrische Sicherheit sind enthalten.

### **DIN EN 62196-1**

Definiert sind die Anforderungen an die Steckverbindungen zum konduktiven Laden sowie die Lademodi welche bereits in Unterabschnitt 3.2.1 erläutert sind. Dabei geht es sowohl um die Verbindung mit der Infrastruktur, als auch die Steckverbindung am Fahrzeug.

### **DIN EN ISO 15118-1**

Damit Ladevorgänge nicht nur automatisiert sondern auch effizient ablaufen, ist eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladepunkt nötig. Diese Norm definiert die Kommunikation und bietet somit auch Möglichkeiten zur Abrechnung der Ladevorgänge. Erweiterungen der Norm werden auch die Nutzung des Elektroautos als temporären Energiespeicher beinhalten.

#### **E DIN EN IEC 62752**

In dieser Norm sind die Anforderung für das Laden nach Mode 2 definiert, besonders die Schutzeinrichtungen in Form eines RCD sowie das Verhalten beim Fehlen eines Fehlerstrom-Schutzschalters. Auch die Anforderungen an die Control-Box im Mode 2 Ladekabel sind hier definiert.

#### **DIN VDE 0100-722**

Enthalten sind die besonderen Anforderungen an Niederspannungsanlagen, wenn diese für die Energieversorgung von Elektrofahrzeugen errichtet werden. Zusätzlich enthält die Norm auch Anforderungen für das Rückspeisen von elektrischer Energie durch Elektrofahrzeuge.

#### **DIN IEC 62955**

Inhalt dieser Norm sind die Anforderungen an eine Fehlergleichstrom Schutzeinrichtung für den dauerhaften Anschluss einer Ladestation für Elektrofahrzeuge. Dabei geht es explizit um die Ladebetriebsart Mode 3.

#### **VDE-AR-N 4100**

Zum Thema Schiefast zwischen den Phasen enthält diese Norm die Regelungen für den korrekten Anschluss, sowie die maximale Belastung. 3-phasige Ladeeinrichtungen dürfen bis zu maximal 3 x kleiner oder gleich 4,6 kVA auf den Außenleitern angeschlossen werden.

#### **IEC 62893-1**

Es sind die Dimensionierungs-, Konstruktions und Testanforderungen für Ladekabel bis 1000 V Wechselspannung und 1500 V Gleichspannung definiert. Speziell geht es dabei um Ladekabel zum Laden mit Mode 3 und 4.

#### **DIN EN 50620**

Spezielle Norm für die Anforderungen an halogenfreie Ladekabel bis 450 V Wechselspannung und 750 V Gleichspannung. Die hier definierten Ladekabel eignen sich für das Laden mit Mode 1-3.

Diese sowie weitere Informationen zum Thema kontaktloses Laden oder leitendes Laden mit höherer Ladeleistung finden sich in der Deutschen Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020 (NPE, 2020a).

## 4 Fördermöglichkeiten

Im Abschnitt 2.1 sind bereits einige Fördermöglichkeiten für die Anschaffung von Elektrofahrzeugen betrachtet worden. Diese Förderungen führen zu einer wachsenden Zahl von Elektrofahrzeugen in Deutschland, verlangen jedoch auch nach einer leistungsfähigen und flächendeckenden Ladeinfrastruktur. Der Ausbau von öffentlicher und halb-öffentlicher Ladeinfrastruktur schreitet kontinuierlich voran, während flächendeckende Ladeeinrichtungen auf privaten Grundstücken noch fehlen. Eine Umfrage des Bundesverbands der Energie und Wasserwirtschaft e. V. aus dem Jahr 2019 zeigt, dass 65 % der potentiellen Nutzer von Elektroautos am liebsten zu Hause laden würden. Weitere 7,4 % bevorzugen das halb-öffentliche Laden auf der Arbeitsstelle und nur 15 % der Befragten würde am liebsten an öffentlichen Ladesäulen laden (BDEW, 2019).

Wie auch zur Anschaffung von Elektrofahrzeugen werden verschiedene Förderungen zur Errichtung von Ladeinfrastruktur angeboten. Diese Förderungen richten sich sowohl an Privatpersonen als auch an Gewerbetreibende. Neben weiteren Anpassungen z.B. beim Wohneigentumsrecht sind diese Förderungen der wichtigste Schritt zu einem flächendeckenden Netz von Ladeinfrastruktur. Im Folgenden werden sowohl die bundesweiten als auch Förderungen der Länder Hamburg, Schleswig-Holstein und Niedersachsen genauer erläutert. Der Umfang der Förderungen hängt von vielen Faktoren ab und kann erst bei einem konkreten Vorhaben genau bestimmt werden. Ob die Förderung allerdings generell in Frage kommt, lässt sich anhand der folgenden Informationen ermitteln.

### 4.1 Bundesweit

Auf Bundesebene gibt es in Deutschland aktuell zwei Förderungen für Ladeinfrastruktur, wobei für eine zum Zeitpunkt dieser Arbeit kein aktueller Förderaufruf besteht. Wichtig ist bei allen Förderungen, dass diese vor Beginn der zu fördernden Arbeiten beantragt und genehmigt werden müssen. Eine nachträgliche Bezuschussung bereits begonnener Arbeiten ist häufig nicht möglich.

Tabelle 4.1: Förderung: Ladestationen für Elektroautos - Wohngebäude

<b>Name</b>	Ladestationen für Elektroautos - Wohngebäude
<b>Laufzeit bis</b>	unbestimmt
<b>Förderberechtigte</b>	Privatpersonen, Wohnungseigentumsgemeinschaften, Mieter und Vermieter, Wohnungsbaugenossenschaften und Bauträger
<b>Förderhöhe</b>	bis zu 900 Euro pro Ladepunkt, max. 9.000 Euro bei 10 Ladepunkten
<b>Fördergeber</b>	Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)
<b>Beschreibung</b>	<p>Die Förderung der KfW bezieht sich speziell auf private Ladeinfrastruktur in Wohngebäuden, häufig handelt es sich dabei um Wallboxen. Allerdings wird nicht nur der Kauf einer solchen Wallbox gefördert, sondern auch die Installationsarbeiten sowie die Kosten eines Energiemanagement-Systems.</p> <p>Fördervoraussetzung ist, dass die Wallbox nicht im öffentlichen Bereich errichtet wird. Weiterhin muss die Wallbox intelligent und steuerbar sein, sie muss sich also in das Energieversorgungssystem einbinden lassen können. Die Leistung der Wallbox darf maximal 11 kW betragen, ist diese höher, muss die Wallbox dauerhaft gedrosselt werden. Der zum Laden verwendete Strom muss zu 100 % aus Erneuerbaren Energien stammen, also aus einem Ökostromtarif oder auch aus der lokalen PV-Anlage (KfW, 2020).</p>

Eine weitere Förderung der Bundesregierung besteht bereits seit 2017 und wird durch regelmäßige Förderaufrufe verlängert. Am 22.07.2020 endete der sechste Förderaufruf, ein siebter Förderaufruf ist für das Frühjahr 2021 geplant (NOW, 2020). Da die einzelnen Förderaufrufe aufeinander aufbauen, ändern sich die Förderrichtlinien und Förderquoten, basierend auf den in der Vergangenheit bereits geförderten Maßnahmen und Regionen. Ein aktueller Blick in die Förderrichtlinien ist daher hilfreich.

Tabelle 4.2: Förderung: Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge

<b>Name</b>	Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge
<b>Laufzeit bis</b>	22.07.2020 (vorerst)
<b>Förderberechtigte</b>	Natürliche und juristische Personen
<b>Förderhöhe</b>	Förderquote bis zu 40%, in Ausnahmefällen bis zu 60%
<b>Fördergeber</b>	Bundesregierung
<b>Beschreibung</b>	<p>Das Hauptziel dieser Förderung ist die Erreichbarkeit einer Schnellladestation innerhalb von 10 Minuten in ganz Deutschland. Gefördert werden deshalb neben Normalladepunkten mit 3,7 kW bis einschließlich 22 kW auch DC-Schnellladepunkte mit mehr als 22 kW.</p> <p>Die Förderhöhe gilt prozentual bis zu einem festen Maximalwert. Normalladepunkte werden mit max. 40 % und maximal 2.500 Euro gefördert. DC-Schnellladepunkte sind auf einer Karte nach Bedarf in den jeweiligen Regionen unterteilt. Bei hohem Bedarf gibt es für Ladeleistungen &lt;100 kW eine Förderung von 50 % und maximal 12.000 Euro, Stationen mit mehr als 100 kW erhalten 50 % und maximal 30.000 Euro. Für Ladepunkte in Gebieten mit geringem Bedarf gibt es für Ladeleistungen &lt;100 kW bis zu 30 % und maximal 9.000 Euro Förderung, &gt;100 kW erhalten 30 % mit maximal 23.000 Euro. Weiterhin wird der Ausbau oder Umbau des Netzanschlusses mit maximal 5.000 Euro gefördert.</p> <p>Eine Modernisierungsmaßnahme einer bestehenden Infrastruktur wird nach den gleichen Vorgaben wie auch ein Neubau gefördert. Generelle Voraussetzung für die maximale Förderung ist eine öffentliche Zugänglichkeit der Ladestationen. Kann diese Zugänglichkeit nur werktags (montags bis samstags) für je 12 Stunden umgesetzt werden, halbieren sich die Förderquoten (BAV, 2020).</p>

## 4.2 Hamburg

In Hamburg gibt es aktuell eine Förderung welche durch ihre Inhalte und Kriterien viele Vorhaben abdeckt. Auch die Forschung an Ladeinfrastruktur ist in die Förderung integriert.

Tabelle 4.3: Förderung: Ladeeinrichtungen an und in Wohn- oder Gewerbeimmobilien

<b>Name</b>	Ladeeinrichtungen an und in Wohn- oder Gewerbeimmobilien (Electrify Buildings for Evs - Elbe)
<b>Laufzeit bis</b>	31.08.2022 (Inbetriebnahme bis 30.09.2022)
<b>Förderberechtigte</b>	Unternehmen, Forschungseinrichtung, Vereine, Hochschulen, Stiftungen
<b>Förderhöhe</b>	Je nach Unternehmensgröße 40-60 % der Kosten für Hardware, technischen/baulichen Vorlauf, Installation/Inbetriebnahme, Betriebsführung
<b>Fördergeber</b>	Hamburgische Investitions- und Förderbank (IFB)
<b>Beschreibung</b>	<p>Mit dem Projekt Elbe möchte die Stadt Hamburg seit 2018 insgesamt 7.400 Ladesäulen in der Stadt fördern. Ziel dabei ist nicht nur die öffentliche Ladeinfrastruktur, sondern auch Ladepunkte auf Firmengeländen und an Wohngebäuden. Die Höhe der Förderung hängt dabei vom Antragsteller ab, große Unternehmen erhalten 40 %, mittlere 50 % und kleine 60 %. Öffentliche Einrichtungen wie Hochschulen oder Verwaltungen erhalten sogar eine Förderung von 100 %.</p> <p>Die Förderbedingungen sind dabei überschaubar. Es muss ein Ladestationsbetreiber gewählt werden, der über eine IT-Schnittstelle mit dem Verteilernetz kommunizieren kann. Hierfür empfiehlt das Projekt einige Partner, die Wahl trifft der Kunde aber selbst. Weiterhin muss es dem Netzbetreiber erlaubt sein, bei netzseitigem Bedarf die Stromentnahme der Ladestationen zu begrenzen. Zur wissenschaftlichen Forschung werden außerdem die Nutzerdaten erfasst und gespeichert.</p> <p>Sowohl der Kauf als auch das Leasing von Ladestationen wird gefördert. Das Projekt Elbe und seine Ladestationsbetreiber-Partner bieten zusätzlich Dienstleistungen zum Errichten und Betreiben von Ladestationen an. Von der Beratung und Analyse, über die Inbetriebnahme bis zur Abrechnung und Wartung kann zusammen mit der Förderung ein solches Projekt durchgeführt werden (IFB, 2020).</p>

### 4.3 Schleswig-Holstein

Das Land Schleswig-Holstein deckt in seiner Förderung neben den üblichen Maßnahmen auch die Einrichtung von Lastmanagementsystemen ab.

Tabelle 4.4: Förderung: Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge

<b>Name</b>	Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge
<b>Laufzeit bis</b>	31.12.2023
<b>Förderberechtigte</b>	Natürliche und juristische Personen des privaten und öffentlichen Rechts
<b>Förderhöhe</b>	Nicht-öffentliche Ladeinfrastruktur: 500 bis 750 Euro pro Ladepunkt, öffentliche Ladeinfrastruktur: 1.000 bis 7.500 Euro pro Ladepunkt
<b>Fördergeber</b>	Wirtschaftsförderung und Technologietransfer Schleswig-Holstein GmbH (WTSH)
<b>Beschreibung</b>	<p>Gefördert wird sowohl öffentliche als auch nicht-öffentliche Ladeinfrastruktur sowie ein Lastmanagement für mindestens drei Ladepunkte. Voraussetzung für eine Förderung ist die Errichtung von Ladesäulen nach der Ladesäulenverordnung, sowie im öffentlichen Raum nach den Vorgaben des Mess- und Eichrechts. Weiterhin muss die Ladung ausschließlich mit Strom aus erneuerbaren Energien erfolgen und eine öffentliche Ladeinfrastruktur muss mindestens drei Jahre betrieben werden.</p> <p>Im nicht-öffentlichen Raum werden Ladepunkte von juristische Person des Privatrechts und natürlichen Personen mit 500 Euro und die von juristischen Personen des öffentlichen Rechts mit 750 Euro gefördert. Zusätzlich kann ein Lastmanagement bei mindestens drei Ladepunkten mit zusätzlich 500 Euro gefördert werden.</p> <p>Öffentliche Ladepunkte sind nach der Ladeleistung gestaffelt, 1.000 Euro bei 11 kW, 2.000 Euro bei 22 kW und 7.500 Euro bei 50 kW oder mehr. Auch hier kann ein zusätzliches Lastmanagement mit 500 Euro gefördert werden. Für alle Förderungen gilt, dass die Förderung nicht mehr als 50 % der förderfähigen Summe betragen darf (WTSH, 2020).</p>

## 4.4 Niedersachsen

Niedersachsen fördert als einziges Land explizit nur nicht öffentliche Ladeinfrastruktur.

Tabelle 4.5: Förderung: Förderung einer nicht öffentlichen Ladeinfrastruktur

<b>Name</b>	Förderung einer nicht öffentlichen Ladeinfrastruktur
<b>Laufzeit bis</b>	31.12.2022
<b>Förderberechtigte</b>	Unternehmen, Vereine, Freiberufler, Genossenschaften
<b>Förderhöhe</b>	Planung und Beratung bis zu 20 %, Netzanschluss bis zu 60 %, Ladeinfrastruktur bis zu 80 %
<b>Fördergeber</b>	Land Niedersachsen
<b>Beschreibung</b>	<p>Gefördert werden Planungs- und Beratungsleistungen, die Installation mit Netzanschluss und Ersatzbeschaffungen und Nachrüstungen. Der Betreiber verpflichtet sich, die Infrastruktur für mindestens 3 Jahre zu betreiben und keine weiteren Förderungen in Anspruch zu nehmen.</p> <p>Neben den Planungs- und Beratungsausleistungen, welche mit maximal 20 % gefördert werden, wird der Netzanschluss an das Niederspannungsnetz mit 60 % und maximal 5.000 Euro und an das Mittelspannungsnetz mit 60 % und maximal 50.000 Euro gefördert. Die Förderung der Ladeinfrastruktur staffelt sich nach Ladeleistung, pauschal wird sie mit 80 % gefördert. Pro Ladepunkt gibt es allerdings eine Maximalsumme, diese beträgt bei einer 22 kW AC-Ladestation 2.500 Euro. DC-Ladestationen werden bei einer Anschlussleistung größer 22 kW mit maximal 30.000 Euro, größer 50 kW mit maximal 70.000 Euro und größer 100 kW mit maximal 100.000 Euro gefördert</p>

Betrachtet man die angebotenen Förderungen innerhalb der verschiedenen Bundesländer, zeigt sich, dass der Aufbau einer Ladeinfrastruktur aus finanzieller Sicht aktuell sehr sinnvoll ist. Ob private, halb-öffentliche oder öffentliche Ladeinfrastruktur spielt dabei zurzeit keine Rolle, da sowohl vom Bund als auch von den Ländern in allen Bereichen passende Förderungen vorhanden sind.

Vor allem die Förderung in Tabelle 4.4 ist interessant, da hier bereits ab drei Ladesäulen ein Lastmanagement gefördert wird. Aber auch bei den übrigen Förderungen lässt sich ein Lastmanagement als Modernisierungsmaßnahme ansehen. Erfüllt die Ladeinfrastruktur also alle weiteren Anforderungen, kann die Nachrüstung oder die Errichtung eines Lastmanagements teilweise gefördert werden.

## 5 Lade- und Lastmanagement

Durch die Elektrifizierung der Mobilität und den Ausbau von öffentlicher und privater Ladeinfrastruktur entsteht eine hohe Belastung für das Versorgungsnetz. Es ergeben sich viele Anforderungen an die lokalen Verteilungsnetze und deren Verbraucher. Eine umweltschonende Erzeugung der verwendeten Energie ist die Grundvoraussetzung, um bei gleichbleibender Mobilität die Umwelt und ihre Ressourcen zu schonen und zu schützen. Ein verlässlicher Energiemix aus Erneuerbaren Energien ist dabei die größte Herausforderung.

Weiterhin muss die vorhandene Energie intelligent verteilt werden. Bei Überlast müssen die nicht zeitkritischen Vorgänge unterbrochen werden, um sie bei Unterlast wieder fortzusetzen. Die Speicherung von Energie ist bisher nur begrenzt möglich, daher ist es wichtig die produzierte Energie zu jeder Zeit optimal zu verwenden. Sobald der Anteil von Elektroautos im System steigt, ergeben sich zwangsläufig mehr Möglichkeiten die elektrische Energie zu speichern und bei Bedarf zurück in das Netz zu speisen.

Die intelligente Verteilung der Energie durch ein Energiemanagementsystem (EMS) kann dabei einen großen Teil zur Verbesserung beitragen. Die Idee eines EMS ist nicht neu und wird bereits in vielen Bereichen, etwa der Gebäudetechnik oder bei Photovoltaikanlagen angewendet. Unternehmen können sich in der ISO 50001 zertifizieren lassen, diese unterstützt beim Aufbau eines systematischen EMS. Durch die Messung von Produzenten und Verbrauchern sowie die Anpassung der Prozesse kann bereits ein Teil zur Einsparung von Energie und Ressourcen geleistet werden.

Der letzte Punkt ist der effiziente Verbrauch von Energie. In der Elektromobilität bedeutet dies, Verluste zu verringern. Die Ladevorgänge müssen effizient ablaufen, Elektromotoren ihre maximale Effizienz ausschöpfen und Widerstände, wie z.B. Luftwiderstände der Karossen müssen minimiert werden. Im Gegenteil zur bisherigen Verbrenner-Mobilität steht die Elektromobilität noch am Anfang dieses Prozesses (Eickelmann, 2017, S. 149).

### 5.1 Definition

Ein Lade- und Lastmanagement, häufig auch nur Lademanagementsystem genannt, ist ein EMS, welches den speziellen Anforderungen der Elektromobilität entspricht. Durch die Verteilung der vorhandenen Leistung im System wird jeder Verbraucher optimal versorgt und das Stromnetz entlastet. Zusätzlich können Eigenerzeugungsanlagen wie z.B. eine PV-Anlage berücksichtigt werden.

Ladepunkte für Elektroautos benötigen zur effizienten Nutzung eine hohe Leistung. Bereits in Tabelle 3.1 sind die möglichen Ladeleistungen der verschiedenen Systeme aufgeführt. Das Laden an einer roten CEE-Steckdose oder mit einem Typ 2 Stecker und einer Wallbox geschieht je nach Fahrzeug mit 11 oder 22 kW. Zum Vergleich, in der DIN 18015-1 zur Planung von elektrischen Anlagen in Wohngebäuden wird für eine übliche Wohneinheit ohne Warmwasserbereitung ein Leistungsbedarf von 14,5 kW angenommen. Ein dreiphasiger Hausanschluss ohne Warmwasserbereitung wird meist mit 63 Ampere Sicherungen bestückt. Es ergibt sich bei 3 Phasen x 63 A x 230 V eine maximale Anschlussleistung von 43,5 kW. Bei einem Einfamilienhaus ist demnach zumindest die Errichtung von einer 22 kW-Ladesäule oder kleiner vorerst kein Problem.

In Mehrfamilienhäusern oder Quartieren ergibt sich allerdings eine andere Situation. Der Leistungsbedarf nach DIN 18015-1 steigt nicht linear sondern nur anteilig. So wird z.B. für fünf Wohneinheiten ohne Warmwasserbereitung an einem gemeinsamen Hausanschluss ein Leistungsbedarf von 41 kW angenommen. Grund hierfür ist die Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors in der Berechnung der Leistung.

**Gleichzeitigkeitsfaktor** *Befinden sich in einem System mehrere Verbraucher mit unterschiedlichem Leistungsbedarf, sind diese erfahrungsgemäß nicht immer alle gleichzeitig eingeschaltet. In der Auslegung von elektrischen Anlagen wird diese Varianz mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor beschrieben. Der Faktor kann maximal den Wert 1 annehmen, was einer dauerhaften Leistungsaufnahme eines Verbrauchers entspricht. Bei einer steigenden Zahl von Verbrauchern erhöht sich die potentielle Last im System, durch den Gleichzeitigkeitsfaktor muss allerdings die Anschlussleistung nicht im gleichen Maße mit wachsen. Die Bestimmung des Faktors beruht auf Erfahrungswerten. (BDEW, 2020, S. 15).*

Gerade bei gemeinsam genutzten Hausanschlüssen kann die Errichtung von Ladeeinrichtungen schnell die Leistungsgrenze des Anschlusses oder der Leitungen erreichen. Da die Erweiterung eines Hausanschlusses oder der verlegten Leitungen nicht ohne weiteres möglich ist, bleibt nur der begrenzte Einsatz von Ladesäulen oder die Verringerung der Leistung durch ein Lastmanagement. Weil aber der Ladevorgang eines Elektroautos mehrere Stunden in Anspruch nehmen kann, ist eine begrenzte Anzahl von Ladepunkten, ähnlich einer Tankstelle, keine Lösung. Vielmehr muss jedes Fahrzeug angeschlossen sein und gesteuert geladen werden.

Ist der eigene Hausanschluss für die Belastung eines Ladepunktes geeignet oder dementsprechend aufgerüstet worden, besteht weiterhin eine Belastung für das Stromverteilungsnetz. In dicht besiedelten Gebieten oder an Industriestandorten mit vielen Ladepunkten entsteht somit eine hohe Belastung. Diese kann entweder durch Abschaltung der Ladesäulen oder durch ein geregeltes Absenken der Ladeleistung begrenzt werden. Ein Lade- und Lastmanagement kann in diesem Fall die vorhandene Energie intelligent verteilen. Dadurch ist ein gleichmäßiges, wenn auch gedrosseltes Laden von Elektrofahrzeugen möglich.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Erhöhung des Eigenverbrauchanteils. Werden die Ladepunkte mit selbst produziertem Strom versorgt, ergeben sich Kosteneinsparungen und die Netzbelastung sinkt. Aber auch weitere Erzeuger wie z.B. eine Kraft-Wärme-Kopplung können durch ein Lastmanagement berücksichtigt werden.

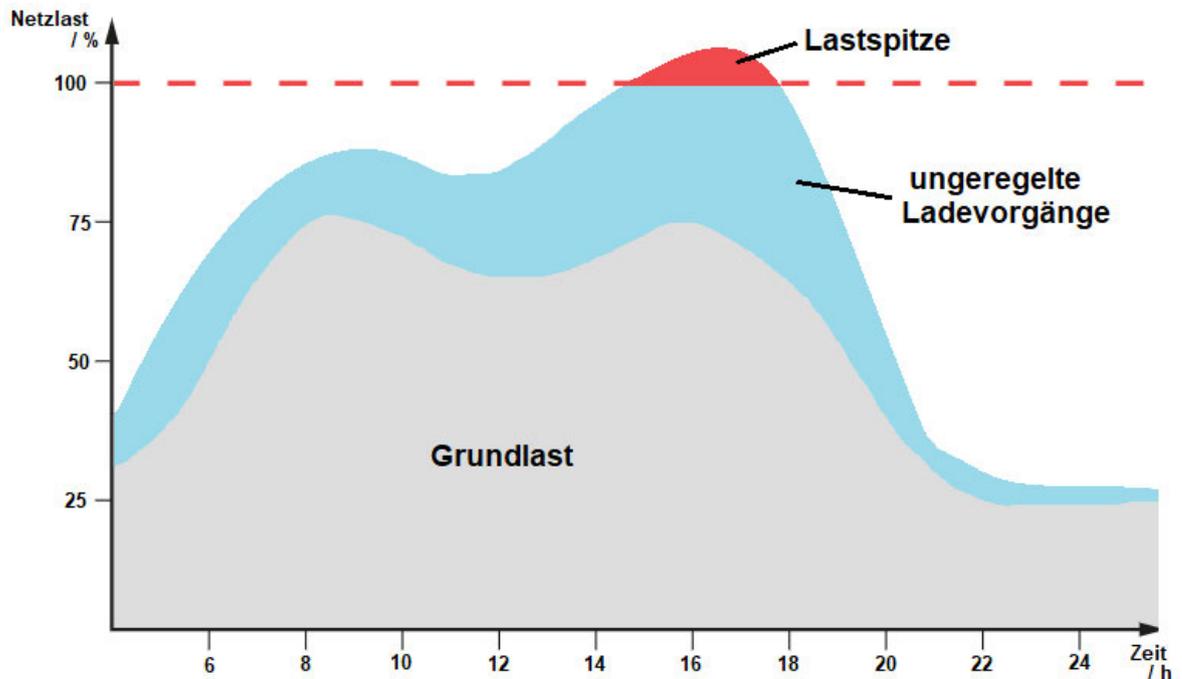


Abbildung 5.1: Verteilung der Last ohne Lastmanagement. Quelle: Eigene Darstellung

Als Beispiel für die Überlastung eines Anschlusses wird in Abbildung 5.1 der Verlauf der Grundlast eines Gebäudes über einen festen Zeitraum dargestellt. Über den Tag steigt die Grundlast durch verschiedenen Verbraucher an und zum Abend sinkt sie wieder ab. Am Morgen und am späten Nachmittag steigt die Grundlast durch große Verbraucher, wie beispielsweise Küchengeräte, stark an.

Die unregelmäßigen Ladevorgänge werden zur Grundlast addiert. Hinzu kommt, dass am Nachmittag viele Ladevorgänge mit einem hohen Leistungsbedarf gestartet werden. Da die Ladeeinrichtungen über keine Begrenzungen verfügen, kommt es zu einer Lastspitze. Zusätzlich zu den entstehenden Netzkosten steigt die Gefahr einer elektrischen Überlast. Durch eine anhaltende Belastung des Hausanschlusses oberhalb des ausgelegten und abgesicherten Nennwertes kann ein Stromausfall im gesamten Gebäude die Folge sein.

## 5.2 Betriebsarten

Die Abbildung 5.1 hat gezeigt, dass ein unregelmäßiges Laden deutliche Nachteile mit sich bringt. Beschränkt man sich auf einige wenige Ladesäulen, kann ein unregelmäßiger Betrieb

durchaus Sinn ergeben, steigt allerdings die Anzahl der Ladepunkte, müssen andere Betriebsarten gewählt werden. Die verschiedenen Möglichkeiten werden im folgenden genauer erläutert.

### 5.2.1 Statisch

Die bezogene Netzleistung kann durch ein Lastmanagement statisch begrenzt werden. Dabei wird ein maximaler Leistungswert eingestellt, welcher zusammen mit der Allgemeinlast noch ausreichend Toleranz zur Leistungsgrenze bietet. In Abbildung 5.2 ist ein solches Leistungsli- mit als orangener Anteil zusätzlich zu der Grundlast dargestellt.

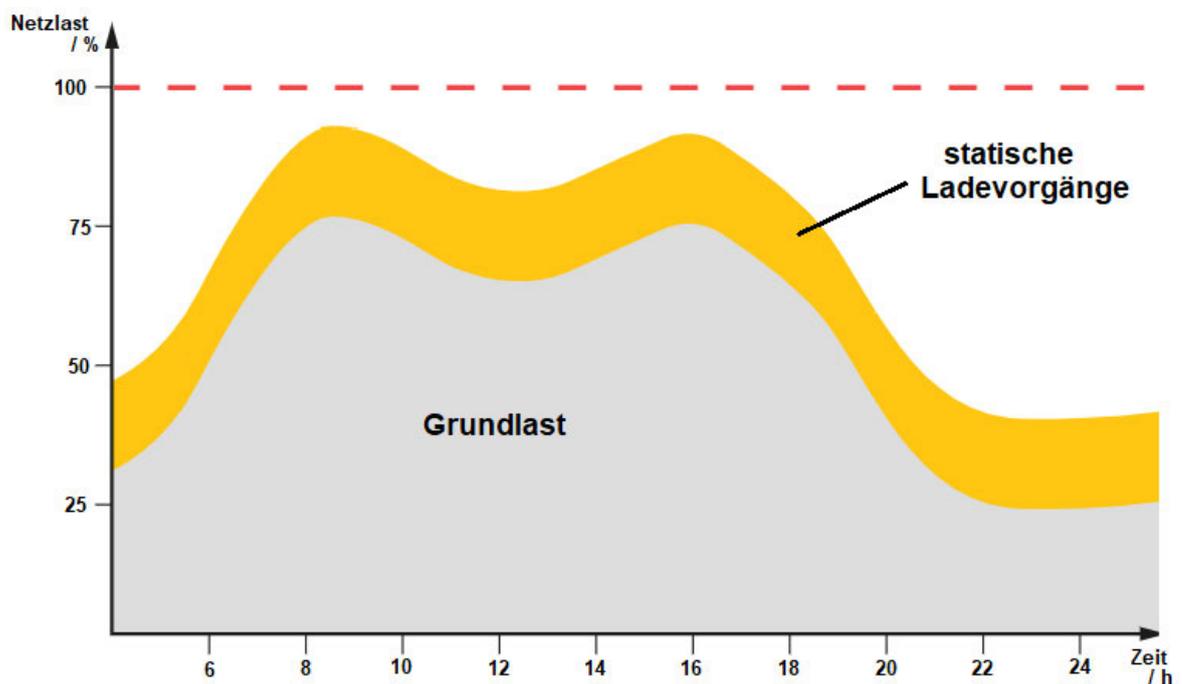


Abbildung 5.2: Verteilung der Last mit statischem Lastmanagement.  
Quelle: Eigene Darstellung

Um die statische Lastvorgabe einzuhalten, werden die Ladevorgänge in ihrer Leistung begrenzt. Umso weniger Ladevorgänge aktiv sind, umso mehr statische Leistung steht den restlichen Ladevorgängen zur Verfügung. Durch eine im Vorfeld bestimmte Toleranz wird die maximale Netzlast in Abbildung 5.2 nicht überschritten. Würden sich allerdings zwischen 8 und 9 Uhr noch weitere Verbraucher in der Grundlast dazu schalten, könnten trotzdem Lastspitzen entstehen.

### 5.2.2 Dynamisch

Beim dynamischen Lastmanagement ist die eingestellte maximale Energie nicht mehr festgeschrieben, sondern variabel. Dadurch kann auf unterschiedliche Versorger und Verbraucher

sowie die Tageszeit Rücksicht genommen werden. Mithilfe einer intelligente Messstelle wird der Verbrauch und eventuelle örtliche Erzeuger gemessen. Dadurch kann die Leistungsdifferenz bis zur Lastgrenze zum Laden der Elektroautos verwendet werden, ohne diese dabei zu überschreiten.

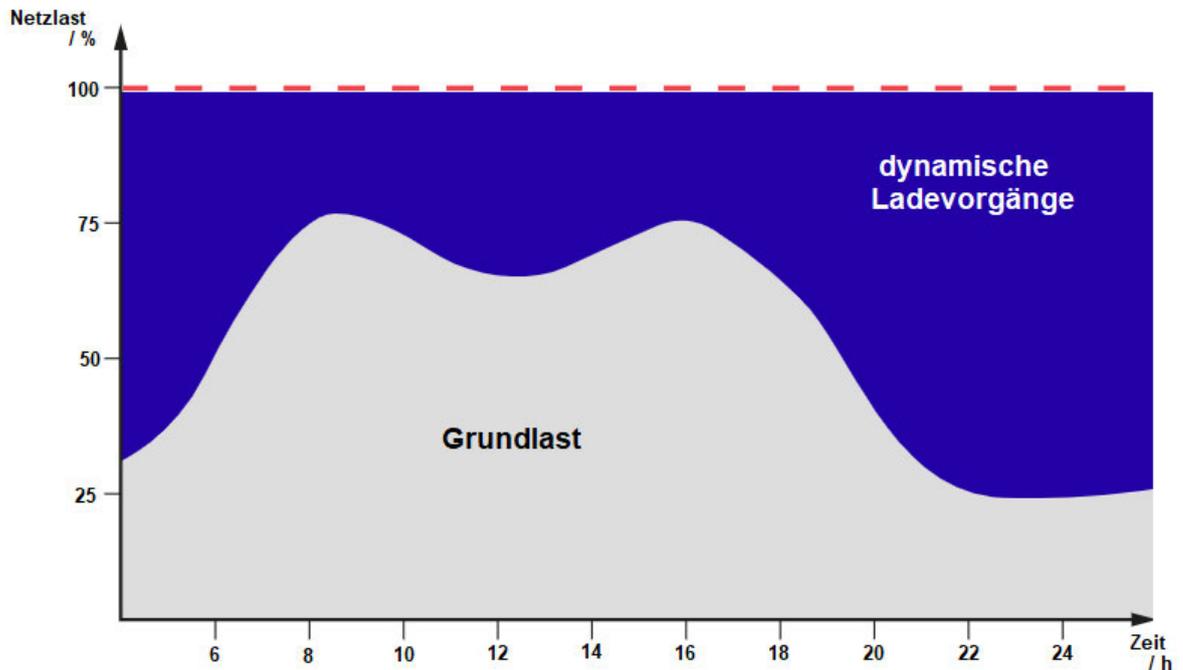


Abbildung 5.3: Verteilung der Last mit dynamischen Lastmanagement.  
Quelle: Eigene Darstellung

In der Abbildung 5.3 ist die maximale Netzlast bei 100 % in rot eingezeichnet. Der blaue Bereich zwischen maximaler Netzlast und Grundlast steht der Ladeinfrastruktur zur Verfügung. Innerhalb des blauen Bereiches werden die Ladevorgänge verteilt, sofern nötig werden diese auch in ihrer Leistung begrenzt. Sollten zu viele Ladevorgänge gestartet werden, können die Ladevorgänge auch zeitlich verschoben werden bis ein anderer Vorgang abgeschlossen ist. Durch die Messung der Grundlast wird die maximale Netzlast zu keinem Punkt überschritten aber, sofern nötig, maximal ausgenutzt.

### 5.2.3 Priorisiert

Aufbauend auf einem statischen oder dynamischen Lastmanagement kann eine Priorisierung der Ladevorgängen erfolgen. Die jeweilige Priorität kann mit einer RFID-Karte zur Autorisierung an der Ladesäule verknüpft sein. Dadurch kann das Fahrzeug einer ausgewählten Person, welche sich nur kurzzeitig im Unternehmen aufhält, bevorzugt und somit schneller geladen werden. Auch für große Flotten mit einem Fahrplan eignet sich diese Methode. Elektrobusse welche nach einem festen Fahrplan eingesetzt werden, können dadurch präzise geladen werden, ohne das der Netzanschluss ausgebaut werden muss (TMH, 2020b).

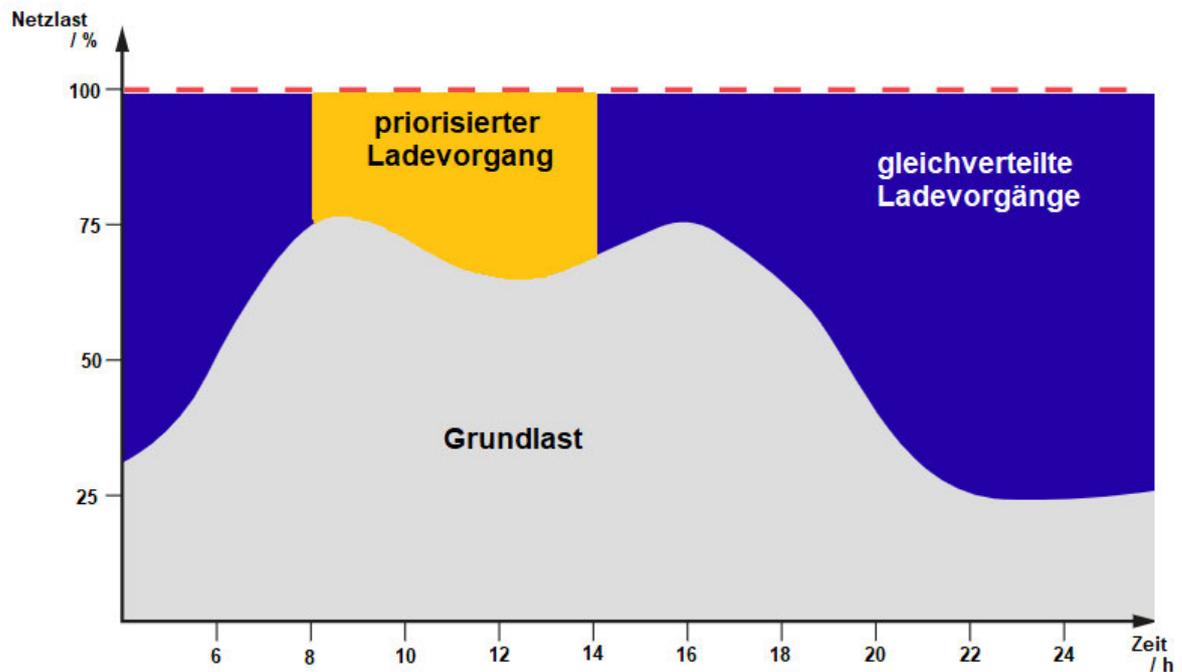


Abbildung 5.4: Verteilung der Last mit dynamischen Lastmanagement und Priorisierung.  
Quelle: Eigene Darstellung

Der orangene Bereich beinhaltet die priorisierte Ladung welche das gesamte Leistungspotenzial der Ladeinfrastruktur ausnutzt. Die vorher gleich verteilten Ladungen im blauen Bereich werden in diesem Fall pausiert. Nach Beendigung der priorisierten Ladung werden die restlichen Ladevorgänge wieder fortgesetzt. Sollte im priorisierten Bereich noch Leistung übrig sein, würde diese auf die Ladevorgänge im blauen Bereich verteilt werden. Wichtig ist auch hier, dass der priorisierte Ladevorgang zwar die verfügbare Leistung vollkommen nutzt, allerdings keine Lastspitzen erzeugt.

### 5.3 OCPP

Das Open Charge Point Protocol (OCPP), auch „Freier Ladepunkt Kommunikationsstandard“ genannt, ist ein Protokoll zur Kommunikation von Ladestationen mit einem Managementsystem. Es wurde 2009 in den Niederlanden entwickelt und wird mittlerweile von der „Open Charge Alliance“ (OCA) verwaltet und weiter entwickelt. Die OCA ist ein Zusammenschluss von über 150 Unternehmen, darunter Hersteller von Elektroautos, Ladesäulen, Lastmanagement, Backend-Systemen sowie wissenschaftliche Einrichtungen. Das Ziel ist die Entwicklung einer einheitlichen Schnittstelle, welche aufgrund von Parallelen auch kompatibel mit der DIN EN ISO 15118-1 ist. Der große Vorteil von OCPP liegt in dem universellen Kommunikationsprotokoll, welches unabhängig von einzelnen Anbietern funktioniert. Dadurch lassen sich in einer Ladeinfrastruktur unterschiedliche Systeme verschiedener Hersteller kombinieren und

ergänzen. Eine höhere Investitionssicherheit bei der Errichtung von Ladeinfrastruktur ist die Folge (Eickelmann, 2017, S. 315).

Im Jahr 2015 wurde die Version 1.6 auf Basis von JSON, einem kompakten Datenformat zum einfachen Austausch von Informationen, veröffentlicht. Die Implementierung von Lastmanagement-Funktionen fand in Version 1.6 statt und wurde seit dem stetig erweitert. Die aktuelle Version 2.0.1 enthält Verbesserungen zur sicheren und verschlüsselten Übertragung von Nutzerdaten. Mittlerweile bieten fast alle Anbieter die Implementierung von OCPP in ihrer Infrastruktur an. Bei der Auswahl von einzelnen Ladesäulen, ganzen Infrastrukturen oder dem Backend ist immer darauf zu achten, dass OCPP vollständig implementiert ist. Ladeinfrastrukturen ohne OCPP sind nicht zukunftssicher und können nicht in ein Lastmanagement integriert werden (OCA, 2020).

### 5.4 Schnittstellen

Mit der Implementierung eines Lastmanagementsystems ergeben sich Schnittstellen zu diversen anderen Systemen. Die Relevantesten werden hierunter vorgestellt.

#### 5.4.1 Gebäude- und Energiemanagementsysteme

Die Kombination eines Lastmanagementsystems für die Ladeinfrastruktur mit einem Gebäude- und Energiemanagementsystem erweitert die möglichen Funktionen. Häufig besitzen größere Industrie- oder Geschäftsgebäude bereits ein solches System oder es wird beim Neubau mit geplant. Energiemanagementsysteme erfassen und analysieren die Energieträger eines Gebäudes, um im Anschluss Energieeinsparpotenziale zu identifizieren, wirtschaftlich zu bewerten und umzusetzen.

Eine Ladeinfrastruktur ist, ob mit oder ohne Lastmanagementsystem, ein großer Energieträger welcher im Energiemanagementsystem besonders berücksichtigt werden sollte. Häufig ergeben sich Synergien zwischen den Systemen welche sich vorteilhaft auf die Energieeffizienz des Gebäudes auswirken. Außerdem bieten die Hersteller von Ladeinfrastruktur mit Lastmanagement häufig passende Gebäude- und Energiemanagementsysteme an. Eine Anbindung an die gängigen Systeme zur Gebäudeautomation ist dabei meist Standard (PC, 2020).

#### 5.4.2 Fuhrparkmanagement

Ob Pflegedienst oder Nahverkehrsbetrieb, Unternehmen deren Geschäftsmodell primär auf Mobilität beruht müssen beim Umstieg auf Elektromobilität besonders berücksichtigt werden. Je nach Ausprägung verfügen solche Unternehmen häufig über ein Fuhrparkmanagement, welches auch Flottenmanagement genannt wird. Ziel eines solchen Systems ist die Überwachung und Planung der eigenen Fahrzeugflotte.

In Verbindung mit einem Lastmanagementsystem und festen Fahrplänen wie bei einem Busdepot für den Nahverkehr ergeben sich diverse Möglichkeiten. Mithilfe des priorisierten Ladens (siehe 5.2.3) können die Fahrzeuge je nach Einsatzzeitraum geladen werden. Fahrzeuge werden dann z.B. tagsüber nur soviel geladen wie nötig um sie nachts mit ausreichender Last voll zu laden. Aber auch andere Flottenfahrzeuge können somit verwaltet und planmäßig geladen werden (TMH, 2020a).

### 5.5 Kriterien zur Bewertung eines Lastmanagementsystems

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die Faktoren zur Bewertung der Lastmanagementsysteme. Dabei werden diese in die drei Kategorien Hardware, Software und Kosten unterteilt. Jede Kategorie besitzt verschiedene Unterpunkte, welche jeweils genauer erläutert werden.

#### 5.5.1 Hardware

Auch wenn die Systeme in ihrem physischen Aufbau ähnlich sind, unterscheiden sich die enthaltenen Funktionen durchaus. Auf Betriebsarten, Schieflastregelung und die maximale Anzahl von Ladepunkten wird daher genauer eingegangen.

##### **Betriebsarten**

Wie bereits in Abschnitt 5.2 erläutert, sind die Betriebsarten eines Lastmanagementsystems entscheidend für die Effizienz und die möglichen Einsparungen. Ein statischer Betrieb des Systems kann lediglich versuchen teure Lastspitzen zu vermeiden. Steigt aber die Gebäudelast überdurchschnittlich an, können in der Summe trotzdem Lastspitzen entstehen. Auf der anderen Seite wird in Zeiträumen mit weniger Gebäudelast nicht das volle Potential ausgeschöpft.

Eine Priorisierung von Ladevorgängen schafft zusätzliche Vorteile für den Betrieb der Ladeinfrastruktur. Nur ein dynamischer Betrieb liefert die sicherste und effizienteste Variante, allerdings ist dabei auch immer eine Messung der Gebäudelast nötig. Die möglichen Betriebsarten der verglichenen Systeme werden daher in der späteren Bewertungsmatrix als sehr wichtig gewichtet.

##### **Maximale Anzahl von Ladepunkten**

Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze zur Steuerung der Ladepunkte, z.B. Master-Slave oder zentraler Controller, ergeben sich auch verschiedene Skalierbarkeiten. Während einige Systeme nur wenige Ladepunkte verwalten können, sind andere nur durch ihre Rechenleistung beschränkt, welche sich häufig aber erweitern lässt.

Grundsätzlich ist eine große Anzahl von möglichen Ladepunkten durchaus sinnvoll, da in Zukunft immer mehr Ladesäulen benötigt werden. Ist allerdings die Anzahl der Parkplätze begrenzt, so wird auch kein größeres System benötigt und es lassen sich eventuell Anschaffungs- und Unterhaltungskosten sparen.

### **Schieflastregelung**

In Deutschland ist die maximale Schieflast laut „VDE-AR-N 4100-5.5.1 Symmetrischer Anschluss“ auf 4,6 kVA/20 A begrenzt. Abhängig von den Betriebsarten ist eine Schieflastregelung immer nötig. Entscheidend ist diese bei Fahrzeugen, welche nur ein- oder zweiphasig laden. Grundsätzlich werden die Ladesäulen 3 phasig angeschlossen wobei die Phasen bei der Installation rotiert werden. Laden allerdings mehrere Fahrzeuge einphasig auf der gleichen Phase, können die 4,6 kVA schnell überschritten werden.

Ein Lastmanagement sollte zu Beginn eines Ladevorgangs die Bedingungen des Elektroautos überprüfen. Wollen mehrere Fahrzeuge ein- oder zweiphasig Laden, muss das Lastmanagement vorgeben, welche Phasen dafür aktuell am besten geeignet sind.

### **5.5.2 Software**

Der Umfang und die Kompatibilität der mitgelieferten Software Komponenten unterscheidet sich von System zu System. Die Kriterien Erweiterbarkeit, Backend System und die Art der physischen Anbindung ermöglichen einen Vergleich der Software.

#### **Erweiterbarkeit**

Der am höchsten gewichtete Punkt ist die Erweiterbarkeit der Systeme. Dabei steht vor allem im Vordergrund ob es sich um offene oder geschlossene Systeme handelt. Geschlossene Systeme werden meist von den Herstellern der Ladesäulen angeboten. Es handelt sich dabei um ein exklusives System, welches ausschließlich mit der Hardware des Anbieters funktioniert und erweitert werden kann. Ein einfach einzurichtendes und überschaubares System ist das Ergebnis.

Offene Systeme werden von Drittanbietern angeboten, welche meist keine eigenen Ladeeinrichtungen im Sortiment haben. Im Fokus steht dabei, möglichst viele der auf dem Markt verfügbaren Systeme zu vereinen. Voraussetzung ist, dass die Ladeeinrichtung über eine OCPP Kommunikation verfügt. Zusätzlich sollten die offenen Systeme auch für die gewünschte Ladestation erprobt sein. Nicht jede Ladeeinrichtung lässt sich sofort in ein offenes System integrieren. Deshalb veröffentlichen die Hersteller der offenen Systeme Listen mit bereits integrierten Ladesystemen. Der Umfang dieser Listen fließt mit in die Bewertung ein.

Vor dem Hintergrund, dass in den nächsten Jahren die Ladeinfrastruktur schrittweise aufgerüstet wird, ist ein offenes System sinnvoll. Sollte der ursprüngliche Anbieter nicht mehr am

Markt sein, sein Angebot zu teuer sein oder die gewünschte Hardware nicht angeboten werden, kann auf andere Hersteller zurückgegriffen werden.

### **Backend System**

In einer Ladeinfrastruktur mit Lastmanagement sind viele Informationen vorhanden, welche für den Kunden oder Betreiber relevant sein können. Dazu zählt der aktuelle Status der Ladeinfrastruktur und des Lastverlaufes, sowie diverse Einstellungen und Steuerungen des Verhaltens. Ein Backend-System ermöglicht es, genau diese Funktionen einzusehen und nachträglich zu ändern. Auch die spätere Erweiterung des Systems ist über das Backend-System möglich. Die angebotenen Systeme können über das Internet, eine Desktop-Anwendung oder eine App erreicht werden.

### **Kommunikation mit Lastmanagement**

In einer Ladeinfrastruktur findet grundsätzlich keine Kommunikation außerhalb des Ladepunktes statt. Einzig das angeschlossene Fahrzeug kommuniziert mit dem Ladepunkt und regelt den Ladevorgang. Um ein Lastmanagement zu integrieren, muss daher eine Verbindung zwischen den Ladepunkten und dem System hergestellt werden.

Wird ein Lastmanagement bereits bei der Errichtung einer Ladeinfrastruktur eingeplant, können notwendige Leitungen direkt mit den Zuleitungen verlegt werden. Wird allerdings ein Lastmanagement nachgerüstet, ist die Installation der Leitungen eventuell nicht ohne weiteres möglich. Drahtlose Kommunikation zwischen Ladepunkt und Lastmanagement bietet hier Vorteile.

### **5.5.3 Kosten**

Um die Wirtschaftlichkeit eines Systems zu bestimmen, müssen alle Kosten berücksichtigt werden. Nachfolgend werden die auftretenden Kosten zur Anschaffung, zum Unterhalt und zur Erweiterung des Systems erläutert.

#### **Anschaffung**

Die Anschaffungskosten beinhalten alle nötigen Komponenten zur Errichtung eines Lastmanagements. Die eigentlichen Ladeeinrichtungen werden dabei nicht berücksichtigt, sondern ausschließlich die Hardware und Software für das Lastmanagement. Um einen dynamischen Betrieb zu implementieren, wird mindestens ein Energiezähler benötigt, welcher die Gebäudelast erfasst. Im Falle eines Master-Slave Systems sind die Komponenten teilweise in der teureren Master-Ladeeinrichtung vorhanden.

### **Betriebskosten**

Viele Anbieter verlangen für zusätzliche Funktionen Kosten in Form von Lizenzgebühren oder in Abhängigkeit von der Anzahl der implementierten Ladepunkte. Auch der Betrieb eines Backend-Systems ist häufig mit einer Gebühr verbunden. Zuletzt bieten einige Anbieter noch Service-Pakete an. Diese regeln den Umfang von Aufwendungen bei Defekten oder Problemen. Da eine Ladeinfrastruktur über mehrere Jahre in Betrieb bleiben soll, erhalten diese Kosten eine größere Gewichtung.

### **Erweiterung**

Auch die Erweiterung des vorhandenen Lastmanagementsystems um weitere Ladeeinrichtungen ist nicht immer kostenlos. Für die Implementierung von weiteren Ladepunkten in das System verlangt der Anbieter zumeist einmalige Kosten pro Ladepunkt. Außerdem können durch die Erweiterung auch die Betriebskosten steigen da beispielsweise eine größere Lizenz oder neue Hardware benötigt wird.

Die vorgestellten Kriterien erhalten im folgenden Kapitel eine konkrete Gewichtung. Dadurch können die Systeme verglichen und bewertet werden. Die gewählte Gewichtung beruht auf dem bisher in der Arbeit aufgearbeiteten und gesammelten Wissen.

## 6 Bewertung der Systeme auf dem Markt

Im folgenden werden Systeme vorgestellt und verglichen, welche aktuell auf dem Markt verfügbar sind. Da es bei den geschlossenen Systeme bereits eine große Zahl von Anbietern auf dem Markt gibt, sind für den Vergleich nur zwei Anbieter mit unterschiedlichen Systemansätzen berücksichtigt. Diese unterscheiden sich vor allem durch den Aufbau, die Skalierung und die Kosten. Bei den offenen Systemen ist das Angebot bisher begrenzt, es gibt zwar einige Systeme auf dem Markt, allerdings gibt es keine validen Daten zu diesen Systemen. Die hier verglichenen Systeme haben zwar die Gemeinsamkeit, dass sie offen sind, allerdings unterscheiden sie sich in diversen anderen Punkten.

Da ein technischer Aufbau und Test der Systeme im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist, werden die technischen Faktoren anhand von externen Tests, Erfahrungsberichten und Angaben der Hersteller bewertet. Zu einigen der hier verglichenen Systeme veröffentlichte der ADAC im September 2020 einen umfangreichen Test (ADAC, 2020). Weitere technische Kriterien wurden im direkten Kontakt mit den Herstellern ermittelt und zu dem System von *TQ-Automation* wurde zusätzlich ein ausführlicher Artikel in der Zeitschrift „das elektrohandwerk“ veröffentlicht (Zwanziger, 2020).

Für den Kostenvergleich werden ebenfalls Informationen direkt von den Anbietern eingeholt. Geplant wird in allen Fällen ein dynamisches Lastmanagement, im Vergleich zu den statischen Systemen werden dafür teilweise zusätzliche Kosten verlangt. Auch ein Backend System zur Überwachung des Lastmanagements wird, wenn vorhanden, mit einbezogen. Die benötigten Ladepunkte, Netzausbauten und weitere Peripherie werden nicht berücksichtigt. Die Angebote berücksichtigen keine Rabatte.

Zum Vergleich der Kosten wird ein reales Projekt als Referenz verwendet, welches mit den Systemen ausgestattet werden soll. Bei diesem Projekt handelt es sich um den Neubau eines Gewerbe- und Bürogebäudes mit 5 Etagen. Im Untergeschoss wird eine Tiefgarage mit insgesamt 150 Parkplätzen geplant. Zu Beginn ist vorgesehen, für 8 dieser Stellplätze eine Lademöglichkeit vorzusehen. Zu einem späteren Zeitpunkt soll die Ladeinfrastruktur um 20 %, also weitere 30 Lademöglichkeiten, erweitert werden. Für die anfänglichen 8 Lademöglichkeiten wird nicht zwangsläufig ein Lastmanagement benötigt. Der Grund hierfür ist, dass die geplante elektrische Versorgung des Gebäudes über ausreichend Anschlussleistung verfügt. Spätestens bei 38 Ladeeinrichtungen mit möglichen höheren Ladeleistungen ergibt es allerdings Sinn, bereits in der Planung eine höhere Anschlussleistung oder ein Lastmanagement

vorzusehen. Dadurch werden teure Lastspitzen oder nachträgliche Kosten zum Ausbau des Anschlusses vermieden.

## 6.1 Vorstellung der verglichenen Systeme

### **ChargePilot**

Der Anbieter vertreibt das Basis-System über seinen eigenen Online Shop, allerdings nur in Verbindung mit Inbetriebnahme und Integration eines Ladepunktes. Das Paket beinhaltet den Controller, einen Ethernet-Switch sowie ein Netzteil. Weiterhin benötigt wird ein zusätzliches Hardware Paket zum Einsatz im dynamischen Betrieb. Darin enthalten ist der Energiezähler mit den nötigen Stromwandlern und die Busleitung. Ergänzend wird ein eigenes Backend zur Steuerung und Abrechnung der Ladepunkte angeboten.

### **XENON charge**

Auch das System *XENON charge* von *gridX* bietet ein eigenes Backend System an, allerdings muss dabei zusätzlich ein externer Abrechnungsdienstleister integriert werden. Das System kann sowohl in der statischen als auch in der dynamischen Ausführung erworben und betrieben werden. Der Umfang beschränkt sich, wie bei *ChargePilot* auch, auf den Controller, einen Switch und einen zusätzlichen Energiezähler für den dynamischen Betrieb.

### **DM100**

Das *DM100* von *TQ Automation* zeichnet sich durch den modularen Aufbau aus. Zusätzlich zur Anschlussleistung können mit Sensorbars, welche oberhalb der Sicherungsautomaten montiert werden, diverse Verbraucher und Erzeuger gemessen werden. Mit einem zusätzlichen Relaismodul kann bei drohender Überlast eine geregelte Abschaltung der angeschlossenen Verbraucher erfolgen. Im Paket enthalten sind zwei Energiezähler, einer nur für den Hausanschluss und einer für weitere Erzeuger und Verbraucher. Dazu kommen pro 20 Ladepunkte ein Controller mit Netzteil.

### **homeCLU**

Zusätzlich zu der *eMH3* Wallbox, welche *ABL* mit einem Master-Slave-Prinzip anbietet, gibt es auch eine Variante mit externem Controller. Maximal 6 *eMH1* Wallboxen können mit einer *homeCLU* zu einer Ladeinfrastruktur mit Lastmanagement verbunden werden. Die *homeCLU* als Controller wird mit einem Netzteil, Kabeln, Steckverbindern und Sensoren geliefert. Mit diesen kann der Controller die Leistung an der Hauptsicherung messen und gleichmäßig auf alle Wallboxen verteilen.

### **x- und c-series**

Die *x-* und *c-series* Wallboxen von *KEBA* basieren auf dem Master-Slave-Prinzip. Dabei ist jeweils eine *x-series* als Master für 15 weitere Slaves der *c-series* zuständig. Mit einem solchen System kann grundsätzlich ein statisches Lastmanagement realisiert werden. Erst durch die Anbindung an ein Backend und die Messung der verfügbaren Last kann ein dynamischer Betrieb der Wallboxen umgesetzt werden. Zusätzlich zu einer Master-Wallbox werden nur die nötigen Leitungen benötigt, um die Wallboxen untereinander zu vernetzen.

## **6.2 Vergleich anhand der erstellten Kriterien**

Die Tabelle 6.1 beinhaltet die oberhalb vorgestellten Systeme und in gelb die festgelegten Bewertungskriterien aus Abschnitt 5.5. Jedes Kriterium besitzt eine Gewichtung, welche sich, wie auch der Erfüllungsgrad, zwischen 1 und 10 bewegt. Die gewichteten Werte werden addiert und ergeben pro System die Summe S3. Verglichen mit dem Idealwert S2 wird die prozentuale Eignung der jeweiligen Systeme berechnet.

Tabelle 6.1: Bewertungsmatrix der Lastmanagementsysteme

Bewertung Gewicht 1 -> 10	Kriterien	ChargePilot		XENON charge		DM100		homeCLU		x- und c-series	
		Erfüllung 1 -> 10	gewichtet								
	<b>Hardware</b>										
9	Betriebsarten (statisch, dynamisch, fahrplanbasiert)	10	90	8	72	8	72	5	45	6	54
6	maximale Anzahl möglicher Ladepunkte	10	60	6	36	8	48	2	12	4	24
4	Schleifstregelung nach VDE-AR-N 4100-5 1 (max 4,6 kVA/20 A)	9	36	5	20	5	20	4	16	4	16
	<b>Zwischensumme</b>	<b>29</b>	<b>186</b>	<b>19</b>	<b>128</b>	<b>21</b>	<b>140</b>	<b>10</b>	<b>64</b>	<b>13</b>	<b>85</b>
	<b>Software</b>										
10	Erweiterbarkeit (offenes/geschlossenes System)	8	80	7	70	10	100	2	20	2	20
5	Backend System (vorhanden, Umfang, Abrechnung)	9	45	6	30	5	25	2	10	4	20
2	Kommunikation mit dem Lastmanagement	5	10	5	10	5	10	4	8	5	10
	<b>Zwischensumme</b>	<b>21</b>	<b>135</b>	<b>18</b>	<b>110</b>	<b>20</b>	<b>135</b>	<b>8</b>	<b>38</b>	<b>11</b>	<b>50</b>
	<b>Kosten</b>										
5	Anschaffung (Kauf, Errichtung, Inbetriebnahme)	6	30	7	35	3	15	8	40	9	45
7	Betriebskosten (wiederkehrende Kosten)	1	7	6	42	9	63	7	49	9	63
3	Erweiterung (Ladepunkte, externe Systeme)	2	6	7	21	7	21	3	9	8	24
	<b>Zwischensumme</b>	<b>9</b>	<b>43</b>	<b>20</b>	<b>98</b>	<b>19</b>	<b>99</b>	<b>18</b>	<b>98</b>	<b>26</b>	<b>132</b>
<b>Summe S1</b>	<b>S1 x 10 = Idealwert S2</b>										
51	510	Summe S3 in % von S2	364 71%	Summe S3 in % von S2	336 66%	Summe S3 in % von S2	374 73%	Summe S3 in % von S2	209 41%	Summe S3 in % von S2	276 54%

Im folgenden werden die Inhalte der Tabelle 6.1 chronologisch genauer erläutert und in Relation gesetzt. Das erste Kriterium, welches eine starke Gewichtung besitzt, ist die Betriebsart. Bereits in Abschnitt 5.2 wurde auf die Vor- und Nachteile der verschiedenen Betriebsarten eingegangen. Ein statischer Betrieb bildet bei den meisten Systemen die Basis. Durch die Installation weiterer Hardware zur Überwachung der Anschlussleistung kann der dynamische Betrieb umgesetzt werden. Im Punkt Betriebsart erreicht *ChargePilot* die volle Punktzahl, da es neben dem statischen und dynamischen Betrieb auch eine Möglichkeit gibt, Fahrpläne zu integrieren. Die geschlossenen Systeme können ebenfalls statisch und dynamisch Laden, erhalten allerdings weniger Punkte. Das System *homeCLU* kann die Ladevorgänge bei Überlast nicht unterbrechen sondern nur drosseln. Die *x- und c-series* besitzt nicht die nötige Vorbereitung um den Hausanschluss messen zu können. Diese Information muss dem System durch eine externe Installation zugeführt werden.

Die Anzahl der Ladepunkte, die maximal mit dem System verbunden werden können, macht den größten Unterschied zwischen den einzelnen Systemen aus. Grundsätzlich gilt, umso mehr Ladepunkte integriert werden können, umso besser. Ist allerdings die Anzahl der Ladepunkte bereits im Vorfeld baulich begrenzt, können auch weniger Ladepunkte genügen. Soll die Anzahl der Ladepunkte in einem System erhöht werden, wird bei den möglichen Systemen früher oder später ein Upgrade der verbauten Hardware nötig. Mit 6 möglichen Ladepunkten eignet sich die *homeCLU* nur für kleine Anwendungen wo hingegen die *x- und c-series* mit maximal 16 Ladepunkten auch in kleinen Unternehmen Anwendung finden kann. Die offenen Systeme weisen deutlich mehr Kapazitäten auf, wobei *XENON charge* nach Herstellerangaben auf 80 Ladepunkte begrenzt ist. Lediglich die übrigen beiden Systeme bieten eine unbegrenzte Anzahl von möglichen Ladepunkten an, wobei das *DM100* System früher auf ein Hardware Upgrade angewiesen ist.

Die VDE-AR-N 4100-5.5.1 ist eine Pflicht für alle Systeme, daher wird sie auch durchweg erfüllt. Bei kleineren Systeme hat eine eventuelle Ungenauigkeit nur kleine Ausmaße, steigt allerdings die Anzahl der Ladepunkte, ist eine genaue Regelung der Phasenlast unerlässlich. Der Test vom ADAC zeichnete die Phasenregelung des Systems *ChargePilot* als sehr verlässlich aus. Die anderen beiden offenen Systeme verfügen ebenfalls über eine Phasenregelung. Die *homeCLU* und die *x- und c-series* verfügen in Extremfällen nur über eine ungenaue Schieflastregelung.

In der Kategorie Software lassen sich alle Systeme auch nachträglich bis zu ihrer maximalen Anzahl von Ladepunkten erweitern. Die offenen Systeme bieten dabei allerdings eine größere Auswahl an möglichen Ladeeinrichtungen von verschiedenen Anbietern. Mit 34 AC und 6 DC kompatiblen Ladeeinrichtungen erreicht das *DM100* die maximale Punktzahl. Mit jeweils 13 AC und nur 2 DC Ladeeinrichtungen folgen die Systeme *homeCLU* und *ChargePilot*. Dabei ist die Auswahl der *homeCLU* mit 4 statt 6 möglichen Anbietern aber etwas kleiner. Die geschlossenen Systeme sind auf die geringe Auswahl des jeweiligen Herstellers begrenzt, welche bei beiden sehr klein ist.

Nicht alle Systeme verfügen über ein eigenes Backend System, allerdings lässt es sich überall nachrüsten. Die Systeme unterscheiden sich sowohl im Umfang als auch in ihrer Möglichkeit, die Ladevorgänge mit dem Nutzer abzurechnen. Das Backend System von *ChargePilot* bietet eine Überwachung und die Integration von weiteren Ladepunkten, verschiedene Nutzerprofile und eine automatisierte Abrechnung der Ladevorgänge. *XENON charge* bietet die visuelle Überwachung und Konfiguration der Ladepunkte im Backend, für die Abrechnung muss allerdings ein zusätzliches System von einem externen Anbieter integriert werden. Das *DM100* bietet nur eine reine Visualisierungs Software an und die beiden geschlossenen Systeme besitzen kein eigenes Backend. Allerdings lassen sich externe Backend Systeme einbinden, wobei die *homeCLU* hier nur auf einen Anbieter begrenzt ist.

Die Kommunikation innerhalb der Ladeinfrastruktur erhält keine große Gewichtung, da die nachträgliche Installation von Kabelverbindungen keinen großen Aufwand darstellt. Ideal wäre eine drahtlose Kommunikation zwischen den Teilnehmern z.B. über WLAN. Alle Systeme verfügen nur über eine kabelgebundene Verbindung untereinander. Die Verbindung wird dabei mit Ethernet Kabeln und Switches aufgebaut und ausgebaut. Lediglich die *homeCLU* weicht davon ab, ihre Kommunikation erfolgt über eine RS485 Busleitung.

Die Kosten für die Anschaffung der Systeme variieren entsprechend dem Funktionsumfang, geschlossene Systeme sind jedoch meist günstiger. Bei dem Master-Slave-Prinzip wird nur die Differenz betrachtet, um die eine Master-Wallbox teurer ist als die Slave Variante. Mit einem Kaufpreis von 330 Euro ist die *homeCLU* das günstigste System. Bei 6 Ladepunkten betragen die Anschaffungskosten pro Ladepunkt 55 Euro. Die Master Wallbox der *x- und c-series* ist mit einem Aufpreis von 370 Euro etwas teurer, die Kosten pro Ladepunkt sind mit 24 Euro allerdings geringer. Unter den offenen Systemen ist *XENON charge* mit Anschaffungskosten von 3.000 Euro am günstigsten. Die Hardware vom System *ChargePilot* kostet ebenfalls 3.000 Euro, allerdings kommen noch Integrationskosten von 55 Euro/Ladepunkt dazu. Das *DM100* kostet insgesamt 4.500 Euro und ist damit im Vergleich das teuerste System. Zusätzlich skaliert die Hardware linear mit der Anzahl der Ladepunkte, pro 20 neue Ladepunkte muss weitere Hardware gekauft werden. Aufgrund der unbegrenzten Zahl von möglichen Ladepunkten und der zusätzlich nötigen Aufrüstung der Hardware lässt sich für die offenen Systeme kein pauschaler Preis pro Ladepunkt bestimmen. In dem gewählten Beispiel mit 38 Ladepunkten betragen die Anschaffungskosten beim *XENON charge* 79 Euro/Ladepunkt, beim *ChargePilot* 134 Euro/Ladepunkt und beim *DM100* 119 Euro/Ladepunkt.

Die Betriebskosten erhalten in der Kategorie Kosten das meiste Gewicht. Von ihnen hängt ab, wie schnell sich das jeweilige System amortisiert. Bei den offenen Systemen sind diese Kosten oft abhängig von der Anzahl der Ladepunkte, was bei größeren Ladeinfrastrukturen zu hohen Kosten führen kann. Bei den Systemen *DM100* und *x- und c-series* führen lediglich die Kosten für ein externes Abrechnungssystem zu laufenden Betriebskosten. Für die *homeCLU* gilt das gleiche, allerdings ist man hier an einen festen Anbieter gebunden. Das System *XENON charge* verlangt 23 Euro/Jahr pro Ladepunkt für ein Abrechnungssystem. Bei *ChargePilot* werden diverse laufende Kosten verlangt. Das dynamische Lastmanagement kostet

60 Euro/Jahr pro Ladepunkt. Dazu kommen 30 Euro/Jahr pro Ladepunkt für ein erweitertes Servicepaket und 93 Euro/Jahr pro Ladepunkt für das Abrechnungsportal mit automatisierter Zahlungsabwicklung.

Eine spätere Erweiterung des Systems um weitere Ladepunkte oder zusätzliche Variablen wie Erzeuger und Verbraucher ist nicht grundsätzlich kostenlos. Einige Anbieter lassen sich die spätere Integration allerdings bezahlen. Mit 55 Euro/Ladepunkt der zu Beginn oder nachträglich integriert werden soll, ist das System *ChargePilot* am teuersten. Aber auch der exklusive Backend-Anbieter der *homeCLU* verlangt 25 Euro/Ladepunkt. Bei der *x- und c-series* hängen die Kosten vom gewählten Backend Anbieter ab. Die übrigen offenen Systeme verlangen grundsätzlich keine Kosten für die Integration weiterer Ladepunkte. Übersteigt allerdings die Zahl der Ladepunkte die Leistung der Hardware, können hier für den Ausbau weitere Kosten auftreten.

### 6.3 Vorstellung der Ergebnisse

Abschließend werden die Ergebnisse aus Tabelle 6.1 vorgestellt und verglichen. Dadurch lassen sich die unterschiedlichen Stärken und Schwächen der aufgeführten Systeme aufzeigen.

In der Kategorie Hardware erreicht das System *ChargePilot* fast die volle Punktzahl. Der Umfang des Systems erfüllt alle derzeitigen Hardware Ansprüche an ein gutes Lastmanagementsystem. Die beiden anderen offenen Systeme können über den dynamischen Betrieb hinaus nicht mehr Funktionen bieten und die Begrenzung der Ladepunkte bei *XENON charge* bedeutet zusätzliche Einschränkungen. Die geschlossenen Systeme sind im Bereich Hardware deutlich begrenzt. Denn eine vergleichsweise geringe Anzahl von Ladepunkten und das unsaubere Verhalten bei Schieflast sorgen für unterdurchschnittliche Ergebnisse.

Die Software Kriterien werden von den verglichenen offenen Systemen ähnlich gut erfüllt. Durch das umfangreiche Backend kann *ChargePilot* hier punkten, allerdings bietet das *DM100* eine umfangreiche Liste an integrierten Herstellern. Das System *XENON charge* bildet dabei das Mittelfeld zwischen den beiden Systemen. In der Kommunikation unterscheiden sich alle Systeme durch ihre kabelgebundene Lösung nur marginal.

Bei den Kosten zeigen auch die geschlossenen Systeme ihre Stärken. Durch den geringen Aufpreis bei dem Master-Slave System erreicht dieses eine gute Wertung. Alle weiteren Systeme ordnen sich mit einer fast identischen Wertung dahinter ein. Lediglich das *ChargePilot* System verliert viele Punkte. Durch sehr hohe Betriebs- und Erweiterungskosten schneidet das System im Vergleich zu den anderen Systemen sehr schlecht ab.

In der Gesamtwertung zeigt sich generell, dass die geschlossenen Systeme hinter den offenen Systemen liegen. Weiterhin liegen die offenen Systeme, trotz unterschiedlicher Defizite, nur maximal 7 % auseinander. Mit 73 % vom Idealwert erreicht das System *DM100* die beste Wertung. Es zeigt in allen Kategorien eine gleichbleibend gute Leistung. Knapp dahinter mit

71 % liegt das System *ChargePilot*. Trotz fast voller Punktzahl in der Kategorie Hardware und guten Leistungen bei der Software muss das System bei den Kosten große Abstriche machen. Zusätzlich zu den hohen Anschaffungskosten reihen sich außerordentlich hohe Betriebskosten, welche bei einer steigenden Anzahl von Ladepunkten nicht mehr im Verhältnis zur Investition stehen. Mit 66 % erhält das System *XENON charge* eine mittelmäßige Wertung. Es überzeugt ebenfalls bei den Kosten, kann allerdings durch die Begrenzung der maximal möglichen Ladepunkte und die geringere Anzahl von implementierten Anbietern nicht mit dem *DM100* mithalten.

Auch wenn die geschlossenen Systeme etwas abgeschlagen liegen, bieten sie für ihren Einsatzzweck immer noch eine gute Alternative. Die *x- und c-series* erreicht insgesamt 54 %. In der Kategorie Kosten erreicht das System sogar die beste Wertung, bei Software und Hardware geht dieser Vorsprung allerdings wieder verloren. Die *homeCLU* erreicht ebenfalls eine gute Wertung bei den Kosten, allerdings muss das System durch die geringe Anzahl der Ladepunkte und das begrenzte Backend Angebot noch Abstriche machen. Insgesamt erreicht das System nur 41 % und landet damit auf dem letzten Platz.

Abschließend lässt sich festhalten, dass keines der Systeme eine Wertung über 80 % erreicht hat. Bei einer Bewertungsmatrix wie sie in Tabelle 6.1 verwendet wurde, zeigt ein Ergebnis über 80 % eine sehr gute Eignung an. Die Gründe warum keines der Systeme in diesem Vergleich eine sehr gute Eignung erreicht hat, werden im folgenden erläutert. Natürlich fließt trotz der klar definierten Kriterien, auch die subjektive Bewertung einer einzelnen Person mit ein. Durch die Recherche und den Kontakt mit den Anbietern können sich bereits im Vorfeld Meinungen zu den verglichenen Systemen bilden. Als rein theoretische Bewertung der Systeme bietet diese Analyse eine profunde Basis die zukünftig durch weitere Untersuchungen ausgebaut werden kann.

Weiterhin ist der Markt der Lastmanagementsysteme noch relativ jung. Zwar ist das Konzept von EMS nicht neu, dieses allerdings auf die wachsenden Ansprüche von Ladeinfrastruktur anzupassen, bleibt eine Herausforderung. Jedes der verglichenen Systeme kann in mindestens einer der Kriterien punkten, allerdings schafft es kein System durchweg in allen Kriterien zu überzeugen. Mit der Zeit und dem wachsenden Bedarf werden sich sowohl die verglichenen Systeme als auch neue Systeme durchsetzen und etablieren. Die Systeme werden sich dadurch zwangsläufig nur verbessern können. Führt man die gleiche Bewertung in einigen wenigen Jahren durch, wird es spannend zu sehen, ob und welche Systeme eine Wertung über 80 % erreichen.

Zuletzt muss noch der spezifische Einsatzzweck erwähnt werden, welche für diesen Vergleich herangezogen wurde. Das Upgrade von 8 auf 38 Ladeeinrichtungen findet vermutlich erst in einigen Jahren statt, bis dahin können sich beispielsweise die laufenden Kosten geändert haben. Auch die Größe der Ladeinfrastruktur schließt zwangsläufig die kleineren geschlossenen Systeme aus. Trotzdem können diese Systeme für den privaten Bereich vollkommen ausreichend und sehr kostengünstig sein. Anhand mehrere Anwendungsfälle hätte man die Bewertungs-

matrix breiter aufstellen und somit ein allgemeineres Ergebnis erreichen können. Der Umfang dieser Arbeit gab einen solchen Vergleich allerdings nicht her.

Für das im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte Projekt ist das *DM100* System am besten geeignet. Die beiden geschlossenen Systeme scheiden aufgrund der zu geringen Anzahl von Ladepunkten generell aus. Von den offenen Systemen schaffen es *ChargePilot* und *DM100* in die engere Auswahl. Das *XENON charge* System ist zwar nicht ungeeignet, allerdings bietet es keine relevanten Vorteile gegenüber den anderen Systemen. Da sowohl das *ChargePilot* System, sowie auch das *DM100* System im Bereich Hardware und Software keine großen Defizite aufweisen, sind die Kosten maßgebend für die Empfehlung. Die Anschaffungskosten können im Vergleich vernachlässigt werden, da diese durch die erreichten Einsparungen amortisiert werden können. Entscheiden sind die Betriebskosten, welche beim *ChargePilot* bis zu 183 Euro/Jahr pro Ladepunkt betragen können. Beim *DM100* dagegen fallen lediglich Kosten für ein Abrechnungssystem an. Dieses kostet z.B. bei *XENON charge* 23 Euro/Jahr pro Ladepunkt. Durch die Vermeidung von Lastspitzen und die mögliche Erhöhung des Eigenverbrauchanteils liefern alle Systeme eine Einsparung der Energiekosten, das *DM100* amortisiert sich dabei allerdings am schnellsten.

## 7 Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Lastmanagementsysteme in den nächsten Jahren immer weiter an Bedeutung gewinnen werden. Um den geforderten und gewollten Fortschritt der Elektromobilität und damit auch das Erreichen der Klimaziele zu gewährleisten, müssen in Zukunft immer mehr Systeme geplant und integriert werden. Der aktuelle Stand der Technik ist bereits auf einem guten Niveau, allerdings zeigt die Bewertung der Systeme, dass es an verschiedenen Punkten noch Verbesserungspotential gibt. Ein wachsendes Interesse und damit ein steigender Wille zu investieren, wird nicht nur den Markt der Ladeeinrichtungen sondern auch der Lastmanagementsysteme weiter beleben und voran treiben.

Das Wachstum und die Nachfrage nach Ladeinfrastruktur stellen die Technische Gebäudeausrüstung regelmäßig vor neuen Herausforderungen. Dabei stellt sich sowohl die Frage, warum sich ein Lastmanagementsystem lohnt und ab welcher Größe es sinnvoll ist, in ein solches System zu investieren. Die erste Frage lässt sich anhand dieser Arbeit sehr gut beantworten, denn die technischen und wirtschaftlichen Vorteile eines Lastmanagements sind deutlich geworden. Doch nur den generellen Einsatz belegen zu können reicht nicht, es bleibt trotzdem die Frage nach der finanziellen Rentabilität. Eine pauschale Antwort darauf konnte in dieser Arbeit nicht gefunden werden. Zwar kann man Kosten und Nutzen gegeneinander rechnen, allerdings fehlen dafür Erfahrungswerte um eine solide Bewertung durchführen zu können. Weiterhin hängt die Antwort auch vom spezifischen Einsatz ab. Handelt es sich um einen Neubau, oder Bestand? Ist die Anschlussleistung bereits am Limit? Wie viele Ladepunkte sollen langfristig umgesetzt werden? Nur unter Berücksichtigung dieser und weiterer individueller Kriterien kann beantwortet werden, wann sich ein Lastmanagementsystem auf finanzieller Grundlage lohnt.

Um die Bewertung einer vorhandenen Ladeinfrastruktur durchzuführen oder auch eine neue planen zu können, ist es wichtig die Grundlagen zu kennen. Teil dieser Arbeit war die Vorstellung der wichtigsten technischen, politischen und wirtschaftlichen Grundlagen einer Ladeinfrastruktur. Bei der Technik hat sich mittlerweile durch Normen und die Regulierung des Marktes eine solide Basis gebildet. Mit dieser kann zukunftsichere Ladeinfrastruktur geplant werden. Ein mögliches Lastmanagement ist dabei eine Variable, welche sich noch im Wandel befindet. Diese Arbeit bildet den momentanen Stand der Technik ab und ermöglicht so die Planung in aktuellen Projekten.

Im Kapitel Fördermöglichkeiten wurde nur ein Bruchteil der aktuell möglichen Förderungen für Ladeinfrastruktur vorgestellt. Weitere Förderungen gibt es sowohl länderspezifisch als auch

für einzelne Gruppen. Trotzdem zeigt die Anzahl und der Umfang der Förderungen, dass eine Investition in Ladeinfrastruktur aktuell sinnvoll ist, egal ob im privaten oder gewerblichen Bereich. Wichtig dabei ist, sich im Vorfeld mit den möglichen Förderungen zu beschäftigen und diese vor Beginn der Arbeiten zu beantragen.

Das Thema Lade- und Lastmanagement zeigt die elementaren Bestandteile und Schnittstellen eines solchen Systems auf. Sowohl an die Funktion als auch an den Umfang und die Größe eines Lastmanagementsystems werden viele Ansprüche gestellt. Allerdings müssen diese Ansprüche immer in Relation zu dem konkreten Projekt stehen. Wird nur eine kleine Garage mit wenigen Stellplätzen ausgerüstet, reicht unter Umständen ein geschlossenes Master-Slave System. Große Firmenparkplätze dagegen benötigen unter Umständen eine weitreichendere Skalierbarkeit des Systems.

Der Vorteil der Systeme liegt nicht nur darin, dass sie nach Errichtung jederzeit um zusätzliche Ladepunkte erweitert werden können, auch das Nachrüsten eines ganzen Lastmanagementsystems ist häufig ohne weiteres möglich. Lediglich zu beachten gilt es, dass die ursprünglich geplanten Ladeeinrichtungen eine Kommunikation über OCPP ermöglichen. Es ist daher nicht immer nötig direkt ein Lastmanagementsystem zu implementieren, allerdings sollte in der Planung die spätere Nachrüstung eines solchen Systems immer berücksichtigt werden.

In der Bewertungsmatrix werden einige der aktuell relevanten Lastmanagementsysteme mit Hilfe der erarbeiteten Kriterien bewertet und verglichen. Aufgrund der Tatsache, dass solche Systeme in den nächsten Jahren noch viele Entwicklungen und Optimierungen erfahren werden, wurde die starke Gewichtung der Erweiterbarkeit gewählt. Dadurch liegen die offenen Systeme generell vor den geschlossenen Systemen. Es zeigt sich aber auch, dass die jeweiligen Systeme verschiedene Ansätze verfolgen, welche alle eine sinnvolle Verwendung finden.

Keines der Systeme konnte eine Wertung über 80 % erreichen, folglich ist die ideale und für alle Einsätze geeignete Lösung nicht unter den verglichenen Systemen. Die Bewertungsmatrix bietet die Möglichkeit, mit einem konkreten und bereits definierten Vorhaben die Gewichtung neu anzupassen. Dadurch kann sich für die geänderten Bedingungen durchaus ein anderes Ranking der Systeme ergeben.

Im Rahmen der Arbeit gibt es aber auch Kritikpunkte, welche an dieser Stelle erläutert werden. Die technische Bewertung der einzelnen Systeme verfügt nicht über ausreichend fundierte Ergebnisse. Dadurch, dass es im Rahmen der Arbeit nicht möglich war, ein solches System praktisch zu testen und in Betrieb zu nehmen, muss an dieser Stelle auf andere Quellen zurück gegriffen werden. Die Arbeit fokussiert sich dabei mehr auf die theoretischen Kriterien, an denen Lastmanagementsysteme verglichen werden können. Dadurch ist es möglich, neue Systeme auch ohne praktische Erfahrung mit anderen Systemen vergleichen und bewerten zu können.

Die Auswahl der verglichenen Systeme folgt nicht nur einem Kriterium, vielmehr wurde versucht ein möglichst breit gefächertes Abbild des Marktes darzustellen. Viele offene Systeme

sind am Markt bisher noch nicht vorhanden. Dadurch werden Systeme ausgewählt, die sowohl über ausreichend Informationen verfügen, als auch in einer anderen Form bereits technisch umfangreich getestet wurden. Bei den geschlossenen Systemen ist die Auswahl deutlich größer. Die zwei gewählten Systeme unterscheiden sich dabei grundsätzlich in ihrer technischen Umsetzung und spiegeln damit viele andere vergleichbare Systeme wieder. Es lassen sich aber nachträglich auch andere Systeme in den Vergleich mit einbinden und bewerten.

Abschließend kann zusammengefasst werden, dass es in Zukunft immer mehr Lastmanagementsysteme auf dem Markt geben wird, welche immer weiter an Bedeutung gewinnen. Das Wissen über den Umfang und die Möglichkeiten, die ein solches System bietet, ist elementar für die Planung und Umsetzung der Systeme. Die durchgeführte Bewertung bietet einen Überblick und eine Basis, welche um weitere Systeme ergänzt werden kann. Lastmanagement ist dabei aber mehr als nur eine Technik um sicherer und kostengünstiger zu Laden. Zusammen mit vielen anderen Techniken bildet es die Basis, um in Zukunft ressourcenschonend und nachhaltig die Mobilität der Menschen zu erhalten.

# Literaturverzeichnis

- [ADAC 2020] ADAC, Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.: *Stromverbrauch Elektroautos: Aktuelle Modelle im ADAC Test*. 2020. – [https://assets.adac.de/image/upload/v1602147210/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/Studienbericht\\_Wallbox\\_mit\\_Lastmanagement\\_kokefx.pdf](https://assets.adac.de/image/upload/v1602147210/ADAC-eV/KOR/Text/PDF/Studienbericht_Wallbox_mit_Lastmanagement_kokefx.pdf) [17.01.2021].
- [BAV 2020] BAV, Bundesanstalt für Verwaltungsdienstleistungen: *Sechster Aufruf zur Antragseinreichung vom 22.06.2020*. 2020. – [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/sechster-foerderaufruf-lis.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/sechster-foerderaufruf-lis.pdf?__blob=publicationFile) [10.01.2021].
- [BDEW 2019] BDEW, Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e. V.: *Energetrends Welle 01/19*. 2019. – [https://www.bdew.de/media/documents/PI\\_20190225\\_ZdW\\_Bevorzugte-Lademoeglichkeit.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/PI_20190225_ZdW_Bevorzugte-Lademoeglichkeit.pdf) [09.01.2021].
- [BDEW 2020] BDEW, Bundesverband der Energie und Wasserwirtschaft e. V. u.a.: *Der Technische Leitfaden Ladeinfrastruktur Elektromobilität Version 3*. 2020. – <https://www.vde.com/resource/blob/988408/ca81c83d2549a5e89a4f63bbd29e80c6/technischer-leitfaden-ladeinfrastruktur-elektromobilitaet---version-3-1-data.pdf> [02.01.2021].
- [BMBF 2019] BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung: *Batterieforschung und Transfer stärken – Innovationen beschleunigen Dachkonzept „Forschungsfabrik Batterie*. 2019. – [https://www.bmbf.de/files/BMBF\\_Dachkonzept\\_Forschungsfabrik\\_Batterie\\_Handout\\_Jan2019.pdf](https://www.bmbf.de/files/BMBF_Dachkonzept_Forschungsfabrik_Batterie_Handout_Jan2019.pdf) [20.11.2020].
- [BMU 2017] BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Klimaschutz in Zahlen: Der Sektor Verkehr*. 2017. – [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutz\\_in\\_zahlen\\_verkehr\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_verkehr_bf.pdf) [20.11.2020].
- [BMU 2020] BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: *Der Klimaschutzplan 2050 – Die deutsche Klimaschutzlangfriststrategie*. 2020. – <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050/> [20.11.2020].
- [BMWi 2020a] BMWI, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Rahmenbedingungen und Anreize für Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur*. 2020. – [https://www.bmwi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/rahmenbedingungen-und-anreize-fuer-elektrofahrzeuge-und-ladeinfrastruktur.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmwi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/rahmenbedingungen-und-anreize-fuer-elektrofahrzeuge-und-ladeinfrastruktur.pdf?__blob=publicationFile) [20.11.2020].

- [//www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/rahmenbedingungen-und-anreize-fuer-elektrofahrzeuge.html](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/rahmenbedingungen-und-anreize-fuer-elektrofahrzeuge.html) [26.11.2020].
- [BMWi 2020b] BMWI, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Wirtschaftsbranchen Automobilindustrie*. 2020. – <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-automobilindustrie.html> [29.11.2020].
- [BNetzA 2020] BNETZA, Bundesnetzagentur: *Ladesäulenkarte*. 2020. – [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulenkarte/Ladesaeulenkarte_node.html) [28.11.2020].
- [BReg 2015] BREG, Bundesregierung Deutschland: *Jahresbericht der Bundesregierung 2014/2015, Kapitel 7-In Deutschlands Zukunft investieren*. 2015. – <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/jahresberichte-der-bundesregierung/jahresbericht-der-bundesregierung-2014-2015/elektromobilitaet-473440> [25.11.2020].
- [BReg 2016] BREG, Bundesregierung Deutschland: *Jahresbericht der Bundesregierung 2015/2016, Kapitel 5-Elektromobilität*. 2016. – <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/jahresberichte-der-bundesregierung/jahresbericht-der-bundesregierung-2015-2016/innovationen-und-zukunftsstrategien/elektromobilitaet> [25.11.2020].
- [BReg 2020] BREG, Bundesregierung Deutschland: *Bundeszuschuss für eigene Ladestation*. 2020. – <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/wallbox-foerderung-1819424> [29.11.2020].
- [Compleo-CS 2020] COMPLEO-CS, Compleo Charging Solutions, Pressemitteilung: *Compleo knackt 500er-Marke bei eichrechtskonformen DC-Ladestationen*. 2020. – <https://www.presseportal.de/pm/134214/4647532> [22.12.2020].
- [Doppelbauer 2020] DOPPELBAUER, Martin: *Grundlagen der Elektromobilität - Technik, Praxis, Energie und Umwelt*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020. – ISBN 978-3-658-29729-9
- [Eickelmann 2017] EICKELMANN, J.: *Wachstumsmotor Elektromobilität - Geschäftsfeldentwicklung und Wachstumsstrategien im Umfeld der Elektromobilität*. 2. Auflage. Blomberg : Phoenix Contact Deutschland GmbH, 2017. – [https://www.phoenixcontact.com/online/portal/de?ldmy&urile=wcm:path:/dede/web/main/solutions/subcategory\\_pages/Knowledge\\_about\\_E\\_Mobility](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/de?ldmy&urile=wcm:path:/dede/web/main/solutions/subcategory_pages/Knowledge_about_E_Mobility) [03.12.2020].

- [EU Parlament 2014] EU PARLAMENT, Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union: *Richtlinie 2014/94/EU*. 2014. – <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32014L0094> [20.12.2020].
- [HH 2020] HH, Freie und Hansestadt Hamburg: *Elektromobilität in Hamburg - Elektroantrieb auf Hamburgs Straßen*. 2020. – <https://www.hamburg.de/auto-strasse-hamburg/4146948/elektromobilitaet-in-hamburg/> [23.12.2020].
- [IFB 2020] IFB, Hamburgische Investitions- und Förderbank: *Projekt ELBE - Förderung des Aufbaus von Ladestationen an Gebäuden und auf Firmenarealen*. 2020. – <https://www.ifbhh.de/api/services/document/224> [13.01.2021].
- [infas 2018] INFAS, DLR, IVT und infas 360: *Mobilität in Deutschland (Im Auftrag des BMVI)*. 2018. – [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017\\_Ergebnisbericht.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf) [06.11.2020].
- [Karle 2020] KARLE, Anton: *Elektromobilität - Grundlagen und Praxis*. 4., aktualisierte Auflage. München : Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2020. – ISBN 978-3-446-45099-8
- [KBA 2019] KBA, Kraftfahrt-Bundesamt: *Neuzulassungen von Pkw nach Bundesländern und ausgewählten Kraftstoffarten absolut*. 2019. – [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/n\\_umwelt\\_inhalt.html?nn=2594996](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/n_umwelt_inhalt.html?nn=2594996) [29.11.2020].
- [KBA 2020] KBA, Kraftfahrt-Bundesamt: *Bestand an Personenkraftwagen am 1. Januar 2020 nach Bundesländern und ausgewählten Kraftstoffarten absolut*. 2020. – [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/b\\_umwelt\\_inhalt.html?nn=2601598](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/b_umwelt_inhalt.html?nn=2601598) [23.12.2020].
- [KfW 2020] KfW, Kreditanstalt für Wiederaufbau: *Ladestationen für Elektroautos – Wohngebäude*. 2020. – [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/F%C3%B6rderprodukte/Ladestationen-f%C3%BCr-Elektroautos-Wohngeb%C3%A4ude-\(440\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/F%C3%B6rderprodukte/Ladestationen-f%C3%BCr-Elektroautos-Wohngeb%C3%A4ude-(440)/) [09.01.2021].
- [Linnemann und Nagel 2020] LINNEMANN, Marcel ; NAGEL, Christoph: *Elektromobilität und die Rolle der Energiewirtschaft - Rechte und Pflichten eines Ladesäulenbetreibers*. Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag, 2020. – ISBN 978-3-658-30217-7
- [NOW 2020] NOW, Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie: *Ladeinfrastruktur*. 2020. – <https://www.now-gmbh.de/foerderung/foerderprogramme/ladeinfrastruktur/> [10.01.2021].
- [NPE 2020a] NPE, Nationalen Plattform Elektromobilität: *Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität*. 2020. – [http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/Publikationen/NormungsRoadmap\\_Elektromobilitaet\\_2020\\_bf.pdf](http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Publikationen/NormungsRoadmap_Elektromobilitaet_2020_bf.pdf) [23.12.2020].

- [NPE 2020b] NPE, Nationalen Plattform Elektromobilität: *Elektromobilität: So funktioniert's - Bezahlen*. 2020. – <http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/anwendung/bezahlen/> [22.12.2020].
- [OCA 2020] OCA, Open Charge Alliance: *Frequently asked questions*. 2020. – <https://www.openchargealliance.org/about-us/frequently-asked-questions/> [07.01.2021].
- [OFV 2020] OFV, Road Traffic Information Council: *Autoverkauf im Oktober 2020*. 2020. – <https://ofv.no/bilsalget/bilsalget-i-oktober-2020> [29.11.2020].
- [PC 2020] PC, Phoenix Contact GmbH & Co. KG: *Clever anbinden*. 2020. – [https://www.phoenixcontact.com/assets/2018/interactive\\_ed/101\\_259608/index.html#8](https://www.phoenixcontact.com/assets/2018/interactive_ed/101_259608/index.html#8) [08.01.2021].
- [TMH 2020a] TMH, The Mobility House: *E-Flotte made easy*. 2020. – [https://www.mobilityhouse.com/de\\_de/ratgeber/7-schritte-zur-elektroauto-flotte](https://www.mobilityhouse.com/de_de/ratgeber/7-schritte-zur-elektroauto-flotte) [08.01.2021].
- [TMH 2020b] TMH, The Mobility House: *Unsere Fallbeispiele – So profitieren Sie durch das richtige Lastmanagement*. 2020. – [https://www.mobilityhouse.com/de\\_de/lade-management/lastmanagement.html#lastmanagement-fallbeispiele](https://www.mobilityhouse.com/de_de/lade-management/lastmanagement.html#lastmanagement-fallbeispiele) [03.01.2021].
- [WTSH 2020] WTSH, Wirtschaftsförderung und Technologietransfer Schleswig-Holstein GmbH: *Richtlinie für die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge*. 2020. – [https://wtsh.de/file/200727-foerderrichtlinie\\_ladeinfrastruktur.pdf](https://wtsh.de/file/200727-foerderrichtlinie_ladeinfrastruktur.pdf) [13.01.2021].
- [Zwanziger 2020] ZWANZIGER, T.: Last- und Lademanagement für die E-Mobilität. In: *das elektrohandwerk* 23-24 (2020), S. 59–61

## Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

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

\_\_\_\_\_

Ort	Datum	 Unterschrift im Original
-----	-------	--